

**В. Д. Мигаль**

**АВТОМОБИЛЬНЫЕ  
ДВИГАТЕЛИ  
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ.  
Параметры и системы управления**

*Рекомендуется Ученым советом Харьковского национального  
автомобильно-дорожного университета  
в качестве учебного пособия для студентов учебных заведений,  
обучающихся по уровню подготовки бакалавров направления 6.050503  
и магистров по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»  
(протокол № 2 от 31.10.2014)*

Харьков «Майдан» 2016

УДК 621.431  
ББК 30  
М 57

**Рецензенты:** **Бажинов А. В.**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Автомобильная электроника» Харьковского национального автомобильно-дорожного университета  
**Дяченко В. Г.**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»  
**Лебедев А. Т.**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Тракторы и автомобили» Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. П. Василенко  
**Парсаданов И. В.**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»

**Мигаль В. Д.**

М 57 Автомобильные двигатели внутреннего сгорания. Параметры и системы управления: Учеб. пособ. / В. Д. Мигаль. – Харьков: Майдан, 2016. – 320 с.  
ISBN 978-966-372-573-4.

Представлены технические характеристики двигателей грузовых автомобилей, автобусов, микроавтобусов и легковых автомобилей, основные параметры и эксплуатационные свойства двигателей.

Описаны неисправности и диагностические параметры механических и гидрогазоаэродинамических систем двигателей. Компоненты систем управления крутящим моментом, подачи и питания воздухом, впрыском топлива, самообразования и распыления топлива. Приведены аккумуляторные системы впрыска топлива с электрогидравлическими и пьезоэлектрическими форсунками и системы впрыска с насос-форсунками. Рассмотрены разновидности систем впрыскивания топлива, их компоненты.

Описаны электронные системы впрыскивания топлива с рядным ТНВД, распределительным ТНВД, индивидуальным ТНВД и системой Common Rail, применяемые в этих системах приборы и компоненты.

Для преподавателей, студентов автомобильных учебных заведений, подготовки специалистов по эксплуатации, диагностированию и техническому обслуживанию автомобилей и двигателей.

УДК 621.431  
ББК 30

ISBN 978-966-372-573-4

© В. Д. Мигаль, 2016

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> . . . . .	6
<b>1. Технические характеристики автомобильных двигателей</b> . . . . .	8
1.1. Назначение, типы и технические требования к двигателям . . . . .	8
1.2. Эксплуатационные свойства двигателей . . . . .	10
1.3. Внешняя скоростная характеристика двигателя . . . . .	12
1.4. Технические характеристики двигателей . . . . .	14
1.4.1. Двигатели грузовых автомобилей . . . . .	14
1.4.2. Двигатели автобусов и микроавтобусов . . . . .	24
1.4.3. Двигатели легковых автомобилей . . . . .	27
Контрольные вопросы . . . . .	47
<b>2. Механические и гидрогазодинамические системы двигателя</b> . . . . .	48
2.1. Основные параметры и свойства двигателей . . . . .	48
2.2. Механизмы систем ЦПГ, КШМ и ГРМ двигателя, их неисправности и диагностические параметры . . . . .	53
2.3. Рабочий процесс (цикл) четырехтактных двигателей и основные быстроизнашивающиеся детали узлов трения, определяющие эффективность работы двигателя . . . . .	54
2.4. Гидравлические системы топливоподачи и впрыска топлива . . . . .	61
2.4.1. Система питания двигателя топливом . . . . .	61
2.4.2. Традиционная электромеханическая топливная система питания дизельного двигателя . . . . .	62
2.4.3. Гидравлическая аккумуляторная топливная система двигателя . . . . .	63
2.5. Насосы, фильтры и регуляторы высокого давления . . . . .	65
2.6. Системы впрыскивания с рядным ТНВД . . . . .	72
2.7. Системы впрыскивания с распределительным ТНВД . . . . .	74
2.8. Система топливоподачи с индивидуальным ТНВД . . . . .	79
2.9. Системы и компоненты питания двигателя воздухом . . . . .	82
2.9.1. Система питания дизеля воздухом . . . . .	82
2.9.2. Компоненты систем питания воздухом и регулирование его расхода . . . . .	86
2.10. Системы улавливания паров бензина, анализа состава отработавших газов и их выпуска . . . . .	97
Контрольные вопросы . . . . .	100
<b>3. Электронные системы управления бензиновым двигателем</b> . . . . .	102
3.1. Классификация систем впрыскивания топлива . . . . .	102
3.2. Типы и компоненты систем управления впрыском топлива . . . . .	110
3.2.1. Система многоточечного впрыска топлива . . . . .	111
3.2.2. Система одноточечного впрыска топлива . . . . .	121
3.2.3. Системы впрыска с внутренним смесеобразованием . . . . .	122
3.2.4. Компоненты аккумуляторной системы подачи топлива . . . . .	125

3.2.5. Виды, устройство и работа электромагнитных форсунок . . . . .	128
3.2.6. Топливная система двигателя с пьезоэлектрическими форсунками . . . . .	133
3.2.7. Датчики для определения давления топлива и положения дроссельной заслонки . . . . .	135
3.2.8. Смесеобразование, распыление топлива и режимы работы двигателя . . . . .	136
3.2.9. Выбор датчика системы измерения давления, места его установки и анализ действующих процессов в топливной системе . . . . .	142
3.2.10. Системы управления впрыском, длительностью и объемом впрыска топлива . . . . .	148
3.2.10.1. Схемы управления впрыском . . . . .	148
3.2.10.2. Управление впрыском топлива . . . . .	151
3.2.10.3. Коррекция впрыска и состава рабочей смеси . . . . .	154
3.2.10.4. Компоненты системы регулирования расхода топлива . . . . .	158
3.2.10.5. Параметры контроля системы впрыска двигателя . . . . .	159
3.3. Системы управления зажиганием бензиновых двигателей . . . . .	161
3.3.1. Системы зажигания . . . . .	161
3.3.2. Микропроцессорные системы управления зажиганием и впрыском в бензиновых двигателях . . . . .	165
Контрольные вопросы . . . . .	171
<b>4. Электронные системы управления дизельным двигателем . . . . .</b>	<b>173</b>
4.1. Характеристики впрыска топлива в традиционных топливных системах . . . . .	173
4.2. Аккумуляторная топливная система . . . . .	174
4.2.1. Требования к топливным системам и их компонентам . . . . .	174
4.2.2. Компоненты аккумуляторной системы . . . . .	181
4.2.3. Форсунки топливных систем . . . . .	191
4.2.3.1. Электрогидравлические форсунки . . . . .	191
4.2.3.2. Системы с пьезоэлектрическими форсунками . . . . .	195
4.2.3.3. Система с насос-форсунками . . . . .	198
4.2.4. Системы управления дизельным двигателем . . . . .	203
4.2.4.1. Системы и компоненты впрыска топлива . . . . .	203
4.2.4.2. Функциональные возможности систем управления двигателем . . . . .	208
4.2.4.3. Преимущества и недостатки электронных систем управления двигателем . . . . .	216
4.2.4.4. Размещение и взаимосвязь компонент систем управления двигателем . . . . .	218
4.3. Компоненты системы регулирования температуры охлаждающей жидкости и дроссельной заслонки . . . . .	222
Контрольные вопросы . . . . .	224

<b>5. Электронные компоненты и системы управления двигателем в системе автомобиля</b>	225
5.1. Основные принципы автоматического управления двигателем	225
5.2. Общие сведения о применяемых средствах в электронных системах двигателей	227
5.3. Обработка сигналов в электронном блоке управления	235
5.4. Передача данных другим системам	239
Контрольные вопросы	242
<b>6. Дефекты и неисправности топливной системы дизельного двигателя</b>	243
6.1. Понятия дефект и неисправность	243
6.2. Типовые отказы и неисправности механических и газоаэродинамических систем двигателя	245
6.3. Неисправности системы питания двигателя топливом	250
6.3.1. Общая характеристика неисправностей	250
6.3.2. Неисправности насосов топливных систем	256
6.3.3. Неисправности и отказы форсунок	261
6.3.4. Неисправности, вызываемые применением некачественного топлива, масла и состоянием фильтров	266
6.3.5. Дефекты и неисправности, вызываемые нарушениями технологии сборки, регулировки и монтажа топливной аппаратуры	267
6.4. Неисправности электронных систем управления двигателем	271
Контрольные вопросы	273
<b>7. Диагностическое обеспечение двигателя</b>	274
7.1. Задачи проектного обеспечения высокого технического уровня создаваемых двигателей	274
7.2. Выбор и назначение диагностических параметров	279
7.3. Методы, применяемые при разработке диагностического обеспечения двигателей	285
7.4. Тесты и алгоритмы диагностирования двигателя	290
7.5. Бортовые системы управления рабочими процессами и диагностирования двигателя	292
7.5.1. Организация самоконтроля и самодиагностирования двигателя	293
7.5.2. Техническая реализация задач контроля и управления двигателем бортовыми системами	298
7.6. Внешние средства контроля и диагностирования дизельной топливной аппаратуры	300
7.6.1. Стенды контроля и регулировки форсунок	300
7.6.2. Стенды контроля и регулировки ТНВД	303
Контрольные вопросы	310
<b>Предметный указатель</b>	311
<b>Перечень ссылок</b>	316

## ВВЕДЕНИЕ

Двигатель внутреннего сгорания – наиболее сложный и важный агрегат транспортных машин, от состояния которого зависят многие технические, экологические и экономические параметры их эксплуатации. Поэтому при создании новых и использовании существующих машин идет постоянный поиск обеспечения высокого уровня экологической и технической надежности двигателей.

Исходное техническое состояние двигателя зависит от технического уровня проектирования, технологии производства, доводки двигателя. Сохранение проектного качества двигателя в эксплуатации зависит от уровня заложенной надежности и эффективности бортового диагностического обеспечения, технического обслуживания, уровня проведения текущего диагностирования внешними средствами. Поэтому создание двигателей требует системного подхода к конструкции и диагностическому обеспечению всех стадий их жизненного цикла.

Основными задачами исследований при проектировании является недопущение конструктивного дефекта, на этапе производства – технологического дефекта как каждого несоответствия проекту. Проектирование и изготовление включает в часть своих задач недопущение неисправностей и отказов в эксплуатации, недопустимое изменение заданных технических свойств объектов двигателя в гарантийный период. Такой подход позволяет обеспечить высокую проектную надежность и высокий ресурс двигателя.

Постоянное повышение эффективности двигателей, проявившееся в автоматизации процессов управления, сильно усложнило их конструкцию, что требует существенного повышения уровня подготовки специалистов по знаниям в конструкции, ее структурных параметров, рабочих процессов, диагностирования и технического обслуживания. Уровень таких знаний двигателя в системе транспортной машины определяет квалификацию специалиста-конструктора, диагноста и технического обслуживания. Наука, реагируя на эти запросы практики, привлекает различные области знаний, модернизирует существующие теории, методы и положения. Этим объясняется издание в последние 10...15 лет многих учебных пособий и монографий, например [1...23, 25...30]. В этих книгах основное внимание уделялось описанию технических систем и рабочих процессов с позиций конструкции и функционирования автомобильных двигателей. В отдельных книгах, посвященных диагностике двигателей, частично рассматривались некоторые электронные системы по мере их развития.

Для удовлетворения запросов практики конструирования и эксплуатации автомобильных двигателей необходимы знания системного представления, конструкции неисправностей и их диагностических параметров, методов и средств диагностирования. Такой подход к представлению студентам системных знаний реализован в учебных пособиях [31...33].

В данном учебном пособии с позиций диагноста комплексно рассмотрены устройства механических, гидрогазоаэродинамических систем, узлов и компонентов электронных систем двигателя с описанием контролируемых структурных и функциональных параметров, роли датчиков и исполнительных средств в управлении двигателями. Такие знания необходимы для подготовки инженеров-конструкторов и эксплуатационников по диагностированию и техническому обслуживанию автомобильных двигателей.

# 1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

## 1.1. Назначение, типы и технические требования к двигателям

Двигатель автомобиля представляет собой совокупность механизмов и систем, преобразующих тепловую энергию сгорающего в его цилиндрах топлива в механическую.

На современных автомобилях наибольшее распространение получили поршневые двигатели внутреннего сгорания, в которых расширяющиеся при сгорании топлива газы воздействуют на движущиеся в их цилиндрах поршни.

Применяемые на автомобилях двигатели подразделяются на типы по различным признакам (рис. 1.1) [20].

Бензиновые двигатели работают на легком жидком топливе – бензине, который получают из нефти.

Дизельные двигатели работают на тяжелом жидком топливе – дизельном, получаемом также из нефти.

Из указанных двигателей наиболее мощными являются бензиновые, наиболее экономичными и экологичными – дизели, имеющие более высокий коэффициент полезного действия. Так, при равных условиях расход топлива у дизелей на 25...30 % меньше, чем у бензиновых двигателей.

У двигателей с внешним смесеобразованием горючая смесь готовится вне цилиндров, в специальном приборе – карбюраторе (карбюраторные двигатели) или во впускном трубопроводе (двигатели с впрыском бензина) и поступает в цилиндры в готовом виде.

У двигателей с внутренним смесеобразованием (дизели, двигатели с непосредственным впрыском бензина) приготовление горючей смеси производится непосредственно в цилиндрах путем впрыска в них топлива.

В двигателях без наддува наполнение цилиндров осуществляется за счет вакуума, создаваемого в цилиндрах при движении поршней из верхнего крайнего положения в нижнее.

В двигателях с наддувом горючая смесь поступает в цилиндры под давлением, которое создается компрессором.

Принудительное воспламенение горючей смеси от электрической искры, возникающей в свечах зажигания, производится в бензиновых двигателях, а воспламенение от сжатия (самовоспламенение) – в дизелях.

У четырехтактных двигателей полный рабочий процесс (цикл) совершается за четыре такта (впуск, сжатие, рабочий ход, выпуск), которые последовательно повторяются при работе двигателей.

Рядные двигатели имеют цилиндры, расположенные в один ряд вертикально или под углом 20...40° к вертикали.

V-образные двигатели имеют два ряда цилиндров, расположенных под углами 60, 75° и чаще 90°. V-образный двигатель с углом 180° между рядами цилиндров называется оппозитным.

Двух-, трех-, четырех- и пятицилиндровые двигатели выполняются

обычно рядными, а шести-, восьми- и многоцилиндровые – V-образными.

В двигателях с жидкостным охлаждением в качестве охлаждающего вещества используют антифризы (низкозамерзающие жидкости), температура замерзания которых  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже.



**Рис. 1.1. Основные типы автомобильных двигателей, классифицированных по различным признакам**

В двигателях с воздушным охлаждением охлаждающим веществом является воздух.

Большинство двигателей имеет жидкостное охлаждение, так как оно наиболее эффективное.

## 1.2. Эксплуатационные свойства двигателей

Основными эксплуатационными свойствами двигателя являются: внешняя скоростная характеристика, топливная экономичность, экологичность и безопасность, управляемость, уровень диагностического обеспечения, надежность, ресурс и ремонтпригодность. Эти свойства двигателей во многом определяют эксплуатационные качества автомобилей.

В условиях эксплуатации режимы работы автомобильного двигателя определяются многими факторами, которые зависят от конструктивных особенностей автомобиля, дорожных, климатических и транспортных условий. Под действием этих факторов мощность двигателя, необходимая для движения автомобиля, изменяется в широких пределах. Из теории автомобиля известно, что необходимая для движения автомобиля тяговая мощность  $N_T$  на ведущих колесах без учета буксования определяется как сумма мощностей сопротивлений качению  $N_K$ , подъему  $N_{II}$ , воздуху  $N_W$  и разгону  $N_j$ .

В конструкции дизелей применяются как разделенные камеры сгорания (предкамерные/вихрекамерные дизели), так и неразделенные (дизели с непосредственным впрыском топлива).

Поскольку дизели с непосредственным впрыском (DI – direct injection) топлива имеют лучшие эффективные показатели, в том числе меньший расход топлива, они устанавливаются на все коммерческие автомобили и грузовики. С другой стороны, поскольку предкамерные дизели (IDI – indirect injection) являемся менее шумными, они являются предпочтительными для легковых автомобилей, где одним из приоритетов считается комфорт водителя. Более того, токсичность ОГ предкамерных дизелей (СН и NO<sub>x</sub>) и стоимость их производства меньше, чем у дизелей с непосредственным впрыском топлива. Тем не менее, из-за более высокого эксплуатационного расхода топлива предкамерные дизели проигрывают дизелям с непосредственным впрыском топлива, при этом топливная экономичность обоих типов дизелей выше, чем у бензиновых двигателей, особенно на режимах частичных нагрузок.

Дизели хорошо приспособлены для использования турбонаддува, который не только увеличивает мощность двигателя и повышает топливную экономичность, но также снижает токсичность ОГ. Кроме того, дизели могут работать на альтернативном топливе, например, на спирте и рапсовом масле, однако при этом потребуется соответствующая перерегулировка топливной аппаратуры.

Дизели характеризуются низким эксплуатационным расходом топлива, низким уровнем токсичности ОГ, высоким ресурсом и относительно низкими требованиями для технического обслуживания. Эти факторы делают дизели пригодными для широкого применения:

- силовые установки дизель-генераторов (цилиндровой мощностью до 10 кВт/цилиндр);
- быстроходные двигатели для легковых и грузовых автомобилей (цилиндровой мощностью до 37 кВт/цилиндр);

- двигатели для строительных, сельскохозяйственных машин и машин лесозаготовительной промышленности (цилиндровой мощностью до 50 кВт/цилиндр);
- двигатели для тяжелых грузовиков, автобусов и тракторов (цилиндровой мощностью до 80 кВт/цилиндр);
- стационарные двигатели, используемые, например, в составе резервных дизель-генераторных установок (цилиндровой мощностью до 160 кВт/цилиндр);
- тепловозные и судовые двигатели (цилиндровой мощностью до 1000 кВт/цилиндр).

К современным двигателям предъявляют жесткие требования по эмиссии вредных веществ с ОГ и шумности. Это привело к высоким требованиям, предъявляемым к дизельным топливным системам и к их управлению:

- высокое давление впрыска;
- формирование требуемой характеристики впрыска;
- регулирование угла опережения впрыска;
- предварительный впрыск топлива (двухфазный впрыск);
- адаптация количества впрыскиваемого топлива (цикловой подачи), давления наддува и угла опережения впрыска к данному рабочему режиму;
- величина пусковой подачи в зависимости от температуры охлаждающей жидкости двигателя и окружающей среды;
- регулирование минимальной частоты вращения холостого хода;
- круиз-контроль;
- управление с обратной связью рециркуляции ОГ;
- жесткие допуски для цикловой подачи и угла опережения впрыска вместе с высокой точностью, которая должна поддерживаться в течение всего срока службы автомобиля.

**Токсичность ОГ дизелей.** При сгорании дизельного топлива образуется широкий спектр продуктов сгорания, которые зависят от конструкции двигателя, его мощности и рабочей нагрузки. Образование токсичных компонентов в значительной степени может быть лимитировано обеспечением полного сгорания топлива, что, в свою очередь, обеспечивается требуемым составом топливовоздушной смеси, точным дозированием цикловой подачи и оптимальной газодинамической структурой (турбулентный вихрь). Основными продуктами реакций горения являются вода ( $H_2O$ ) и безвредный диоксид углерода ( $CO_2$ ), а также далее перечисленные компоненты в относительно низких концентрациях:

- оксид углерода ( $CO$ );
- несгоревшие углеводороды ( $CH$ );
- оксид азота ( $NO_x$ );
- диоксид серы ( $SO_2$ ) и серная кислота ( $H_2SO_4$ );
- частицы сажи.

На холодном двигателе в ОГ находятся такие составляющие, как отличающиеся сильным запахом альдегиды и неокисленные или только частично окисленные углеводороды в форме капель, которые покидают выпу-

скную трубу в виде белого или черного дыма.

Снижение расхода топлива и эмиссии токсичных компонентов с ОГ может быть достигнуто точным выбором угла опережения впрыска, прецизионными форсунками и установкой такого ТНВД, которые будут обеспечивать точное дозирование подачи топлива. Дальнейшее снижение этих основных показателей ДВС может быть достигнуто посредством модифицирования камер сгорания, более точной геометрией факелов впрыскиваемого топлива и повышением давления впрыска.

### 1.3. Внешняя скоростная характеристика двигателя

Внешней скоростной характеристикой двигателя называется зависимость эффективной мощности  $N_e$  и крутящего момента  $M_e$  от частоты вращения коленчатого вала при полной подаче топлива.

Эффективной называется мощность, развиваемая на коленчатом валу двигателя.

Внешняя скоростная характеристика определяет возможности двигателя и характеризует его работу. По внешней скоростной характеристике определяют техническое состояние двигателя. Она позволяет сравнивать различные типы двигателей и судить о совершенстве новых двигателей.

На внешней скоростной характеристике (рис. 1.2 [20]) выделяют следующие точки, определяющие характерные режимы работы двигателя:

- $N_{max}$  – максимальная (номинальная) мощность;
- $n_N$  – частота вращения коленчатого вала при максимальной мощности;
- $M_{max}$  – максимальный крутящий момент;
- $n_M$  – частота вращения коленчатого вала при максимальном крутящем моменте;
- $n_{min}$  – минимальная частота вращения коленчатого вала, при которой двигатель работает устойчиво при полной подаче топлива;
- $n_{max}$  – максимальная частота вращения.

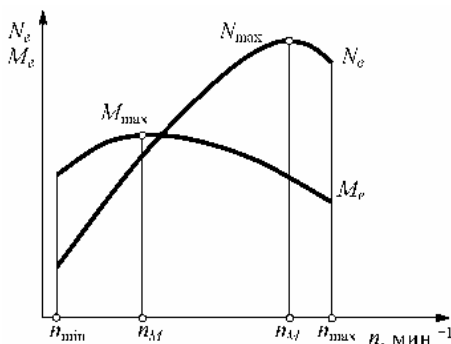


Рис. 1.2. Внешняя скоростная характеристика двигателя

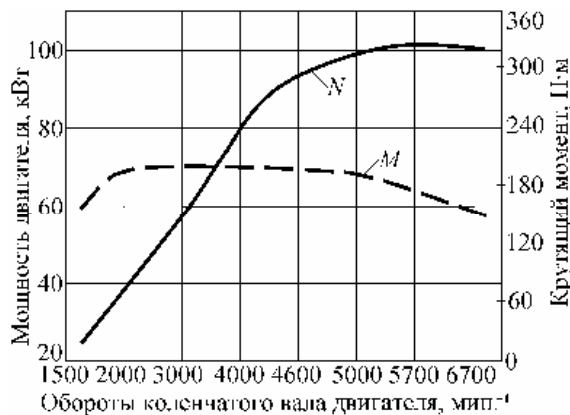
Из характеристики видно, что двигатель развивает максимальный момент при меньшей частоте вращения, чем максимальная мощность. Это необходимо для автоматического приспособления двигателя к возрастающему сопротивлению движения. Например, автомобиль движется по горизонтальной дороге при максимальной мощности двигателя и начинает преодолевать подъем. Сопротивление дороги возрастает, скорость автомобиля и частота вращения коленчатого вала уменьшаются, а крутящий момент увеличивается, обеспечивая

возрастание тяговой силы на ведущих колесах автомобиля. Чем больше увеличение крутящего момента при уменьшении частоты вращения, тем выше приспособляемость двигателя и тем меньше вероятность его остановки.

Для бензиновых двигателей увеличение (запас) крутящего момента достигает 30 %, а у дизелей – 15 % [20].

В эксплуатации большую часть, времени двигатели работают в диапазоне частот вращения  $n_M - n_N$ , при которых развиваются соответственно максимальные крутящий момент и эффективная мощность.

Внешнюю скоростную характеристику двигателя строят по данным результатов его испытаний на специальном стенде. При испытаниях с двигателя снимают часть элементов систем охлаждения, питания и др. (вентилятор, радиатор, глушитель и др.), без которых обеспечивается его работа на стенде. Полученные при испытаниях мощность и крутящий момент приводят к нормальным условиям, соответствующим давлению окружающего воздуха 1 атм. и температуре 15 °С. Эти мощность и момент называются стендовыми, и они указываются в технических характеристиках, инструкциях, каталогах, проспектах и т. п. (рис. 1.3).



**Рис. 1.3. Внешняя скоростная характеристика автомобиля Volkswagen Golf**

В действительности мощность и момент двигателя, установленного на автомобиле, на 5...10 % меньше, чем стендовые. Это связано с установкой на двигатель элементов, которые были сняты при испытаниях (насос гидросилителя, компрессор и др.). Кроме того, давление и температура при работе двигателя на автомобиле отличаются от нормальных.

При проектировании нового двигателя внешнюю скоростную характеристику получают расчетным способом, используя для этого специальные формулы. Однако действительную внешнюю скоростную характеристику получают только после изготовления и испытания двигателя.

## 1.4. Технические характеристики двигателей

### 1.4.1. Двигатели грузовых автомобилей

В грузовых автомобилях и тракторах нашли широкое применение дизельные двигатели ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238. Внешнескоростные характеристики двигателей приведены на рис. 1.4 и 1.5, а технические характеристики этих двигателей различной модификации представлены в работе [34].

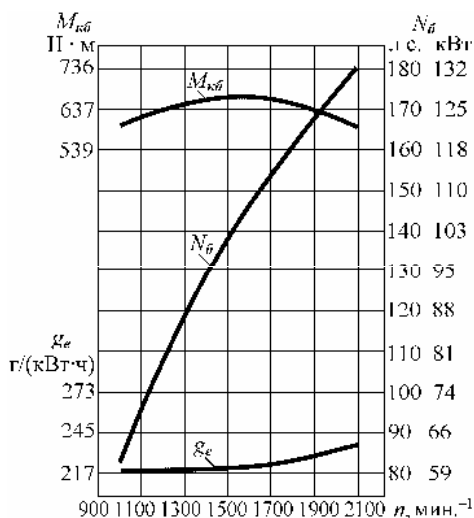


Рис. 1.4. Внешняя скоростная характеристика двигателей модели 236М

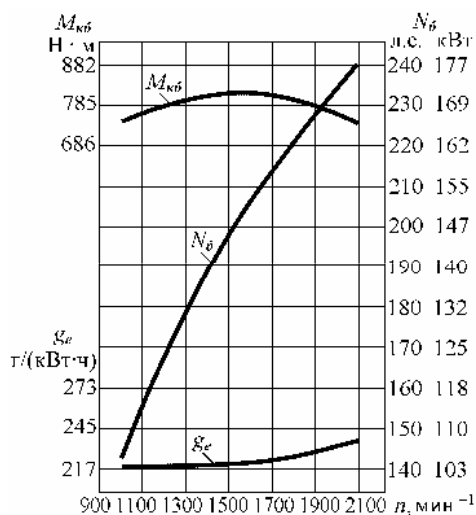


Рис. 1.5. Внешняя скоростная характеристика двигателей модели 238М

**Диагностические параметры дизелей, определяющие необходимость ремонта:**

- эффективная мощность (брутто) на коленчатом валу, кВт, см. табл. 1.1;
- давление масла в главной масляной магистрали двигателя, прогретого до температуры 75...100 °С, МПа, менее:
  - в режиме частоты вращения 2100  $\text{мин}^{-1}$  – 0,4;
  - в режиме минимальной частоты вращения холостого хода – 0,1;
- расход масла на угар, в процентах от расхода топлива – более 0,2;
- минимальная устойчивая частота вращения коленчатого вала – более 650  $\text{мин}^{-1}$ ;
- установившаяся температура охлаждающей жидкости – более 100 °С;
- прогиб ремней при усилии на середине ветви 40 Н, мм, более:
  - привод жидкостного насоса 7...12;
  - привод генератора 10...15;
  - привод компрессора 4...8.

На рабочие характеристики двигателя наибольшее влияние оказывает техническое состояние его деталей и систем, прежде всего, износ деталей цилиндропоршневой группы: цилиндров, поршневых колец и поршней. Неисправность этих деталей также определяет необходимость ремонта двигателя.

Диагностические параметры позволяют определить техническое состояние отдельных механизмов, систем и сборочных единиц, но не дают возможности оценить состояние двигателя в целом.

В настоящее время на смену моделям ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238 разработали двигатели ЯМЗ-650.

Дизельные двигатели ЯМЗ ОАО «Автодизель» последнего поколения ЯМЗ-650 устанавливаются приблизительно на 300 моделях транспортных средств, изготавливаемых в Белоруссии, России и Украине. Основными потребителями являются ОАО «Автомобильный завод «Урал», ОАО «МАЗ», ООО «ЛиАЗ», ХК «АвтоКрАЗ», РУП «БелАЗ», ОАО «Электроагрегат».

Параметры автомобилей КрАЗ, на которые устанавливаются новые двигатели ЯМЗ, приведены в табл. 1.1. Основные параметры и характеристики последних моделей двигателей типа ЯМЗ приведены в табл. 1.2, а их скоростные характеристики и расход топлива – на рис. 1.6, 1.7, 1.8.

Таблица 1.1

**Параметры автомобиля типа КрАЗ-650-С20**

Параметры	Значения
Колесная формула	6×4
Полная масса, кг	33200
Максимальная мощность двигателя $N_{e \max}$ , кВт	266
Тип двигателя	Дизельный с непосредственным впрыском
Частота вращения вала двигателя при максимальной мощности $n_N$ , мин. <sup>-1</sup>	1900
Максимальный крутящий момент, $M_{e \max}$ , Н · м	1700
Частота вращения вала двигателя при максимальном крутящем моменте $n_N$ , мин. <sup>-1</sup>	1200
Передаточные числа коробки передач	
Ik1	13,96
Ik2	7,47
Ik3	5,28
Ik4	3,82
Ik5	2,79
Ik6	1,95
Ik7	1,38
Ik8	1,0
Ik9	0,73
Io	6,731
Шины	315/80R22,5

Таблица 1.2

### Основные параметры и характеристики двигателей типа ЯМЗ

Основные параметры и характеристики	ЯМЗ-650.10	ЯМЗ-6501.10	ЯМЗ-6502.10
1	2	3	4
Тип двигателя	Четырехтактный, с воспламенением от сжатия, турбонаддувом, жидкостным охлаждением, промежуточным охлаждением наддувочного воздуха в теплообменнике типа «воздух-воздух», установленном на автомобиле, передним шестеренчатым приводом агрегатов		
Число цилиндров	6		
Расположение цилиндров	Рядное		
Порядок работы цилиндров	1 – 5 – 3 – 6 – 2 – 4		
Направление вращения двигателя	Правое		
Диаметр цилиндра, мм	123		
Ход поршня, мм	156		
Рабочий объем всех цилиндров, л	11,12		
Степень сжатия	16,4		
Допустимые углы кренов двигателя, град., не более: – продольные – поперечные	25 (35*) 25		
Скоростная характеристика	См. рис. 1.5	См. рис. 1.6	См. рис. 1.7
Номинальная мощность, кВт (л. с.), не менее	303 (412)	266 (362)	230 (311)
Частота вращения коленчатого вала при номинальной мощности, мин. <sup>-1</sup>	1900±25		2000±25
Максимальный крутящий момент, Н·м (кгс·м), не менее	1870 (191)	1670 (170)	1215 (124)
Частота вращения коленчатого вала, соответствующая максимально-му крутящему моменту, мин. <sup>-1</sup>	1200±100		
Частота вращения холостого хода, мин. <sup>-1</sup> : – минимальная – максимальная, не более	700±50 2400±50		
Удельный расход топлива по скоростной характеристике, г/(кВт·ч) (г/(л.с.ч.)): – минимальный, при частоте вращения 1300±100 мин. <sup>-1</sup> – при номинальной мощности	194,5 (143) 217,5 (160)		
Часовой расход топлива при номинальной мощности, кг/ч, не более	67,5	60	52
Относительный расход масла на угар в процентах к расходу топлива, не более	0,1		
Способ смесеобразования	Непосредственный впрыск		
Число клапанов на один цилиндр	Два впускных и два выпускных. Управление клапанами: одно коромысло на два клапана, привод клапанов через траверсы		

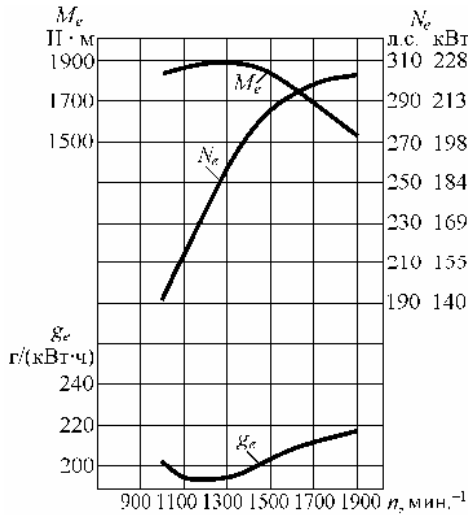
Продолжение табл. 1.2

1	2	3	4
Зазор между траверсой и коромыслом, мм: – впускной – выпускной		0,4 0,7	
Механизм поворота коленчатого вала	На картере маховика в нижней части имеется отверстие, закрытое пробкой. Для проворачивания коленчатого вала необходимо вывернуть пробку и с помощью специального приспособления, вставляемого в это отверстие, проворачивать коленчатый вал		
Система смазки	Смешанная, с «мокрым картером»		
Насос масляный	Шестеренчатого типа, с шестеренчатым приводом, передаточное отношение привода 1,31:1		
Давление масла (в магистрали блока цилиндров) двигателя, прогретого до 80...95 °С, кПа (кгс/см <sup>2</sup> ): – при номинальной частоте вращения – при минимальной частоте вращения, не менее – при срабатывании датчика аварийного давления масла	400...650 (4,0...6,6) 100 (1,0) 60...80 (0,61...0,81)		
Система охлаждения масла	Жидкостно-масляный теплообменник трубчатого типа, выполненный в одном корпусе с фильтром очистки масла и трубой подвода охлаждающей жидкости к блоку цилиндров и установленный на блоке с правой стороны		
Масляные фильтры	Два: полнопоточный фильтр очистки с двумя сменными фильтрующими элементами и фильтр центробежной очистки со сменным патроном. Система смазки включает в себя защитные клапаны		
Система питания Топливная аппаратура	Common Rail System с электронным управлением подачей топлива, обеспечивает давление впрыска топлива до 140 МПа (1400 кг/см <sup>2</sup> )		
Насос топливный	650.1111005 (0 445 020 086) с шестеренчатым топливopодкачивающим насосом и двумя плунжерными секциями высокого давления, с шестеренчатым приводом, передаточное отношение привода 0,5:1, модели CP 2.2+, фирмы Bosch		
Система управления подачей топлива – электронный блок управления (ЭБУ)	650.3763010 (0 281 020 111), микропроцессорный блок модели EDC7UC31 фирмы BOSCH		
Топливные фильтры: – грубой очистки топлива PreLine 420 (PL 420)  – тонкой очистки топлива	Полнопоточный фильтр-отстойник с влагоотделителем, ручным топливозакачивающим насосом и сменным фильтрующим элементом. Фильтр устанавливается на автомобиле. Полнопоточный фильтр с двумя сменными фильтрующими элементами и устройством для автоматического подогрева топлива в холодное время года		

1	2	3	4
Жгут форсунок в сборе	650.3724010 фирмы BOSCH		
Жгут датчиков двигателя в сборе	650.3724012 фирмы BOSCH		
Жгут промежуточный в сборе	650.3724014 фирмы BOSCH (МАЗ) 650.3724017 фирмы BOSCH (Урал)		
Система наддува	Газотурбинная, с охлаждением наддувочного воздуха в теплообменнике типа «воздух-воздух», установленном на автомобиле		
Турбокомпрессор	С радиальной центростремительной турбиной и центробежным компрессором. На двигателях ЯМЗ-6501.10 и ЯМЗ-6502.10 применяется турбокомпрессор другой модели		
Система охлаждения двигателя	Жидкостная, закрытого типа, с принудительной циркуляцией охлаждающей жидкости, оборудована термостатическим устройством для поддержания постоянного теплового режима работы двигателя, рассчитана на всесезонное применение низкозамерзающих жидкостей		
Насос водяной	Центробежного типа, с встроенным термостатом, с шестеренчатым приводом, передаточное отношение привода 1,727:1		
Вентилятор с муфтой включения	Вентилятор Behr 680 с крыльчаткой из пластика и встроенной вискомуфтой Behr ER130 с управлением от ЭСУ двигателя, фирмы Behr GmBH (Германия)		
Электрооборудование Генератор	Модели A004TR5091ZT, номинальным напряжением 28 В, максимальным током нагрузки 90 А, переменного тока. Привод поликлиновым ремнем, передаточное отношение привода 3,2:1, фирмы Mitsubishi Electric Co		
Пусковое устройство	Электрический стартер модели M009T60471, номинальное напряжение 24 В, номинальная мощность 5,5 кВт, фирмы Mitsubishi Electric Co, приводится в действие от аккумуляторной батареи общей емкостью не менее 190 А · ч		
Средство облегчения пуска	На двигателе устанавливаются четыре электрические свечи модели A 0 102 124 416 RVI фирмы Beru Aktiengesellschaft (Германия)		
Реле включения средства облегчения пуска	Модели V23132-B2002-A100 фирмы Tuso Electronics		
Заслонка в системе выпуска отработавших газов	Модели 131K0646 или модели 131KS9316C2, модели 131K0648, фирмы Parker		
Система остановки двигателя типа «J» (моторный тормоз)	Два механизма останова типа «J» с дистанционной деталью (проставкой), установленные под крышкой головки цилиндров с креплением болтами к головке цилиндров		
Компрессор пневмотормозов	Модели 0EB02615, двухцилиндровый, поршневой, с шестеренчатым приводом, передаточное отношение привода 1,31:1, производительностью 500 л/мин при противодавлении 0,7 МПа, фирмы Knorr Bremse (Россия)		

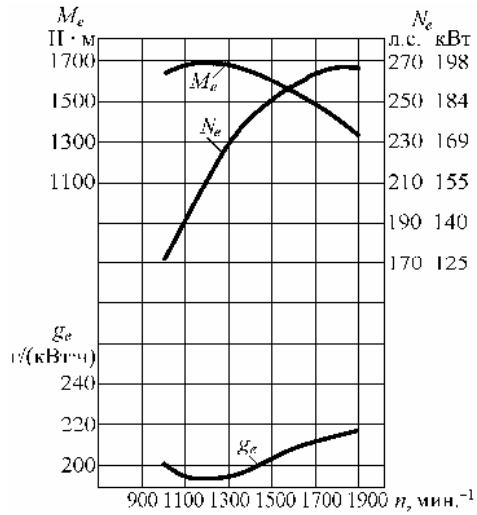
1	2	3	4
Насос гидроусилителя руля	Модели LF78-25-20-150-R-ММВ-78-11 или модели LF78-25-25-150-R-ММВ-78-11 фирмы Ixetic		
Масса незаправленного двигателя, кг	970		

**Примечание:** \* - выполняется для полноприводных автомобилей и других изделий по требованию предприятия-потребителя



**Рис. 1.6. Скоростная характеристика двигателя ЯМЗ-650.10:**

$M_e$  – крутящий момент брутто;  $N_e$  – номинальная мощность брутто;  $g_e$  – удельный расход топлива;  $n$  – частота вращения коленчатого вала



**Рис. 1.7. Скоростная характеристика двигателя ЯМЗ-6501.10:**

$M_e$  – крутящий момент брутто;  $N_e$  – номинальная мощность брутто;  $g_e$  – удельный расход топлива;  $n$  – частота вращения коленчатого вала

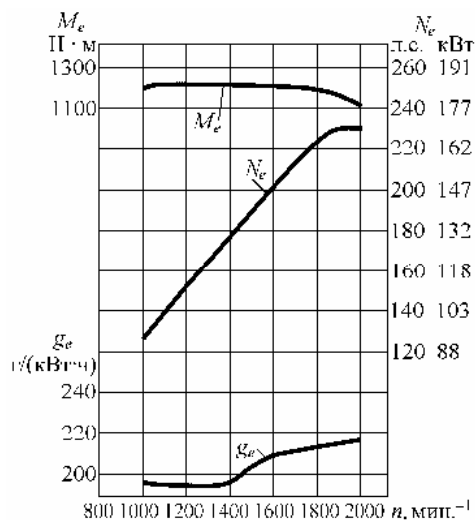
Силовые агрегаты и двигатели рассчитаны на эксплуатацию при температурах окружающего воздуха от минус 60 до плюс 50 °С, относительной влажности воздуха до 98 % при плюс 25 °С, запыленности воздуха до 0,4 г/м<sup>3</sup> и в районах, расположенных до 1500 м без снижения мощностных, экономичных и других показателей и до 4500 м над уровнем моря с преодолением перевалов высотой до 4650 м с соответствующим снижением мощностных, экономичных и других показателей.

**Топливная система Common Rail System (CRS)** двигателей типа ЯМЗ представлена на рис. 1.9. Топливная система аккумуляторного типа, с электронным управлением подачей топлива, производства фирмы Robert Bosch (Германия).

CRS BOSCH с электронным блоком управления обеспечивает:

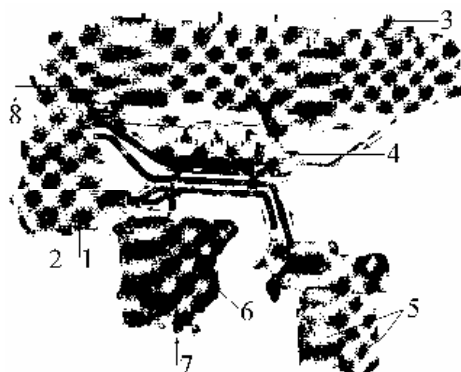
- точную дозировку цикловой подачи топлива для каждого рабочего

- режима;
- регулировку углов опережения впрыска топлива в зависимости от оборотов, нагрузки, температуры;
- легкий пуск двигателя с минимальным выбросом вредных веществ в атмосферу при любых температурных условиях;
- корректировку процесса топливоподачи в зависимости от условий окружающей среды с целью снижения выбросов вредных веществ;
- совместимость с электронным блоком управления автомобиля (ABS, ASR, круиз-контроль и др.).



**Рис. 1.8. Скоростная характеристика двигателя ЯМЗ-6502.10:**

$M_e$  – крутящий момент брутто;  $N_e$  – номинальная мощность брутто;  $g_e$  – удельный расход топлива;  $n$  – частота вращения коленчатого вала



**Рис. 1.9. Топливная система Common Rail:**

1 – топливopодкачивающий насос; 2 – топливный насос; 3 – форсунка; 4 – гидравлический аккумулятор; 5 – фильтр тонкой очистки топлива; 6 – охладитель электронного блока управления; 7 – подвод топлива из топливного бака через фильтр грубой очистки топлива; 8 – слив топлива в топливный бак

Топливная система работает следующим образом: топливо из топливного бака через фильтр-отстойник грубой очистки и охладитель электронного блока управления (см. рис. 1.9) засасывается топливopодкачивающим насосом и под давлением 700...800 кПа (7-8 кгс/см<sup>2</sup>) подается в фильтр тонкой очистки с очень высокой степенью очистки, так как система «Common Rail» более чувствительна к загрязнению, чем системы с обычным плунжерным топливным насосом. Далее топливо поступает в топливный насос высокого давления, который имеет две секции, каждая из которых запитывается через дозирующее устройство с электроклапаном. Из топливного насоса топливо под давлением поступает в общий топливопровод-накопитель (гидроаккумулятор или рампа) и далее по индивидуальному топливопроводу подводится к каждой форсунке.

Форсунки подают топливо под давлением в камеру сгорания, продолжительность впрыскивания определяется длительностью электрического импульса от электронного блока управления двигателя. Пиковый электроимпульс на форсунке характеризуется напряжением до 80 В и током 20 А. Впрыскивание топлива осуществляется ступенчато:

- пилотный впрыск (1...3 %) при ранних углах опережения для снижения шума двигателя;
- основной впрыск (94...96 %);
- дополнительный впрыск после основного для снижения дымности отработавших газов (1...5 %).

Баланс впрыскиваемого топлива для указанных впрысков определяется режимом работы двигателя.

Электрклапаны позволяют регулировать давление топлива, поступающего в надшлунжерное пространство топливного насоса.

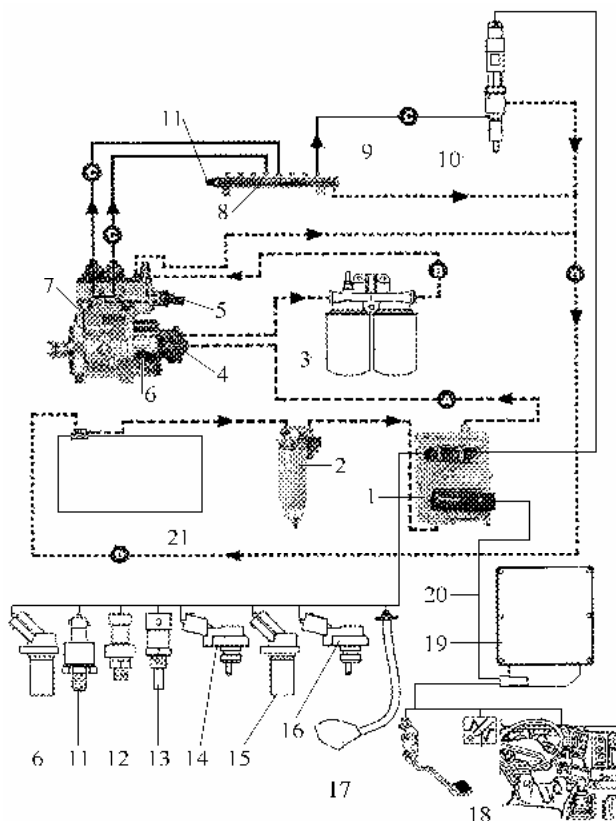
В штуцерах гидроаккумулятора на входе в трубопроводы высокого давления находятся гидравлические ограничители расхода топлива (по одному на каждый цилиндр), которые перекрывают подачу топлива в форсунки при превышении заданной длительности впрыска (например, засорение форсунки). После устранения отказа форсунки нормальная работоспособность ограничителя восстанавливается автоматически.

Датчики (рис. 1.10), расположенные на двигателе, передают информацию на электронный блок управления о работе систем. Электронный блок управления использует эту информацию для управления впрыском и подачи сигнала о работе других систем на приборный щиток и управления исполнительными механизмами, обеспечивающими работу двигателя. Эта информация поступает от следующих датчиков:

- датчик давления топлива в гидравлическом аккумуляторе;
- датчик угла поворота кулачкового вала топливного насоса;
- датчик температуры и давления надвучного воздуха;
- датчик частоты вращения коленчатого вала (на картере маховика);
- датчик дозирующего устройства топливного насоса;
- датчик давления масла;
- датчик температуры охлаждающей жидкости;
- датчик температуры и давления топлива;
- датчик засорения фильтров тонкой очистки топлива;
- датчик режима работы вентилятора.

На рис. 1.11 [2] показана функциональная схема электронного управления дизелем грузового автомобиля Daimler Chrysler, оснащенным рядным ТНВД с дополнительной втулкой. Аналогичные двигатели, выпущенные фирмой MAN и ОАО «Автодизель» (Россия), отвечают нормам предельного содержания токсичных веществ в отработавших газах на уровне Евро-3.

В данной системе управления (рис. 1.11) используются два блока управления. Блок управления автомобилем и двигателем (блок управления FMR) воспринимает сигналы датчиков, контролирующих поведение автомобиля, - скорости движения, педали подачи топлива, включения моторного тормоза и т. д., - и передает управляющие сигналы соответствующим



**Рис. 1.10. Схема топливной системы двигателя типа ЯМЗ-650 грузового автомобиля КрАЗ:**

1 – электронный блок управления двигателем с охладителем (ЭБУ); 2 – фильтр грубой очистки топлива; 3 – фильтр тонкой очистки топлива; 4 – насос топливоподкачивающий; 5 – электромагнитный клапан-дозатор топливного насоса; 6 – датчик частоты вращения вала топливного насоса (датчик фазы); 7 – топливный насос; 8 – гидравлический аккумулятор (рампа); 9 – перепускной клапан; 10 – форсунки; 11 – датчик давления в гидравлическом аккумуляторе; 12 – датчик давления масла; 13 – датчик температуры в контуре системы охлаждения; 14 – датчик давления и температуры воздуха во впускном коллекторе; 15 – датчик частоты вращения коленчатого вала двигателя; 16 – датчик давления и температуры топлива; 17 – муфта отключения вентилятора; 18 – аварийный сигнализатор (Check Engine); 19 – электронный блок управления автомобилем обменивается информацией с ЭБУ двигателя (1) с помощью шлейфа (20). Гидравлические контуры (см. рис. 1.9): А – система всасывания; В – система низкого давления; С – система высокого давления; D – система возврата в топливный бак (21).



**Рис. 1.11. Функциональная схема электронного управления дизельным двигателем, оснащенным рядным ТНВД с дополнительной втулкой:**

1 – блок управления FMR; 2 – блок управления EDC

исполнительным механизмам и блокам управления. В блоке управления FMR заложены поля характеристик и номинальные значения параметров автомобиля, например ограничения по скорости движения, функции темпомата, способ регулирования частоты вращения коленчатого вала на режиме холостого хода или при включении вспомогательных агрегатов.

В блоке электронной системы управления работой дизеля (блок управления EDC) сигналы датчиков перерабатываются в соответствующие управляющие сигналы для исполнительных механизмов двигателя. Этот блок управления является индивидуальным конструктивным элементом, характерным для конкретного двигателя.

Обмен параметрами между блоками управления происходит в цифровом формате по шине CAN (бортовой контроллер связи). Обмен всеми необходимыми параметрами по этим каналам связи происходит по двум проводникам.

Между топливным фильтром и контуром низкого давления ТНВД находится электромагнитный клапан останова двигателя (ELAB), который производит аварийный останов двигателя, например, при заклинивании рейки ТНВД. При включении выключателя стартера и свечей накаливания блок управления подает бортовое напряжение на клапан ELAB, который открывает подвод топлива к контуру низкого давления ТНВД. При аварийном останове двигателя происходит не только закрытие клапана ELAB, но и торможение двигателем за счет приведения в действие заслонки на выпуске отработавших газов. При штатном останове двигателя рейка ТНВД устанавливается возвратной пружиной на нулевую подачу. Клапан ELAB закрывается примерно через семь секунд после выключения выключателя стартера и свечей накаливания.

#### **1.4.2. Двигатели автобусов и микроавтобусов**

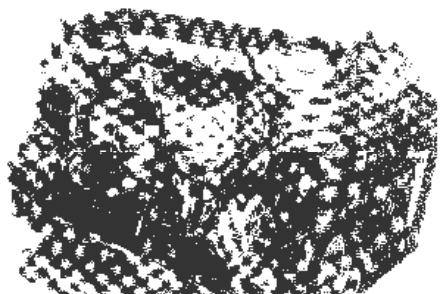
**Автобусы Львовского завода** украинского производства (максимальная скорость 110 км/ч, пассажироместимость 51+1+1); Lemberg MB на шасси Mercedes-Benz DC 500 RF2A; Lemberg MAN (шасси MAN R33i); Lemberg DL (шасси MAN R33i); NeoLAZ-12 на шасси Mercedes-Benz или MAN, AeroLAZ – перронный автобус на перевозку 150 пассажиров комплектуются двигателями соответственно:

- OM457 – Euro-5, 315 кВт;
- MAN D2066 LOH 28 (EEV), 294 кВт;
- Deutz TCD2013 LO 64V (EEV), 235 кВт;
- Deutz BF6M1013FC, Euro-3, шестицилиндровый, 210 кВт;
- Deutz BF6M1013FCP (Euro-2,3), 210 кВт.

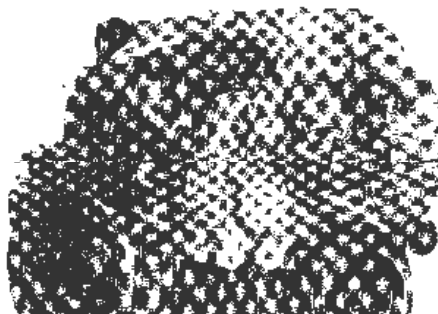
**Двигатели MAN**, разработанные с учетом инновационных технологий чистого дизеля, делают свой вклад в защиту окружающей среды. Плавная работа и низкий уровень шума двигателей MAN обеспечивают комфорт для пассажиров во время длительных поездок. Двигатель MAN D2066 LOH (EEV), применяемый на автобусах Lemberg MAN (рис. 1.12), имеет такие основные характеристики: шестицилиндровый, рядный, четырехтактный, с прямым впрыском. Система впрыска – Common Rail, двигатель с электрон-

ным управлением. Технология обработки отработавших газов – с внешней рециркуляцией (EGR) и системой катализации (SCR).

**Двигатель Deutz** (Германия) имеет аккумуляторную систему DEUTZ Common-Rail-System, комбинируемую с системой нейтрализации отработавших газов. Двигатель Deutz – это высокотехнологичный продукт с высокой удельной мощностью до 33 кВт/л, который имеет компактные размеры и высокое значение соотношения мощности к массе (рис. 1.13).



**Рис. 1.12. Внешний вид двигателя MAN D2066 LOH (EEV)**



**Рис. 1.13. Внешний вид двигателя Deutz**

Он имеет высокую экономичность эксплуатации благодаря малому расходу топлива, продолжительным межсервисным интервалам и легкому доступу ко всем элементам, требующим обслуживания. Его использование существенно увеличивает грузоподъемность автобуса. Высокий крутящий момент и мощность дают возможность легкого старта и разгона даже при полной нагрузке. Низкий уровень шума благоприятен для водителя и окружающей среды. Специфические требования городских автобусов могут быть реализованы с минимальными затратами на базе стандартных опций двигателя.

В Украине выпускаются новые автобусы Lemberg многих модификаций (Львовский завод), Богдан А144 многих модификаций, БАЗ А11110 (Бориспольский завод), РУТА (Часовярский завод) многих модификаций, которые комплектуются зарубежными двигателями. Например, автобусы среднего класса Богдан А102 выпускаются на шасси FAW CAG780D226, Богдан А092 и его модификации построены на шасси и основных агрегатах японских автобусов Isuzu. Автобусы Богдан А091 оснащаются дизельными двигателями 4НГ1. Выборка технических характеристик существующих в мире шестицилиндровых рядных ВМД приведена в табл. 1.3 [3].

Для малотоннажных грузовых автомобилей и автобусов в Украине разрабатывается семейство автомобильных дизелей 4ДТНА2, 6ДТНА1 и 6ДТНА2. Из них двигатели 4ДТНА1 и 4ДТНА2 приняты (в соответствии с техническим заданием) к производству.

Таблица 1.3

**Основные конструктивные и регулировочные параметры современных малолитражных высокооборотных дизелей в шестицилиндровом исполнении**

Фирма/ год начала производства	$D$ , мм	$S$ , мм	$iV/h$ , см <sup>3</sup>	$N_{e\text{ ном}}$ кВт/л.с.	$n_{\text{ном}}$ , мин. <sup>-1</sup>	$M_K \text{ макс.}$ Н · м	$n_{K \text{ макс.}}$ , мин. <sup>-1</sup>	$\varepsilon$	$S/D$	Количество клапанов на цилиндр
Toyota/ 1996	94	100	4164	125/170	3600	360	1800	18,6	1,06	2
Mercedes-Benz/ 2000	88	88,3	3222	145/197	4200	470	1800	18	1,00	4
BMW/ 2001	84	88	2926	142/193	4000	430	2000	18	1,05	4
Opel/ 2003	80	82,8	2496	110/150	4000	300	1750	17,5	1,04	4
LandRover/ 2004	84	88	2926	130/177	4000	390	2000	18,1	1,05	4
BMW/ 2008	84	90	2993	210/286	4400	580	1750	17	1,07	4

Таблица 1.4

**Сравнительный анализ основных технических характеристик дизелей мощностного ряда 4ДТНА**

Наименование показателя и параметра	Дизель				
	Мировая перспектива	Требования российских производителей	4ДТНА1	4ДТНА2	Cummins ISF
Рабочий объем дизеля, дм <sup>3</sup>	2,00	не более 2,5	1,99	1,99	2,781
Номинальная мощность, кВт (л.с.)	82,7 (112,5)	73,5 (100)	73,5 (100)	84,6 (115)	88,3 (120)
Частота вращения при номинальной мощности, мин. <sup>-1</sup>	3900...4000	4000...4200	4200	4200	3200
Максимальный крутящий момент, Н · м	250	220	191	245	297
Частота вращения при максимальном крутящем моменте, мин. <sup>-1</sup>	1800...2000	2000...2500	2200...2600	2200...2400	1600...2700
Минимальный удельный расход топлива, г/(кВт · ч) (г/(л.с. · ч))	230 (170)	218 (160)	245 (180)	210 (150)	245 (180)
Масса дизеля, кг	165	200	140	150	250
Экологические показатели	Euro-4	Euro-3	Euro-3	Euro-4	Euro-3

Сравнение основных технических характеристик, реализуемых в отечественных дизелях 4ДТНА1 и 4ДТНА2, с современными требованиями к перспективным дизелям, с требованиями российских производителей гру-

зопассажи́рских автомобилей и микроавтобусов и фактическое состояние сегодняшнего решения вопросов приведено в табл. 1.4 [3]. Тандем автомобильных двигателей 4ДТНА1 и 4ДТНА2 является вполне конкурентоспособным по топливно-экономичным и экологическим показателям и существенно превышает сегодняшний выбор потенциальных автопроизводителей по уровню форсирования (42,5 кВт/л против 31,8 кВт/л) и по удельной массе (1,8 кг/кВт против 2,85 кг/кВт).

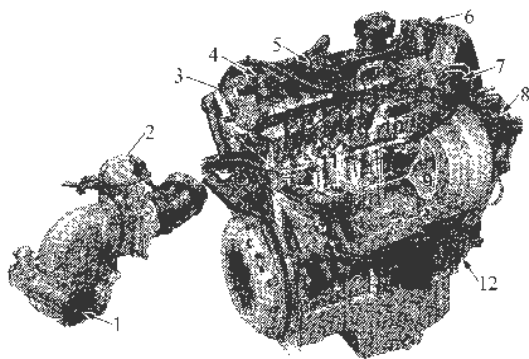
### 1.4.3. Двигатели легковых автомобилей

Технические характеристики ряда двигателей зарубежного производства представлены в табл. 1.5.

**Бензиновый двигатель FSI** концерна Volkswagen (рис. 1.14) с рабочим объемом 1,4 л был первым бензиновым двигателем с прямым впрыском. Несмотря на то, что конструкторам не удалось добиться выполнения первоначально обещанного снижения расхода топлива до 20 %, на бензиновые двигатели с прямым впрыском возлагаются большие надежды в плане экономии топлива.

**Режимы работы FSI.** Бензиновый двигатель с прямым впрыском топлива имеет два или три режима работы. При гомогенном режиме для достижения равномерного распределения смеси топливо впрыскивается в

цилиндр во время такта впуска. Например, в двигателе Volkswagen Lupo FSI коэффициент избытка воздуха в гомогенном режиме работы  $\lambda = 1$ . У более новых двигателей имеется еще один гомогенный режим работы на обедненной смеси с коэффициентом избытка воздуха  $\lambda = 1,5$ . Регулировка мощности осуществляется через угол открытия дроссельной заслонки. В гомогенном режиме расход топлива, мощность и показатели отработавших газов (ОГ) двигателя с прямым впрыском в основном аналогичны соответствующим показателям двигателя с впрыском во впускной коллектор. При полной нагрузке более эффективное, благодаря впрыску топлива, охлаждение поршня снижает температуру в камере сгорания и повышает детонационную стойкость: двигатель может иметь



**Рис. 1.14. Двигатель FSI концерна**

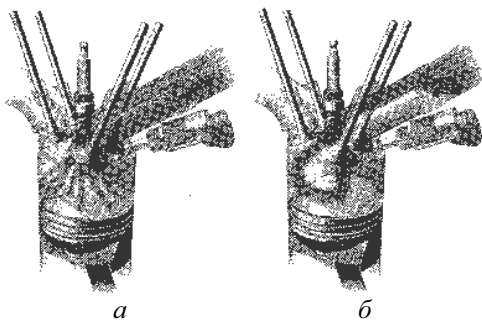
**Volkswagen с рабочим объемом 1,4 л:**

1 – клапан рециркуляции ОГ; 2 – электрическая дроссельная заслонка; 3 – насос высокого давления; 4 – датчик положения распределительного вала; 5 – катушка зажигания; 6 – магнитный клапан регулировки распределительного вала; 7 – вакуумная камера заслонки во впускном трубопроводе; 8 – магнитный клапан заслонки во впускных трубопроводах; 9 – вакуумный аккумулятор заслонки во впускном трубопроводе; 10 – заслонки во впускном трубопроводе; 11 – топливный гидроаккумулятор с форсунками; 12 – вакуумный клапан вентиляции картера двигателя

Таблица 1.5

## Технические характеристики двигателей зарубежного производства

Параметры	Тип двигателя							
	Toyota Corolla 1,6	Volkswagen Golf 1,8	Skoda Octavia 2,0	Hyundai Elantra 2,0	Honda Civic 1,8	Ford Focus 1,6	Citroen C4 1,6	Audi A3 1,6
Расположение двигателя	Спереди, поперечно	Спереди, поперечно	Спереди, поперечно	Спереди, поперечно	Спереди, поперечно	Спереди, поперечно	Спереди, поперечно	Спереди, поперечно
Объем двигателя, см <sup>3</sup>	1598	1781	1984	1975	1797	1560	1587	1595
Тип расположения цилиндров	Рядный	Рядный	Рядный	Рядный	Рядный	Рядный	Рядный	Рядный
Количество цилиндров	4	4	4	4	4	4	4	4
Ход поршня, мм	77	92,8	82,5	81	87,2	88	82	82
Диаметр цилиндра, мм	81	82,5	82	82	81	75	78,5	78,5
Степень сжатия	9,5	10,0	11,5	10,3	10	18,3	11,0	10,5
Количество клапанов на цилиндр	4	4	4	4	4	4	4	4
Система питания	Распределительный впрыск	Распределительный впрыск	Центросредственный впрыск	Распределительный впрыск	Распределительный впрыск	Дизель непосредственного впрыска	Распределительный впрыск	Распределительный впрыск
Мощность при частоте, мин <sup>-1</sup>	110/6000	107/5500	150/6000	139/6000	169/7600	90/4000	110/5750	102/5600
Крутящий момент, Н·м при частоте	145/4800	168/3500	200/3500	182/4900	166/6300	204/1750	147/4000	147/4000
Тип топлива	ЛИ-95	ЛИ-95	ЛИ-95	АИ-95	АИ-95	Дизельное	АИ-95	АИ-95
Газораспределительный механизм	DOHC	OHC	DOHC	DOHC	DOHC	DOHC	DOHC	ОНС
Турбонаддув	-	-	-	-	-	+	-	-



**Рис. 1.15. Режимы работы двигателя FSI концерна Volkswagen с рабочим объемом 1,4 л:**

*а* – в гомогенном режиме работы впрыск топлива осуществляется во время такта впуска; *б* – в режиме работы с послойным смесеобразованием впрыск топлива происходит незадолго перед ВМТ

и спиралеобразному потоку воздуха струя топлива поднимается и направляется к свече зажигания. Таким образом, в области свечи зажигания находится способная к воспламенению смесь, окруженная оболочкой свежего воздуха и отработавших газов, которая при последующем сгорании уменьшает теплоотдачу на стенки камеры сгорания.

Удельный расход топлива уменьшается до 30 %. Регулировка мощности в режиме послойного смесеобразования осуществляется путем изменения количества впрыскиваемого топлива. Коэффициент избытка воздуха  $\lambda$ , составляет от 1,5 до 3. Послойное смесеобразование может применяться только в нижнем диапазоне нагрузок и оборотов, поскольку в верхнем диапазоне оборотов нет времени для смесеобразования, и при полной нагрузке с коэффициентом избытка воздуха  $\lambda = 3$  двигатель не может развить достаточной мощности.

**Система питания бензинового двигателя FSI** с прямым впрыском состоит из контуров низкого и высокого давления. Электронасос в контуре низкого давления через топливный фильтр подает топливо к насосу высокого давления. Регулятор поддерживает давление на постоянном уровне в 0,3 МПа. При пуске прогретого двигателя магнитный клапан перекрывает возвратный трубопровод. Давление во избежание образования пузырьков пара повышается до 0,58 МПа.

В зависимости от режима работы в насосе высокого давления создается давление от 5 МПа на холостом ходу до 10 МПа, начиная с оборотов 4000 мин<sup>-1</sup>. Давление контролируется и регулируется блоком управления через соответствующий датчик и регулятор.

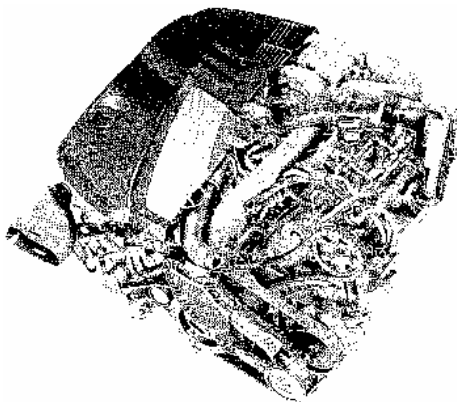
Форсунки открываются с помощью электромагнитов. В фазе пуска напряжение составляет 100 В, а сила тока 16 А. Перед фазой пуска магниты предварительно намагничиваются напряжением 12 В. У двигателей второго поколения предварительное намагничивание не требуется.

более высокую степень сжатия (рис. 1.15, *а*).

В режиме работы с послойным смесеобразованием в цилиндре специально создается неравномерное распределение смеси (рис. 1.15, *б*). Дроссельная заслонка полностью открыта, что уменьшает потери при дросселировании в режиме частичных нагрузок. С помощью специальной заслонки, расположенной во впускном трубопроводе, в камере сгорания создается спиралеобразное движение воздуха (завихрение).

Незадолго перед ВМТ в углубление днища поршня впрыскивается топливо. Благодаря выемке

Дизели V6 модели OM 642, выпускаемый фирмой Mercedes-Benz, (рис. 1.16) оснащены системой впрыска Common Rail третьего поколения. Они предназначены для установки на легковые автомобили классов C, E, M, S и CLK.



**Рис. 1.16. Дизель OM 642 развивает мощность 165 кВт при массе 208 кг, его удельная мощность составляет 0,79 кВт/кг**

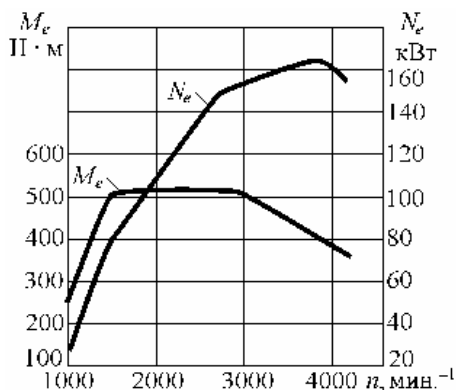
В серийном исполнении двигатель V6 оснащают только одним турбокомпрессором при соответствующем ограничении мощности до 165 кВт при оборотах 3800 мин<sup>-1</sup> и крутящего момента до 510 Н·м при оборотах 1600...2800 мин<sup>-1</sup>. Этот двигатель рабочим объемом 3 л пришел на смену рядным 5- и 6-цилиндровым дизелям, которых он превзошел практически по всем показателям. Несмотря на возможность выполнения норм Евро-4 без сажевого фильтра, продаваемые в Германии, Австрии, Швейцарии и Нидерландах автомобили оснащаются им в базовой комплектации.

Алюминиевый блок цилиндров с залитыми в него чугунными гильзами поставляется фирмой Hydro Aluminium, которая способна изготавливать его в количестве свыше 200 тыс. штук в год. При массе всего 41 кг алюминиевый блок оказался на 35 кг легче чугунного блока, выпускаемого ранее рядного двигателя. Благодаря новой технологии CPS все каналы для охлаждающей жидкости и масла формируются в блоке непосредственно при отливке. Угол развала между рядами цилиндров равен 72°. В развале расположен уравнивающий вал, который противодействует колебаниям, вызываемым моментами сил инерции первого порядка.

Фирма Mercedes-Benz предпочла четырехклапанную систему газораспределения двухклапанной. Четыре распределительных вала приводятся от коленчатого вала через двухрядные втулочно-роликовые цепи. Опоры распределительных валов расположены непосредственно в головках цилиндров, что способствует компактности конструкции и снижению шумности привода газораспределения. Привод клапанов осуществляется через роликовые толкатели с гидроопорами. Благодаря роликам существенно снижены потери на трение в механизме привода клапанов. Уменьшение угла развала клапанов позволило повысить компактность камеры сгорания.

Устанавливаемая на двигатель система Common Rail третьего поколения отличается повышенными до 160 МПа давлениями впрыска и применением пьезоэлектрических форсунок фирмы Bosch. Последние существенно меньше форсунок с электромагнитными клапанами и работают с задержками не более 0,1 мс, обеспечивая впрыск до пяти отдельных порций топлива

за рабочий цикл. Для снижения скорости повышения давления в цилиндрах при сгорании топлива перед подачей основной его дозы дважды производится впрыск запальных порций. Для улучшения смесеобразования число сопловых отверстий распылителя повышено с семи до восьми. Максимальное давление в цилиндрах на некоторых режимах достигает 18 МПа. Помимо изменения параметров впрыска топлива для управления рабочим процессом используется регулируемый посредством электропривода направляющий аппарат турбины турбокомпрессора. Воздух поступает в каждый цилиндр двигателя через два впускных клапана. На определенных режимах работы двигателя один из каналов перекрывается, в результате чего увеличивается интенсивность воздушного вихря в цилиндре.



**Рис. 1.17. Внешняя скоростная характеристика двигателя, устанавливаемого на автомобиль Mercedes-Benz C320 CDI:**

$M_e$  – крутящий момент;  $N_e$  – мощность

Отключение впускных каналов производится также посредством электропривода. Все приводы управления двигателем действуют по командам вновь разработанного контроллера.

Внешняя скоростная характеристика двигателя, устанавливаемого на автомобиль Mercedes-Benz C320 CDI, представлена на рис. 1.17.

**Двигатели автомобиля Škoda Octavia.** Различные модели автомобиля Škoda Octavia комплектуются силовыми агрегатами, отличающимися мощностью, крутящим моментом, типом коробки передач и т. д. При этом применяются дизели, бензиновые двигатели с впрыскиванием бензина во впускной коллектор или непосредственно в цилиндр, с наддувом или без наддува.

Технические характеристики автомобиля Škoda Octavia приведены в табл. 1.6. Внешняя скоростная характеристика двигателя представлена на рис. 1.18.

Автомобиль Škoda Octavia Elegance отличается от других моделей этой марки установкой силового агрегата AGU 1,8 20V Turbo с рабочим объемом 1,8 л, 5 клапанов на цилиндр, с повышенной степенью сжатия, снабженного системой газотурбинного наддува и микропроцессорной системой управления (МПСУ), составными частями которой являются система распределенного впрыска топлива (СРВТ) и программно управляемая система зажигания.

Например, модели двигателей APK, AQY и AZJ имеют одинаковые геометрические размеры, число цилиндров и мощность, в зависимости от типа системы управления (M 5.9.2 или ME 7.5) обеспечивают разные показатели токсичности. Интересно сравнить между собой двигатели моделей

AZJ и AGU. Модель AGU имеет объем цилиндра на 200 см<sup>3</sup> меньше, чем AZJ, но на этом двигателе применен газотурбинный наддув и система управления Motronic ME 7.5.1. В системе Motronic ME 7.5.1 используется электронная педаль, которая позволяет управлять крутящим моментом двигателя, наддувом и положением дроссельной заслонки. Двигатель развивает мощность 110 кВт, удовлетворяет нормам токсичности Евро-4 и обеспечивает постоянный максимальный крутящий момент 210 Н·м в диапазоне частот 1750...4600 мин<sup>-1</sup>.

Таблица 1.6

### Краткая техническая характеристика автомобиля Škoda Octavia

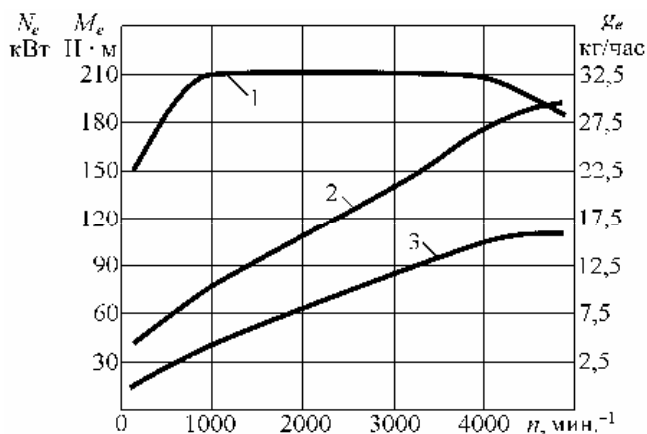
Параметры	Значения
Количество мест, включая место водителя	5
Снаряженная масса автомобиля с водителем, кг	1390
Технически допустимая полная масса автомобиля, кг	1845
Распределение полной массы между осями:	
– на переднюю ось, кг	945
– на заднюю ось, кг	900
Максимальная технически допустимая нагрузка на оси:	
– на переднюю ось, кг	1000
– на заднюю ось, кг	990
Минимальный радиус поворота, м	4,9
Габаритный диаметр поворота (наружный), м	10,8
Максимальная скорость движения на четвертой передаче (водитель + пассажир), км/ч	211
Время разгона автомобиля с места до 100 км/ч, с	9,1
Преодолеваемый уклон, %	43
Шины (размер)	205/55 R16, 225/45 R17
Расход топлива	
– при скорости движения 90 км/ч	6,2 л/100 км
– при скорости движения 120 км/ч	7,9 л/100 км
– по городскому циклу	10,8 л/100 км

**Двигатель модели AGU 1,8 20V Turbo** – четырехтактный четырехцилиндровый рядный двигатель жидкостного охлаждения с принудительным зажиганием, с газотурбинным наддувом, внешним смесеобразованием путем фазированного распределенного впрыскивания бензина во впускной коллектор, имеет 5 клапанов на цилиндр (табл. 1.7).

Система управления двигателем AGU 1,8 20V Turbo микропроцессорная Bosch Motronic ME 7.5.1. Она обеспечивает комплексное управление топливopодачей путем фазированного распределенного впрыскивания бензина во впускной коллектор, газотурбинным наддувом, высокоэнергетической системой зажигания с индивидуальными катушками для каждого цилиндра и системой снижения токсичности с трехкомпонентным нейтрализатором и двумя λ-зондами.

Топливный насос погружного типа, вихревой с электроприводом. Форсунки – электромагнитные клапанные. Способ включения их в работу –

фазированный, что обозначает включение каждой из них один раз за два оборота коленчатого вала по очереди через 180 градусов поворота коленчатого вала в соответствии с порядком работы цилиндров, то есть один раз за полный рабочий цикл двигателя. На одном из распределительных валов установлен диск с выступами и впадинами, который модулирует магнитное поле датчика Холла, расположенного рядом. Сигнал, получаемый на выходе этого датчика, используется контроллером для идентификации номера цилиндра.



**Рис. 1.18. Внешняя скоростная характеристика двигателя Škoda Octavia:**  
1 – крутящий момент  $M_e$ ; 2 – мощность  $N_e$ ; 3 – расход топлива  $g_e$

Таблица 1.7

### Техническая характеристика двигателя AGU 1,8 20V Turbo

Параметры	Значения
Диаметр цилиндра, мм	81,1
Ход поршня, мм	86,41
Рабочий объем цилиндра, см <sup>3</sup>	1781
Степень сжатия	9,5
Мощность номинальная (нетто), кВт при частоте вращения, мин. <sup>-1</sup>	110 5600...5700
Максимальный крутящий момент, Н·м при частоте вращения, мин. <sup>-1</sup>	210 1750...4600
Частота вращения коленчатого вала, мин. <sup>-1</sup> – минимальная – номинальная – максимальная	800...940 5600...5700 5800
Порядок работы цилиндров	1-3-4-2
Топливный насос с электроприводом, форсунки	электромагнитные
Топливо, бензин	A95 TУ 38.001165-87
Плотность топлива, г/см <sup>3</sup>	0,772
Моторное масло	SAE 10W-40

Используется так называемая электронная педаль, позволяющая управлять двигателем в зависимости от потребности автомобиля в крутящем моменте. Управляя наддувом и положением дроссельной заслонки, система обеспечивает постоянный максимальный крутящий момент  $210 \text{ Н} \cdot \text{м}$  в диапазоне частот вращения  $1750 \dots 4600 \text{ мин}^{-1}$  при работе двигателя по внешней скоростной характеристике.

Силовой агрегат двигателя AGU 1,8 20V Turbo автомобиля Škoda Octavia состоит из сцепления, коробки переключения передач с главной передачей и дифференциалом. Дифференциал симметричный, конический, с двумя сателлитами. Передаточные числа КПП: 1-я передача – 3,78; 2 – 2,18; 3 – 1,43; 4 – 1,03; задний ход – 3,44; главная передача – 3,7; шины – 205/55 R16.

Силовые агрегаты автомобилей модельного ряда Škoda Octavia оснащаются системами управления «Motronic» концерна Bosch. В табл. 1.8 приведены основные характеристики бензиновых двигателей этого модельного ряда, позволяющие судить о комплектности и достигаемых показателях, например, по крутящему моменту. Приведены двигатели с наддувом и без наддува, с разными системами управления M 5.9 и ME 7.5, с разной комплектностью систем и разной стратегией управления.

Таблица 1.8

### Характеристики двигателей автомобилей Škoda Octavia

Параметры	Модель двигателя			
	AGU	APK	AQY	AZJ
Диаметр цилиндра, мм	81,0	82,5	82,5	82,5
Ход поршня, мм	86,4	92,8	92,8	92,8
Степень сжатия	9,5	10,5	10,5	10,5
Рабочий объем всех цилиндров, см <sup>3</sup>	1781	1984	1984	1984
Максимальная мощность, кВт	110	85	85	85
Номинальная частота вращения коленчатого вала, мин. <sup>-1</sup>	5700	5200	5200	5200
Максимальный крутящий момент, Н · м, при частоте мин. <sup>-1</sup>	210/ 1750...4600	170/2400	170/2400	170/2400
Газотурбинный наддув	есть	нет	нет	нет
Версия контроллера Motronic	ME 7.5.1	M 5.9.2	M 5.9.2	ME 7.5
Нормы токсичности	Евро-4	Евро-2	Евро-4	Евро-4
Количество λ-зондов	2	1	2	2
Система вторичного воздуха	есть	нет	есть	есть
Изменяемая длина впускного тракта	нет	нет	нет	есть
Количество датчиков детонации	2	2	2	2

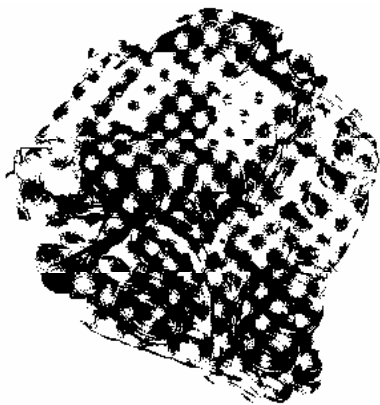
**Двигатель Audi TFSI V6 3,0** с нагнетателем «Roots» 2009 года выпуска, бензиновый с непосредственным впрыском. Технические характеристики систем двигателя:

- шестицилиндровый V-образный двигатель с механическим наддувом (техническая база: двигатель FSI V6 3,2 л);
- топливная система, фильтр с активированным углем, система вы-

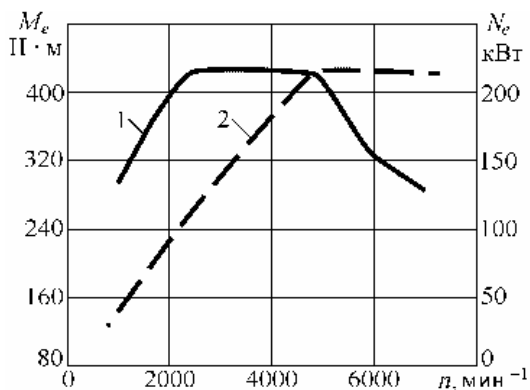
пуска отработавших газов (коллектор для селективного лямбда-регулирования) и система охлаждения двигателя по геометрии и размещению идентичны двигателю FSI V6 3,2 л;

– вакуумная система с механическим вакуумным насосом (по конструкции идентичен насосу для двигателя FSI V6 3,2 л).

Внешний вид двигателя Audi TFSI V6 приведен на рис. 1.19, а внешняя скоростная характеристика – на рис. 1.20.



**Рис. 1.19. Бензиновый двигатель Audi V6**



**Рис. 1.20. Внешняя скоростная характеристика двигателя:**  
1 – крутящий момент  $M_e$ ; 2 – мощность  $N_e$

Технические характеристики двигателей V6, устанавливаемых на автомобили Audi A6 приведены табл. 1.9 и 1.10.

**Технические характеристики двигателей** новых универсальных Audi A6 Avant представлены в табл. 1.11. Четырехцилиндровый дизель оснащен насос-форсунками, а шестицилиндровые дизели оборудованы системой впрыска Common Rail с пьезоэлектрическими форсунками. Шестицилиндровый трехлитровый дизель TDI имеет установленный в развале цилиндров турбокомпрессор и два включенных параллельно охладителя наддувочного воздуха.

Дизель V6 для легковых автомобилей Audi одноименного концерна с рабочим объемом 3 л, мощностью 171 кВт и максимальным крутящим моментом 450 Н·м является лидером среди 6-цилиндровых дизелей для легковых автомобилей. Высокие мощностные показатели достигнуты в результате тщательной отработки конструкции и применения системы впрыска Common Rail третьего поколения. (рис. 1.21).

Высокие мощность и динамика дизеля сочетаются с низкой шумностью и высокой плавностью хода. Особой заслугой разработчиков является снижение выброса вредных веществ с отработавшими газами до уровня норм Евро-4 без применения сажевого фильтра – и это для автомобилей высшего класса Audi A8 с автоматической трансмиссией и постоянным полным приводом.

Таблица 1.9

**Технические характеристики двигателей V6, устанавливаемых  
на автомобили Audi A6**

Характеристика	Модели двигателей			
	2,4 л MPI	2,8 л FSI	3,2 л FSI	3,0 л TFSI
Рабочий объем, см <sup>3</sup>	2393	2773	3123	2995
Ход поршня, мм	77,4	82,4	92,8	89
Диаметр цилиндра, мм	81	84,5	84,5	84,5
Ход поршня/диаметр цилиндра	0,96	0,98	1,10	1,05
Степень сжатия	10,3:1	12,0:1	12,5:1	10,5:1
Расстояние между цилиндрами, мм	90	90	90	90
Смещение ряда цилиндров, мм	18,5	18,5	18,5	18,5
Диаметр коренного подшипника, мм	58	58	65	65
Диаметр шатунного подшипника, мм	50	54	56	56
Длина шатуна, мм	159	159	154	153
Высота блока, мм	228	228	228	228
Макс. мощность при частоте вращения, кВт при мин <sup>-1</sup>	130 при 6000	154 при 5250	188 при 6500	213 при 4800...7000
Макс. крутящий момент при частоте вращения, Н · м при мин <sup>-1</sup>	230 при 3000	280 при 3000...5000	330 при 3250	420 при 2500...4850
Октановое число топлива	95	95	95	95

Таблица 1.10

**Ходовые характеристики в сравнении: двигатель V6 FSI 3,2 л и двигатель  
V6 TFSI 3,0 л, устанавливаемые на Audi A6**

Характеристика	Модель двигателя	
	Audi A6 3,2 л FSI 188 кВт/330 Н · м tiptronic quattro 2008 модельный год	Audi A6 3,0 л TFSI 213 кВт/420 Н · м tiptronic quattro 2009 модельный год
0...100 км/ч, с	7,1	6,3
Эластичность в положении движения D, км/ч	80...120	80...120
Максимальная скорость, км/ч частота, мин <sup>-1</sup> /передатка	250 6350/5	250 4500/6
Средний общий расход, л/100 км	10,9	9,6
Эмиссия CO <sub>2</sub> , г/км	259	228

Двигатель разработан на базе ранее выпускавшегося дизеля V6 рабочим объемом 2,5 л, от которого он отличается рядом конструктивных элементов. В частности, зубчатый ремень привода распределительных валов заменен расположенными со стороны маховика цепными передачами, используемыми также для привода уравнивающего вала. Эта конструкция позволила существенно сократить длину двигателя. В каждой головке цилиндров расположены два распределительных вала, связанных между собой через беззаворные зубчатые передачи. Блок цилиндров с углом 90° ме-

жду рядами отливается из чугуна с добавлением графита, прочность которого вдвое выше, чем у серого чугуна. Благодаря этому удалось снизить массу блока на 7 кг.

Таблица 1.11

### Техническая характеристика двигателей Audi

Тип двигателя / рабочий объем, л	Мощность, кВт / при частоте вращения, мин <sup>-1</sup>	Крутящий момент, Н · м / при частоте вращения, мин <sup>-1</sup>
Бензиновый V6/2,4	130/6000	230/3000...5000
Бензиновый V6 FSI/3,2	188/6500	330/3250
Бензиновый V8/4,2	246/6600	420/3500
Четырехцилиндровый дизель TDI/2,0	103/4000	320/1750...2500
Дизель V6 TDI/2,7	132/3300...4250	380/1400...3300
Дизель V6 TDI/3,0	165/4000	450/1400...3250

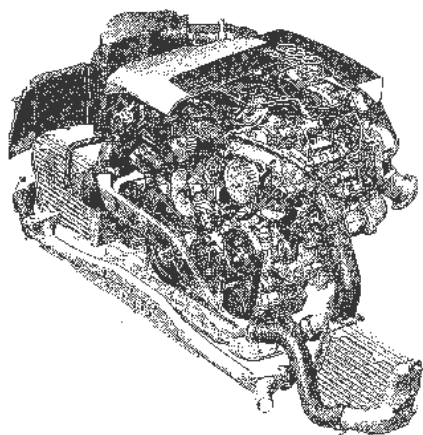


Рис. 1.21. Дизель V6 концерна Audi

Чтобы обеспечить снижение выброса вредных веществ до уровня норм Евро-4 без применения сажевого фильтра, пришлось провести ряд мероприятий по оптимизации рабочего процесса.

В приводе клапанов применены безззорные зубчатые передачи и роликовые рычаги, способствующие снижению шума двигателя.

Интенсивность воздушного вихря в цилиндре регулируется посредством заслонки на входе в один из впускных каналов. Поворотом заслонки может быть достигнуто снижение выброса вредных веществ или повышена мощность двигателя.

При применении четырехклапанной системы газораспределения воздух поступает в каждый цилиндр двигателя через два впускных канала, закручивающих его поток вокруг оси цилиндра. На входе в один из каналов установлена заслонка, по мере закрытия которой увеличивается скорость воздуха, поступающего через второй канал и соответственно возрастает интенсивность вращения воздуха в цилиндре. Усиление воздушного вихря способствует улучшению смесеобразования и снижению образования сажевых частиц. При работе двигателя при пониженных частотах и небольших нагрузках заслонка полностью закрывается, обеспечивая максимальную интенсивность вихреобразования. По мере повышения нагрузки заслонка открывается, снижая интенсивность вращения воздуха в цилиндре. При работе двигателя с высокой частотой вращения вала и большой нагрузкой заслонка открывается полностью, так как на этих режимах в первую очередь

требуется хорошее наполнение цилиндров двигателя воздухом.

В результате улучшения смесеобразования степень сжатия снизилась до 17 и тем самым уменьшился выброс оксидов азота.

Снижение выбросов было достигнуто также применением рециркуляции охлажденных отработавших газов. Необходимый для этого жидкостный охладитель установлен в развале блока цилиндров. Чтобы ускорить ввод в действие нейтрализатора при прогреве двигателя, рециркулируемые отработавшие газы перепускаются через байпас в обход охладителя.

Не менее важным было применение турбокомпрессора с регулируемым посредством электродвигателя направляющим аппаратом турбины. Такой привод применен на автомобилях Audi впервые. Это мероприятие, а также снижение потерь тепла газами на пути от цилиндров до турбокомпрессора посредством чехлов, установленных на выпускных коллекторах с зазором, позволил улучшить динамические характеристики двигателя. Максимальное давление воздуха после компрессора ограничено величиной 0,23 МПа.

Устанавливаемая на новом двигателе система впрыска Common Rail третьего поколения с пьезоэлектрическими форсунками способствует повышению КПД системы, позволяет в зависимости от ее настройки снизить выброс частиц и оксидов азота (до 15...20 %), увеличить мощность (до 5 %), улучшить экономичность (до 3 %) и снизить уровень шума (до 3 дБ). Эта примененная впервые на серийных двигателях система характеризуется встроенными в форсунки пьезоклапанами и повышенным (с 140 до 160 МПа) рабочим давлением в аккумуляторе. Каждый пьезоэлемент собирается из нескольких сотен тончайших пластинок, которые расширяются при подаче напряжения на их обкладки. Перемещение конца пьезоэлемента непосредственно передается управляющему клапану форсунки. Эта концепция позволила фирме Bosch впервые реализовать все преимущества пьезопривода в полной мере. Массу подвижных частей привода удалось снизить с 16 до 4 г, а время открытия клапана сократить до 0,1 мс, то есть вдвое меньше, чем у форсунок с электромагнитным клапаном. В результате этого удалось разделить подачу топлива на большее число отдельных впрысков с определенной последовательностью. Запальная доза топлива подается за два предварительных впрыска, а регенерации устанавливаемого по заказу сажевого фильтра способствует дополнительный впрыск, производимый после подачи основной дозы топлива. Новые форсунки отличаются уменьшенным сбросом топлива, что положительно сказывается на общем КПД топливной системы. Топливный насос высокого давления расположен в развале блока цилиндров и приводится от коленчатого вала посредством зубчатого ремня.

Помимо автомобилей А8 компания Audi предполагает оснащать подобным дизелем и другие модели.

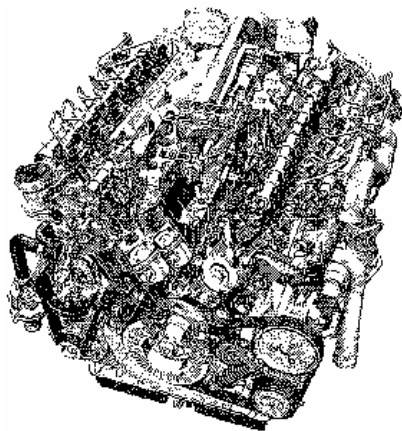
**Бензиновый двигатель компании Audi для модели Q7.** В 2007 г. началась продажа Audi Q7 с новым V-образным шестицилиндровым двигателем рабочим объемом 3,6 л. Он обладает крутящим моментом в 360 Н·м при 2500...5000 мин<sup>-1</sup>. Мощность двигателя составляет 206 кВт (280 л.с.)

при  $6200 \text{ мин}^{-1}$ .

Благодаря тому что угол между цилиндрами составляет всего  $10,6^\circ$ , двигатель V6 необычайно компактен. Его блок цилиндров отливается из серого чугуна. Привод клапанов осуществляется роликовыми толкателями низкого трения с гидравлической регулировкой тепловых зазоров. Распределительные валы привода впускных и выпускных клапанов приводятся цепью. Фазы газораспределения регулируются, что снижает уровень вредных выбросов и расход топлива. В двигателе использована технология непосредственного впрыска топлива FSI, разработанная компанией Audi, позволяющая повысить мощность и КПД двигателя.

Показатели Audi Q7 с новым двигателем: разгон от 0 до 100 км/ч занимает 8,5 с; максимальная скорость 225 км/ч. Модификация, оснащенная адаптивной пневматической подвеской, может разогнаться до 230 км/ч благодаря уменьшению аэродинамического сопротивления при опускании кузова.

**Двенадцатицилиндровый дизель.** Представляя двигатель V12, компания Audi открывает новую страницу в дизелестроении (рис. 1.22). Двигатель рабочим объемом 6 л развивает мощность 500 л.с. и крутящий момент 1000 Н·м. Разгон от 0 до 100 км/ч занимает всего 5,5 с, а максимальная скорость ограничена электроникой на отметке 250 км/ч. Максимальный крутящий момент достигается при  $1750 \text{ мин}^{-1}$ .



**Рис. 1.22. Двенадцатицилиндровый дизель V12-TDI**

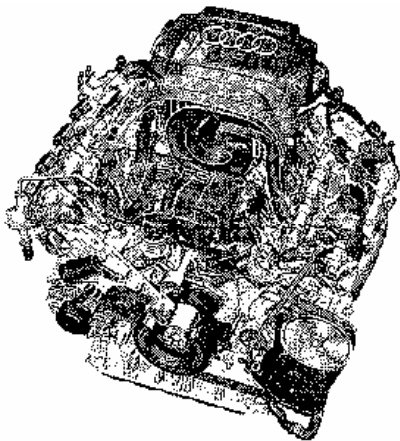
Этот высокотехнологичный дизельный двигатель с системой Common Rail, впервые в мире развивающей давление впрыска 200 МПа, обеспечивает крупному внедорожнику немалый резерв мощности в любой ситуации. Благодаря современной технологии впрыска с использованием пьезофорсунок двигатель работает мягко с минимальным шумом. V12-TDI агрегируется с новой шестиступенчатой коробкой передач и постоянным полным приводом quattro.

Цилиндры двигателя расположены под углом  $60^\circ$  друг к другу. Помимо легкого и высокопрочного блока цилиндров следует отметить новую конструкцию цепной передачи, которая приводит в действие систему впрыска Common Rail.

Двенадцать пьезофорсунок выдерживают давление до 200 МПа. Такое высокое давление впрыска положительно влияет на величину мощности и КПД, одновременно обеспечивая плавность работы. Также следует отметить низкую токсичность отработавших газов. Серийный V12-TDI с двумя турбокомпрессорами соответствует требованиям стандарта Евро-5, который

вступил в силу в 2010 г. Расход топлива укладывается в 11,9 л на 100 км.

**Двигатель 2.8 TFSI** (рис. 1.23). Компания Audi модели А6 оснащает новым бензиновым двигателем рабочим объемом 2,8 л, развивающим 154 кВт (210 л.с.) и максимальный крутящий момент 280 Н·м в диапазоне 3000...5000 мин<sup>-1</sup>. Помимо технологии непосредственного впрыска бензина FSI этот V6 отличается впервые используемой высокоэффективной и в то же время весьма простой технологией управления клапанами – передовой системой Audi valvelift system.



**Рис. 1.23. Шестицилиндровый бензиновый двигатель 2.8 TFSI**

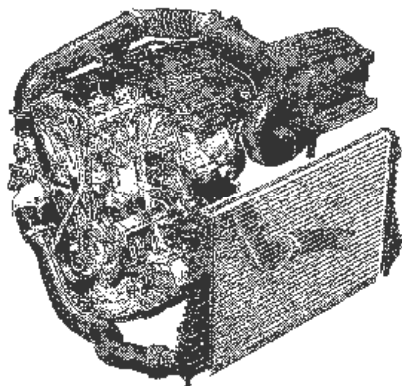
Новая система предназначена для двухступенчатой регулировки высоты подъема клапанов. В отличие от обычных систем, требующих внедрения дополнительных деталей, которые должны переключаться или скользить, чтобы оказаться в рабочем положении, в данной системе используются исполнительные устройства, установленные непосредственно на распределительном валу. Такое решение имеет неоспоримые преимущества в отношении конфигурации кривых подъема клапанов. В системе Audi valvelift system используются основания кулачков, расположенные на распределительном валу впускных клапанов и способные перемещаться в продольном направлении. На них установлены два кулачка, расположенные рядом друг с другом: один кулачок предназначен для малой высоты подъема клапана, второй – для большой. Таким образом, в зависимости от нагрузки на двигатель впускные клапаны открываются с помощью роликовых толкателей клапанов.

Совместно с целым рядом мер по уменьшению трения в различных узлах и деталях двигателя система управления клапанами Audi valvelift system улучшает топливную экономичность на 10 %. Модель А6 с двигателем FSI рабочим объемом 2,8 л расходует всего лишь 8,7 л/100 км бензина в смешанном цикле движения.

Технология непосредственного впрыска топлива позволяет довести степень сжатия двигателя до 12:1, что делает процесс сгорания высоко эффективным. Такие решения, как отлитый из алюминия блок цилиндров массой всего лишь 33 кг и новый масляный насос с двумя ступенями давления, производительность которого изменяется по требованию, продолжают перечень высокотехнологичных новинок.

**Двигатель 1.8 TFSI.** В новом двигателе 1.8 TFSI (рис. 1.24) впрыск топлива производится непосредственно в камеру сгорания при максимальном давлении, увеличенном до 15 МПа. Вдобавок новые форсунки имеют шесть отверстий, а поток воздуха в камере сгорания управляется заслонка-

ми движения заряда. Все это обеспечивает однородность топливовоздушной смеси и эффективность процесса сгорания. Двигатель обладает высокими динамическими и мощностными показателями, а также низким расходом топлива.



**Рис. 1.24. Четырехцилиндровый бензиновый двигатель 1.8 TFSI с турбонадувом**

Насос высокого давления нового типа поддерживает необходимое давление впрыска. Он приводится в действие четырехсторонним кулачком распределительного вала выпускных клапанов. Такое решение снижает токсичность отработавших газов. Трубопроводы высокого давления, по которым топливо подается к форсункам под максимальным давлением, полностью изготовлены из нержавеющей стали. Новые форсунки с большой точностью распределяют сверхтонкие струи топлива по камере сгорания.

Двойной впрыск (распределение подаваемого топлива между тактом впрыска и тактом сжатия) также способствует образованию однородной топливовоздушной смеси и прогреву каталитического нейтрализатора после запуска холодного двигателя.

Турбонагнетатель с жидкостным охлаждением K03 производства Borg Warner обеспечивает оптимальное наполнение цилиндров. Конструкция колеса турбины оптимизирована для улучшения обтекаемости внутри турбонагнетателя, что позволило облегчить управление двигателем на более низких оборотах. В системе впуска изменена конструкция заслонки движения заряда. При  $1000 \text{ мин}^{-1}$  двигатель развивает крутящий момент  $165 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , а максимальное значение достигается в диапазоне  $1500 \dots 4200 \text{ мин}^{-1}$ . Максимальная мощность  $160 \text{ л.с.}$  При степени сжатия  $9,6:1$  модель A3 с механической коробкой передач расходует в смешанном цикле движения всего  $7,3 \text{ л}$  топлива на  $100 \text{ км}$ .

**Двигатель легкового автомобиля KIA Sephia и Daewoo Nexia.** На автомобиле KIA Sephia установлен четырехцилиндровый восьмиклапанный двигатель с одним верхнерасположенным распределительным валом, сконструированный на базе силового агрегата Mazda.

Технические характеристики двигателя автомобиля KIA Sephia, регулировочные данные и характеристики систем смазки и охлаждения приведены в табл. 1.12.

**Система смазки двигателя.** Трохоидный (внутренние стенки выполнены по эпитрохоиде) масляный насос приводится в действие непосредственно от коленчатого вала. Для проверки давления масла в отверстие крепления датчика падения давления следует вернуть манометр. При темпера-

туре масла 80 °С давление составляет 0,195...0,295 МПа при 1000 мин<sup>-1</sup> и 0,295...0,390 МПа при 3000 мин<sup>-1</sup>. Динамический зазор наружного ротора масляного насоса замеряется между наружным ротором и корпусом насоса с помощью пластинчатого щупа. Зазор должен составлять максимум 0,22 мм. Зазор на вершинах зубьев, замеренный между вершинами зубьев внутреннего и наружного роторов, не должен превышать 0,2 мм. Осевой зазор роторов замеряется с помощью пластинчатого щупа и линейки и не должен превышать 0,14 мм. Если замеренные при этих проверках параметры превышают предельные значения, необходимо заменить внутренний и наружный роторы комплектом, в случае необходимости – полностью масляный насос.

Таблица 1.12

### Технические характеристики двигателя автомобиля KIA Sephia

Параметры	Значения
1	2
Тип	SOHC
Количество цилиндров / расположение, установка в двигателе	4 / в ряд / спереди, поперек
Рабочий объем, см <sup>3</sup>	1597
Диаметр цилиндра, мм	78,0
Ход поршня, мм	83,6
Степень сжатия	9,3
Максимальная мощность, кВт/при мин <sup>-1</sup>	60/5000
Максимальный крутящий момент, Н · м/при мин <sup>-1</sup>	125/3500
Регулируемые данные и допуски головки блока цилиндров, мм	
Зазор в клапанах	Регулируется гидравлически
Впускной клапан открывается	14° перед ВМТ
Угол седла клапана тарелка/седло (впускные/ выпускные)	45°/45°
Диаметр стержня клапана: – впускные – выпускные	6,970...6,985 6,965...6,980
Ширина седла клапана, впускные/ выпускные	0,7/0,7
Динамический зазор стержня клапана, впускные/ выпускные	0,025...0,060/ 0,030...0,065
Длина клапана, впускные/ выпускные	103,27...103,77/ 102,17...102,67
Характеристики систем смазки и охлаждения	
Система смазки	
Емкость системы смазки при замене масла, с фильтром/без фильтра, л	3,2/3,0
Давление масла, МПа/при мин <sup>-1</sup>	0,196...0,294/1000
Осевой зазор шестерен масляного насоса в корпусе, мм	до 0,14
Зазор между внутренним и наружным роторами, мм	до 0,20
Зазор между наружным ротором и корпусом насоса, мм	до 0,22

1	2
<b>Система охлаждения</b>	
Емкость системы охлаждения, с системой отопления/ без системы отопления, л	6,0/5,5
Избыточное давление в радиаторе, МПа	0,075/0,105
Термостат открывается, главный клапан/ вспомогательный клапан, °С	86,5...89,5/ 83,5...86,5
Температура включения/выключения вентилятора, °С	91/90
<b>Характеристика системы зажигания</b>	
Свечи зажигания	NGK BPR 5 ES-11
Расстояние между электродами, мм	1,0...1,1
Угол опережения зажигания на холостом ходу	7°±1° перед ВМТ
Катушка зажигания: – сопротивление первичной обмотки, – Ом сопротивление вторичной обмотки, Ом	0,81...0,99 10000...16000
Последовательность зажигания	1-3-4-2
Метка угла опережения зажигания	Коленчатый вал/крышка зубчатого ремня
Первый цилиндр находится	Со стороны распределительных шестерен
<b>Характеристика системы питания</b>	
Тип системы впрыска	MPFI
Давление в системе, МПа	0,265...0,315
Обороты холостого хода, мин. <sup>-1</sup>	750±50
Токсичность ОГ: – СО, % от объема – СО <sub>2</sub> , % от объема – НС, ppm	до 0,5 свыше 14,0 до 100
Сопротивление форсунок, Ом	12...16
<b>Моменты затяжки крепежных соединений двигателя, Н · м</b>	
Головка блока цилиндров	76...81 (производится в три приема)
Коренные подшипники	54...59
Шатунные подшипники	47...50
Приводная шестерня распределительного вала	50...60
Впускной коллектор	19...25
Выпускной коллектор	16...23
Распределительная шестерня коленчатого вала	157...167
Маховик	96...103
Ролик натяжного устройства ремня	19...25
Свечи зажигания	15...23
Крышки клапанов	5...9
Ременный шкив коленчатого вала	12...17
Оси коромысел	22...28

**Система охлаждения двигателя.** Давление открытия клапана в крышке радиатора составляет 0,075...0,105 МПа. Температура включения электровентилятора системы составляет 91 °С, а температура выключения – 90 °С. Термостат имеет главный и вспомогательный клапаны. Главный клапан

пан начинает открываться при 86,5...89,5 °С и при 100 °С полностью открыт, минимальный ход открытия – 8 мм. Вспомогательный клапан открывается при 83,5...86,5 °С и полностью открыт также при 100 °С. Минимальный ход клапана при этом составляет 1,5 мм.

Водяной насос имеет привод от клинового ремня. Он неразборный и поэтому при повреждении его необходимо заменять целиком.

**Двигатель автомобиля Daewoo Nexia** четырехцилиндровый установлен поперечно, имеет два верхнерасположенных распределительных вала и по четыре клапана на цилиндр. Благодаря большому ходу поршня обеспечивается благоприятная характеристика крутящего момента. Головка блока цилиндров из алюминиевого сплава. Блок цилиндров также отлит из алюминиевого сплава, гильзы цилиндров – из чугуна. Коленчатый вал и распределительные вала закреплены на пяти опорах.

Технические характеристики двигателя DOHC 16V автомобиля Daewoo Nexia приведена в табл. 1.13.

Таблица 1.13

### Технические характеристики двигателя автомобиля Daewoo Nexia

Параметры	Значения
1	2
Тип	DOHC 16V
Количество цилиндров	4
Расположение цилиндров в двигателе	В ряд, спереди поперек
Рабочий объем, см <sup>3</sup>	1498
Диаметр цилиндра/ход поршня, мм	76,5/81,5
Степень сжатия	9,2
Максимальная мощность, кВт/при мин <sup>-1</sup>	66/4800
Максимальный крутящий момент, Н · м/при мин <sup>-1</sup>	137/3600
Регулировочные данные и допуски головки блока цилиндров, мм	
Зазор в клапанах(впускные и выпускные)	Регулируется гидравлически
Угол седла клапана тарелка/седло (впускные/ выпускные)	45°/45°
Диаметр стержня клапана: впускные выпускные	5,935...5,950 5,955...5,970
Ширина седла клапана, впускные/ выпускные	1,2/1,6
Динамический зазор стержня клапана: впускные выпускные	0,030...0,065 0,050...0,085
Моменты затяжки крепежных соединений двигателя, Н · м	
Головка блока цилиндров	20/+65°/+65°/+65°/прогреть на холостом ходу/+30...40°
Подшипники: – шатунные – коренные	22/+35° 50/+45...60°
Приводная шестерня распределительного вала	67
Коллекторы (впускной и выпускной)	22
Распределительная шестерня коленчатого вала	155
Маховик	35/+30...45°

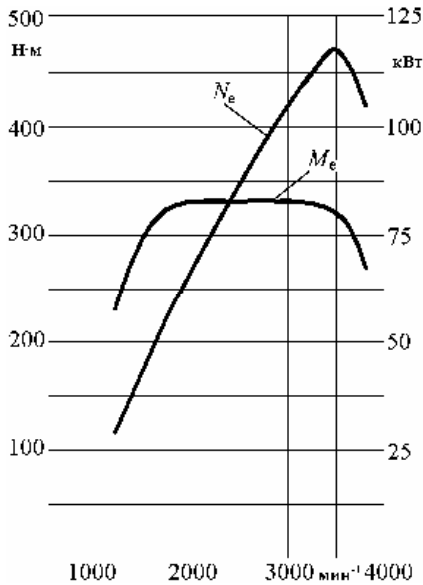
Продолжение табл. 1.13

1	2
Натяжной ролик ремня	25
Свечи зажигания	25
Крышка клапанов	8
Характеристика системы питания	
Тип системы впрыска	MPFI
Давление в системе, МПа	0,28...0,33
Частота вращения на холостом ходу, мин. <sup>-1</sup>	700±50
Токсичность ОГ: – CO, % от объема – CO <sub>2</sub> , % от объема – HC, ppm	до 0,5 свыше 14,4 до 100
Характеристика системы зажигания	
Свечи зажигания	AC Delco R45×LS
Расстояние между электродами, мм	1,0...1,1
Угол опережения зажигания на холостом ходу, град	10 перед ВМТ
Последовательность зажигания	1-3-4-2
Примечания: 1. Метка угла опережения зажигания находится на ременном шкиву коленчатого вала. 2. Первый цилиндр находится у приводных шестерен распределительных валов.	
Характеристики систем смазки и охлаждения	
Объем моторного масла при смене с фильтром, л	3,75
Осевой зазор между ротором масляного насоса и корпусом, мм	0,03...0,10
Емкость системы охлаждения, л	6,2
Избыточное давление в радиаторе, МПа	0,12
Термостат открывается при, °С	87...102
Температура включения/выключения вентилятора, °С: – I ступень – II ступень	90/85 105/102

Таблица 1.14

### Технические характеристики автомобильного дизеля VW TDI AUN

Тип двигателя	Четырехцилиндровый, рядный
Рабочий объем, л	2,798
Номинальная мощность, кВт (л.с)	116 (158)
Диаметр цилиндра, мм	93
Ход поршня, мм	103
Степень сжатия	18,5
Максимальный крутящий момент, Н·м	331 при (1800...3000 мин <sup>-1</sup> )
Система впрыскивания	Непосредственное впрыскивание системой Common Rail с насосом высокого давления Bosch CP3.3
Система наддува	Регулируемый турбокомпрессор с охладителем надувочного воздуха
Топливо	Дизельное топливо с цетановым числом не менее 49 или метиловый эфир рапсового масла (биодизель)
Соответствие нормам токсичности	EURO 4



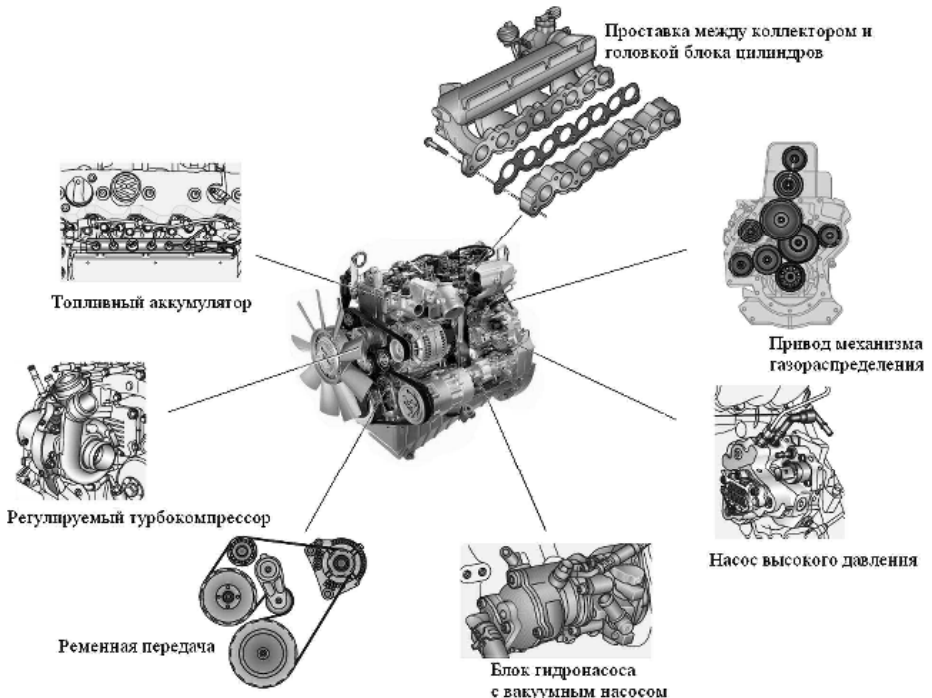
**Рис. 1.25. Внешняя скоростная характеристика дизеля VW TDI AUN**

Система смазки, охлаждения и управления двигателем Daewoo Nexia существенно не отличается от двигателя KIA Sephia.

**Характеристики дизеля для легковых автомобилей фирмы Volkswagen** приведены на рис. 1.25 и в табл. 1.14.

Применявшаяся ранее на 2,8-литровом дизеле с турбонаддувом (модели AGK/ATA) система впрыскивания топлива с распределительным насосом высокого давления заменена системой Common Rail. Для этого потребовалось ввести некоторые изменения в конструкцию двигателя и согласовать его регулировочные параметры. Модернизированный двигатель получил обозначение AUN (рис. 1.25, 1.26).

**Распределительный механизм.** Привод распределительного вала осуществляется от коленчатого вала через



**Рис. 1.26. Четырехцилиндровый дизельный двигатель VW TDI AUN**

ряд промежуточных шестерен. Через шестерни приводятся также насос охлаждающей жидкости, насос высокого давления системы Common Rail и блок гидронасоса и вакуумного насоса. Все шестерни косозубые, с уменьшенным до 3° углом наклона.

**Блок гидронасоса с вакуумным насосом.** На двигателе объемом 2,8 л с системой впрыска Common Rail гидронасос усилителя руля и вакуумный насос были объединены в общий блок.

**Ременная передача.** Особое внимание уделено надежности ременной передачи, которая используется для привода многочисленных вспомогательных агрегатов. Поэтому применявшийся прежде гидронатяжитель был заменен вновь разработанным пружинным натяжителем с фрикционным демпфером. Этот натяжитель позволил найти оптимальное решение, повысившее надежность и долговечность ременной передачи.

**Регулируемый турбокомпрессор.** К преимуществам турбокомпрессора этого типа относится создание оптимального давления наддува в широком диапазоне скоростных режимов двигателя. Преимущество заключается в снижении выбросов вредных веществ уменьшении расхода топлива по сравнению с двигателем предшествующей модели. Через расположенные кольцеобразно вокруг турбинного колеса лопатки постоянно проходит весь поток отработавших газов, направляемый на турбинное колесо. Поворотом лопаток достигается изменение скорости и направления этого потока.

## Контрольные вопросы

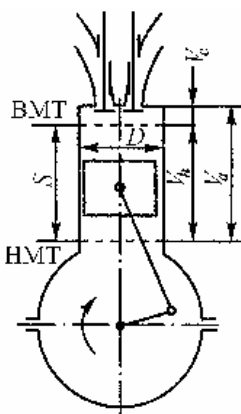
1. Какие типы двигателей применяются в автомобилях?
2. Чем последние модели двигателей ЯМЗ ОАО «Автодизель» отличаются от их традиционной конструкции?
3. На каких типах автомобилей устанавливаются двигатели ЯМЗ современного производства?
4. На каких типах автомобилей КрАЗ устанавливают двигатели ЯМЗ 650?
5. Назвать основные характеристики двигателей ЯМЗ.
6. Какие двигатели устанавливаются на автомобили MAN?
7. Какие двигатели устанавливаются на автобусах производства Львовского завода?
8. Какими двигателями оснащены автомобили моделей «ГАЗель», «Соболь», «Святогор» и АЗЛК? Сравнить их расход топлива.
9. Какие новые двигатели разработаны в Украине?
10. Привести примеры двигателей автомобиля Škoda Octavia, выпускаемых концерном Volkswagen.
11. Привести сравнительные данные экологических характеристик двигателей грузовых и легковых автомобилей.
12. Что определяет внешняя скоростная характеристика двигателя?
13. Почему фактические мощность двигателя и крутящий момент коленчатого вала автомобилей меньше указанных в технической характеристике, каталогах, проспектах и т. п.?

## 2. МЕХАНИЧЕСКИЕ И ГИДРОГАЗОАЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЯ

### 2.1. Основные параметры и свойства двигателей

Работа автомобильного двигателя внутреннего сгорания (ДВС) основана на процессах преобразования химической энергии топлива в механическую работу. От качества протекания этих процессов зависят такие эксплуатационные свойства двигателя как экономичность и токсичность отработавших газов.

Основные структурные параметры ДВС, связанные с его работой приведены на рис. 2.1.



**Рис. 2.1. Основные параметры двигателя:**  
 $S, D, V_h, V_c, V_a$  – структурные параметры

**Верхняя мертвая точка (ВМТ)** – крайнее верхнее положение поршня. В этой точке поршень наиболее удален от оси коленчатого вала.

**Нижняя мертвая точка (НМТ)** – крайнее нижнее положение поршня. Поршень наиболее приближен к оси коленчатого вала.

В мертвых точках поршень меняет направление движения, и его скорость равна нулю.

**Ход поршня ( $S$ )** – расстояние между мертвыми точками, проходимое поршнем в течение одного такта рабочего цикла двигателя.

Каждому ходу поршня соответствует поворот коленчатого вала на угол  $180^\circ$  (пол-оборота).

**Такт** – часть рабочего цикла двигателя, происходящего при движении поршня из одного крайнего положения в другое.

**Рабочий объем цилиндра ( $V_h$ )** – объем, освобождаемый поршнем при его перемещении от ВМТ до НМТ.

**Объем камеры сгорания ( $V_c$ )** – объем пространства над поршнем, находящимся в ВМТ.

**Полный объем цилиндра ( $V_a$ )** – объем пространства над поршнем, находящимся в НМТ:

$$V_a = V_h + V_c.$$

**Рабочий объем (литраж) двигателя** – сумма рабочих объемов всех цилиндров двигателя, выраженная в литрах ( $\text{см}^3$ ).

**Степень сжатия ( $\varepsilon$ )** – отношение полного объема цилиндра  $V_a$  к объему камеры сгорания  $V_c$ , то есть

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_h + V_c}{V_c}.$$

Степень сжатия показывает, во сколько раз сжимается смесь в цилиндре двигателя при ходе поршня из НМТ в ВМТ.

При повышении степени сжатия увеличивается мощность двигателя и улучшается его экономичность.

Однако повышение степени сжатия ограничено качеством применяемого топлива и увеличивает нагрузки на детали двигателя.

Степень сжатия для бензиновых двигателей современных легковых автомобилей составляет 8...10, а для дизелей – 15...22. При таких степенях сжатия в бензиновых двигателях не происходит самовоспламенение смеси, а в дизелях, наоборот, самовоспламенение смеси обеспечивается.

Ход  $S$  поршня и диаметр  $D$  цилиндра определяют размеры двигателя. Если отношение  $S/D \leq 1$ , то двигатель является короткоходным. Большинство двигателей легковых автомобилей короткоходные.

**Индикаторные показатели рабочего цикла двигателя.** Индикаторные показатели характеризуют эффективность действительного рабочего цикла. К индикаторным показателям относятся среднее индикаторное давление  $P_i$ , индикаторная мощность  $N_i$ , индикаторный КПД  $\eta_i$  и индикаторный удельный расход топлива  $g_i$ .

Средним индикаторным давлением называют такое условное, постоянное по величине давление  $P_i$ , которое, действуя на поршень, выполняет работу за один его ход от ВМТ до НМТ, равную полезной работе газов за рабочий цикл. Работа газов равна площади внутри индикаторной диаграммы. Полезная работа газов за один цикл определяется разностью площадей  $F_1$  и  $F_2$ .

Показателем, характеризующим экономичность действительного цикла, является удельный индикаторный расход топлива, равный отношению расхода топлива за час  $G_{\Pi}$  к индикаторной мощности

$$g_i = G_{\Pi}/N_i.$$

Связь между удельным индикаторным расходом топлива и индикаторным КПД выражается следующей формулой:

$$g_i = \frac{3600}{\eta_i \cdot H_U}.$$

**Эффективные показатели двигателей.** Часть индикаторной мощности двигателя расходуется на преодоление трения в сопряженных узлах двигателя и на привод вспомогательных механизмов. Поэтому мощность, которая развивается на валу двигателя и отдается силовой передаче машины, всегда меньше индикаторной. Эта мощность называется эффективной мощностью двигателя и выражается формулой

$$N_э = N_i - N_M,$$

где  $N_э$  – эффективная мощность в кВт;  $N_M$  – мощность механических потерь, затрачиваемая на преодоление трения в сопряженных узлах двигателя, на привод вспомогательных механизмов и газообмен.

Средним эффективным давлением  $P_e$  называют условно постоянное давление, при котором работа газов, выполненная в цилиндрах двигателя за один ход поршня, равна эффективной работе за цикл.

Если составляющие потерь выразить через среднее давление трения, равное работе трения, отнесенной к рабочему объему цилиндра, то

$$P_e = P_i - P_M,$$

где  $P_e$  – среднее эффективное давление, МПа;  $P_M$  – среднее давление механических потерь, МПа.

Среднее давление механических потерь  $P_M$  практически линейно зависит от средней скорости  $V_{II}$  поршня и может быть определено из зависимости

$$P_M = a + b \cdot V_{II},$$

где  $a$  и  $b$  – постоянные коэффициенты, значения которых приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

### Коэффициенты $a$ и $b$ для двигателей

Двигатели	$a$ , МПа	$b$ , МПа
Дизели:		
с неразделенной камерой сгорания	0,105	0,120
с разделенной камерой сгорания	0,65	0,138
Двигатели с искровым зажиганием:		
$S/D > 1$	0,05	0,0155
$S/D < 1$	0,04	0,0135

Эффективная мощность и среднее эффективное давление связаны между собой следующей зависимостью:

$$N_y = \frac{P_e \cdot V_h \cdot i \cdot n}{30 \cdot \tau}.$$

Отношение эффективной мощности к индикаторной мощности называется механическим КПД двигателя

$$\eta_M = \frac{N_y}{N_i} = \frac{P_e}{P_i}.$$

Заменив  $N_y$  и  $P_e$ , получим

$$\eta_M = \frac{N_i - N_M}{N_i} = 1 - \frac{N_M}{N_i}; \quad \eta_M = \frac{P_i - P_M}{P_i} = 1 - \frac{P_M}{P_i}.$$

Механический КПД оценивает потери на преодоление трения в сопряженных узлах двигателя, на привод вспомогательных механизмов и га-

зообмен. К этим потерям относятся потери на трение: поршня о стенки цилиндра, в подшипниках коленчатого и кулачкового валов, деталей распределения, а также потери на привод вентилятора, масляного и водяного насосов, генератора, магнето, прерывателя-распределителя, компрессора, нагнетателя и т. д.

Механический КПД зависит от конструктивных параметров двигателя, материала и качества обработки деталей, качества масла и системы смазки, температурного режима, числа оборотов и нагрузки двигателя, числа и конструкции вспомогательных механизмов и ряда других факторов.

Механический КПД тем выше, чем меньше давление, передаваемое через сопряженные узлы, более совершенная система смазки и выше качество масла, лучшие материалы и качество обработки деталей, меньше потери на привод вспомогательных механизмов.

С увеличением числа оборотов и снижением нагрузки механический КПД уменьшается.

Эффективный КПД является показателем, который характеризует экономичность двигателя. Эффективным КПД называется отношение эффективной работы, выраженной в единицах теплоты, к расчетной теплоте сгорания топлива, израсходованного на получение этой работы.

$$\eta_{\text{э}} = \frac{L_{\text{э}}}{G_{\text{T}} \cdot H_{\text{u}}}$$

Если учесть, что

$$L_{\text{э}} = P_{\text{э}} \cdot V_{\text{h}} = P_{\text{i}} \cdot \eta_{\text{M}} \cdot V_{\text{h}},$$

получим

$$\eta_{\text{э}} = \eta_{\text{M}} \cdot \left( \frac{P_{\text{i}} \cdot V_{\text{h}}}{G_{\text{T}} \cdot H_{\text{u}}} \right)$$

или

$$\eta_{\text{э}} = \eta_{\text{M}} \cdot \eta_{\text{i}}$$

Если индикаторный КПД учитывает только тепловые потери, то эффективный КПД учитывает и тепловые, и механические потери. Для повышения эффективного КПД необходимо повышать как индикаторный, так и механический КПД. Повышение индикаторного КПД может быть достигнуто усовершенствованием рабочего цикла двигателя, а улучшение механического КПД – снижением механических потерь.

Эффективный КПД для одного и того же двигателя не остается постоянной величиной. Он изменяется в зависимости от режима работы, состава смеси, технического состояния двигателя и других факторов.

Эффективный КПД при полной нагрузке находится в пределах:

- бензиновые двигатели: 0,25...0,32;
- дизельные двигатели: 0,33...0,42.

Сравнительные характеристики дизельных и бензиновых двигателей приведены в табл. 2.2.

## Сравнение характеристик дизельного и бензинового двигателей

Характеристика	Дизельный двигатель	Бензиновый двигатель
Степень сжатия	14...24	8...13
Воспламенение	от сжатия	принудительное
Впрыскивание	Необходимо	Возможно
КПД	35...45 %	25...30 %
Температура отработавших газов	700...900 °С	1200 °С

**Структурный параметр** – параметр, непосредственно характеризующий работоспособность или исправность объекта диагностирования (износ, размер детали).

По структурным (конструктивным геометрическим) параметрам определяют состояние сопряженных деталей и механизмов (износ, величина зазоров, люфтов, биений, свободного хода (например, педали), тепловой зазор в клапанных механизмах, размер и форма детали, натяг в сопряжениях деталей и др.).

На реальный процесс изменения структурных параметров оказывает ряд конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов, определяющих их.

**Функциональный параметр** – параметр, изменение которого выше предельного значения обуславливает утрату работоспособности или неисправность составной части. В результате изменения показателей технической характеристики объекта диагностирования.

Функциональные параметры являются техническими и рабочими характеристиками, интегрально отражающими состояние структурных параметров: снижение эффективной мощности двигателя или частоты вращения вала, производительности масляного насоса, давления открытия перепускного и предохранительного клапанов, давление воздуха в шинах, углы установки управляемых колес, напряжение на элементах аккумуляторной батареи.

**Определение оборотов** двигателя. В качестве основного параметра для управления двигателем используется сигнал частоты вращения коленчатого вала. Для этого применяются датчики различных конструкций:

- индуктивные датчики;
- датчики Холла;
- интеллектуальные датчики с распознаванием направления вращения.

Сигнал датчика оборотов используется для следующих расчетов:

- синхронизации при запуске двигателя;
- функции – быстрый старт;
- точного расчета угла положения коленчатого вала;
- определения момента впрыска/зажигания;
- определения скорости вращения коленчатого вала;
- распознавания пропусков зажигания;

- диагностики/контроля работы датчика фазы;
- мониторинга изменения фаз газораспределения.

## 2.2. Механизмы систем ЦПГ, КШМ и ГРМ двигателя, их неисправности и диагностические параметры

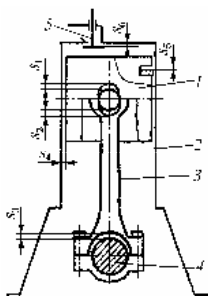
Двигатель автомобиля состоит из целого ряда механизмов и систем.

Бензиновый двигатель и дизель имеют кривошипно-шатунный механизм, газораспределительный механизм, смазочную систему, систему охлаждения и систему питания, а бензиновый двигатель – еще и систему зажигания.

**Кривошипно-шатунный механизм (КШМ)** осуществляет рабочий процесс двигателя, преобразования возвратно-поступательного движения поршней во вращательное движение коленчатого вала.

Кривошипно-шатунный механизм определяет тип двигателя по расположению цилиндров.

В двигателях автомобилей применяются различные кривошипно-шатунные механизмы: однорядные кривошипно-шатунные механизмы с вертикальным перемещением поршней и с перемещением поршней под углом применяются в рядных двигателях; двухрядные кривошипно-шатунные механизмы с перемещением поршней под углом применяются в V-образных двигателях; одно- и двухрядные кривошипно-шатунные механизмы с горизонтальным перемещением поршней находят применение в тех случаях, когда ограничены габаритные размеры двигателя по высоте.



**Рис. 2.2. Схема перемещений нижней головки шатуна и поршня:**

1 – поршень; 2 – цилиндр корпуса двигателя (блок цилиндров); 3 – шатун; 4 – подшипниковый узел скольжения коленчатого вала; 5 – клапаны (впускные и выпускные);  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$  – структурные диагностические параметры

В кривошипно-шатунный механизм входят блок цилиндров с картером и головкой цилиндров, шатунно-поршневая группа и коленчатый вал с маховиком (рис. 2.2).

**Основными диагностическими структурными параметрами ЦПГ** являются (см. рис. 2.2): зазоры «поршень-цилиндр» ( $S_4$ ), зазор между поршнем и кольцом по высоте канавки ( $S_5$ ), зазор в стыках поршневых колец или соответствующие им функциональные зависимости [37].

**Основными методами диагностирования ЦПГ и КШМ** являются компрессия, цвет отработавших газов (ОГ), падение мощности, продукты износа в масле, состав ОГ, уровни вибрации [38].

**Смазочная система** подает масло к трущимся деталям двигателя под давлением или разбрызгиванием. Смазочные системы классифицируются по конструктивным параметрам (с масляным радиатором, без масляного ра-

диатора). Смазочная система включает в себя масляный насос, масляный фильтр, маслопроводы, указатель уровня масла.

**Диагностическими структурными параметрами КШМ** являются: зазоры  $S_1, S_2, S_3$  (см. рис. 2.2) из-за износа шатунных подшипников, поршневых пальцев и втулок; подплавление и выкрашивание вкладышей коренных или шатунных подшипников; эксцентricности и овальности коренных подшипников коленчатого вала; ослабление затяжки болтов подшипников; чрезмерный зазор между полукольцами и упорными поверхностями коленчатого вала при работе на масле несоответствующего сорта и качества. Структурными диагностическими параметрами также являются: трущиеся детали подшипниковых узлов, опор коленчатого вала; зазор  $S_3$  (см. рис. 2.2); зазоры в подшипниковых узлах двигателя и трущиеся поверхности деталей насоса.

Блок цилиндров вместе с картером является остовом двигателя.

**Газораспределительный механизм (ГРМ)** производит открытие и закрытие впускных и выпускных клапанов двигателя. Типы газораспределительных механизмов классифицируются по числу распределительных валов, по типу привода распределительного вала, по числу клапанов на цилиндр.

**Диагностическими параметрами ГРМ** являются: нарушение зазоров между рычагами и кулачками распределительного вала; обгорание, засорение или деформация (износ) клапанов (параметр  $S_6$  на рис. 2.2); ослабление (усадка), поломка клапанных пружин; износ распределительных шестерен, рабочих поверхностей привода клапанов и кулачков; износ клапанов, седла клапанов; уменьшение натяжения ремней, цепи и их износ; температурные изменения размеров толкателей, штанг и коромысел, которые приводят к неплотному прилеганию клапанов, характерному металлическому стуку и повышенному износу деталей ГРМ. Пределы регулировки тепловых зазоров для впускных клапанов – от 0,15 до 0,25 мм, для выпускных – от 0,20 до 0,35 мм и более. Гидравлические компенсаторы зазоров в системе ГРМ обеспечивают его безударную работу и полное закрытие клапанов.

**Система охлаждения** отводит теплоту от сильно нагретых деталей двигателя. Системы охлаждения бывают жидкостные и воздушные. Жидкостная система охлаждения состоит из рубашки охлаждения головки и блока цилиндров, радиатора, насоса, термостата, вентилятора, расширительного бачка соединительных трубопроводов и сливных краников. В систему охлаждения входит также отопитель салона кузова автомобиля. Неисправности системы охлаждения вызывают переохлаждение или перегрев двигателя, повышенный расход охлаждающей жидкости.

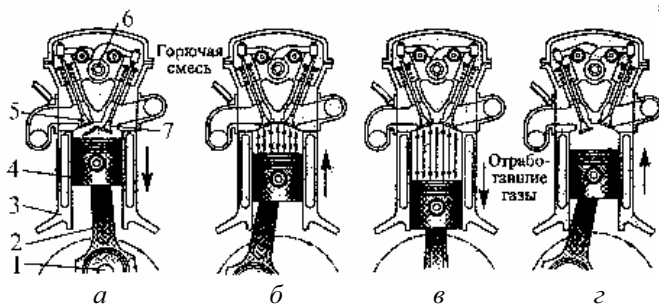
### **2.3. Рабочий процесс (цикл) четырехтактных двигателей и основные быстроизнашивающиеся детали узлов трения, определяющие эффективность работы двигателя**

Рабочий процесс (цикл) четырехтактных двигателей состоит из тактов впуска, сжатия, рабочего хода и выпуска.

Рабочий процесс происходит за четыре хода поршня или за два оборо-

та коленчатого вала.

**Протекание рабочего цикла бензинового двигателя** приведено на рис. 2.3 [20]. При такте впуска (см. рис. 2.3, *а*) поршень 4 движется от ВМТ к НМТ. Выпускной клапан 5 закрыт. Под действием вакуума, создаваемого при движении поршня, в цилиндр 3 поступает горючая смесь (бензина и воздуха) через впускной клапан 7, открытый распределительным валом 6. Горючая смесь перемешивается с остаточными отработавшими газами, образуя при этом рабочую смесь. В конце такта впуска давление в цилиндре составляет 0,08...0,09 МПа, а температура рабочей смеси – 80...120 °С.



**Рис. 2.3. Схемы процессов четырехтактного бензинового двигателя:**

*а* – впуск; *б* – сжатие; *в* – рабочий ход; *г* – выпуск; 1 – коленчатый вал; 2 – шатун; 3 – цилиндр; 4 – поршень; 5 – выпускной клапан; 6 – распределительный вал; 7 – впускной клапан

Такт сжатия (см. рис. 2.3, *б*) происходит при перемещении поршня от НМТ к ВМТ. Впускной и выпускной клапаны закрыты. Объем рабочей смеси уменьшается, а давление в цилиндре повышается и в конце такта сжатия составляет 0,9...1,5 МПа. Повышение давления сопровождается увеличением температуры рабочей смеси до 450...500 °С.

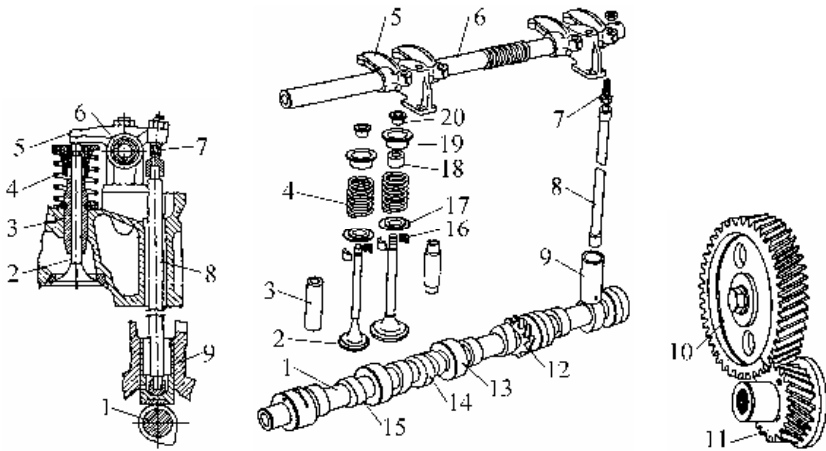
При такте рабочего хода (см. рис. 2.3, *в*) впускной и выпускной клапаны закрыты. Воспламененная в конце такта сжатия от свечи зажигания рабочая смесь быстро сгорает (в течение 0,001...0,002 с). Температура и давление образовавшихся газов в цилиндре возрастают соответственно до 2200...2500 °С и 4...5,5 МПа. Газы давят на поршень, он движется от ВМТ до НМТ и совершает полезную работу, вращая через шатун 2 коленчатый вал 1. По мере перемещения поршня к НМТ и увеличения объема пространства над ним давление в цилиндре уменьшается и в конце такта составляет 0,35...0,45 МПа. Снижается и температура газов до 900...1200 °С.

Такт выпуска (см. рис. 2.3, *г*) происходит при движении поршня от НМТ к ВМТ. Впускной клапан закрыт. Отработавшие газы вытесняются поршнем из цилиндра через выпускной клапан, открытый распределительным валом. Давление и температура в цилиндре уменьшаются и в конце такта составляют 0,1...0,12 МПа и 700...800 °С.

Из рассмотренного рабочего процесса (цикла) следует, что полезная работа совершается только в течение одного такта – рабочего хода. Осталь-

ные три такта (впуск, сжатие, выпуск) являются вспомогательными, и на их осуществление затрачивается часть энергии, накопленной маховиком двигателя, который установлен на заднем конце коленчатого вала, при рабочем ходе.

**Газораспределительный механизм** двигателя с механической системой управления и нижним расположением распределительного вала показан на рис. 2.4 [34]. Газораспределительный механизм верхнеклапанный, с шестеренным приводом и двумя клапанами на цилиндр.



**Рис. 2.4. Газораспределительный механизм двигателя с механической системой управления и нижним расположением распределительного вала:**

- 1 – распределительный вал; 2 – клапан; 3, 20 – втулки; 4 – пружина; 5 – коромысло; 6 – ось; 7 – винт; 8 – штанга; 9 – толкатель; 10, 11, 12 – шестерни; 13 – шейка; 14 – эксцентрик; 15 – кулачок; 16 – сухарь; 17, 19 – шайбы; 18 – колпачок

Механизм включает в себя распределительный вал 1, привод распределительного вала, толкатели 9, штанги 8 толкателей, регулировочные винты 7, ось 6 коромысел, коромысла 5, клапаны 2, направляющие втулки 3 клапанов и пружины 4 с деталями крепления.

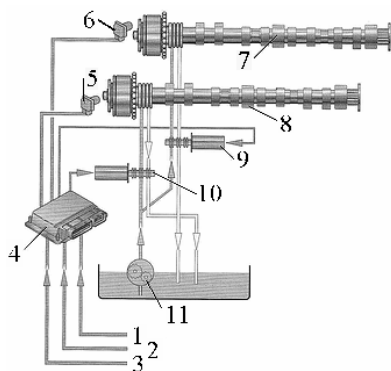
Распределительный вал имеет пять опорных шеек 13, кулачки 15 (впускные и выпускные), шестерню 12 привода масляного насоса и распределителя зажигания, а также эксцентрик 14 привода топливного насоса.

Привод распределительного вала осуществляется через прикрепленную к его переднему концу ведомую шестерню 10, находящуюся в зацеплении с ведущей шестерней 11, установленной на коленчатом валу. Обе шестерни выполнены косозубыми для уменьшения шума и обеспечения плавной работы. Передаточное отношение шестеренного привода – отношение числа зубьев ведущей шестерни к числу зубьев ведомой шестерни и равно 1:2. Это необходимо для того, чтобы за два оборота коленчатого вала распределительный вал совершал один оборот, обеспечивая за полный цикл двигателя открытие впускного и выпускного клапанов каждого цилиндра по одному разу.

Толкатели 9 служат для передачи усилия от кулачков распределительного вала к штангам 8, а их торцы, соприкасающиеся с кулачками, выполнены сферическими. Толкатели перемещаются в направляющих отверстиях блока цилиндров. Штанги 8 передают усилие от толкателей 9 к коромыслам 5, которые предназначены для передачи усилия от штанг к клапанам.

Газораспределительный механизм работает следующим образом. При вращении распределительного вала его кулачки поочередно набегают на толкатели 9 в соответствии с порядком работы цилиндров двигателя. Усилие от толкателей 9 через штанги 8 передается к коромыслам 5, которые, поворачиваясь на оси 6, воздействуют на стержни клапанов 2, преодолевая сопротивление пружин 4 и открывают клапаны. При дальнейшем повороте распределительного вала кулачки сходят с толкателей, которые вместе со штангами и коромыслами возвращаются в исходное положение под действием пружин, закрывающих также клапаны.

Диагностическими параметрами механических систем газораспределительного механизма являются разрегулировка и износ сопряжений шестерен 10, 11, 12, кулачков 15, коромысел 5, втулок подшипников скольжения оси 6, клапанов 2, изменение усилия (усадка) пружин 4 (см. рис. 2.4).



**Рис. 2.5. Система изменения фаз газораспределения двигателя:**

- 1 – частота вращения вала двигателя;
- 2 – расход воздуха и его температура (данные для определения нагрузки двигателя);
- 3 – температура охлаждающей жидкости;
- 4 – блок управления;
- 5 – датчик Холла 2 (G163);
- 6 – датчик Холла 1 (G40);
- 7 – впускной распределительный вал;
- 8 – выпускной распределительный вал;
- 9, 10 – электрогидравлические распределители;
- 11 – масляный насос

Тепловые зазоры между кулачками и рычагами впускных и выпускных клапанов для двигателя модели ВАЗ-2106 должны быть равны 0,15 мм на холодном двигателе и 0,20 мм на прогревом. Для двигателей ЯМЗ величина теплового зазора у впускного и выпускного клапанов устанавливается одинаковой и регулируется в пределах 0,25...0,30 мм.

**Принцип действия системы изменения фаз газораспределения** современного двигателя приведена на рис. 2.5.

Управление системой изменения фаз газораспределения осуществляется блоком управления двигателя. Для этого блок управления должен получать информацию о частоте вращения вала двигателя, его нагрузке и температуре, а также о мгновенном положении коленчатого и распределительных валов.

Кулачковый и коленчатый валы имеют передаточное отношение 1:2. Их положение показывает: в каком такте – сжатие или выпуск – находится поршень при движении к ВМТ. Датчик фазы кулачкового вала передает эту информацию блоку управления. Для про-

изводства сигнала используется эффект Холла. Датчик фазы может быть проверен осциллографом по выходному сигналу и замером опорного напряжения.

Управление положением распределительных валов производится блоком управления посредством электрогидравлических распределителей. Эти распределители открывают каналы подвода масла, расположенные в корпусе механизма газораспределения. Масло из системы смазки двигателя поступает через каналы в корпусе механизма газораспределения и в распределительных валах в гидроуправляемые муфты. Муфты поворачивают распределительные валы в соответствии с командами блока управления двигателем. Поворот впускного вала по фазе производится по сигналам блока управления во всем рабочем диапазоне частот вращения вала двигателя. Диапазон поворота равен  $52^\circ$  по коленчатому валу двигателя. Управление поворотом распределительного вала по фазе осуществляется в соответствии с характеристиками, записанными в памяти блока управления.

Конструкция гидроуправляемой муфты впускного распределительного вала состоит из встроенного в звездочку впускного вала наружного корпуса и неподвижно соединенного с впускным валом ротора.

Целью изменения фаз газораспределения PSA BMW THD-Motor является:

- сдвиг фаз угла поворота в направлении «рано» max  $36^\circ$ ;
- регулирование объема поступающего в двигатель воздуха;
- увеличение мощности двигателя в нижнем диапазоне нагрузок.

Сдвиг распределительного вала в направлении «позже» осуществляется при:

- высоких нагрузках за счет позднего открытия впускного клапана происходит лучшее заполнение камеры сгорания свежим воздухом;
- холостом ходу за счет отсутствия «зоны перекрытия» в камере сгорания нет остаточных ОГ и это способствует более стабильной работе на холостом ходу.

**Компенсация теплового зазора и износа сопрягаемых деталей.** В настоящее время в газораспределительных механизмах двигателей легковых автомобилей для привода впускных и выпускных клапанов находят широкое применение гидравлические толкатели.

Гидравлические толкатели автоматически обеспечивают постоянный (беззазорный) контакт кулачков распределительного вала с клапанами, компенсируют износ сопрягаемых деталей (распределительного вала и клапанной группы) и исключают необходимость регулирования теплового зазора клапанов в эксплуатации.

**Протекание рабочего процесса в дизельном двигателе.** Схема четырехтактного дизеля без вспомогательных агрегатов представлена на рис. 2.6 [10].

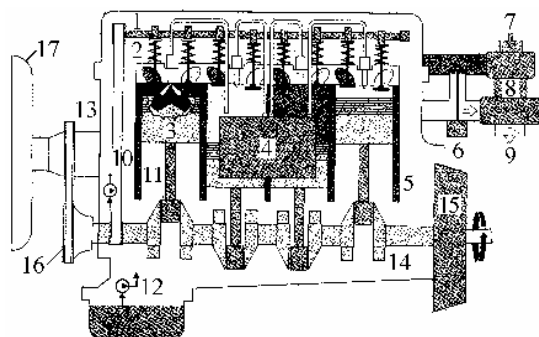
Рабочий процесс четырехтактного дизеля существенно отличается от рабочего цикла бензинового двигателя по смесеобразованию и воспламенению рабочей смеси. основное различие рабочих циклов состоит в том, что в цилиндры дизеля при такте впуска поступает не горячая смесь, а воздух, и

при такте сжатия в цилиндры впрыскивается топливо, которое самовоспламеняется под действием высокой температуры сжатого воздуха, а запасенная в нем химическая энергия преобразуется в механическую работу.

Таким образом, дизель – это двигатель с внутренним смесеобразованием и воспламенением горючей смеси от сжатия.

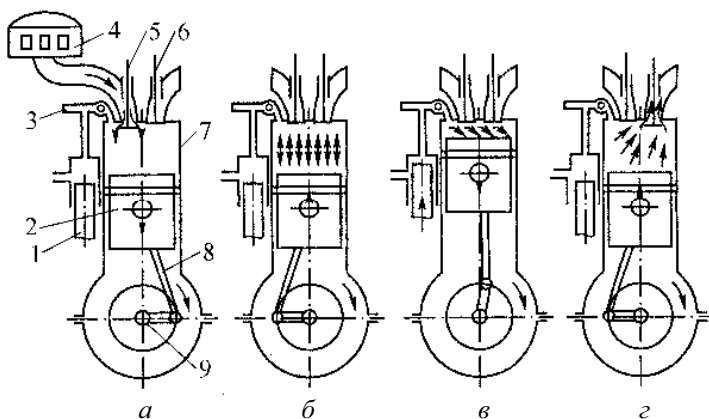
Дизели работают как по двухтактному, так и по четырехтактному принципу. Сегодня на автомобилях используются преимущественно четырехтактные дизели.

Дизель – это двигатель внутреннего сгорания с высокоэффективным КПД (более 50% в крупных низкооборотных версиях). Связанные с этим низкий расход топлива и низкая токсичность ОГ и уменьшенный шум придают этим силовым агрегатам большое значение.



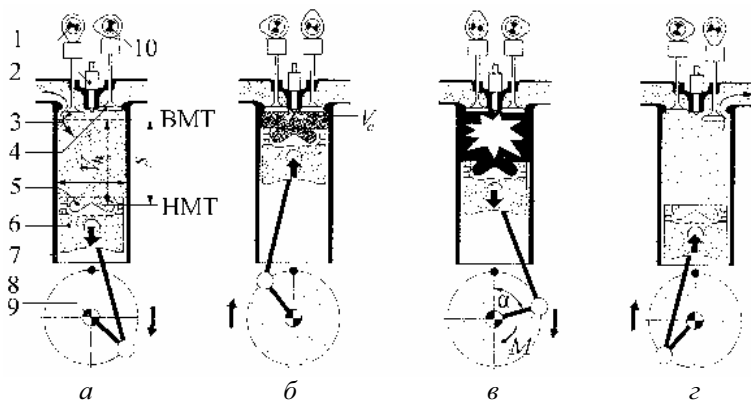
**Рис. 2.6. Четырехтактный дизельный двигатель без вспомогательных агрегатов с микропроцессорным управлением:**

1 – распределительный вал; 2 – клапан; 3 – поршень; 4 – система впрыскивания; 5 – цилиндр; 6 – система рециркуляции ОГ; 7 – впускной трубопровод; 8 – нагнетатель воздуха (турбонагнетатель); 9 – выпускной коллектор; 10 – система охлаждения; 11 – шатун; 12 – система смазки; 13 – блок цилиндров; 14 – коленчатый вал; 15 – маховик; 16 – привод (ремень, цепь); 17 – вентилятор



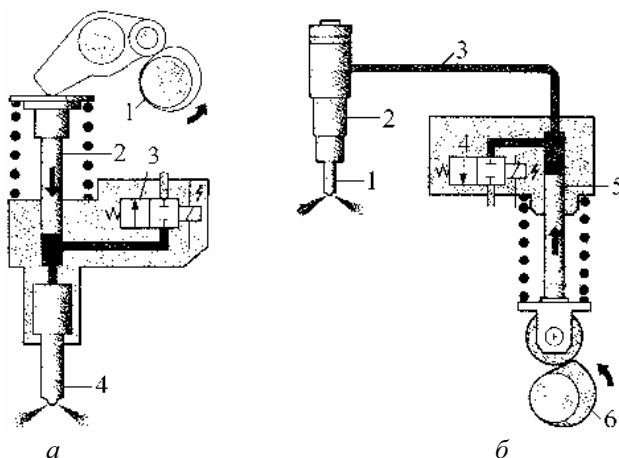
**Рис. 2.7. Схема рабочего процесса четырехтактного дизеля:**

а – впуск; б – сжатие; в – рабочий ход; г – выпуск; 1 – топливный насос; 2 – поршень; 3 – форсунка; 4 – воздушный фильтр; 5 – впускной клапан; 6 – выпускной клапан; 7 – цилиндр; 8 – шатун; 9 – коленчатый вал



**Рис. 2.8. Рабочий цикл четырехтактного дизеля [10]:**

1 – впускной распределительный вал; 2 – форсунка; 3 – впускной клапан; 4 – выпускной клапан; 5 – выемка в днище поршня; 6 – поршень; 7 – стенка цилиндра; 8 – шатун; 9 – коленчатый вал; 10 – выпускной распределительный вал;  $\alpha$  – угол поворота коленчатого вала;  $d$  – диаметр цилиндра;  $M$  – крутящий момент;  $s$  – ход поршня;  $V_c$  – объем камеры сгорания;  $V_n$  – рабочий объем; ВМТ – верхняя мертвая точка поршня; НМТ – нижняя мертвая точка поршня.



**Рис. 2.9. Насос-форсунка (а) и индивидуальный ТНВД (б) с электромагнитным клапаном:**

а: 1 – кулачок привода ТНВД; 2 – плунжер; 3 – электромагнитный клапан высокого давления; 4 – распылитель форсунки;  
 б: 1 – распылитель форсунки; 2 – форсунка; 3 – магистраль высокого давления; 4 – электромагнитный клапан высокого давления; 5 – плунжер; 6 – кулачок привода

В четырехтактном дизеле (рис. 2.6, 2.7 [10, 20]) клапаны механизма газораспределения управляют впуском воздуха и выпуском ОГ. Они открывают или закрывают впускные и выпускные каналы головки цилиндра. Каждый впускной и выпускной канал может иметь один, два или три

клапана.

**Типичные диагностические параметры механических систем ЦПГ и КШМ** показаны на рис. 2.2, износа и изменения регулировки механизмов газораспределительной системы – на рис. 2.5 и 2.6; износ подшипников скольжения коленчатого вала (14, см. рис. 2.6); трущихся поверхностей кулачков и распределительного вала (1, 2, см. рис. 2.6) насосов системы смазки, подачи топлива и охлаждения; нагнетателя воздуха (турбокомпрессор), рис. 2.6, 2.7; закоксовывание и загрязнение проходных отверстий форсунок подачи топлива и его распыления (1, рис. 2.9, б; 4, рис. 2.9, а); кулачков (1, 10, рис. 2.8; 1, 6, рис. 2.9) и коромысел (5, см. рис. 2.4); клапана (5, см. рис. 2.2); электромагнитных клапанов (3, 4, см. рис. 2.8); плунжерных пар насосов и форсунок (2, 5, см. рис. 2.9).

Первым тактом двигателя является впуск (см. рис. 2.7, а), второй – сжатие (б), третий – рабочий ход (в), четвертый – выпуск (г).

Принцип работы механической и электронной систем насос-форсунок и индивидуальными ТНВД показан на рис. 2.1, 2.9 [10].

## **2.4. Гидравлические системы топливоподачи и впрыска топлива**

### **2.4.1. Система питания двигателя топливом**

**Системы питания бензинового двигателя с впрыскиванием топлива** содержат топливный бак, топливный насос, топливный фильтр, воздушный фильтр, форсунки, регулятор давления топлива, топливопровод двигателя, трубы глушителя, резонаторы, глушитель.

Состав воздуха, поступающего в камеру сгорания: кислород (21 %), азот (78 %), инертные газы (1 %), вода, пыль.

Система питания готовит горючую смесь, необходимую для работы двигателя, и обеспечивает выпуск из двигателя отработавших газов.

Горючей смесью называется смесь топлива и воздуха в определенных пропорциях. В зависимости от места и способа приготовления горючей смеси двигателя автомобиля могут иметь различные системы питания. По месту приготовления горючей смеси – в карбюраторе, впускном трубопроводе, в цилиндрах двигателя. По способу приготовления горючей смеси: с пульверизационным приготовлением (в карбюраторном бензиновом двигателе), с впрыском топлива, с непосредственным впрыском топлива. Соотношение количества воздуха и топлива оказывает большое влияние на эмиссию вредных веществ и КПД двигателя.

В случае полного сгорания углеводороды вступают в реакцию с кислородом, образуя двуокись углерода  $\text{CO}_2$  и воду  $\text{H}_2\text{O}$ . Азот воздуха и инертные газы в реакцию не вступают. В действительности полного сгорания не происходит, а азот воздуха и сера топлива образуют вредные соединения: окись углерода  $\text{CO}$ , оксиды азота  $\text{NO}_x$ , несгораемые углеводороды  $\text{HC}$ , твердые частицы (сажу)  $\text{PM}$  и сероводороды  $\text{H}_2\text{S}$ . Выброс вредных веществ дизельных двигателей в режиме частичных нагрузок без нейтрализации отработавших газов в процентах веса составляет всего 0,09 %, из них:  $\text{CO}$  – 0,043 %,  $\text{NO}_x$  – 0,034 %,  $\text{HC}$  – 0,005 %,  $\text{PM}$  – 0,008 %, прочее –

0,001 %.

В богатой смеси (недостаток воздуха) эмиссия CO уменьшается почти в линейной зависимости от увеличения  $\lambda$ , повышается расход топлива, мало  $\text{NO}_x$ , много частиц. В бедной смеси (избыток воздуха) эмиссия очень низка и почти не зависит от  $\lambda$ . В окрестности  $\lambda = 1$  эмиссия CO зависит от равномерного распределения топлива по отдельным цилиндрам. При бедной смеси низкий расход топлива, мало твердых частиц, много  $\text{NO}_x$ .

Точное согласование подготовки смеси и момента ее воспламенения привело к тому, что выброс окиси углерода в современных двигателях резко сократился. Сегодня нормой являются значения меньше 1,5 % объема. Очень большая доля CO всегда является признаком слишком богатой смеси, например, из-за неправильной работы топливно-эмиссионной системы.

Применяются системы питания с приготовлением горючей смеси во впускном трубопроводе и непосредственно в цилиндрах двигателя как в дизельных, так и в бензиновых двигателях.

Системы питания с впрыскиванием топлива обеспечивают лучшее наполнение цилиндров двигателя горючей смесью и лучшую их очистку от отработавших газов. При этом впрыскивание топлива позволяет повысить степень сжатия и максимальную мощность у бензиновых двигателей, уменьшить расход топлива и снизить токсичность ОГ.

Неисправности в системе питания вызывают нарушение смесеобразования (обеднение или обогащение смеси). Такими неисправностями могут быть недостаток воздуха, увеличение отверстий жиклеров, повреждение прокладок под ними, засорение отверстия воздушных жиклеров, негерметичность закрытия клапанов экономайзера и насоса.

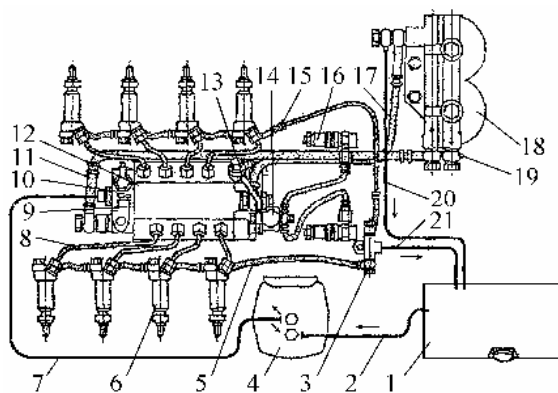
#### **2.4.2. Традиционная электромеханическая топливная система питания дизельного двигателя**

Система питания дизельного двигателя должна обеспечивать точную дозировку и своевременную подачу топлива в каждый цилиндр через равные угловые интервалы, очистку воздуха, которое подается в цилиндры и удаление отработавших газов.

Система низкого давления включает в себя топливный бак, фильтр грубой очистки, фильтр тонкой очистки, топливоподкачивающий насос и топливопроводы низкого давления.

Система высокого давления состоит из насоса высокого давления, форсунок и топливопроводов высокого давления.

Топливоподкачивающий насос дизеля КамАЗ-740 (рис. 2.10) всасывает топливо из бака через фильтры грубой и тонкой очистки. По топливопроводам низкого давления топливо поступает к насосу высокого давления. В соответствии с порядком работы цилиндров насос подает топливо топливопроводами высокого давления к форсункам, которые расположены в головках цилиндров. Форсунки подают топливо в камеры сгорания. Топливоподкачивающий насос подает к насосу больше топлива, чем это необходимо для работы дизеля, поэтому лишнее топливо, а с ним и воздух, попавший в систему, дренажными топливопроводами отводится из насоса и фильтра



**Рис. 2.10. Схема системы питания дизеля КамАЗ-740 с электромагнитной системой управления:**

1 – топливный бак; 2, 5, 7, 8, 11, 13, 15, 17, 19-21 – топливопроводы; 3 – тройник; 4, 18 – фильтры соответственно грубой и тонкой очистки топлива; 6 – форсунка; 9 – ручной подкачивающий насос; 10 – топливоподкачивающий насос; 12 – топливный насос высокого давления; 14 – электромагнитный клапан; 16 – факельная свеча

ется не рабочая смесь, а воздух. Давление воздуха составляет 3...7 МПа, в зависимости от степени сжатия, которое колеблется в пределах 12...21.

Благодаря высокому давлению температура воздуха повышается до 500...800 °С. В этот сжатый воздух под высоким давлением (12...14 МПа) через форсунку впрыскивается топливо, которое испаряется, нагревается до температуры самовоспламенения и сгорает. Все эти процессы происходят за тысячные доли секунды – 20...40° поворота коленчатого вала.

Чтобы топливо полностью испарялось и сгорало, его необходимо распылять на мельчайшие капельки и равномерно распределять их по всему объему камеры сгорания.

Гидравлические системы управления бензиновым двигателем с впрыском топлива несущественно отличаются от таких систем дизельных двигателей; в основном только уровнями давлений топлива в системах.

### 2.4.3. Гидравлическая аккумуляторная топливная система двигателя

**Гидравлический аккумулятор** (рампа) предназначен для накопления запаса топлива с постоянным давлением и подачи его к форсункам. С одной стороны на нем расположен штуцер для контроля за давлением топлива, а с другого – регулятор давления. Регулятор давления изменяет давление в топливном аккумуляторе от 380 до 320 кПа, что зависит от разрежения в ресивере, поддерживая постоянный перепад между ними. Это необходимо для

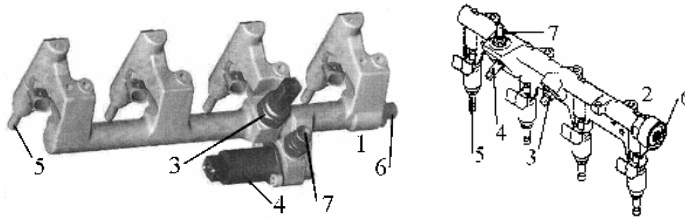
тонкой очистки назад в топливный бак. Топливо, просочившееся через зазор между корпусом распылителя и головкой форсунки, сливается в бак топливопроводами.

Кроме упомянутых приборов в систему питания дизельного двигателя входят также впускной и выпускной трубопроводы, воздушный фильтр, глушитель шума выпуска отработавших газов, регулятор частоты вращения коленчатого вала, указатель уровня топлива в баке, манометр и другие приборы.

В дизельных двигателях нет принудительного зажигания рабочей смеси. В цилиндре двигателя сжимается

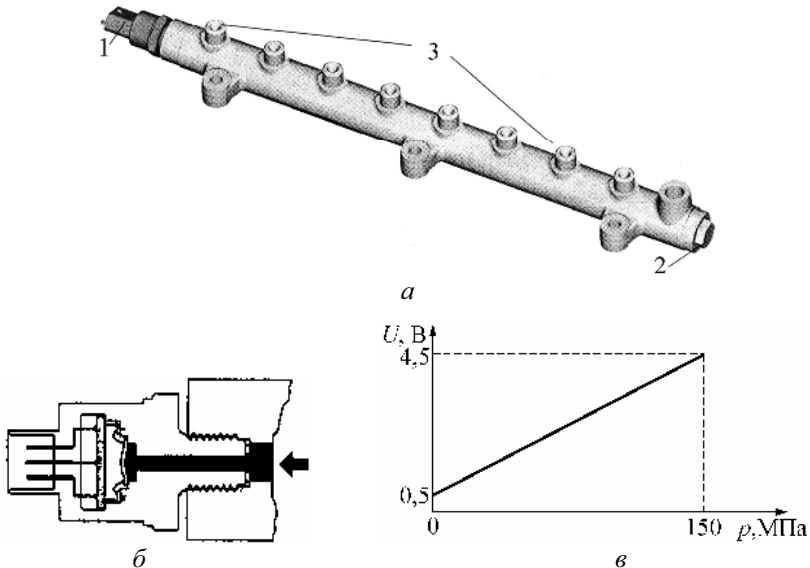
точного дозирования топлива форсунками. Давление топлива в аккумуляторе можно изменять в зависимости от режима работы двигателя. Электрический способ управления клапанами форсунок позволяет, кроме того, оперативно управлять началом и длительностью впрыскивания топлива.

Аккумулятор высокого давления для систем подачи бензина показан на рис. 2.11, дизельного двигателя грузового автомобиля – на рис. 2.12. Устройство одного из вариантов ограничителя расхода топлива показано на рис. 2.13, а, а ограничителя расхода топлива – на рис. 2.13, б. Контур высокого давления аккумуляторной системы показан на рис. 2.14.



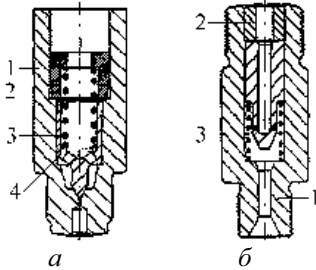
**Рис. 2.11. Аккумулятор для системы топливоподачи:**

1 – Rail C200CGI; 2 – Rail PSA; 3 – датчик; 4 – регулятор давления; 5 – форсунка;  
6 – вход; 7 – обратный слив



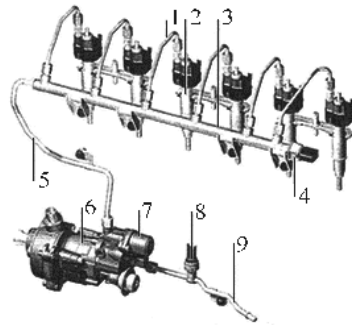
**Рис. 2.12. Аккумулятор высокого давления (а), датчик давления RDS (б) и характеристика RDS (с):**

1 – датчик давления, 2 – клапан ограничения давления, 3 – штуцер высокого давления



**Рис. 2.13. Устройство клапана ограничителя давления в аккумуляторе (а) и ограничителя расхода топлива в цилиндры и управления подачи (б):**

1 – корпус; 2 – регулировочная втулка; 3 – пружина; 4 – поршень

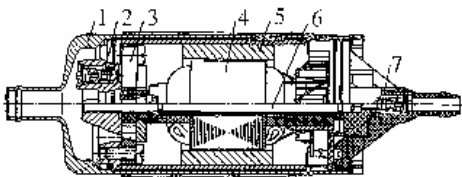


**Рис. 2.14. Контур высокого давления BMW N53:**

1 – трубопровод Rail-Injektor; 2 – Piezo-Injektor (Siemens); 3 – топливный аккумулятор; 4 – датчик высокого давления топлива; 5 – трубопровод HDP-Rail; 6 – трехплунжерный HDP (Siemens); 7 – регулятор подачи топлива; 8 – датчик низкого давления топлива; 9 – трубопровод подачи топлива от ЕКР

## 2.5. Насосы, фильтры и регуляторы высокого давления

**Насос объемного типа** выполнен в виде моноблока (рис. 2.15).



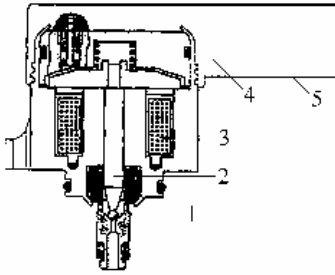
**Рис. 2.15. Конструкция погружного бензонасоса:**

1 – корпус насоса; 2 – предохранительный клапан; 3 – насосный узел; 4 – якорь электродвигателя; 5 – постоянный магнит; 6 – ось электродвигателя; 7 – обратный клапан

В корпусе 1 расположены: насосный узел 3 и электродвигатель постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов 5. Якорь 4 двигателя вместе с коллектором интенсивно охлаждаются топливом. В зоне искрения щеточного узла есть бензин, но нет воздуха, поэтому его загорание принципиально невозможно. Предохранительный клапан 2 соединяет пустоты нагнетания и всасывания, а обратный клапан 7 не дает возможности слива топлива из системы.

**Регулятор давления топлива.** Регулятор по информации, получаемой от датчика давления, поддерживает заданное давление путем сброса части топлива из магистрали высокого давления через исполнительный электромагнитный клапан, представленный на рис. 2.16.

Регулятор давления топлива представляет собой редукционный клапан с раздельной диафрагмой, которая нагружена пружиной. Под действием пружины клапан закрыт. Диафрагма делит полость регулятора на две изолированные камеры: «топливную» и «воздушную». «Воздушная» камера



**Рис. 2.16. Исполнительный электромагнитный клапан регулятора давления:**

1 – шариковый клапан; 2 – толкатель тарельчатого якоря; 3 – обмотка электромагнита; 4 – пружина; 5 – штепсельный разъем

давление топлива снижается. Перепад давления задается жесткостью пружины и размерами отверстия клапана.

Если давление в аккумуляторе отсутствует, пружина 4 держит шариковый клапан 1 в закрытом состоянии. При определенном давлении в аккумуляторе пружина сжимается и клапан открывается. Сила включенного электромагнита закрывает затвор.

Изменение сброса топлива производится широтно-импульсной модуляцией сигнала, подаваемого на электромагнит, которая может быть дополнена частотно-импульсной (широтно-импульсная модуляция – изменение относительной длительности, а частотно-импульсная – частоты). Модуляция изменяет среднее значение относительной длительности открытого положения затвора, а следовательно, и расход топлива через клапан.

Сброс топлива из магистрали высокого давления в бак вызывает дополнительные потери энергии, в частности из-за нагрева топлива в баке. Это может привести к необходимости охлаждения топлива, увеличению ТНВД и мощности его привода. Целесообразно регулирование давления в аккумуляторе осуществлять исполнительными механизмами, действующими на всасывании ТНВД, то есть в магистрали низкого давления. Оптимально по соотношению сложности исполнения и качества управления давлением в аккумуляторе регулирование давления на всасывании ТНВД изменением частоты вращения топливоподкачивающего насоса, в особенности, если он имеет электрический привод.

**Топливоподкачивающий насос.** Наполнение надплунжерного пространства ТНВД обеспечивается топливоподкачивающим насосом. Большинство аккумуляторных систем подачи топлива (АСТП) оснащены подкачивающими насосами шестеренного типа, реже лопастными, встроенными в корпус ТНВД, или электрическими центробежными насосами. Для поддержания постоянного давления подкачки насос оснащен клапаном-регулятором давления, что позволяет поддерживать давление покачивания на уровне

соединена вакуумным шлангом с ресивером, а «топливная» – непосредственно с полостью аккумулятора. При работе двигателя разрежение, преодолевая сопротивление пружины, пытается втянуть диафрагму, открывая клапан. С другой стороны на диафрагму давит топливо, также сжимая пружину. В результате клапан открывается, и часть топлива «стравливается» через сливной трубопровод назад в бак. При нажатии на педаль акселератора разрежение за дроссельной заслонкой уменьшается, диафрагма под действием пружины прикрывает клапан – давление топлива увеличивается. Если же дроссельная заслонка закрыта, разрежение за ней максимальное, диафрагма сильнее оттягивает клапан –

200...300 кПа независимо от режима работы двигателя.

**Топливные насосы и фильтры дизельных двигателей.** Современные дизельные системы состоят из прецизионных элементов, работающих при экстремальных нагрузках. Применение прецизионных элементов требует соблюдения особой чистоты при проведении работ с топливными системами, так как частицы загрязнений размером от 0,2 мм могут привести к неисправностям компонентов, и, соответственно, двигателя. Назначение топливного фильтра – очистка топлива от частиц загрязнений. Этим предотвращаются элементы топливной системы защищаются от преждевременного износа. Топливные системы требуют определенной степени очистки топлива. При этом топливные фильтры должны гарантировать требуемую емкость накопления загрязнений, так как иначе фильтр может быть закупорен до момента очередного ТО. Как правило, топливный фильтр интегрирован в контур низкого давления между электроподкачивающим насосом и ТНВД и расположен в моторном отсеке. Топливные системы могут содержать не только основной фильтр тонкой очистки, но и вспомогательный фильтр предварительной очистки. Следующей задачей топливного фильтра – отделение несвязанной воды и эмульсии, то есть защита от коррозионных повреждений. Вода в несвязанном состоянии и эмульсия (конденсат при перепаде температур) не должны попасть в топливную систему. Растворенная (связанная) вода не повреждает систему топливоподачи. Несвязанная вода, которую топливо не в состоянии больше поглотить, уже в малых концентрациях и через малые промежутки времени способна вызвать неисправности ТНВД. По причине различного поверхностного натяжения воды и топлива на поверхности фильтрующего элемента образуются капли воды, которые и собираются фильтром в сборнике. Уровень воды контролируют датчики, учитывающие, например, проводимость среды. Удаление воды производится вручную посредством сливного винта или нажимного клапана.

Процессы сгорания в дизеле в решающей мере зависят от того, в каком количестве и каким образом нагнетается топливо, с какой степенью оно сжимается, а также как подводится в камеру сгорания. Здесь важнейшими критериями являются:

- момент начала и продолжительность впрыскивания;
- распределение топлива в камере сгорания;
- момент начала воспламенения;
- зависимость количества впрыскиваемого топлива от угла поворота коленчатого вала;
- соответствие общего количества впрыскиваемого топлива нагрузке на двигатель.

ТНВД является разграничительным элементом между контурами низкого и высокого давления. Его задача – обеспечить поставку нужного количества топлива с заданным давлением при любых эксплуатационных режимах на протяжении всего срока службы автомобиля. ТНВД производит «резервное топливо», необходимое для быстрого запуска и для резкого повышения давления в аккумуляторе. ТНВД поддерживает постоянное систем-

ное давление в гидравлическом аккумуляторе, не зависящее от расхода при впрыскивании. Поэтому топливо здесь – в отличие от традиционных систем топливоподачи – не сжимается в процессе впрыскивания.

Технические характеристики топливных систем дизелей представлены в табл. 2.3.

**Типы насосов.** Современные электронные системы управления топливоподачей дизелей легковых автомобилей показаны на рис. 2.17, а технические характеристики топливных насосов – на рис. 2.18.

Дизельные топливные системы фирмы Bosch имеют следующие обозначения: M, MW, A, P, ZWM, CW – многоплунжерные рядные ТНВД, обозначенные по мере увеличения размеров; PF – одноплунжерные ТНВД; VE – ТНВД распределительного типа с аксиальным плунжером; VR – роторные ТНВД распределительного типа; UPS – система с индивидуальными ТНВД; UIS – система с насос-форсунками; CR – система Common Rail.

История развития ТНВД показана на рис. 2.19.

Распределительные ТНВД различаются по способу регулирования, методу управления цикловой подачей и развиваемому ими максимальному давлению (рис. 2.20).

**Топливные насосы высокого давления.** Для создания высокого давления в топливных системах легковых автомобилей используются плунжерные насосы. Топливные насосы фирмы Bosch первого поколения существуют в трех основных разновидностях, при этом принцип создания давления и уровень развиваемого давления примерно одинаков для всех трех разновидностей.

Первый вариант – ТНВД радиального типа с тремя плунжерами, приводимыми в действие с помощью вала с эксцентриком через промежуточный толкающий элемент (CP1K3). Каждая плунжерная пара закрыта сверху клапанной группой с клапанами шарикового и тарельчатого типа. Линии высокого давления от каждой группы объединены в корпусе насоса и имеют общий выходной штуцер. Отличительной особенностью второго варианта является наличие электромагнита, позволяющего отключать одну из плунжерных пар путем постоянного открытия впускного клапана. Третий вариант (CP1S3) имеет в корпусе регулятор давления топлива, в отличие от первого и второго вариантов, в которых регулятор давления расположен в топливном аккумуляторе. Давление, развиваемое такими насосами, составляет примерно 120 МПа.

Схематически топливный насос высокого давления показан на рис. 2.21.

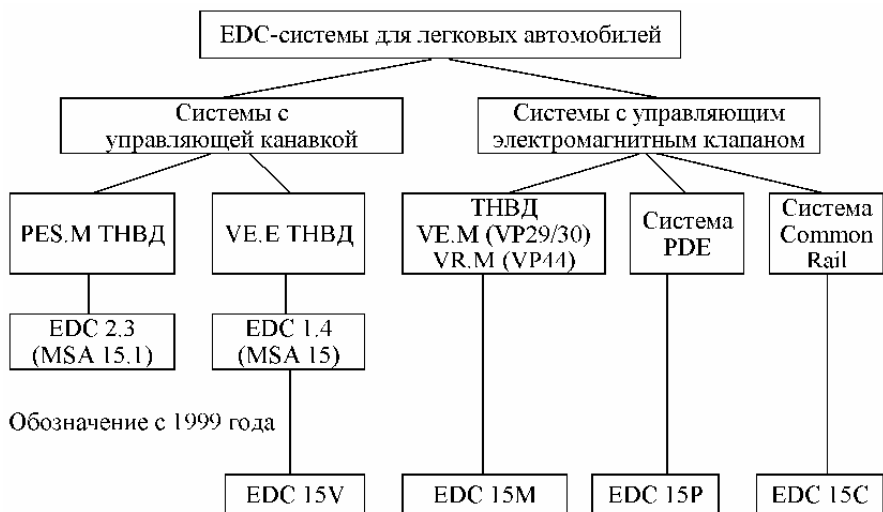
В корпусе CP1 вал привода имеет центральное расположение. Радиально к нему, со смещением около  $120^\circ$ , расположены плунжерные элементы. Эксцентрик, размещенный на приводном валу, приводит плунжеры к возвратно-поступательному движению, чем достигается сжатие топлива. Давление топлива, достигнув определенного значения, открывает выпускные клапаны; сжатое топливо направляется в контур высокого давления.

Таблица 2.3

## Топливные системы дизелей: характеристики и свойства

Тип топливной системы	Характеристики топливной системы				Характеристики двигателя			
	Цикловая подача топлива, см <sup>3</sup>	Максимальное давление впрыскивания, МПа	Тип регулятора частоты вращения/системы регулирования <sup>1)</sup>	Тип камеры сгорания <sup>2)</sup>	Двухфазный впрыск	Число цилиндров	Максимальная частота вращения, мин. <sup>-1</sup>	Максимальная цилиндровая мощность, кВт/цил
<b>Рядные ТНВД</b>								
М	0,06	55	м, е	IDI	–	4...6	5000	20
А	0,12	75	м	DI/IDI	–	2...12	2800	27
MW	0,15	110	м	DI	–	4...8	2600	36
P 300	0,25	95	м, е	DI	–	4...12	2600	45
P 7100	0,25	120	м, е	DI	–	4...12	2500	55
P 8000	0,25	130	м, е	DI	–	6...12	2500	55
P 8500	0,25	130	м, е	DI	–	4...12	2500	55
H 1	0,24	130	е	DI	–	6...8	2400	55
H 1000	0,25	135	е	DI	–	5...8	2200	70
<b>ТНВД распределительного типа с аксиальным плунжером</b>								
VE	0,12	120/35	м	DI/IDI	–	4...6	4500	25
VE...EDC <sup>3)</sup>	0,07	120/35	е, em	DI/IDI	–	3...6	4200	25
VE...MV	0,07	140/35	е, MV	DI/IDI	–	3...6	4500	25
<b>Роторные ТНВД</b>								
VR...MV	0,135	170	е, MV	DI	–	4...6	4500	37
<b>Индивидуальные ТНВД</b>								
PF(R)...	0,15... 18,0	80... 150	м, em	DI/IDI	–		300... 2000	75... 1000
UI 30 <sup>4)</sup>	0,16	160	е, MV	DI	VE	8 <sup>5a)</sup>	3000	45
UI 31 <sup>4)</sup>	0,3	160	е, MV	DI	VE	8 <sup>5a)</sup>	3000	75
UI 32 <sup>4)</sup>	0,4	180	е, MV	DI	VE	8 <sup>5a)</sup>	3000	80
UI P1 <sup>5)</sup>	0,062	200	е, MV	DI	VE	6 <sup>5a)</sup>	5000	25
UP 12 <sup>6)</sup>	0,1	160	е, MV	DI	VE	8	4000	35
UP 20 <sup>6)</sup>	0,15	180	е, MV	DI	VE	8	4000	70
UP(PF[R])	3,0	140	е, MV	DI		6...20	1500	500
<b>Аккумуляторная система Common Rail</b>								
CR <sup>7)</sup>	0,1	135	е, MV	DI	VE <sup>7a)</sup> /NE	3...8	5000 <sup>7b)</sup>	30
CR <sup>8)</sup>	0,4	140	е, MV	DI	VE <sup>8a)</sup> /NE	6...16	2800	200

**Примечание.** 1): м – механический; е – электронный; em – электромеханический; MV – с электромагнитным клапаном; 2): IDI – подача топлива в предкамеру; DI – непосредственный впрыск топлива; 3): EDC – система электронного управления дизеля; 4): UI – насос-форсунки для грузовых автомобилей; 5): UI – насос-форсунки для легковых автомобилей; 5a): возможная установка двух ЭБУ на многоцилиндровые двигатели; 6): UP – индивидуальные ТНВД для грузовых автомобилей и автобусов; 7): CR – первое поколение для легковых автомобилей и легких грузовых автомобилей; 7a): регулируемая подача топлива до 90° поворота коленчатого вала (п.к.в.) до ВМТ; 7b): до 5500 мин<sup>-1</sup> (максимально допустимая частота вращения); 8): CR – для грузовых автомобилей, автобусов и тепловозов; 8a): угол опережения подачи топлива до 30° п.к.в. до ВМТ.

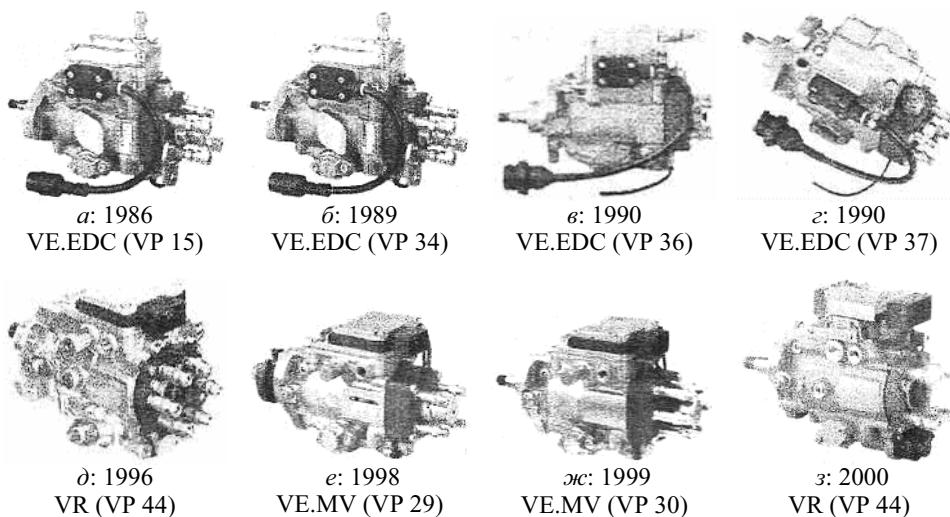


**Рис. 2.17. Топливные системы для дизелей:**

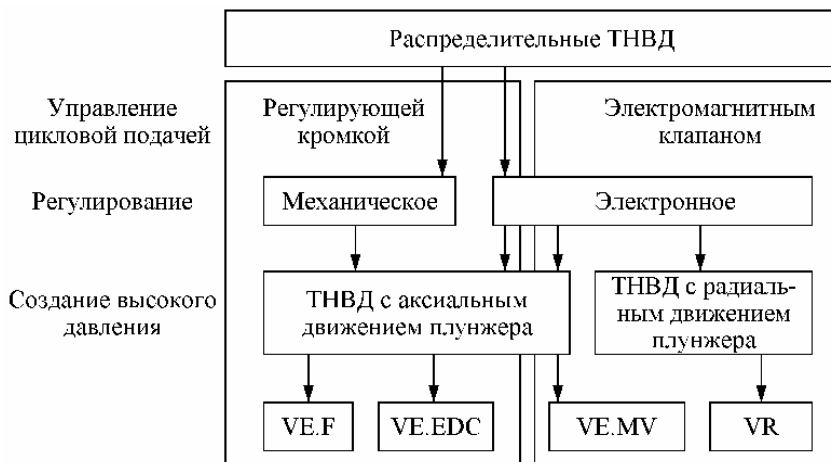
PES.M – рядный с электромагнитным клапаном; VE.E – распределительный с электронным управлением; VE.M и VR.M – насосы с электрическим клапаном; PDE – насос-форсунки для легковых автомобилей; CR – Common Rail; P – рядный насос; C – Common Rail; M – с электромагнитным клапаном.

Название	ТНВД VE Распределительный	Рядный ТНВД PES.M	ТНВД VR M, VE.M	UIS PDE насос- форсунка	Common Rail
Максимальное давление впрыскивания, МПа	до 90	до 70	до 180	до 220	до 160
Применение	VP 15 Audi, BMW, PSA VP36/37 VAG, PSA, BMW, Fiat	Mercedes Benz	Opel, BMW, Audi, Ford	VW	Alfa, Audi, BMW, PSA, MB, Rover, Fiat, ...
Мощность на цилиндр, кВт	до 25	до 15	до 50	до 30	до 30
VP 15	В качестве датчика обратной связи – потенциометр				
VP 36/37	В качестве датчика обратной связи – датчик HDK, 36-IDI, 37-IDI				
VP 29/30	Регулировка подачи – электромагнитным клапаном, дополнительный блок управления ТНВД, 29-IDI, 30-DI				
VP 44	Регулировка подачи – электромагнитным клапаном, дополнительный блок управления ТНВД, CAN-шина				
M	Регулирование подачи топлива				
MS	Регулирование подачи топлива и начала впрыскивания				
MSA	Регулирование подачи, начала подачи, управление системой рециркуляции отработавших газов				

**Рис. 2.18. Топливные насосы высокого давления для дизелей**

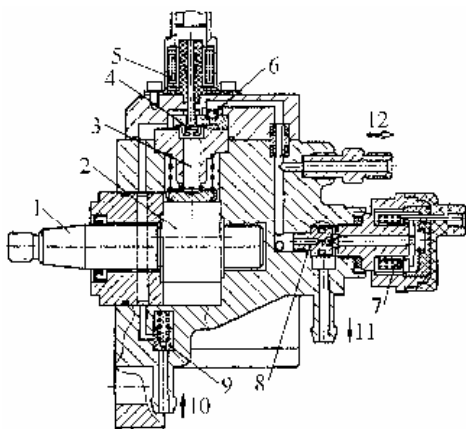


**Рис. 2.19. Распределительные ТНВД с электронным управлением:**  
*а, в, е* – дизели с разделенными камерами сгорания; *б, г, д, ж, з* – дизели с непосредственным впрыскиванием топлива (*з* – со встроенным блоком управления работой дизеля PSG 16)



**Рис. 2.20. Виды распределительных ТНВД**

Насосы второго поколения могут быть конструктивно выполнены аналогично насосам первого поколения, но при этом развивать давление в 150...160 МПа. Насосы третьего поколения CP3/S3, как правило, состоят из нескольких модулей: корпус низкого давления, секция высокого давления, подкачивающий шестеренный насос. Некоторые насосы третьего поколения не имеют встроенного подкачивающего насоса шестеренчатого типа и используют подкачку от механического насоса подкачки на двигателе или



**Рис. 2.21. Топливный насос высокого давления Bosch CP1S3:**

- 1 – приводной вал; 2 – эксцентрик;
- 3 – плунжер; 4 – клапан низкого давления;
- 5 – электромагнит отключения плунжерной пары; 6 – клапан высокого давления;
- 7 – регулятор давления;
- 8 – седло клапана регулятора давления;
- 9 – противодренажный клапан;
- 10 – подвод клапана; 11 – обратный слив;
- 12 – штуцер к аккумулятору (Rail)

насоса с электроприводом, расположенного в баке. Часть насосов имеет встроенный датчик температуры топлива. Отличием насосов третьего поколения является применение разделенных клапанных групп с грибовыми и шариковыми клапанами.

В отличие от ТНВД первого и второго поколений в третьем поколении применяется дросселирование линии низкого давления топлива, и подача насоса регулируется в зависимости от наполнения надплунжерной полости. Давление составляет 160...180 МПа. В ТНВД четвертого поколения CP4 вновь используется объединенная клапанная группа, и отсутствуют каналы высокого давления внутри корпуса насоса. Эти насосы в нормальном режиме работы создают давление 180...200 МПа, а последние модели – до 250...300 МПа.

## 2.6. Системы впрыскивания с рядным ТНВД

**Рядные ТНВД** с электромагнитным управлением относятся к оснащению самых первых дизельных двигателей, которые снабжались механическим регулятором частоты вращения коленчатого вала и момента впрыскивания топлива. Рядные ТНВД – это «классика» техники впрыскивания дизельного топлива. Эти ТНВД постоянно совершенствовались и приспособлялись к соответствующим областям применения, поэтому их многочисленные варианты используют и сегодня. Особые преимущества рядных ТНВД – надежность и удобство обслуживания.

Все рядные многоплунжерные ТНВД имеют отдельную плунжерную пару для каждого цилиндра. Этот термин включает в себя втулку и плунжер, который при активном ходе, то есть для подачи топлива, перемещается под воздействием кулачкового вала ТНВД с приводом от коленчатого вала двигателя, а возвращается под действием возвратной пружины.

**В рядном ТНВД с дозирующей муфтой** регулирование цикловой подачи осуществляется перемещением муфты вверх/вниз вдоль плунжера. Положение дозирующей муфты, определяющей активный ход плунжера, то есть момент открытия перепускного отверстия, регулируется валом привода.

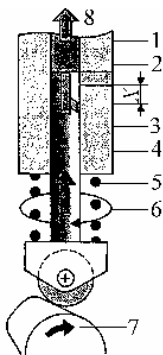
Положение дозирующей муфты является функцией различных пере-

менных. По сравнению с рядными ТНВД РЕ: вариант с дозирующей муфтой позволяет получить дополнительную степень свободы.

**В ТНВД типа РЕ** начало подачи определяется входным отверстием, которое закрыто верхней кромкой плунжера. Величина подачи ограничивается перепускным отверстием, которое открывается спиральной отсечной кромкой, выполненной в плунжере фрезерованием. Положение рейки ТНВД устанавливается механическим регулятором (с центробежными грузами) или регулятором с электромагнитным клапаном (EDC).

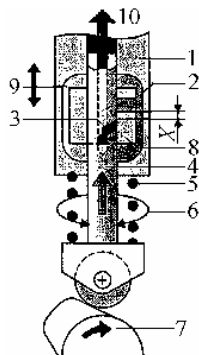
**Топливоподкачивающий насос** должен при всех условиях эксплуатации снабжать ТНВД достаточным количеством дизельного топлива. Кроме того, он имеет избыточную производительность для охлаждения ТНВД, причем топливо воспринимает тепло и поступает обратно в бак через перепускной клапан. Используются также электрические подкачивающие насосы и модели для многотопливных двигателей. В некоторых редких случаях рядный ТНВД может снабжаться топливом без подкачивающего насоса в режиме подачи топлива из бака самотеком, то есть под действием разницы уровней горючего.

Конструкция рядного ТНВД имеет плунжерные пары 4-1 по числу цилиндров (рис. 2.22) [10, 12].



**Рис. 2.22. Секция рядного ТНВД:**

1 – гильза плунжера; 2 – впускное окно; 3 – регулирующая кромка плунжера; 4 – плунжер; 5 – возвратная пружина плунжера; 6 – поворот плунжера регулирующей рейкой; 7 – кулачковый вал; 8 – подача топлива к форсунке; X – активный ход плунжера



**Рис. 2.23. Секция рядного ТНВД с дополнительной втулкой:**

1 – гильза плунжера; 2 – впускное окно; 3 – регулирующая кромка плунжера; 4 – плунжер; 5 – возвратная пружина плунжера; 6 – поворот плунжера регулирующей рейкой; 7 – кулачковый вал; 8 – дополнительная втулка; 9 – изменение хода плунжера за счет регулирующей втулки; 10 – подача топлива к форсунке; X – активный ход плунжера

Во время работы плунжер 4 смещается в направлении подачи, приводимым от двигателя кулачковым валом. Возвратная пружина 5 приводит плунжер в исходное положение. Отдельные секции ТНВД расположены в ряд – отсюда и название «рядный». Избыточное давление созданное внутри

плунжерной пары открывает механическую форсунку и происходит подача топлива в камеру сгорания. Величина активного хода плунжера изменяется его поворотом вокруг собственной оси с помощью рейки ТНВД, что позволяет регулировать величину цикловой подачи топлива. Рейка управляется механическим центробежным регулятором, а в более продвинутых системах – электроприводом.

Разновидностью ТНВД этого типа являются рядные ТНВД с дополнительными втулками 8 (рис. 2.23). Изменяя положение втулки с помощью исполнительного механизма, регулируют момент начала подачи, независимо от частоты вращения коленчатого вала.

## **2.7. Системы впрыскивания с распределительным ТНВД**

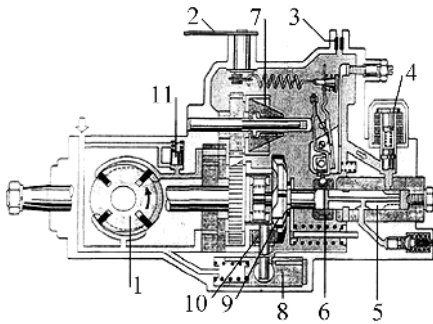
Процесс сгорания в дизельном двигателе зависит в решающей мере от того, какие характеристики топливоподачи. Существенную роль при этом играет ТНВД, создающий давление топлива, под которым оно нагнетается через магистрали высокого давления к форсункам и впрыскивается ими в камеры сгорания. Для малоразмерных быстроходных дизелей требуются системы подачи с большой цикличностью, малым весом и минимальными конструктивными размерами. Этим требованиям отвечают так называемые распределительные ТНВД, которые при компактном размере объединяют в себе топливоподкачивающий насос, ТНВД и регулятор частоты вращения коленчатого вала.

ТНВД распределительного типа могут иметь механический регулятор частоты вращения или электронную систему управления со встроенным автоматом опережения впрыскивания. ТНВД распределительного типа имеют только одну плунжерную пару для всех цилиндров двигателя.

На рис. 2.24 приведен механический распределительный ТНВД модели VE с шиберным подкачивающим насосом.

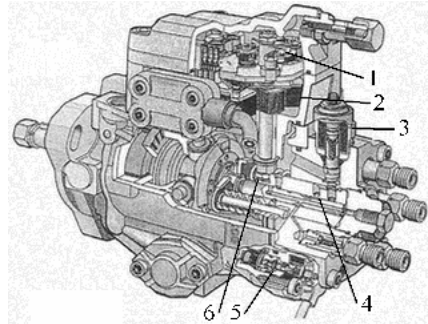
Распределительные ТНВД с управлением регулирующей кромкой работают по принципу аксиального движения плунжера, причем все цилиндры двигателя обслуживает только один элемент высокого давления. Регулирующие кромки, отверстия и втулка регулируют величину цикловой подачи. Гидравлическое устройство управляет моментом начала впрыскивания. Регулирование осуществляется при помощи механической системы или электромагнитного исполнительного механизма. Эти типы ТНВД отличаются простотой обслуживания, малым весом и размерами.

ТНВД этой конструкции обозначается как модель VE. С созданием в 1986 году модели EP/VA с электромагнитным исполнительным механизмом (рис. 2.25) диапазон мощностей модели VE значительно расширился. ТНВД обеспечивает необходимое давление впрыскивания топлива. Топливо нагнетается через магистраль высокого давления к форсунке, которая впрыскивает его в камеру сгорания. Распределительные ТНВД с управлением регулирующей кромкой используются для малых быстроходных дизелей, как с непосредственным впрыском топлива, так и с разделенными камерами сгорания.



**Рис. 2.24. Распределительный ТНВД модели VE:**

1 – шиберный подкачивающий насос; 2 – рычаг подачи топлива; 3 – перепускной дроссель; 4 – ELAB – электронное отключение подачи топлива; 5 – распределительный плунжер; 6 – золотник; 7 – центробежный регулятор; 8 – поршень механизма опережения подачи; 9 – кулачковая шайба; 10 – роликовая обойма; 11 – клапан регулятора давления



**Рис. 2.25. Распределительный ТНВД модели VE с индуктивным датчиком HDK:**

1 – датчик Холла дозатора; 2 – электромагнит регулировки подачи топлива; 3 – ELAB – электронное отключение подачи топлива; 4 – плунжер; 5 – электромагнит регулятора подачи; 6 – дозатор

Постоянно сужающиеся границы допустимого уровня эмиссии ОГ для дизелей и требования дальнейшего снижения расхода топлива приводит к совершенствованию распределительных ТНВД с электронным управлением. Управление высоким давлением с помощью электромагнитного клапана подразумевает более высокую точность определения моментов начала и окончания подачи топлива, а также более высокую точность его дозирования, чем при управлении регуливающей кромкой. Кроме того, становятся возможными осуществление предварительного впрыскивания и корректировка равномерности величин цикловых подач по цилиндрам.

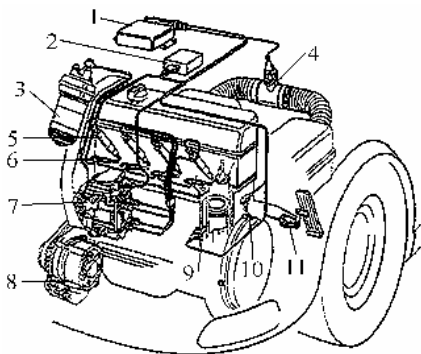
Существенным отличием от распределительных ТНВД с управлением регуливающей кромкой в этом случае являются:

- управление высоким давлением с помощью электромагнитного клапана;
- расположение на ТНВД прибора регулирования;
- управление работой электромагнитного клапана высокого давления по принципу «угол-время» с помощью встроенного в ТНВД датчика угла поворота приводного вала ТНВД.

**Распределительные ТНВД с электронным регулированием.** Электронное регулирование работы дизеля по сравнению с механическим предусматривает дополнительные возможности. Благодаря электрическим измерениям оно позволяет осуществить гибкую электронную обработку сигналов и создание контура регулирования с электрическими исполнительными механизмами. Дополнительно может учитываться ряд специальных параметров, что невозможно при механическом регулировании.

Принципиально различаются два типа распределительных ТНВД;

- с аксиальным движением плунжера (серии VE.MV или VP 30), рис. 2.25, где HDK – индуктивный датчик с дифференциальными кольцами;
- с радиальным движением плунжеров (серии VR или VP 44), рис. 2.26.



**Рис. 2.26. Система подачи на базе распределительного ТНВД с радиальным движением плунжеров и электромагнитным клапаном. Блоки управления двигателем и ТНВД разделены:**

1 – блок управления двигателем; 2 – блок управления временем включения свечей накаливания; 3 – топливный фильтр; 4 – датчик массового расхода воздуха; 5 – форсунка; 6 – штифтовая свеча накаливания; 7 – распределительный ТНВД с радиальными плунжерами VP 44 и блок управления PSG 5; 8 – генератор; 9 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 10 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 11 – датчик хода педали акселератора

Имеющиеся модификации различаются по области применения, числу цилиндров двигателя, конструкции привода и т. д.

Гидравлические характеристики первого типа ТНВД разнообразны и подходят как для двигателей с разделенными камерами, так и для моторов с непосредственным впрыскиванием топлива с давлением в форсунки порядка 140 МПа.

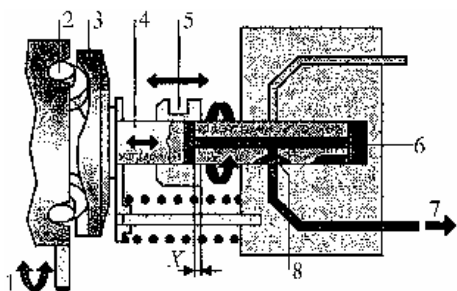
В ТНВД распределительного типа с аксиальным расположением плунжера топливо в корпус ТНВД подается лопастным топливным насосом низкого давления. Высокое давление и распределение топлива по цилиндрам обеспечиваются центральным плунжером. За один оборот вала привода плунжер совершает число рабочих ходов, равное числу цилиндров двигателя. Поступательно-вращательное движение передается плунжеру торцевыми кулачками на кулачковой шайбе, которые набегают на ролики, закрепленные на роликовом кольце при вращении вала привода.

Активный ход плунжера и, соответственно, количество подаваемого топлива в серийных ТНВД VE с механическими регуляторами частоты вращения осуществляется дозирующей муфтой, как и в ТНВД с электромагнитным приводом дозирующей муфты. Начало подачи топлива регулируется автоматом опережения впрыскивания путем соответствующего поворота кольца с роликами. В ТНВД с электронным управлением величину топливоподачи вместо дозирующей муфты регулирует клапан с быстродействующим электромагнитным приводом. Управляющие сигналы с обратной связью и без обратной связи обрабатываются в двух ЭБУ (ЭБУ двигателя и ЭБУ ТНВД). Быстродействие контролируется соответствующими электронными устройствами.

В роторных ТНВД топливо в корпус насоса подается лопастным топливным насосом низкого давления. Насос высокого давления с кулачковым

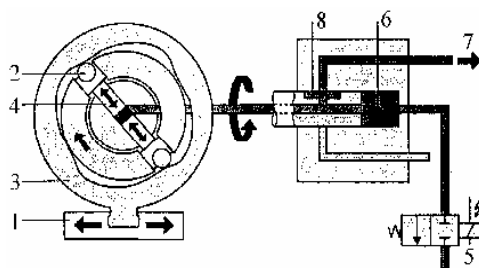
кольцом и двумя или четырьмя радиально расположенными плунжерами обеспечивает формирование высокого давления и распределение топлива по форсункам, количество которого измеряется электромагнитным клапаном высокого давления. Автомат опережения впрыскивания регулирует начало подачи, поворачивая кулачковое кольцо в нужном направлении. Как и в ТНВД с аксиальным плунжером и с электромагнитным управлением дозирующего клапана, все сигналы с обратной и без обратной связи обрабатываются в двух ЭБУ, при этом быстродействие также контролируется соответствующими электронными устройствами.

Насос в системе имеет единый нагнетательный элемент для всех цилиндров. Топливоподкачивающий насос нагнетает топливо в камеру высокого давления 6. Высокое давление создается с помощью аксиального плунжера 4 (рис. 2.27 – аксиальный ТНВД) или нескольких радиальных плунжеров 4 (рис. 2.28 – радиальный ТНВД). Вращающийся центральный плунжер-распределитель направляет топливо через распределительный паз 8 к форсункам. В аксиальном ТНВД величину цикловой подачи определяет положение регулирующей втулки 5, момент начала впрыска устанавливается поворотом роликового кольца на необходимый угол (рис. 2.26). В радиальном ТНВД регулировка момента начала подачи устанавливается поворотом кулачковой шайбы на необходимый угол. Кроме того, эта регулировка и управление величиной цикловой подачи топлива осуществляется электромагнитным клапаном 5 (рис. 2.28).



**Рис. 2.27. Распределительный аксиальный ТНВД:**

1 – траектория поворота роликового кольца; 2 – ролик; 3 – кулачковая шайба; 4 – аксиальный плунжер-распределитель; 5 – регулирующая втулка; 6 – камера высокого давления; 7 – подача топлива к форсунке; 8 – распределительный паз; X – активный ход плунжера

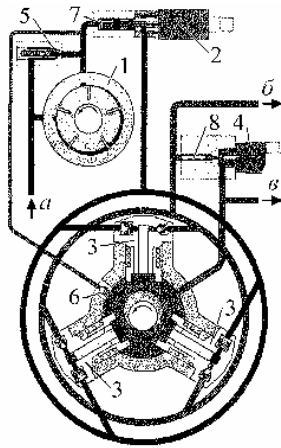


**Рис. 2.28. Распределительный радиальный ТНВД:**

1 – регулировка момента подачи поворотом кулачковой шайбы; 2 – ролик; 3 – кулачковая шайба; 4 – радиальный плунжер; 5 – электромагнитный клапан высокого давления; 6 – камера высокого давления; 7 – подача топлива к форсунке; 8 – распределительный паз

В систему фирмы Siemens (рис. 2.29) топливо поступает под давлением, создаваемым лопастным топливopодкачивающим насосом, который засасывает его через фильтр из топливного бака и подает к насосу высокого давления. Давление подкачки регулируется редукционным клапаном на

уровне 0,4 МПа. Насос высокого давления содержит три плунжера. Они расположены радиально и приводятся от эксцентрика через общий толкатель. Эксцентрик и толкатель смазываются топливом, которое прокачивается через внутреннюю полость насоса и используется одновременно для его охлаждения. Расход топлива регулируется специальным клапаном.



**Рис. 2.29. Топливоподающая система:**

1 – лопастной топливоподающий насос; 2 – электромагнитный клапан, дросселирующий поток топлива на впуске насоса высокого давления; 3 – плунжерная пара; 4 – клапан, ограничивающий давление в аккумуляторе; 5 – редукционный клапан в контуре низкого давления; 6 – клапан, дозирующий прокачку топлива; 7, 8 – фильтры; *a* – подвод топлива; *б* – подача топлива под высоким давлением; *в* – слив топлива

Плунжеры подают топливо в аккумулятор, давление в котором измеряется датчиком, подключенным к блоку управления двигателем. Оно регулируется посредством двух электромагнитных клапанов. Один из них выполняет функции ограничителя предельного давления и содержит нагруженный пружиной шарик, который в обесточенном состоянии клапана способен удерживать давление не более 5 МПа. При работе двигателя обмотка электромагнитного клапана получает питание от электронного блока управления в виде импульсов тока, продолжительность которых зависит от режима работы двигателя. Действующее на шарик усилие изменяется при этом в широком диапазоне: при пуске двигателя клапан регулируется на давление 15 МПа, а при работе на полной мощности он способен удерживать давление до 150 МПа. Активное действие клапана используется практически только для ускорения сброса давления в аккумуляторе при переходе двигателя с режима полной нагрузки на холостой ход или при его остановке.

Рабочее давление в аккумуляторе регулируется на всех режимах посредством клапана, ограничивающего подвод топлива к насосу высокого давления до уровня, при котором поддерживается требуемое значение на линии его нагнетания. В обесточенном состоянии этот клапан закрыт. При подаче на обмотку электромагнита напряжения он открывается по мере увеличения продолжительности импульсов, изменяемой блоком управления.

Топливные насосы фирмы Delphi имеют встроенный топливоподкачивающий насос для создания низкого давления. Управление подачей – дросселированием на впуске. Плунжеры секций высокого давления движутся навстречу друг другу и приводятся с мощью кулачкового кольца специального профиля подобно радиальным ТНВД распределительного типа. Созда-

ваемое давление 160...180 МПа. В отличие от насосов Bosch насосы Delphi всегда имеют разделенную клапанную группу и четное число плунжеров. Топливные насосы Nippon Denso изготавливаются одно- и двухсекционными, соответственно с двумя и четырьмя плунжерами, причем двухплунжерные насосы сконструированы аналогично ТНВД Bosch третьего поколения с эксцентриковым приводным валом. Основным отличием ТНВД Denso от Bosch и Delphi является применение синхронно срабатывающих электроклапанов управления. То есть, если в насосах Bosch и Delphi клапаны для регулирования давления или наполнения надплунжерной полости изменяют проходное сечение при определенной скважности сигнала управления и не привязаны к моменту нагнетания топлива плунжерной парой, то у насосов Denso электроклапан открывается синхронно с моментом наполнения надплунжерной полости при движении плунжера вниз. Производительность насоса регулируется временем открытого состояния электроклапана и, соответственно, количеством топлива, которое за этот промежуток времени успело заполнить надплунжерную секцию. Насос развивает давления до 180 МПа.

Для ТНВД аккумуляторной системы топливоподачи к одинаковым с традиционной топливной аппаратурой неисправностям можно отнести следующие:

- износ плунжерной пары;
- поломка пружины плунжера;
- заклинивание плунжера.

К неисправностям, присущим только аккумуляторным системам относятся:

- неисправность клапана низкого давления;
- неисправность клапана высокого давления;
- неисправность обратного клапана сброса топлива в линию низкого давления.

**Регуляторы управления подачей топлива.** Двухплунжерные насосы (HPD Continental – Siemens) по сигналу блока управления MED позволяют топливу поступать ко второму поршню насоса, в то время как первый поршень создает давление в топливном аккумуляторе. На клапан управления подачей топлива не подается управляющий сигнал, в результате чего происходит снижение давления в магистрали высокого давления. При превышении уровня высокого давления в 14 МПа для ограничения давления в топливной рампе открывается предохранительный клапан и топливо сбрасывается в магистраль низкого давления.

При неисправном регуляторе подачи топлива и если по другим причинам невозможно создать высокое давление, срабатывает клапан низкого давления и топливо с низкой стороны под давлением, создаваемым ЕКР, попадает в топливный аккумулятор.

## **2.8. Система топливоподачи с индивидуальным ТНВД**

Особенностью этой системы является отсутствие (или минимальная длина в системе UPS – Unit Pump System) магистрали высокого давления,

что позволяет достигать давления впрыскивания до 205...220 МПа и улучшить протекание процесса топливоподачи. Имеются две конструкции, построенные по этой системе:

**1. Система впрыскивания UIS (Unit Injector System).** В ней насос и форсунка объединены в один агрегат (см. рис. 2.9, *а*). Привод насос-форсунки осуществляется от кулачка распределительного вала. Регулировка параметров топливоподачи происходит с помощью электромагнитного клапана высокого давления 3. Устанавливаются насос-форсунки в головке блока цилиндров, отдельно для каждого цилиндра, и приводятся в действие или непосредственно кулачком, или от распределительного вала через толкатель клапана.

По сравнению с рядными насосами и ТНВД распределительного типа из-за отсутствия трубопроводов линии высокого давления насос-форсунки позволяют получить значительно более высокое давление впрыскивания (до 220 МПа). Столь высокие значения давления впрыскивания вместе с электронной системой управления, включающей в себя заложенные в память компьютера программируемые матрицы характеристик, в том числе данные по продолжительности процесса впрыскивания (величины цикловой подачи) означает возможность значительного снижения эмиссии вредных веществ с ОГ при улучшении формы кривой характеристики подачи топлива.

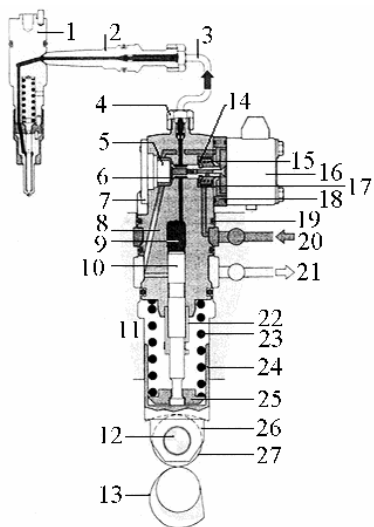
Использование электронного управления позволяет включить дополнительные функции и увеличить число достоинств насос-форсунок.

**2. Система впрыскивания UPS (Unit Pump System).** Принципиально она не отличается от системы UIS, только насос и форсунка не объединены в один агрегат, их соединяет короткая магистраль (см. рис. 2.9, *б*). Такая конструкция облегчает монтаж системы на двигатель и, соответственно, упрощает обслуживание и ремонт системы.

Принцип работы топливной системы с индивидуальным ТНВД аналогичен работе системы с насос-форсунками. Это подобная топливная система, обеспечивающая высокое давление впрыскивания. Как и насос-форсунки индивидуальные ТНВД устанавливаются на каждый цилиндр двигателя, а соединение с форсункой осуществляется короткой трубкой высокого давления, точно подобранной к элементам топливной системы. Привод индивидуальных ТНВД осуществляется от распределительного вала двигателя.

Управление продолжительностью и началом процесса подачи в топливной системе с индивидуальными ТНВД осуществляется системой электронного управления. Использование в электронной системе управления быстродействующих электромагнитных клапанов с триггерными схемами позволяет устанавливать оптимальную характеристику топливоподачи.

Назначение и принцип действия индивидуальных ТНВД для грузовых автомобилей и тяжелых транспортных двигателей в основном те же, что и для насос-форсунок. Единственным серьезным отличием является то, что в данном случае собственно форсунку и ТНВД с электромагнитным клапаном связывает короткая магистраль высокого давления (3, рис. 2.9, 2.30) [10].



**Рис. 2.30. Конструкция индивидуального ТНВД с электромагнитным клапаном для грузового автомобиля:**

1 – ступенчатый корпус форсунки; 2 – штуцер магистрали высокого давления; 3 – магистраль высокого давления; 4 – накидная гайка ТНВД; 5 – ограничитель хода иглы электромагнитного клапана; 6 – игла электромагнитного клапана; 7 – пластина; 8 – корпус ТНВД; 9 – камера высокого давления (в плунжерной паре); 10 – плунжер; 11 – блок цилиндров дизеля; 12 – ось роликового толкателя; 13 – кулачок; 14 – тарелка пружины; 15 – пружина клапана; 16 – корпус клапана с катушкой и магнитным сердечником; 17 – пластина якоря; 18 – проставка; 19 – уплотнение; 20 – канал подвода топлива (низкое давление); 21 – канал обратного слива топлива; 22 – ловушка для возврата просачивающегося вокруг плунжера топлива; 23 – пружина толкателя; 24 – стакан толкателя; 25 – тарелка пружины; 26 – роликовый толкатель; 27 – ролик толкателя

Модульная конструкция индивидуального ТНВД с боковой установкой на двигателе имеет следующие преимущества:

- не требуется изменения конструкции головки блока цилиндров;
- непосредственный привод от распределительного вала, поскольку коромысла отсутствуют;
- облегченный доступ при обслуживании, поскольку ТНВД легко демонтируются.

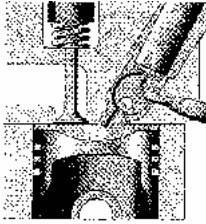
Индивидуальные ТНВД с электромагнитным клапаном (обозначаемые индексом PF.MV) применяются на тяжелых дизелях для тепловозов и судов. Максимально допустимая частота вращения коленчатого вала этих двигателей составляет  $1000 \text{ мин.}^{-1}$  при цилиндровой мощности  $150 \dots 450 \text{ кВт}$ . Серия PE имеет механические регуляторы, рейку и регулирующую втулку. В последних моделях индивидуальных ТНВД эти громоздкие детали заменяет электрический провод, соединяющий блок управления с электромагнитными клапанами ТНВД. Преимуществами такой системы являются:

- минимальные размеры;
- большие возможности компоновки при хорошей совместимости с традиционными головками блока цилиндров;
- очень жесткий и компактный привод;
- малый расход материалов и комплектующих;
- быстрая установка и возможность точного регулирования;
- простота замены в случае ремонта и обслуживания;
- точное дозирование топлива с возможностью индивидуальной регулировки момента начала и величины подачи по цилиндрам;
- возможность отключения отдельных ТНВД для обеспечения у оставшихся цилиндров оптимальных параметров работы при частичных нагрузках на двигатель.

## 2.9. Системы и компоненты питания двигателя воздухом

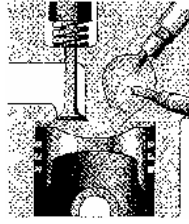
### 2.9.1. Система питания дизеля воздухом

Процесс сгорания топлива в дизельном двигателе зависит от геометрии камеры сгорания цилиндра и способа подачи топлива, которые определяют качество смесеобразования с воздухом (рис. 2.31). При непосредственном впрыскивании достигается высокий КПД, низкий расход топлива, хорошие условия для запуска двигателя, работа двигателя мягче, ниже эмиссия.



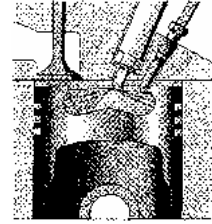
Форкамера

Во время такта сжатия воздух в форкамере сильно завихряется. Сгорание сильно дросселируется. Преимущество: сгорание протекает спокойно, выброс оксида азота незначительно.



Вихревая камера

Вихревая камера интегрирована в головку блока цилиндров. Геометрия вихревой камеры вызывает интенсивное круговое движение воздуха во время такта сжатия. В этот момент происходит подача топлива, которое перемешивается с воздухом. Преимущество: хорошее смесеобразование, тихая работа двигателя.



Непосредственный впрыск

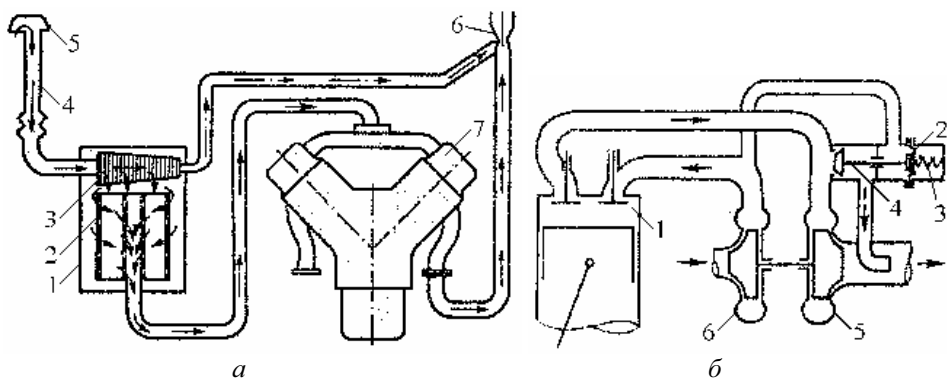
Топливо впрыскивается непосредственно в основную камеру сгорания. Интенсивность подачи должна быть значительной. Преимущество: хорошее смесеобразование. Топливо сгорает очень быстро, что позволяет увеличить КПД.

**Рис. 2.31. Процессы смесеобразования и сгорание топлива в двигателе**

Наддув представляет собой подачу воздуха в цилиндры двигателя при такте впуска под давлением, создаваемым компрессором. При наддуве увеличивается количество воздуха, поступающего в цилиндры двигателя, количество сжигаемого топлива и повышается на 20...40 % мощность двигателя.

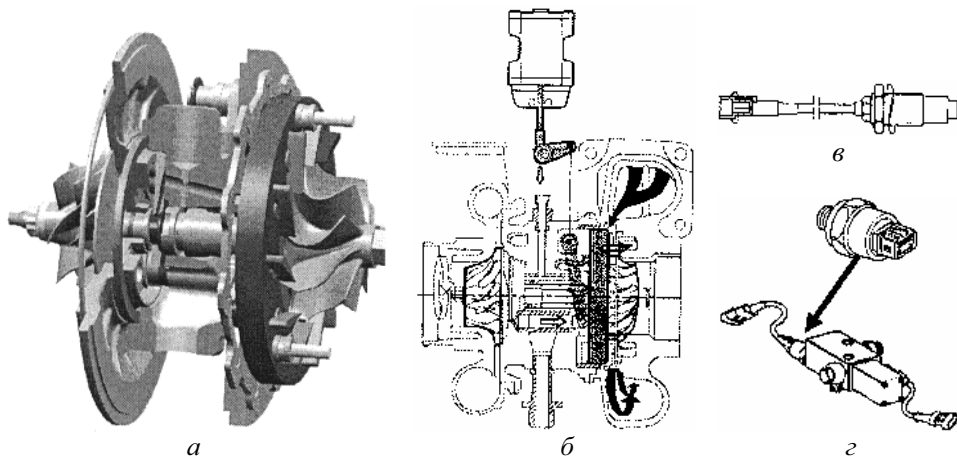
Система питания дизеля воздухом служит для забора окружающего воздуха, очистки его от пыли и распределения по цилиндрам двигателя. Газотурбинный наддув является одним из средств повышения мощности дизельного двигателя. Система питания воздухом включает в себя воздушный фильтр и впускной трубопровод. Она может быть с турбонаддувом или без (рис. 2.32).

Для создания оптимального давления наддува в последних моделях двигателей используют турбокомпрессор с изменяемой геометрией и тем самым обеспечивают оптимальное сгорание топлива, а в верхнем диапазоне регулируемых оборотов – снижение расхода топлива и токсичности отработавших газов (см. рис. 2.33). Такая турбина управляется через электронный блок и электромагнитный клапан.



**Рис. 2.32. Схема системы питания дизеля воздухом:**

*а* – без турбонаддува: 1 – воздушный фильтр; 2 – фильтрующий элемент; 3 – решетка; 4 – труба; 5 – колпак; 6 – эжектор; 7 – цилиндр;  
*б* – с турбонаддувом: 1 – цилиндр двигателя; 2 – мембрана; 3 – пружина; 4 – клапан; 5 – турбина; 6 – компрессор

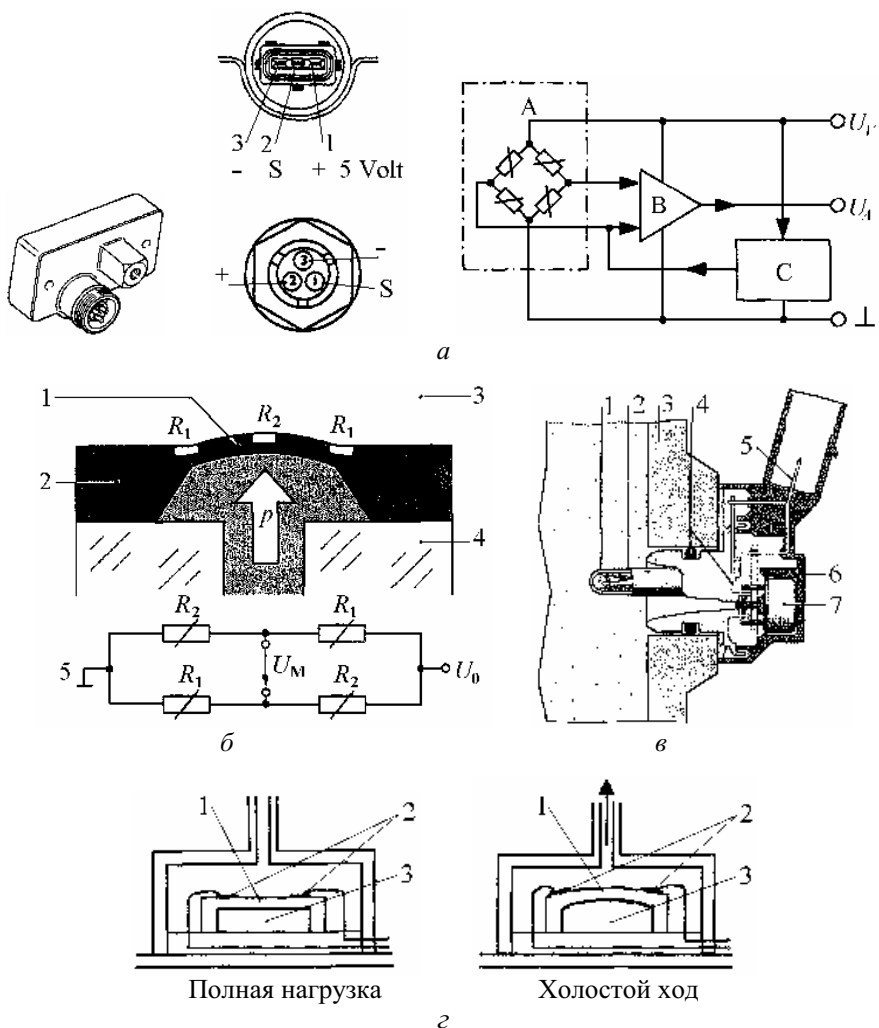


**Рис. 2.33. Турбина VTG с изменяемой геометрией лопаток**

*а* – регулирование положения направляющих лопаток; *б* – регулирование положения турбинного колеса; *в* – датчик числа оборотов IVECO; *г* – электромагнитный преобразователь EPW с датчиком давления

Контроль состояния и управление системой наддува в современных двигателях производится микромеханическими датчиками, представленными на рис. 2.34.

Измерительный элемент является сердцем микромеханического датчика давления (см. рис. 2.34, *г*) и состоит из кремниевого чипа 2 (см. рис. 2.34, *б*), внутри которого микромеханическим способом вставлено тонкую диафрагму 1. На диафрагме размещены четыре измерительных резистора (R1 и R2), электрическое сопротивление которых изменяется, когда к



**Рис. 2.34. Датчики давления наддува (а, б, в) и давления во впускном коллекторе (з):**

а: А – чувствительный элемент; В – усилитель; С – схема температурной компенсации;  
 б: 1 – мембрана; 2 – кремниевая подложка; 3 – опорное давление; 4 – стекло; 5 – мостовая схема;

в: 1 – датчик температуры; 2 – корпус; 3 – стенка впускного коллектора; 4 – уплотнительное кольцо; 5 – разъем; 6 – крышка корпуса; 7 – измерительная ячейка;

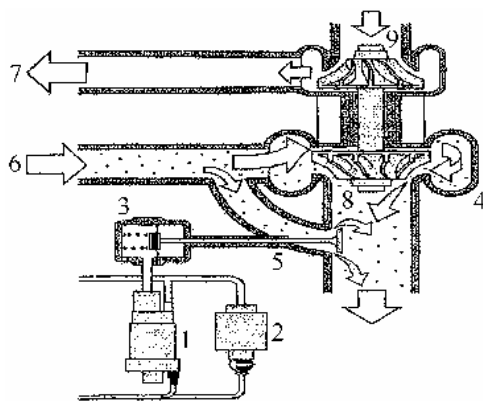
з: 1 – кремниевая мембрана; 2 – полупроводниковые элементы; 3 – объем воздуха при атмосферном давлении

диафрагме приложено давление. Чувствительный элемент на боку электронной схемы закрыт и герметически уплотняется крышкой, содержащей внутри зону опорного разрезания. В датчик давления также может быть встроены температурный датчик 1 (см. рис. 2.34, в), сигналы которого могут быть оценены отдельно. Преимущество такого устройства заключается в том, что нужен только один корпус датчика для измерения как температуры, так и давления.

Диафрагма чувствительного элемента может выгибаться на несколько микрон (10...1000 мкм) в зависимости от приложенного к ней давления. Появляющееся в результате механическое растяжение вызывает изменение сопротивления четырех измерительных резисторов, закрепленных на диафрагме (пьезорезистивный эффект).

Эти резисторы установлены на кремниевом чипе так, что, когда диафрагма деформируется из-за приложения давления, электрическое сопротивление двух резисторов увеличивается, а сопротивление двух других резисторов уменьшается. Поскольку резисторы являются частью моста Уитстона 5 (см. рис. 2.34, б), то при изменении величины сопротивления изменяется напряжение на концах измерительных резисторов и вместе с ним изменяется измеряемое напряжение  $U_A$ ; таким образом, оно становится мерой величины давления, приложенного к диафрагме.

Выходное напряжение, составляющее 0...5 В, через электрические выводы датчика 5 (см. рис. 2.34, в) подается на ЭБУ, в котором рассчитывается величина давления с помощью запрограммированной характеристической кривой микромеханического датчика давления наддува.



**Рис. 2.35. Регулирование давления наддува перепуском:**

- 1 – электропневматический клапан регулятора давления наддува; 2 – вакуумный насос;
- 3 – пневматический привод клапана-регулятора давления наддува; 4 – турбокомпрессор; 5 – перепускной клапан ОГ; 6 – вход ОГ; 7 – сжатый воздух от компрессора;
- 8 – турбина; 9 – компрессор

**Привод клапана – регулятора давления наддува.** Для обеспечения высокого крутящего момента двигателя на режимах малой частоты вращения турбокомпрессор проектируется таким образом, чтобы максимальное давление наддува развивалось именно в этой области.

При этом, без наличия некоторой формы регулирования, давление наддува было бы чрезмерным при высоких частотах вращения. Решением этой проблемы является перепускание части ОГ мимо турбины с помощью перепускного клапана, как это показано на рис. 2.35.

Другим решением проблемы (вместо перепускного клапана) может быть конструкция турбины со сменной геометрией соплового

аппарата (см. рис. 2.33), что позволяет адаптировать мощность турбокомпрессора данному режиму работы двигателя. Конструктивно такое регулирование осуществляется поворотом лопаток соплового аппарата с соответствующим изменением угла их установки в канале прохождения ОГ.

**Дроссельная заслонка**, управляемая электропневматическим клапаном, выполняет в дизеле, в отличие от бензинового двигателя, совершенно другую функцию. В дизеле она служит для задания степени рециркуляции ОГ. Регулирование дроссельной заслонкой осуществляется только на малых скоростных режимах.

**Заслонка во впускном коллекторе.** В дизелях легковых автомобилей с насос-форсунками заслонка во впускном коллекторе служит для отсечения подачи сжатого воздуха для плавной остановки двигателя, поскольку при этом сжимается меньшее количество воздуха. Привод заслонки осуществляется электропневматическим клапаном.

**Регулятор закручивания потока воздуха на впуске.** В дизелях легковых автомобилей регулирование закручивания потока воздуха влияет на структуру закрученного потока в цилиндрах двигателя. Собственно закручивание потока обычно создается спиральной формой впускных каналов. Поскольку степень закручивания определяет интенсивность перемешивания топлива и воздуха в камере сгорания, она значительно влияет на качество процесса сгорания. Как правило, интенсивное закручивание создается на режимах малых частот вращения, а слабое закручивание – в области высоких частот вращения. Степень закручивания может изменяться регулятором закручивания в виде заслонки или золотникового клапана вблизи дроссельной заслонки.

## 2.9.2. Компоненты систем питания воздухом и регулирование его расхода

Схема всасывания воздуха показана на рис. 2.36, а конструктивные элементы системы автомобилей Toyota – на рис. 2.37.

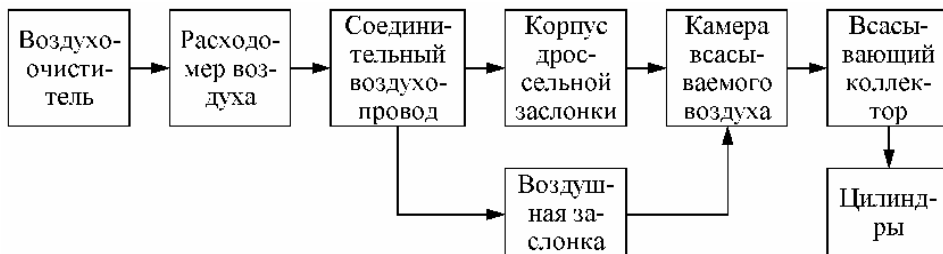
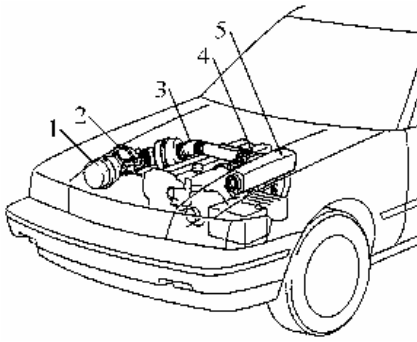


Рис. 2.36. Схема подачи воздуха

Воздух из воздухоочистителя проходит через расходомер воздуха и открывает измерительную пластину перед попаданием в камеру всасывания воздуха. Объем потока воздуха к камере всасываемого воздуха определяется степенью открытия дроссельной заслонки (рис. 2.38 [39]).



**Рис. 2.37. Компоненты системы подачи воздуха автомобилей:**

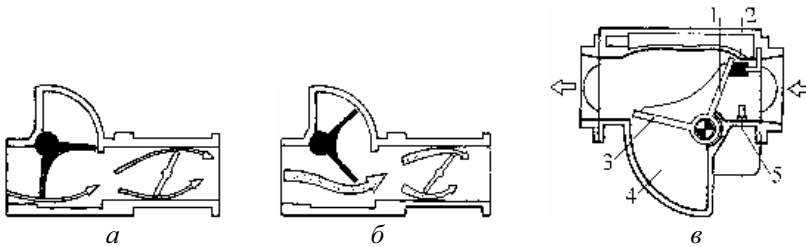
1 – воздухоочиститель; 2 – расходомер воздуха; 3 – соединительный воздухопровод; 4 – корпус дроссельной заслонки (воздушная заслонка); 5 – камера всасываемого воздуха (всасывающий коллектор)

частоты вращения холостого хода двигателя (называется «увеличенные обороты холостого хода»).

Дроссельная заслонка регулирует объем воздуха, всасываемого цилиндрами двигателя. Чем больше открытие заслонки, тем больше воздуха попадает в цилиндры. При низких скоростях поток воздуха меньше и измерительная пластина будет открыта незначительно. При высоких скоростях и больших нагрузках поток воздуха будет больше и открытие измерительной пластины соответственно также будет больше (рис. 2.38, б).

Из камеры всасываемого воздуха он распределяется к каждому коллектору и всасывается в камеру сгорания. Когда двигатель холодный, воздушная заслонка открыта, и воздух проходит в камеру всасывания воздуха. Даже если дроссельная заслонка закрыта, воздух проходит в камеру для увеличения

частоты вращения холостого хода двигателя (называется «увеличенные обороты холостого хода»).



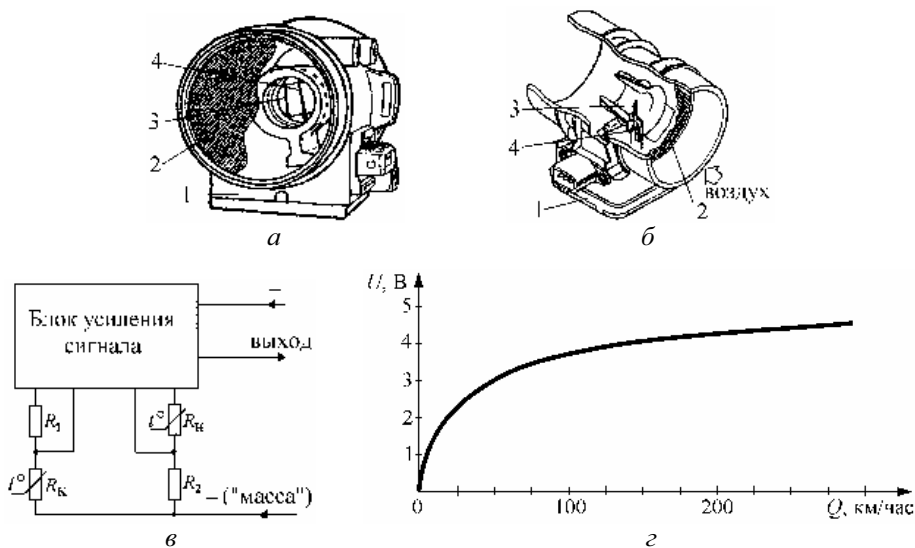
**Рис. 2.38. Регулировка подачи воздуха заслонкой:**

а – при малых оборотах; б – при больших оборотах или большой нагрузке двигателя; в – расходомер воздуха LMM: 1 – основная заслонка; 2 – упор; 3 – компенсационная заслонка; 4 – демпфирующий объем; 5 – датчик температуры воздуха

**Датчик массового расхода воздуха** фирмы Bosch состоит из температурного датчика и нагревательного резистора. Проходящий воздух охлаждает один из датчиков, а электронная схема датчика преобразует эту разность температур в выходной сигнал для электронного блока управления. В разных вариантах систем топливоподачи могут применяться датчики массового расхода воздуха двух типов. Они отличаются по устройству и по характеру выдаваемого сигнала, который может быть частотным или аналоговым. В первом случае в зависимости от расхода воздуха меняется частота сигнала, а во втором случае – напряжение. Электронный блок управления (ЭБУ) использует информацию от датчика массового расхода воздуха для

определения длительности импульса открытия форсунок.

Конструкция и выходные характеристики термоанемометрического датчика расхода воздуха с нитью накала и пленочным термозлементом показаны на рис. 2.39, 2.40.



**Рис. 2.39. Конструкция (а, б) и электрическая схема (в) термоанемометрических датчиков расхода воздуха с нитью накала (а), пленочным (б) измерительным элементом и выходные характеристики (з) термоанемометрических датчиков расхода воздуха:**

1 – корпус; 2 – решетка-стабилизатор; 3 – измерительный элемент; 4 – термокомпенсационный резистор;  $R_H$  – измерительный элемент;  $R_K$  – термокомпенсационный резистор;  $R_1, R_2$  – элементы измерительной схемы

Принцип действия датчика основан на зависимости тепловой мощности, рассеиваемой нагретой платиновой нитью, от массового расхода воздуха, поток которого обтекает эту нить. Общий расход воздуха (б) определяется расчетным путем по количеству воздуха (5), проходящего по каналу нити накала (см. рис. 2.40, б).

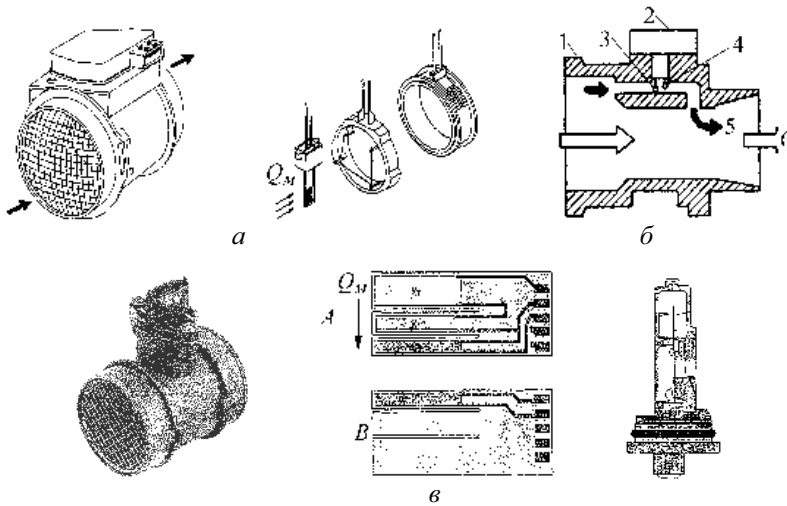
В процессе работы электронная схема поддерживает постоянный перегрев нити относительно потока воздуха на уровне 150 °С. Во время работы двигателя засасываемый в него воздух охлаждает нагреваемые элементы.

Датчик массового расхода топлива, в основном для дизельных двигателей грузовых автомобилей, показан на рис. 2.41.

Электрическая мощность, требуемая для поддержания заданного превышения температуры над температурой окружающего воздуха, является параметром для определения массового расхода воздуха, проходящего через датчик.

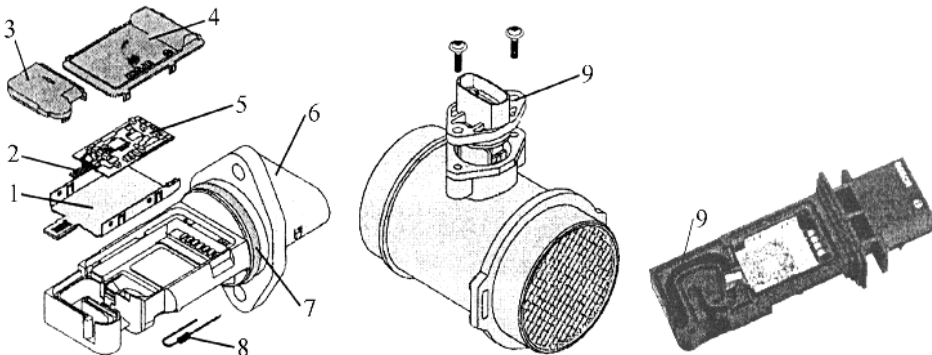
Выходным сигналом расходомера служит падение напряжения на прецизионном резисторе, включенном в смежное с нагреваемой нитью пле-

чо измерительного моста. Это напряжение электронный блок управления преобразует в часовой расход воздуха (кг/час, рис. 2.42).



**Рис. 2.40. Расходомер воздуха с нитью накала (а, б) и с пленочным термозлементом НФМ2 (в):**

1 – корпус; 2 – электронная схема; 3 – нить накала; 4 – терморезистор; 5 – воздух, проходящий через канал с нитью; 6 – общий поток воздуха

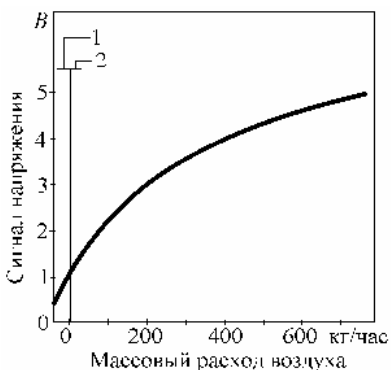


**Рис. 2.41. Датчик НФМ-6 массового расхода топлива:**

1 – подложка несущая; 2 – датчик воздушного потока; 3 – крышка измерительного канала; 4 – крышка вычислительной платы; 5 – плата вычислительная (Hybrid); 6 – штекер электрический; 7 – O-уплотнение; 8 – датчик температурный всасываемого воздуха; 9 – модуль измерительный НФМ-6

Засорение датчика, например, вследствие плохого состояния механической части, вызывает дрейф сигнала датчика, его инерционность. Загрязнение датчика может быть следствием попадания внутрь него воды, отложения соли, накипи, что также вызывает дрейф сигнала датчика и его инерционность.

С учетом частоты вращения коленчатого вала, контроллер пересчитывает часовой расход воздуха в цикловую подачу воздуха в цилиндр (мг/цикл). По цикловой подаче воздуха определяется цикловая подача топлива, впрыскиваемого через форсунку во впускной коллектор.



**Рис. 2.42. Сигнал напряжения датчика как функция массового расхода воздуха, который обтекает датчик:**

- 1 – обратный поток воздуха;
- 2 – прямой поток воздуха

монтируется измерительный терморезистор, который обычно имеет отрицательный температурный коэффициент (NTC, Negative Temperature Coefficient); реже используется положительный температурный коэффициент (PTC, Positive Temperature Coefficient); то есть сопротивление датчика существенно понижается (NTC) или повышается (PTC) при увеличении температуры.

Измерительный резистор является элементом схемы делителя напряжения, которое обеспечивается напряжением 5 В. Так как сопротивление изменяется при перемене температуры, то изменяется и приложенное к резистору напряжение. Напряжение, которое является мерой температуры сенсора, считывается аналого-цифровым преобразователем. В блоке управления двигателя «защиты» параметрические значения, по которым каждому значению сопротивления (соответственно выходного напряжения) соответствует определенная температура. Системы Common Rail могут содержать следующие датчики температуры:

- датчик температуры охлаждающей жидкости, соответственно, температуры двигателя;
- датчик температуры топлива;
- датчик температуры выхлопных газов;
- датчик температуры поступающего воздуха.

Датчики температуры могут быть проверены следующим образом: замер сопротивления, замер падения напряжения, считывание действительных значений при помощи KTS.

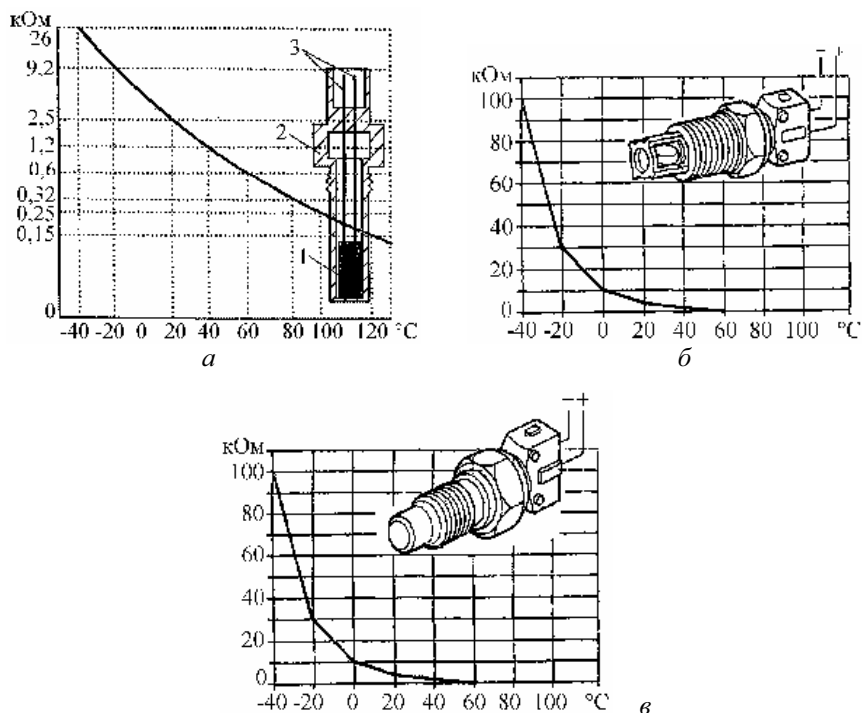
Форма кривой характеристики является такой, что диагностические устройства, встроенные в ЭБУ, могут определять такие неисправности, как обрыв цепи.

В датчик HFM5 может также быть встроен температурный датчик для выполнения вспомогательных функций. Он размещен в пластмассовом корпусе и не является обязательным для измерения массового расхода воздуха.

**Датчики температуры.** Конструкция датчика с отрицательным уменьшением сопротивления с увеличением температуры показана на рис. 2.43.

Характеристики датчиков, применяемых различными производителями, отличаются друг от друга, однако в принципе они похожи. В корпусе

Типичная зависимость сопротивления датчика от температуры охлаждающей жидкости представлена на рис. 2.43, *а, в*. Практически такие же характеристики имеют и датчики температуры всасываемого воздуха. Более того, очень часто в датчиках температуры охлаждающей жидкости и всасываемого воздуха используется один и тот же тип терморезистора. В этом случае такие датчики отличаются только конструкцией корпуса.

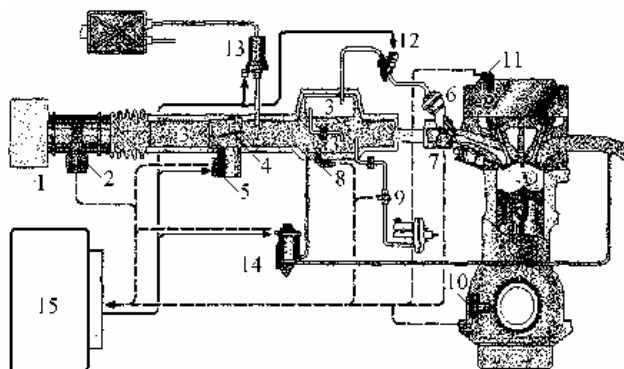


**Рис. 2.43. Конструкция и типичные характеристики датчиков:**

*а, в* – температуры жидкости; *б* – температуры воздуха; 1 – полупроводниковый резистор; 2 – металлический корпус; 3 – электрические контакты; *б, в* – автомобилей Fiat Morelli IAW

Одна из функциональных схем системы питания воздухом приведена на рис. 2.44.

Воздушный поток, который поступает сквозь фильтр, отклоняет на определенный угол напорную заслонку, связанную с потенциометрическим датчиком угла отклонения этой заслонки. Сигнал с датчика о положении воздушной заслонки поступает в электронный блок управления, который определяет необходимое в данный момент времени количество воздуха и выдает соответствующий сигнал управления на открывание форсунок на соответствующее время. Дополнительные датчики (рис. 2.44 [16]) позволяют точно дозировать топливо в различных эксплуатационных режимах работы двигателя.



**Рис. 2.44. Функциональная схема системы питания воздухом:**

1 – воздушный фильтр; 2 – датчик массового расхода воздуха (G70) с датчиком температуры воздуха на впуске (G42) для более точного определения нагрузки двигателя; 3 – впускной коллектор; 4 – дроссельная заслонка; 5 – блок управления дроссельной заслонкой (J338); 6 – вакуумный привод узла управления геометрией впускного коллектора; 7 – потенциометр впускных заслонок G336; 8 – датчик давления во впускном трубопроводе (G71) для расчета количества отработавших газов, которые перепускаются; 9 – датчик давления (G294) для регулирования разрежения в магистрали к вакуумному усилителю тормозного привода; 10 – датчик углового положения распределительного вала; 12 – клапан управления приводом заслонок N316; 13 – клапан продувки адсорбера (N80); 14 – электромагнитный клапан системы рециркуляции отработавших газов (G212, N18) с увеличенным проходным сечением для перепускания большого количества газов; 15 – блок управления системой Motronic MED 9.5.10 (J220)

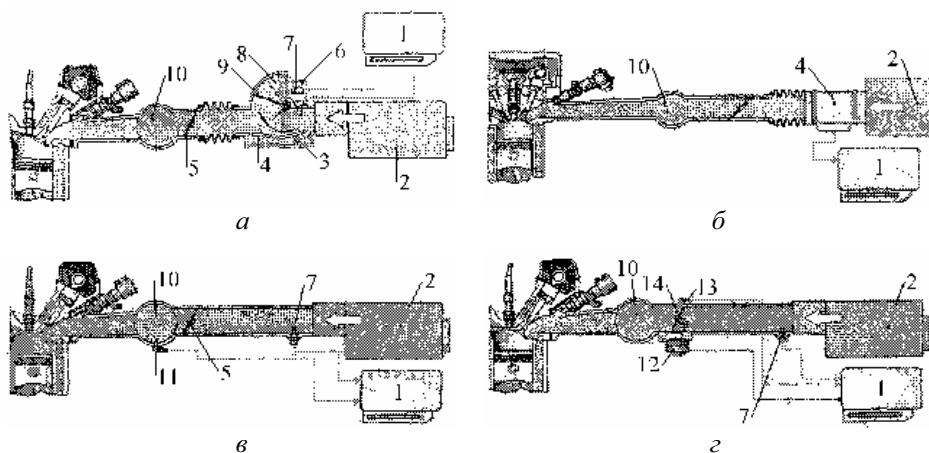
Для определения дозирования топлива необходимо знать количество воздуха, всасываемого в каждый цилиндр. Регулирование впрыскивания может осуществляться по изменению давления во впускном трубопроводе и частоты вращения коленчатого вала или по измерению расхода воздуха, поступающего в цилиндры.

Определение нагрузки на двигатель в системах распределенного впрыскивания топлива обычно выполняют такими способами (рис. 2.45, а...г):

- а) с помощью объемного измерителя расхода воздуха;
- б) с помощью массового (Hitzdraht-Luftmassenmesser, Heissfilm-Luftmassenmesser) измерителя расхода воздуха;
- в) с помощью датчика разрежения во впускном трубопроводе;
- г) с помощью потенциометра дроссельной заслонки.

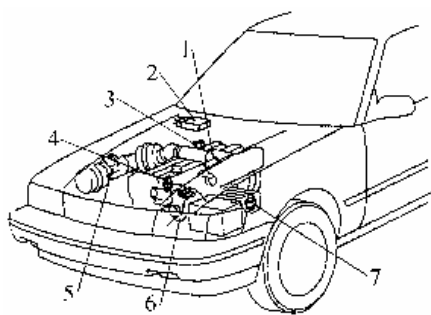
Электронная система управления впрыском топлива состоит из датчиков, которые сигнализируют о различных состояниях двигателя, ЭБУ рассчитывает объем (длительность) впрыскивания в соответствии с сигналами (данными) от датчиков и исполнительных механизмов. Управляют еще впрыском топлива, основываясь на этих сигналах от ЭБУ (рис. 2.46). Датчики сигнализируют об объеме всасываемого воздуха, скоростном режиме двигателя, нагрузке двигателя, температуре охлаждающей жидкости и вса-

сываемого воздуха, ускорении (или замедлении) и посылают сигналы к ЭБУ. ЭБУ определяет требуемую длительность топливоподачи и посылает сигналы к форсункам. Форсунки впрыскивают топливо во всасывающий коллектор согласно этим сигналам. Объем топлива зависит от длительности сигнала от ЭБУ. Блок-схема системы электронного управления показана на рис. 2.47.



**Рис. 2.45. Способы определения нагрузки на двигатель:**

1 – ЭБУ; 2 – воздушный фильтр; 3 – клапанный затвор; 4 – расходомер воздуха; 5 – дроссельная заслонка; 6 – потенциометр; 7 – термочувствительный элемент; 8 – демпфирующая камера; 9 – компенсационный клапан; 10 – впускной коллектор; 11 – датчик давления во впускном трубопроводе; 12 – привод дроссельной заслонки; 13 – потенциометр дроссельной заслонки; 14 – дроссельная заслонка



**Рис. 2.46. Система управления:**

1 – датчик положения дроссельной заслонки; 2 – ЭБУ ЭВТ; 3 – реле размыкания цепи; 4 – реле времени форсунки холодного запуска; 5 – расходомер воздуха (датчик температуры всасываемого воздуха); 6 – датчик температуры воды; 7 – главное реле

**Система подачи дополнительных порций воздуха.** Кратковременная подача воздуха во впускной коллектор после пуска двигателя приводит к дополнительному сгоранию негоревших углеводородов (СН), содержащихся в ОГ. Это снижает эмиссию углеводородов. С другой стороны, это сокращает время нагревания каталитического нейтрализатора, который быстрее достигает своей рабочей температуры.

Входными сигналами подачи вторичного воздуха являются:

- сигналы кислородных датчиков;
- температура охлаждающей жидкости;

- нагрузка двигателя – сигнал измерителя массового расхода воздуха;
- частота вращения коленчатого вала.

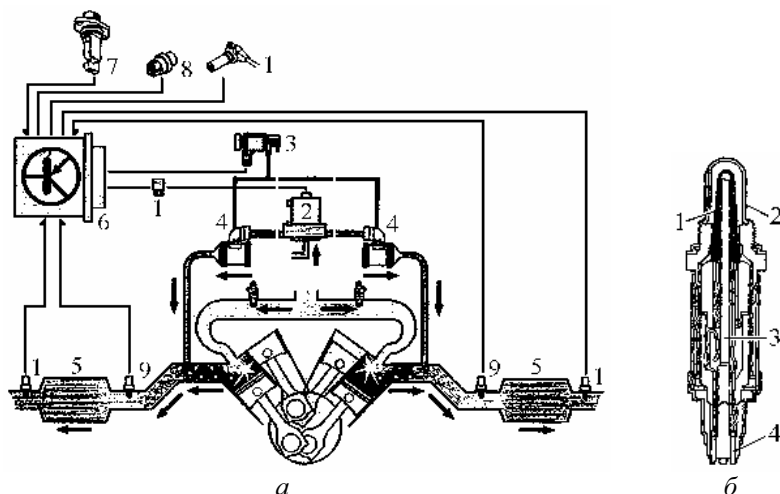


**Рис. 2.47. Регулирование подачи воздуха**

Система подачи вторичного воздуха (рис. 2.48) обеспечивает снижение выброса вредных веществ с отработавшими газами после пуска холодного двигателя. При прогреве двигателя отработавшие газы содержат повышенное количество несгоревших углеводородов. Непрогретый нейтрализатор не способен их переработать, так как его температура еще не достигла рабочих значений и равный единице коэффициент избытка воздуха также не способствует этому. Вдуванием воздуха в каналы за выпускными клапанами достигается обогащение отработавших газов кислородом. В результате создаются условия для дожигания их несгоревших компонентов. Выделяющаяся при этом теплота ускоряет разогрев нейтрализатора до рабочих температур.

В соответствии с входными сигналами блок управления двигателем вырабатывает команды на одновременное включение насоса вторичного воздуха (через его реле) и открытие клапана управления подачей вторичного воздуха. Распространяющееся через клапан управления разрежение приводит в действие комбинированный клапан. В результате в поток отработавших газов за выпускными клапанами кратковременно вдувается воздух,

подаваемый насосом. Система подачи вторичного воздуха отключается при увеличении нагрузки двигателя.



**Рис. 2.48. Система подачи воздуха (а) и датчик кислорода (б):**

*а:* 1 – реле насоса вторичного воздуха; 2 – насос вторичного воздуха; 3 – клапан управления подачей вторичного воздуха; 4 – комбинированный клапан; 5 – каталитический нейтрализатор; 6 – блок управления двигателем; 7 – измеритель массового расхода воздуха; 8 – датчик температуры охлаждающей жидкости на выходе из двигателя; 9 – датчик кислорода, устанавливаемый перед нейтрализатором; 10 – датчик кислорода, устанавливаемый после нейтрализатора; 11 – датчик частоты вращения коленчатого вала  
*б:* 1 – чувствительный элемент; 2 – защитная крышка; 3 – нагревательный элемент; 4 – электрический разъем

**Датчик кислорода.** Системы, управляющие двигателем с обратной связью, оснащены датчиком кислорода, который анализирует содержание кислорода в отработавших газах. Избыток кислорода в отработавших газах свидетельствует о богатой смеси, а его недостаток – о бедной смеси. При работе системы управления в режиме с обратной связью сигнал датчика кислорода заставляет ЭБУ изменить длительность импульсов управления форсунками так, чтобы соотношение воздух/топливо было близко к стехиометрическому. Реально коэффициент избытка воздуха должен находиться в пределах  $0,97 \dots 1,03$ . При этом достигается полное сгорание топлива, катализатору будет меньше работы и он прослужит дольше.

Работа системы управления с обратной связью начинается, когда двигатель прогреется и достигнет рабочей температуры. Если двигатель не прогрелся или работает с полной нагрузкой, или идет выбег, ЭБУ работает без обратной связи. При работе без обратной связи ЭБУ допускает работу двигателя на богатой и бедной смеси. Этим предотвращается неустойчивая работа двигателя, например при ускорении на полном дросселе.

Датчик кислорода имеет керамическую основу и установлен в выпускном коллекторе, перед каталитическим нейтрализатором. Датчик имеет

разные названия –  $\lambda$ -зонд, кислородный датчик и даже датчик кислорода в отработавших газах.

Количество кислорода, оставшегося после сгорания, служит отличным индикатором дефицита или избытка воздуха в смеси. Датчик кислорода дает ЭБУ информацию, по которой он может практически мгновенно (в пределах 50 мс) отрегулировать длительность подачи топлива. При электронном управлении двигателем, когда состав смеси держится близким к стехиометрическому, всегда достигается практически полное сгорание смеси.

Датчик кислорода имеет два электрода из пористой платины. Эти электроды расположены на наружной и внутренней поверхностях датчика. Наружный электрод омывается выхлопными газами и покрыт пористой керамикой. Внутренний электрод открыт в сторону наружного воздуха.

В настоящее время используются два типа датчиков. В датчике первого типа, наиболее распространенном, используется циркониевый элемент. Сигнал в виде напряжения формируется пропорционально разности содержания кислорода на двух электродах датчика. Это напряжение передается в ЭБУ, благодаря чему ЭБУ определяет содержание кислорода в выхлопных газах. По сигналу этого датчика ЭБУ может поддерживать коэффициент избытка воздуха в диапазоне  $1,0 \pm 0,02$ .

Напряжение датчика при работе системы управления в режиме с обратной связью очень мало и составляет 100 мВ для бедной смеси и 1,0 В для богатой. Сигнал имеет прямоугольную форму, как у выключателя, и меняется практически мгновенно.

Датчик кислорода второго типа выполнен из диоксида титана. Изменение содержания кислорода в нем приводит к изменению сопротивления датчика. Датчик реагирует на изменение содержания кислорода значительно быстрее, чем датчик из циркония, сигнал остается стабильным в широком диапазоне температуры.

К сожалению, управляемость ухудшается, если настроить двигатель на значения коэффициента избытка воздуха во всем диапазоне его изменения. Управление двигателем по идеальному значению состава смеси вызывает неустойчивость работы двигателя, появление «черных дыр», что делает в ряде случаев двигатель неуправляемым. Поэтому при управлении двигателем по составу смеси во время движения с постоянной скоростью включается режим с обратной связью, а при ускорениях или прогреве двигателя система переходит на режим без обратной связи и для предотвращения неустойчивой работы двигателя смесь при этих условиях обогащается.

Датчик кислорода начинает работать только после того, как достигнет температуры 300 °С. Для ускорения достижения датчиком рабочей температуры в датчик встроен нагревательный элемент. Питание на нагреватель обычно подается с реле топливного насоса. Этим обеспечивается работа датчика только на время работы двигателя.

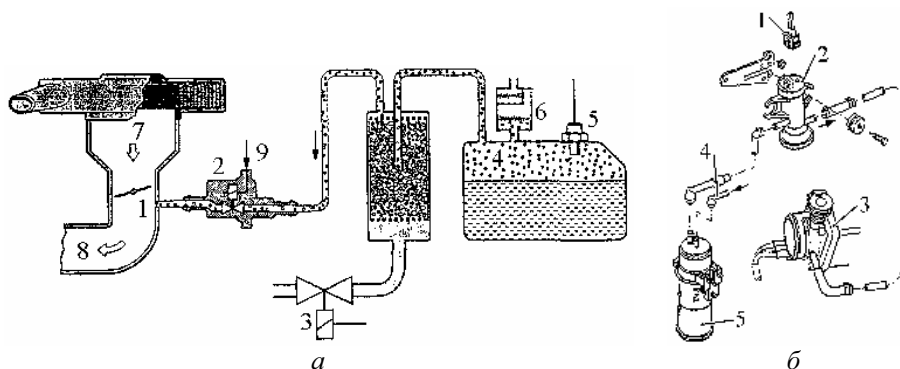
Хотя управление двигателем с использованием датчика кислорода дает хорошие результаты, все может измениться при появлении хотя бы незначительной неисправности двигателя. Практически все проблемы, влияющие на процесс сгорания, повышают содержание кислорода в выхлопных

газах. Например, сбой зажигания из-за неисправности системы зажигания приводит к тому, что сгорание не завершилось и уровень содержания кислорода вырос.

ЭБУ воспримет этот сбой как обеднение смеси и увеличит продолжительность топливоподачи. Если используется распределенный нефазированный или центральный впрыск топлива, смесь во всех цилиндрах окажется обогащенной. Поэтому фазированной топливоподаче следует отдать предпочтение. Только в этом случае обогащенной окажется смесь в неисправном цилиндре.

## 2.10. Системы улавливания паров бензина, анализа состава отработавших газов и их выпуска

**Вентиляция топливного бака.** Существует много разных способов вентиляции топливного бака. На рис. 2.49 приведена схема вентиляции топливного бака OBD-II. Основным контролируемым параметром системы вентиляции является ее герметичность.



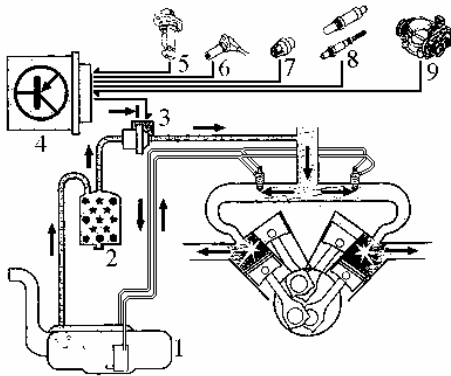
**Рис. 2.49. Схема вентиляции топливного бака:**

*а* – система OBD-II: 1 – впускной коллектор; 2 – клапан вентиляции топливного бака; 3 – запорный клапан; 4 – топливный бак; 5 – датчик дифференциального давления; 6 – защитный клапан; 7 – воздух; 8 – подача воздуха к двигателю; 9 – электроуправление; *б* – компоненты системы вентиляции топливного бака VAG Simos: 1 – разъем клапана вентиляции топливного бака; 2 – клапан вентиляции топливного бака; 3 – блок дроссельной заслонки; 4 – шланг от топливного бака; 5 – угольный фильтр

**Газоанализ.** Экологическая норма Euro-5, которая вступила в силу с 2010 года, ставила перед конструкторами автомобильных систем (и в частности, дизельных двигателей) высокие требования. Причем новые концепции не должны ухудшать топливную экономичность дизеля, поскольку это связано с общими выбросами диоксида углерода. Отсюда стремление к максимально чистому, с малым количеством выброса вредных веществ. Ключевую роль при этом играет система топливоподачи, поскольку чем рациональнее она обеспечивает процесс подачи топлива на разных режимах рабо-

ты двигателя, тем меньше выбросы вредных веществ. Большое значение здесь имеют высокое давление впрыскивания и дифференцированное управление форсунками.

Компоненты системы вентиляции топливного бака, широко применяемой в двигателях, приведены на рис. 2.50.



**Рис. 2.50. Система вентиляции топливного бака двигателя:**

1 – топливный бак; 2 – адсорбер с активированным углем; 3 – клапан адсорбера; 4 – блок управления двигателем; 5 – измеритель массового расхода воздуха; 6 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 7 – датчик температуры охлаждающей жидкости на выходе из двигателя; 8 – датчики кислорода; 9 – блок управления дроссельной заслонкой

Входными сигналами для регулирования системы вентиляции топливного бака являются:

- частота вращения коленчатого вала;
- нагрузка двигателя – сигнал измерителя массового расхода воздуха;
- температура двигателя;
- сигналы датчиков кислорода;
- сигнал с блока управления дроссельной заслонкой.

Система вентиляции бака должна предотвращать выход образующихся в нем паров топлива в окружающую атмосферу. Пары топлива удерживаются в адсорбере, заполненном активированным углем. После обработки входных сигналов блок управления двигателем выдает команду на открытие электромагнитного клапана. В результате накопленные в адсорбере пары топлива отводятся во впускной трубопровод двигателя и затем сжигаются в его

цилиндрах. При этом кратковременно изменяется соотношение топлива и воздуха. Это изменение смеси регистрируется датчиками кислорода, по сигналам которых вступает в действие система регулирования состава смеси, контролируемая блоком управления двигателем. В результате коэффициент избытка воздуха вновь приводится к единице.

Однако если поддерживать коэффициент избытка воздуха к всегда на уровне 1,0, то двигатель на некоторых режимах станет неуправляемым. По этой причине при холодном пуске, прогреве двигателя, при резком ускорении и полностью открытой дроссельной заслонке ЭБУ переходит на режим работы без обратной связи, когда коэффициент избытка воздуха может меняться в более широком интервале.

Когда обороты двигателя превышают установленный уровень, для защиты двигателя от разноса ЭБУ прерывает работу форсунок. Подача топлива прекращается также при выбеге автомобиля в целях экономии топлива. Подача топлива восстанавливается, когда скорость выбега падает ниже наперед заданного значения. Если некоторое время автомобиль двигался с за-

крытой дроссельной заслонкой, то при ее открытии подача топлива возобновляется, но в контролируемой форме, так чтобы избежать рывков при ускорении.

**Пример.** При использовании адаптированной карты применительно к датчику кислорода на бензиновом двигателе система может быстрее реагировать на изменившиеся условия движения и сохранять контроль над составом выхлопных газов. Во время работы ЭБУ с обратной связью базовые значения впрыскивания топлива в зависимости от загрузки и частоты вращения коленчатого вала находятся в характеристической карте. Если базовые значения топливоподачи выводят коэффициент избытка воздуха за разрешенные пределы диапазона  $0,97 \dots 1,03$ , смесь становится либо обогащенной, либо обедненной. Датчик кислорода должен сообщить об этом нарушении ЭБУ, который, в свою очередь, откорректирует состав смеси. Этот процесс происходит очень быстро, а ЭБУ запоминает это скорректированное значение. С этого момента состав смеси войдет в допуск и ЭБУ останется только вносить небольшие изменения, чтобы поддерживать параметр в пределах допуска.

Коррекция исходных карт происходит при следующих обстоятельствах:

- при работе клапана продувки угольного фильтра;
- при работе клапана холостого хода;
- при регулировании оборотов холостого хода и состава рабочей смеси;
- при регулировке состава смеси на частичных нагрузках.

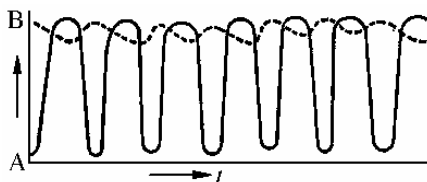
При продувке угольного фильтра состав смеси обогащается дополнительными парами топлива из угольного фильтра, поэтому смесь становится слишком богатой и на это реагирует датчик кислорода.

Неисправности системы смесеобразования могут вызывать постоянное переобогащение или переобеднение смеси. Для контроля состава отработавших газов применяют лямбда-регулирование коррекции подачи топлива. Схема сигналов датчиков контроля состава отработавших газов показана на рис. 2.51. Примеры установки  $\lambda$ -зондов приведены на рис. 2.52. Для проверки функционирования катализатора в систему устанавливается второй  $\lambda$ -зонд.

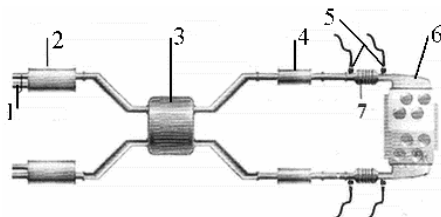
Блок управления определяет сдвиг фаз между сигналами обоих  $\lambda$ -зондов. Если этот сдвиг фаз превышает запрограммированную границу, то блок управления интерпретирует это как признак старения катализатора.

Устройство и принцип действия обоих зондов одинаковы. Для проведения такой проверки необходимо одновременное выполнение следующих условий:

- лямбда-регулирование в активном состоянии, нагрузка  $25 \dots 45$  %;
- скорость около  $75$  км/ч и постоянна;
- температура охлаждающей жидкости более  $10$  мин. удерживается не менее  $75^\circ$ ;
- частота сигнала  $\lambda$ -зонда не менее  $1,5$  Гц;
- амплитуда сигнала  $\lambda$ -зонда после катализатор около  $200$  мВ.



**Рис. 2.51.** Схема сигналов зонда перед катализатором (A) и после катализатора (B)



**Рис. 2.52.** Система выпуска W8:  
1 – выхлопные трубы; 2 – концевой глушитель; 3 – основной глушитель; 4 – резонатор; 5 – кислородные датчики; 6 – выпускной коллектор; 7 – каталитический нейтрализатор

**Система выпуска.** В двигателе W8 на каждую головку блока приходится по выпускному коллектору с жестко прикрепленным к нему каталитическим нейтрализатором. Поэтому, в двигателе установлено четыре кислородных датчика (рис. 2.52).

В системе выпуска для каждого ряда цилиндров имеется по одному резонатору и концевому глушителю. Также имеется один общий основной глушитель.

В зависимости от модификации ЭСУД и ее адаптации к тем или иным нормам токсичности могут быть реализованы разные схемы и алгоритмы установки  $\lambda$ -зондов:

- 1) Euro-1 и Euro-2: один двухуровневый  $\lambda$ -зонд перед трехкомпонентным нейтрализатором;
- 2) Euro-3: два одинаковых двухуровневых  $\lambda$ -зонда, один перед, другой за нейтрализатором ОГ. Первый  $\lambda$ -зонд осуществляет коррекцию топливоздушную смеси, второй – контроль технического состояния нейтрализатора;
- 3) Euro-4 и Euro-5: перед нейтрализатором размещен широкополосный  $\lambda$ -зонд, который точно определяет величину коэффициента избытка воздуха, за нейтрализатором – второй двухуровневый  $\lambda$ -зонд для контроля технического состояния нейтрализатора.

## Контрольные вопросы

1. Перечислить основные механические и газогидроаэродинамические системы двигателя.
2. Каковы основные конструктивные параметры двигателя?
3. Привести основные эксплуатационные свойства двигателя.
4. В чем отличие рабочего процесса дизельного двигателя от бензинового?
5. Каковы основные функциональные параметры двигателя?
6. Привести конструктивные особенности КШМ. Каковы его основные диагностические параметры?
7. Каково назначение ЦПГ и какие ее основные диагностические параметры?
8. Каково назначение ГРМ?
9. Назвать зоны повышенного износа контактирующих поверхностей ГРМ.
10. Почему необходимо выполнять регулирование теплового зазора ГРМ?
11. Привести типовые диагностические параметры механических ГРМ.
12. Назвать типовые диагностические параметры механических систем дизельно-

го двигателя.

13. Привести состав и основные структурные параметры системы питания и зажигания бензинового двигателя.

14. Какие системы дизельного двигателя с электромеханической системой управления вы знаете и как устроена система их питания?

15. Приведите основные компоненты системы питания двигателя воздухом.

16. Какие существуют датчики контроля расхода воздуха, какие их конструктивные особенности?

17. Зачем измеряют температуру и расход воздуха, попадающего в цилиндр?

18. По каким параметрам производится регулирование объема воздуха, попадающего в цилиндр?

19. Какие компоненты электронных систем управления подачей воздуха в цилиндры двигателя являются объектом диагностирования?

20. Расскажите о системе подачи вторичного воздуха в двигатель.

21. Каково назначение системы вентиляции топливного бака?

22. Каково назначение датчика  $\lambda$ -зонда? Сколько, где и с какой целью его необходимо устанавливать?

23. Назвать компоненты системы вентиляции топливного бака.

24. Чем отличается традиционная топливная система от аккумуляторной?

25. Каково назначение фильтров в двигателе?

26. Приведите типы насосов: рядных ТНВД, распределительного типа и индивидуальных ТНВД.

27. Приведите виды распределительного ТНВД.

28. Охарактеризуйте систему впрыска с рядным ТНВД и их разновидности.

29. Охарактеризуйте систему впрыска с распределительным ТНВД.

30. Приведите системы впрыска с индивидуальным ТНВД, их преимущества и недостатки.

31. Приведите системы смесеобразования и сгорания топлива.

32. Каково назначение турбокомпрессора в двигателе?

33. Как производится регулирование наддува в двигателе?

### 3. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕНЗИНОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Система электронного управления двигателем подразделяется на три системных блока: датчики и генераторы импульсов, электронный блок управления, исполнительные устройства и приводы (форсунка, катушка зажигания, клапаны и т. д.). Требования снижения расхода топлива и снижения вредных веществ в отработавших газах, повышение мощности и крутящего момента являются основными факторами, которые определяются совершенством топливной системы двигателя.

#### 3.1. Классификация систем впрыскивания топлива

Состав рабочей смеси в карбюраторном двигателе меняется в зависимости от температуры и плотности воздуха на входе. Это делает практически невозможным точное поддержание состава смеси.

Применение электронных систем управления впрыскиванием топлива взамен традиционных карбюраторов обеспечивает повышение топливной экономичности и снижение токсичности отработавших газов. Они улучшают в большей степени по сравнению с карбюраторами процесс смесеобразования и сгорания топлива. Однако системы электронного впрыскивания топлива сложнее систем топливоподачи с использованием карбюраторов из-за большего числа подвижных прецизионных механических элементов и электронных устройств и требуют более квалифицированного обслуживания в эксплуатации.

По мере развития систем впрыскивания топлива на автомобили устанавливались механические, электромеханические и электронные системы (рис. 3.1). В основе их совершенствования было: повышение удельной мощности, снижение расхода топлива, уменьшение уровня шума и эмиссии ОГ.

К настоящему времени структурные схемы систем впрыскивания топлива в основном стабилизировались. Классификация способов впрыскивания топлива показана на рис. 3.2.

**Системы впрыска топлива** различают по месту и способу подачи топлива, принципу работы и типу регулирования, а также конструктивному выполнению исполнительных компонентов системы дозирования топлива.

**По месту подачи топлива** различают системы впрыска во впускной тракт или непосредственно в цилиндры двигателя.

**По числу ЭМФ и схеме их размещения** выделяют системы центрального (одноточечного, моновпрыскивания) и распределенного (многоточечного, группового) впрыскивания топлива. Система центрального впрыскивания топлива обеспечивает подачу топлива одной форсункой в ВТ, а распределенного – подачу топлива отдельными форсунками в ВТ или непосредственно в каждый цилиндр двигателя.

**По принципу подачи** различают системы впрыска с непрерывной, циклической и фазированной схемами подачи топлива.



Рис. 3.1. Классификация топливных систем

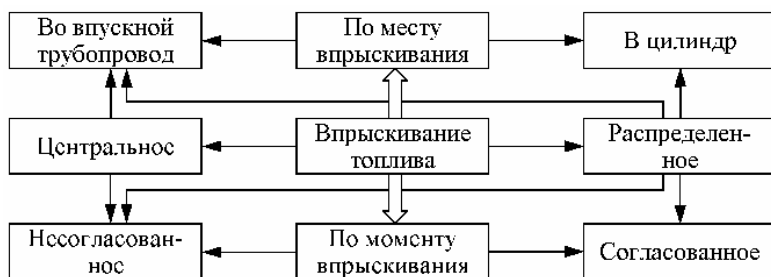


Рис. 3.2. Классификация способов впрыскивания топлива

**По типу конструктивного выполнения** узлов дозирования выделяют системы с различными плунжерными насосами, электромагнитными форсунками и регуляторами давления топлива.

**По времени подачи** топлива различают системы с одновременным, попарно-параллельным (групповым) и фазированным впрыском.

**Одновременный впрыск** сопровождается подачей топлива отдельными форсунками вместе во все цилиндры независимо от совершаемого такта двигателя, то есть все форсунки открываются одновременно.

При попарно-параллельном (групповом) впрыскивании половина

ЭМФ впрыскивают топливо одновременно. Так, на четырехцилиндровом двигателе при первом обороте коленчатого вала (КВ) впрыскивают топливо две ЭМФ, а при втором обороте КВ – следующие две ЭМФ, то есть каждая форсунка подает общую порцию топлива для одного цилиндра за два впрыскивания. Впрыск топлива форсунками различных групп соответствует определенной величине угла поворота КВ двигателя. Независимо от положения впускных клапанов впрыск топлива производится дважды на каждый оборот КВ двигателя. Если впускной клапан закрыт, то топливо остается в ВТ до следующего открытия впускного клапана данного цилиндра.

Двойной впрыск топлива в такой системе осуществляют все ЭМФ одновременно при каждом обороте КВ двигателя. Однако они впрыскивают лишь половину требуемого количества топлива.

При последовательном впрыске подача топлива осуществляется по очереди в порядке работы цилиндров двигателя.

**Фазированный впрыск** обеспечивает подачу топлива каждой форсункой в конкретный момент времени для каждого цилиндра двигателя.

Известные системы центрального и значительная часть систем распределенного впрыска представляют собой схемы дискретного действия. В импульсных системах подача топлива производится порциями (дискретно) в определенные моменты положения КВ двигателя. В системах непрерывного впрыска форсунка работает постоянно, но изменяется лишь ее производительность. Непрерывная подача топлива имеет ряд серьезных недостатков и для современных двигателей ее считают устаревшей. В системах с прямым (непосредственным) впрыском топлива каждая форсунка размещена в стенке или головке цилиндра и подает топливо непосредственно в цилиндр на такте сжатия.

Величина давления топлива в системах распределенного впрыска составляет 0,3 МПа, а при непосредственном – 5,0 МПа. Систему центрального впрыска топлива в ряде случаев дополнительно оснащают пусковой форсункой, работающей при холодном двигателе и отключающейся автоматически по мере его прогрева. В современных конструкциях пусковую форсунку не применяют.

**Система распределенного впрыска** отличается многообразием технических решений. В основе своей работы такие системы используют механический и гидравлический принципы подачи топлива. Подобные системы представляют собой схемы непрерывного действия. Они разработаны и выпускаются фирмой Bosch. Наиболее широкое распространение получили системы «K-Jetronic», «KE-Jetronic», «KE-Motronic» различных версий. Наиболее перспективной может быть система впрыска топлива в полость цилиндра.

Схема распределенного впрыска обеспечивает подачу топлива в ВТ, на впускной клапан или на перемычку между впускными клапанами. Регулирование количества подаваемого топлива осуществляется путем изменения продолжительности открытия дозирующего клапана электромагнитной форсунки.

Впрыскивание бензина во впускной коллектор относится к внешнему

смесеобразованию и должно обеспечивать гомогенную (равномерную) топливовоздушную смесь. Один из способов реализации внешнего смесеобразования является распределенное (многоточечное) дискретное впрыскивание бензина, предполагающее размещение форсунок на впускном коллекторе, количество которых равняется числу цилиндров. Бензин впрыскивается импульсами (дискретно) в область впускных клапанов, где он испаряется, пар перемешивается с воздухом, образуя готовую гомогенную топливовоздушную смесь. Благодаря использованию новых технологий управления впрыскиванием удалось существенно сократить расход топлива и выбросы вредных веществ с отработавшими газами на режимах малых нагрузок.

**Фазированный впрыск** осуществляют во впускной патрубке, непосредственно в цилиндр или в дополнительную камеру (вихревую форкамеру). Регулирование подачи топлива при циклическом впрыске осуществляется аналогично путем изменения продолжительности открытия клапана ЭМФ.

**Одновременный распределенный впрыск** топлива обеспечивает его подачу во все цилиндры двигателя. В системах одновременного впрыска форсунки соединены параллельно в одну или несколько групп и управляются общим импульсом ЭБУ. Одновременный впрыск осуществляют синхронно или асинхронно.

При синхронном впрыске топлива начало его подачи определяется сигналами задающего генератора, то есть синхронизированными с частотой вращения коленчатого вала (КВ). Синхронный впрыск является основным способом подачи топлива в современных системах как центрального, так и одновременного распределенного впрыска. При синхронном впрыске подача топлива форсунками обычно происходит один или два раза за оборот КВ. В некоторых режимах (пуск, режим холостого хода, полная нагрузка, режим ускорения) может быть переход на асинхронный впрыск, при котором моменты начала впрыска не связаны с частотой вращения КВ двигателя, а следуют через равные интервалы времени.

Последовательный впрыск топлива осуществляется отдельно в каждый цилиндр после открытия соответствующего впускного клапана в порядке работы цилиндров. В системах последовательного впрыска каждая форсунка связана с ЭБУ индивидуальной электрической цепью. Последовательная работа форсунок осуществляется по сигналам задающего генератора и фазового дискриминатора.

**Распределенный впрыск топлива** осуществляется в каждый цилиндр отдельной форсункой, установленной в соответствующий патрубок ВТ. Распыленная струя топлива, выходящая из форсунки, направлена в сторону впускного клапана. Распределенная подача топлива может быть одновременной или последовательной, а также синхронной или асинхронной.

**Центральный впрыск топлива** осуществляется одной форсункой, расположенной во впускном тракте между воздухоочистителем и дроссельной заслонкой. Распыленное топливо смешивается с воздухом в ВТ и далее поступает в порядке их работы. Впрыск топлива обычно осуществляется один или два раза за один оборот КВ двигателя, а состав смеси

регулируется длительностью впрыскивания.

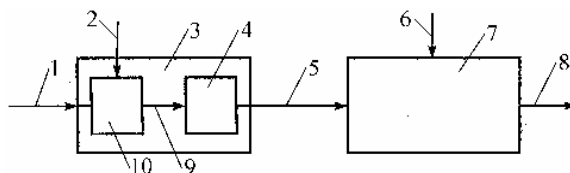
При внутреннем смесеобразовании время поступления смеси в цилиндры определяется работой газораспределительной системы. При внешнем – время поступления в цилиндры, время дозирования и смесеобразования различно.

Состав топливовоздушной смеси выбирается для каждого режима с учетом необходимости обеспечения требований к мощностным, экономическим и экологическим показателям.

**По типу регулирования** различают системы впрыска с разомкнутыми цепями управления двигателем и замкнутыми с обратной связью ( $\lambda$ -зонд).

Разомкнутая схема системы управления представляет собой линейную цепь ряда взаимодействующих элементов, соединенных и действующих последовательно один за другим.

Цепь управления содержит функциональные, системные и передающие элементы (рис. 3.3) [23]. В общем виде разомкнутая цепь содержит систему управления 3 и исполнительное устройство 7 с входным 1 и выходным 8 параметром. Электронный блок 10 и устройство управления 4 связаны между собой электрической цепью 9 с образованием системы управления 3.



**Рис. 3.3. Структурная схема системы управления двигателем с разомкнутой цепью:**

- 1 – входной параметр; 2 – внешний фактор; 3 – система управления; 4 – устройство управления; 5 – выходной параметр; 6 – внешний параметр исполнительного устройства; 7 – исполнительное устройство; 8 – выходной параметр исполнительного устройства; 9 – электрическая цепь; 10 – блок управления

Внешний фактор 2 представляет собой возмущающее воздействие внешней среды на систему управления. Управление исполнительным устройством 7 осуществляется по состоянию выходного параметра 5 системы управления 3 и внешнего входного фактора 6.

Выходной параметр 8 исполнительного устройства 7 представляет собой переменную электрическую величину, обеспечивающую его контролирование в соответствии с функциональными параметрами системы управления.

В разомкнутой цепи система управления 3 регистрирует возмущения, измеряемые блоком управления 10. На другие внешние воздействия система не реагирует. Система управления 3 содержит необходимые функциональные элементы, обеспечивающие решение заданных условий, выполняемых разомкнутой цепью управления. На вход системы управления 3 поступает входной параметр 1, проходящий последовательно через ряд промежуточных звеньев и преобразуемый в выходной параметр 5 системы управления 3.

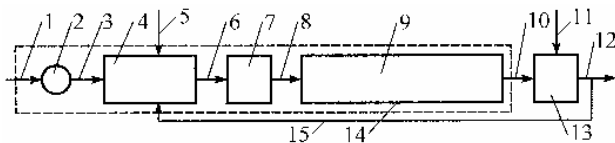
Разомкнутая линейная цепь системы управления функциональных элементов не обеспечивает получение оптимальных характеристик. Она более требовательна к точности изготовления функциональных элементов и поддержания режимов ее работы.

Функции управления разомкнутой системой подачи топлива и опережения зажигания в традиционных системах управления двигателем возложены на водителя. Применение программы с жестким алгоритмом управления в разомкнутых системах впрыска топлива двигателя не обеспечивает получение необходимого уровня топливной экономичности и минимального выброса вредных веществ (ВВ). Система не учитывает многообразие комплекса взаимосвязанных факторов. В этом случае происходит значительное рассогласование действующей и оптимальной программ управления.

Подобные технические решения в виде разомкнутых систем использовались практически на всех автомобилях недавнего времени. Большинство современных систем впрыска топлива снабжены замкнутой цепью управления двигателем.

**Автоматическое регулирование системы впрыска топлива** обеспечивают путем превращения разомкнутой схемы управления в замкнутую, то есть в систему управления с жесткой обратной связью. Современные автоматические системы управления двигателем выполнены адаптивными (самоприспосабливающимися, от лат. «adapto» – приспособливать). Подобная схема обеспечивает необходимый уровень надежной работы системы впрыска топлива в условиях быстрого изменения характеристик объекта управления.

Структурная схема системы управления с обратной замкнутой связью (рис. 3.4 [23]) содержит управляющее устройство 14, параметрический датчик 13 и ЭБУ 4, связанный через электрическую цепь 3 с датчиком 2 положения дроссельной заслонки и через выходной сигнал 6 ЭБУ, передающий командный параметр на привод 7 системы управления. Полученный выходной сигнал 8 привода системы управления поступает на регулируемую систему 9 (двигатель). Система управления через выходной сигнал 12 связана с датчиком ( $\lambda$ -зондом), размещенным в канале электрической цепи 15 обратной связи.



**Рис. 3.4. Структурная схема системы управления двигателем с обратной связью:**

1 – входной параметр; 2 – датчик положения дроссельной заслонки; 3 – электрическая цепь сигнала управления; 4 – ЭБУ; 5 – внешний фактор; 6 – выходной сигнал; 7 – электрический привод системы управления; 8 – выходной сигнал привода; 9 – регулируемая система (двигатель); 10 – выходной параметр системы управления; 11 – возмущающий фактор; 12 – выходной сигнал системы управления; 13 – параметрический датчик; 14 – управляющее устройство; 15 – электрическая цепь обратной связи

Входной управляющий параметр 1 через ряд промежуточных элементов формирует необходимую величину выходного сигнала 12 замкнутой системы управления. Выходной сигнал 6 электрической цепи блока управления 4 формируется под воздействием входного 1 и внешнего факторов 5. Возмущающий параметр 11 параметрического датчика 13 оказывает на замкнутую систему переменное возмущающее воздействие.

Параметрический датчик 13 по электрической цепи 15 передает сигналы выходного параметра 12, величина которого пропорциональна значению выходного параметра 10 управляющего устройства 14. Регулируемая система (двигатель) 9 снабжена системой управления процессами подачи топлива двигателя и исполнительным механизмом управления.

Величина выходного сигнала 12 изменяется адекватно изменению входного параметра 1. Дроссельная заслонка обеспечивает изменение сигнала 12 обратной связи адекватно изменению сигнала входного управляющего параметра 1 и выдает сигнал на вход промежуточных устройств замкнутой системы управления.

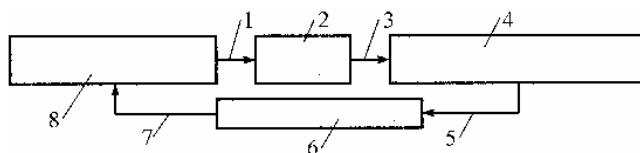
Электрический привод 7 регулируемой системы 9 получает обобщенный сигнал от различных датчиков через промежуточные элементы. Входным параметром рассматриваемой системы управления является величина открытия дроссельной заслонки, момент зажигания и состав горючей смеси. Законы управления этими параметрами различны. Водитель изменяет величину угла открытия дроссельной заслонки. Изменение величины расхода воздуха сопровождается изменением количества топлива и величины угла опережения зажигания.

Выходной параметр 12 представляет собой переменную электрическую величину, которая непрерывно измеряется и сравнивается с входным параметром. Управление в замкнутом контуре обеспечивает действие возмущающего фактора 11 параметрического датчика 13 в замкнутой цепи управления. Водитель со своего рабочего места через воздушную заслонку воздействует на электрическую цепь 3 системы управления, входным параметром которой является электрический сигнал датчика устройства подачи воздуха.

Система управления двигателем по обратной электрической связи 15 сообщена с датчиком положения дроссельной заслонки (ДПДЗ) 2. Приведенная система по электрическим цепям получает сигналы действий водителя через датчик расхода воздуха, связанный с педалью управления. В процессе движения водитель по желанию изменяет величину угла открытия дроссельной заслонки, обеспечивающей необходимый расход воздуха. В качестве первичной информации служат сигналы датчиков верхней мертвой точки (ВМТ), положения распределительного вала, углового положения КВ двигателя, массового расхода воздуха (или давления в ВТ) и детонации. Замкнутая система обеспечивает необходимую точность поддержания требуемых параметров по сравнению с разомкнутой системой.

Структурная схема замкнутой системы топливоподачи двигателя с обратной связью приведена на рис. 3.5 [23]. Система снабжена нейтрализатором ОГ с датчиком кислорода 4 ( $\lambda$ -зонд), размещенным в цепи обратной

связи, и исполнительным органом 8 подачи топлива. Двигатель 2 через электрическую цепь 1 получает сигнал состава горючей смеси от исполнительного органа 8 и через электрическую цепь 3 сообщается с датчиком кислорода 4. Электронный блок управления 6 с помощью электрического сигнала через цепь обратной связи 7 связан с исполнительным органом 8.



**Рис. 3.5. Упрощенная структурная схема системы топливоподачи с обратной связью:**

1 – электрическая цепь передачи сигнала исполнительного органа ( $\alpha$ );  
 2 – двигатель; 3 – электрическая цепь передачи сигнала управления ( $\alpha_{\text{ОГ}}$ ); 4 – датчик кислорода; 5 – электрический сигнал датчика кислорода; 6 – ЭБУ; 7 – электрический сигнал обратной связи; 8 – исполнительный орган подачи топлива

Исполнительный орган 8 обеспечивает изменение состава горючей смеси ( $\alpha$ ) входного сигнала. Величина концентрации отдельных компонентов вредных веществ ОГ двигателя 2 позволяет оценить коэффициент избытка воздуха прореагировавшей горючей смеси. Датчик 4 кислорода вырабатывает электрический сигнал 5, зависящий от состава ОГ двигателя 2. ЭБУ 6 по сигналам датчика кислорода поддерживает необходимое соотношение воздух/топливо, обеспечивающее наиболее эффективную работу нейтрализатора. При этом электронный блок 6 вырабатывает электрический сигнал 7, приводящий в действие исполнительный орган 8, который обеспечивает регулирование величины подачи топлива ( $\alpha$ ), поступающего в двигатель 2. Мгновенное значение коэффициента избытка воздуха поддерживается на уровне  $\alpha = 1$ .

В системе регулирования  $\alpha_{\text{ОГ}}$  определяют путем измерения концентрации кислорода в ОГ с помощью  $\lambda$ -зонда, на выходе которого появляется напряжение, пропорциональное величине коэффициента избытка воздуха. Полученную величину  $\alpha_{\text{ОГ}}$  система сравнивает с заданным значением  $\alpha$ . При наличии отклонения расчетной величины  $\alpha$  от заданной исполнительный сигнал регулятора по сигналам ЭБУ изменяет продолжительность впрыскивания. Регулирование осуществляется с помощью перемножающего звена ЭБУ, учитывающего различные корректировочные факторы. ЭБУ 6 по сигналу  $\lambda$ -зонда усиливает и корректирует длительность импульса впрыска ЭМФ, обеспечивая получение необходимой величины управляемого параметра.

**Продолжительность впрыскивания** определяется расчетным путем на основании сигналов датчиков системы управления и в зависимости от алгоритмов топливоподачи, заложенных в блок управления. Расчет продолжительности впрыскивания можно разделить на два основных этапа: первый этап – жесткое задание  $\tau_i$  с основного алгоритма топливоподачи заложенного в электронный блок управления. Второй этап – гибкая коррекция в

зависимости от реального состава топливовоздушной смеси по сигналам  $\lambda$ -зонда. В зависимости от режима работы двигателя может реализовываться тот или иной вариант задания продолжительности впрыскивания. Работа двигателя – без обратной связи по  $\lambda$ -зонду осуществляется при запуске, начальном этапе прогрева, при резком ускорении, при торможении. В этом случае контроль состава смеси не проводится и  $\tau_i$  устанавливается по жесткой зависимости от сигналов основных датчиков системы.

На всех остальных режимах действует обратная связь по  $\lambda$ -зонду и учитывается реальный состав топливовоздушной смеси. Принцип работы обратной связи. Как известно двухуровневый  $\lambda$ -зонд не может определять точное состояние смеси и коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ . При работе двигателя на обедненной смеси, когда в отработавших газах остается большое количество кислорода, не вступившего в реакцию (1,09...2 %), в информационном канале  $\lambda$ -зонда напряжение будет от 100 мВ до 500 мВ.

### **3.2. Типы и компоненты систем управления впрыском топлива**

В отличие от карбюраторной система электронного впрыска постоянно следит с помощью многочисленных датчиков за всеми параметрами, которые определяют состав смеси, и может очень быстро реагировать на изменения режима движения автомобиля. Таким образом, появляется возможность очень точного поддержания состава смеси при любых режимах работы двигателя.

Программа ЭБУ позволяет рассчитать базовое значение длительности впрыска. Это время, в течение которого ЭБУ держит форсунку открытой, обычно оно измеряется миллисекундами. Информация с различных датчиков, к числу которых относятся датчики расхода воздуха, положения дроссельной заслонки, температуры воздуха и охлаждающей жидкости, поступает в ЭБУ, который модифицирует длительность впрыска в зависимости от действительных значений указанных параметров, чтобы поддерживать оптимальный состав смеси для различных условий движения. ЭБУ управляет также и холостым ходом двигателя с учетом его температуры и загрузки на холостых оборотах.

Системы впрыска бензиновых двигателей отличаются от систем впрыска дизелей по месту образования топливовоздушной смеси. Существуют системы впрыска с внешним и внутренним смесеобразованием [12, 23].

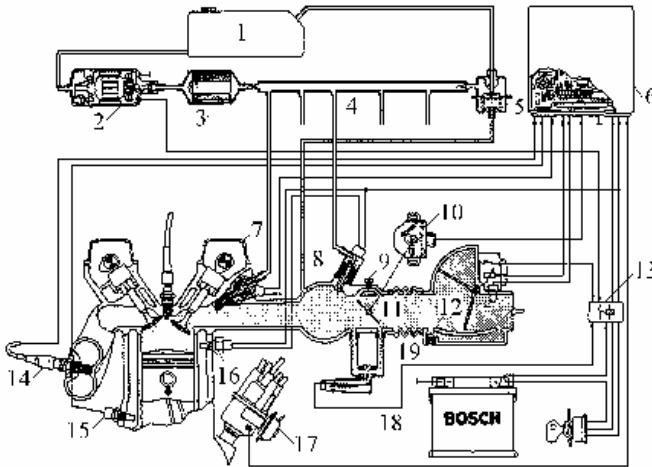
**Системы впрыска с внешним смесеобразованием.** В системах с внешним смесеобразованием рабочая смесь образуется за пределами камеры сгорания, во впускном коллекторе. Внутри этой группы систем впрыска имеются подгруппы:

- системы многоточечного (распределенного) впрыска топлива (Multi Point Injection);
- системы одноточечного впрыска топлива (Single Point Injection);
- последовательный впрыск.

### 3.2.1. Система многоточечного впрыска топлива

В такой системе каждый цилиндр имеет свою форсунку, топливо впрыскивается непосредственно на впускной клапан каждого цилиндра. Эволюция этой системы впрыска прошла следующие этапы (и продолжает совершенствоваться).

- 1 Механическая система впрыска топлива **K-Jetronic**, в которой масса впрыскиваемого топлива определяется дозирующим, распределительным устройством, от которого топливо поступает в форсунку, открывающуюся при определенном давлении. Затем происходит постоянный впрыск топлива;
- 2 Механическая система **L-Jetronic** с механической воздушной заслонкой (рис. 3.6).



**Рис. 3.6. Общая схема L-Jetronic:**

- 1 – топливный бак; 2 – бензонасос; 3 – топливный фильтр; 4 – распределительная трубка; 5 – регулятор давления; 6 – блок управления; 7 – форсунка; 8 – пусковая форсунка; 9 – регулировочный винт холостого хода; 10 – выключатель дроссельной заслонки; 11 – дроссельная заслонка; 12 – расходомер воздуха; 13 – блок реле; 14 –  $\lambda$ -зонд; 15 – NTC II; 16 – реле времени; 17 – распределитель зажигания; 18 – дополнительная воздушная заслонка; 19 – регулировочный винт СО

Разновидностями системы L-Jetronic являются:

- **L1-Jetronic**. Расходомер воздуха с заслонкой, 6- или 7-контактным разъемом и контактом управления бензонасосом. Форсунки с внутренним сопротивлением 2,4 Ом, с дополнительным сопротивлением или регулируемым по току оконечным каскадом;
- **L2-Jetronic**. Digijet – специальная разработка VW;
- **LE1-Jetronic**. Расходомер воздуха с заслонкой и 5-контактным разъемом. Форсунки с внутренним сопротивлением 16 Ом. Отключение подачи топлива;
- **LE2-Jetronic**. Аналог LE1, но с расширенными функциями блока

- управления;
  - **LU-Jetronic**. Аналог LE, но с лямбда-регулированием;
  - **LH2-Jetronic**. Расходомер воздуха с нитью накала;
  - **LH3-Jetronic**. Пленочный расходомер воздуха, диагностика с помощью KTS;
  - **LH4-Jetronic**. Расходомер воздуха с нитью накала, последовательный впрыск;
  - **L3-Jetronic**. Расходомер воздуха с заслонкой и блоком управления.
- 3 Электронно-механическая система впрыска топлива **KE-Jetronic**, это та же система K-Jetronic, дополненная электроникой, которая управляет работой бензонасоса и дозатора-распределителя. Электроника обеспечивает более точное управление впрыском в разных режимах работы двигателя.
- 4 Электронные системы впрыска топлива **L-Jetronic, LH-Jetronic** (и более поздние разработки – интегрированные системы управления двигателем **Motronic, M-Motronic, ME-Motronic**). В этих системах обеспечивается прерывистый впрыск топлива через форсунки с электромагнитным управлением.

**Motronic** – название системы управления двигателем, которая объединяет функции разомкнутого и замкнутого контуров управления бензиновым двигателем в одном электронном блоке управления. В связи с требованиями норм по снижению токсичности ОГ эта система получила широкое распространение. На сегодня в новых разработках двигателей широко используются системы Motronic от фирмы Bosch (рис. 3.7).

В системе Motronic с помощью сенсорных датчиков и датчиков заданных значений осуществляется сбор рабочих данных для разомкнутого и замкнутого контуров управления двигателем.

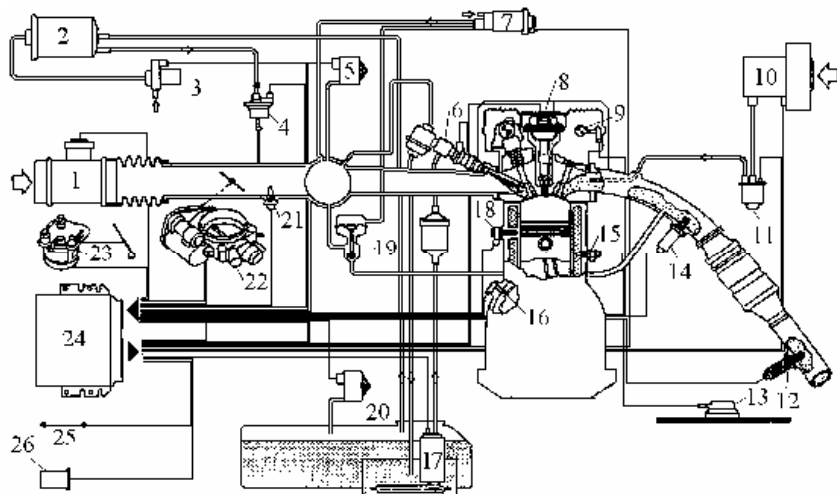
Сенсорные датчики определяют физические и химические параметры и на их базе делают вывод о текущем режиме работы двигателя. Примеры таких параметров:

- температура двигателя;
- масса всасываемого воздуха;
- давление во впускном трубопроводе;
- угол поворота дроссельной заслонки;
- коэффициент избытка воздуха;
- частота вращения коленчатого вала;
- положение распределительного вала;
- скорость движения автомобиля.

Система Motronic выполняет две функции. Первая – это дозирование точного количества топлива в соответствии с посланной массой воздуха; вторая – создание искрового разряда в самый оптимальный момент зажигания. С интеграцией этих функций в одну систему появилась возможность максимально адаптировать одну относительно другой – зажигание и впрыскивание топлива.

С помощью каналов связи, например, бортового контроллера связи (CAN), система Motronic может обеспечивать связь между блоком управле-

ния этой системы и другими электронными системами автомобиля. Поколения вариантов этой системы (M1, M2, M3) отличаются содержанием аппаратных средств (микропроцессорами и модулями).



**Рис. 3.7. Общая схема Motronic:**

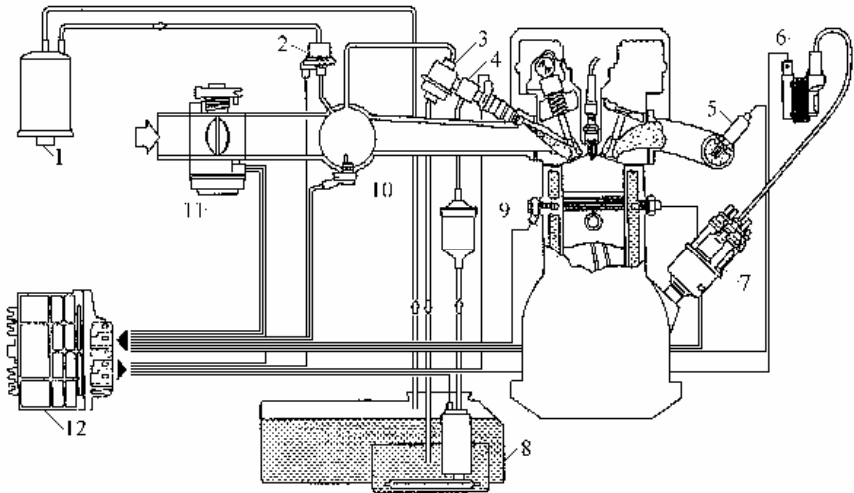
1 – расходомер воздуха с пленочным термоэлементом; 2 – угольный фильтр; 3 – запорный клапан; 4 – магнитный клапан вентиляции топливного бака; 5 – датчик давления во впускном коллекторе; 6 – форсунка; 7 – клапан рециркуляции выхлопного газа; 8 – одноискровая катушка зажигания; 9 – датчик распределительного вала; 10 – насос подачи вторичного воздуха; 11 – клапан системы подачи вторичного воздуха; 12, 14 –  $\lambda$ -зонд; 13 – датчик ускорений кузова; 15 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 16 – датчик частоты вращения и синхронизации; 17 – электробензонасос; 18 – датчик детонации; 19 – клапан рециркуляции выхлопного газа; 20 – датчик разности давлений; 21 – датчик температуры воздуха; 22 – серводвигатель дроссельной заслонки; 23 – датчик положения педали газа; 24 – блок управления; 25 – диагностический разъем; 26 – диагностическая лампа

Количество впрыскиваемого топлива в системах M-Motronic и ME-Motronic определяется длительностью открытия форсунки при заданном давлении топлива (рис. 3.7, 3.8). Существенным отличительным признаком системы ME-Motronic по сравнению с системой M-Motronic является электронное управление системами воздухоподачи (дроссельной заслонкой), топливоподачи, зажиганием и другими характеристиками двигателя, которые влияют на его КПД.

Система MED-Motronic является дальнейшим совершенствованием системы ME-Motronic за счет введения в топливную систему контура управления непосредственным впрыском топлива высокого давления (с обратной связью) и системы выпуска с катализатором нейтрализации  $\text{NO}_x$  с интегрированной системой управления трансмиссией.

Система Mono-Jetronic требует меньше затрат на ее производство, что дало возможность оборудовать системой Jetronic небольшие автомобили. Система Mono-Motronic оснащена полностью электронным зажига-

нием и микропроцессором. Система Mono-Jetronic предложена как Mono-Motronic.



**Рис. 3.8. Общая схема Motronic MP:**

1 – расходомер воздуха с пленочным термоэлементом; 2 – угольный фильтр; 3 – запорный клапан; 4 – магнитный клапан вентиляции топливного бака; 5 – датчик давления во впускном коллекторе; 6 – форсунка; 7 – клапан рециркуляции выхлопного газа; 8 – одноискровая катушка зажигания; 9 – датчик распределительного вала; 10 – насос подачи вторичного воздуха; 11 – клапан системы подачи вторичного воздуха; 12, 14 –  $\lambda$ -зонд; 13 – датчик ускорений кузова; 15 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 16 – датчик частоты вращения и синхронизации; 17 – электробензонасос; 18 – датчик детонации; 19 – клапан рециркуляции выхлопного газа; 20 – датчик разности давлений; 21 – датчик температуры воздуха; 22 – серводвигатель дроссельной заслонки; 23 – датчик положения педали газа; 24 – блок управления; 25 – диагностический разъем; 26 – диагностическая лампа

**Система MED-Motronic.** В системах M-Motronic и ME-Motronic форсунка должна обеспечивать как гомогенное распределение рабочей смеси при впрыскивании топлива во впускной трубопровод, так и ее локально ограниченное послойное распределение в камере сгорания.

В системе управления двигателем MED-Motronic непосредственного впрыска топлива двигатель работает на гомогенной стехиометрической смеси ( $\lambda = 1$ ) во всем рабочем диапазоне.

По сравнению с системой ME-Motronic система MED-Motronic требует намного большей расчетной мощности.

На рис. 3.9 показан пример системы MED-Motronic.

Основное различие между системами MED- и ME-Motronic состоит в конструкции топливной системы и системы выпуска с накопительным каталитическим нейтрализатором  $\text{NO}_x$ . Далее приведены некоторые особенности этих типов систем.

**Дроссельная заслонка.** Дроссельное приспособление 7 (рис. 3.9) имеет такую же конструкцию, как и в системе ME-Motronic. Но если двигатель



**Датчики для определения наполнения цилиндров воздухом.** Определение наполнения в двигателе с непосредственным впрыском топлива происходит более сложным способом, чем при впрыскивании топлива во впускной трубопровод, потому что для снижения эмиссии  $\text{NO}_x$  при послойном распределении заряда смеси используется рециркуляция ОГ. Для того, чтобы использовать преимущество малого расхода топлива и сохранять низкий уровень токсичности ОГ, необходимы точный контроль и измерение массового расхода воздуха и возвращенных назад ОГ. Поэтому в двигателях с непосредственным впрыскиванием топлива используются два датчика наполнения цилиндров, с помощью которых может определяться массовый расход воздуха и ОГ. Для этого существует две возможности: с использованием термоанемометрического пленочного расходомера массы воздуха (HFM) и датчика давления во впускном трубопроводе или датчика давления в выпускном трубопроводе и датчика атмосферного давления.

**Термоанемометрический пленочный расходомер массы воздуха и датчик давления во впускном трубопроводе.** С помощью расходомера 6 (см. рис. 3.9) определяется масса свежего воздуха, поступающего во впускной трубопровод. Эта информация может использоваться для определения парциального давления воздуха во впускном трубопроводе. Разница между измеренным давлением во впускном трубопроводе, измеренным с помощью датчика давления 8 и парциальным давлением воздуха позволяет сделать вывод о массе обратного потока ОГ (рециркуляция ОГ). В условиях работы на обедненной рабочей смеси рециркулирующие ОГ содержат часть несгоревшего кислорода, что может быть определено на основании измерения концентрации кислорода в ОГ ( $\lambda$ -зонд).

**Датчик давления во впускном трубопроводе и датчик атмосферного давления.** С помощью соотношения давления над дроссельной заслонкой и температурой всасывание его воздуха, можно на базе значения угла поворота дроссельной заслонки рассчитать массовый расход свежего воздуха, проходящего через дроссельную заслонку. С помощью того же алгоритма расчетов определяется массовый расход рециркулирующих ОГ через клапан системы рециркуляции ОГ путем использования данных о давлении обратного потока ОГ. Для этого необходима точная информация о положении клапана системы рециркуляции ОГ. В обеих системах для определения температуры всасываемого воздуха используются датчики температуры.

При наличии расходомера HFM датчик температуры может быть встроенным в расходомер, а при использовании отдельного датчика температуры его необходимо устанавливать перед дроссельной заслонкой.

Топливная система MED-Motronic состоит из контуров низкого и высокого давления. За счет этого система MED-Motronic заметно отличается от ME-Motronic, в которой форсунки подключены к контуру низкого давления. Существенным моментом является то, что количество топлива должно впрыскиваться в течение очень короткого времени. Для этого нужен сложный управляющий сигнал, который генерируется управляющим каскадом, интегрированным в блоке управления 20 (см. рис. 3.9).

Высокое напряжение, необходимое для получения искрового разряда, генерируется в системе MED-Motronic одноискровыми катушками зажигания, которые устанавливаются на свече зажигания 5 (см. рис. 3.9).

В системе MED-Motronic может осуществляться подача дополнительных порций воздуха, потому что за счет специфики режима работы двигателя происходит быстрое нагревание выпускного тракта. В отличие от впрыскивания топлива во впускной трубопровод, системы непосредственного впрыска топлива требуют использования каталитического нейтрализатора с накопителем  $\text{NO}_x$ . Он накапливает оксиды азота, которые не поддаются нейтрализации в трехкомпонентном каталитическом нейтрализаторе. Для этого система MED-Motronic переключается на режим гомогенной смеси с избытком топлива, при котором оксиды азота выпускаются из накопителя и химически нейтрализуются в трехкомпонентном каталитическом нейтрализаторе.

Так как двигатель с непосредственным впрыском топлива при послыйном распределении рабочей смеси работает в целом на обедненной смеси, то для определения состава ОГ крайне необходим широкополосный  $\lambda$ -зонд, установленный перед каталитическим нейтрализатором.

В дополнение к известным рабочим характеристикам систем M- и ME-Motronic в системе MED-Motronic существует функция регистрации и учета давления в топливном аккумуляторе, осуществляемая отдельным датчиком.

На рис. 3.10 приведена схема бензинового впрыска системы Ford EEC V.

Структурная схема системы распределенного впрыска топлива приведена на рис. 3.11.

Система распределенного впрыска топлива (см. рис. 3.11 [12]) содержит впускной трубопровод 6 с впускным патрубком 2 и каналом 1, топливный трубопровод 7 со штуцером 4, воздушный патрубок 9 с дроссельной заслонкой. Трубопровод 7 снабжен патрубком подачи топлива 5, регулятором давления 11 со штуцером 10 и штуцером 12 обратного слива топлива.

Основными элементами системы распределенного впрыска являются расходомер воздуха, сообщенный с воздушным фильтром, ЭБУ и топливные ЭМФ 3, размещенные во впускном патрубке 2.

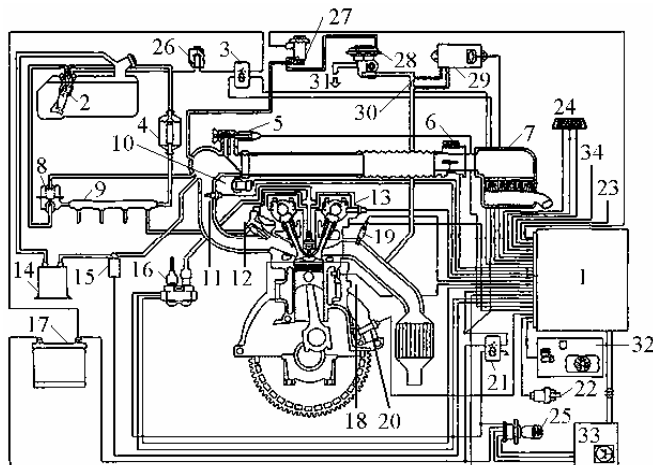
Система подачи воздуха содержит воздушную заслонку, размещенную в главном воздушном канале 8 с образованием додроссельного и задроссельного пространства, датчик температуры воздуха и регулятор холостого хода (РХХ). Впускной трубопровод 6 сообщен через штуцер 10 и резиновый шланг с расходомером воздуха. ЭБУ связан через электрическую цепь с потенциометром и датчиком температуры воздуха.

Отдельные форсунки 3 осуществляют подачу топлива во впускные патрубки 2 каждого цилиндра. Они располагаются в корпусе головки блока цилиндров и отличаются относительно высоким сопротивлением обмоток (12...16 Ом).

Исключение составляют форсунки ДВС с турбонаддувом, имеющие сопротивление обмотки 4...5 Ом. На некоторых автомобилях нового поколения топливо подают непосредственно в камеру сгорания (непосредствен-

ный впрыск).

Структурная схема системы распределенного впрыска топлива (рис. 3.12 [12]) содержит впускной трубопровод 6, топливный аккумулятор 5 с регулятором 9 давления топлива и дроссельный патрубок 4 с воздушной заслонкой 3.

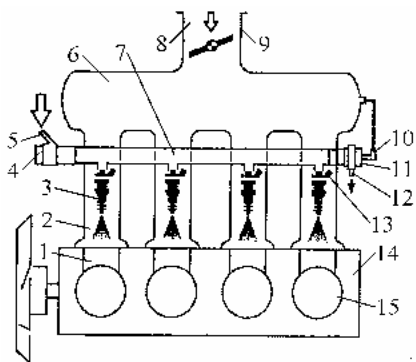


**Рис. 3.10. Схема системы бензинового впрыска Ford EEC V:**

1 – EEC V блок управления; 2 – погружной топливный насос; 3 – реле топливного насоса; 4 – топливный фильтр; 5 – регулятор холостого хода; 6 – массовый расходомер воздуха; 7 – воздушный фильтр; 8 – регулятор давления топлива; 9 – топливный аккумулятор; 10 – потенциометр дроссельной заслонки; 11 – датчик температуры воздуха; 12 – форсунка; 13 – фазовый датчик; 14 – угольный фильтр; 15 – клапан вентиляции топливного бака; 16 – катушка зажигания; 17 – аккумуляторная батарея; 18 – датчик температуры двигателя; 19 –  $\lambda$ -зонд; 20 – датчик числа оборотов/синхронизации; 21 – главное реле; 22 – выключатель гидроусилителя; 23 – компрессор кондиционера; 24 – диагностический разъем, тестер; 25 – выключатель зажигания; 26 – аварийный выключатель; 27 – регулятор рециркуляции выхлопа; 28 – клапан рециркуляции выхлопа; 29 – датчик дифференциального давления; 30 – точка измерения дифференциального давления; 31 – к впускному коллектору; 32 – управление кондиционером/вентилятором; 33 – иммобилайзер; 34 – октан-корректор

Основными элементами системы распределенного впрыска являются расходомер 2 воздуха, сообщенный с воздушным фильтром, ЭБУ и топливные ЭМФ 7, размещенные во впускном канале 20. Насос 14 через трубопровод низкого давления 13 и штуцер 12 сообщен с топливным баком 11, а через трубопровод 17 и фильтр тонкой очистки топлива 18 сообщен с топливным аккумулятором 5. Регулятор давления топлива 9 через сливной трубопровод 10 сообщен с топливным баком, а через вакуумный шланг 8 сообщен с задрозельным пространством.

Система подачи воздуха содержит воздушную заслонку 3, размещенную с образованием додрозельного и задрозельного пространства, резистор, датчик температуры воздуха и РХХ. ЭБУ связан через электрические



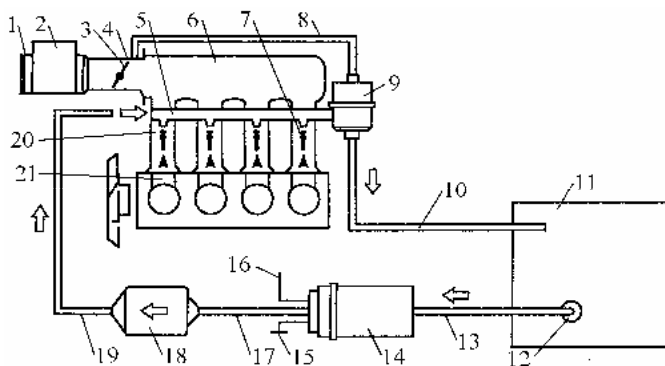
**Рис. 3.11. Структурная схема системы распределенного впрыска топлива:**

1 – впускной канал; 2 – впускной патрубок; 3 – топливная форсунка; 4 – топливный штуцер; 5 – патрубок подачи топлива; 6 – впускной трубопровод; 7 – топливный трубопровод; 8 – главный воздушный канал; 9 – воздушный патрубок; 10 – штуцер линии управления; 11 – регулятор давления топлива; 12 – штуцер линии обратного слива; 13 – электрический разъем; 14 – двигатель; 15 – цилиндр

цепи с потенциометром и датчиком температуры воздуха.

Блок управления, используя входной сигнал воздушного потока и частоту вращения коленчатого вала двигателя, вычисляет по ним количество необходимого топлива для образования оптимального состава горючей смеси. В дальнейшем электрическим способом открываются ЭМФ во впускных каналах каждого цилиндра. ЭБУ контролирует сигналы функциональных датчиков, увеличивает или уменьшает продолжительность открытия ЭМФ, тем самым регулируя количество топлива, подводимого для создания оптимального состава горючей смеси.

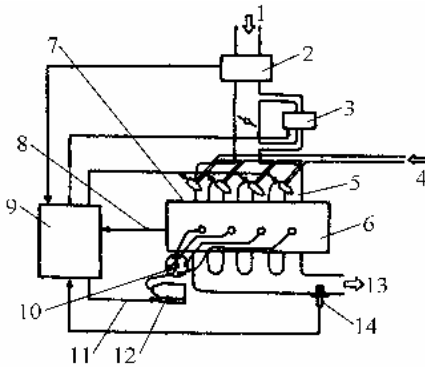
При распределенном впрыскивании топливо подается в зону впускных клапанов каждого цилиндра группами форсунок без согласования момента впрыскивания с процессами впуска в каждый цилиндр (несогласованное



**Рис. 3.12. Структурная схема системы распределенного впрыска топлива:**

1 – спрямляющая решетка; 2 – расходомер воздуха; 3 – воздушная заслонка; 4 – дроссельный патрубок; 5 – топливный аккумулятор; 6 – впускной трубопровод; 7 – форсунка; 8 – вакуумный шланг; 9 – регулятор давления топлива; 10 – сливной трубопровод; 11 – топливный бак; 12 – топливный штуцер; 13 – трубопровод низкого давления; 14 – электрический топливный насос; 15 – клемма; 16 – электрический провод; 17 – трубопровод высокого давления; 18 – фильтр тонкой очистки топлива; 19 – трубопровод подачи топлива; 20 – впускной канал; 21 – впускной патрубок

впрыскивание) или каждой форсункой в определенный момент времени, согласованный с открытием соответствующих впускных клапанов цилиндров (согласованное впрыскивание). Системы распределенного впрыскивания топлива позволяют повысить приемистость автомобиля, надежность пуска, ускорить прогрев и увеличить мощность двигателя.



**Рис. 3.13. Комплексная электронная система управления бензиновым двигателем:**

- 1 – воздух; 2 – датчик расхода воздуха; 3 – исполнительное устройство управления частотой вращения коленчатого вала на холостом ходу; 4 – топливо; 5 – форсунка впрыска топлива; 6 – двигатель; 7 – свечи зажигания; 8 – частота вращения коленчатого вала двигателя; 9 – ЭБУ; 10 – распределитель зажигания; 11 – выходной сигнал; 12 – катушка зажигания; 13 – отработавшие газы; 14 – датчик кислорода

**Комплексная система управления бензиновым двигателем**, пример которой приведен на рис. 3.13, обеспечивает оптимальную работу двигателя путем управления впрыском топлива, углом опережения зажигания, частотой вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу и проведением диагностики.

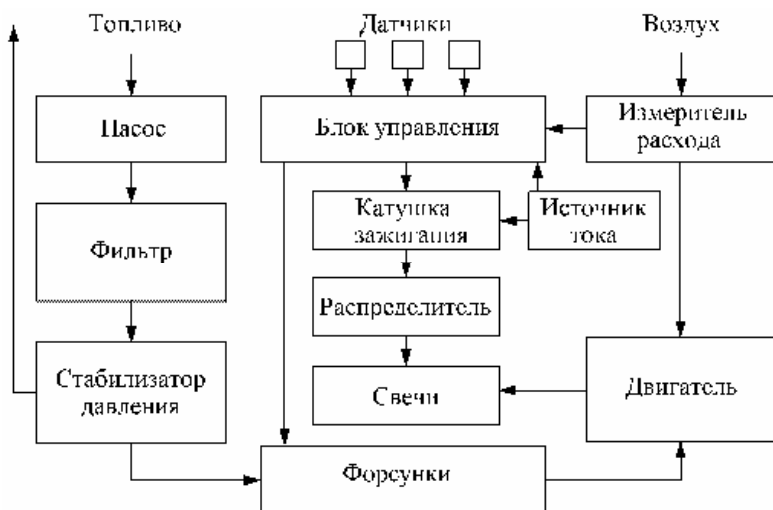
На рис. 3.13 показана система распределенного впрыска, в которой форсунки установлены непосредственно перед каждым цилиндром. Управление карбюратором сводится к прецизионному регулированию состава топлива. В результате повышается мощность, снижается токсичность отработавших газов, улучшаются другие характеристики двигателя.

Структурная схема системы впрыскивания топлива с программным управлением приведена на рис. 3.14. Особенно эффективна в отношении повышения топливной экономичности система распределенного впрыскивания топлива в сочетании с цифровой системой зажигания.

При распределенном впрыскивании топлива появляется возможность применения газодинамического наддува, расширяются возможности в создании различных конструкций впускного трубопровода. Однако у таких систем по сравнению с центральным впрыскиванием больше погрешность дозирования топлива из-за малых цикловых подач.

Идентичность составов топлива по цилиндрам в большей степени зависит от неравномерности дозирования топлива форсунками, чем от конструкции впускной системы.

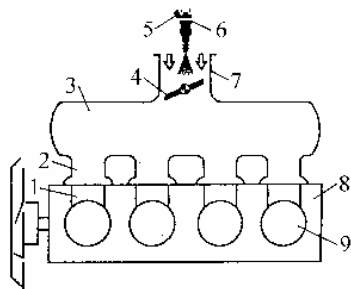
В настоящее время в массовом производстве преобладает система под названием LH-Jetronic, которая является системой распределенного впрыска топлива во впускной трубопровод. Применяется как синхронный, так и асинхронный впрыск топлива. Главной особенностью этой системы является термоанемометрический расходомер воздуха, взамен расходомера на основе потенциометра с заслонкой.



**Рис. 3.14. Структурная схема системы впрыскивания топлива с программным управлением**

### 3.2.2. Система одноточечного впрыска топлива

В этой системе (у Bosch имеется две конструкции такого впрыска – **Mono-Jetronic** и **Mono-Motronic**) впрыск осуществляется одной форсункой с электромагнитным управлением на все цилиндры. Основной элемент системы – блок центрального впрыска с электромагнитной форсункой, которая импульсно впрыскивает топливо в пространство над дросселем (рис. 3.15) [12, 22].



**Рис. 3.15. Структурная схема системы центрального впрыска топлива:**

1 – впускной канал; 2 – впускной патрубок; 3 – впускной трубопровод; 4 – дроссельная заслонка; 5 – электрический разъем; 6 – топливная форсунка; 7 – воздушный патрубок; 8 – двигатель; 9 – цилиндр

Структурная схема системы центрального впрыска (рис. 3.15) содержит впускной трубопровод 3, воздушный патрубок 7 с размещенной в нем форсункой 6 с электрическим разъемом 5 и трубопровод подачи топлива. При открытии дроссельной заслонки 4 топливо из форсунки 6 поступает в виде факела через впускной трубопровод 3 во впускные патрубки 2, далее во впускные каналы 1, а затем в цилиндры 9 двигателя 8.

Подача топлива при центральном впрыске осуществляется в общий воздушный патрубок 7 одной форсункой 6, установленной над дроссельной заслонкой 4. Форсунка снабжена шестью распылителями, обеспечивающими необходимый уровень смесеобразования. Центральная форсунка характеризуется низким сопротивле-

нием обмотки электромагнита (4...5 Ом).

При центральном впрыскивании топливо подается одной форсункой, устанавливаемой на участке до разветвления впускного трубопровода. Существенных изменений в конструкции двигателя нет. Система центрального впрыскивания практически взаимозаменяема с карбюратором и может применяться на уже эксплуатируемых двигателях. При центральном впрыскивании обеспечивается большая точность и стабильность дозирования топлива.

Система Mono-Jetronic предназначена для четырехцилиндровых двигателей с центрально расположенной форсункой. Система использует дроссельную заслонку для дозирования воздуха на впуске. Впрыск топлива осуществляется распылением над дроссельной заслонкой. Распределение топлива по цилиндрам происходит во впускном коллекторе. Различные датчики контролируют все основные рабочие характеристики двигателя. Они применяются для расчета управляющих сигналов для форсунок и других исполнительных устройств системы. В электронный блок управления поступают следующие сигналы:

- угол поворота дроссельной заслонки;
- частота вращения коленчатого вала;
- температура всасываемого воздуха и охлаждающей жидкости;
- положение дроссельной заслонки;
- содержание кислорода в отработавших газах;
- выбранная передача в автоматической трансмиссии;
- характеристика системы кондиционирования воздуха;
- состояние компрессора в климатической установке (включен/выключен).

Система Mono-Jetronic выполняет следующие функции:

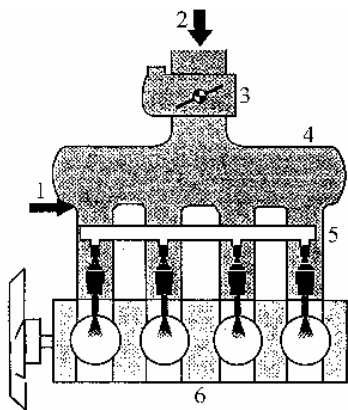
- подача топлива;
- определение параметров работы двигателя;
- обработка параметров работы двигателя;
- управление процессом впрыскивания.

### **3.2.3. Системы впрыска с внутренним смесеобразованием**

Резервы снижения расхода топлива у двигателей с внешним смесеобразованием (с подачей топлива во впускной трубопровод) практически отсутствуют. Поэтому автомобили оснащают двигателями с непосредственным впрыскиванием топлива в цилиндр под управлением микропроцессорных систем.

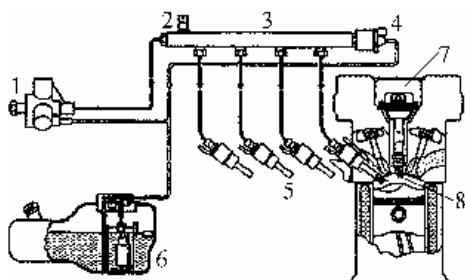
В таких двигателях топливо впрыскивается электромагнитными форсунками непосредственно в камеру сгорания каждого цилиндра (рис. 3.16). Такой способ впрыска топлива позволяет двигателю работать на сверхобедненных смесях, обеспечивая высокую экономичность. Ранние реализации этой системы впрыска были чисто механическими, самая известная из них «Kugelfischer» для автомобилей BMW.

Современные системы непосредственного впрыска реализуются производителями в различных конструкциях. Например, у японского произво-



**Рис. 3.16. Система непосредственного впрыска топлива:**

1 – топливная магистраль; 2 – воздух; 3 – дроссельная заслонка; 4 – впускной коллектор; 5 – форсунка (форсунки); 6 – блок цилиндров



**Рис. 3.17. Схема аккумуляторной ЭТС для непосредственного впрыска бензина Motronic MED 7:**

1 – ТНВД; 2 – датчик давления; 3 – аккумулятор; 4 – предохранительный клапан; 5 – форсунки; 6 – топливный бак; 7 – катушка зажигания; 8 – свеча

дителя Mitsubishi она называется GDI и устанавливается на автомобили примерно с 1997 года. Конструктивно эта система похожа на систему распределенного впрыска с электронным управлением (имеется топливный аккумулятор и электромагнитные форсунки). У другого производителя, Toyota, в этой системе используются электромагнитные насос-форсунки и конструктивно она похожа на систему впрыска дизельных двигателей с насос-форсунками.

В двигателях с искровым зажиганием непосредственное впрыскивание в цилиндры бензина производится при давлениях на порядок меньших, чем в дизелях. Поэтому аккумуляторные электронные топливные системы (ЭТС) непосредственного впрыскивания бензиновых двигателей более просты, в частности и по средствам аварийной защиты (рис. 3.17).

В этой системе давление, создаваемое ТНВД, равно 12 МПа – практически это система среднего давления. Функции показанных на рис. 3.14 элементов аналогичны выполняемым в аккумуляторных ЭТС дизелей. Микроконтроллер и его каналы связи на схеме не показаны.

**Двигатели с непосредственным впрыскиванием** имеют внутреннее смесеобразование и качественное регулирование смеси, так как топливо впрыскивается непосредственно в камеру сгорания, цикловая подача воздуха изменяется незначительно и регулировать мощность нужно количеством

впрыскиваемого топлива, то есть качеством смеси без дросселирования воздушного потока. Поэтому в системе может отсутствовать дроссельная заслонка, а для получения необходимого качества смеси используется эффект расщепления заряда и повышенное давление впрыскивания бензина.

К основным преимуществам такого способа смесеобразования можно отнести:

- лучшую равномерность распределения топлива по цилиндрам двигателя;

- уменьшение потерь энергии во впускной системе вследствие уменьшения гидравлического сопротивления, отсутствие потребности в подогреве смеси при впуске и повышение коэффициента наполнения;
- возможность повысить степень сжатия на 1,5...2,0 единицы, потому что впрыскивание бензина в камеру сгорания создает эффект охлаждения воздуха, который поступил в цилиндр, поскольку при испарении мелко распыленного топлива из воздуха отбирается теплота;
- не образуется топливная пленка во впускном трубопроводе, и, как следствие, прекращается обеднение горючей смеси при разгоне двигателя и ее переобогащение при торможении;
- возможность использования впускных трубопроводов специальной формы, что обеспечивает получение, например, инерционного наддува или направленного движения воздуха в камере сгорания;
- независимость процесса смесеобразования от положения двигателя.

По сравнению с двигателями с впрыскиванием бензина во впускной трубопровод новые двигатели FSI (Fuel Stratified Injection) позволяют экономить до 15 % топлива. Однако часть сэкономленного топлива приходится расходовать на регенерацию нейтрализатора накопительного типа, чувствительного к наличию серы в топливе. Поэтому экономии топлива приходится добиваться совокупностью мер:

- рециркуляцией отработавших газов (2 %);
- сжиганием бедных смесей (3 %);
- непосредственным впрыскиванием (8 %);
- электронным регулированием системы охлаждения (1,5 %);
- управлением фазами газораспределения (2,5 %).

Схема непосредственного впрыска бензина в цилиндр двигателя, обеспечивает работу двигателя на чрезвычайно бедной смеси. Форсунки непосредственного впрыска топлива в цилиндры двигателя отличаются высоким рабочим напряжением электромагнита (100 В).

В системах с непосредственным впрыском топлива существует послойное распределение смеси. Это значит, что воспламеняющаяся рабочая смесь в момент зажигания располагается вокруг электродов свеч зажигания. Остальное пространство камеры сгорания заполнено негорючим газом без примеси топлива или очень бедной смесью. Такое распределение смеси позволяет достичь низких затрат топлива. К такой системе можно отнести силовые агрегаты с прямым впрыском FSI. Аббревиатура FSI расшифровывается как Fuel Stratified Injection, что в переводе с английского означает «послойное впрыскивание топлива». Топливная аппаратура двигателя с системой впрыска FSI сделана по аналогии с дизельными агрегатами: насос высокого давления нагнетает бензин в топливный аккумулятор, общий для всех цилиндров. Топливо впрыскивается непосредственно в камеру сгорания через форсунки с электромагнитными клапанами. Команда на открытие каждой форсунки подается из центрального блока управления, а фазы ее работы зависят от оборотов и нагрузки двигателя. Преимущества прямого впрыска:

- благодаря форсункам с электромагнитными клапанами возможен впрыск строго дозированного количества топлива в камеру сгорания в определенное время;
- двигатели с прямым впрыском FSI на 15 % более экономичные, чем бензиновые двигатели с традиционной системой впрыска;
- лучшее распыление топлива за счет более высокого давления топлива;
- лучшее наполнение камеры сгорания;
- лучшее внутреннее охлаждение двигателя;
- снижение детонации;
- повышение степени сжатия;
- снижение дроссельных потерь при послойном впрыске;
- отсутствие потерь за счет смачивания впускного коллектора;
- эффективная многоуровневая AGR, снижающая теплоотдачу на стенки цилиндров;
- повышение термодинамической эффективности за счет снижения удельного расхода топлива и уровня выбросов ОГ.

### **3.2.4. Компоненты аккумуляторной системы подачи топлива**

Варианты аккумуляторной системы топливоподачи бензинового двигателя приведены на рис. 3.18 [16].

По принципу работы обе системы впрыскивания топлива во впускной коллектор и в цилиндр являются аккумуляторными, имеют похожие по назначению компоненты (1...12). Отличаются уровнем давления и узлами 13...16, которые обеспечивают высокое давление. Система впрыскивания топлива во впускной коллектор (рис. 3.18, *а*) имеет низкое давление 250...300 кПа, а система высокого давления – 5,0...14 МПа (рис. 3.18, *б*).

Подача топлива в системах с непосредственным впрыском происходит при более высоком давлении. Топливную систему условно разделяют на две составляющие (рис. 3.18, *б*):

- контур низкого давления;
- контур высокого давления.

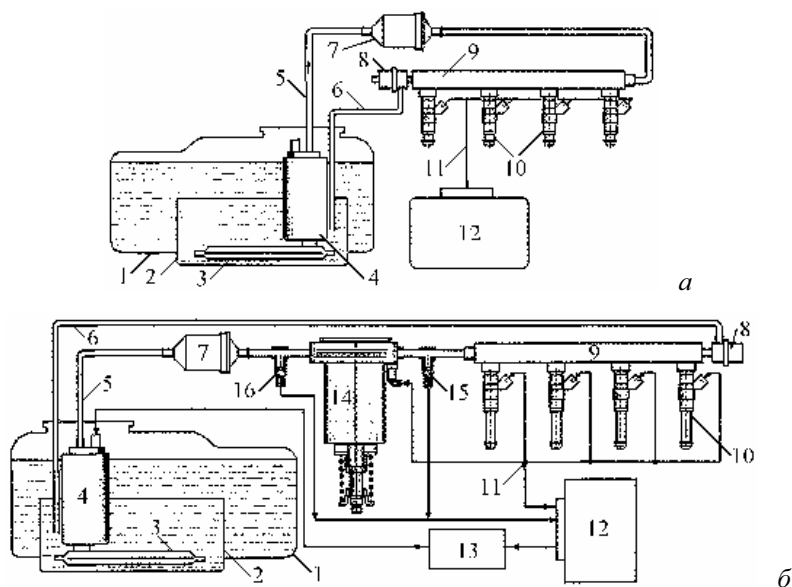
Контур низкого давления похож на тот, который используется в системах впрыска во впускной трубопровод. Контур высокого давления содержит:

- насос высокого давления;
- топливный аккумулятор;
- датчик давления;
- клапан регулировки давления;
- ограничитель давления.

Нижним каналом клапан сообщен с аккумулятором, верхним – со сливной магистралью. Значение давления, при котором клапан открывается, определяется затяжкой пружины, зависящей от положения регулировочной втулки. При открытом клапане топливо из аккумулятора сливается в бак. При уменьшении давления ниже заданного клапан под воздействием пружины закрывается и в аккумуляторе может быть восстановлено исходное

давление.

В аккумуляторных топливных системах фирмы Bosch защита от чрезмерного повышения давления топлива в магистрали высокого давления выполняется ограничительным (предохранительным) клапаном. Конструкция такого клапана показана на рис. 2.13, а.



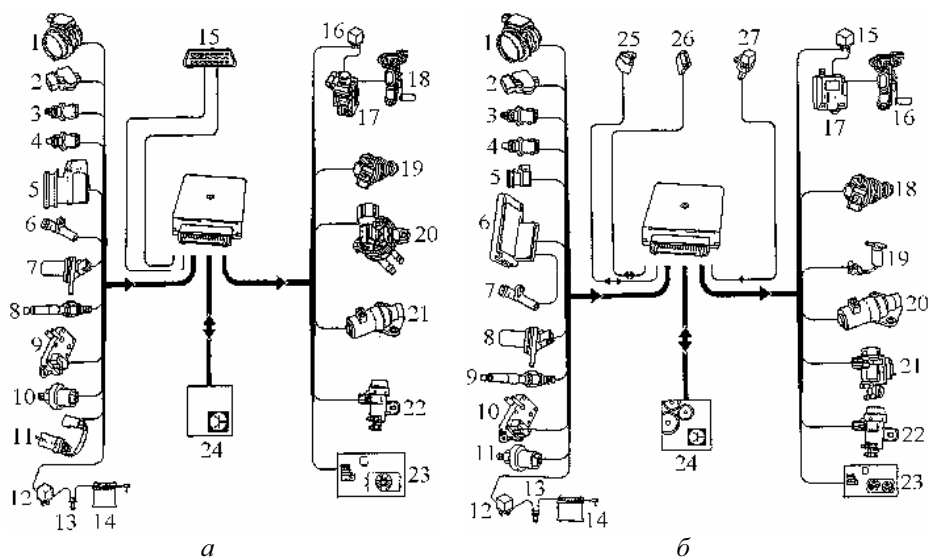
**Рис. 3.18. Функциональные схемы систем впрыскивания бензина:**

1 – топливный бак; 2 – накопитель топлива; 3 – входной фильтр; 4 – топливный насос низкого давления с электроприводом; 5, 6 – трубопроводы нагнетающий и обратного слива топлива; 7 – топливный фильтр; 8 – клапан регулятора давления; 9 – топливный аккумулятор; 10 – электромагнитные форсунки; 11 – соединительные проводники; 12 – электронный блок управления двигателем; 13 – электронный блок управления топливным насосом низкого давления; 14 – топливный насос высокого давления; 15, 16 – датчики низкого и высокого давления топлива

Для аварийного снижения давления (предохранительный режим) такой клапан должен снабжаться защелкой, закрепляющей его в открытом положении. Подача топлива в цилиндры прекращается, двигатель останавливается и его пуск возможен только после разблокирования клапана.

Защита от потери герметичности в каналах подачи топлива в цилиндры и управления подачей форсунок из-за зависания иглы, управляющего клапана, обрыва трубопровода, раскрытия стыков и т. п. и ограничение расхода топлива при задержках закрытия иглы и управляющего клапана осуществляются ограничителями, установленными на выходах из аккумулятора.

Наличие в аккумуляторной электронной топливной системе (ЭТС) большого числа деталей, постоянно находящихся под высоким давлением, объективно создает угрозу аварий при выходе их из строя. Поэтому



**Рис. 3.19. Компоненты системы впрыскивания Ford EEC V (а)  
и Ford EEC IV (б):**

*а:* 1 – расходомер воздуха; 2 – потенциометр дроссельной заслонки; 3 – датчик температуры воздуха; 4 – датчик температуры двигателя; 5 – магнитная муфта компрессора кондиционера; 6 – датчик числа оборотов/синхронизации; 7 – фазовый датчик; 8 – λ-зонд; 9 – датчик дифференциального давления; 10 – выключатель гидроусилителя руля; 11 – датчик скорости; 12 – главное реле; 13 – замок зажигания; 14 – аккумуляторная батарея; 15 – диагностический разъем; 16 – реле бензонасоса; 17 – аварийный выключатель; 18 – погружной бензонасос; 19 – форсунка; 20 – клапан вентиляции топливного бака; 21 – регулятор холостого хода; 22 – магнитный клапан рециркуляции выхлопа; 23 – управление кондиционером/вентилятором; 24 – иммобилайзер;

*б:* 1 – расходомер воздуха; 2 – потенциометр дроссельной заслонки; 3 – датчик температуры воздуха; 4 – датчик температуры двигателя; 5 – магнитная муфта компрессора кондиционера; 6 – EDIS-4 модуль (только с АКПП); 7 – датчик числа оборотов/ синхронизации; 8 – фазовый датчик; 9 – λ-зонд; 10 – датчик дифференциального давления; 11 – выключатель гидроусилителя руля; 12 – главное реле; 13 – замок зажигания; 14 – аккумуляторная батарея; 15 – реле бензонасоса; 16 – погружной бензонасос; 17 – аварийный выключатель; 18 – форсунка; 19 – клапан вентиляции топливного бака; 20 – регулятор холостого хода; 21 – магнитный клапан вторичного воздуха; 22 – магнитный клапан рециркуляции выхлопа; 23 – управление кондиционером/вентилятором; 24 – электронное управление АКПП; 25 – диагностический разъем блик-кода; 26 – диагностический разъем FDS 2000; 27 – разъем октан-корректора

опытные образцы аккумуляторных ЭТС снабжались комплексом аварийных защит. В его состав входили: электронная система аварийного опорожнения аккумулятора при любых нештатных ситуациях прежде всего при разное двигателя, механический предохранительный клапан, автоматическое отключение части магистрали высокого давления, относящейся к отдельной форсунке, при снижении герметичности любого элемента такой части магистрали или отключение хотя бы только форсунки, в которой чрезмерно уве-

личился общий расход топлива на впрыскивание и управление. Автоматические отключения вышедших из строя элементов магистрали высокого давления повышают отказоустойчивость аккумуляторных ЭТС, сохраняя работоспособность ее не отключенной части. Некоторые элементы таких комплексов имеются и в составе аккумуляторных ЭТС, предназначенных для серийных двигателей.

Системы высокого давления, например, автомобиля BMW N53 (см. рис. 2.14), позволяют создавать давление до 20 МПа.

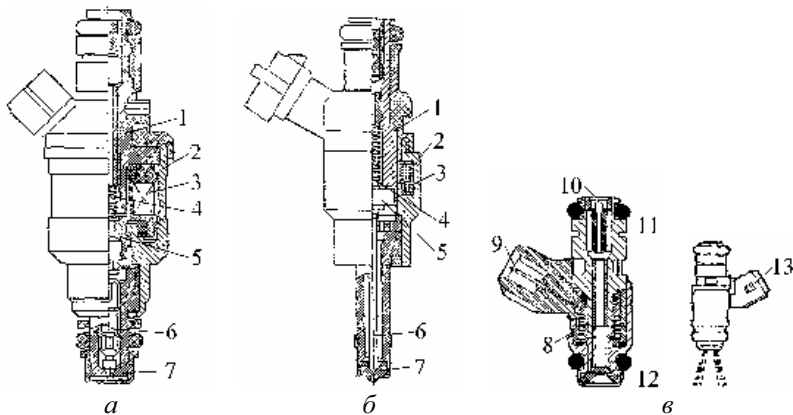
Регулятор подачи топлива 7 создает требуемое давление. Давление топлива в аккумуляторе контролирует датчик 4. Регулятор расхода топлива обеспечивает необходимое количество топлива для соответствующего режима работы двигателя.

Датчики и исполнительные устройства системы топливоподачи двигателей Ford EEC V и Ford EEC IV представлены на рис. 3.19.

### 3.2.5. Виды, устройство и работа электромагнитных форсунок

Основными компонентами системы распределенного впрыскивания бензина во впускной коллектор являются: топливный насос с электрическим приводом, топливный гидроаккумулятор, регулятор давления топлива и электромагнитные клапанные форсунки.

**Форсунка** (рис. 3.20) представляет собой гидравлический клапан с электромагнитным приводом и является исполнительным устройством системы топливоподачи, которое дозирует и распыляет топливо [16].



**Рис. 3.20. Конструкция электромагнитных форсунок:**

- 1, 2 – внутренний и внешний корпус-магнитопровод; 3 – обмотка электромагнита; 4 – возвратная пружина; 5 – якорь электромагнита; 6 – игла распылителя; 7 – корпус распылителя; 8 – электрическая обмотка; 9 – контакты подключения; 10 – сетка на входе; 11 – уплотнение от планки; 12 – уплотнение к головке; 13 – разъем

Электромагнитные форсунки 10 (см. рис. 3.18) входят во впускной трубопровод таким образом, что струя топлива попадает в зону перед тарелкой или непосредственно на тарелку впускного клапана (в некоторых

случаях также на несколько впускных клапанов). Здесь во впускном трубопроводе топливо вместе с воздухом образует рабочую смесь. Каждый цилиндр оснащен форсункой.

Форсунками управляет блок управления двигателя в тактовом режиме. Длительность сигналов, подаваемых на форсунки, определяет количество впрыскиваемого топлива. В зависимости от типа впрыскивания форсунки работают одновременно или по отдельности. В новых разработках используется только последовательная или индивидуальная подача топлива для каждого цилиндра. В каждый цилиндр подается точно дозированное количество топлива в требуемый момент.

В зависимости от числа впускных клапанов в цилиндре, конструкции впускного тракта и возможности размещения форсунок в двигателях с распределенным впрыскиванием топлива используют форсунки с различным углом конуса распыливания, одноструйные, двухструйные и с боковым направлением факела.

На подачу топлива влияют:

- зазоры в сопряжениях деталей клапана форсунки;
- проходное сечение отверстий распылителя;
- жесткость пружины;
- сопротивление и индуктивность катушки.

Техническое состояние форсунки ухудшается вследствие: усадки пружины форсунки; износа контактирующих поверхностей «игла-пружина-регулирующий винт»; износа запорного конуса иглы-распылителя; загрязнения распылительных отверстий и уменьшения проходных сечений.

Характерным примером электромагнитной форсунки может служить форсунка фирмы Bosch, показанная на рис. 3.20, *а*. Электромагнитные форсунки применяются для впрыскивания топлива в цилиндры при давлении топлива только до 12...15 МПа. Такого давления достаточно для непосредственного впрыскивания легких топлив – бензина, сжиженных газов и некоторых синтетических – в большинстве случаев в цилиндры двигателей с искровым зажиганием.

На рис. 3.20, *б* показана форсунка Fiat Bravo.

Распределенное впрыскивание бензина предусматривает размещение на впускном коллекторе нескольких форсунок, количество которых равно количеству цилиндров. Бензин подается дискретно в область впускных клапанов, где он испаряется, перемешивается с воздухом, образуя готовую однородную топливовоздушную смесь. Различают три способа управления форсунками:

- одновременное впрыскивание всеми форсунками;
- попарно-параллельное впрыскивание;
- последовательное (фазированное) впрыскивание.

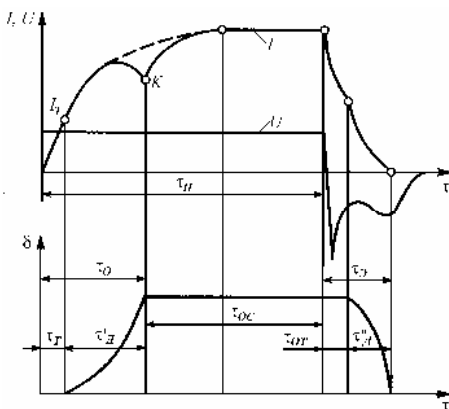
При одновременном и попарно-параллельном способах форсунки срабатывают один раз за каждый оборот коленчатого вала, то есть впрыскивают бензин дважды за рабочий цикл. Это создает неодинаковые условия смешивания, потому что для некоторых форсунок впрыскивание приходится на такую фазу рабочего процесса, когда открытый впускной клапан, в

то время как для других форсунок впрыскивание происходит при закрытых впускных клапанах.

Последовательное (фазированное) впрыскивание обеспечивает равные условия смесеобразования для всех цилиндров, потому что бензин подается при закрытых впускных клапанах.

Для бензиновых двигателей с подачей топлива во впускной коллектор существует три разновидности сигнала управляющего импульса на форсунки: для традиционной (16 Ом) форсунки системы распределенного впрыскивания бензина, для низкоомной (1,5...4 Ом) форсунки, для обеих систем – распределенной и центральной подачи бензина. В зависимости от варианта сигнала необходимо по-разному учитывать действительную продолжительность управляющего импульса.

Количество впрыскиваемого топлива за цикл при постоянстве давления на входе в форсунку зависит только от длительности управляющего импульса.



**Рис. 3.21. Диаграмма изменения электрических и механических параметров электромагнитной форсунки:**

$\tau_0$  – фаза открытия клапана;  $\tau_T$ ,  $\tau'_D$  – периоды трогания с места и движения запирающего элемента при открытии клапана;  $\tau_{OC}$  – фаза открытого состояния форсунки;  $\tau_3$  – фаза закрытия клапана;  $\tau_{OT}$ ,  $\tau''_D$  – периоды отпускания и движения запирающего элемента;  $\tau_H$  – длительность управляющего электрического импульса;  $I$ ,  $U$  – ток и напряжение в обмотке электромагнита;  $\delta$  – рабочий ход запирающего элемента

В реальной форсунке время открытого состояния клапана не совпадает с длительностью управляющего импульса. После подачи управляющего электрического импульса на форсунку в обмотке электромагнита возникает ток самоиндукции, препятствующий нарастанию магнитного потока в системе. Клапан открывается с задержкой по времени (рис. 3.21). При прекращении подачи управляющего импульса в результате самоиндукции сохраняющийся магнитный поток будет препятствовать быстрому отпусканию запирающего элемента. Поэтому длительность открытого состояния клапана форсунки  $\tau_H$  отличается от длительности электрического управляющего импульса. На запаздывание срабатывания форсунки дополнительно влияют механические потери в системе перемещения элементов форсунки.

Повысить быстродействие электромагнитной форсунки можно за счет уменьшения числа витков обмотки электромагнита и ее индуктивности. Однако при этом уменьшается сопротивление обмотки и увеличивается потребляемый ею ток. Для ограничения силы тока последовательно с обмот-

кой включают резистор.

**При выборе (подборе) форсунки** для конкретного двигателя необходимо учитывать ее основные характеристики:

- статический расход топлива;
  - динамический диапазон работы;
  - минимальную цикловую подачу топлива;
  - время открытия и время закрытия форсунки;
  - угол конуса распыливания и дальнобойность факела топлива;
- мелкость распыливания и распределение топлива в факеле.

Статический расход топлива характеризуется количеством топлива, проходящего через форсунку в единицу времени при заданном давлении и полностью открытом клапане форсунки. Фирмы выпускают семейства форсунок с разными статическими расходами, что позволяет обеспечить работу двигателей с разным рабочим объемом цилиндров.

Форсунки, использующиеся концерном Фольксваген в системах впрыскивания бензина в камеру сгорания (см. рис. 3.20, б), отличаются от предыдущих удлиненной частью распылителя, так как работают в более тяжелых температурных условиях, и формой магнитопровода и количеством витков катушки электромагнита, ибо непосредственное впрыскивание бензина имеет ограничение во времени, поэтому электромеханические преобразователи (ЭМП) должны иметь большее быстроедействие.

Но для всех приведенных вариантов форсунок характерным признаком является наличие элементов электромеханических преобразователей: ферромагнитного магнитопровода, который охватывает катушку, и подвижного якоря. То есть, все они электромеханические с электромагнитным приводом непосредственного действия.

ЭМП является интерфейсом связи между электрической частью системы управления и механическим клапаном форсунки. В основу его работы положен принцип преобразования электрической энергии в механическую.

Форсунки, имеющие ЭМП, который непосредственно поднимает клапан (иглу), получили название электромеханических. В большинстве известных конструкций электромеханических форсунок (ЭМФ) запираение клапана (иглы) осуществляется с помощью пружины. При этом игла жестко связана с подвижной частью электромеханического привода. Величина цикловой подачи в ЭМФ определяется продолжительностью включения электромеханического привода и величиной давления топлива на входе в форсунку.

По принципу действия электромеханические преобразователи делятся на: электромагнитные, электродинамические, магнитострикционные и пьезоэлектрические. Электромагнитные и электродинамические преобразователи основаны на внешних эффектах взаимодействия магнитных полей, создаваемых различными методами. Магнитострикционные и пьезоэлектрические построены на использовании внутренних физических свойств веществ и особенностей их кристаллического строения. Эти свойства проявляются при взаимодействии кристаллов в соответствии с магнитным и электрическим полем.

Динамический диапазон работы форсунки (ДДР) определяется отношением максимальной и минимальной цикловых подач топлива в диапазоне их изменения, при котором с точностью до 2...3 % сохраняется линейная связь между продолжительностью импульса открытия форсунки и величиной цикловой подачи топлива. Величина ДДР – важный фактор, так как определяет возможность сохранения точного управления подачей топлива при изменении нагрузки; на нее оказывает большое влияние масса подвижного элемента форсунки (якоря электромагнита с клапаном).

Нарушение линейности характеристики в значительной мере связано с влиянием переходных процессов открытия и закрытия форсунки. Помимо массы подвижного элемента на эти процессы влияет сила пружины клапана. Увеличение затяжки пружины повышает время открытия форсунки

В табл. 3.1 показаны величины ДДР у нескольких конструкций штифтовых форсунок фирмы Bosch с разной массой подвижного элемента. Увеличение ДДР достигнуто благодаря улучшению системы электромагнитного привода. За счет совершенствования конструкции форсунок в последние годы время открытия и закрытия, клапана удалось уменьшить в 2...3 раза по сравнению с указанными в табл. 3.1.

*Таблица 3.1*

### **Динамический диапазон работы форсунок**

Масса подвижного элемента, г	Время открытия, мс	Время закрытия, мс	ДДР
4,3	1,55	0,89	8
4,3	1,49	0,72	10
2,7	1,32	0,55	17

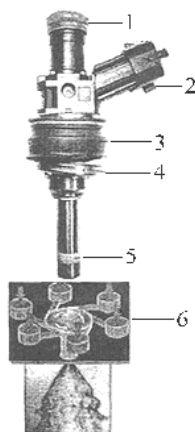
Качество распыливания топлива зависит от давления впрыскивания и конструкции распылителя. Обычно давление впрыскивания составляет 0,2...0,45 МПа. У распыливающих отверстий средний диаметр капле – 150...200 мкм. Путем совершенствования конструкции распыливающих отверстий или применения специальных мер для улучшения распыливания средний диаметр капле может быть уменьшен примерно до 60 мкм.

Для управления качеством смесеобразования применяют форсунки с воздушным распыливанием топлива. Воздух к форсунке подается под естественным перепадом давления во впускном тракте и в окружающей среде. В этом случае по мере прикрытия дроссельной заслонки количество подаваемого воздуха увеличивается и, следовательно, улучшается качество распыления. Реже используют принудительную подачу воздуха к форсунке под избыточным давлением.

В двигателях с распределенным впрыскиванием топлива применяют как одновременное впрыскивание топлива всеми форсунками, так и фазированное впрыскивание, когда каждая форсунка подает топливо к цилиндру в определенной фазе цикла. При одновременном впрыскивании упрощается управление форсунками, но не удается обеспечить одинаковые условия

смесеобразования во всех цилиндрах. Фазированное впрыскивание обеспечивает равные условия смесеобразования во всех цилиндрах. Для обеспечения стабильности смесеобразования подачу топлива стремятся закончить к моменту начала открытия впускного клапана, что, однако, сокращает возможную продолжительность открытия форсунки. Такая организация впрыскивания требует коррекции начала подачи топлива при изменении величины цикловой подачи. Вычисление необходимого момента начала подачи проводится аналогично определению момента опережения начала впрыскивания топлива в дизелях.

В системах с центральным впрыскиванием топлива в зону над дроссельной заслонкой величина цикловой подачи топлива также определяется длительностью открытия клапана форсунки. Чтобы обеспечить равномерное распределение топлива по цилиндрам, синхронизируют впрыскивание топлива с тактами всасывания всех цилиндров.



**Рис. 3.22. Форсунка высокого давления:**

- 1 – резиновое кольцо;
- 2 – разъем подключения;
- 3 – защита от коррозии;
- 4 – прокладка;
- 5 – тефлоновое кольцо;
- 6 – закручивание потока

На рис. 3.22 представлена форсунка высокого давления Siemens (VDO).

Особенностями таких форсунок являются:

- управляющее напряжение около 75 В;
- электромагнитный привод;
- размещается на стороне всасывания в головке цилиндров;
- контроль срабатывания;
- давление впрыскивания от 4 до 12 МПа;
- перед подачей поток топлива закручивается;
- подключение к гидроаккумулятору через резиновое кольцо;
- уплотнение в головке тефлоновое (сменное);
- возможность реализации трех впрыскиваний (Porsche-DFI);
- длительность топливоподачи при 4 МПа 0,6 мс, объем топлива – 80 мг/цикл;
- длительность топливоподачи при 12 МПа 5,2 мс, объем топлива – 80 мг/цикл;
- высота подъема иглы форсунки 50 микрон;
- средний размер капель топлива около 30 микрон в диаметре.

### 3.2.6. Топливная система двигателя с пьезоэлектрическими форсунками

Эта система непосредственного впрыскивания второго поколения позволяет расширить диапазон работы двигателя на бензиновой смеси, развивать большую мощность и высокий крутящий момент.

Второе поколение систем непосредственного впрыскивания топлива, расширяя область работы двигателя в условиях ламинарного потока бедной смеси, обуславливает лучшие показатели эффективности и топливной экономичности, чем при работе с гомогенной смесью. В существующих системах до последнего времени эффективность работы двигателя с ламинарным зарядом смеси ограничивалась условиями процесса сгорания. Именно бедная смесь использовалась только при низкой частоте вращения коленчатого вала двигателя.

При бедной смеси происходит более полное сгорание топлива вследствие избытка воздуха. Ламинарное состояние заряда топливной смеси достигается за счет подачи топлива при высоком давлении в конце такта сжатия в зону, максимально приближенную к свече зажигания. Распыленные частицы топлива находятся в окружении избыточного воздуха, образуя ламинарный, «слоистый», заряд смеси. Избыточный воздух одновременно снижает температуру в камере сгорания, вследствие чего задерживается образование оксидов азота  $\text{NO}_x$  и снижается тенденция к преждевременному возгоранию смеси. Для нового двигателя предусмотрено применение бензина с октановым числом 95 при повышенной степени сжатия 12,2:1, что также улучшает эффективность работы.

В первом поколении систем непосредственного впрыскивания бензина струя топлива, выходящая из форсунки отражалась от днища поршня, формируя топливо-воздушную смесь до момента зажигания. При этом некоторое малое количество топлива всегда остается на поверхности, что приводит к неполному сгоранию, снижает эффективность работы двигателя и увеличивает выбросы монооксида углерода  $\text{CO}$ .

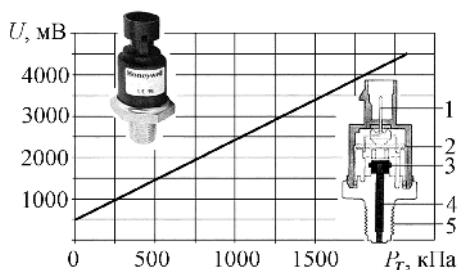
Во втором поколении систем непосредственного впрыскивания применены разработанные компанией Bosch пьезоэлектрические форсунки, в которых под воздействием напряжения электрического тока происходит расширение пьезокерамического стержня, поднимающего дозирующую иглу. Впрыскивание топлива происходит при давлении 20 МПа, что на 25 % выше, чем у систем первого поколения. При этом образуется поток распыленного бензина в форме полого конуса. Днище поршня имеет специальный профиль. Форсунки размещаются сверху камер сгорания, что обеспечивает сохранение стабильности подачи топлива на всех режимах работы двигателя.

При работе в условиях ламинарного состояния заряда с частичной нагрузкой двигателя топливоподача осуществляется дважды с интервалом 50 мкс. Двигатель может работать на бедной смеси в расширенном диапазоне частоты вращения вала и нагрузки, обеспечивая существенное улучшение экономических показателей.

Пьезоэлектрические системы на порядок превосходят системы с электромагнитами по быстродействию и позволяют осуществить впрыскивание топлива 5...6 раз в течение одного цикла (а в лабораторных условиях значительно больше).

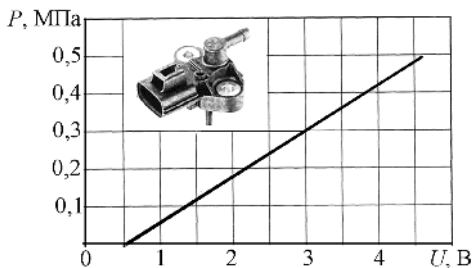
### 3.2.7. Датчики для определения давления топлива и положения дроссельной заслонки

**Датчики двигателей.** Назначение, технические характеристики и неисправности датчиков достаточно подробно описаны в работах [45, 51]. В данной работе будут приведены только выходные характеристики некоторых датчиков, по которым можно контролировать их техническое состояние.



**Рис. 3.23. Выходная характеристика датчика давления Honeywell MLN 300PSB01A:**

- 1 – разъем подключения к жгуту проводки;
- 2 – микросхема усиления сигнала;
- 3 – стальной стакан с мембраной и тензорезисторами;
- 4 – канал подвода топлива;
- 5 – крепежная резьба



**Рис. 3.24. Калибровочная характеристика выходного сигнала датчика давления PST-F**

Конструкция и характеристики датчиков давления топлива разной чувствительности приведены на рис. 3.23, 3.24, 3.25.

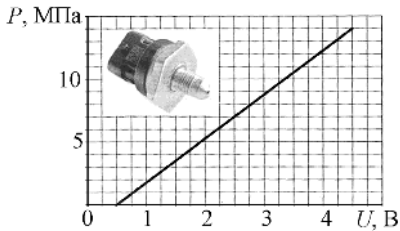
Эти датчики могут быть использованы для диагностирования быстро-протекающих изменений давления в гидросистемах, в частности в гидравлическом аккумуляторе топливных систем двигателей.

На рис. 3.26 приведены внешний вид, конструкция и характеристика одного из видов датчика положения дроссельной заслонки.

Датчик положения дроссельной заслонки представляет собой переменный резистор (потенциометр). Подвижная часть датчика соединена с осью дроссельной заслонкой. Характеристика датчика линейна. В зависимости от положения дроссельной заслонки, изменяется сопротивление датчика и падение напряжения на нем. По величине падения напряжения на датчике электронный блок управления определяет степень ее открытия. Выходное напряжение, изменяющееся в пределах от 0 до 5 В, измеряется блоком управления. При закрытом положении дроссельной заслонки выходное напряжение до 0,7 В, при полностью открытом – не более 4,8 В.

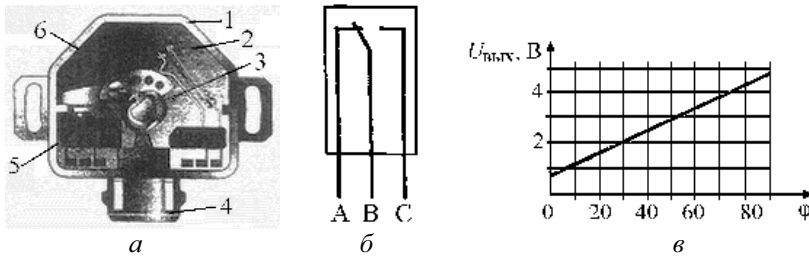
Дроссельная заслонка в дроссельном патрубке автомобиля управляется посредством механизма привода и не имеет механической связи с педалью акселератора. Водитель, увеличивая или уменьшая угол наклона педали акселератора, выдает задание на увеличение или уменьшение скорости автомобиля (при включенной передаче коробки передач) или на сохранение

заданной скорости при изменении внешней нагрузки. Электронная система управления воспринимает это задание водителя с помощью датчика педали акселератора, оценивает требуемый крутящий момент на ведущих колесах и с учетом потребностей других потребителей мощности, выдает управляющий сигнал на двигатель механизма привода дроссельной заслонки, который через редуктор поворачивает дроссельную заслонку на требуемый угол.



**Рис. 3.25. Калибровочная характеристика выходного сигнала датчика давления PSS-260**

При возникновении неисправности в цепи датчика (обрыв, короткое замыкание) контроллер фиксирует коды неисправности. Управление двигателем при этом переходит в резервный режим — значение циклового наполнения определяется в соответствии с частотой вращения вала двигателя и положением дроссельной заслонки. Если и в цепи датчика положения дроссельной заслонки обнаружена неисправность, то значение часового расхода воздуха устанавливается равным некоторой постоянной величине, что позволяет двигаться на автомобиле до станции техобслуживания.



**Рис. 3.26. Датчик положения дроссельной заслонки концевой типа:**  
*а* — конструкция; *б* — электрическая схема; *в* — характеристика; 1 — корпус; 2 — контакты полной нагрузки; 3 — ось дроссельной заслонки; 4 — электрический разъем; 5 — микро-выключатель холостого хода; 6 — эксцентрик

Для ликвидации загрязнений измерительного элемента предусмотрена кратковременная (длительностью около 1 с) подача повышенного напряжения на элемент, увеличивающая его температуру до 1000 °С. Такой кратковременный импульс подается в условиях эксплуатации после остановки двигателя и позволяет выжечь все загрязнения, осевшие на нить. Его можно наблюдать визуально по кратковременному свечению нити датчика после выключения зажигания, если отсоединен входной воздушный патрубок.

### 3.2.8. Смесеобразование, распыление топлива и режимы работы двигателя

Карбюраторная система является одной из первых систем, в которой

пытались использовать электронные средства управления для улучшения показателей двигателя, сохранив принцип карбюрации.

К системам с центральным расположением форсунок относятся карбюраторные системы и системы с центральным впрыскиванием, которые еще называют моновпрыскивающими. Однако по ряду причин в системах с центральным расположением дозирующего органа не удастся получить хорошие результаты по показателям экономичности и токсичности отработавших газов.

В современных двигателях подача – топлива в цилиндры осуществляется механическим способом под управлением микропроцессорных систем преимущественно путем распыления с помощью клапанных форсунок. Форсунки соединяются с гидроаккумулятором, в котором поддерживается постоянное давление. Предварительное сжатие топлива добавляет топливной струе механическую энергию, что обеспечивает необходимую дальность и направленность факела, а также позволяет получить мелкие капли распыленного топлива – условия, необходимые для хорошего смесеобразования.

Состав смеси определяется соотношением доз компонентов, поступающих в цилиндр. Изменение расхода, как известно, можно осуществлять дозирующими регулирующими органами, то есть изменяя сопротивление движению или движущую силу.

**Смесеобразование.** Основная задача процесса смесеобразования состоит в получении гомогенной (однородной) смеси топлива с воздухом и обеспечения полного испарения топлива. Весь процесс смесеобразования можно представить как последовательность процессов дозирования, распыления, испарения топлива и перемешивания его пара с воздухом. В реальных условиях эти процессы протекают с перекрытием, поэтому процесс образования горючей смеси представляют двумя стадиями: дозирование топлива (обеспечение количественного соотношения между топливом и воздухом) и гомогенизация, то есть получение однородной топливовоздушной смеси.

Органы, дозирующие топливо, могут быть общими для всех цилиндров или индивидуальными для каждого цилиндра. В зависимости от расположения дозирующих органов различают центральные (с общими дозаторами) и распределенные (с индивидуальными дозаторами) системы топливоподачи. По этим признакам среди система внешнего смесеобразования двигателей с принудительным зажиганием различают следующие методы дозирования и распыления топлива [16]:

- карбюрация;
- центральное впрыскивание;
- распределенное впрыскивание – непрерывное или дискретное.

Независимо от способа подачи топлива система должна обеспечивать гомогенную (однородную) топливовоздушную смесь, способную зажигаться и эффективно сгорать на всех режимах работы двигателя.

К системам с распределенными дозаторами относятся системы с электроуправляемыми форсунками и системы с неуправляемыми форсунками

(инжекторами). При этом в карбюраторах и в системах с форсунками обеспечивается непрерывная подача топлива, а в системах с электроуправляемыми форсунками – дискретная.

В современных двигателях с подачей бензина во впускной коллектор дозирование топлива осуществляется с помощью управления электромагнитной форсункой.

Микропроцессорная система управления позволяет существенно расширить связи (энергетические, вещественные, информационные), учитывать большое количество влияющих факторов, реализовать оптимальные законы управления.

**Режимы работы двигателя.** Смесеобразование может определять следующие режимы работы бензинового двигателя с непосредственным впрыскиванием (рис. 3.27).

Режимы	ВМТ	НМТ	ВМТ	НМТ
	Впуск	Сжатие	Рабочий ход	
Гомогенный	■			■
Послойный			■	■
Гомогенно-обедненный	■			■
Гомогенно-послойный	■		■	■
Гомогенно-раздельный	■		■	■
Гомогенно-антидетонационный	■		■	■
Послойный нагрев катализатора	■			■
Послойный разогрев накопленного NO <sub>x</sub>			■	■
Послойный стартовый			■	■

■ Впрыск    ■ Зажигание

**Рис. 3.27. Режимы работы бензинового двигателя**

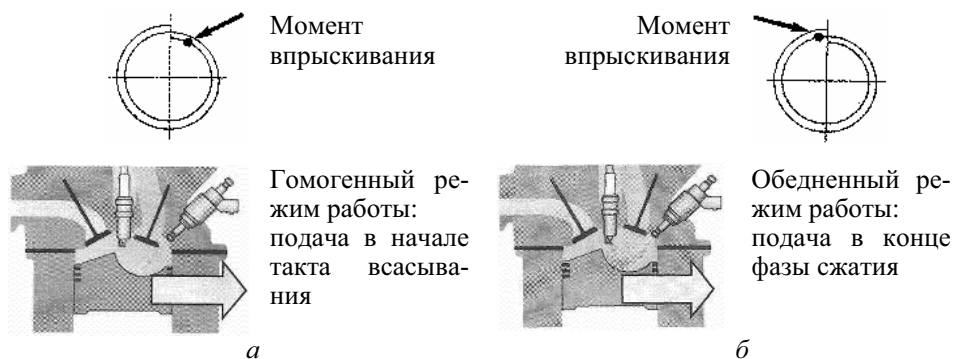
**При гомогенном** (однородном) режиме топливо подается в точно стехиометрическом соотношении 14,7:1 к поступившему воздуху. Топливо впрыскивается в такте впуска, чтобы иметь достаточно времени для полноценного смешивания (гомогенизации) смеси. При гомогенном режиме зажигание происходит возле границы детонации и контролируется блоком управления. Необходимый крутящий момент определяется количеством поступившего воздуха и моментом зажигания (рис. 3.28, а).

**При послойном** (стратифицированном) режиме топливо подается в такте сжатия. Топливо перемешивается только с частью воздуха. В результате образуется идеально расположенное облако (слой) окруженное чистым воздухом. Начало подачи очень важно при этом режиме. Облако должно быть достаточно гомогенизированным и расположенным между клапанами так как вокруг него должен образоваться слой воздуха то в целом смесь получается обедненной. Здесь возникает необходимость дорогостоящей обработки образовавшихся NO<sub>x</sub>.

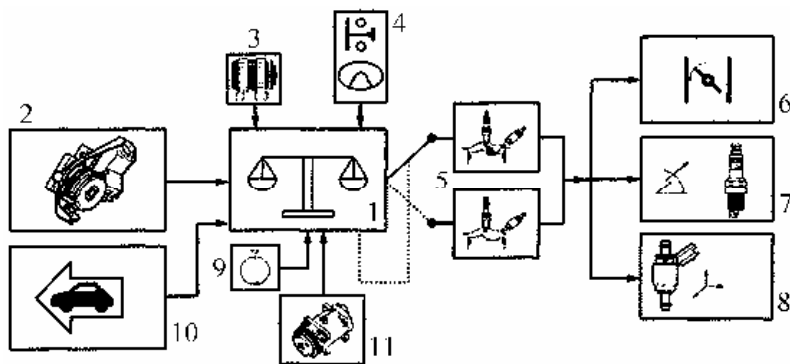
Подача топлива происходит в последней трети такта сжатия. Для приготовления смеси остается около 40...50° поворота коленчатого вала. Зажигание должно производиться в довольно узком диапазоне. Необходимый

крутящий момент зависит от количества впрыскиваемого топлива, масса воздуха и зажигания на него сильно не влияют.

Управление нагрузкой двигателя происходит за счет изменения количества подаваемого топлива без использования дроссельной заслонки, которая остается полностью открытой. Этот режим работы возможен в диапазоне низких оборотов (от холостого хода до 3500 мин.<sup>-1</sup>) и частичной нагрузки. Это позволяет снизить расход топлива за счет снижения насосных и дроссельных потерь и улучшения эффективности сгорания. Компоненты системы управления крутящим моментом представлены на рис. 3.29.



**Рис. 3.28. Моменты впрыскивания**



**Рис. 3.29. Управление крутящим моментом:**

1 – блок управления двигателем; 2 – датчик педали акселератора; 3 – генератор с прогрессивной нагрузкой; 4 – рулевой привод с сервоприводом – пневматический выключатель; 5 – режим работы; 6 – сервопривод дросселя; 7 – функция зажигания (момент зажигания); 8 – функция впрыскивания (давление, момент впрыска, длительность); 9 – информация по числу оборотов; 10 – регулировка скорости; 11 – компрессор кондиционера

Давление во впускном коллекторе остается в пределах от 60 до 80 кПа. При более высоких требованиях нагрузки двигатель переходит непосредственно на гомогенную смесь. Режим послойного распределения невозможен,

начиная с определенных частот вращения коленчатого вала вследствие сокращающегося времени, отводимого на формирование смеси.

Работа на обедненных смесях (см. рис. 3.28, б) считается приоритетной, поскольку позволяет существенно снизить расход топлива. Согласно исследованиям на его долю приходится около 75 % рабочего времени двигателя.

Послойный режим может быть использован до половины нагрузки на двигатель. При повышении нагрузки смесь постепенно обогащается и двигатель переходит на гомогенный режим работы.

В зависимости от условий работы и других требований (ускорение, сокращение выбросов) двигатель может временно выйти из режима работы на обедненной смеси (рис. 3.30).

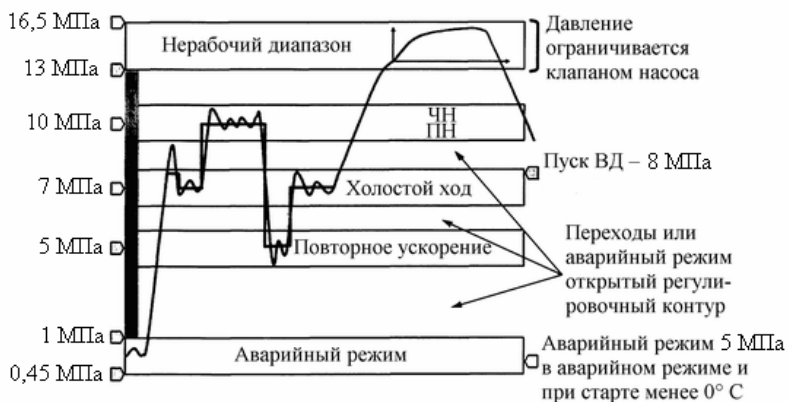


Рис. 3.30. Режимы работы двигателя

**Гомогенно-обедненная.** В переходном режиме от послойного до гомогенного двигатель может работать на обедненной гомогенной смеси ( $\lambda > 1$ ). Применяется для устранения потерь при дросселировании. В таком режиме работы двигателя увеличивается выброс  $\text{NO}_x$ .

**Гомогенно-послойный.** При гомогенно-послойном режиме вся камера сгорания заполнена обедненной смесью. Это достигается подачей основного количества топлива на такте впуска. Вторая подача (Doppeleinspritzung) происходит на такте сжатия. Это впрыскивание создает более богатую зону в районе свечи зажигания. Смесь в этой зоне легко воспламеняется, за счет этого происходит воспламенение остальной смеси в камере сгорания.

Гомогенно-послойный режим активизируется в течение нескольких циклов при переходе из послойного на гомогенное смесеобразование. В результате система может лучше управлять крутящим моментом двигателя во время перехода на другой режим.

**Послойный – разогрев катализатора.** Этот тип двойной топливоподдачи позволяет быстро разогреть выпускной тракт. Здесь при обедненной смеси, полученной в такте сжатия (послойный режим) осуществляется до-

бавочное впрыскивание на такте расширения. Эта часть топлива сгорает поздно и разогревает выпускной тракт. Режим используется для разогрева накопителя  $\text{NO}_x$  до температуры свыше  $650^\circ\text{C}$ .

**Послойный – стартовый.** При таком режиме впрыскивание производится не на такте впуска, а на такте сжатия. Преимущество заключается в том, что подача производится в уже сжатый и, соответственно, разогретый воздух. В результате большая часть топлива, которая при холодном двигателе оставалась на стенках цилиндра и не участвовала в сгорании, теперь переходит в газообразное состояние и сгорает. Количество впрыскиваемого топлива таким образом можно уменьшить, что приводит к снижению выбросов углеводородов. Это важно с точки зрения концепции снижения общих выбросов вредных веществ с отработавшими газами.

**Гомогенно-раздельный режим (Homogen-Split)** – специальный переходной режим к гомогенно-послойному с двойной топливopодачей. Он используется в фазе разогрева двигателя для того, чтобы быстрее разогреть катализатор. При стабилизирующей второй подаче на такте сжатия момент зажигания очень поздний (от  $15^\circ$  до  $30^\circ$  после ВМТ). Поэтому большая часть энергии используется не на увеличение крутящего момента, а на увеличение температуры отработавших газов. Таким образом, катализатор разогревается за несколько секунд.

**Гомогенно-антидетонационный.** При этом режиме применяется добавочное впрыскивание при полной нагрузке, без сдвига в поздний угол зажигания, при появлении детонации. Второе впрыскивание является стабилизирующим и препятствует возникновению детонации. Положительным является то, что раннее зажигание позволяет сохранять высокий крутящий момент.

Протекание процессов смесеобразования и последующее сгорание смеси зависят от многих факторов, в том числе и от способа подачи топлива и воздуха.

**Распыление.** После выхода струи топлива из распылителя начинается ее распад. Этот способ распыления называется воздушным или пневматическим, так как для дробления топлива используется кинетическая энергия воздуха.

Для обеих систем дисперсность распыленного топлива зависит от давления, формы распылительных отверстий распылителя форсунки (инжектора) и скорости (расхода) топлива в них, а также от вязкости и поверхностного напряжения. От распылителя зависит мощность, расход топлива и состав выходных газов.

Процессы формирования смеси и равномерность распределения ее по цилиндрам зависят от:

- фракционного состава топлива, температуры испарения отдельных фракций топлива и антидетонатора;
- температуры топлива и воздуха, интенсивности подогрева смеси;
- времени испарения;
- относительной скорости воздуха и капель топлива, степени турбулентности потока, площади поверхности испарения.

Для улучшения распыления топлива с целью более равномерного перемешивания смеси, распределения ее по цилиндрам и улучшения процесса сгорания используются различные устройства. По способу воздействия на поток смеси они подразделяются на группы:

- подогрева воздуха, поступающего на дозирование;
- подогрева топливно-воздушной эмульсии при смесеобразовании;
- подогрева воздуха во впускном трубопроводе;
- механического воздействия на топливно-воздушную смесь;
- обработки смеси физическими воздействиями различного рода.

Механизмы смесеобразования при карбюрации и центральном впрыскивании имеют много общего, так как топливо в обоих случаях вводится в воздушный поток в одном и том же месте впускного тракта – перед впускным трубопроводом.

Блок управления ЕКР топливным насосом выполняет следующие функции:

- включает ЕКР на 3 с при включении зажигания;
- при запуске двигателя, с учетом температуры двигателя, включает ЕКР примерно на 5 с с максимальным напряжением, создавая циркуляцию (горячий старт);
- после запуска переходит в режим работы в соответствии с нагрузкой. На холостом ходу уровень напряжения на ЕКР примерно 8...9 В. При увеличении потребления топлива увеличивается уровень напряжения;
- при изменяющемся сигнале управления ЕКР ток потребления от 6 до 14 А.

### **3.2.9. Выбор датчика системы измерения давления, места его установки и анализ действующих процессов в топливной системе**

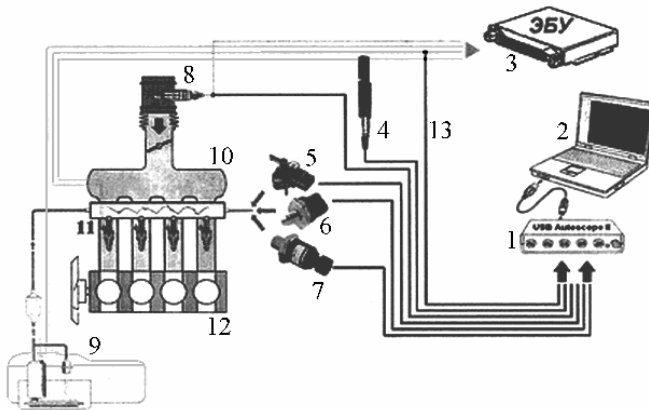
При диагностировании топливной системы определяют каналы измерения параметров в распределительной системе с электронным управлением. Проводят регистрацию изменения амплитудных и частотных параметров колебаний давления в гидравлической топливной аппаратуре. Функциональная схема диагностического комплекса представлена на рис. 3.31 [41].

В зависимости от:

- состояния бензонасоса будут изменяться частота, амплитуда и средний уровень давления в гидравлическом аккумуляторе;
- длительности впрыскивания топлива форсункой и степени ее загрязнения будет изменяться амплитуда провала давления топлива в гидравлическом аккумуляторе при впрыскивании;
- состояния регулятора давления топлива (РДТ) будет изменяться средний уровень давления топлива в гидравлическом аккумуляторе, но колебания давления топлива исправный РДТ может не вызывать.

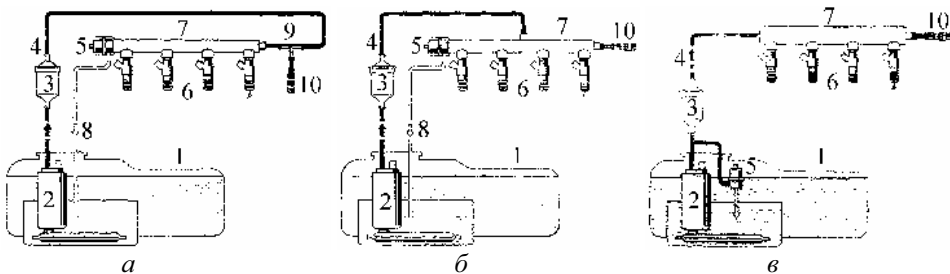
**Выбор при исследованиях места установки датчика для измерения давления.** На рис. 3.32 показаны схемы места установки датчиков на гидравлическом аккумуляторе, применяемые на различных автомобилях

[42].



**Рис. 3.31. Структурно-функциональная схема измерительного комплекса диагностирования топливной аппаратуры бензиновых двигателей:**

1 – цифровой пишущий высокочастотный осциллограф USB Autoscope II; 2 – ноутбук со специализированным ПО; 3 – ЭБУ системой впрыскивания; 4 – токовые клещи; 5 – датчик давления топлива PST-F; 6 – датчик давления топлива PSS-260; 7 – датчик давления топлива MLH300PSB01A; 8 – датчик массового расхода воздуха; 9 – топливный бак с электробензонасосом и регулятором давления топлива; 10 – впускной коллектор; 11 – топливный гидравлический аккумулятор с форсунками; 12 – ДВС; 13 – измерительный канал управляющего импульса на форсунку

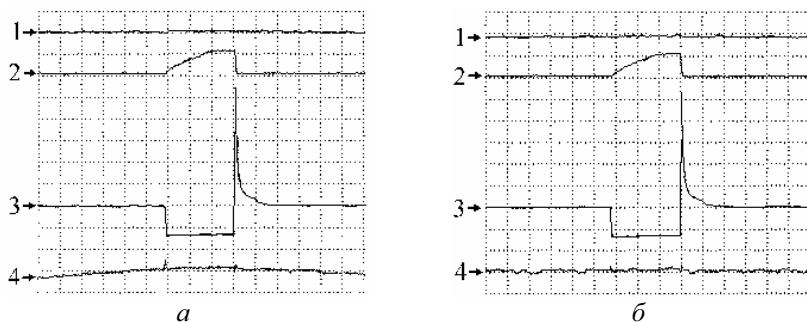


**Рис. 3.32. Выбор места установки датчика давления топливной системы:**

*а, б, в:* схема подключения датчика давления на автомобиле Škoda Octavia 1.8 Turbo (*а*); на автомобиле Volkswagen Golf GTI (*б*); на автомобиле ВАЗ-2115 (*в*); 1 – топливный бак; 2 – топливный насос с электроприводом; 3 – топливный фильтр; 4 – нагнетательный трубопровод; 5 – регулятор давления; 6 – форсунки; 7 – топливный аккумулятор; 8 – линия обратного слива топлива; 9 – тройник; 10 – датчик давления

В зависимости от конструктивного исполнения топливного аккумулятора (рис. 3.32) могут быть различные способы подключения датчиков давления топлива к гидравлической системе топливной аппаратуры. На автомобиле Škoda датчик давления подключался с помощью тройника к подводному трубопроводу под углом 90° на входном штуцере топливного аккумулятора (см. рис. 3.32, *а*). Такой способ подключения датчика (по данным осциллограмм) недостаточно эффективный для получения достоверной ин-

формации о гидравлических процессах, протекающих в топливном аккумуляторе. При таком подключении датчиков PST-F и PSS-260 колебания давления видны, но имеют сглаженную характеристику, недостаточную для извлечения диагностической информации (см. рис. 3.33).



**Рис. 3.33. Осциллограммы расхода воздуха (1), силы тока на управляющем сигнале форсунки (2), сигнала управления топливной форсункой (3) и давления топлива (4) на установившемся режиме работы двигателя:**  
*а* – датчик PST-F; *б* – PSS-260

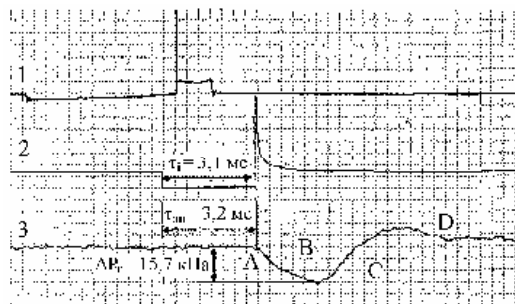
**Выбор датчика.** В двигателе автомобиля Volkswagen Golf конструкцией топливного аккумулятора предусмотрен диагностический штуцер, который позволяет подключать датчик давления непосредственно к топливному аккумулятору (см. рис. 3.32, *б*). При таком способе подключения осциллограммы, записанные при помощи датчика **PST-F**, дают возможность наблюдать ярко выраженные провалы давления в момент открытия форсунок. Диапазон измерения давления 0,05...0,6 МПа.

Датчик **PSS-260** имеет недостаточные рабочие диапазоны и чувствительность к колебаниям амплитуд протекающих гидравлических процессов. Диапазон измерения давления 0...14 МПа).

**Измерение и анализ процессов, действующих в топливной системе.** Высоковольтные сигналы регистрируют с помощью емкостных датчиков высокого напряжения, подключенных к специальному адаптер-преобразователю. Сигналы в диапазоне 0...5 В после адаптера «подают» на входы в цифровой осциллограф. Импульсы управления форсунками, разделенные на отдельные линии управления подают на аналоговые измерительные входы осциллографа. Синхронно с данными сигналами регистрируют показания датчика давления (см. рис. 3.31). Отображения сигналов импульсов управления для удобства сводят в общий канал [42].

Очередность следования управляющих импульсов на форсунки распознается с помощью сигнала о моменте подачи искры в первый цилиндр. Зная порядок работы цилиндров, можно определить, к какой форсунке относятся текущие управляющие сигналы и колебания (изменения) давления в гидравлическом аккумуляторе.

Анализ изменения частотных и амплитудных параметров колебаний давления топлива, происходящих в системе, позволяет выделить несколько важных диагностических признаков. На кривых (рис. 3.34) выделены четыре участка. Участок «А» период запаздывания открытия клапана по отношению к моменту начала подачи управляющего электрического сигнала на катушку электромагнита форсунки. Период запаздывания при различной длительности управляющего сигнала от 2 до 30 мс (рис. 3.35) является неизменным. Он не зависит от длительности управляющего импульса. Длительность запаздывания впрыскивания является следствием инерционности форсунки.



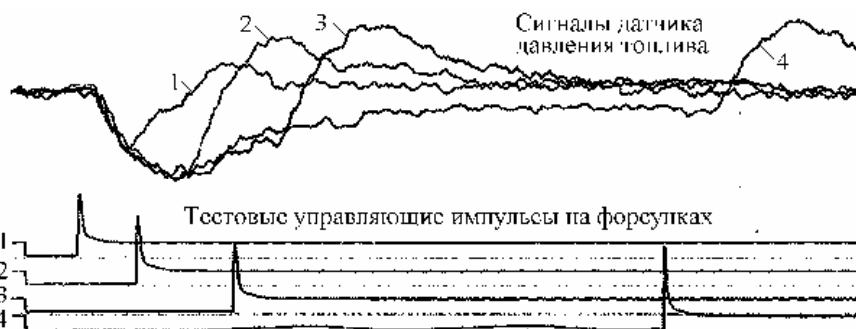
**Рис. 3.34. Определение момента впрыскивания:**

1 – импульсы системы зажигания; 2 – сигнал управления форсункой; 3 – сигнал датчика давления

приводит к перекоосу и подклиниванию иглы в ее верхней части. Наслоение на поверхности клапана лаковых отложений приводит к изменению его массы и, как следствие, к возрастанию инерционности системы.

Инерционность форсунки зависит от индуктивности электромагнита, массы иглы, силы жесткости пружины. Очевидно, что при возникновении неисправности произойдет изменение длительности запаздывания.

Например, уменьшение жесткости пружины под действием циклических нагрузок и температуры, межвитковое замыкание в обмотке электромагнита приводит к изменению индуктивности обмотки и силы, развиваемой магнитом. Износ распылителя



**Рис. 3.35. Провалы давления топлива при различной продолжительности управляющего импульса на форсунке:**

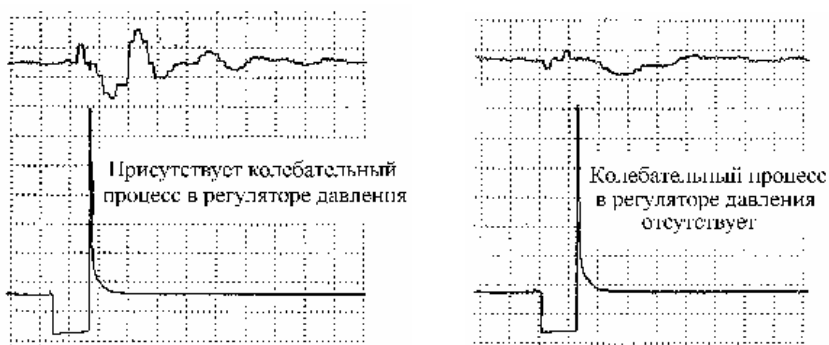
1 –  $\tau_i = 2$  мс; 2 –  $\tau_i = 5$  мс; 3 –  $\tau_i = 9$  мс; 4 –  $\tau_i = 30$  мс

Сравнение эталонных сигналов с измеренными на автомобиле позво-

лит оценить техническое состояние отдельных элементов форсунки.

На участке «В» хорошо прослеживается закономерность – чем больше цикловая подача, тем больше величина провала давления на осциллограмме. Поскольку длительность управляющего импульса одинакова для всех четырех форсунок, то в случае регистрации различных амплитуд колебаний давлений можно сделать вывод о загрязнении форсунки. Очевидно, чем меньше амплитуда – тем больше лаковых отложений внутри форсунки. Эта зависимость неоднозначна и имеет линейную характеристику только до определенной величины продолжительности впрыскивания [42]. Такая закономерность проявляется вследствие влияния регулятора давления 5 (см. рис. 3.32). Поскольку регулятор давления включает подпружиненную мембрану и механический клапан, то он инерционен. Вследствие этого на участке осциллограммы «В» клапан еще закрыт. Таким образом, влияние регулятора давления отсутствует и поэтому зависимость величины провала давления от длительности впрыскивания однозначна. Через определенное время задержки от начала падения давления регулятор преодолевает силы инерции и начинает перемещаться, закрывая проходное сечение линии обратного слива. Вследствие этого, даже если впрыскивание еще не завершилось, давление в топливном аккумуляторе начинает расти.

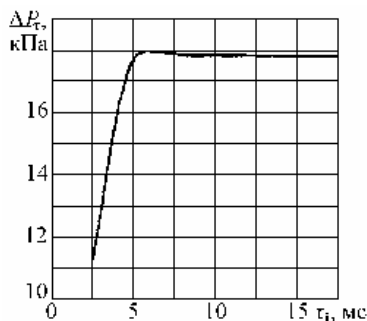
Участок «С» на рис. 3.34 соответствует окончанию впрыскивания, следовательно, давление должно стабилизироваться. Однако вследствие инерционности регулятора давление сначала повышается (участок «D»). Это происходит до тех пор, пока клапан регулятора не установится на прежний уровень. В зависимости от конструкции регулятора после пика давления «D» уровень давления может вернуться на исходную позицию плавно или же происходит колебательный процесс из нескольких чередующихся провалов и повышений давления (рис. 3.36). Данный колебательный процесс может характеризовать техническое состояние регулятора (загрязненность, старение мембраны, заклинивание клапана, изменение жесткости пружины).



**Рис. 3.36. Влияние изменения технического состояния регулятора давления на процесс, происходящий в топливном аккумуляторе**

Проведенные измерения колебания давления топлива в зависимости

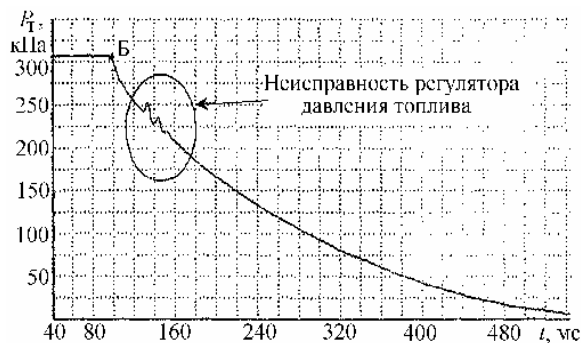
от длительности впрыскивания (рис. 3.37) могут показать следующее [42]. До длительности впрыскивания 5 мс влияние регулятора давления топлива на величину провала давления отсутствует вследствие его инерционности. После 5 мс влияние регулятора настолько велико, что любое изменение длительности впрыскивания не приводит к изменению амплитуды колебаний давления (см. рис. 3.37).



**Рис. 3.37. Зависимость амплитуды колебания давления топлива  $\Delta P_T$  от длительности управляющего импульса  $\tau_i$**

На различных режимах работы двигателя длительность управляющего импульса до 5 мс обеспечивает топливopодачу на режиме холостого хода и частичных нагрузок. Именно на режиме холостого хода возможная неравномерность цикловых подач вследствие загрязнения распылителя наиболее сказывается на устойчивости работы двигателя.

Известно, что кроме схемы (см. рис. 3.32, б), существуют схемы с расположением регулятора на топливном фильтре и непосредственно в баке. Следует заметить, что и в таком случае предлагаемый метод оценки состояния форсунок по колебаниям давления эффективен.



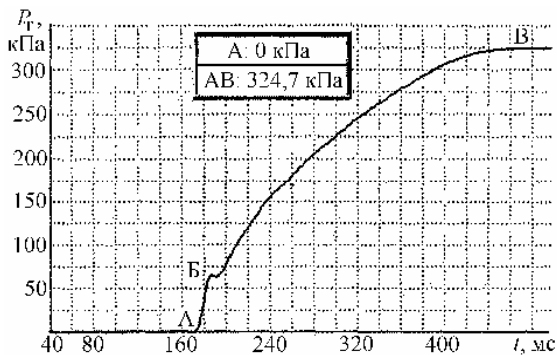
**Рис. 3.38. Обнаружение неисправности регулятора давления топлива при сбросе давления после выключения двигателя**

Анализ осциллограммы падения давления при выключении двигателя может показать, что при подклинивании клапана регулятора давления произойдут характерные изменения формы кривой (рис. 3.38), и это свидетельствует о зарождении неисправности. Точка Б – отключение зажигания. При давлении 250... 225 кПа наблюдается неустойчивая работа регулятора, сопровождающаяся

колебательным процессом. Таким образом, неисправности регулятора можно выявить еще до обнаружения бортовой системой диагностирования (причем с вероятностью обнаружения только 50 % по изменению сигнала  $\lambda$ -зонда).

Техническое состояние топливного насоса можно оценивать по сигналу давления в гидравлическом аккумуляторе. Для этого достаточно проанализировать скорость нарастания давления топлива при запуске двигателя. В

период пуска можно определить относительную производительность насоса. На рис. 3.39 показано, что давление в топливном аккумуляторе на заданный уровень поднимается примерно за 0,3 с.



**Рис. 3.39. Увеличение давления топлива в гидравлическом аккумуляторе при пуске двигателя**

Имея эталонную характеристику скорости нарастания давления топлива, можно оценить производительность насоса и рассчитать остаточный ресурс крыльчатки или шиберного элемента насоса (см. рис. 3.39) [42]. На рис. 3.39 участок АВ характеризует нарастание давления, создаваемое насосом; точка Б – открытие регулятора; участок БВ – нарастание давления в контуре; точка В – достижение номинального давления.

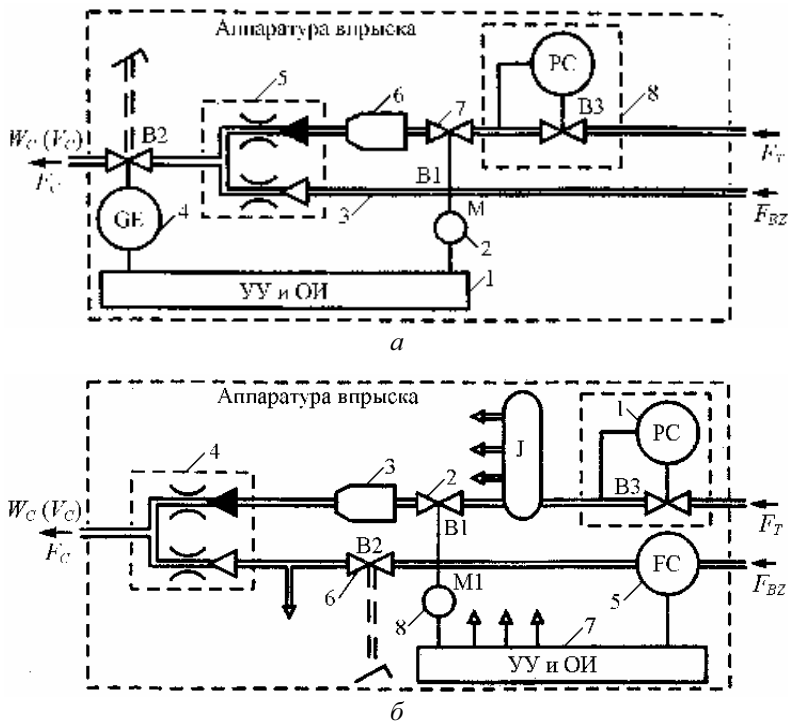
### 3.2.10. Системы управления впрыском, длительностью и объемом впрыска топлива

#### 3.2.10.1. Схемы управления впрыском

Принцип работы любой системы впрыска заключается в задании массового или объемного расхода воздуха  $F_{BZ}$ , необходимого для работы ДВС на определенном режиме. По расходу воздуха следящая система регулирования формирует необходимый расход  $F_T$ . Величина  $F_{BZ}$  устанавливается путем измерения положения дроссельной заслонки. Если несовершенство конструкции и технологии изготовления узла дроссельной заслонки не позволяет обеспечить требуемую точность задания  $F_{BZ}$ , то приходится применять дополнительный датчик массового или объемного расхода (рис. 3.40) [15].

**При центральном впрыске** (см. рис. 3.40, а) топливо под давлением поступает в топливоподающую магистраль, постоянное давление в которой обеспечивает регулятор 8 (РС, В3) [15].

Топливо через дросселирующее устройство 7 (В1) поступает на форсунку 6 и далее во впускной тракт перед впускным трубопроводом. Воздух в камеру смесеобразования 5 поступает так же, как и при карбюрации, через трубопровод 3. Поэтому механизмы смешивания при карбюрации и центральном впрыске имеют много общего. Расход горючей смеси  $F_C$  задается положением дроссельной заслонки В2. По углу положения, который определяется с помощью датчика 4 (GE), устройство управления и обработки информации УУ и ОИ 1 выдает команды на исполнительный механизм 2 (М) для регулирования расхода топлива.



**Рис. 3.40. Функциональная схема системы впрыска:**  
*а* – центральный впрыск; *б* – индивидуальный впрыск

При индивидуальном впрыске (см. рис. 3.40, *б*) форсунки 3 устанавливаются перед каждым цилиндром и топливо попадает в индивидуальную камеру смесеобразования 4 через коммутатор-распределитель *J* и регулятор давления 1 (PC).

Использование электронных топливных систем (ЭТС) вносит наибольший вклад в эффективность электронного управления двигателем.

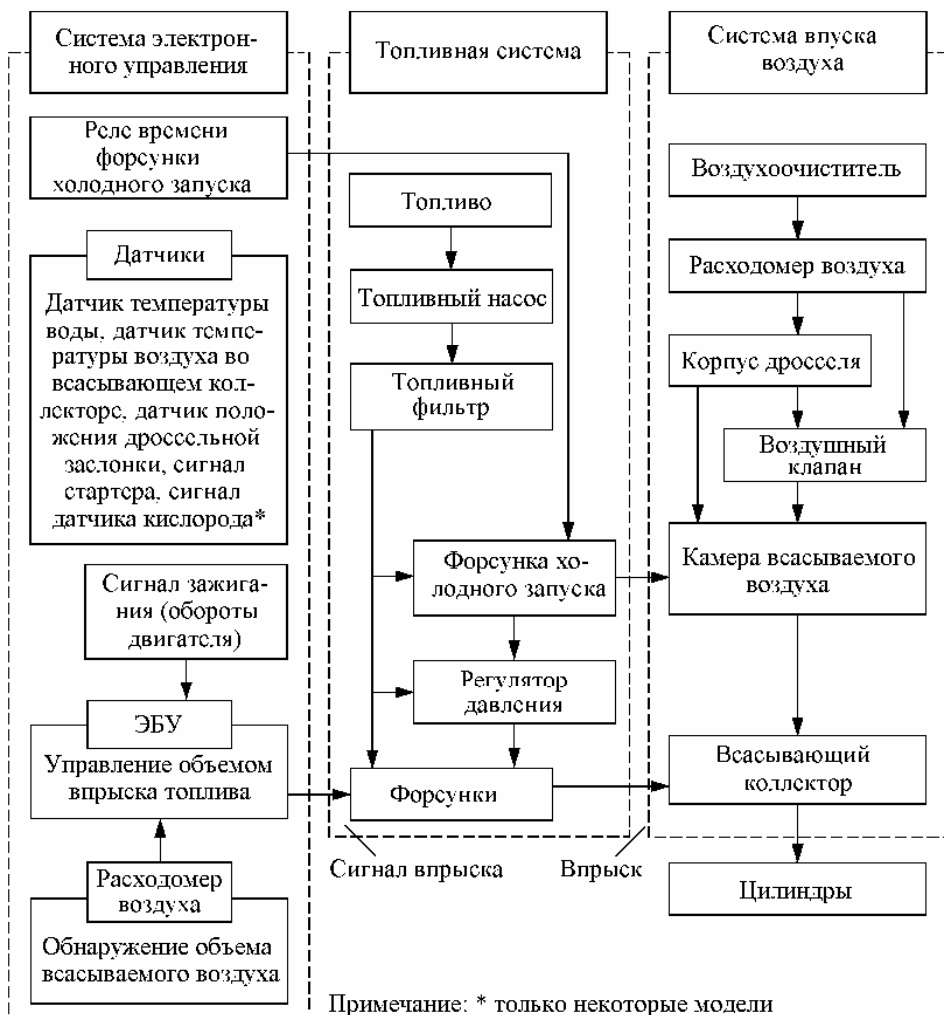
В большинстве известных вариантов аккумуляторных систем используются электрогидравлические форсунки. Управление продолжительностью впрыскивания в этих ЭТС осуществляется алгоритмически изменением длительности электрического управляющего импульса  $t_y$ , подаваемого микроконтроллером на электрический клапан форсунки.

Основное назначение ЭТС – управление мощностью двигателя и обеспечение возможности оптимизации его рабочего процесса. Наиболее полное использование адаптивного управления возможно при индивидуальном управлении подачей жидкого или газообразного топлива в каждом рабочем цикле каждого цилиндра двигателя.

ЭТС двигателей различаются прежде всего уровнем давления топлива [12, 15, 22, 23]:

- низкого (0,2...1,0 МПа) для подачи легких жидких топлив или газов

- во впускные каналы цилиндров;
- среднего (20...40 МПа);
- высокого давления (до 200 МПа) впрыскивания жидких топлив непосредственно в цилиндры – наиболее сложные и разнообразные.



**Рис. 3.41. Система электронного впрыска топлива**

ЭТС в любом варианте представляет собой совокупность электрогидравлических устройств, преобразующих электрические управляющие сигналы, формируемые микроконтроллером, в гидравлические импульсы давления впрыскивания топлива.

Управляемыми элементами ЭТС, в которых устанавливаются электромеханические преобразователи или электрические клапаны, могут быть:

насосы высокого давления, магистрали высокого, среднего и низкого давления, форсунки и топливopодкачивающие насосы.

В мировой практике разработкой электронных систем впрыска топлива занимаются многие фирмы, однако наиболее известны в Европе: Bosch, Siemens, поэтому чаще всего используют их обозначения систем. Общепринятым международным обозначением электронных систем впрыска является Jetronic.

Имеется достаточно большое число вариантов ЭТС, отличающихся применяемыми источниками питания форсунок, топливом и способами управления параметрами его впрыскивания.

**Устройства электронного впрыскивания топлива (ЭВТ)** подразделяется на три системы: систему электронного управления, топливную систему и систему впуска воздуха, как показано на рис. 3.41. ЭВТ можно также расчленить на основные органы управления впрыском топлива и органы управления коррекцией. Все три системы будут подробно описаны далее.

### **3.2.10.2. Управление впрыском топлива**

**Основной впрыск.** Устройства основного впрыска поддерживают оптимальную пропорцию (называемую теоретическим соотношением) воздуха и топлива, всасываемых в цилиндры. Чтобы этого достичь, при увеличении объема всасываемого воздуха пропорционально увеличивается и объем впрыска топлива. Или, наоборот, если снижается объем всасываемого воздуха, то снижается и объем впрыска топлива.

Теоретическое отношение количества воздуха к количеству топлива – это отношение воздуха к топливу, содержащего как раз столько кислорода, сколько требуется для его полного сгорания. В случае чистого октана это отношение равно 15:1 или на 15 частей воздуха приходится 1 часть топлива. Теоретическое отношение воздуха к топливу – это отношение массы воздуха в топливовоздушной смеси к массе топлива. Однако, двигатель не будет нормально работать только при объеме основного впрыска. Все это потому, что двигатель должен работать при изменяющихся условиях и, значит, нужно корректирующее устройство для регулирования соотношения смеси в соответствии с этими изменяющимися условиями. Например, когда двигатель холодный или сильно нагружен, требуется более богатая смесь. Система ЭВТ регулирует соотношение между воздухом и топливом в соответствии с рабочими условиями двигателя таким же образом, как карбюратор меняет состав смеси с помощью воздушной заслонки или системы экономайзера.

**Управление моментом и длительностью впрыска.** Для случая одновременного впрыска сигнал от катушки зажигания, указывающий обороты двигателя, заставляет все форсунки производить впрыск одновременно при каждом обороте, коленчатого вала.

ЭВТ обеспечивает впрыск топлива в два цилиндра каждый цикл работы двигателя. То есть происходит один впрыск за один оборот коленчатого вала.

Впрыск синхронизирован с зажиганием. В четырехцилиндровом двигателе происходит один впрыск за каждые два зажигания и один впрыск за каждые три зажигания в шестицилиндровом двигателе (рис. 3.42).

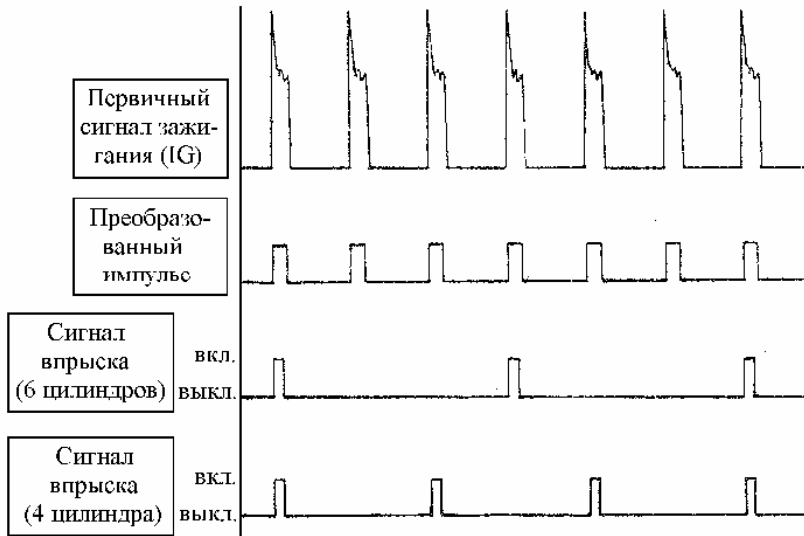


Рис. 3.42. Управление моментом впрыска

Первичный сигнал зажигания (IG) также используется как сигнал управления впрыском. ЭБУ обнаруживает первичный сигнал зажигания (IG) и преобразует его в импульс. В четырехцилиндровом двигателе имеется один сигнал впрыска на каждые два сигнала зажигания. В шестицилиндровом двигателе имеется один сигнал впрыска на каждые три сигнала зажигания.

Длительность каждого впрыска равна только половине требуемой, поэтому требуются два впрыска для получения правильного количества топлива для сгорания за один цикл.

ЭБУ рассчитывает, сколько топлива требуется для данного количества воздуха и сообщает каждой форсунке время открытия соленоида. При открытии соленоидного клапана форсунки топливо впрыскивается во всасывающий коллектор.

На самом деле имеются и другие системы впрыска, например, двухгрупповой впрыск, независимый впрыск и т. д. [40].

**Управление объемом впрыска.** ЭБУ выдает сигнал частоты вращения посредством первичного сигнала (IG) от клеммы первичной обмотки зажигания. В соответствии с этим сигналом и сигналами ( $V_C$  и  $V_S$ ) от расхода воздуха (сигналы объема всасываемого воздуха) ЭБУ выдает основной сигнал впрыска. Затем с помощью различных схем коррекции впрыска производятся коррекции основного сигнала впрыска в соответствии с сигналами от каждого датчика, определяя таким образом фактический объем

впрыска. Этот сигнал впрыске затем усиливается для привода в действие форсунок (рис. 3.43).

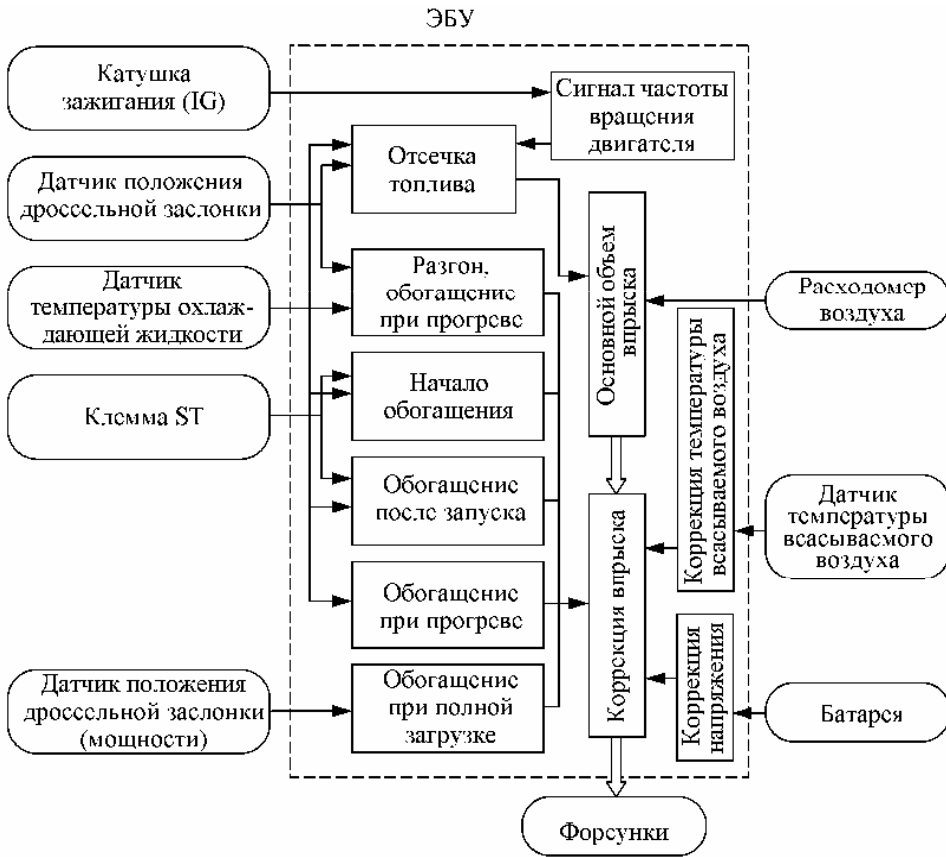


Рис. 3.43. Управление объемом впрыска

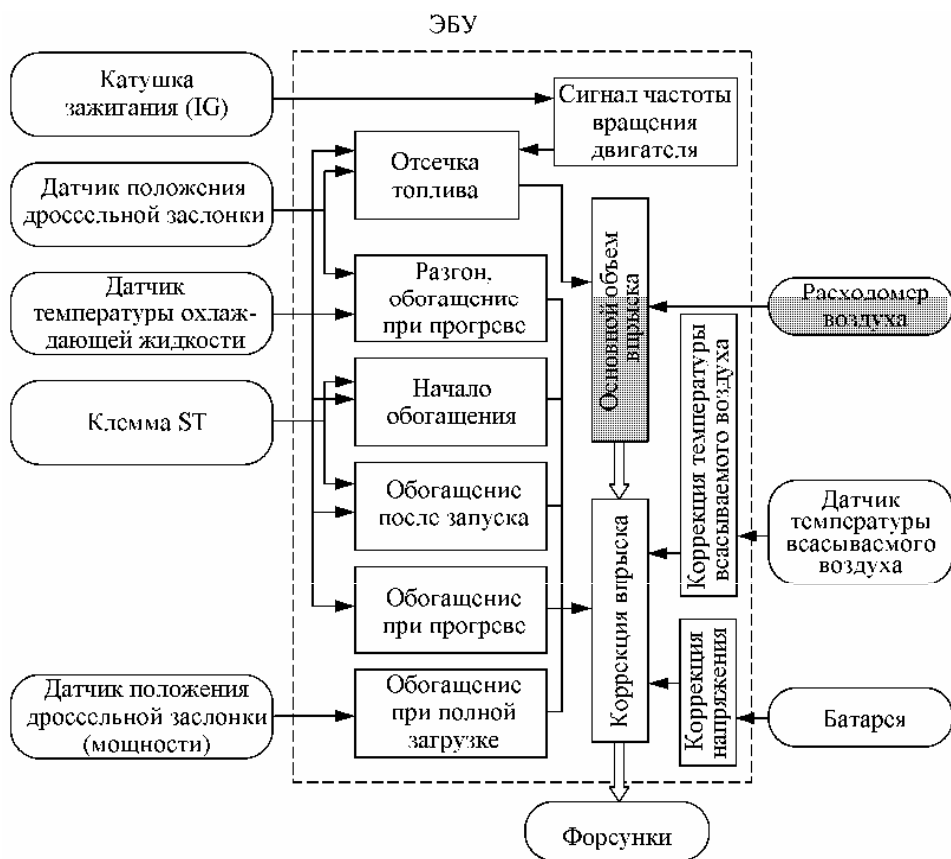
**Основной объем впрыска** определяется объемом всасываемого воздуха и частотой вращения двигателя. Если обороты двигателя постоянны, основной объем впрыска будет возрастать при увеличении объема всасываемого воздуха. С другой стороны, если постоянен объем всасываемого воздуха, основной объем впрыска будет возрастать с уменьшением оборотов двигателя.

$$V = K \frac{V_{AC}}{M},$$

где  $V_{B3}$  – основной объем впрыска;  $K$  – коэффициент;  $M$  – крутящий момент двигателя,  $\text{мин}^{-1}$ .

Сигналы напряжения к ЭБУ (рис. 3.44):

- от расходомера – определяется объем всасываемого воздуха;
- от катушки зажигания – определяется частота вращения двигателя.



**Рис. 3.44. Схема управления основным объемом топлива**

Когда напряжение отрицательного вывода катушки зажигания возрастает до 150 В или выше, ЭБУ обнаруживает это как первичный сигнал зажигания и преобразует его в сигнал, измеряемый в  $\text{мин}^{-1}$ . Этот сигнал  $\text{мин}^{-1}$  не только информирует ЭБУ о частоте вращения двигателя, но и определяет момент впрыска. Минимальная длительность впрыска устанавливается для основного впрыска, чтобы гарантировать, что она не упадет ниже заданной. Имеется также и максимальная длительность впрыска для исключений неконтролируемого впрыска топлива в случае отказа системы.

### 3.2.10.3. Коррекция впрыска и состава рабочей смеси

**Коррекция впрыска.** Есть два метода коррекции соотношения смеси. Один из них называется «коррекция обогащения», посредством которого ЭБУ срабатывает для увеличения объема впрыскиваемого топлива. К другому методу относятся вспомогательные устройства, которые выполняют те же функции без использования ЭБУ.

Различные виды данных относительно рабочих условий двигателя

(например, температура охлаждающей жидкости, температура всасываемого воздуха и т. д.) поступают к ЭБУ от различных датчиков в дополнение к данным по количеству воздуха от расходомера и оборотам двигателя от катушки зажигания. ЭБУ обладает способностью увеличивать количество топлива на основе этих данных (табл. 3.2, рис. 3.45). Другими словами, даже при постоянном количестве всасываемого воздуха, количество топлива, впрыскиваемого форсунками, увеличивается или уменьшается в соответствии с условиями работы двигателя.

Таблица 3.2

### Датчики и их назначение

Датчик/сигнал	Назначение
Расходомер воздуха	Сигнализирует об объеме всасываемого воздуха изменением напряжения с помощью потенциометра
Датчик положения дроссельной заслонки	Сигнализирует о тяжелой нагрузке и холостых оборотах в соответствии с открытием дроссельной заслонки
Датчик температуры воды	Сигнализирует о температуре охлаждающей жидкости
Датчик температуры всасываемого воздуха	Сигнализирует о температуре всасываемого воздуха
Первичный сигнал зажигания	Сигнализирует о моменте зажигания и оборотах двигателя посредством первичных сигналов зажигания
Сигнал стартера	Сигнализирует о проворачивании коленчатого вала двигателя
Датчик кислорода	Сигнализирует о количестве остаточного кислорода в выхлопных газах

**Пусковое и послепусковое обогащение.** Эта коррекция увеличивает объем впрыска в соответствии с температурой охлаждающей жидкости (увеличение объема впрыска при низких температурах) для облегчения запуска и улучшения устойчивости работы двигателя в течение некоторого времени после запуска. Объем впрыска постепенно снижается до основного объема впрыска (рис. 3.46).

Сигналы напряжения к ЭБУ (рис. 3.47):

- от клеммы (ST) выключателя зажигания – обнаруживается проворачивание двигателя;
- от датчика температуры воды – определяется температура охлаждающей жидкости.

**Обогащение при разгоне.** Когда дроссельная заслонка закрыта (контакты холостого хода замкнуты), а требуется резко разогнать автомобиль, (при этом контакты холостого хода разомкнуты), то для лучшей работы двигателя топливо впрыскивается дополнительно только один раз в течение заданного периода времени. Однако, обогащение не происходит, если его период совпадает с обычным впрыском при разомкнутых контактах холостого хода (рис. 3.48).

ЭБУ сравнивает напряжение сигналов, посылаемых от датчика кислорода, с заранее заданным напряжением. Если напряжение сигнала выше

этого напряжения, топливовоздушная смесь оценивается как более богатая, чем теоретическая смесь, и постепенно величина впрыскиваемого топлива уменьшается. Если напряжение сигнала ниже, делается оценка, что топливовоздушная смесь беднее теоретической и увеличивается количество впрыскиваемого топлива (рис. 3.49). Этот коэффициент коррекции изменяется в диапазоне от 0,8 до 1,2 и равен 1,0 в режиме разомкнутой системы.

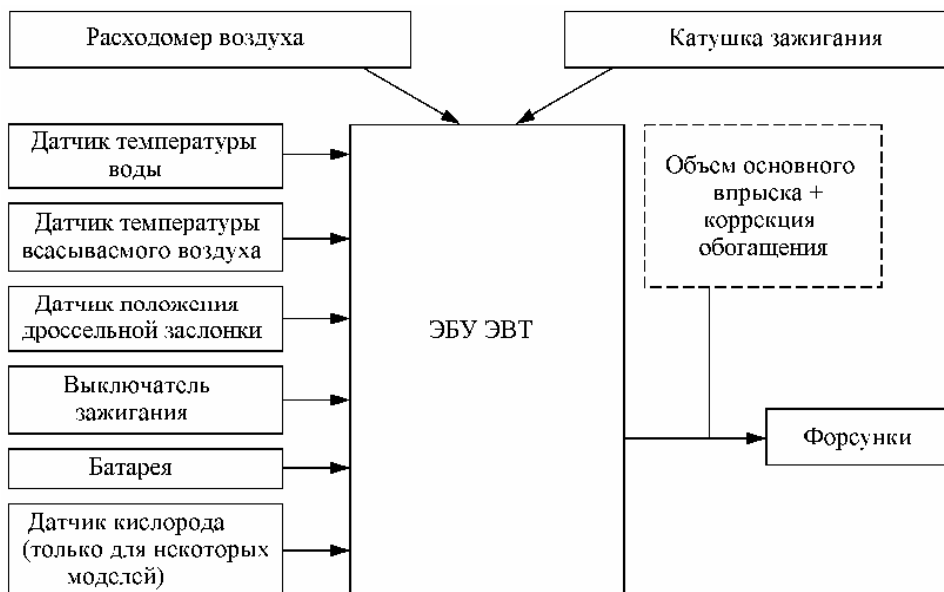


Рис. 3.45. Данные, поступающие в ЭБУ от датчиков

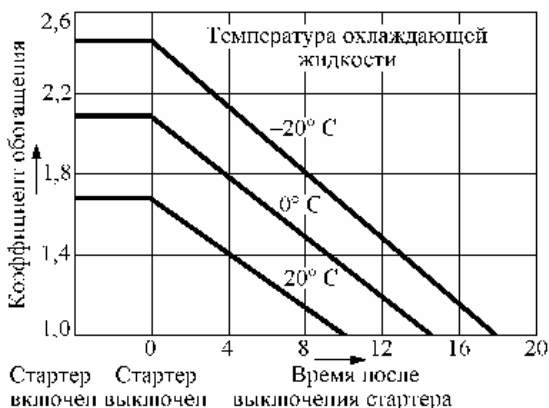
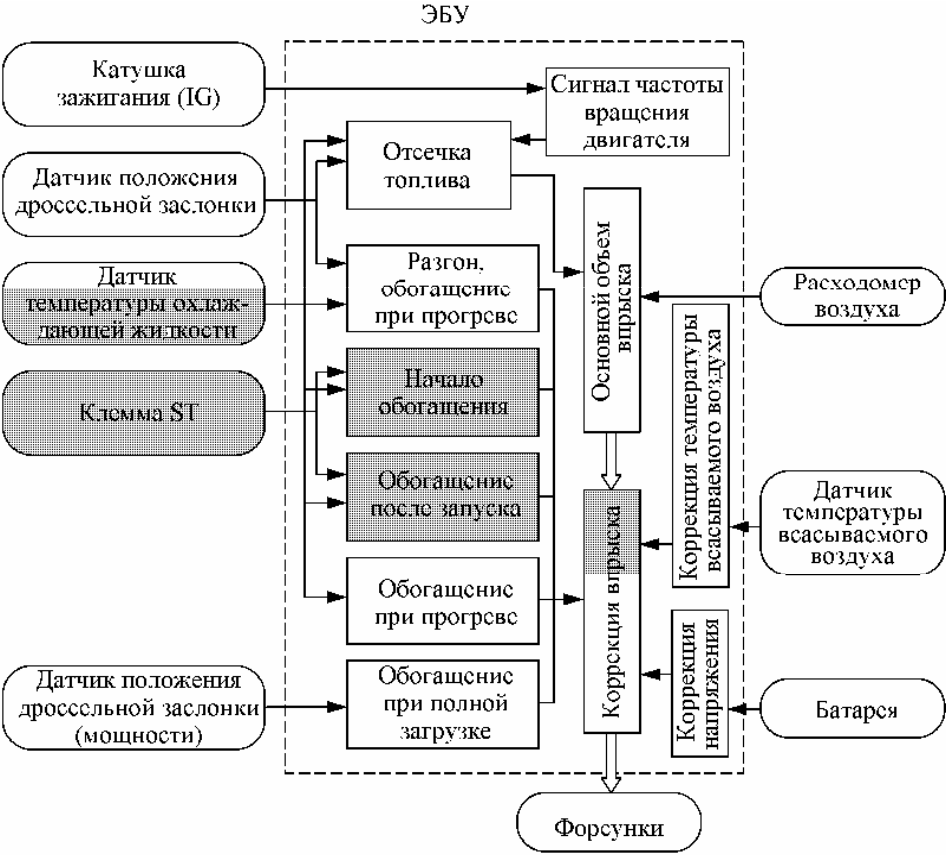


Рис. 3.46. Коррекции впрыска

**Коррекция состава рабочей смеси по методу обратной связи (только некоторые модели).** ЭБУ корректирует длительность впрыска на основа-

нии сигналов от датчика кислорода для поддержания состава рабочей смеси, близкого к теоретическому (это называют работой по замкнутой системе – рис. 3.50). Однако, чтобы исключить перегрев катализатора и обеспечить нормальную работу двигателя, коррекция состава рабочей смеси по методу обратной связи не происходит при следующих условиях (это называется процессом разомкнутой системы):

- при запуске двигателя;
- при послепусковом обогащении;
- при обогащении в режиме полной нагрузки;
- когда температура охлаждающей жидкости ниже заданной;
- при отсечке топлива.



**Рис. 3.47. Коррекции напряжения в ЭБУ**

В ряде ЕСКД  $\lambda$ -зонды расположены за нейтрализатором и осуществляют не только контроль технического состояния самого нейтрализатора, но и используются для дополнительной коррекции состава смеси.

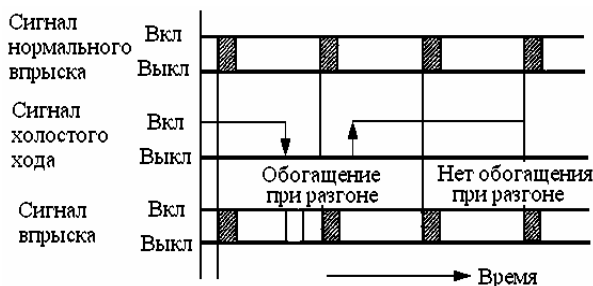


Рис. 3.48. Сигналы обогащения

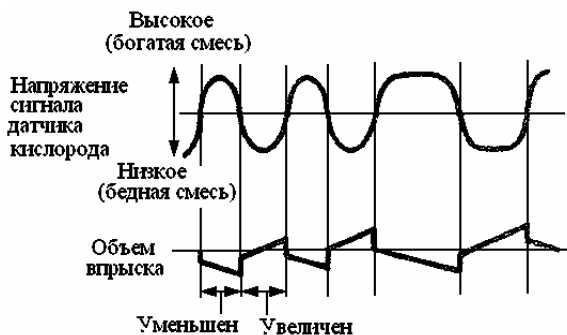


Рис. 3.49. Распознавание и коррекция состава горючей смеси

### 3.2.10.4. Компоненты системы регулирования расхода топлива

Система регулирования расхода топлива на примере бензинового двигателя FSI представлена на рис. 3.51.

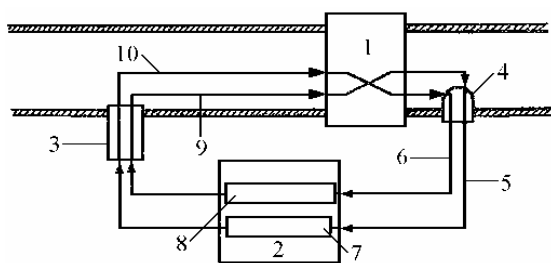


Рис. 3.50. Коррекция по методу обратной связи:

1 – двигатель; 2 – ЭБУ; 3 – форсунка; 4 – датчик кислорода; 5 – сигнал бедной смеси; 6 – сигнал богатой смеси; 7 – увеличение объема впрыска; 8 – уменьшение объема впрыска; 9 – бедная смесь; 10 – богатая смесь

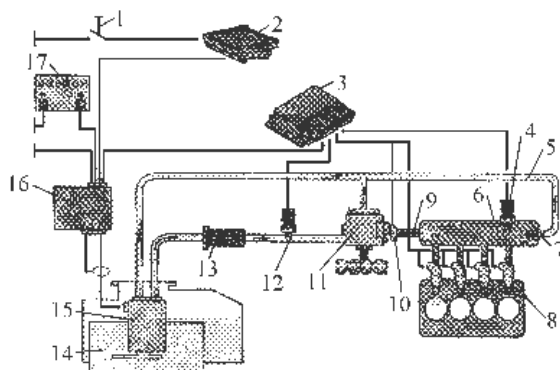
В результате изменения технического состояния элементов системы управления двигателем или топливной аппаратуры может наблюдаться значительное изменение состава топливоздушная смеси на разных рабочих режимах двигателя. А использование обратной связи по  $\lambda$ -зонду в большинстве случаев позволяет вернуть смесь до стехиометрического соотношения. Это обеспечивается за счет использования нескольких алгоритмов коррекции величины топливоподачи: кратковременной и долговременной, адаптивной и мультипликативной.

Двигатель FSI имеет рабочий объем 1,4 л и мощность 77 кВт. Производительность подкачивающего электронасоса устанавливается равной расходу топлива насосом высокого давления. Благодаря этому снижается расход электроэнергии и соответственно уменьшается расход топлива.

В систему низкого давления входят:

- блок управления топливоподкачивающим электронасосом J538;

- топливный бак;
- топливоподкачивающий электронасос;
- топливный фильтр;
- датчик низкого давления топлива G410.



**Рис. 3.51. Система регулирования расхода топлива:**

1 – контактный датчик в двери; 2 – блок управления бортовой сетью; 3 – блок управления Motronic J220; 4 – датчик высокого давления G242; 5 – трубопровод сброса топлива (через этот трубопровод отводится небольшое количество топлива при срабатывании предохранительного клапана в системе высокого давления); 6 – распределитель топлива; 7 – предохранительный клапан (он защищает детали от чрезмерных давлений, открываясь при 12 МПа); 8 – форсунки высокого давления N30-N33; 9 – трубопровод высокого давления; 10 – регулирующий давление топлива клапан N276; 11 – топливный насос высокого давления; 12 – датчик низкого давления топлива G410; 13 – топливный фильтр; 14 – топливный бак; 15 – топливоподкачивающий электронасос; 16 – блок управления электронасосом J538; 17 – аккумуляторная батарея

Обычно в этой системе давление топлива равно 0,4 МПа, только при пуске холодного или горячего двигателя оно повышается до 0,5 МПа.

В состав системы высокого давления входят:

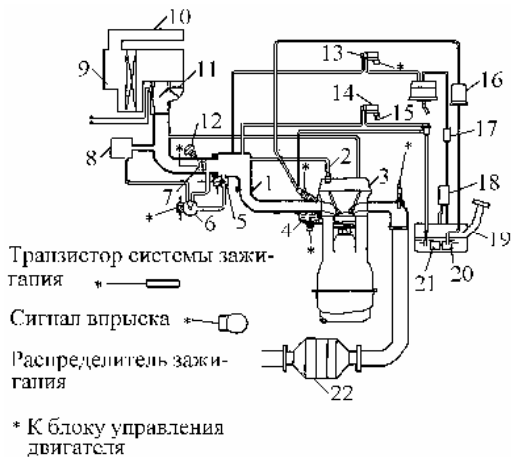
- топливный насос высокого давления;
- клапан регулирования деления топлива N276;
- трубопровод высокого давления;
- аккумулятор топлива;
- ограничительный клапан;
- датчик высокого давления G242;
- форсунки N30-N33.

В топливной системе высокого давления давление топлива изменяется от 5 до 10 МПа.

### 3.2.10.5. Параметры контроля системы впрыска двигателя

Техническая характеристика двигателя автомобиля KIA Sephia представлена в табл. 1.18. Двигатель оснащен многоточечной системой впрыска с электронным управлением и программой самодиагностики (рис. 3.52). Для подробной проверки системы имеются специальные тестеры. Однако ос-

новые проверки и регулировки можно произвести и с помощью универсальных приборов.



**Рис. 3.52. Схема многоточечной системы впрыска с электронным управлением:**

1 – форсунка; 2 – клапан принудительной вентиляции картера; 3 – кислородный датчик ( $\lambda$ -зонд); 4 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 5 – воздушный клапан; 6 – клапан управления частотой холостого хода; 7 – датчик положения дроссельной заслонки; 8 – резонансная камера; 9 – гаситель шумов от всасываемого воздуха; 10 – резонансная камера; 11 – расходомер воздуха (с датчиком температуры всасываемого воздуха); 12 – демпфер закрытия дроссельной заслонки; 13 – магнитный клапан бачка с активированным углем; 14 – бакоч с активированным углем; 15 – регулятор давления; 16 – топливный фильтр (контура высокого давления); 17 – запорный клапан (двухканальный); 18 – отделитель; 19 – топливный бак; 20 – топливный насос; 21 – топливный фильтр (контура низкого давления); 22 – каталитический нейтрализатор ОГ

Если в системе впрыска топлива возникают неисправности, в первую очередь следует проверить систему зажигания, герметичность впускного и выпускного коллекторов и воздушный фильтр. Давление в системе впрыска проверяется с помощью манометра, подключенного между топливным фильтром и распределительным трубопроводом, и составляет 0,265...0,315 МПа. Если давление топлива слишком высокое, то либо забит возвратный топливопровод от регулятора давления, либо неисправен сам регулятор давления. При слишком низком давлении возможно засорился топливный фильтр.

Обороты холостого хода составляют 700...800 мин<sup>-1</sup> и измеряются следующим образом. На диагностическом штекере (расположен на щите передка кузова) нужно накоротко соединить клеммы ENGINE TEST и GND. Регулировка оборотов холостого хода осуществляется посредством регулировочного винта. Сопротивление датчика температуры двигателя составляет: при -20 °С 16,2±1,6 кОм, при +20 °С 2,45±0,24 кОм

и при +80 °С 320±30 Ом. Сопротивление датчика температуры впускного воздуха (находится в расходомере воздуха) измеряется между клеммами С и G и составляет: при -20 °С 16 ±2,4 кОм, при +20 °С 2,45 ±0,24 кОм и при +60 °С 580±87 Ом. Сопротивление между клеммами В и D датчика положения дроссельной заслонки при закрытой заслонке должно быть меньше 1000 Ом, в положении полного «газа» около 5000 Ом. Сопротивление обмотки форсунок должно составлять 12...16 Ом. При проверке форсунок следует также проверить характер разбрызгивания. Струя у всех форсунок

должна быть одинаковой и правильной формы.

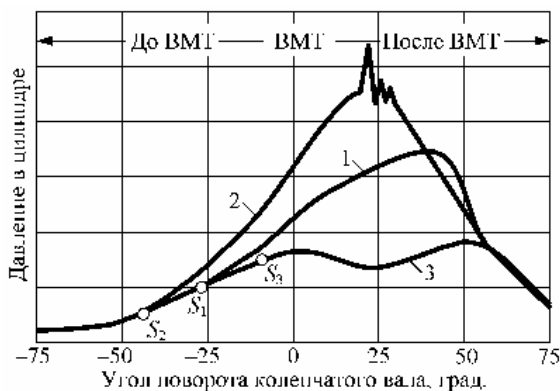
Для проверки угла опережения зажигания нужно накоротко соединить клеммы ENGINE TEST и GND диагностического штекера. Угол опережения зажигания на холостых оборотах должен теперь составлять около  $7^{\circ} \pm 1^{\circ}$  перед положением ВМГ. Регулировка осуществляется, как обычно, поворотом распределителя зажигания.

### 3.3. Системы управления зажиганием бензиновых двигателей

#### 3.3.1. Системы зажигания

Наиболее важные эксплуатационные качества автомобиля – экономические и экологические показатели, тягово-скоростные свойства, приемистость, эффективность торможения, управляемость, курсовая устойчивость и др. Большинство из этих качеств зависит от конструкции и характеристик двигателя, в том числе и системы топливоподачи и зажигания.

Система зажигания предназначена для того, чтобы повысить напряжение бортовой сети электроснабжения автомобиля до величины, необходимой для образования электрического разряда, и в нужный момент времени подать это напряжение на соответствующую свечу зажигания. Правильное функционирование системы зажигания в значительной мере обеспечивает бензиновому двигателю его соответствие требованиям по энергетическим (мощность), экономичным (расход топлива на 100 км пробега) и экологическим (содержание вредных веществ в отработавших газах) показателям. Известные на сегодня системы зажигания получают необходимую энергию от промежуточного накопителя энергии, в зависимости от типа которого различают системы с накоплением энергии в катушке индуктивности или в конденсаторе.



**Рис. 3.53. Влияние момента зажигания на давление в цилиндре:**

- 1 – правильная установка (зажигание в точке S<sub>1</sub>);
- 2 – раннее зажигание (точка S<sub>2</sub>);
- 3 – позднее зажигание (точка S<sub>3</sub>)

В настоящее время широко используется три типа систем зажигания: классическая (контактная), бесконтактная и микропроцессорная.

**Система зажигания бензинового двигателя** производит воспламенение горючей и рабочей смеси в цилиндрах двигателя.

Наряду с необходимым соотношением воздуха и топлива большое влияние на эмиссию вредных веществ оказывает момент зажигания (рис. 3.53). При более раннем зажигании увеличивается как эмиссия CH, так и эмиссия

$\text{NO}_2$ . Эмиссия  $\text{CO}$  почти не зависит от момента зажигания.

Расход топлива и эмиссия вредных веществ взаимосвязаны. С повышением коэффициента избытка воздуха для компенсации небольшой скорости сгорания должно все раньше происходить зажигание, чтобы процесс сгорания оставался оптимальным. Ранний момент зажигания означает меньший расход топлива и больший момент вращения.

Чтобы найти наиболее выгодный компромисс в зависимости от числа оборотов и нагрузки, требуется сложная регулировка момента зажигания, которая задается производителем и реализуется в современных электронных системах управления двигателями.

Эмиссия  $\text{HC}$  вокруг  $\lambda = 1$  имеет минимальное значение. В богатой области эмиссия  $\text{HC}$  возрастает, так как не все углеводороды могут сгорать. Отсутствует необходимый кислород. В бедной области сгорание происходит не оптимально. Температура в камере сгорания понижается. Однако бедная смесь имеет более продолжительное сгорание.

Очень богатая смесь легко сгорает, потому что молекулы топлива плотно упакованы и находятся близко друг к другу. Искра легко и быстро поджигает такую смесь, и фронт пламени быстро распространяется в цилиндре. Бедную смесь поджечь труднее, для этого требуется более мощная искра.

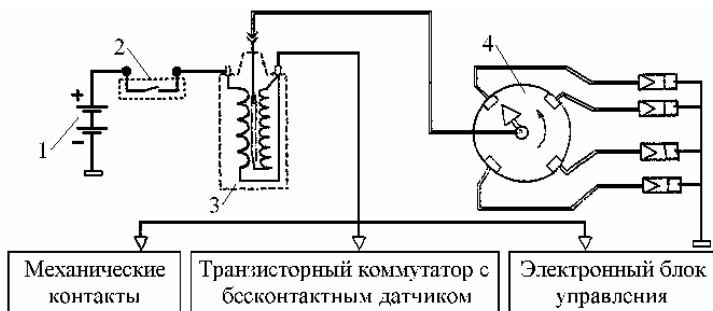
Но в действительности мощная искра редко используется при работе двигателя на обедненной смеси. Важнее оказывается не мощность искры, а ее длительность. В основном, это объясняется тем, что в объеме смеси меньше молекул топлива и искра проскакивает достаточно легко. Но для того, чтобы поджечь бедную смесь, искра должна существовать 1,3...1,5 мс, для чего первичной обмотке катушки зажигания нужна повышенная мощность. Надежная система зажигания, не требующая частых регулировок, способствует снижению вредных веществ в отработавших газах.

**Классическая (контактная) система** (рис. 3.54) с накоплением энергии в индуктивной катушке зажигания и с механическими регуляторами опережения зажигания и механическим распределителем импульсов высокого напряжения. Управление первичным контуром системы зажигания (синхронизация) осуществляется механическими контактами. Процент эксплуатирующихся автомобилей с таким типом системы зажигания с каждым годом уменьшается, но данная система позволяет наглядно рассмотреть методы их диагностирования.

**Бесконтактная система зажигания**, с датчиком Холла или индуктивным датчиком по принципу действия похожа на классическую, а отличается принципом управления контуром низкого напряжения. Функцию контактов выполняет транзисторный коммутатор, которым в свою очередь управляют импульсы датчика Холла или индуктивного датчика. Этот тип зажигания широко распространен, (до настоящего времени устанавливается на автомобилях ЗАЗ, ВАЗ, ГАЗ и др.), а также используется на многих моделях автомобилей зарубежного производства.

Транзисторные системы зажигания возникли на базе контактных систем в связи с попытками заменить механический контактный прерыватель

бесконтактным транзисторным ключом, и эти попытки оказались успешными, потому что упомянутая замена содействовала снижению потерь энергии в узле коммутации тока первичной цепи. В транзисторной системе зажигания сохраняется принцип накопления энергии в катушке индуктивности за время замкнутого состояния ключа. Функции коммутатора тока в первичной цепи выполняет мощный транзистор, способный проводить достаточный для накопления необходимой энергии ток, быстро закрываться (разрывать первичную цепь) и выдерживать импульсы напряжения (прямого и обратного), которые возникают на катушке в момент размыкания цепи, амплитудой 350...400 В.



**Рис. 3.54. Принципиальная схема «классической» контактной и бесконтактной систем зажигания:**

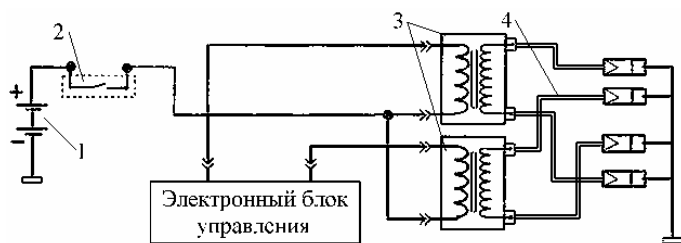
1 – источник питания; 2 – замок зажигания;  
3 – катушка зажигания; 4 – распределение высокого напряжения

На величину пробивного напряжения свечи влияют следующие факторы:

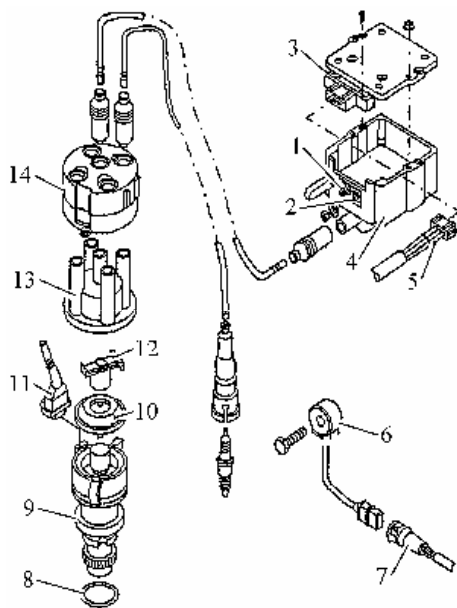
- давление и температура в камере сгорания в момент электрического пробоя искрового промежутка (зазора) свечи;
- искровой промежуток свечи;
- форма и температура электродов свечи, а также скорость нарастания вторичного напряжения на электродах;
- состав рабочей смеси в камере сгорания;
- скорость движения рабочей смеси в зоне искрового промежутка свечи;
- материал электродов свечи.

Микропроцессорные системы зажигания и комплексные системы управления являются наиболее современными типами зажигания (см. рис. 3.54).

Система зажигания с микропроцессорным управлением (МПСУ) состоит из системного модуля, набора датчиков, катушек и свечей зажигания. В составе системного модуля или за его пределами есть электронный коммутатор, который подключает на короткое время первичную обмотку катушки зажигания к аккумуляторной батарее. Принцип искрообразования остался таким же, как и в предыдущих системах, но существенно усовершенствован процесс управления катушкой зажигания (рис. 3.55).



**Рис. 3.55. Принципиальная схема микропроцессорной системы зажигания:**  
1 – источник питания; 2 – замок зажигания; 3 – катушки зажигания; 4 – распределение высокого напряжения



**Рис. 3.56. Компоненты системы зажигания VAG Simos:**

1 – катушка зажигания клемма 1; 2 – катушка зажигания клемма 15; 3 – выходной каскад модуля; 4 – катушка зажигания; 5 – разъем; 6 – датчик детонации; 7 – разъем датчика детонации; 8 – уплотнительное кольцо; 9 – распределитель зажигания; 10 – пылезащитная крышка; 11 – разъем датчика Холла; 12 – бегунок; 13 – крышка распределителя; 14 – экранирующая крышка

Эту функцию выполняет микропроцессор в составе электронного блока управления. Данная система устанавливается на большинстве современных автомобилей.

Основным преимуществом микропроцессорных систем зажигания является возможность статического распределения высокого напряжения между цилиндрами двигателя. Такой принцип распределения может быть реализован в нескольких вариантах:

- на каждый цилиндр устанавливается одна одноискровая катушка зажигания;
- на каждую пару цилиндров устанавливается одна двухискровая катушка зажигания;
- на четыре цилиндра устанавливается одна четырехискровая катушка зажигания с двумя последовательно соединенными первичными обмотками.

Компоненты системы зажигания VAG Simos представлены на рис. 3.56.

Управление моментом искрообразования в МПСУ осуществляется на основании вычисленных

блоком управления оптимальных значений угла опережения зажигания, соответствующих скорости вращения коленчатого вала двигателя, разрежению (давлению) во впускном коллекторе или потере воздуха. Наличие дат-

чика детонации в цепи обратной связи позволяет устранить детонационное сгорание путем быстрого уменьшения угла опережения зажигания. В системе отсутствует механический распределитель высокого напряжения. На каждый цилиндр (или на два цилиндра) используется отдельная катушка зажигания. Применение такой системы позволяет добиться снижения расхода топлива и токсичности отработавших газов.

Наибольшее распространение получили первый и второй варианты компоновки. Применение микропроцессорных систем зажигания и систем управления двигателем позволило существенно улучшить их характеристики. Особенно в реализации угла опережения зажигания. Благодаря отсутствию распределителя и механических регуляторов опережения зажигания, угол опережения зажигания можно достаточно быстро изменять в широком диапазоне отдельно для каждого цилиндра.

**Лазер вместо свечей зажигания.** Инженеры фирмы Carinthian Tech Research, г. Виллах (Австрия), предложили уменьшить лазер до размеров свечей зажигания. Таким образом стало возможным лазерное зажигание в бензиновых и газовых двигателях без каких-либо изменений камеры сгорания. Совместно с фирмой AVL List, специализирующейся на изготовлении двигателей и измерительной техники, г. Грац (Австрия), Carinthian Tech Research в настоящее время работает над практическим применением своего лазера.

По сравнению с традиционной системой зажигания высокого напряжения лазерное зажигание имеет некоторые преимущества, так как воспламеняющая плазма в камере сгорания может располагаться практически в любом месте и можно значительно улучшить процесс сгорания. Другое преимущество – возможность многофазного зажигания, которое осуществляется лазерной свечой. Как и система многофазного впрыскивания, она способствует сгоранию с меньшим выбросом токсичных веществ в отработавших газах. С помощью лазера могут воспламеняться значительно более бедные смеси, что также уменьшает выброс  $\text{CO}_2$ .

Наряду с уменьшением габаритов новый лазер выдерживает воздействие возникающих в двигателе вибрации и температуры.

### **3.3.2. Микропроцессорные системы управления зажиганием и впрыском в бензиновых двигателях**

Блок-схема типичной электронной системы управления бензиновым двигателем представлена на рис. 3.57.

Микропроцессорная система используется при этом как техническое средство для реализации информационных связей в управлении потоками энергии в процессе топливоподачи. В микропроцессорной системе управления (МПСУ) осуществляется сбор и обработка информации от датчиков, а также используется информация, полученная путем математического и физического моделирования в процессе испытания и доводки двигателя. Информация, содержащаяся в контроллере в виде многочисленных таблиц, преобразуется в сигналы управления, которые подаются на форсунки. Носителем информации в микропроцессорной системе является электрический

сигнал, а питание системы осуществляется от бортовой электрической сети автомобиля. Поэтому сначала информационный сигнал малой мощности на выходном каскаде (драйвере) МПСУ усиливается по мощности, а потом передается на активатор, частью которого является электромеханический преобразователь (ЭМП), расположенный в форсунке. Таким образом, в ЭМП решается задача преобразования некоторой части электрической энергии бортовой сети в механическое влияние на поток управляющей энергии.



**Рис. 3.57. Блок-схема типичной электронной системы управления бензиновым двигателем**

МПСУ существенно расширили использование информационных связей, что позволяет реализовать сложные законы управления, учесть большое количество влияющих факторов и более эффективно управлять энерге-

тическими процессами. Величина расхода электрической энергии определяется сопротивлением среды, в которой находится исполнительное звено ЭМП, а также силами инерции и скоростью перемещения исполнительного звена ЭМП. Часто возникают задачи, в которых от ЭМП требуется большое механическое усилие при высоком быстродействии.

Сейчас производители практически отказались от отдельных электронных систем впрыска и производят электронные системы управления двигателем, объединяющие управление впрыском топлива и зажиганием в бензиновом двигателе. Такие системы обозначаются Motronic. Производятся на современном этапе три типа систем:

- M-Motronic – микропроцессорная система управления зажиганием и распределенным впрыском топлива;
- ME-Motronic – микропроцессорная система управления зажиганием и распределенным, последовательным впрыском топлива, с  $\lambda$  регулированием и электронным дросселем (система ETC);
- MED-Motronic – микропроцессорная система управления зажиганием и непосредственным впрыском топлива в цилиндры (Direct injection, DI).

**Система ME-Motronic.** Кроме основных своих функций система ME-Motronic выполняет и целый ряд дополнительных функций с разомкнутой и замкнутой системами управления. В качестве примера можно назвать следующие:

- регулирование частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу; регулирование коэффициента избытка воздуха (замкнутая система управления);
- улавливание топливных паров; рециркуляция отработавших газов для снижения содержания оксидов азота;
- контроль за работой вспомогательной воздушной системы для снижения содержания углеводородов в отработавших газах;
- автоматическое регулирование скорости движения (круиз-контроль).

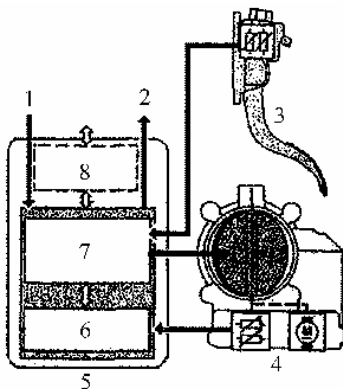
Система ME-Motronic может выполнять еще целый ряд функций: управление работой турбонагнетателя и регулирование параметров впускного трубопровода с целью повышения выходной мощности двигателя; регулирование фаз газораспределения для снижения содержания вредных веществ в отработавших газах и увеличения мощности двигателя; устранение детонации, ограничение частоты вращения коленчатого вала и ограничение скорости движения автомобиля для защиты отдельных узлов и деталей двигателя и самого автомобиля от повреждений.

В системе ME-Motronic применяется координирование крутящего момента, с помощью которого сортируются часто противоречащие друг другу требования в обеспечении определенного значения крутящего момента и затем реализуется наиболее важное из этих требований. Система ME-Motronic через цепь питания бортового контроллера связи (CAN) может подсоединяться к электронным блокам управления (ECU) других систем автомобиля. Так, подсоединение к блоку ECU автоматической трансмиссии среди

прочих функций позволяет снизить крутящий момент в момент изменения передаточного отношения в трансмиссии, благодаря чему уменьшаются нагрузки на трансмиссию и ее износ. Система регулирования тягового усилия на колесах (TCS), входящая в блок ECU, при проскальзывании колес выдает системе ME-Motronic сигналы для уменьшения создаваемого крутящего момента.

Система ME-Motronic содержит компоненты бортового мониторинга (OBD). Они отвечают наиболее строгим экологическим нормам и требованиям интегрированной диагностики.

Система с электронным управлением дроссельной заслонкой (ETC), интегрированная в единый блок управления зажиганием, впрыском и другими вспомогательными функциями, позволяет определять положение педали акселератора посредством датчика ее перемещения (потенциометра), рис. 3.58.



**Рис. 3.58. Система с электронным управлением дроссельной заслонкой (ETC, ETCS):**

- 1 – датчики; 2 – исполнительные механизмы; 3 – педаль газа;
- 4 – дроссельный узел; 5 – блок ECU, управляющий работой двигателя;
- 6 – контролирующий модуль;
- 7 – микропроцессор; 8 – бортовой контроллер связи

В соответствии с текущим режимом работы двигателя блок ECU, рассчитав необходимую величину открытия дроссельной заслонки, воздействует на привод этой заслонки – положение контролируется датчиком угла поворота дроссельной заслонки (потенциометром). Таким образом, два потенциометра – педали и дроссельной заслонки – образуют элемент управляющей системы ETC, которая при работе двигателя производит непрерывный опрос всех датчиков и анализ расчетных данных, влияющих на угол открытия дроссельной заслонки.

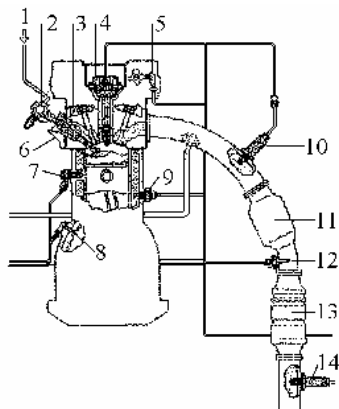
Особенность системы – формирование крутящего момента, задаваемого водителем. Электронный контроль дроссельной заслонки (EGAS) также позволяет качественно реализовать функции круиз-контроля, так как в зависимости от нагрузки (подъем, обгон и т. п.) дроссель регулирует оптимальное наполнение воздушным зарядом. Кроме того, EGAS – это система безопасности, так как ASR и ESP управляют блоком управления двигателем с целью

быстрого редуцирования крутящего момента от двигателя. Также MSR система препятствует избыточному тормозному моменту на колесах при торможении двигателем, используя повышение оборотов с помощью EGAS.

**Система MED-Motronic.** При оснащении бензинового двигателя с искровым зажиганием и непосредственным впрыском топлива системой MED-Motronic (рис. 3.59) расход топлива может быть снижен не менее чем на 20 % по сравнению с двигателем, имеющим впрыск топлива во впускной

трубопровод.

При этом может быть достигнут длительный эффект снижения выбросов диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) во время движения автомобиля.



**Рис. 3.59. Схема двигателя с непосредственным впрыском топлива и элементами системы MED-Motronic:**

- 1 – подача топлива (под высоким давлением);
- 2 – топливный аккумулятор (рампа);
- 3 – топливная форсунка; 4 – катушка зажигания со свечой зажигания; 5 – датчик фаз; 6 – датчик давления; 7 – датчик детонации; 8 – датчик частоты вращения коленчатого вала и положения поршня; 9 – датчик температуры двигателя; 10 –  $\lambda$ -зонд; 11 – трехкомпонентный каталитический нейтрализатор отработавших газов; 12 – датчик температуры отработавших газов; 13 – каталитический нейтрализатор оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) в отработавших газах; 14 –  $\lambda$ -зонд (диагностический)

Для обеспечения послойного смесеобразования создают в цилиндре и на его входе согласованное движение воздуха и топлива, чтобы в нужный момент возле электродов свечи образовалась топливоздушная смесь, пригодная для зажигания. Это достигается совокупностью мер, заложенных в конструкции деталей впускного тракта, камеры сгорания, компонентов топливной аппаратуры, модели функционирования системы управления, а именно:

- изменением геометрии впускного тракта;
- специальной формой камеры сгорания;
- расположением форсунки и характеристикой ее распылителя;
- наличием модели, адекватно описывающей процессы смесеобразования и сгорания;
- наличием датчиков, исполнительных устройств и программно-аппаратных средств, позволяющих реализовать сложные алгоритмы управления.

Двигатели с непосредственным впрыском топлива могут работать в описанных далее режимах.

1. Режим с послойным смесеобразованием. Топливо впрыскивается во время такта сжатия непосредственно перед моментом зажигания.

2. Режим с гомогенным смесеобразованием. Топливо впрыскивается во время такта впуска, что обеспечивает более эффективное его смешивание с поступающим воздухом.

3. Экономичный режим с гомогенным смесеобразованием обеспечивается в фазе перехода из послойного в гомогенный.

4. Режим с гомогенно-послойным смесеобразованием: на такте впуска впрыскивается первая порция около 75% топлива, образуя бедную гомогенную смесь. Второе впрыскивание (остаток топлива около 25 %) происходит на такте сжатия и образует возле свечи зажигания богатую легко воспламе-

няющуюся смесь. Такой режим двойного впрыскивания на низких частотах вращения вала двигателя является переходным этапом между послойным и гомогенным режимом. Он характеризуется меньшими выбросами сажи в атмосферу по сравнению с послойным режимом и меньшим расходом топлива по сравнению с гомогенным режимом.

5. Режим с гомогенным антидетонационным смесеобразованием. С внедрением двойного впрыскивания при полной нагрузке отпала необходимость «позднего» зажигания, поскольку снижения детонации удалось достичь благодаря послойному распределению впрыснутого топлива. Необходимый крутящий момент сохраняется при этом за счет оптимального угла опережения зажигания.

**Система топливоподачи** (см. рис. 3.18) состоит из двух контуров: контура высокого и контура низкого давления. Очень малая часть топлива подводится в цилиндры через систему улавливания паров бензина. Основная же топливоподача осуществляется через электромагнитные форсунки высокого давления.

**Контур низкого давления** охватывает часть топливной системы от расположенного в баке электронасоса до насоса высокого давления. Давление топлива в этом контуре обычно равно 300 кПа и только при пуске горячего двигателя может быть повышено до 580 кПа.

В контур низкого давления входят: топливный бак, накопитель, входной фильтр, топливоподкачивающий насос с электроприводом, топливный фильтр, датчик низкого давления топлива, электронный блок управления топливоподкачивающим насосом. В данной системе электронный блок управляет топливоподкачивающим насосом по давлению и продуктивности. Для этого используется сигнал датчика низкого давления топлива.

**Контур высокого давления** начинается с топливного насоса высокого давления, который подает топливо в топливный аккумулятор. В контур высокого давления входят: топливный насос высокого давления, трубопроводы высокого давления, топливный гидроаккумулятор, датчик высокого давления топлива, клапан регулятора давления, электромагнитные форсунки высокого давления.

На гидравлическом аккумуляторе установлен датчик высокого давления топлива, сигналы которого используются для поддержки и регулирования давления в диапазоне от 5,0 до 10,0 МПа с помощью клапана регулятора. Впрыскивание топлива в цилиндры осуществляется через форсунки высокого давления. Чтобы получить наилучшее распределение топлива при послойном смесеобразовании, угол конуса топливного факела принят равным  $70^\circ$ , а ось конуса наклонена на  $20^\circ$ .

Электронный блок управления двигателем подает на форсунки управляющие импульсы напряжением порядка 90 В, чтобы обеспечить быстрое открытие форсунки (фаза предварительного намагничивания). При таком напряжении ток в обмотке достигает 10 А. Далее, чтобы удерживать ее клапан в открытом состоянии, достаточно подать 30 В. При этом ток удерживания в ее обмотке равен 3...4 А.

## Контрольные вопросы

### К подразделу 3.1

1. Приведите классификацию способов впрыскивания топлива.
2. Охарактеризуйте способ одновременного и фазированного впрыска топлива.
3. Опишите систему распределительного впрыска топлива.
4. Как осуществляется центральный впрыск топлива?
5. Как осуществляется управление продолжительностью впрыскивания топлива?

### К подразделу 3.2

6. Перечислите типы и компоненты системы управления впрыском топлива.
7. Перечислите разновидности и опишите эволюцию многоточечной системы впрыска топлива.
8. По каким параметрам определяются текущие режимы двигателя в системе Motronic?
9. Каковы основные различия между системой MED и ME-Motronic?
10. Какие датчики применяются для определения наполнения цилиндров воздухом?
11. Какие датчики применяются для определения давления во впускном трубопроводе и атмосферного давления?
12. Опишите упрощенную структурную схему системы распределительного впрыска топлива.
13. Как осуществляется одноточечный впрыск топлива в системе Mono-Jetronic и Mono-Motronic?
14. Для каких двигателей предназначена система Mono-Jetronic?
15. Какие функции выполняет система Mono-Jetronic?
16. Охарактеризуйте систему впрыска с внутренним смесеобразованием.
17. Каковы основные преимущества внутреннего смесеобразования?
18. Какими мерами можно проводить экономию топлива при непосредственном впрыске бензина в цилиндр двигателя?
19. Каковы преимущества прямого впрыска топлива в цилиндры?
20. Опишите варианты аккумуляторной системы подачи топлива во впрысочной коллектор и непосредственно в цилиндры двигателя.
21. Что общего и каковы различия в аккумуляторных системах подачи топлива в коллектор и непосредственно в цилиндры двигателя?
22. Перечислите компоненты систем непосредственного впрыска топлива в цилиндры двигателя.
23. Перечислите виды и опишите устройство электромагнитных форсунок.
24. Какие параметры электромагнитных форсунок влияют на подачу топлива?
25. Какие характеристики (параметры) необходимо учитывать при выборе форсунки?
26. Какие решения используются для улучшения смесеобразования и распыления топлива форсункой?
27. Объясните понятие динамический диапазон работы форсунки.
28. Какую роль играет величина давления впрыскивания топлива форсункой?
29. Охарактеризуйте топливную систему двигателя с пьезоэлектрической форсункой.
30. Объясните преимущества применения пьезоэлектрических форсунок.
31. По каким параметрам датчиков можно диагностировать быстропротекающие процессы в гидравлическом аккумуляторе?
32. Какова задача систем смесеобразования?
33. Охарактеризуйте гомогенный и послойный режим работы двигателя с непосредственным впрыском топлива.
34. Как происходит управление нагрузкой двигателя?
35. Как осуществляется распыление топлива форсункой?

36. Как можно улучшить распыление топлива?
37. Как влияет место установки датчиков давления на контроль изменения параметров колебаний давления в гидравлической топливной аппаратуре?
38. Приведите упрощенные схемы управления впрыском при центральном и индивидуальном впрыске.
39. Опишите органы управления впрыском топлива и управление коррекцией.
40. Как достигается оптимальное соотношение воздуха и топлива, впрыскиваемых в цилиндр двигателя?
41. Как производится управление моментом и длительностью впрыска топлива?
42. Как производится управление объемом впрыска топлива?
43. Какие существуют методы коррекции соотношения компонентов смеси впрыскивания топлива?
44. Что такое пусковое и послепусковое обогащение объема впрыска топлива?
45. Как производится распознавание и коррекция состава горючей смеси?
46. Перечислите компоненты системы регулирования расхода топлива.

### **К подразделу 3.3**

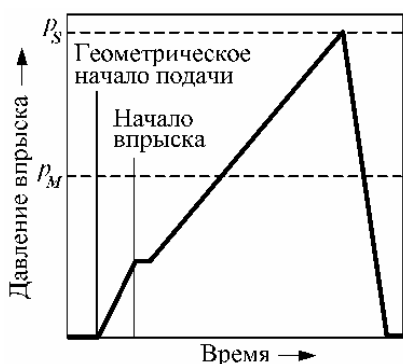
47. Как осуществляется управление зажиганием бензина в двигателе?
48. Приведите примеры влияния момента зажигания на эмиссию вредных веществ.
49. Приведите классификацию контактных и бесконтактных систем зажигания.
50. Какие факторы влияют на величину пробивного напряжения свечи?
51. Приведите упрощенную принципиальную схему микропроцессорной системы зажигания.
52. Перечислите основные компоненты микропроцессорной системы зажигания.

## 4. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

В большинстве серийных дизелей грузовых автомобилей, тепловозов и судов пока еще существуют системы автоматического регулирования с механическими регуляторами частоты вращения с центробежными грузами. В двигателях современных легковых автомобилей и некоторых грузовых автомобилей механические регуляторы все больше вытесняются системами электронного управления (EDC). Быстроходные дизели легковых автомобилей требуют установки топливной системы, имеющей небольшую массу, минимальный занимаемый объем и максимально возможную точность регулирования.

### 4.1. Характеристики впрыска топлива в традиционных топливных системах

В традиционных топливных системах, использующих многоплунжерные рядные или ТНВД распределительного типа, характеристика впрыска топлива включает в себя только один главный впрыск, без предварительного и вторичного, то есть является однофазным (рис. 4.1). В ТНВД распределительного типа с электромагнитным клапаном управления подачей может быть обеспечена организация двухфазного впрыска с фазой предварительного впрыска.



**Рис. 4.1. Характеристика давления впрыска в традиционных топливных системах:**

$p_M$  — среднее давление впрыска,  $p_S$  — максимальное давление впрыска

В традиционных топливных системах дизелей процессы создания высокого давления и обеспечения требуемой подачи топлива связаны между собой работой кулачкового привода и плунжера (плунжеров) ТНВД. Это оказывает следующее влияние на характеристики впрыска:

- давление впрыска увеличивается с увеличением частоты вращения и цикловой подачи;
- в период процесса впрыска давление впрыска увеличивается и затем падает при посадке иглы форсунки на седло.

Следствиями такого процесса являются:

- меньшее количество топлива впрыскивается при меньшем давлении по сравнению с впрыском большого количества топлива (см. рис. 4.1);

- максимальная величина давления (пик кривой давления) более чем в два раза превышает среднее давление впрыска;
- в соответствии с требованиями для эффективного сгорания топлива кривая давления впрыска является практически треугольной.

Максимальная величина давления впрыска является решающим фактором, определяющим нагрузку на ТНВД и его компоненты. Для топливной системы в целом это важно с точки зрения качества топливовоздушной смеси, образующейся в камере сгорания.

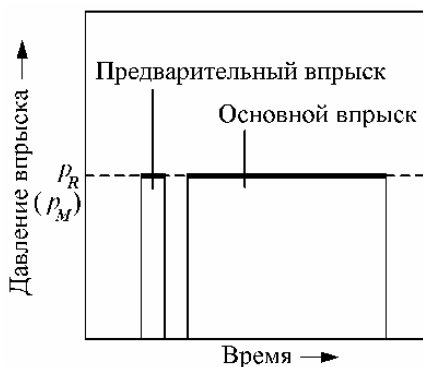
## 4.2. Аккумуляторная топливная система

### 4.2.1. Требования к топливным системам и их компонентам

По сравнению с традиционными топливными системами для получения идеальных характеристик впрыска к топливной системе CR предъявляются следующие требования:

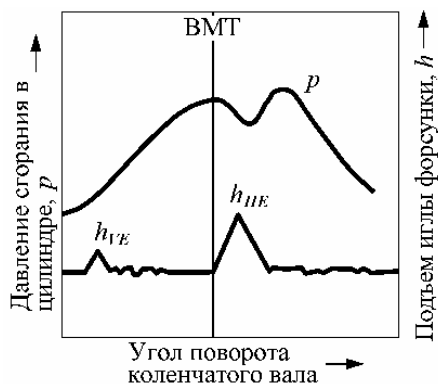
- независимо друг от друга величина подачи (количество впрыскиваемого топлива) и давление впрыска должны определяться для всех эксплуатационных условий работы двигателя (что обеспечивает свободу достижения идеального состава топливовоздушной смеси);
- в начале процесса впрыска величина подачи должна быть по возможности минимальной (предварительный впрыск в период задержки воспламенения между началом впрыска и началом сгорания).

Эти требования выполняются в аккумуляторной топливной системе CR. Характеристики двухфазного впрыска топлива приведены на рис. 4.2, 4.3.



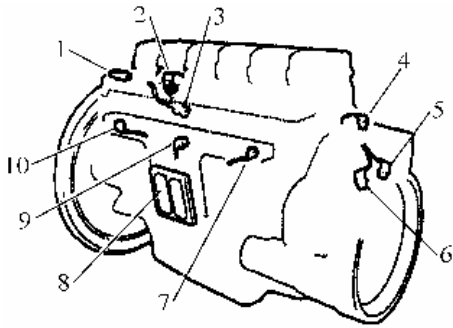
**Рис. 4.2. Характеристика давления впрыска в топливной системе Common Rail:**

$p_M$  — среднее давление впрыска,  
 $p_R$  — давление в аккумуляторе



**Рис. 4.3. Изменение давления в цилиндре двигателя и подъема иглы форсунки по частоте вращения коленчатого вала при наличии предварительного впрыска топлива:**

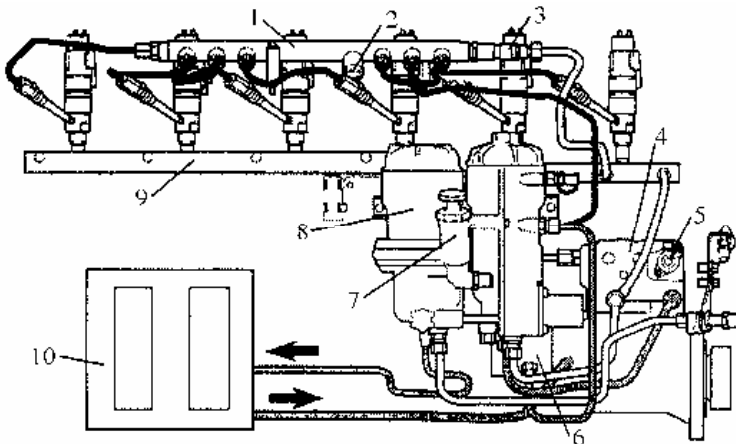
$h_{VE}$  — подъем иглы форсунки во время предварительного впрыска;  $h_{HE}$  — подъем иглы форсунки во время основного впрыска



**Рис. 4.4. Датчики системы управления двигателем:**

1 – штекер С372; 2 – датчики турбонаддува и температуры; 3 – датчик давления масла; 4 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 5, 6 – датчики числа оборотов 1, 2; 7 – датчик давления топлива, задний контур; 8 – блок управления; 9 – датчик давления топлива и температуры; 10 – датчик давления топлива, передний контур

Расположение датчиков системы управления двигателем грузового автомобиля показано на схеме на рис. 4.4. Современная топливная система двигателя грузового автомобиля представлена на рис. 4.5, а их аккумуляторные системы с насосами СР-1, СР-2, СР-3 – на рис. 4.6. Отдельно аккумулятор топлива показан на рис. 2.12.



**Рис. 4.5. Топливная система двигателя грузового автомобиля:**

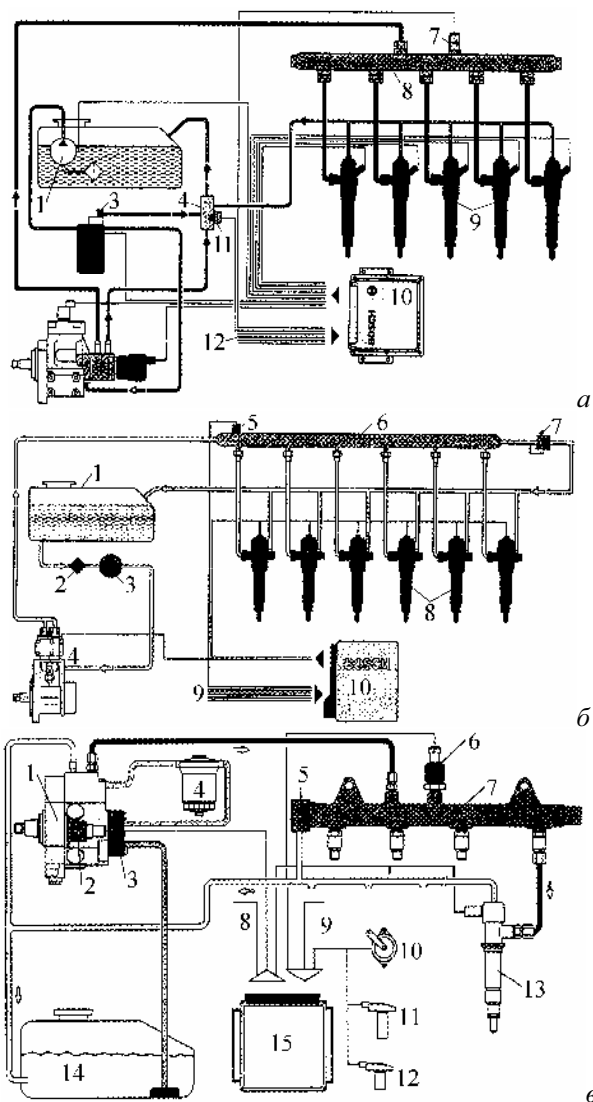
1 – аккумулятор; 2 – датчик давления в аккумуляторе; 3 – клапан ограничения давления; 4 – ТНВД; 5 – дозатор; 6 – насос подкачивающий; 7 – помпа ручная; 8 – фильтр; 9 – коллектор сборный обратного слива; 10 – БУ-EDC

Топливная система Common Rail является модульной системой, и следующие ее компоненты являются ответственными за обеспечение характеристик впрыска:

- форсунки с электромагнитным управлением, установленные в головке блока цилиндров;
- аккумулятор топлива;
- ТНВД.

Для обеспечения работы топливной системы также требуются следующие компоненты:

- электронный блок управления (ЭБУ);
- датчик частоты вращения коленчатого вала;
- датчик частоты вращения распределительного вала (фазовый датчик).



**Рис. 4.6. Аккумуляторные топливные системы с насосами СР-1 (а), СР-2 (б), СР-3 (в):** а) 1 – электронасос топливный; 2 – фильтр топливный; 3 – клапан перепускной; 4 – сборник обратного слива; 5 – ТНВД СР-1; 6 – электромагнитный клапан высокого давления; 7 – датчик давления в аккумуляторе; 8 – аккумулятор; 9 – форсунки; 10 – БУ MS 6.3; 11 – датчик температуры топлива; 12 – сенсоры;

б) 1 – бак топливный; 2 – фильтр топливный; 3 – насос подкачивающий; 4 – ТНВД СР-2; 5 – датчик давления в аккумуляторе; 6 – аккумулятор; 7 – клапан ограничения давления; 8 – форсунки; 9 – прочие датчики; 10 – БУ MS 6.3;

в) 1 – ТНВД; 2 – дозатор; 3 – шестеренный насос; 4 – фильтр; 5 – клапан регулировки давления (DRV); 6 – датчик давления в аккумуляторе; 7 – аккумулятор; 8 – актуаторы; 9 – датчики; 10 – педаль водителя; 11 – датчик оборотов / опорной метки; 12 – датчик распределительного вала; 13 – форсунки; 14 – бак топливный; 15 – БУ EDC15C

Электронное управление дизелем (EDC) с топливной системой Common Rail включает в себя три главных системных блока:

1. Датчики и генераторы импульсов для регистрации эксплуатационных условий и генерирования желаемых значений параметров. Они преобразуют различные физические параметры в электрические сигналы
2. Электронный блок управления обрабатывает информацию, полученную от датчиков и генераторов в соответствии с заданным алгоритмом управления для генерирования выходных электрических сигналов.
3. Исполнительные устройства преобразуют электронные выходные сигналы ЭБУ в механические величины.

Для того, чтобы обеспечить эффективное образование топливовоздушной смеси, впрыск топлива в камеру сгорания дизеля должен осуществляться под давлением 35...200 МПа при точной дозировке топлива.

Схема развития систем Common Rail приведена на рис. 4.7. В аккумуляторной топливной системе Common Rail процессы создания высокого давления и впрыскивания разделены. Давление впрыскивания создается независимо от частоты вращения коленчатого вала двигателя и количества впрыскиваемого топлива, оно сохраняется в топливном аккумуляторе, и система, таким образом, всегда готова к совершению процесса впрыскивания. Начало подачи (угол опережения подачи) и количество впрыскиваемого топлива (цикловая подача) рассчитываются в электронном блоке управления и через форсунку реализуются для каждого цилиндра посредством подачи пускового сигнала на электромагнитный клапан.

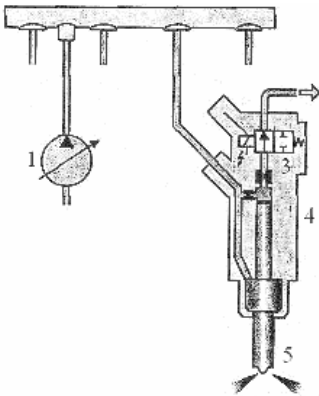
Поколение	Начало производства	Максимальное давление	Управление форсункой
1	1997	135 МПа	Электромагнитный клапан
2	2002	160 МПа	Электромагнитный клапан
3	2003	160 МПа	Пьезо
	2006	180 МПа	Пьезо
	2007	200 МПа	Пьезо
4	2008	250 МПа	Электромагнитный клапан, мультипликатор давления

**Рис. 4.7. Развитие систем Common Rail**

Разделение в аккумуляторной системе Common Rail (рис. 4.8) процессов создания высокого давления и управления топливоподачей обеспечивает широчайшие возможности по изменению давления и момента впрыскивания топлива. Организованный таким образом рабочий процесс позволяет создать важнейшие предпосылки для повышения удельной мощности, снижения расхода топлива, снижения уровня шума и токсичности отработавших газов. Давление впрыскивания создается и регулируется в автономном ТНВД 1 независимо от частоты вращения двигателя и величины цикловой подачи топлива. Оно сохраняется в аккумуляторе давления 2. Каждый ци-

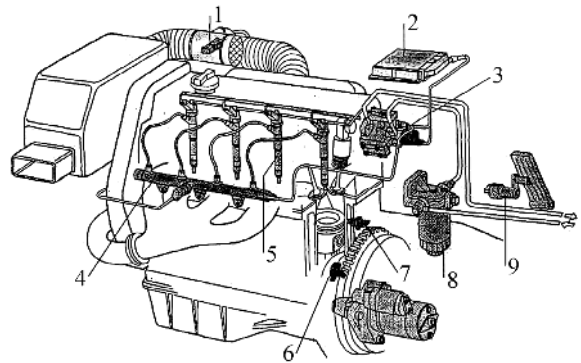
линдр имеет электромагнитную форсунку с клапаном высокого давления. Регулирование подачи осуществляется электронным блоком управления. Конструктивно электронная система управления двигателем (ЭСУД) Common Rail включает следующие компоненты (рис. 4.8, 4.9, 4.10) [12]:

1. Контур низкого давления с соответствующими агрегатами подачи топлива;
2. Контур высокого давления, включающий ТНВД, аккумулятор высокого давления, магистрали высокого давления и электрогидравлические форсунки;
3. ЭСУД с необходимыми датчиками и исполнительными механизмами;
4. Системы впуска воздуха и выпуска отработавших газов.



**Рис. 4.8. Система Common Rail:**

1 – автономный ТНВД; 2 – аккумулятор высокого давления; 3 – электромагнитный клапан высокого давления; 4 – форсунка; 5 – распылитель форсунки



**Рис. 4.9. Структурная схема системы Common Rail:**

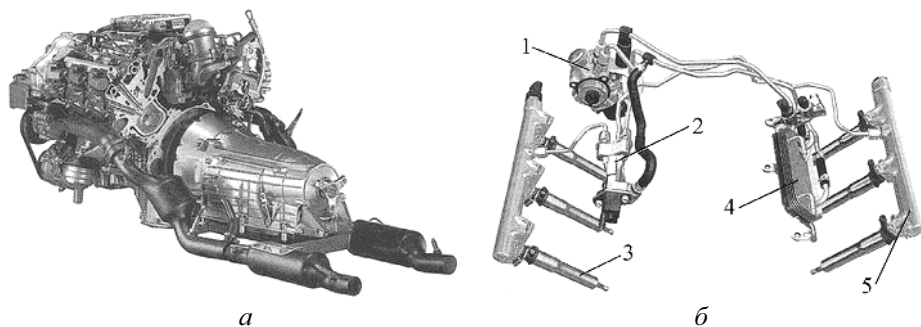
1 – датчик массового расхода воздуха; 2 – блок управления; 3 – ТНВД; 4 – аккумулятор высокого давления; 5 – форсунки; 6 – датчик положения коленвала; 7 – датчик температуры; 8 – топливный фильтр; 9 – датчик позиции педали акселератора

Система Common Rail работает следующим образом:

- топливо подается из бака шиберным (или шестеренчатым у Mercedes) насосом под давлением 0,25...0,30 МПа в ТНВД. В этой магистрали некоторые производители устанавливают электромагнитный клапан аварийного останова двигателя и устройство предварительного подогрева топлива;
- радиальный многоплунжерный ТНВД с постоянным приводом от двигателя создает необходимое давление в аккумуляторе высокого давления. Производительность (и давление на выходе) ТНВД регулируется электромагнитным клапаном и/или отключением одной из плунжерных секций насоса;
- электрогидравлические форсунки, связанные с аккумулятором ко-

роткими магистралями, по команде ЭСУД впрыскивают топливо непосредственно в камеры сгорания двигателя в нужный момент и в необходимо количестве (при постоянном давлении в аккумуляторе количество топлива пропорционально времени включения электромагнитного клапана форсунки);

- ЭСУД, кроме того, обеспечивает выполнение функций управления рециркуляцией отработавших газов, давлением наддува, скоростью движения автомобиля и защитой от несанкционированного запуска двигателя;
- ЭСУД, интегрированная в общую систему управления автомобиля, обеспечивает обмен данными с системой управления трансмиссией, кондиционером и другими системами автомобиля.



**Рис. 4.10. Двигатель V6 CGI (а) и топливная система с пьезоэлектрическими форсунками (б):**

1 – топливный насос высокого давления; 2 – распределитель; 3 – пьезоэлектрическая форсунка; 4 – охладитель топлива; 5 – общая напорная магистраль

На рис. 4.10, а приведен общий вид двигателя V6 CGI, топливная система с пьезоэлектрическими форсунками показана на рис. 4.10, б. Активными элементами в пьезоэлектрических форсунках являются пьезокристаллы.

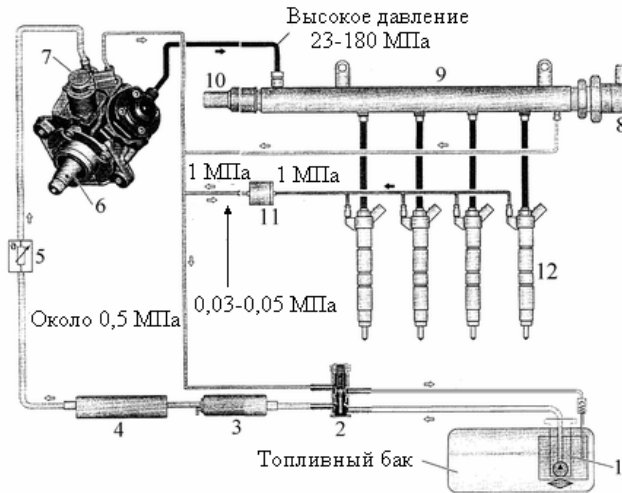
**Гидравлические системы** дизельных двигателей с микропроцессорным управлением топливоподачи и впрыска представлены на рис. 4.11.

Система высокого давления состоит из следующих элементов:

- насос высокого давления с клапаном регулирования давления;
- топливный аккумулятор с датчиком давления топлива;
- топливные форсунки;
- трубопроводы высокого давления.

**Аккумулятор высокого давления** 9 (см. рис. 4.11) предназначен для накопления топлива под высоким давлением. При этом в объеме аккумулятора гасятся пульсации, вызываемые работой ТНВД при подаче топлива и форсунками при впрыскивании. При этом должно быть гарантировано постоянное давление впрыскивания при открытии форсунок. С одной стороны, для выполнения этих требований объем аккумулятора должен быть достаточно большим, с другой стороны, объем должен быть минимизирован с

целью сокращения времени создания высокого давления при старте. Наряду с задачей накопления топлива аккумулятор выполняет функцию распределения топлива по форсункам. Давление топлива измеряется датчиком Rail-давления и регулируется до заданных параметров клапаном регулировки давления. Клапан ограничения максимального давления, в зависимости от особенностей топливной системы, является альтернативой клапану регулировки давления; он предназначен для ограничения давления в аккумуляторе по максимально допустимому значению.



**Рис. 4.11. Схема аккумуляторной топливной системы Common Rail двигателя автомобиля Audi A6:**

1 – подкачивающий топливный насос, непрерывно подает топливо в напорную магистраль; 2 – клапан предварительного подогрева топлива, предотвращает забивание топливного фильтра кристаллизующимися парафинами при низких температурах; 3 – дополнительный топливный насос, подает топливо из напорной магистрали к топливному насосу; 4 – топливный фильтр; 5 – датчик температуры топлива, измеряет текущую температуру топлива; 6 – топливный насос высокого давления (ТНВД); 7 – клапан дозирования топлива, регулирует количество топлива, подаваемого в аккумулятор высокого давления; 8 – регулятор давления топлива, управляет давлением топлива в контуре высокого давления; 9 – аккумулятор высокого давления (топливный гидравлический аккумулятор); 10 – датчик давления топлива, измеряет текущее давление топлива в контуре высокого давления; 11 – редукционный клапан, поддерживает постоянное остаточное давление в обратных магистралях форсунок на уровне примерно 1 МПа, необходимое для нормальной работы форсунок; 12 – форсунки

**Клапан регулировки давления** (Druckregelventil – DRV) предназначен для регулировки давления в аккумуляторе 9 (см. рис. 4.11) и поддержания его заданных значений, зависящих от нагрузки на двигатель. При слишком высоком давлении клапан открывается и часть топлива из аккумулятора по трубопроводу перетекает в топливный бак. При слишком малом давлении клапан DRV закрывается и этим разграничиваются контуры низкого и высокого давления. Датчик давления в аккумуляторе должен сообщать ин-

формацию об актуальном давлении с заданной точностью и производить замеры в достаточно короткие интервалы времени. Датчик давления передает блоку управления EDC выходной сигнал – напряжение, зависящее от действующего на него давления.

Система Common Rail представляет из себя систему с аккумулятором высокого давления. В такой системе узлы, создающие высокое давление, и узлы собственно впрыскивания разделены. Необходимое для впрыскивания высокое давление топлива создается отдельным насосом высокого давления (ТНВД). Это давление накапливается в аккумуляторе высокого давления (топливном гидроаккумуляторе) и постоянно подается к каждой из форсунок через короткие магистрали высокого давления. Управляется аппаратура Common Rail системой управления двигателя Bosch EDC 17.

Регулятор давления топлива работает под контролем ЭБУ. Когда регулирующий клапан открывается, излишек топлива уходит из насоса назад в топливный бак и давление в аккумуляторе падает. Для точного регулирования давления в аккумуляторе установлен датчик давления топлива.

Управляемые электроникой форсунки приводятся в действие индивидуально по сигналам ЭБУ. Каждая форсунка подает топливо непосредственно в соответствующую камеру сгорания. Постоянное наличие высокого давления в аккумуляторе позволяет очень точно и гибко менять цикловую подачу топлива по сравнению со штатными насосами высокого давления. Система допускает многостадийное впрыскивание топлива.

Технические особенности системы:

- в любом режиме работы двигателя может быть создано практически любое, оптимальное для данного режима, давление топлива;
- высокое давление впрыскивания обеспечивает тонкое распыление топлива и хорошее смесеобразование;
- гибкое управление процессом топливоподачи и возможность нескольких предварительных и последующих впрыскиваний.

Благодаря широкому диапазону давлений и тактов впрыскивания система Common Rail предоставляет широкие возможности для оптимизации процесса топливоподачи в любом из режимов работы двигателя. Тем самым она создает хорошие предпосылки для выполнения постоянно растущих требований к системам питания в части снижения расхода топлива, токсичности ОГ и шумности двигателя.

#### **4.2.2. Компоненты аккумуляторной системы**

Главным преимуществом аккумуляторной системы Common Rail является широкий диапазон изменения давления топлива и момента начала впрыскивания. Это реализуется путем разделения процессов создания давления и обеспечения впрыскивания.

Состав аккумуляторной системы топливоподачи:

- микропроцессорный блок;
- блок усилителей мощности;
- пульт управления;
- видеоконтрольное устройство:

- вторичные источники питания;
- комплект датчиков системы управления;
- топливоподкачивающий насос;
- топливный насос высокого давления;
- электрогидравлические форсунки;
- аккумулятор топлива;
- топливный бак;
- топливные фильтры;
- трубопроводы высокого и низкого давления;
- датчик углового положения распределительного вала (элемент Холла);
- датчик углового положения коленчатого вала (индуктивный);
- датчик массового расхода воздуха;
- датчик температуры поступающего воздуха;
- датчик температуры охлаждающей жидкости;
- датчик положения педали подачи топлива;
- датчик атмосферного давления;
- датчик давления топлива в аккумуляторе;
- датчик температуры отработанных газов;
- датчик давления масла;
- датчик контроля противодействия;
- электромагнитные клапаны:
  - электромагнитный клапан отсечки;
  - электромагнитный клапан регулятора давления;
  - электромагнитный клапан электрогидравлических форсунок.

**Программное обеспечение** микропроцессорной системы управления состоит из программы монитора и следующих прикладных программных модулей:

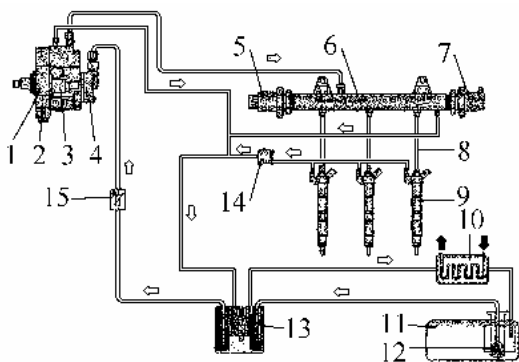
- модуль формирования внешней скоростной характеристики;
- модуль, обеспечивающий работу аккумуляторной системы топливоподачи при отказе ряда датчиков;
- модуль оптимизаций угла начала впрыска и цикловой подачи;
- модуль диагностирования двигателя и аккумуляторной системы;
- модуль управления рециркуляцией отработанных газов;
- модуль управления регулируемым турбонаддувом.

**Основные функции аккумуляторной системы топливоподачи.** Аккумуляторная система топливоподачи с микропроцессорным управлением должна выполнять следующие функции:

- регулировать величину цикловой подачи в соответствии с внешне скоростной характеристикой с учетом обеспечения высокой экономичности ДВС и низкой токсичности отработавших газов;
- регулировать величину угла опережения начала впрыска в зависимости от частоты вращения коленчатого вала ДВС с учетом обеспечения высокой экономичности ДВС и низкой токсичности отработавших газов;
- осуществлять остановку ДВС при аварийных ситуациях;

- осуществлять регулировку наддува с учетом обеспечения высокой экономичности ДВС и низкой токсичности отработавших газов;
- осуществлять регулировку системы рециркуляции с учетом обеспечения низкой токсичности отработавших газов;
- осуществлять работу аккумуляторной системы топливоподачи при отказе ряда датчиков;
- осуществлять диагностику элементов аккумуляторной системы топливоподачи и контроль функционирования исполнительных элементов без запуска ДВС с выводом информации на видеоконтрольное устройство.

Принцип функционирования аккумуляторной топливной системы состоит в следующем. Топливо забирается из топливного бака топливоподкачивающим насосом, который может быть установлен как в баке, так и на двигателе. В баке устанавливаются центробежные турбинные электрические насосы, а на двигателе с отдельным приводом или внутри корпуса ТНВД – насосы шестеренного типа с внешним или внутренним зацеплением шестерен (рис. 4.12).



**Рис. 4.12. Схема гидравлическая принципиальная аккумуляторной системы топливоподачи:**

Контур высокого давления: 1 – ТНВД; 2 – клапан постоянного давления; 3 – клапан дозирования топлива; 5 – датчик давления топлива в аккумуляторе; 6 – топливный аккумулятор высокого давления; 7 – электромагнитный регулятор давления топлива; 8 – трубопроводы; 9 – форсунки;

Контур низкого давления: 4 – шестеренный топливоподкачивающий насос; 10 – радиатор для охлаждения топлива 11 – топливный бак; 12 – электрический топливоподкачивающий насос; 13 – топливный фильтр; 14 – клапан постоянного давления в магистрали слива; 15 – датчик температуры топлива

Топливо проходит через систему фильтрации грубой и тонкой очистки. Чаще всего система подготовки топлива представляет собой только фильтр тонкой очистки, оснащенный датчиком воды и системой подогрева топлива. Подогрев осуществляется или нагревательной спиралью, или за счет нагретого топлива в линии обратного слива.

Подсистема высокого давления включает ТНВД, форсунки, трубки высокого давления, гидравлический аккумулятор высокого давления. Форсунки связаны с аккумулятором короткими магистралями высокого давления. Давление внутри аккумулятора измеряется датчиком давления топлива 5 и ограничивается клапаном регулирования давления 14 до некоторой максимально допустимой величины в зависимости от параметров системы впрыскивания. Через ограничитель расхода топлива, который дросселирует

поток топлива, последнее под давлением поступает к форсункам.

**Система топливоподачи.** В дизелях вследствие впрыскивания топлива в конце сжатия время на распыливание, испарение и перемешивание топлива с воздухом очень ограничено: приблизительно в 10 раз меньше, чем в карбюраторных двигателях. В результате впрыснутое топливо неравномерно распределяется по камере сгорания: струя топлива во время движения превращается в факел мелких капель с вовлечением воздуха, как следствие в зоне действия факела наблюдается обогащенная топливом смесь, то есть избыток топлива, а на периферии камеры сгорания обедненная смесь – недостаток топлива.

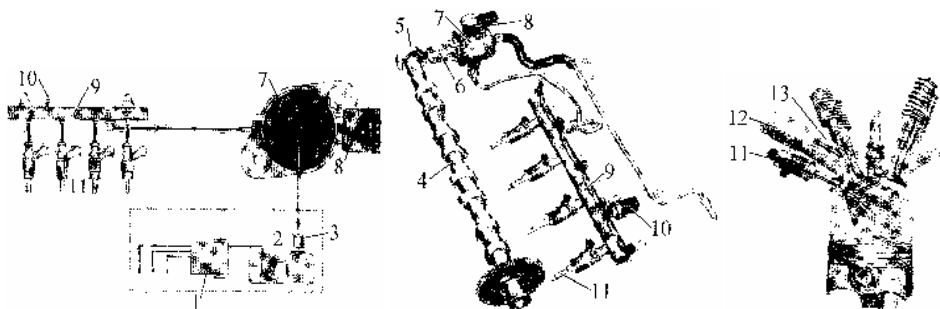
Из-за неравномерного распределения топлива по камере сгорания в дизельных двигателях при полной нагрузке не удастся увеличить коэффициент избытка воздуха более как в 1,2...1,4 раза. При подаче большего количества топлива оно полностью не сгорает, появляется дымный выпуск, мощность дизеля снижается, а удельный расход топлива на эксплуатационных режимах возрастает.

В системе топливоподачи, как и в любой техничной системе, связи между компонентами реализуются тремя способами, а именно путем передачи:

- энергии (энергетические связи);
- вещества (вещественные связи);
- информации (информационные связи).

Микропроцессорная система управления как техническое средство обработки информации позволяет существенно расширить информационные связи, а это дает возможность учитывать большее количество факторов, влияющих на процессы в двигателе, реализовывать оптимальные законы и гибкое управление топливоподачей.

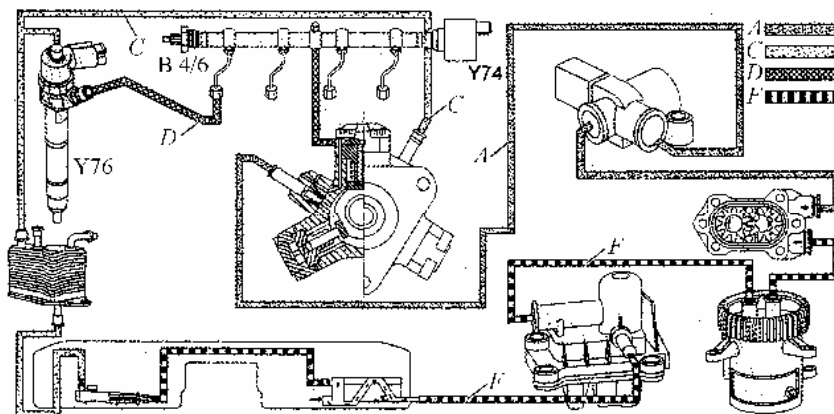
Гидравлическая система и элементы топливной аппаратуры дизельного двигателя представлены на рис. 4.13.



**Рис. 4.13. Гидравлическая система и элементы топливной аппаратуры:**

1 – ЭБУ электронасос; 2 – электронасос; 3 – топливный фильтр; 4 – распределительный вал; 5 – кулачок; 6 – толкатель; 7 – ТНВД; 8 – клапан-дозатор; 9 – гидравлический аккумулятор; 10 – датчик давления топлива; 11 – форсунка; 12 – система вихревых заслонок; 13 – разделительная перегородка

Аккумуляторная система (рис. 4.14) [19] позволяет получить одновременное управление началом, продолжительностью, давлением и формированием характеристики впрыскивания, что дает наибольший эффект в повышении экономичности и снижении токсичности дизелей.



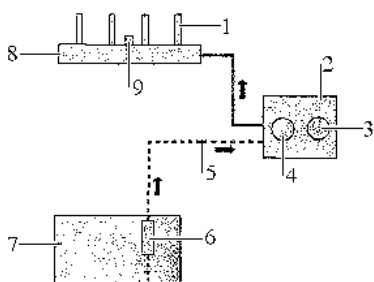
**Рис. 4.14. Система подачи топлива двигателя с аккумуляторной системой:**

А – давление подкачки топлива; С – линия обратного слива топлива; D – линия высокого давления; F – впускной топливопровод

Благодаря этой системе наиболее полно выполняются ограничения по шуму работы двигателя, токсичности отработавших газов, требования по мощности и расходу топлива. Серьезную конкуренцию аккумуляторным системам, возможно, составят системы с насос-форсунками, которые могут оказаться дешевле для двигателя с небольшим числом цилиндров. Все другие системы топливоподачи на дальнюю перспективу можно рассматривать лишь как промежуточные решения.

В настоящее время аккумуляторные системы, применяемые на автомобилях Audi, BMW, Daimler-Chrysler, FIAT, Peugeot, Rover и ряде других автомобилей, в основном идентичны (рис. 4.15).

В двигателе Mercedes топливо нагнетается в систему из топливного бака шестеренным топливоподкачивающим насосом (см. рис. 4.14). Во впускном топливопроводе F (см. рис. 4.14) находятся предварительный подогреватель топлива и топливный фильтр. Топливо подается к ТНВД под давлением от 0,25 до 0,30 МПа. При превышении допустимого давления клапан, расположенный в шестеренном насосе, связывает подводящий и отводящий контуры. Другие производители дизелей используют шибберные роликовые электронасосы, подобные тем, что применяются в системах подачи топлива бензиновых двигателей. В дизельных двигателях BMW на магистрали низкого давления устанавливается датчик давления. В двигателях Mercedes на линии подвода топлива к ТНВД расположен электромагнитный клапан останова двигателя, который срабатывает в случае необходимости аварийной остановки двигателя.



**Рис. 4.15. Система подачи топлива автомобилей Citroën, Peugeot (PSA), BMW 1.6 THD-Motor:**

1 – форсунка высокого давления; 2 – насос высокого давления; 3 – регулировочный клапан; 4 – клапан сброса давления; 5 – сервисный клапан; 6 – топливный модуль с ЕКР и датчиком уровня топлива; 7 – топливный бак; 8 – топливный аккумулятор; 9 – датчик высокого давления топлива; — контур низкого давления (А); - - - - - контур высокого давления (В)

В аккумуляторной системе топливо из ТНВД направляется через магистраль высокого давления к впускному штуцеру аккумулятора, из которого оно распределяется по отдельным форсункам.

ЭК РДТ (см. рис. 2.16) крепится через фланец к корпусу ТНВД или аккумулятора высокого давления.

От аккумулятора короткие топливопроводы высокого давления подводятся к форсункам (У76, см. рис. 4.14), которые имеют собственную систему управления процессом впрыскивания топлива. Игла распылителя форсунки в нерабочем состоянии прижимается к седлу пружиной распылителя – это предотвращает попадание воздуха в форсунку при пуске двигателя.

Благодаря использованию электрогидравлического управления процессы впрыскивания топлива могут происходить за короткие промежутки времени. Становится возможным процесс предварительного впрыскивания топлива, с помощью которого достигаются более мягкая работа двигателя и меньшая эмиссия отработавших газов. Цикловая подача определяется продолжительностью открытия управляющего клапана и давлением в аккумуляторе. Так как большая часть топлива под высоким давлением поступает на линию обратного слива, его температура может повышаться до 140 °С.

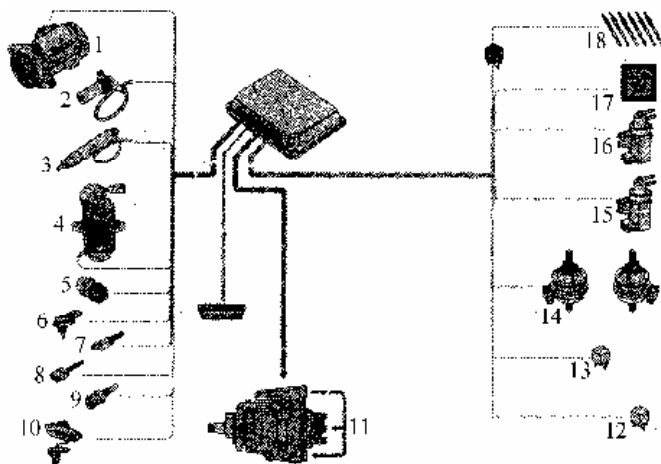
Датчики и исполнительные механизмы по техническому уровню должны соответствовать элементам современной аккумуляторной системы. Типичными датчиками, применяемыми в таких двигателях, являются датчик давления в аккумуляторе высокого давления и датчик Холла на распре-

Топливо из ТНВД по топливопроводу высокого давления поступает в аккумулятор высокого давления. С одной стороны аккумулятора в корпус завернут датчик давления (В4/6, см. рис. 4.14), с другой – электромагнитный клапан регулирования давления (У74, см. рис. 4.14). Датчик регистрирует давление в аккумуляторе, которое блоком управления сравнивается по полю характеристик с заданным. При отклонении давления от требуемого блок управления изменяет скажность подачи электрического питания к электромагниту клапана регулирования давления.

**Регулятор давления.** Давление внутри аккумулятора измеряется датчиком давления топлива и под управлением электронного блока ограничивается электромагнитным клапаном регулирования давления (ЭК РДТ) до некоторой максимально допустимой величины в зависимости от параметров системы впрыскивания (см. рис. 2.14, 4.6, 4.11, 4.15).

делительном валу. Последний служит для распознавания номера цилиндра, так как форсунки должны регулироваться индивидуально. Наряду с обычными исполнительными механизмами, такими как пневматический редуктор для управления рециркуляцией отработавших газов, механизмы управления турбокомпрессором и отключением впускного канала, применяются характерные для аккумуляторной системы исполнительные механизмы для форсунки, электромагнитных клапанов регулирования давления, отключения секции насоса и останова двигателя.

На рис. 4.16 показаны датчики и исполнительные механизмы двигателя Audi V6 TDI [19].

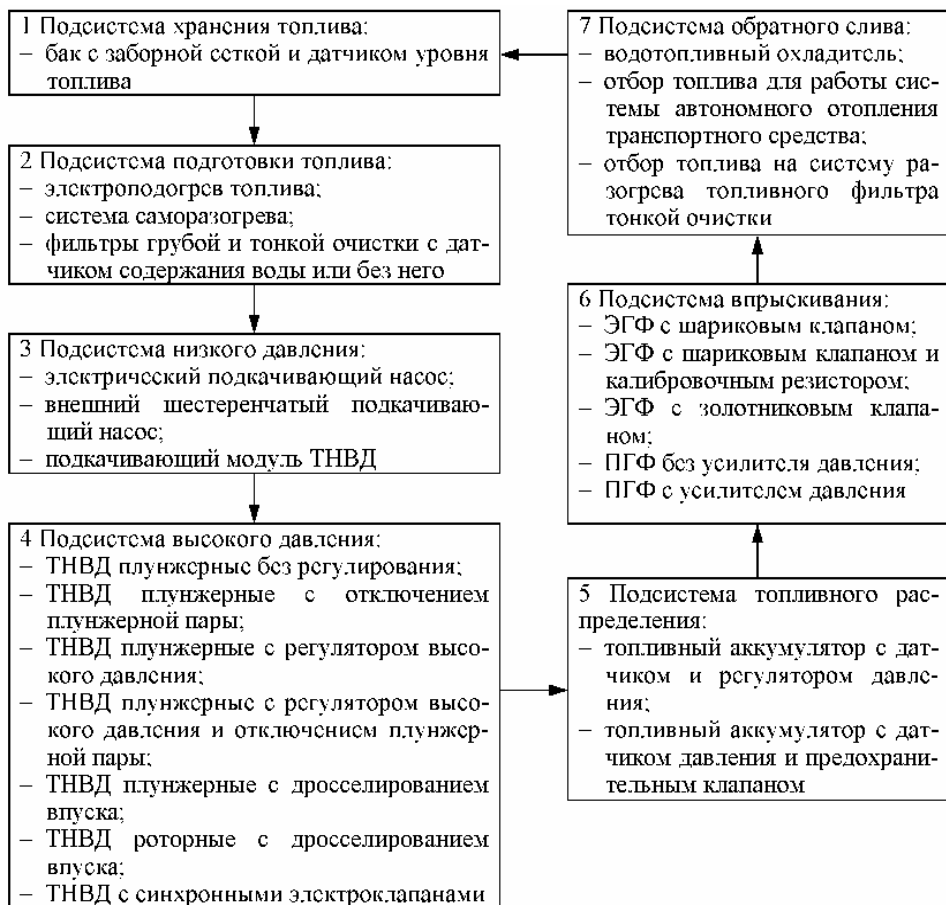


**Рис. 4.16. Датчики и исполнительные механизмы двигателя Audi V6 TDI:**

1 – расходомер воздуха; 2 – датчик ВМТ; 3 – датчик движения иглы распылителя форсунки; 4 – датчик педали подачи топлива; 5 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 6 – датчик давления наддува; 7 – выключатель привода сцепления; 8 – два выключателя тормозов; 9 – датчик температуры масла; 10 – датчик уровня топлива; 11 – блок управления ТНВД; датчик угла поворота приводного вала ТНВД; электромагнитный клапан высокого давления; электромагнитный клапан регулирования начала подачи топлива; 12 – реле подкачивающего насоса; 13 – реле электрического питания; 14 – электрогидравлические опоры двигателя; 15 – электромагнитный клапан давления наддува; 16 – электромагнитный клапан рециркуляции отработавших газов; 17 – контрольная лампа свечей накаливания; 18 – свечи накаливания

Аккумуляторные топливные системы двигателей имеют одну общую концепцию построения и функционирования, но отличаются реализацией отдельных компонентов, таких как ТНВД, форсунки, гидроаккумулятор, а также имеют различное количество датчиков системы управления. Причем конструктивные отличия проявляются не только у компонентов различных фирм производителей, но и в поколениях топливной аппаратуры, выпускаемой одним производителем. Поэтому системы диагностирования должны быть достаточно гибкими и адаптирующимися к различным реализациям АСТП и их электронным системам управления. Общая структура аккумуля-

мультипликаторной топливной системы и принцип ее функционирования состоят в следующем. Топливо забирается из топливного бака подкачивающим насосом, который может быть установленным как в баке, так и на двигателе. В баке устанавливаются обычно центробежные турбинные электрические насосы, а на двигателе с отдельным приводом или внутри корпуса ТНВД – подкачивающие насосы шестеренного типа с внешним или внутренним зацеплением шестерен (рис. 4.17).



**Рис. 4.17. Типы и взаимосвязи подсистем аккумуляторной топливной аппаратуры**

Основные параметры системы низкого давления: перепад давления топлива на топливном фильтре, тонкость фильтрации, производительность топливоподкачивающего насоса (в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя и противодействия), производительность электрического топливоподкачивающего насоса (в зависимости от напряжения пи-

тания), температура топлива, содержание воды в топливе после топливного фильтра.

Подсистема высокого давления состоит из ТНВД, форсунок, трубок высокого давления и аккумулятора высокого давления.

С развитием аккумуляторных систем появляется возможность свободного выбора характеристик топливоподачи при управлении давлением впрыскивания в зависимости от режима эксплуатации, что и обеспечивает оптимальную дальнобойность и тонкость распыления топлива, в том числе при низких частотах вращения коленчатого вала и малых нагрузках.

Подобное конструктивное решение основано на принципиальном преимуществе аккумуляторной системы. Оно состоит в том, что на номинальных режимах диаграмма скорости нарастания подачи топлива имеет трапециевидную форму в отличие от треугольной формы в традиционных топливных системах. При этом практически происходят мгновенное нарастание и спад давления в моменты, соответственно, открытия и закрытия запорных органов форсунок.

Топливная аппаратура типа Common Rail состоит из двух контуров:

1. Контур низкого давления: топливный бак, входной фильтр в баке, фильтр грубой очистки, топливоподкачивающий насос, фильтр тонкой очистки, топливный трубопровод низкого давления.

2. Контур высокого давления: топливный насос высокого давления, топливные трубопроводы высокого давления, форсунки, регулятор давления топлива и электронный блок управления с комплектом датчиков.

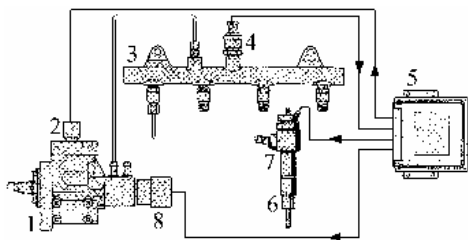
В системе Common Rail клапан 8 регулирования давления топлива в аккумуляторе высокого давления (рис. 4.18) обеспечивает величину давления впрыскивания. В некоторых случаях перед ТНВД 1 монтируется дроссель давления топлива в аккумуляторе 3, который также участвует в этом процессе. Электромагнитный клапан 7 высокого давления форсунки 6 под управлением электронного блока управления обеспечивает момент начала и продолжительность впрыскивания соответственно различным режимам работы дизеля. Давление впрыскивания, таким образом, не зависит от момента начала и продолжительности впрыскивания. Это делает возможным, наряду с основным впрыскиванием, от которого зависит крутящий момент дизеля, осуществлять другие процессы впрыскивания. С одной стороны, это предварительное впрыскивание с незначительной величиной подачи, которое снижает главным образом скорость нарастания давления в цилиндре дизеля при сгорании топлива и снижает шум.

С другой стороны, это – дополнительное впрыскивание, позволяющее снизить уровень эмиссии отработавших газов. Действительная величина подачи топлива обусловлена давлением и продолжительностью впрыскивания.

В процессе эксплуатации в результате изнашивания прецизионных пар увеличиваются зазоры в них, возрастает утечка топлива. Кроме того, в результате нагара, образующегося на поверхности распылителя, изменяется проходное сечение распыляющих отверстий. Все это приводит к увеличению внутренних потерь. При таком состоянии двигателя для выравнивания

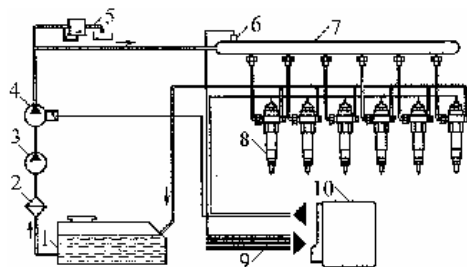
топливоподачи по цилиндрам может вводиться коррекция.

В компьютерных системах управления работой дизелей легковых, грузовых автомобилей и автобусов используются датчики и схемы управления, аналогичные с бензиновыми компьютеризированными двигателями (рис. 4.19).



**Рис. 4.18. Структурная схема контура высокого давления аккумуляторной системы топливоподдачи:**

1 – ТНВД; 2 – электромагнитный клапан отключения секции ТНВД; 3 – топливный аккумулятор высокого давления; 4 – датчик давления в аккумуляторе; 5 – электронный блок управления; 6 – электрогидравлическая форсунка (ЭГФ); 7 – электромагнитный клапан управления давлением форсунки; 8 – электромагнитный клапан регулирования давления топлива в аккумуляторе



**Рис. 4.19. Система управления работой дизеля:**

1 – топливный бак; 2 – фильтр; 3 – топливоподкачивающий насос; 4 – насос высокого давления; 5 – редукционный клапан; 6 – датчик давления; 7 – аккумулятор топлива; 8 – форсунка; 9 – электрические цепи от измерительных датчиков; 10 – электронный блок управления

Электронный блок с помощью датчика 6 выполняет контроль давления топлива в аккумуляторе 7 и осуществляет электрическое управление цикловой подачей топлива через форсунки 8 и углом опережения подачи топлива в соответствии с режимами работы двигателя и автомобиля. Из топливного бака 1 через фильтр 2 и топливоподкачивающий насос 3, используемый в основном для удаления воздуха из системы, топливо насосом высокого давления 4, работа которого контролируется ЭБУ, подается в аккумулятор. При этом величина давления топлива устанавливается редукционным клапаном 5 и контролируется ЭБУ.

Давление впрыскивания на современных автомобилях с компьютеризированным дизелем увеличено до 150 МПа при минимальном его отклонении на каждой из форсунок, что достигается использованием в системе общей для всех форсунок аккумулятора топлива. На некоторых автомобилях в качестве форсунок применяются насос-форсунки, приводимые в действие от специальных кулачков на распределительном валу двигателя.

Для определения и восстановления технического состояния электронных систем на компьютеризированных дизелях используются аналогичные с бензиновыми двигателями: коды неисправностей, считываемые по диаг-

ностической лампе и с помощью диагностических средств; технологии ТО и ремонта; алгоритмы поиска и устранения неисправностей.

Контур замкнутой отрицательной обратной связи (ООС) (медленный). ЭБУ регулирует среднюю (изменяющуюся в зависимости от режима работы дизеля) величину давления в аккумуляторе путем широтно-импульсной модуляции управляющего тока, подаваемого на катушку электромагнита.

Контур разомкнутой ООС (быстрый, гидромеханический). Выравнивает высокочастотные колебания давления.

**Режим разомкнутой ООС.** Электромагнитный клапан регулирования давления топлива (ЭК РДТ) отключен и обесточенный электромагнит не развивает никаких усилий. Сила от давления топлива преодолевает силу пружины и топливо под высоким давлением подается на вход клапана. Клапан открывается и остается в таком положении до замыкания ООС. Пружина подобрана таким образом, чтобы устанавливалось давление топлива около 10 МПа. Режим разомкнутой ООС применяется при пуске дизеля, а также для защиты контура высокого давления и его разгрузки.

**Режим замкнутой ООС** используется для повышения давления. ЭК РДТ включается, сила действия электромагнита дополняет силу давления пружины. Якорь смещается вниз, уменьшая проходное сечение 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.

Компания Audi выпускает систему Common Rail четвертого поколения, которая позволяет увеличить давление впрыскивания до 220 МПа при одновременном снижении давления в аккумуляторе до 130 МПа. Эту задачу выполняют встроенные в форсунки мультипликаторы давления. При этом вся система предохраняется от действия чрезмерно высоких давлений.

Вторая разработка связана с созданием форсунки типа Vario с двумя рядами сопловых отверстий, управляемых отдельно посредством коаксиально расположенных запорных игл. При работе двигателя на режиме холостого хода и с малыми нагрузками поднимается только одна игла, открывая поток топлива только к одному ряду сопловых отверстий. При повышении нагрузки поднимается вторая игла, в результате чего топливо впрыскивается через все сопловые отверстия. Такая форсунка позволяет повысить управляемость процессами подачи и сгорания топлива.

### **4.2.3. Форсунки топливных систем**

#### **4.2.3.1. Электрогидравлические форсунки**

Типы применяемых форсунок в аккумуляторных системах приведены в табл. 4.1. Принцип работы электронных электрогидравлических (электромагнитных) форсунок одинаков. Разница заключается, прежде всего, в конструкции клапана: форсунки с игольчатым клапаном, с шариковым клапаном и форсунки дискового типа. Во всех современных системах электрон-

ного впрыска топлива форсунки активируются (открываются) в порядке работы цилиндров (последовательный впрыск).

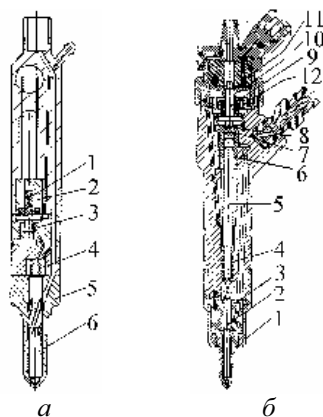
Таблица 4.1

### Форсунки систем Common Rail

Форсунка	Давление, МПа	Привод форсунки	Применение
CRI 1	135	Solenoid valve	Passenger cars
CRI 1-MI	140	Solenoid valve	Passenger cars
CR 1.1	140	Solenoid valve	Passenger cars
CRI 2.0	145	Solenoid valve	Passenger cars
CRI 2.0-OHW	120	Solenoid valve	OHW
CRI 2.1	160/180	Solenoid valve	Passenger cars
CRI 2.2	160	Solenoid valve	Passenger cars
CRI 2.5	180	Solenoid valve	Passenger cars
CRI 2.6	180	Solenoid valve	Passenger cars
CRI 3.0	160	Piezo element	Passenger cars
CRI 3.1	180	Piezo element	Passenger cars
CRI 3.2	180	Piezo element	Passenger cars
CRI3.3	200	Piezo element	Passenger cars
GRIN 1	140	1 Solenoid valve	Commercial vehicles
CRIN 2	160	1 Solenoid valve	Commercial vehicles
CRIN 3	180	1 Solenoid valve	Commercial vehicles
CRIN 3.3 from 2009	220/250	1 Solenoid valve	Commercial vehicles
CRIN 4.2	90/200	2 Solenoid valve	Commercial vehicles

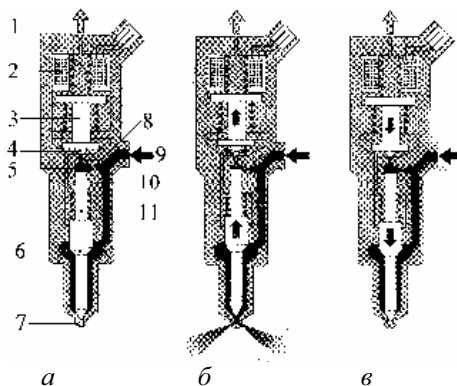
Наибольшее распространение в аккумуляторной топливной аппаратуре автомобильных дизелей получили электрогидравлические форсунки (ЭГФ – рис. 4.20, 4.21). В меньшей степени распространены пьезогидравлические (пьезомеханические) форсунки. Электрогидравлические форсунки независимо от производителя имеют один и тот же принцип: для осуществления впрыскивания на электромагнитный клапан подается электрический импульс, после чего он открывает сливное отверстие специальной управляющей камеры. Так как в закрытом состоянии игла форсунки удерживается не пружиной как в классической топливной аппаратуре, а силой от давления топлива, действующего на шток-мультипликатор, то падение давления в управляющей камере приводит к перемещению мультипликатора и поднятию иглы форсунки. Усилие от давления топлива передается через длинный мультипликатор на иглу. Количество пружин в форсунках такого типа может колебаться от двух до четырех в зависимости от дополнительных элементов, демпфирующих перемещение клапана. Одна пружина всегда воздействует на иглу, прижимая ее к седлу в то время, когда давления топлива недостаточно для обеспечения гидравлического запираания через мультипликатор. Это предотвращает попадание воздуха из цилиндра в полость форсунки на режимах пуска двигателя. Слив управляющей порции топлива организован через отверстие в центре электромагнита. В форсунке Delphi нет мультипликатора как такового (см. рис. 4.20). Давление топлива

воздействует непосредственно на плоскость торца иглы. Запорный элемент управляющей камеры выполнен по золотниковому принципу и обладает большим быстродействием. Топливо поступает к запорному конусу распылителя не по отдельному каналу, а по винтовым проточкам на боковой поверхности иглы. Линия обратного слива не проходит через электромагнит, что позволило уменьшить его размеры и разместить внутри корпуса форсунки. Все вышеупомянутые конструктивные отличия форсунки Delphi позволили уменьшить ее габариты.



**Рис. 4.20. ЭГФ фирмы Delphi (а) и фирмы Bosch (б):**

*а:* 1 – пружина; 2 – магнитопровод с обмоткой; 3 – клапан; 4 – пружина иглы; 5 – распылитель; 6 – игла;  
*б:* 1 – гайка распылителя; 2 – игла; 3 – распылитель; 4 – пружина иглы; 5 – мультипликатор; 6 – втулка; 7 – жиклер камеры управления; 8 – шариковый клапан; 9 – шток; 10 – якорь электромагнита; 11 – электромагнит; 12 – пружина клапана



**Рис. 4.21. Схема работы электрогидравлической форсунки:**

*а* – форсунка в состоянии покоя; *б* – форсунка открыта; *в* – форсунка закрыта; 1 – магистраль обратного слива; 2 – катушка электромагнита; 3 – якорь электромагнита; 4 – шарик клапана; 5 – камера управляющего клапана; 6 – конус иглы распылителя; 7 – отверстие распылителя; 8 – дроссельное отверстие отвода топлива; 9 – магистраль высокого давления; 10 – дроссельное отверстие подачи топлива; 11 – поршень управляющего канала

В состав электрогидравлической форсунки входят следующие функциональные блоки:

- бесштифтовый распылитель;
- гидравлическая сервосистема;
- электромагнитный клапан управляющего давления.

Форсунки связаны с аккумулятором короткими магистралями высокого давления (см. рис. 4.21).

Топливо подается по магистрали 9 высокого давления 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 (см. рис. 4.21, а) гидравлическая сила, действующая сверху на поршень 11 управляющего клапана, превышает силу давления топлива снизу на конус 6 иглы распылителя. Вследствие этого игла прижата к седлу распылителя и плотно закрывает отверстие 7 распылителя. В результате топливо не попадает в камеру сгорания.

При срабатывании электромагнитного клапана якорь электромагнита перемещается вверх, открывая дроссельное отверстие 8 (см. рис. 4.21, б). Соответственно снижаются как давление в камере управляющего клапана, так и гидравлическая сила, действующая на поршень управляющего клапана. Под действием давления топлива на конус 6 игла распылителя отходит от седла, так что топливо через отверстие 7 распылителя попадает в камеру сгорания цилиндра. Такое не прямое управление иглой применяются по той причине, что непосредственного усилия электромагнитного клапана недостаточно для быстрого подъема иглы распылителя. Управляющая подача – это дополнительное количество топлива, предназначенного для подъема иглы, которое после использования отводится в магистраль обратного слива топлива.

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

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.

Скорость открытия распылителя определяется различием интенсивности потока топлива в дроссельных отверстиях.

Количество впрыснутого топлива пропорционально времени включения электромагнитного клапана и определяется управляющим сигналом контроллера (впрыскивание, управляемое по времени). Длительность импульса (скважность) форсунки определяется модулем управления РСМ, который рассчитывает необходимое количество топлива в каждый цилиндр двигателя.

После перекрытия дроссельного отверстия отвода топлива давление в камере управляющего клапана вновь достигает той же величины, что и в аккумуляторе. Это повышенное давление смещает вниз поршень управляющего клапана вместе с иглой распылителя. Когда игла плотно примыкает к седлу распылителя и запирает его отверстия, впрыскивание прекращается.

### 4.2.3.2. Системы с пьезоэлектрическими форсунками

Пьезогидравлические форсунки работают аналогично электрогидравлическим форсункам, с той лишь разницей, что клапан управляющей камеры открывается не с помощью электромагнита, а с помощью пьезоэлемента через рычаг-усилитель, что позволяет значительно повысить быстродействие пьезофорсунок, многократного впрыскивания с переменным началом подачи и переменными интервалами между основными впрысками; позволяет реализовать очень малый предвпрыск топлива ( $1...4 \text{ мм}^3$ ) и послевпрыск и этим удовлетворить требования для дизельных двигателей (рис. 4.22) по снижению монооксида карбоната ( $\text{CO}$ ), гидрокарбонатов ( $\text{HC}$ ), окиси азота  $\text{NO}_x$ , частиц сажи  $\text{PM}$ .

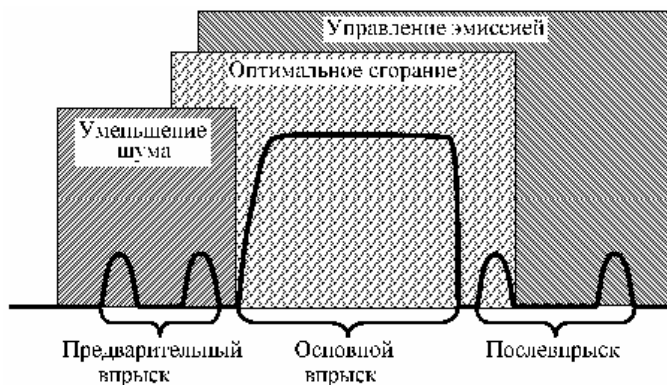


Рис. 4.22. Требования для дизельных двигателей

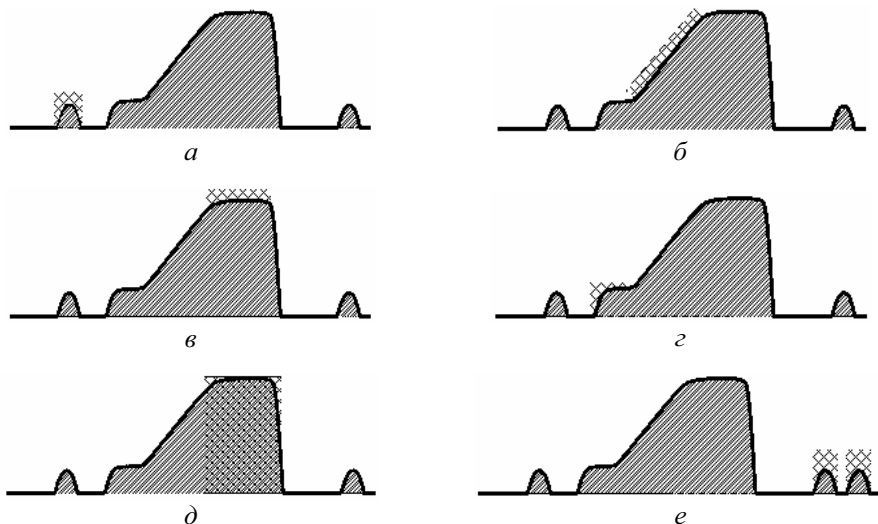
Предварительный впрыск топлива уменьшает шум двигателя и количество  $\text{NO}_x$  (рис. 4.23, а). Постепенное возрастание давления в период основного впрыска уменьшает количество  $\text{NO}_x$  (см. рис. 4.23, б). Постоянное давление в течении основного впрыска уменьшает количество  $\text{HC}$  и  $\text{PM}$  (частиц сажи), (см. рис. 4.23, в). Ступенчатое возрастание давления в течении основного впрыска уменьшает количество  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HC}$  и  $\text{PM}$  (см. рис. 4.23, г). Высокое давление топлива улучшает распределение и сгорание топлива, снижает потребление топлива, увеличивает мощность двигателя, уменьшает количество  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HC}$  и  $\text{PM}$  (см. рис. 4.23, д). Послевпрыск после основного впрыска уменьшает количество  $\text{HC}$  и  $\text{PM}$ , а поздний послевпрыск уменьшает составляющую  $\text{NO}_x$  катализатора (см. рис. 4.23, е).

Фирмой Siemens разработана аккумуляторная система Common Rail, в состав которой входят пьезоэлектрические форсунки. Эти системы используются для оснащения дизелей Ford рабочим объемом 1,4 л, а также двухлитровых дизелей автомобилей Peugeot и Volvo.

На силовые пьезоэлектрические элементы возлагаются большие надежды, так как они действуют до пяти раз быстрее, чем электромагниты. Фирма Siemens внедряет их в качестве приводов клапанов управления в системах топливоподачи дизелей и, в частности, клапанов форсунок и насос-

форсунок.

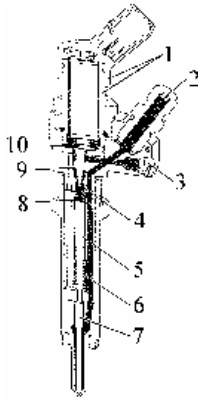
Особенностью форсунки фирмы Siemens является привод управляющего клапана посредством пьезоэлемента. Пьезоэлемент расширяется или сжимается в зависимости от полярности прилагаемого к нему напряжения (рис. 4.24).



**Рис. 4.23. Характеристики топливоподачи**

Клапан открывается в результате действия короткого импульса тока в цепи пьезоэлемента. В открытом состоянии он удерживается усилием, создаваемым пьезоэлементом при подаче на него напряжения порядка 70 В, которое удваивается в результате взаимного воздействия попарно установленных пластинок пьезоэлемента. Закрытие клапана производится также при подаче импульса тока, но обратного направления. Поэтому разъединение штекерного соединения форсунки при работающем двигателе может привести к ее открытию на неопределенное время с тяжелыми последствиями для двигателя.

Гидравлический привод форсунки с управляющим пьезоклапаном действует практически также, как у других форсунок, применяемых в системах Common Rail. При закрытом управляющем клапане на дифференциальную площадку иглы распылителя действует такое же давление топлива, как в аккумуляторе. Оно стремится поднять иглу распылителя с ее седла, но ему противодействуют усилия, создаваемые пружиной форсунки и давлением топлива, действующим на поршень мультипликатора. При закрытом управляющем клапане это давление равно давлению в аккумуляторе, поэтому оно надежно удерживает иглу распылителя на седле. Но при открытом управляющем клапане оно резко снижается в результате сообщения полости над поршнем мультипликатора со сливной магистралью. При этом форсунка открывается, так как усилие ее пружины может противостоять



**Рис. 4.24. Устройство форсунки с пьезоклапаном:**

1 – пьезоэлемент; 2 – подвод топлива под высоким давлением; 3 – сливной канал; 4 – управляющий клапан; 5 – поршень мультипликатора; 6 – пружина форсунки; 7 – игла распылителя; 8 – управляющая полость; 9 – толкатель управляющего клапана; 10 – рычаг привода управляющего клапана

только давлению не более 10 МПа. Но этого достаточно, чтобы удерживать форсунку в закрытом состоянии после остановки двигателя и предотвращать проникновение газов в форсунку из камеры сгорания при пуске двигателя.

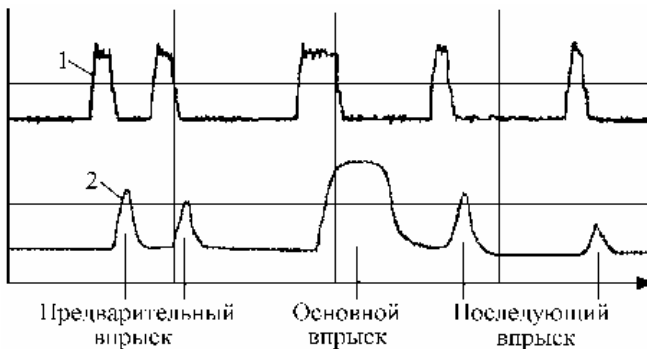
Скорость работы пьезокристаллического привода превышает скорость работы электромагнитного клапана в 4 раза.

Кроме того, применение пьезотехнологии позволяет снизить подвижную массу, связанную с иглой распылителя, на 75 % по сравнению с электромагнитными форсунками.

Это обеспечивает системе следующие преимущества:

- очень малое время переключения;
- возможность реализаций нескольких впрыскиваний в одном рабочем такте (см. рис. 4.22, 4.24);
- точная дозировка количества впрыскиваемого топлива.

Несмотря на высокое быстродействие пьезоэлементов система фирмы Siemens работает по упрощенной программе с одним предварительным и одним основным впрыскиваниями топлива, причем при  $3000 \text{ мин}^{-1}$  предварительное впрыскивание отсутствует. Но эти функции выполняются и форсунками с электромагнитным клапаном. Единственным преимуществом пьезоэлектрических форсунок в данном случае является



**Рис. 4.25. Изменение параметров при впрыскивании:**

1 – управляющее напряжение; 2 – впрыскивание (мгновенный расход топлива)

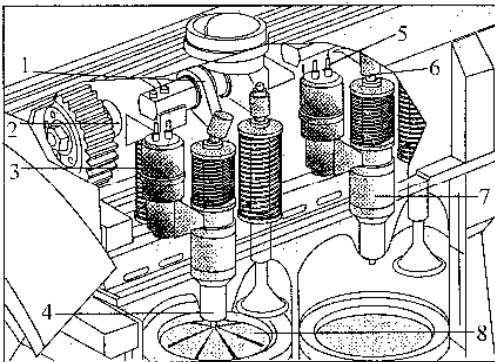
приближение предварительного впрыскивания к основному. При осуществлении предварительного впрыскивания (см. рис. 4.22, 4.24) повышается плавность роста нагрузки, снижается шум двигателя, а послевпрыск позволяет повысить экологические качества двигателя (рис. 4.25).

#### 4.2.3.3. Система с насос-форсунками

Насос-форсунка подает топливо в камеру сгорания в момент, определяемый блоком управления, в нужном объеме и под требуемым давлением, на всех режимах работы дизеля. Благодаря компактности и универсальности конструкции агрегата применение магистралей высокого давления не требуется, что улучшает протекание процесса впрыскивания.

Система с насос-форсунками UIS (Unit Injector System) относится к так называемым индивидуальным системам и конструктивно представляет собой отдельный ТНВД, объединенный с форсункой, на каждый цилиндр двигателя с приводом непосредственно от распределительного вала. Конструкция UIS системы выглядит следующим образом (рис. 4.26) [12, 22]:

- насос форсунка установлена в головке блока двигателя над каждым цилиндром;
- распылитель форсунки 4 находится в камере сгорания 8;
- распределительный вал двигателя 2 имеет по кулачку привода на каждую насос-форсунку;
- момент подачи и цикловая подача топлива регулируются с помощью электромагнитного клапана 3 насос-форсунки.



**Рис. 4.26. Компоненка на двигателе системы с насос-форсунками UIS:**

1 – коромысло привода UIS; 2 – распределительный вал двигателя; 3 – электромагнитный клапан UIS; 4 – распылитель UIS; 5 – разъем подключения UIS; 6 – плунжер UIS; 7 – корпус UIS; 8 – камера сгорания двигателя

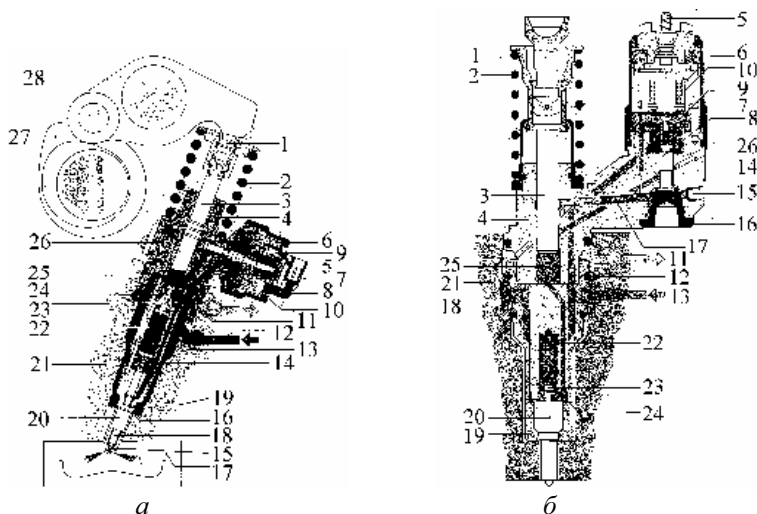
Подъем каждого кулачка передается через коромысло 1 на плунжер насоса, совершающий при этом возвратно-поступательные движения (рис. 4.27) [10].

Помимо регулирования при помощи электромагнитного клапана, момент начала впрыскивания и величина цикловой подачи зависят от реальной скорости движения плунжера, которая определяется формой кулачка. Нагрузки, возникающие при работе механизма подачи топлива, приводят к возникновению крутильных колебаний распределительного вала, что негативно отражается на характеристиках

впрыскивания и межцикловой стабильности. Для снижения этих колебаний действительно необходимо исполнение усиленного механизма подачи топлива, то есть привода распределительного вала, самого вала (который обычно

усиливают на кручение), коромысел и их опор.

Такая конструкция обеспечивает высокий гидравлический КПД, давление до 200 МПа и, соответственно, низкий удельный расход топлива, хорошие экологические характеристики и высокий крутящий момент. Единственным существенным недостатком системы UIS является высокая пульсирующая нагрузка на привод распределительного вала, так, например, аналогичная нагрузка в системе UPS (Unit Pump System) на порядок ниже.



**Рис. 4.27. Конструкция насос-форсунок для легкового (а) и грузового (б) автомобилей:**

*а:* 1 – сферический наконечник; 2 – возвратная пружина; 3 – плунжер насос-форсунки; 4 – корпус насос-форсунки; 5 – штекер подачи напряжения; 6 – сердечник электромагнита; 7 – выравнивающая пружина; 8 – игла клапана; 9 – якорь электромагнита; 10 – катушка электромагнита; 11 – канал обратного слива топлива (контур низкого давления); 12 – уплотнение; 13 – отверстия подвода топлива (примерно 350 прожженных лазером отверстий, служащих фильтром); 14 – гидравлический упор (демпфирующий элемент); 15 – седло иглы распылителя; 16 – уплотнительная шайба; 17 – камера сгорания двигателя; 18 – игла распылителя; 19 – гайка распылителя; 20 – распылитель в сборе; 21 – головка блока цилиндров; 22 – пружина распылителя; 23 – плунжер аккумулятора (уравнивающий поршень); 24 – аккумулирующий объем; 25 – камера высокого давления (в плунжерной паре); 26 – пружина электромагнитного клапана; 27 – кулачковый вал привода насос-форсунок; 28 – коромысло с роликовым приводом;

*б:* 1 – сферический наконечник; 2 – возвратная пружина; 3 – плунжер насос-форсунки; 4 – корпус насос-форсунки; 5 – штекер подачи напряжения; 6 – сердечник электромагнита; 7 – накидная гайка электромагнита; 8 – игла клапана; 9 – якорь электромагнита; 10 – катушка электромагнита; 11 – канал обратного слива топлива (контур низкого давления); 12 – уплотнение; 13 – канал подвода топлива; 14 – полость низкого давления; 15 – заглушка канала низкого давления; 16 – упор иглы клапана; 17 – дроссель; 18 – стакан пружины распылителя; 19 – гайка распылителя; 20 – распылитель в сборе; 21 – головка блока цилиндров; 22 – пружина распылителя; 23 – грибок иглы распылителя; 24 – проставка; 25 – камера высокого давления (в плунжерной паре); 26 – пружина электромагнитного клапана

Система с насос-форсунками работает следующим образом [12]:

- топливо подается из бака электрическим насосом под давлением 0,1...0,15 МПа на вход механического шибберного насоса, приводимого распределительным валом. Насос создает в магистрали низкого давления насос-форсунок необходимое рабочее давление (от 0,3 МПа на холостом ходу до 0,75 МПа на максимальной частоте вращения коленчатого вала двигателя);
- плунжер насос-форсунки, приводимый коромыслом распределительного вала, создает высокое давление в распылителе в момент включения электромагнитного клапана. Моментом впрыска и количеством цикловой подачи топлива управляет ЭСУД;
- высокое давление развивается насос-форсунками непосредственно в зоне впрыска топлива в камеру сгорания. Из-за очень короткого топливного канала инерция в создании необходимого давления отсутствует, что и обеспечивает возможность достижения пиковых значений давления топлива до 200 МПа;
- очень малое время подачи, характерное для системы UIS, приводит к повышенной шумности работы двигателя и увеличению выброса оксидов азота в отработавших газах. Для борьбы с этими явлениями используется предварительное впрыскивание топлива;
- ЭСУД, интегрированная в общую систему управления автомобиля, обеспечивает выполнение функций управления рециркуляцией отработавших газов, давлением наддува, защитой от несанкционированного запуска двигателя, обмен данными с системой управления трансмиссией, кондиционером и другими системами автомобиля.

Рассмотрим диагностику компонентов ЭСУД «Bosch EDC 15P» на примере автомобиля Volkswagen Passat 1,9D TDI PD 2001...2004 г.г. выпуска [12].

Двигатель этой конструкции оснащен системой UIS P1, относящейся к так называемым индивидуальным системам с управлением по времени с помощью встроенного электромагнитного клапана. Максимальная цикловая подача в UIS P1 составляет около 60 мм<sup>3</sup> при максимальном давлении впрыскивания около 205 МПа, что обеспечивает максимальную цилиндковую мощность около 25 кВт. ЭСУД «Bosch EDG 15P», управляя закрытием электромагнитного клапана UIS, определяет момент начала впрыскивания и величину цикловой подачи топлива.

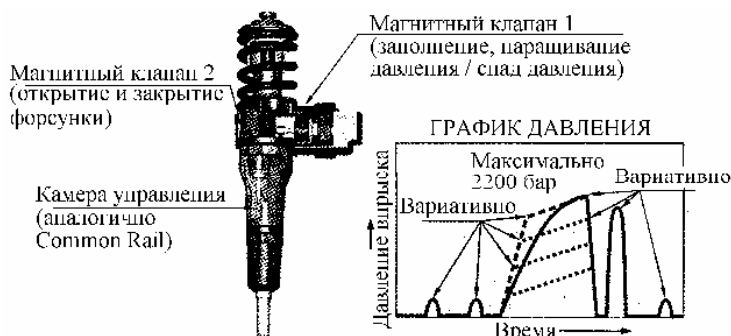
Используя данные необходимых датчиков, ЭСУД выбирает оптимальные значения величины цикловой подачи и момента начала подачи топлива, управляет системой рециркуляции отработавших газов, временем включения пусковых свечей накаливания.

Кроме того, ЭСУД «Bosch EDC 15P» имеет интегрированную систему самодиагностики, поддерживающую протоколы OBD-II и производителя.

В управляющей программе ЭСУД «Bosch EDC 15P» предусмотрены режимы защиты двигателя при отказах компонентов системы управления. Так, при выходе из строя различных датчиков (температуры, позиции педали акселератора, измерителя расхода воздуха) или при низком давлении

наддува отключается режим полной подачи топлива или фиксированно устанавливается режим холостого хода. При появлении таких неисправностей, как отказ одной или нескольких форсунок, выход из строя датчиков работа двигателя блокируется ЭСУД.

Система с насос-форсунками (рис. 4.28) устанавливается на трех- и четырехцилиндровых двигателях Volkswagen и ряде других автомобилей. Компоненты системы впрыскивания топлива дизельных двигателей с насос-форсунками PDE показаны на рис. 4.29.



**Рис. 4.28. Насос-форсунка с двумя магнитными клапанами**

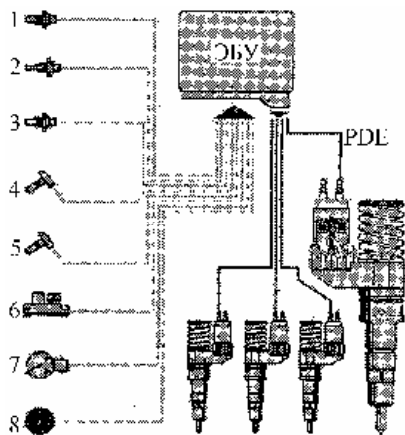
При эксплуатации автомобиля система с насос-форсунками по сравнению с аккумуляторной системой работает с большими давлениями впрыскивания (см. рис. 4.28), благодаря чему имеет некоторое преимущество по расходу топлива. В третьем и четвертом поколении насос-форсунок достигнуто более глубокое изменение давления топлива.

Появившееся несколько лет тому назад третье поколение системы Common Rail с пьезоэлектрическими форсунками и максимальным давлением впрыска 160 МПа последовательно модернизируется. С 2006 года серийно выпускается вариант с давлением 180 МПа, с 2007 года – 200...220 МПа.

В 2008 году появилось четвертое поколение Common Rail. В этой системе применяются дизельные форсунки HADI (Hydraulically Amplified Diesel Injector) с гидравлическим усилителем. Он работает с передаточным поршнем, который увеличивает давление в системе до 250 МПа. Проще говоря, данную систему можно сравнить с насос-форсункой. Благодаря специальной геометрической форме топливо впрыскивается в камеру сгорания не резко, а с увеличивающимся давлением. Благодаря улучшению процесса впрыска предотвращается неполное сгорание, уменьшаются выбросы вредных веществ и шума от сгорания. С форсунками HADI, естественно, также возможен многократный впрыск. В качестве управляющего элемента применяется заново разработанный быстродействующий магнитный клапан. Если давление в системе снизить до 130 МПа, то можно повысить общий КПД системы.

Система насос-форсунка для применения в легковых автомобилях

имеет большое будущее. Фирма Bosch разработала третье и уже четвертое поколение системы, которое позволяет достигать давления впрыска 300 МПа.



**Рис. 4.29. Основные компоненты системы впрыска топлива дизельных двигателей с насос-форсунками PDE:**

- 1 – температура топлива; 2 – температура охлаждающей жидкости;
- 3 – температура воздуха; 4 – частота вращения коленчатого вала; 5 – частота вращения распределительного вала; 6 – давление в топливной системе; 7 – положение педали;
- 8 – скорость автомобиля

В новой конструкции Bosch применяется два магнитных клапана: один управляет изменением давления, другой – открытием и закрытием иглы форсунки, аналогично управляющему клапану форсунки Common Rail. Таким образом, процесс топливоподачи может быть выполнен значительно более гибким. С пятью вариативными впрысками на цикл данная система по гибкости приближается к третьему и четвертому поколению Common Rail.

Четвертое поколение систем впрыска Common Rail: давление в системе 135 МПа, при усилении давления примерно до 1:2 давление впрыскивания достигает 250 МПа.

Специалисты Bosch разработали новый блок управления EDC 17. Так, с помощью корректировки волны давления можно компенсировать комплексные переменные воздействия, например, между колебаниями давления в сферическом трубопроводе (Rail) и количеством впрыскиваемого топлива. Электроника на основании сигналов частоты вращения анализирует параметры впрыскивания в каждом цилиндре и в случае необходимости регулирует их.

Время предварительного дозирования может в десятки раз превосходить длительность впрыскивания в цилиндр, позволяя повысить точность электронного дозирования при использовании электрических управляющих клапанов низкого быстродействия. Вместе с тем растут и длительность включенного состояния электромеханических преобразователей, и запаздывание управления подачей (почти до двух оборотов четырехтактного двигателя). Поэтому электрогидравлические насос-форсунки предварительного дозирования не нашли широкого применения.

В целом электрогидравлические насос-форсунки сложны конструктивно. Для их работы необходимо увеличение производительности насоса среднего давления по сравнению с подачей в цилиндр соответственно коэффициенту мультипликации. Сброс в бак отработанного в приводе большого объема нагретшегося при сжатии топлива требует установки на автомобиль холодильника топлива. Управление формой характеристики впры-

скивания ограничено. Давление впрыскивания зависит от продолжительности подачи.

Однако возможность независимого управления давлением топлива на входе в насос-форсунку, а следовательно, и давлением впрыскивания существенно расширяет функции гидроприводных ЭТС с электрогидравлическими насос-форсунками. А по возможностям повышения давления впрыскивания они пока не имеют себе равных. Гидроприводные ЭТС уступают только ЭТС с аккумуляторами высокого давления по управляемости характеристик впрыскивания. В то же время по конструктивным характеристикам они несколько превосходят аккумуляторные ЭТС.

Фирма Bosch продвигает работы по совершенствованию насос-форсунок. Их также предполагается оснащать двухигольными распылителями. Первые же опыты с этими насос-форсунками показали возможность снижения выбросов частиц и оксидов азота на 25...40 %. В то время как фирма Siemens разрабатывает пьезоэлектрические клапаны управления насос-форсунками, фирма Bosch по-прежнему применяет более дешевые электромагнитные клапаны. Специалисты фирмы утверждают, что пьезоэлектрические клапаны имеют явное преимущество только при их размещении внутри форсунки, а в данном случае это исключено ввиду особенностей ее конструкции.

#### **4.2.4. Системы управления дизельным двигателем**

##### **4.2.4.1. Системы и компоненты впрыска топлива**

Системы управления дизельным двигателем имеют много общего с системами управления бензиновым двигателем. У них отличаются, прежде всего, системы непосредственного впрыска топлива.

Использование простейших электромеханических форсунок для впрыскивания жидкого топлива в цилиндры дизельных двигателей, где требуются все более высокие давления впрыскивания, пока затруднено из-за отсутствия освоенных в серийном производстве электрических приводов с необходимыми ходом, перестановочными силами и быстродействием.

Системы впрыска существующих дизельных двигателей отличаются между собой, главным образом, составными частями топливного насоса высокого давления (ТНВД), регуляторами давления, конструкцией форсунок, механизмом создания высокого давления. Для этого в системе впрыска используется топливный насос высокого давления.

Существуют следующие системы впрыска для дизельного двигателя:

- система с рядным ТНВД;
- система с распределительным ТНВД;
- система с индивидуальными ТНВД;
- система Common Rail.

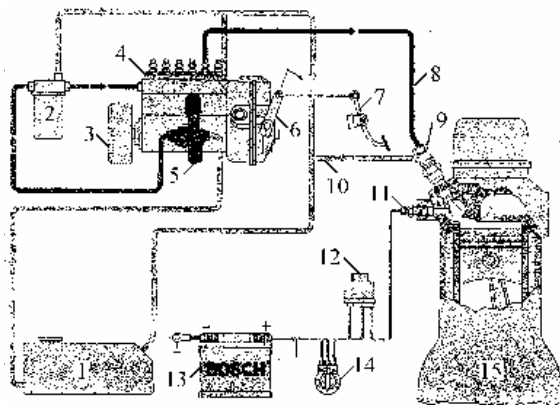
Системы впрыска со стандартным рядным ТНВД с механическим регулятором частоты вращения и с электронным управлением представлены на рис. 4.30, 4.31.

Наряду с рядным ТНВД система впрыска дизельного топлива

(см. рис. 4.30, 4.31) содержит:

- топливоподкачивающий насос для подачи топлива из бака через систему фильтров к ТНВД;
- механическую или электронную систему регулирования частоты вращения коленчатого вала и количества впрыскиваемого топлива;
- механизм изменения угла опережения впрыскивания в зависимости от частоты вращения коленчатого вала (дополнительное оборудование);
- соответствующее числу цилиндров количество магистралей высокого давления;
- соответствующее числу цилиндров количество форсунок.

Для безупречной работы дизеля все узлы системы впрыска должны быть согласованы друг с другом.



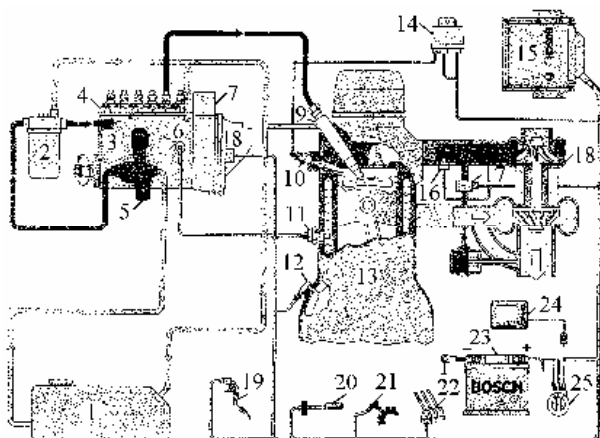
**Рис. 4.30. Система впрыска со стандартным рядным ТНВД и механическим регулятором частоты вращения коленчатого вала:**

1 – топливный бак; 2 – фильтр тонкой очистки топлива с перепускным клапаном (дополнительное оборудование); 3 – устройство установки угла опережения впрыскивания топлива; 4 – рядный ТНВД; 5 – топливоподкачивающий насос; 6 – регулятор частоты вращения коленчатого вала; 7 – педаль акселератора; 8 – магистраль высокого давления; 9 – форсунка в сборе; 10 – магистраль обратного слива топлива; 11 – штифтовая свеча накаливания; 12 – устройство для регулирования времени включения свечей накаливания; 13 – аккумуляторная батарея; 14 – выключатель свечей накаливания и стартера; 15 – дизель с разделенными камерами сгорания

**Электронный регулятор.** При применении электронного регулятора на педали акселератора размещается датчик, который связан с электронным блоком управления. Датчик определяет положение педали и с учетом реальной частоты вращения коленчатого вала задает исполнительному механизму параметры определенного положения рейки ТНВД.

Электронный регулятор выполняет существенно более обширные задачи, чем механический. Благодаря использованию электрических сигналов, гибкой электронной обработке данных и контуров регулирования с электрическими исполнительными механизмами, электронный регулятор позво-

ляет осуществлять расширенную оценку влияющих факторов, которые не могли учитываться при использовании механического регулятора.



**Рис. 4.31. Система впрыска топлива с электронным управлением рядным ТНВД с дополнительной втулкой:**

1 – топливный бак; 2 – фильтр тонкой очистки топлива; 3 – электромагнитный запирающий клапан; 4 – рядный ТНВД; 5 – топливоподкачивающий насос; 6 – датчик температуры топлива; 7 – исполнительный механизм изменения момента начала подачи топлива; 8 – исполнительный механизм изменения величины цикловой подачи топлива с датчиками частоты вращения коленчатого вала и положения рейки ТНВД; 9 – форсунка; 10 – штифтовая свеча накаливания; 11 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 12 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 13 – дизель с непосредственным впрыском топлива; 14 – устройство для регулирования времени включения свечи накаливания; 15 – блок управления работой дизеля; 16 – датчик температуры воздуха на впуске; 17 – датчик давления наддува; 18 – турбокомпрессор; 19 – датчик положения педали акселератора; 20 – разъем электрического соединения с другими системами автомобиля; 21 – тахограф (датчик скорости движения автомобиля); 22 – датчики на педалях сцепления и тормоза; 23 – аккумуляторная батарея; 24 – диагностический монитор; 25 – выключатель свечей накаливания и стартера двигателя

Компоненты систем электронного управления двигателем (EDC) приведены на рис. 4.32. Они позволяют осуществлять:

- регулирование скорости автомобиля;
- коррекцию подачи топлива в зависимости от:
  - температуры двигателя
  - температуры топлива
  - температуры воздуха
- активное подавление рывков;
- регулирование равномерности работы двигателя;
- исключение аварийных режимов;
- регулирование системы рециркуляции отработавших газов;
- регулирование давления наддува;
- регулирование момента впрыска;

- самодиагностику;
- регулирование стартовой подачи в зависимости от температуры воздуха.

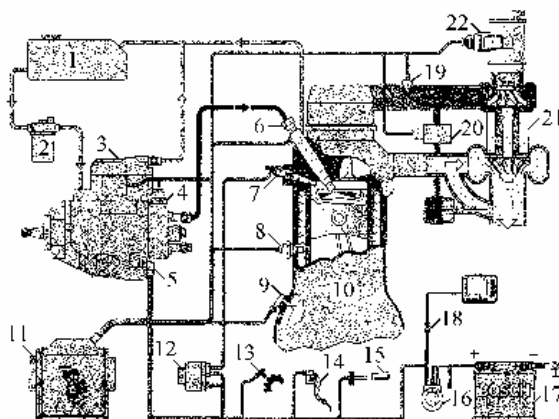


**Рис. 4.32. Компоненты системы EDC дизельного двигателя**

На рис. 4.33 показаны агрегаты системы впрыска, собранной на основе распределительного ТНВД с аксиальным движением плунжера, работа которой регулируется электронным блоком управления. В зависимости от вида установки и типа автомобиля отдельные компоненты могут отсутствовать. Система состоит из четырех элементов:

- контур снабжения топливом (магистраль низкого давления);
- ТНВД;
- электронная система регулирования работы дизеля с системными блоками датчиков, блоком управления и исполнительными механизмами;
- периферия (например, турбоагнетатель, системы рециркуляции ОГ и управления временем работы свечей накаливания).

**Системы управления с электромагнитным клапаном** обеспечивают большую гибкость при дозировании топлива и изменении момента начала впрыскивания, чем системы с управлением регулирующей кромкой. Они делают возможными также предварительное впрыскивание для уменьшения шума и коррекцию равномерности цикловой подачи по цилиндрам.



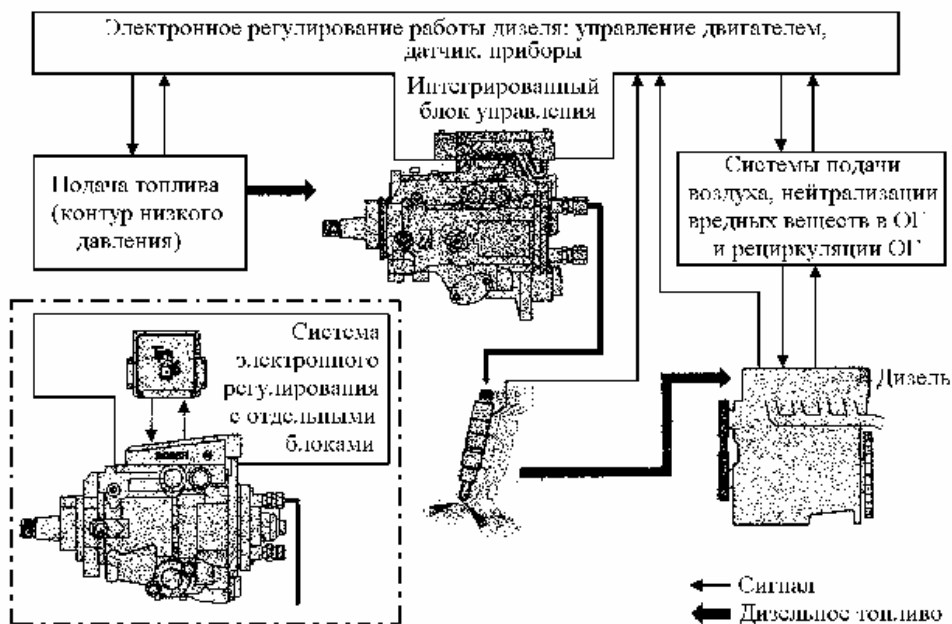
**Рис. 4.33. Компоненты системы дизельного впрыска с использованием ТНВД типа VE:**

1 – топливный бак; 2 – топливный фильтр; 3 – распределительный ТНВД с исполнительным электромагнитным механизмом и датчиками; 4 – электромагнитный останочный клапан; 5 – электромагнитный клапан опережения впрыскивания; 6 – форсунка с датчиком хода иглы (как правило в первом цилиндре); 7 – штифтовая свеча накаливания; 8 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 9 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 10 – дизель с непосредственным впрыском топлива; 11 – блок управления работой дизеля; 12 – блок управления временем включения свечей накаливания; 13 – датчик скорости автомобиля; 14 – датчик положения педали акселератора; 15 – дополнительные элементы регулятора скорости автомобиля; 16 – выключатель свечей накаливания и стартера; 17 – аккумуляторная батарея; 18 – штекер подключения системы диагностики; 19 – датчик температуры воздуха; 20 – датчик давления наддува; 21 – турбонагнетатель; 22 – датчик массового расхода воздуха

Подобные системы состоят из четырех элементов (рис. 4.34):

- контур снабжения топливом (магистрالی низкого давления);
- контур высокого давления со всеми компонентами системы впрыска;
- контур электронного регулирования работы дизеля с системными блоками датчиков, блоком управления и исполнительными механизмами;
- системы управления подачей воздуха, нейтрализации вредных веществ в ОГ и рециркуляции ОГ.

На рис. 4.35 показан пример общей схемы управления системой впрыска для четырехцилиндрового дизеля с непосредственным впрыском топлива в камеру сгорания, включая различные компоненты системы. Управление распределительным радиальным ТНВД модели VR осуществляется единым блоком управления двигателем и ТНВД. В зависимости от комплектации и типа автомобиля некоторые узлы могут не применяться. Чтобы получить более наглядное представление о системе, датчики и элементы исполнительных механизмов (А) расположены на схеме не на своих конструктивных местах, а собраны в единую группу. Исключение составляет датчик 21 хода иглы форсунки [16].



**Рис. 4.34. Схема использования в дизелях распределительных ТНВД, управляемых электромагнитным клапаном**

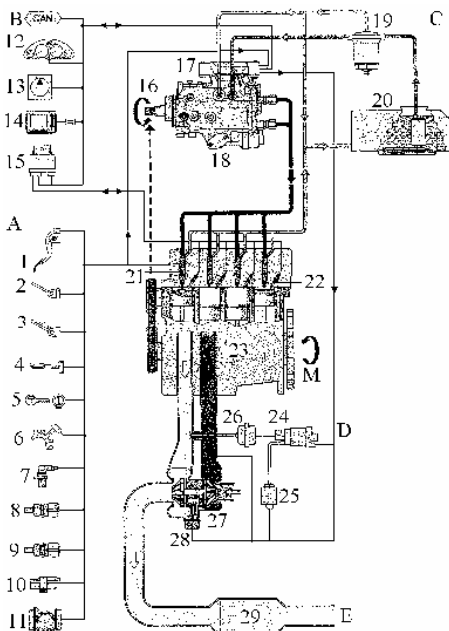
Благодаря использованию бортового контроллера связи CAN, помещенного в группу «приборы» (В), стал возможен обмен данными между такими различными системами и агрегатами, как:

- стартер;
- генератор;
- система электронной остановки автомобиля;
- система управления автоматической коробкой передач;
- противобуксовочная система;
- электронная программа стабилизации.

Панель приборов 12 и кондиционер 13 могут быть также подключены через бортовой контроллер связи.

#### **4.2.4.2. Функциональные возможности систем управления двигателем**

Для эффективной работы дизеля важно, чтобы в его цилиндры впрыскивалось нужное количество топлива в нужный момент. Даже небольшое отклонение от нормы этих параметров впрыска (из-за неисправностей системы) приводит к возрастанию вредных выбросов, к повышенному шуму и снижению топливной экономичности. Процесс впрыска в дизеле происходит за тысячные доли секунды, тогда как количество введенного топлива должно быть выдержано очень точно.



**Рис. 4.35. Система впрыска для дизеля с распределительным ТНВД модели VP 44 с управлением электромагнитным клапаном и единым блоком управления PSG 16 для двигателя и ТНВД:**

А – датчики и исполнительные механизмы: 1 – датчик хода педали акселератора; 2 – механизм выключения сцепления; 3 – контакты тормозных колодок (2); 4 – элементы регулятора скорости автомобиля; 5 – выключатель свечей накаливания и стартера; 6 – датчик скорости автомобиля; 7 – индуктивный датчик частоты вращения коленчатого вала; 8 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 9 – датчик температуры воздуха на впуске; 10 – датчик давления наддува; 11 – плечевой датчик массового расхода воздуха на впуске; В – приборы: 12 – комбинированная панель приборов с отображением сигналов по расходу топлива, частоте вращения и т. п.; 13 – кондиционер с системой управления; 14 – диагностический монитор; 15 – блок

управления временем включения свечей накаливания; двигатель, блок управления двигателем и ТНВД и узлы контура высокого давления системы впрыска: 16 – привод ТНВД; 17 – единый блок PSG 16 управления двигателем и ТНВД; 18 – распределительный ТНВД модели VP 44; 21 – датчик хода иглы форсунки (первый цилиндр); 22 – штифтовая свеча накаливания; 23 – дизель с непосредственным впрыском топлива; М – крутящий момент; CAN (Controller Area Network) – бортовой контроллер связи; С – система подачи топлива (контур низкого давления): 19 – топливный фильтр с перепускным клапаном; 20 – топливный бак с фильтром грубой очистки и топливоподкачивающим насосом (только при магистралях большой протяженности или большой разнице между уровнями топливного бака и ТНВД); D – система подачи воздуха: 24 – механизм подачи ОГ с клапаном рециркуляции ОГ; 25 – вакуумный насос; 26 – регулирующая заслонка; 27 – турбоагнетатель (здесь с изменяемой геометрией турбины); 28 – исполнительный механизм изменения давления наддува; E – система нейтрализации вредных веществ в ОГ: 29 – нейтрализатор вредных веществ в ОГ

Существует четыре вида характеристик впрыскивания: трапециевидной, прямоугольной формы и двухфазное впрыскивание двух видов. Форма характеристики устанавливается микроконтроллером в соответствии с режимом работы двигателя. Смена форм характеристики впрыскивания обеспечивает уменьшение выбросов  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CH}$ , снижает шум, а также улучшает топливную экономичность двигателя.

Прямоугольная форма с постоянным высоким давлением впрыскивания обеспечивает получение максимальных значений среднего эффективного давления. При двухфазном впрыскивании микроконтроллер устанавливает для каждой фазы продолжительность и давление впрыскивания (то есть и величину подачи). Повышение устойчивости малых подач достигается в электрогидравлических насос-форсунках предварительным дозированием.

Окончание подачи топлива осуществляется нормально закрытым затвором на плунжере при выходе его в заданное крайнее положение, а величина подачи задается временем заполнения камеры под плунжером при взведении мультипликатора в паузах между впрыскиваниями.

Требования снижения расхода топлива и эмиссии вредных веществ с ОГ вместе с повышением мощности и крутящего момента являются решающими факторами, которые стоят за современным развитием топливных систем дизелей.

Это привело к высоким требованиям, предъявляемым к дизельным топливным системам и их управлению, а именно:

- высокое давление впрыскивания, которое улучшает процесс образования топливовоздушной смеси и обеспечивает более полное сгорание топлива;
- формирование необходимой характеристики впрыскивания;
- регулируемый угол опережения впрыскивания;
- двухфазовое впрыскивание топлива с предварительным впрыскиванием, а также возможное дополнительное впрыскивание после основного;
- адаптация количества впрыскиваемого топлива (цикловая подача), давления наддува и угла опережения впрыскивания для данного рабочего режима;
- величина пусковой подачи в зависимости от температуры охлаждающей жидкости двигателя и окружающей среды;
- регулирование минимальной частоты вращения на холостом ходу;
- круиз-контроль;
- управление с обратной связью рециркуляции ОГ;
- жесткие допуски для цикловой подачи и угла опережения впрыскивания вместе с высокой точностью, которая должна поддерживаться на протяжении всего срока службы автомобиля.

Все возрастающие требования к системам регулирования дизелей привели к тому, что электронные системы управления прошли путь от простых систем с электромагнитным приводом, управляемого пусковым сигналом, до сложных систем с электронным блоком управления (ЭБУ), который способен обрабатывать множество сигналов в реальном времени.

Значительное увеличение вычислительных возможностей микропроцессоров сделало возможным осуществление электронного управления дизелями в соответствии с перечисленными ранее требованиями.

В отличие от управления автомобилем с дизелем, которые имеют обыкновенные рядные или распределительного типа ТНВД, водитель автомобиля с электронным управлением дизелем не может прямо влиять, например, через педаль акселератора с механическим приводом (трос Боудена), на величину подачи топлива. Наоборот, количество впрыскиваемого топлива определяется множеством рабочих параметров, например:

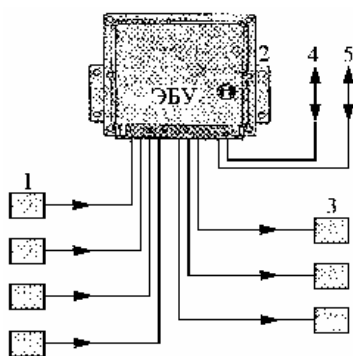
- входным сигналом от водителя (положение педали акселератора);
- рабочим режимом двигателя;
- температурой охлаждающей жидкости двигателя;

– эмиссией токсических компонентов и т. п.

Используя эти рабочие параметры (переменные), ЭБУ не только рассчитывает количество впрыскиваемого топлива, но может также изменять момент начала впрыска топлива (то есть угол опережения впрыска). Это значит, что может быть применен всесторонний защитный метод, при котором определяются отклонения параметров и в зависимости от их серьезности инициируются соответствующие контрмеры, например, ограничение крутящего момента или (в случае неисправности – аварийный режим работы) движение на режиме холостого хода. Таким образом, система электронного управления содержит определенное число контуров управления с обратной связью.

Система электронного управления дизелей позволяет также обмен данными с другими электронными системами автомобиля, например, с системой противобуксовывания (TCS), электронной системой управления трансмиссией или электронной системой курсовой устойчивости (ESP). Это значит, что управление двигателем может быть интегрировано в общую систему управления автомобилем, как, например, для уменьшения крутящего момента во время переключения передач в автоматической коробке передач, адаптации крутящего момента двигателя при проскальзывании колес, сигнала на разблокирование подачи топлива от иммобилайзера автомобиля и т. д.

Система электронного управления дизелем полностью интегрирована с диагностической системой автомобиля. Она сообщается с бортовой системой диагностики OBD и EOBD.



**Рис. 4.36. Основные компоненты системы электронного управления дизелем:**

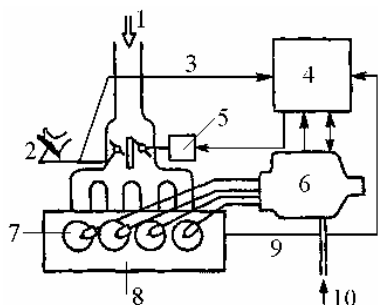
1 – датчики и генераторы импульсов; 2 – ЭБУ; 3 – исполнительные устройства (приводы); 4 – интерфейс с другими системами; 5 – диагностический интерфейс

Система электронного управления дизелем содержит три системных блока (рис. 4.36).

1. Датчики и генераторы импульсов для регистрации эксплуатационных условий (например, частоты вращения) и генерирования желаемых значений параметров (например, положение любого выключателя). Они преобразуют различные физические величины в электрические сигналы.

2. Электронный блок управления (2) обрабатывает информацию, полученную от датчиков и генераторов (1), в соответствии с данным алгоритмом управления. ЭБУ выдает управляющие сигналы на исполнительные устройства (3), а также устанавливает связь с другими системами автомобиля 4 и его диагностическим оборудованием 5 (см. рис. 4.36).

3. Электромагнитные исполнительные устройства (приводы) преобразуют



**Рис. 4.37. Комплексная электронная система управления дизельным двигателем:**

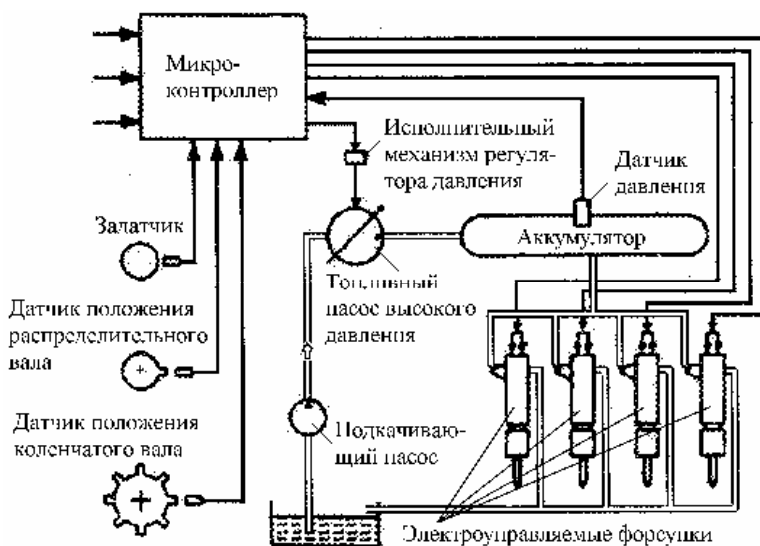
1 – воздух; 2 – датчик открытия дроссельной заслонки; 3 – степень открытия дроссельной заслонки; 4 – ЭБУ; 5 – исполнительное устройство; 6 – топливный насос высокого давления; 7 – форсунка впрыска топлива; 8 – двигатель; 9 – частота вращения коленчатого вала двигателя; 10 – топливо

электрические выходные сигналы ЭБУ в механические величины (например, для электромагнитного клапана управления подачей или другим электромагнитным приводом).

Система электронного управления дизельным двигателем контролирует количество впрыскиваемого топлива, момент начала впрыска, ток факельной свечи и т. п. На рис. 4.37 представлена система управления топливным насосом высокого давления, переделанная из механической в электронную.

На этом примере видно, что поскольку насос работает на принципах механики, данная система существенно отличается от электронной системы впрыска бензинового двигателя.

Схема топливной системы Common Rail приведена на рис. 4.36...4.39.



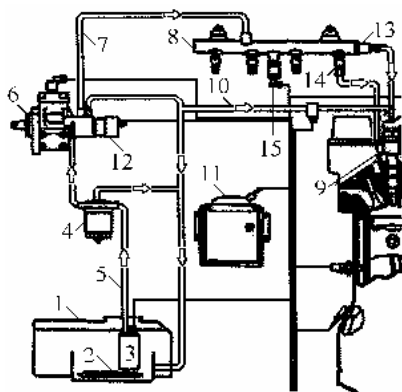
**Рис. 4.38. Схема аккумуляторной топливной системы высокого давления с электроуправляемыми форсунками**

Управление опережением и продолжительностью впрыскивания осуществляется изменением фазы и длительности электрического импульса, подаваемого микроконтроллером. Фаза управляющих импульсов устанавливается в соответствии с сигналами датчиков положения коленчатого и распределительного валов. Один из них используется обычно и в качестве

датчика частоты вращения. Оба датчика необходимы для определения тактов в очередных цилиндрах четырехтактных двигателей. Датчик положения коленчатого вала вообще нужен только для повышения точности управления опережением впрыскивания топлива. На определение положения поршня в цилиндре по положению распределительного и тем более кулачкового вала ТНВД влияют погрешности передач от коленчатого вала.

Давление впрыскивания устанавливается непрерывным регулированием давления в аккумуляторе по сигналам датчика давления за счет изменения, например, производительности ТНВД.

Более рационально использовать в аккумуляторных системах упрощенные и надежные нерегулируемые ТНВД. Фирма Bosch для регулирования давления использует (см. рис. 4.39) сброс части топлива из магистрали высокого давления [15].



**Рис. 4.39. Схема аккумуляторной топливной системы высокого давления фирмы Bosch:**

1 – топливный бак; 2 – предварительный фильтр топлива; 3 – электроприводной топливopодкачивающий насос; 4 – фильтр дополнительной очистки топлива; 5 – топливопроводы низкого давления; 6 – ТНВД; 7 – топливопроводы высокого давления; 8 – аккумулятор; 9 – электрогидравлическая форсунка; 10 – сливные топливопроводы; 11 – микроконтроллер; 12 – исполнительный электромагнитный клапан регулятора давления в аккумуляторе; 13 – клапан-ограничитель давления в аккумуляторе; 14 – ограничители подачи топлива в форсунки; 15 – датчик давления топлива в аккумуляторе

давления и импульсной мультипликацией в ТНВД, с гидравлическим при-

давлением поддерживается оптимальным для каждого режима работы двигателя автоматическим регулятором, программно реализованном в микропроцессоре.

Применительно к электронным топливным системам (ЭТС) высокого давления можно выделить следующие основные их классы **отличительных признаков** [15, 16]:

1. Импульсное питание форсунок от ТНВД с механическим приводом плунжеров, с непрерывным усредненным управлением впрыскиванием в ТНВД – ЭТС с непрерывно управляемыми ТНВД (непрерывно управляемые ЭТС).

2. Импульсное питание форсунок от ТНВД с механическим приводом плунжеров, с импульсным индивидуальным управлением продолжительностью и опережением впрыскивания в магистралях высокого давления или форсунках – механоприводные ЭТС.

3. Импульсное питание форсунок от ТНВД с пневматическим приводом плунжеров и импульсным индивидуальным управлением продолжительностью и опережением впрыскивания в магистралях высокого давления или форсунках – пневмоприводные ЭТС.

4. Непрерывное питание форсунок от аккумуляторов топлива среднего давления и импульсной мультипликацией в ТНВД, с гидравлическим при-

водом плунжеров, импульсным индивидуальным управлением продолжительностью и опережением впрыскивания в ТНВД и/или форсунках при непрерывном управлении давлением в магистралях среднего давления – гидрориводные ЭТС.

5. Непрерывное питание форсунок от аккумуляторов топлива высокого давления и импульсным индивидуальным управлением продолжительностью и опережением впрыскивания в форсунках при непрерывном управлении давлением в магистралях высокого давления – аккумуляторные ЭТС.

Подсистема высокого давления включает ТНВД, форсунки, трубки высокого давления, аккумулятор высокого давления. Форсунки связаны с аккумулятором короткими магистралями высокого давления.

Давление внутри аккумулятора измеряется датчиком давления топлива и ограничивается клапаном регулирования давления до некоторой максимально допустимой величины в зависимости от параметров системы впрыскивания. Через ограничитель расхода топлива, который дросселирует поток топлива, оно под давлением поступает к форсункам. Электрогидравлические форсунки, независимо от производителя, имеют одинаковый принцип. Чтобы осуществить впрыскивание, на электромагнитный клапан подается электрический импульс, после чего он открывает сливное отверстие специальной управляющей камеры. Так как в закрытом состоянии игла форсунки удерживается не пружиной как в классической топливной аппаратуре, а силой от давления топлива, действующей на шток-мультипликатор, то падение давления в управляющей камере приводит к перемещению мультипликатора и поднятию иглы форсунки.

**Функциональные возможности.** Во всех вариантах ЭТС наиболее важными являются те функциональные возможности, которые трудно или вообще не осуществимы в неэлектронных топливных системах. К их числу относятся [15]:

- раздельная управляемость величиной подачи, давлением, опережением, числом фаз, формой характеристики впрыскивания, числом работающих цилиндров (циклов), равномерностью нагрузки цилиндров, ограничением подачи;
- независимость давления впрыскивания от длительности и опережения впрыскивания;
- независимость опережения впрыскивания от длительности и давления впрыскивания;
- возможность сохранения работоспособности двигателя при отказах отдельных элементов.

Сложность адаптации ЭТС на двигателе определяется объемом и характером изменений, вводимых в другие агрегаты двигателя, что вызвано необходимостью размещения и работы ЭТС.

В непрерывно управляемых электронных топливных системах импульсным модулятором служит ТНВД, в котором осуществляется формирование гидравлических импульсов питания форсунок топливом и непрерывное усредненное управление параметрами этих импульсов. При этом в ТНВД сосредоточено все управление впрыскиванием, которое может выра-

жаться перемещением реек, определяющих величину, фазу и давление подачи топлива к обычным форсункам, или перемещением клапанов, изменяющих гидравлическое сопротивление на входе, выходе или в перепускных каналах насоса, и т. п.

В большинстве случаев для этого используются электромеханические преобразователи непрерывного действия, но применимы и преобразователи релейного действия, осуществляющие широтно-импульсную модуляцию. Гидравлическая часть такой топливной системы в большинстве случаев мало отличается от систем с механическим или гидравлическим управлением.

Управляющие воздействия на ТНВД формируются и осуществляются микроконтроллером на основе информации о заданной (через задатчик) и действительной (через датчик) частоте вращения, а также информации о состоянии двигателя и связанных с ним агрегатов и от других систем управления через электромеханические преобразователи, установленные в ТНВД.

В двигателях с искровым зажиганием: момент появления искры определяет начало процесса сгорания, в то время как в дизельных двигателях таким моментом является начало впрыска топлива. Целью управления впрыском является уменьшение количества вредных примесей в отработавших газах, дымность, вибрацию и шум, оптимизировать и стабилизировать частоту вращения коленчатого вала, на холостом ходу.

Система впрыска топлива дизельных двигателей выполняет следующие функции:

- измерение необходимого количества впрыскиваемого топлива;
- создание необходимого давления для системы впрыска топлива;
- впрыск топлива в определенный момент за определенный промежуток времени.

Аккумуляторная система содержит в себе контур низкого давления, контур высокого давления, систему электронной регулировки работы дизельного двигателя, датчики и исполнительные механизмы, системы подачи воздуха и отвода отработавших газов.

Давление впрыска создается и регулируется автономным ТНВД независимо от частоты вращения коленчатого вала и величины цикловой подачи. Впрыскивание осуществляется посредством форсунки, открытие и закрытие которой определяет электромагнитный клапан. Системы управления с электромагнитным клапаном обеспечивают большую гибкость при дозировании топлива и изменении момента начала впрыска, чем системы с управлением регулирующей рейкой. Из-за высокого давления в системе Common Rail топливо нагревается так сильно, что перед обратным сливом его следует охладить для защиты от перегрева. Для этого топливо пропускают через специальные радиаторы.

#### **4.2.4.3. Преимущества и недостатки электронных систем управле-**

## **ния двигателем**

Преимуществами применения электронной системы управления являются:

- точно определен момент начала впрыска;
- точное определение количества впрыскиваемого топлива;
- регулировка холостого хода независимо от нагрузки;
- управление рециркуляцией отработавших газов;
- регулирование принудительного холостого хода;
- передача информации о температуре двигателя, расходе топлива и других значениях с помощью шины передачи данных.

Благодаря последним разработкам в области технологии производства топливных систем можно обеспечить прямой впрыск, использовать общий топливный аккумулятор, многоступенчатый впрыск, работу турбонагнетателей различной геометрии. Система управления двигателем регулирует давление топлива, обеспечивает нужное опережение впрыска, контролирует работу системы рециркуляции газов и характеристики турбонагнетателя.

Для эффективной работы дизеля важно, чтобы в его цилиндры впрыскивалось нужное количество топлива в нужный момент. Многие системы управления дизелями работают совместно со штатными насосами рядного или распределительного типов, а цикловая подача топлива и опережение впрыска управляются не механически, а с помощью электроники. На автомобиле установлены многочисленные датчики, измеряющие различные переменные величины, такие как положение педали акселератора, обороты коленчатого вала, положение распределительного вала, массовый расход воздуха, поступающего в двигатель, давление в нагнетателе, температура охлаждающей жидкости, температура наружного воздуха и т. д.

Информация с многочисленных датчиков регистрируется электронным блоком управления (ЭБУ), который рассчитывает значения управляющих сигналов. В памяти ЭБУ хранятся карты значений цикловой подачи топлива и моментов начала впрыска. Выполнив ряд вычислений, основанных на показаниях датчиков, ЭБУ выбирает из карт наиболее подходящие значения цикловой подачи и момента начала впрыска. ЭБУ способен анализировать данные и выполнять вычисления много раз в секунду, обеспечивая очень точное управление двигателем в соответствии с режимом его работы.

ЭБУ адаптируется к изменениям рабочих характеристик двигателя, постоянно контролируя сигналы многочисленных датчиков. По мере износа двигателя и его деталей ЭБУ приспособливается к изменившимся характеристикам и корректирует исходные карты.

Давление впрыска топлива на современных автомобилях с компьютеризированным дизелем увеличено до 150 МПа при минимальном его отклонении на каждой из форсунок, что достигается использованием в системе общей для всех форсунок аккумулятора топлива. На некоторых автомобилях в качестве форсунок применяются впрыскиватели насос-форсунки, приводимые в действие от специальных кулачков на распределительном вале двигателя.

Несмотря на повышенную по сравнению с бензиновыми двигателями

дымность, дизель становится все популярнее. Новые, более совершенные системы впрыска и методы сгорания, устройства очистки отработавших газов делают дизель все более экологически чистым.

**Особенности систем с микропроцессорным управлением**, в качестве преимуществ по сравнению с аппаратурой топливоподачи традиционного типа:

- обеспечение гибкого регулирования цикловой подачи в соответствии с заданным скоростным режимом двигателя; обеспечение необходимой внешней скоростной характеристики (не обязательно жестко заданной);
- достижение минимальной неравномерности подачи топлива по цилиндрах или, наоборот, оптимальные неравномерность подачи и угол опережения впрыскивания для каждого цилиндра в соответствии с его особенностями конструкции, технологии изготовления и текущего технического состояния;
- оптимальное регулирование угла опережения впрыскивания в соответствии с режимом работы;
- автоматизация пуска, необходимое обогащение при пуске, выключение подачи топлива на принудительном холостом ходе, регулирование на переходных режимах;
- отключение цилиндров и циклов на частичных режимах;
- диагностирование датчиков и исполнительных устройств и компенсация вышедших из строя с помощью резервных программ.

Функции системы управления могут объединяться с управлением двигателем или транспортным средством.

Автоматическая система подачи топлива (АСПТ) с микропроцессорным управлением позволяет:

- получить низкий эксплуатационный расход топлива при достаточно высоких динамических показателях транспортного средства;
- организовать построение гидравлической схемы по модульному принципу при относительно простой конструкции отдельных узлов топливных аппаратур;
- обеспечить самостоятельное прокачивание системы в случае попадания воздуха при утрате герметичности;

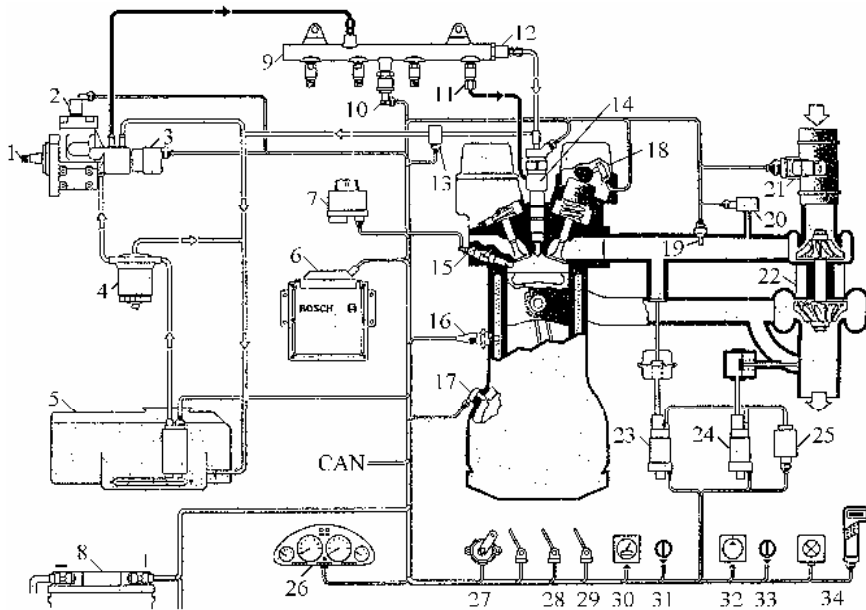
**Недостатки АСПТ:**

- высокая чувствительность к качеству фильтрации топлива;
- высокая чувствительность к наличию воды в топливе;
- пониженная надежность гидравлических узлов форсунки, из-за того, что вся система постоянно пребывает под высоким давлением, а также из-за усложнения ее конструкции;
- высокое сажеобразование вследствие специфики реализованного рабочего процесса.

#### 4.2.4.4. Размещение и взаимосвязь компонент систем управления

## двигателем

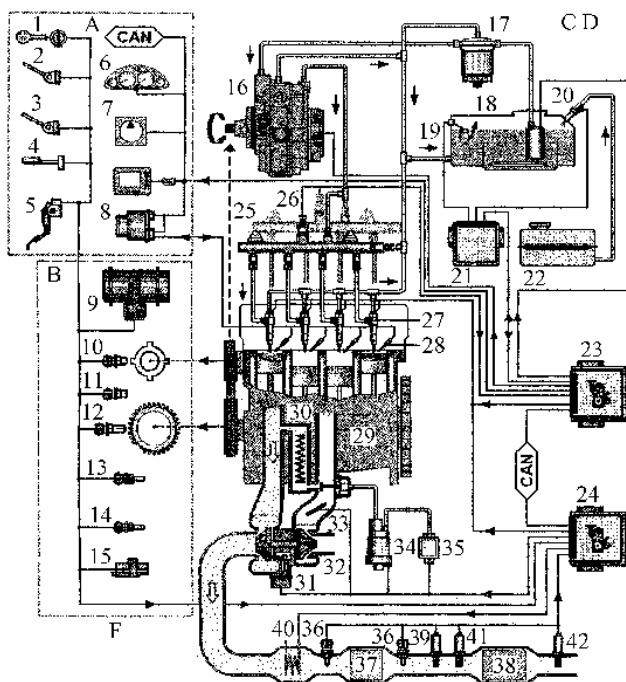
Взаимосвязь компонентов электронной топливной системы дизельного двигателя, оснащенного аккумуляторной топливоподачей, показана на рис. 4.40.



**Рис. 4.40. Система CR в составе быстроходного автомобильного дизеля:**

1 – ТНВД; 2 – впускной электроклапан; 3 – электроклапан перепуска на слив; 4 – фильтр тонкой очистки; 5 – бак, фильтр, электрический ТПН; 6 – блок управления; 7 – реле свечи; 8 – электроаккумулятор; 9 – гидроаккумулятор CR; 10 – датчик давления; 11 – аварийный ограничитель подачи; 12 – предохранительный клапан; 13 – датчик температуры топлива; 14 – электрогидравлическая форсунка; 15 – свеча накаливания; 16 – датчик температуры жидкости; 17 – датчик частоты и положения коленчатого вала; 18 – датчик такта дизеля; 19 – датчик температуры воздуха; 20 – датчик давления воздуха; 21 – расходомер воздуха; 22 – турбокомпрессор; 23 – регулятор рециркуляции отработавших газов; 24 – регулятор наддува; 25 – компрессор; 26 – панель приборов; 27 – педаль акселератора; 28, 29 – датчики трансмиссии, агрегатов и др.; 30 – датчик и указатель скорости; 31 – задатчик скорости; 32 – компрессор кондиционера; 33 – задатчик работы кондиционера; 34 – лампа и разъем диагностики

Комбинация аккумуляторной системы топливоподачи с микропроцессорным управлением, усиливая энергетические связи и расширяя информационные связи, создает важнейшие предпосылки для повышения удельной мощности, снижения расхода топлива, а также для уменьшения уровня шума и эмиссии отработавших газов. Взаимосвязь компонентов системы управления можно рассмотреть на примере схемы, приведенной на рис. 4.41.



**Рис. 4.41. Схема размещения компонентов системы управления дизелем**

На схеме выделены характерные зоны размещения компонентов [16].

Зона «А» на рис. 4.41 отображает элементы, расположенные на рабочем месте водителя: 1 – выключатель стартера и свечей накаливания; 2 – датчик-выключатель сцепления; 3 – контакты тормозов (2); 4 – установочный элемент регулятора скорости автомобиля; 5 – датчик положения педали акселератора; 6 – комбинированная панель приборов; 7 – панель управления компрессором кондиционера; 8 – диагностический монитор и таймер работы свечей накаливания; комбинированная панель приборов с выдачей сигналов о расходе топлива, частоты вращения коленчатого вала и др.; шина CAN (интерфейс межсистемного обмена).

В зоне «В» (см. рис. 4.41) сгруппированы датчики, расположенные на двигателе: 9 – пленочный измеритель массового расхода воздуха; 10 – датчик фазы; 11 – датчик скорости автомобиля; 12 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 13 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 14 – датчик температуры воздуха на впуске; 15 – датчик давления воздуха во впускном трубопроводе.

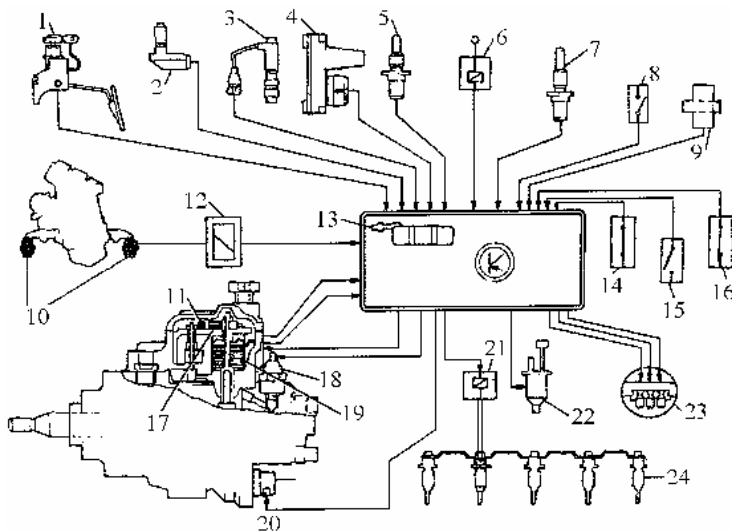
В зоне «С» (см. рис. 4.41) расположен контур низкого давления топливной системы: топливный фильтр с клапаном перепуска топливный бак с фильтром грубой очистки и топливоподкачивающим насосом; датчик уровня топлива.

Зона «D» (см. рис. 4.41) охватывает дополнительные системы: 20 – дополнительное дозирование; 21 – дополнительный (ведомый) контроллер;

22 – дополнительный бак.

Зона «Е» (см. рис. 4.41) обеспечивает снабжение воздухом: 30 – охладитель рециркуляционных отработавших газов; 31 – регулятор давления наддува; 32 – турбонагнетатель (здесь с изменяемой геометрией турбины VTG); 33 – регулирующая заслонка; 34 – исполнительный механизм рециркуляции отработавших газов; 35 – вакуумный насос.

В зоне «F» (см. рис. 4.41) происходит очистка отработавших газов: 36 – датчик температуры отработавших газов; 37 – нейтрализатор окисляющий; 38 – сажевый фильтр; 39 – датчик перепада давлений; 40 – подогреватель отработавших газов; 41 – датчик уровня  $\text{NO}_x$ ; 42 – широкополосный  $\lambda$ -зонд; 43 – нейтрализатор  $\text{NO}_x$  накопительного типа; 44 – двухрежимный  $\lambda$ -зонд; 45 – каталитический очистной сажевый фильтр.



**Рис. 4.42. Элементы системы электронного впрыска топлива, установленные на двигателе Audi 2,5 литра:**

1 – датчик положения педали акселератора; 2 – датчик скорости двигателя; 3 – форсунка с датчиком подъема иглы; 4 – датчик давления нагнетателя; 5 – датчик температуры нагнетаемого воздуха; 6 – реле подачи топлива; 7 – датчик температуры двигателя; 8 – выключатель кондиционера; 9 – датчик скорости автомобиля; 10 – электрогидравлические опоры двигателя; 11 – датчик температуры топлива; 12 – реле электрогидравлических опор двигателя; 13 – датчик атмосферного давления; 14 – датчик сцепления (круиз-контроль); 15 – датчик тормозной педали (круиз-контроль); 16 – выключатель стоп-сигнала; 17 – потенциометр перемещения управляющей втулки; 18 – клапан отсечки топлива; 19 – исполнительный механизм; 20 – электронное устройство опережения впрыска; 21 – реле свечей накаливания; 22 – золотник; 23 – диагностический разъем; 24 – свечи накаливания

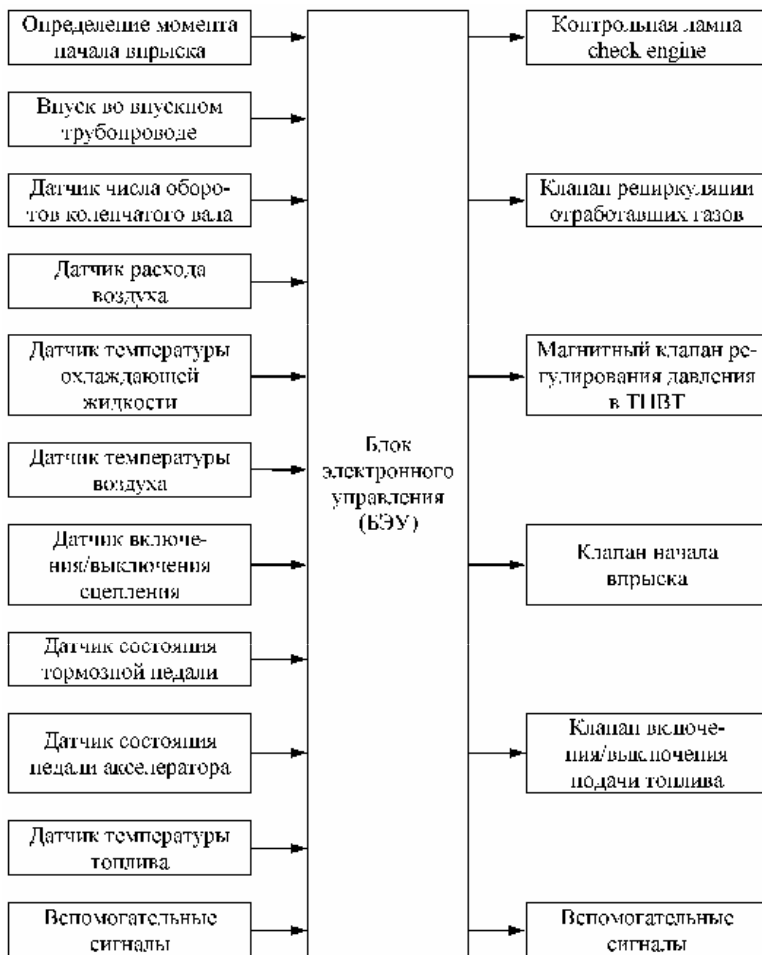
Двигатель, его система управления и агрегаты высокого давления представлены на рис. 4.41 таким образом: 16 – ТНВД; 23 – блок управления работой дизеля (ведущий контроллер); 24 – блок управления работой дизеля

(ведомый); 25 – топливный аккумулятор высокого давления; 26 – датчик давления топлива в аккумуляторе; 27 – электрогидравлическая форсунка; 28 – штифтовая свеча накаливания; 29 – дизель.

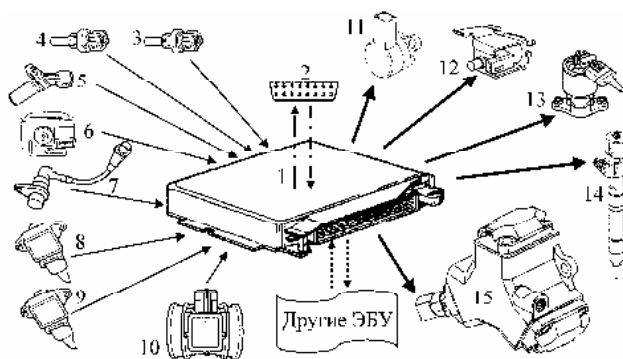
Элементы системы электронного впрыска топлива, установленной на двигателе Audi 2,5 литра, показаны на рис. 4.42.

Блок-схема типичной электронной системы управления дизельным двигателем приведена на рис. 4.43.

Принципиальная схема систем управления двигателем представлена на рис. 4.44. Здесь 3, 4 – датчики сигналов, 11...15 – исполнительные устройства. Другие ЭБУ – блок коробки передач, система АБС, система ЕСП, система круиз-контроля.



**Рис. 4.43. Блок-схема электронной системы управления дизельным двигателем**



**Рис. 4.44. Элементы системы управления двигателем:**

1 – ЭБУ; 2 – диагностический разъем; 3, 4 – датчики температуры воздуха и охлаждающей жидкости соответственно; 5 – датчик фазы; 6 – датчик давления наддува; 7 – датчик числа оборотов; 8, 9 – датчики положения педалей акселератора и тормоза соответственно; 10 – расходомер воздуха; 11 – регулятор давления топлива; 12 – клапан управления турбокомпрессором; 13 – клапан рециркуляции отработавших газов; 14 – форсунка; 15 – ТНВД

### 4.3. Компоненты системы регулирования температуры охлаждающей жидкости и дроссельной заслонки

Регулирование температуры охлаждающей жидкости позволяет привести ее в соответствие с режимами работы двигателя. Регулирование температуры осуществляется по данным входных параметров (рис. 4.45):

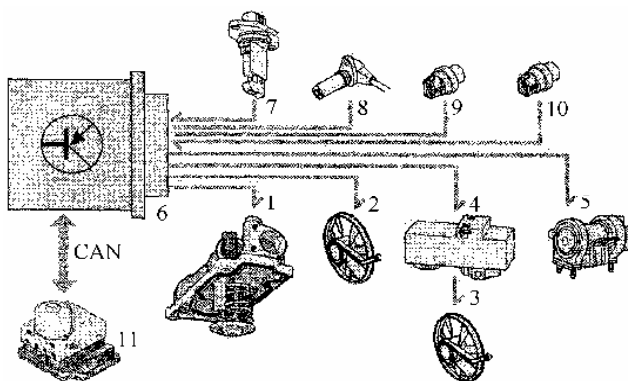
- частота вращения коленчатого вала;
- нагрузка двигателя – сигнал измерителя массового расхода воздуха;
- температура охлаждающей жидкости на выходе из двигателя;
- температура охлаждающей жидкости на выходе из радиатора;
- скорость автомобиля.

Если входные сигналы свидетельствуют о необходимости увеличения интенсивности охлаждения, блок управления двигателем подает команду на открытие термостата в соответствии с многопараметровой характеристикой. При этом начинает действовать большой контур системы охлаждения. Дальнейшее усиление охлаждения двигателя происходит в результате включения обоих вентиляторов и регулирования их в соответствии с многопараметровой характеристикой. При этом включение дополнительного вентилятора осуществляется посредством отдельного блока управления.

Положение дроссельной заслонки определяет степень открытия воздухопропускного канала (отверстия). Это позволяет управлять расходом воздуха, поступающего в цилиндры.

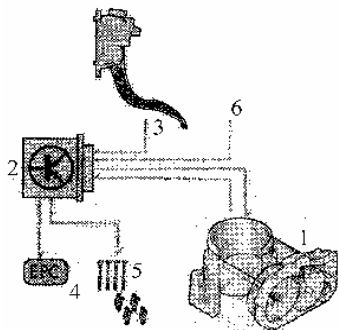
**Управление дроссельной заслонкой** осуществляется по данным основных входных сигналов с модуля педали акселерометра (рис. 4.46) и дополнительных сигналов (6):

- сигналы с системы регулирования скорости;
- сигналы с системы кондиционирования;



**Рис. 4.45. Компоненты регулирования температуры охлаждающей жидкости двигателя:**

1 – термостат регулирования системы охлаждения в соответствии с многопараметровой характеристикой; 2 – основной вентилятор системы охлаждения; 3 – дополнительный вентилятор системы охлаждения; 4 – блок управления дополнительным вентилятором системы охлаждения; 5 – насос охлаждающей жидкости; 6 – блок управления двигателем; 7 – измеритель массового расхода воздуха; 8 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 9 – датчик температуры охлаждающей жидкости на выходе из двигателя; 10 – датчик температуры охлаждающей жидкости на выходе из радиатора; 11 – сигнал скорости автомобиля, поступающий от блока управления (АБС) (J104)



**Рис. 4.46. Управление дроссельной заслонкой:**

1 – блок управления дроссельной заслонкой; 2 – блок управления двигателем; 3 – модуль педали акселератора; 4 – контрольная лампа электропривода дроссельной заслонки EPC (Electronic Power Control); 5 – система зажигания и впрыска; 6 – дополнительные сигналы

- сигналы с системы регулирования состава смеси;
- сигналы с автоматической трансмиссии;
- сигналы с АБС;
- сигналы с усилителя руля;
- сигналы с генератора.

Сигналы с модуля педали акселератора, положение которой изменяется водителем, поступают на вход блока управления двигателем. В блоке управления производится обработка этих сигналов с учетом всех дополнительных величин и определяется оптимальный режимы работы двигателя, соответствующий задаваемому водителем крутящему моменту.

Переход на новый режим работы двигателя осуществляется поворотом приводимой от электромотора дроссельной заслонки при соответствующих установках систем зажигания и впрыска топлива. О возникновении в системе какой-либо неисправности водитель узнает по свечению контрольной лампы.

## Контрольные вопросы

1. Приведите характеристики впрыска топлива в традиционных топливных системах.
2. Приведите характеристику впрыска топлива и изменения давления в аккумуляторной системе.
3. Опишите основные системные блоки управления двигателем.
4. Какие топливные насосы применяются для создания высокого давления?
5. Из каких элементов состоит система высокого давления?
6. Как регулируется давление в аккумуляторе топлива?
7. Приведите основные компоненты аккумуляторной системы.
8. Из каких элементов состоит аккумуляторная система?
9. Опишите особенности электрогидравлических форсунок аккумуляторных систем.
10. Какие блоки входят в состав электрогидравлических форсунок?
11. Чем отличаются пьезоэлектрические форсунки от электрогидравлических?
12. Для чего в двигателях производят многократный впрыск?
13. Каким образом работает насос-форсунка?
14. Сколько каналов имеют насос-форсунки?
15. Приведите основные компоненты системы впрыска топлива с насос-форсунками.
16. Какие насосы применяются в системах впрыска дизельных двигателей?
17. Опишите возможности электронного управления дизельным двигателем.
18. Опишите возможности обмена данными бортового контроллера связи CAN между различными системами и агрегатами.
19. Приведите основные компоненты системы электронного управления дизелем.
20. Опишите функциональные возможности электронных топливных систем.
21. Опишите преимущества и недостатки электронных систем управления двигателем.
22. Как осуществляется регулирование температуры охлаждающей жидкости.

## 5. ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ В СИСТЕМЕ АВТОМОБИЛЯ

### 5.1. Основные принципы автоматического управления двигателем

Управление двигателем нельзя рассматривать в отрыве от управления автомобилем. Скоростные и нагрузочные режимы работы двигателя зависят от скоростных режимов движения автомобиля в различных условиях эксплуатации, которые включают в себя разгоны и замедления, движение с относительно постоянной скоростью, остановки.

Водитель изменяет скоростной и нагрузочный режим двигателя, воздействуя на дроссельную заслонку. Выходные характеристики двигателя при этом зависят от состава топливоздушного смеси и угла опережения зажигания, управление которыми обычно осуществляется автоматически. ЭСАУ – электронная система автоматического управления; КП – коробка передач;  $V_a$  – скорость движения автомобиля. Схема двигателя как объекта автоматического управления приведена на рис. 5.1.

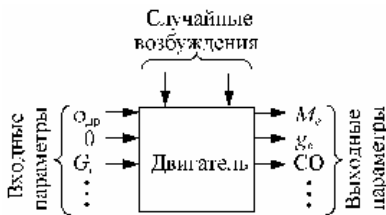


Рис. 5.1. Схема двигателя как объекта автоматического управления

**Входные параметры** (угол открытия дроссельной заслонки  $\varphi_{др}$ , угол опережения зажигания  $\theta$ , цикловой расход топлива  $G_T$  и др.) – это те параметры, которые влияют на протекание рабочего цикла двигателя.

Их значения определяются внешними воздействиями на двигатель со стороны водителя или системы автоматического управления, поэтому они называются также управляемыми.

**Выходные параметры**, называемые управляемыми, характеризуют состояние двигателя в рабочем режиме. К ним относятся: частота вращения коленчатого вала, крутящий момент  $M_e$ , показатель топливной экономичности  $g_e$  и токсичности отработавших газов (например, содержания CO), а также многие другие.

Кроме входных управляющих параметров, на двигатель во время его работы воздействуют случайные возмущения, которые мешают управлению. К случайным возмущениям можно отнести изменение параметров состояния внешней среды (температура  $T$ , атмосферное давление  $p$ , влажность), свойств топлива и масла и т. д.

Для двигателя внутреннего сгорания характерна периодическая повторяемость рабочих циклов. Как объект управления двигатель считается нелинейным, так как реакция на сумму любых внешних воздействий не равна сумме реакций на каждое из воздействий в отдельности. Учитывая, что двигатель в условиях городской езды работает на нестационарных режимах, возникает проблема оптимального управления им. Возможность оптималь-

ного управления двигателем на нестационарных режимах появилась с развитием электронных систем управления.

Для построения оптимальных адаптивных управляющих систем требуется наличие математических моделей объекта управления. Однако из-за сложности конструкции, наличия допусков на размеры деталей двигателя одной и той же модели имеют различные характеристики. Кроме того, по конструктивным параметрам (степень сжатия, геометрия впускного и выпускного трактов и т. д.) отличаются и отдельные цилиндры многоцилиндрового двигателя. В этой связи общие, достаточно точные и полные математические модели двигателей внутреннего сгорания в традиционном аналитическом виде в настоящее время отсутствуют (это характерно для большинства сложных технических систем).

Автомобильный двигатель представляет собой многомерный объект управления, так как число входных параметров у него больше одного и каждый входной параметр воздействует на два и более выходных. В таком случае система управления также должна быть многомерной (рис. 5.2).



**Рис. 5.2. Управление автомобильным двигателем**

В японских автомобилях с двигателями с рабочим объемом более 2 л, а также в мощных автомобилях применяется комплексная электронная система управления двигателем с впрыском топлива. Кроме того, многие авто-

мобили с двигателем меньшего объема имеют электронную систему управления карбюратором. В США широко распространена комплексная система управления, в которой за основу принят метод центрального впрыска топлива, используемый, в частности, в моделях C3 фирмы General Motors и EEC-IV фирмы Ford.

К основным электронным системам управления двигателем автомобилей относятся:

- система управления двигателем (СУД);
- система управления зажиганием;
- система управления подачей топлива;
- система управления ТНВД;
- система управления газораспределением, подачей воздуха;
- система управления и контроля отработавших газов;
- система управления движением автомобиля, куда входят системы ABS, навигации, автоматизации вождения и парковки, управления АКП, безопасности движения и т. п.;
- система управления подушками безопасности;
- система управления освещением и сигнализацией;
- система управления сервисным оборудованием автомобиля, а именно системой сигнализации, кондиционирования; радио и телевизионными системами навигации, телефонной связи;
- бортовые системы ЭЦВМ (CARPC, CAN).

В последние годы значительное увеличение вычислительных возможностей микропроцессоров, представленных на компьютерном рынке, сделало возможным осуществление электронного управления двигателем. Системы электронного управления оснащаются определенным количеством управляющих систем с обратной связью.

Система электронного управления дизелей позволяет также обмен данными с другими электронными системами автомобиля, как, например, с противобуксовочной системой (TCS) и с электронной системой управления трансмиссией. Это означает, что управление двигателем может быть интегрировано в общую систему управления автомобилем.

## **5.2. Общие сведения о применяемых средствах в электронных системах двигателей**

Современный двигатель обладает значительным количеством электронных и микропроцессорных систем различного назначения и уровня сложности, что определило разнообразие в элементной базе устройств.

Понятие электронной системы является более общим, нежели понятие микропроцессорной системы. В самом общем смысле под электронной системой понимается система, построенная на радиоэлектронных элементах. Для четкого понимания различия между электронной и микропроцессорной системами введем их понятие, причем для первой в более узком смысле.

**Электронная система** – это система (узел) двигателя, алгоритм функционирования которого определяется принципиальной электрической схе-

мой блока управления или всего узла. При этом технически электронный блок управления (ЭБУ) или весь узел может быть выполнен на дискретных и (или) интегральных радиоэлементах, а изменение алгоритма работы системы или узла невозможно без изменения электрической схемы.

**Микропроцессорная система** – это система двигателя, алгоритм функционирования которой определяется программой процессора электронного блока управления. Таким образом, в данной системе всегда есть блок управления на основе микропроцессора и для изменения алгоритма работы системы требуется изменить программу микропроцессора.

Автомобильный двигатель представляет собой систему, состоящую из отдельных подсистем: системы топливоподачи, зажигания, охлаждения, смазки и т. д. Все системы связаны друг с другом и при функционировании они образуют единое целое.

Применение электронных систем привело к возникновению новой области техники – автомобильной электроники. В иностранной и отечественной литературе в качестве синонима автомобильной электроники используются также термины «мехатроника», «микроэлектромеханика» (объединение слов «механика» и «электроника») или «автоника» (объединение слов «автомобильная электроника»).

**Датчик** – это устройство, воспринимающее внешнее воздействие и реагирующее на них изменением электрических сигналов.

Датчики являются ответственным звеном в электронной системе управления или измерения и влияют на эффективность ее работы. Они обеспечивают абсолютные измерения того, чем надо управлять или что следует измерять, контролировать или диагностировать. Надежность датчиков всегда являлась проблемой в создании и эксплуатации технических систем.

Входные сигналы датчиков (внешние воздействия) могут иметь практически любую физическую или химическую природу. Поток света, температура, давление, колебания, перемещение, положение, скорость, концентрация ионов – все это примеры внешних воздействий. Конструкция датчиков меняется в зависимости от их назначения.

Датчики систем измерений параметров относятся к измерительно-информационным системам и используются для получения информации, для управления и диагностирования двигателей автомобилей. Они обеспечивают абсолютные измерения того, чем надо управлять или что следует измерять, будь это поток воздуха в двигателе, температура или количество топлива в баке.

**Измерительный преобразователь** – это средство измерения, предназначенное для выработки совместимого с измерительной схемой сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения.

**Нормирующий преобразователь** – это средство обработки результатов измерений, предназначенное для преобразования электрического сигнала от измерительного преобразователя в нормированный сигнал. В системах диагностики нашли применение различные типы измерительных преобразователей. К ним относятся индуктивные датчики, токовых реле, тензодат-

чики, пьезодатчики, емкостные датчики, термодпары и другие. Выходными сигналами датчиков могут быть напряжение, ток или заряд, которые описываются следующими характеристиками: амплитудой, частотой, фазой или цифровым кодом.

Все виды датчиков имеют свои преимущества и свои недостатки. Поэтому при создании диагностических средств наиболее важным является правильный выбор используемых измерительных преобразователей, который может быть сделан только на основе их глубокого изучения.

**Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)** – это преобразователи, конвертирующие аналоговые данные, обычно напряжение, – в эквивалентный цифровой сигнал, совместимый с цифровым устройством обработки данных. Основными характеристиками АЦП являются: абсолютная и относительная погрешности, линейность, разрешающая способность, скорость преобразования, стабильность, способность не пропускать коды и стоимость.

**Преобразователи кодов и сигналов.** К ним относятся модуляторы-демодуляторы для передачи и приема сигналов при работе по каналу связи, узлы тактовой синхронизации, блоки повышения достоверности, преобразователи последовательного кода в параллельный, устройства памяти.

**Погрешность средств измерений** – важнейшая метрологическая характеристика, определяемая как разность между показанием средства измерения и истинным (действительным) значением измеряемой величины. Для меры показанием является ее номинальное значение.

**Измерительно-вычислительный комплекс (ИВК)** – функционально объединенная совокупность средств измерений, ЭВМ и вспомогательных устройств, предназначенная для выполнения в составе измерительной системы конкретной измерительной задачи.

**Электронная память микропроцессоров** содержит операнды и программу, которую выполняет микропроцессор. Используются два типа электронной памяти: постоянные запоминающие устройства (ПЗУ) и оперативные запоминающие устройства (ОЗУ).

**Микропроцессорное устройство** – функционально и конструктивно законченное изделие, являющееся схемно-конструктивным соединением нескольких микросхем (в том числе одного или нескольких микропроцессоров), которое предназначено для выполнения одной или нескольких функций: получение, обработка, передача, преобразование информации и управление.

**Микропроцессорная система** – совокупность большого количества функциональных устройств, одним из которых является микропроцессор.

Любая микропроцессорная система состоит из системы памяти нескольких уровней: постоянного запоминающего устройства, оперативного запоминающего устройства, внешнего запоминающего устройства, а также из устройства ввода данных, устройства вывода данных, блоков соединений с датчиками и исполнительными механизмами.

**Микропроцессор** – сложное программно управляемое устройство, предназначенное для обработки цифровой информации и управления про-

цессом этой обработки, выполненный в виде одной или нескольких интегральных микросхем повышенной степени интеграции. Микропроцессоры являются цифровыми устройствами, работающими с двоичными кодами. В виде двоичных кодов можно представить практически любые электрические сигналы.

Разрядность современных однокристалльных микропроцессоров достигает 64 бит. Микропроцессор выполняет роль центрального устройства управления и устройства арифметико-логических преобразований данных.

**Интерфейс** – совокупность цепей, объединяющих различные устройства и алгоритмы, определяющая порядок передачи информации между этими устройствами. Цепи интерфейса делятся на три группы: информационные, адресные и управляющие. Различают программные и физические интерфейсы.

**Специальная ЭВМ** – ЭВМ, предназначенная для реализации некоторым образом конкретного алгоритма: преобразование Фурье, математические расчеты, вычисление корреляционных функций, сигналов, контроля технического состояния и т. д.

**Обработка и преобразование сигналов**, поступающих от первичных датчиков в цифровые требуемой формы и величины, необходима для введения этих сигналов в микро-ЭВМ.

Микропроцессоры и микро-ЭВМ в измерительной информационной системе используют для связи приборов в единый комплекс и выполнения следующих функций: контроллерных, вычислительных, тестовых, сервисных и распределенной обработки данных. Кроме того, необходимо отметить функции метасистемы, обеспечивающей выполнение всех перечисленных выше функций и их согласование между собой.

**Контроллерные функции** информационных систем можно подразделить на ряд подфункций:

- управление измерительной цепью, то есть переключение каналов и диапазонов, подключение образцовых мер;
- управление измерительными усилителями, которые обычно выполняются чисто программными методами, иногда с участием таймера – с помощью микропроцессора и портов ввода-вывода;
- управление аналого-цифровым преобразователем;
- управление средствами общения с оператором – управление клавиатурой, индикаторами, звуковой сигнализацией и дисплеем;
- управление регистраторами, то есть печатающими устройствами, самописцами, графопостроителями, накопителями на магнитных носителях;
- управление внешней памятью в режиме двухстороннего обмена с дисками и дополнительными внешними модулями памяти.

**Вычислительные функции.** К ним относятся первичная, вторичная и окончательная обработка данных. Сюда относятся калибровка, нормализация, масштабирование, фильтрация, сжатие данных, распознавание, устранение ошибок, статистическая обработка, корреляционный, спектральный, амплитудно-временной анализ и др.

**Тестовые функции.** К этим функциям относятся обнаружение и локализация неисправности, в большинстве случаев до типового элемента. Известны три класса тестирования:

- с применением внешних микропроцессорных средств;
- полностью автономное тестирование;
- комбинированное.

Для первого класса применяются специальные тестеры микро-ЭВМ. Программы тестирования входят в программное обеспечение тестера или самой системы. Для второго класса – функции тестирования чаще всего выполняет основной процессор измерительно-информационной системы (ИИС), однако возможно наличие специального микропроцессорного узла, предназначенного только для автоматической диагностики. Тестирование производится в двух основных режимах: определения работоспособности, диагностики неисправности. При этом хранение программы тестирования может быть осуществлено либо во внешнем устройстве памяти, если оно имеется в ИИС, либо в тестовом ПЗУ.

**Сервисные функции** расширяют возможности измерительных приборов и систем со всесторонними микропроцессорами или микро-ЭВМ, увеличивающими объем информации, число режимов измерений и обработки, число параметров и их комбинаций, число дополнительных директив, объем визуальной и звуковой информации, число альтернативных вариантов измерений и обработки.

При этом можно выделить ряд этапов измерения и анализа с применением диалога: ввод задания, сбор и предварительную обработку первичной информации, вторичную обработку и интерпретацию результатов, вывод результатов исследования для интерпретации документации, архивации и управления.

**Активаторы** – это исполнительные устройства, которые фактически влияют непосредственно на управляемые параметры объекта управления. В конечном итоге эти влияния создают реальные параметры, которые характеризуют состояние объекта.

**Системный модуль** (блок управления) является собой конструктивно, функционально и энергетически законченный блок, который осуществляет функции сбора, обработки информации и создания электрических управляемых сигналов, достаточных по мощности для срабатывания исполнительных устройств. Основу системного модуля составляет один или несколько микроконтроллеров с устройствами ввода-вывода.

**Драйверы активаторов** – устройства управления соленоидами, реле, лампами накаливания, электродвигателями постоянного тока и шаговыми электродвигателями.

**Электронный блок управления (ЭБУ)** – составная часть микроконтроллера. ЭБУ обрабатывает входные сигналы от различных датчиков и переключателей, которые отражают информацию, представляя данные: частоту вращения коленчатого вала, момент впрыскивания смеси в каждый цилиндр и т. д.

**Микроконтроллер** – управляемое устройство, выполненное на одном

или нескольких кристаллах, функциями которого является анализ и управление. Это специализированное устройство логического управления выполнения конкретной задачи, соответствующей программе, размещенной в запоминающем устройстве (памяти). Контроллер предназначается для управления объектами, он должен иметь устройства ввода (различные датчики) и вывода – команды на исполнительные механизмы (реле, пускатели, электродвигатели).

Основные задачи, которые стоят при проектировании микроконтроллера, – это выбор согласованных решений по структуре и параметрам отдельных составных элементов, их взаимных связей, разработка математического обеспечения, подбор датчиков и исполнительных устройств.

Современный микроконтроллер является сложной цифровой системой, размещенной на кристалле, в состав которой входит 8-, 16- или 32-рядный процессор, внутренняя память программы (десятки килобайт), широкий набор интерфейсных и периферийных устройств, в частности портов ввода-вывода, таймеров, алфавитно-цифровых преобразователей и др. Их используют как составляющие устройств систем управления: информационно-измерительных, контрольно-диагностических, технологическими процессами, аппаратуры регистрации и контрольно-измерительной.

В настоящее время компания Intel производит несколько семейств микропроцессоров: MCS-51/151, MCS-351, MCS-96/195/296, количество моделей – более 100.

**Распределенная обработка данных.** Вычислительные функции распределяются между программируемыми контроллерами. Возможность распределения обработки данных обеспечивает высокую надежность управления измерительной информационной системой.

Таким образом, использование микропроцессоров и микро-ЭВМ в информационно-измерительной системе повышает точность, быстродействие, надежность, помехоустойчивость; расширяет динамический диапазон измерений; улучшает конструктивные показатели, качество метрологического обеспечения; расширяет многофункциональность системы; повышает удобство представления, хранения, регистрации, что способствует созданию интеллектуальных приборов и систем, улучшению ремонтпригодности аппаратуры за счет повышения степени взаимозаменяемости, самоконтроля, диагностики, автоподстройки.

Выбор микропроцессора или ЭВМ определяется техническим заданием на информационно-измерительную систему и зависит от необходимого числа входов-выходов, их типа (аналоговый, дискретный) и объема необходимой памяти.

**Программное обеспечение** содержит необходимые алгоритмы. В зависимости от необходимых параметров, в нем может устанавливаться почти неограниченное число элементов для хранения и обработки в виде параметров характеристик и многомерных программных карт.

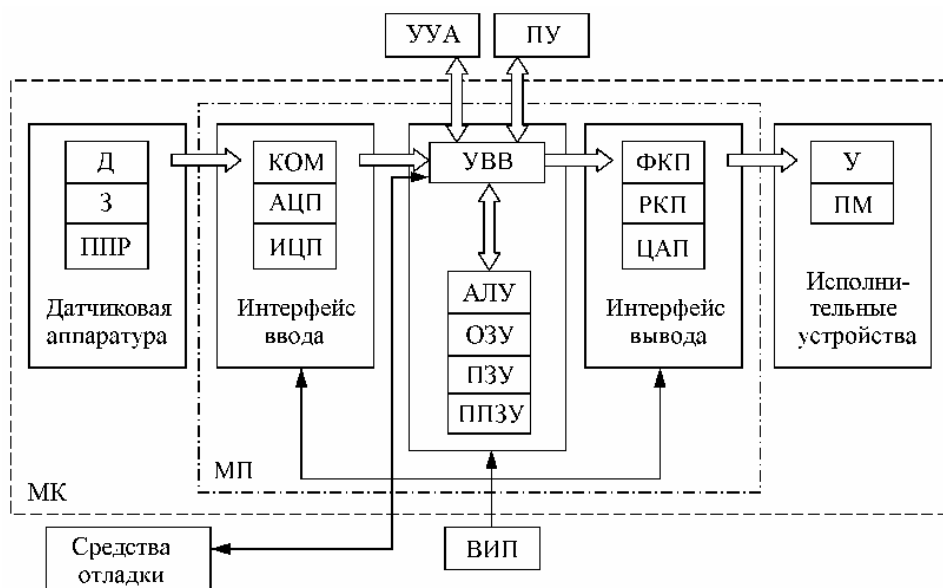
Силовые выходы и выходные усилители позволяют увеличить мощность выходных сигналов микропроцессора (от 0 до 5 В, несколько миллиампер) до уровней, необходимых исполнительным механизмам (до уровня

напряжения аккумулятора, силы тока в несколько ампер).

**Электронные сети транспортных средств** строятся на основе логической концепции Cartronic. Она допускает разделение системы электрооборудования автомобиля на удобно измеряемые подсистемы. Агрегаты или узлы с тесно связанными функциями (блоки с высокой скоростью взаимного обмена данными) соединяются в подсети. Такая концепция ведет к появлению подсетей с переменными требованиями к пропускной способности, хотя передача данных остается совместимой.

В пределах логического уровня все известные системы связи, разработанные для автомобилей, основаны на единой схеме последовательного включения блоков ЭБУ. В структурной схеме в качестве канала передачи данных от блока к блоку используются однопроводные или различные двухпроводные интерфейсы.

**Микроконтроллеры микропроцессорного управления двигателем.** Структурная схема обобщенного микроконтроллера показана на рис. 5.3 [15].



**Рис. 5.3. Схема обобщенного микроконтроллера:**

УУА – устройство управления автомобилем; ПУ – пульт управления; ВИП – вторичные источники питания. **Состав МК:** МП – микропроцессор. **Датчиковая аппаратура:** Д – датчики; З – задатчики; ППР – первичные измерительные преобразователи. **Исполнительные устройства:** У – усилители; ИМ – исполнительные механизмы. **Состав МП:** УВВ – устройство ввода-вывода; АЛУ – арифметико-логическое устройство; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство; ПЗУ – постоянное запоминающее устройство; ППУЗУ – перепрограммируемое запоминающее устройство. **Интерфейс ввода:** КОМ – коммутатор; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ИЦП – импульсно-цифровой преобразователь. **Интерфейс вывода:** ФКИ – формирователь командных импульсов; РКП – распределитель командных импульсов; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь

Основу микроконтроллера составляет микропроцессор с устройствами ввода и вывода (УВВ), который получает информацию от датчиковой аппаратуры через интерфейс ввода и управляет двигателем через интерфейс вывода. Кроме того, микропроцессор осуществляет диагностирование двигателя и самой МПСУ.

**Диагностический интерфейс.** Такой интерфейс применяется для подключения приборов (например, K78 520.570) для тестирования системы в сервисных центрах или автомастерских.

**Интерфейс бортового контроллера связи (CAN).** В зависимости от комплектации автомобиля система M-Motronic может оснащаться бортовым контроллером связи (CAN). Через интерфейс CAN 28 может осуществлять обмен данными с другими электронными системами управления (например, с блоком управления трансмиссией, антиблокировочной системой торможения и т. п.).

Микропроцессор имеет три типа памяти:

1. ОЗУ, необходимое для хранения текущей информации и обеспечения работы системы управления. Находящаяся в нем информация теряется при отключении питания (аккумуляторной батареи).
2. ПЗУ, в котором находятся программы, обеспечивающие управление и конкретные значения калибровок (калибровки – конкретные численные значения параметров программ) данной системы. Эти данные не могут быть изменены без замены ПЗУ или его перепрограммирования на специальных установках.
3. ППЗУ используется для временного хранения дополнительной информации, необходимой для работы системы. Информация в нем является энергонезависимой и может сохраняться при отключении питания микро-контроллера.

Микроконтроллер имеет связи как с УУА, так и с ПУ, на которых работает водитель (или наладчик системы в процессе отладки МПСУ, для чего предусмотрено подключение средств отладки).

Главный датчик – датчик, установленный непосредственно на педали и фиксирующий ее положение. Другие датчики конструктивно могут быть включены в пульт управления.

Датчики располагаются в разных системах двигателя. В системы встраиваются и исполнительные механизмы, а усилители иногда располагаются вблизи этих механизмов.

Остальные элементы микроконтроллера и вторичные источники питания ВИП обычно заключены в так называемый электронный блок управления – ЭБУ или ECU (Electronic Control Unit). Практически ЭБУ – это основной конструктивный блок микроконтроллера, вне которого находятся только датчики и исполнительные устройства. Поэтому термин «электронный блок управления» обычно используется как синоним электронного управляющего устройства, но более правильно считать ЭБУ составной частью микроконтроллера.

**Шина передачи данных** – это канал обмена данными, который соединяет друг с другом все главные блоки.

**Адаптивная память** – служит для компенсации влияния таких факторов, как износ элементов, изменение качества топлива и технологические отклонения качества деталей. Большинство модулей РСМ имеют адаптивную память, которая позволяет блоку управления обнаруживать сбои электрического характера и выполнять незначительные рабочие регулировки в целях компенсации названных факторов и сохранения общей управляемости при выходе некоторых рабочих значений в системе ОВД-II за границы допустимых.

Модуль управления (РСМ) в процессе работы двигателя постоянно регулирует такие параметры, как опережение зажигания и длительность импульса форсунки, сравнивая по данным широкой сети датчиков и исполнительных устройств с заложенными в память характеристиками (рабочими характеристиками или программой).

### 5.3. Обработка сигналов в электронном блоке управления

**Входные сигналы.** Наряду с исполнительными устройствами, датчики представляют интерфейс между автомобилем и ЭБУ, который является блоком обработки данных. Сигналы от датчиков поступают в электронный блок управления (или в несколько блоков управления) через защитные цепи и там, где это необходимо, преобразуются и усиливаются (рис. 5.4):

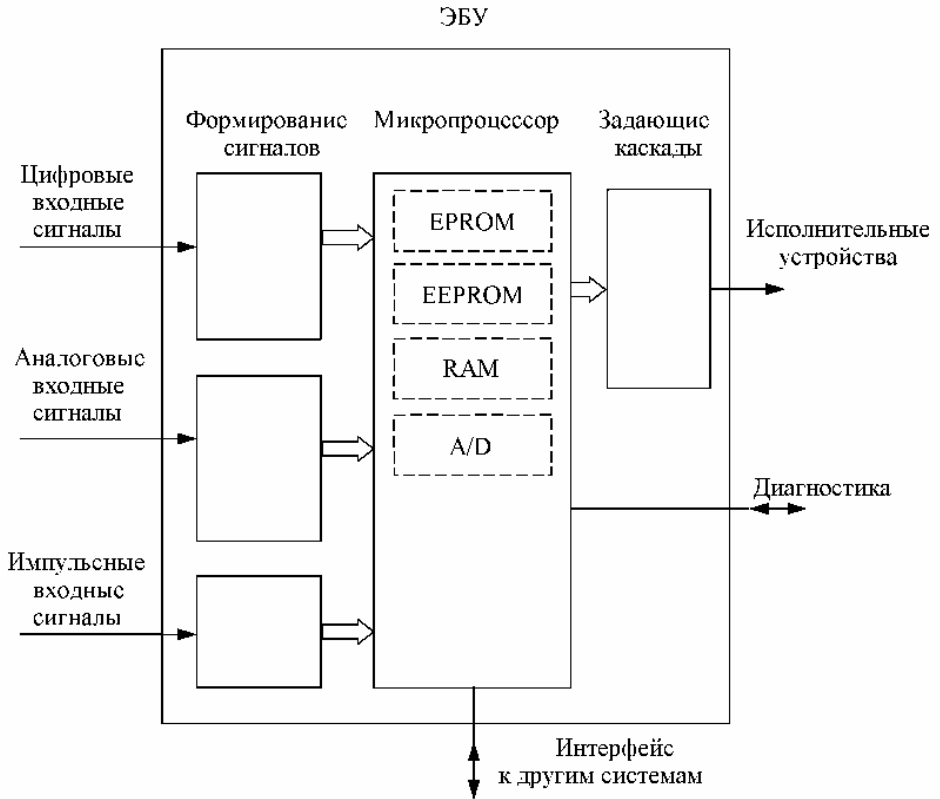
- аналоговые входные сигналы (например, информация о количестве подаваемого в цилиндры двигателя воздуха, температура охлаждающей жидкости двигателя и воздуха на впуске, напряжение аккумуляторной батареи и т. д.) преобразуются в цифровые через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) микропроцессора электронного блока управления;
- цифровые входные сигналы (например, сигналы включения/ выключения или сигналы цифровых датчиков таких, как импульсы частоты вращения от датчика Холла) могут быть обработаны непосредственно микропроцессором;
- для подавления помех в специальном контуре электронного блока управления предварительно формируются импульсные входные сигналы от индуктивных датчиков, несущих информацию о частоте вращения коленчатого вала двигателя и контрольных отметках, которые конвертируются в форму прямоугольных импульсов.

В зависимости от уровня интегрирования имеет место полное или частичное формирование сигнала в датчике. Нагрузка на датчик определяется эксплуатационными условиями в месте установки датчика.

**Формирование сигналов.** Для ограничения напряжения входных сигналов до максимально допустимого значения в ЭБУ используется защитный электрический контур. Входной сигнал, почти полностью очищенный от наложенных помех путем фильтрования, затем усиливается, чтобы соответствовать входному напряжению электронного блока управления.

**Цифровая обработка входных сигналов** обычно осуществляется в микропроцессорах электронных блоков управления (см. рис. 5.4). Для этого

требуется специальная программа, а полученные данные сохраняются в программируемой памяти (постоянное запоминающее устройство – ROM, или EPROM/EEPROM).



**Рис. 5.4. Обработка сигналов в электронном блоке управления:**  
 A/D – АЦП; RAM – оперативная память; EEPROM – постоянная память; EPROM – программируемая память (постоянное запоминающее устройство)

Кроме того, в программируемой памяти (Flash EPROM) хранятся запрограммированные характеристики двигателя и программируемые матрицы. Данные иммобилайзера, калибровочные и данные обработки сигналов, вместе с данными о неисправностях, которые могут появиться во время работы, хранятся в постоянной памяти (EEPROM). Из-за большого количества моделей двигателей и вариантов оборудования электронные блоки управления оснащаются так называемыми вариантными кодами. Используя такой код, фирма-производитель или ремонтная мастерская могут сделать выбор нужной программируемой матрицы, хранящейся в программируемой памяти (Flash-EPROM), чтобы обеспечить данный вариант автомобиля необходимыми функциями. Выбранные матрицы также сохраняются в постоянной памяти микропроцессора (EEPROM). Другие типы электронных блоков

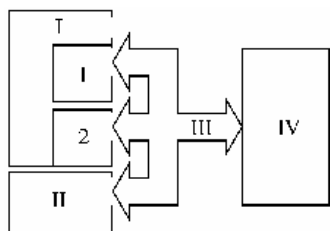
управления проектируются таким образом, чтобы полный набор данных мог быть запрограммирован в памяти Flash EPROM, в конце линии сборки автомобиля. Это уменьшает количество различных типов электронных блоков управления, требуемых для фирм-производителей автомобилей.

**Оперативная память (RAM)** требуется для хранения переменных данных таких, как расчетные или значения сигналов. Для правильного функционирования оперативная память требует постоянного электрического питания. При отключении электрического питания ЭБУ посредством выключения зажигания или отсоединении аккумуляторной батареи все данные оперативной памяти теряются. В таких случаях адаптивные величины, то есть те, которые касаются двигателя и его рабочего состояния, должны быть восстановлены при включении электронного блока управления в работу. Чтобы предотвратить стирание необходимых данных, адаптивные величины сохраняются в постоянной памяти (EEPROM), а не в оперативной (RAM).

**Выходные сигналы** микропроцессора запускают выходные каскады, которые имеют достаточную мощность для непосредственного соединения с исполнительными устройствами (приводами). Эти выходные каскады защищены от короткого замыкания на массу, как и от повреждения из-за электрической перегрузки.

Кроме того, определенное количество выходных сигналов передаются другим системам через управляющие интерфейсы.

Упрощенная структурная схема электронного блока управления (ЭБУ), изготовленная на базе микропроцессора фирмы Siemens, приведена на рис. 5.5. ЭБУ обеспечивает управление рабочими процессами функциональных элементов и систем автомобиля.



**Рис. 5.5. Структурная схема электронного блока управления:**

1 – ОЗУ; 2 – ППЗУ; I – арифметико-логическое устройство; II – порт «Ввод/вывод»; III – шина; IV – микропроцессор

ЭБУ содержит арифметико-логическое устройство I, порт II «Ввод/ Вывод» информации, микропроцессор (МП) IV и устройство управления, обеспечивающее согласование и координацию работы составных частей системы, генератор тактовых импульсов и формирователь сигналов. Функциональные компоненты ЭБУ электрически соединены между собой посредством системной шины III.

**Микропроцессор IV** представляет собой интегральную схему, смонтированную на миниатюрной кремниевой пластине на одном кристалле большой интегральной схемы (БИС). Объединение элементов МП на одном кристалле повышает надежность и быстродействие его работы. МП через шину данных и адресную шину сообщен с оперативным запоминающим

устройством (ОЗУ), постоянным программируемым запоминающим устройством (ППЗУ) и электрически программируемым запоминающим устройством (ЭПЗУ).

**Арифметико-логическое устройство** предназначено для обработки

информации по программе, записанной в ППЗУ, выполнения расчетов и команд управления исполнительными механизмами, а также запоминания предыдущего режима работы двигателя.

Для хранения информации блок управления содержит три типа внутренней памяти: ОЗУ 1, ППЗУ 2 и ЭПЗУ.

**Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ)** представляет собой набор электронных компонентов в виде конденсаторов и триггеров, расположенных на печатной плате ОЗУ. По мере необходимости МП может внести в него информацию или считывать ее, а также хранить и обновлять данные алгоритма самообучения. ОЗУ содержит оперативную информацию, характерную для текущего момента времени (частота вращения коленчатого вала двигателя, температура, давление в ВТ, коды ошибок, положение дроссельных заслонок).

Память ОЗУ предназначена для временного хранения расчетных параметров программы управления, адаптационных настроек и кодов неисправностей, зафиксированных ЭБУ в процессе работы. В микросхемах ОЗУ содержится информация, изменяемая в процессе работы ЭБУ, и промежуточные данные, необходимые для работы программы. ОЗУ характеризуется высокой скоростью записи и чтения информации. При выключении ЭБУ данные, хранящиеся в ОЗУ, теряются. Объем ОЗУ зависит от количества и типа используемых микросхем.

Законы управления двигателем в ЭБУ сводят в виде таблиц или функциональных зависимостей. ОЗУ – это энергозависимая память, которая требует бесперебойного питания для сохранения в ней информации: при отключении питания или падении напряжения в сети ниже 6 В содержащиеся в ОЗУ диагностические коды неисправностей, расчетные параметры и данные самообучения стираются.

**Постоянное программируемое запоминающее устройство (ППЗУ)** содержит общую программу управления, обеспечивающую последовательное выполнение рабочих команд, и различную калибровочную информацию. В памяти ППЗУ находятся матрицы, таблицы, значения поправочных коэффициентов, необходимые для расчетов длительности управляющих импульсов ЭМФ, величины угла опережения зажигания и стандартные программы, записанные в микросхему памяти на заводе-изготовителе. Память ППЗУ позволяет только считывать хранящиеся в ней данные и является энергонезависимой. Информация в ней записана физическим методом (прожиганием) микросхемы при изготовлении ЭБУ и не может быть изменена в эксплуатации, сохраняется при выключении блока управления.

ППЗУ выбирают индивидуально в зависимости от комплектации автомобиля. При ее замене важно правильно установить модель и комплектацию автомобиля. При замене неисправного ЭБУ необходимо оставлять прежнее ППЗУ.

Память ЭБУ способна записать 8 бит или 1 байт. Современный ЭБУ снабжен специализированным 16-тиразрядным МП. В перспективе широкое распространение получат ЭБУ нового поколения, выполненные на базе 32-х разрядного микропроцессора.

Программа ЭБУ возможных режимов и условий работы двигателя записана в ячейке микросхемы памяти ППЗУ и позволяет только считывать информацию. ППЗУ устанавливают на отдельной панели платы ЭБУ и при эксплуатации она может быть извлечена из ЭБУ и заменена другой.

ППЗУ находится в отдельном блоке в запоминающем устройстве калибровок, расположенном внутри ЭБУ под его крышкой. ППЗУ заметно уступает ОЗУ по габаритам и емкости. Для перепрограммирования ЭБУ необходима программа-загрузчик, адаптер «K-Line» и персональный компьютер. Процессор прошивают на заводе-изготовителе, он может иметь разные версии программ.

**Устройство калибровок** содержит информацию о массе автомобиля, двигателе, трансмиссии, главной передаче и некоторые другие данные. ЭБУ без запоминающего устройства может применяться на некоторых автомобилях. Запоминающее устройство калибровок применяют индивидуально для каждого автомобиля. При замене ЭБУ запоминающее устройство калибровок должно оставаться на автомобиле. Память ППЗУ не может быть изменена или удалена после ее установки. Подобная память не нуждается в источнике питания для сохранения записанной в ней информации, которая не стирается при отключении источника питания.

**Электрически программируемое запоминающее устройство (ЭПЗУ)** представляет собой электрически программируемое запоминающее устройство, энергонезависимая память которого содержит паспортные данные блока управления. Устройство выполнено в виде микросхемы памяти, в которую записана информация о типе аппаратуры компьютера и его настройке. ЭПЗУ используют для временного хранения кодов-паролей противоугонной системы автомобиля (иммобилайзера). Коды-пароли сравниваются с данными, хранимыми в ЭПЗУ.

#### 5.4. Передача данных другим системам

Увеличивающееся применение электронных систем управления автомобилями с обратной и без обратной связи требует, чтобы индивидуальные электронные блоки управления работали в сети друг с другом. Такие системы управления включают в себя:

- управление коробкой передач;
- электронное управление двигателем или регулирование подачи топлива ТНВД;
- антиблокировочную систему тормозов (ABS);
- противобуксовочную электронную систему (TCS);
- электронную систему курсовой устойчивости (ESP);
- систему управления тормозным моментом (MSR);
- электронный иммобилайзер (EWS);
- бортовой компьютер и т. д.

Обмен информацией между системами уменьшает общее количество необходимых датчиков и улучшает управление отдельными системами. Интерфейсы систем передачи информации, проектируемые для применения в

автомобилях, могут быть подразделены на две категории:

- обычные интерфейсы и
- последовательные интерфейсы, то есть сеть контроллеров (CAN).

Обычная передача данных в автомобиле характеризуется тем, что каждый сигнал имеет свой собственный канал связи (рис. 5.6). Двоичные сигналы могут быть переданы только как одно из двух возможных состояний – «1» или «0» (двоичный код), например, для компрессора кондиционера «On» и «Off». «On/Off» отношения могут быть использованы для передачи постоянно изменяющихся параметров таких, как, например, рабочее состояние датчика положения педали акселератора.

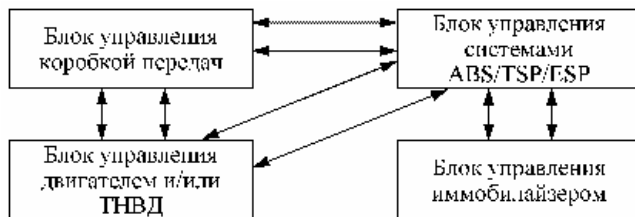


Рис. 5.6. Схема обычной передачи данных

Увеличение обмена данными между электрическими компонентами автомобиля уже достигли таких объемов, что дальнейшие попытки управления через обычные интерфейсы уже не могут дать ощутимый результат. Сегодня значительные средства вовлечены в поддержание сложных проводных систем на контролируемом уровне, и требования к обмену данными между электронными блоками управления постоянно повышаются.

**Последовательная передача данных (CAN).** Проблемы, связанные с передачей данных через обычные интерфейсы, могут быть решены путем использования шин передачи данных. Одним таким примером является сетевой контроллер CAN, система шин передачи данных, разработанная для применения в автомобильном транспорте. Сигналы могут быть переданы через систему CAN при условии, что электронные блоки управления имеют последовательный CAN-интерфейс.

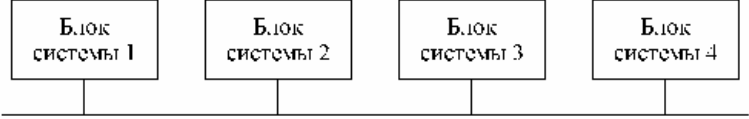
Имеются три главные области для применения системы CAN в автомобиле:

- сеть электронных блоков управления;
- бортовые электронные системы;
- мобильная связь.

Приведенное далее описание касается только сети электронных блоков управления.

**Сеть электронных блоков управления.** Системы электронного управления такие, как управление двигателем, антиблокировочная система тормозов (ABS), противобуксовочная система (TCS), система управления коробкой передач, система курсовой устойчивости (ESP) и другие, взаимодействуют друг с другом в сети. Электронные блоки управления имеют

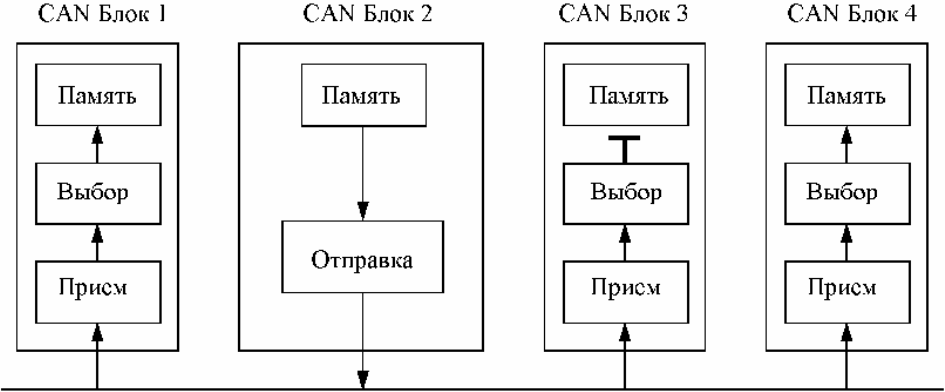
равный приоритет и соединены между собой линейной системой шин передачи данных (рис. 5.7). Одним из преимуществ такой структуры является то, что в случае отказа одной системы (абонентская система) все остальные продолжают работать, имея полный доступ в сети.



**Рис. 5.7. Схема топологии линейной шины**

Возможность тотальной неисправности становится значительно меньшей, чем при других системах с логическими схемами таких, как системы с обратной связью или иерархических системах, в которых неисправность одного блока или центрального электронного блока управления приводит к полному отказу всей системы. Типичный объем передачи данных системой CAN составляет величины в пределах от 125 кбит/с до 1 Мбит/с (например, объем передачи данных между электронными блоками управления двигателя и роторного ТНВД распределительного типа (с радиально расположенными плунжерами) составляет 500 кбит/с). Объем передачи данных должен быть достаточно большим, чтобы гарантировать требуемое быстродействие систем.

**Ассоциативная адресация данных.** В отличие от адресации индивидуальных блоков, схема адресации при использовании системы CAN присваивает каждому «сообщению» метку (знак). Каждое сообщение, таким образом, имеет собственный 11-бит или 29-бит идентификатор, который идентифицирует содержание сообщения (например, частоту вращения двигателя). Блоки системы обрабатывают только те сообщения, чьи идентификаторы хранятся в «приемочном листе» (фильтрация сообщений), все остальные сообщения просто игнорируются. Схема адресации и приемочной проверки показана на рис. 5.8.



**Рис. 5.8. Схема адресации и приемочной проверки**

Адресация информации означает, что сигнал может быть послан в ряд блоков или подсистем. От датчика только требуется, чтобы он послал свой сигнал прямо или через электронный блок управления в сеть шины передачи данных, где он соответствующим образом распределяется. Кроме того, поскольку в этой системе достаточно просто добавить блоки, то в ней может быть задействовано множество вариантов оборудования.

### **Контрольные вопросы**

1. Каковы основные принципы автоматического управления двигателем?
2. Чем отличаются понятия «электронная система» и «микропроцессорная система»?
3. В чем отличие датчика от преобразователя?
4. Какие средства электронных систем выполняют обработку и преобразование сигналов?
5. Чем определяется выбор микропроцессора и ЭВМ?
6. Что включается в программное обеспечение микропроцессорных систем?

## **6. ДЕФЕКТЫ И НЕИСПРАВНОСТИ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Топливоподающая аппаратура (ТПА), являясь одной из основных функциональных систем дизельного двигателя, в условиях эксплуатации не всегда обеспечивает его требуемую надежность из-за появления не менее 30% всех его отказов. Источники и причины неисправностей топливоподающих систем с механическим и электронным управлением описаны в работе [32]. Некоторое количественное отличие в представленных далее статистических данных о неисправностях объясняются качеством используемых топлив, исходного качества компонентов систем и режимов работы двигателей.

Системы питания современных автотракторных дизелей зарубежного производства в большинстве случаев комплектуются насосами MW, VE, DPA, CP и топливной системой CR.

Работоспособность дизелей, снабженных современной электронной топливоподающей аппаратурой, обеспечивается рациональной интеграцией «механической» и «электронной» составляющих автоматического управления параметрами топливоподачи.

### **6.1. Понятия дефект и неисправность**

Основными понятиями технической диагностики являются: дефект, неисправность, объект диагностирования, техническое состояние, диагностическая задача, технические средства диагностирования; система диагностирования. Термины «объект диагностирования», «диагностическая задача», «технические средства диагностирования», «система диагностирования» определены стандартами. Классификация дефектов конструктивных и производственных и эксплуатационных неисправностей двигателей достаточно полно описана в работах [32, 36].

Объективная реальность, отражаемая понятием «дефект», является основным предметом исследования технической диагностики. Это понятие используется в различных областях науки и практики.

Сущность дефекта заключается в том, что он обусловлен несоответствием хотя бы одному установленному требованию к продукции. Он относится только к процессу изготовления машины и производству ее ремонта и зависит только от конструктивных или производственных факторов. К дефектам недопустимо относить эксплуатационные неисправности, обусловленные действием износа, коррозии, старения, усталости или действием случайных факторов. Трещина, появившаяся в процессе эксплуатации автомобиля, будет считаться не дефектом, а эксплуатационной неисправностью.

В области управления надежностью технических объектов статус понятия «дефект» связан с жизненным циклом объекта и с особенностями задач этапов этого цикла.

С этапом проектирования связано понятие конструктивного дефекта (некорректное использование существующей системы знаний). Такие дефекты не являются собственным предметом исследования технической диагностики как науки. Однако, поскольку на этапе проектирования имеет место широкий круг задач, называемых задачами обеспечения надежности и контролепригодности, то техническая диагностика имеет и собственный объект исследования, с которым связано понятие возможной эксплуатационной неисправности и множества таких дефектов и неисправностей. Не выявленные на стадиях отладки и опытной эксплуатации конструктивные дефекты, конечно же, не могут остаться в стороне от практики технического диагностирования.

Этап производства в рассматриваемом отношении характеризуется технологическими дефектами (каждое отдельное несоответствие проекту). Такие дефекты также не составляют собственный объект исследования технической диагностики и относятся к области контроля качества продукции. Практическая диагностика также включает в часть своих задач невыявленные технологические дефекты.

Эксплуатационные изменения, имеющие пространственно-временную границу в экземпляре машины, ведут к нарушению качественной границы и количественных значений параметров объекта диагностирования. В некоторой части целого результат деградационного процесса или другого явления становится таким, что появляется, недопустимо изменяется или исчезает существенное свойство(а) целого. Такое изменение нарушает систему свойств, то есть качественную границу объекта.

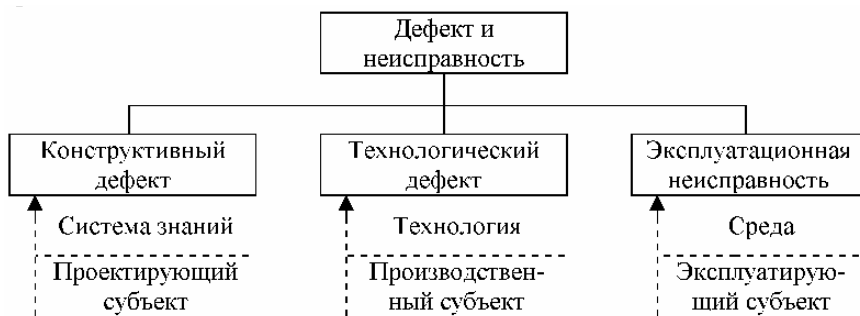
В технической диагностике понятие «дефект» относится к одному из ключевых технических терминов и имеет широкую область использования в сфере обучения специалистов автомобильного хозяйства. Термин «дефект», по существу, неразрывно связан с термином «неисправность», но не является его синонимом. Вместе с тем следует признать, что стандартное требование к пониманию термина многими специалистами не выполняется, что вносит серьезную путаницу в сферу профессионального обучения специалистов двигателестроения и автомобилистов. Технические термины и их определения формируют смысловое понимание специалистами сущности своей деятельности и сферу их профессионального общения. И вряд ли при неправильном понимании терминов можно рассчитывать на успешное составление инструкции по эксплуатации или решения другой поставленной задачи диагностирования.

Термин «дефект» применяют при контроле качества продукции на стадии изготовления, а также при ее ремонте (при дефектации на этапах восстановления и сборки, составлении ведомостей дефектов и контроля качества отремонтированной продукции).

Причинами обнаруженной неисправности на практике могут быть несовершенство конструкции объекта диагностирования или технологии его изготовления, нарушение правил эксплуатации или естественное усталостное разрушение, старение, изнашивание, коррозия и другие деградационные процессы. Указанные причины образуют множество возможных эксплуата-

ционных неисправностей механических и электрических систем.

Рассмотренные понятия конструктивных, технологических дефектов и эксплуатационных неисправностей образуют классификацию понятия «дефект» и «неисправность» по критерию «внешние причины дефекта», которая приведена на рис. 6.1. Причина каждого дефекта и неисправности машины обусловлена объективными (система знаний, технология, среда) или субъективными факторами.



**Рис. 6.1. Классификация дефектов и неисправностей по критерию «внешние причины»**

## **6.2. Типовые отказы и неисправности механических и газоаэродинамических систем двигателя**

Двигатели внутреннего сгорания вместе с их системами управления режимами работы являются самыми сложными объектами транспортных машин. Двигатели имеют сложные механические системы ЦПГ, КШМ, ГРМ; узлы трения качения и скольжения; зубчатые, ременные и другие передачи; гидро-, газо-, аэродинамические системы наддува, приготовления горючей смеси и топливоподачи с принудительным воспламенением в бензиновых двигателях или воспламенением от сжатия в дизелях; сложные системы воздушного или жидкостного охлаждения двигателя и мехатронные и электронные системы управления рабочими процессами [31].

Уровень работоспособности двигателей внутреннего сгорания автомобилей КамАЗ, КраЗ, ЗИЛ и ГАЗ определяется эффективностью функционирования систем зажигания и питания, цилиндропоршневой группы, кривошипно-шатунного и газораспределительного механизма (табл. 6.1, данные по дизельным двигателям приведены в скобках).

Неисправности систем ЦПГ, КШМ и ГРМ приведены в подразделе 2.2. Часть основных типовых неисправностей двигателей и их причины приведена на рис. 6.2.

Основными причинами изменения технического состояния ЦПГ являются: высокое давление 3...5 МПа у бензиновых двигателей и 7...9 МПа у дизелей, высокая температура газов до 2000...2500 °К внутри цилиндра и перекладка поршня в верхней мертвой точки (ВМТ) (рис. 6.2).

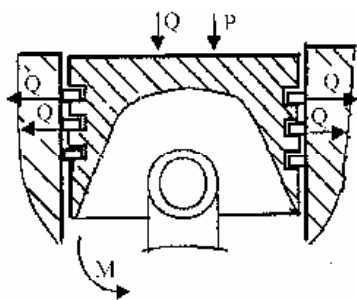
## Неисправности

1 Двигатель не запускается или плохо запускается или не запускается при разогретом двигателе																
2 Двигатель не запускается или плохо запускается или не запускается при холодном двигателе																
3 Пилообразно плавают обороты холостого хода																
4 Неустойчивые обороты холостого хода на разогретом двигателе																
5 Слишком большие или слишком маленькие обороты холостого хода.																
6 Перебои в работе двигателя в движении в области частичных нагрузок																
7 Мощность при движении неудовлетворительная																
8 Рывки двигателя на полной нагрузке																
9 Повышенный расход топлива																
10 Двигатель не выключается или выключается с задержкой																
11 Жестко работает двигатель, черный выхлоп при полной нагрузке, недостаточная мощность																
12 Туманообразный, белый выхлоп при полной нагрузке																
13 Неправильные обороты двигателя																
14 Недостаточные максимальные обороты при холодном двигателе																
15 Слишком низкие обороты холостого хода при холодном двигателе																
16 ТНВД нагревается слишком сильно																
<b>Возможные причины</b>																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Пустой топливный бак. Вентиляция бака забита
x	x				x	x					x		x			Неправильный порядок впрыска по цилиндрам
x	x	x	x		x	x				x	x		x			Топливный фильтр забит парафином
		x			x									x		Воздух в топливной системе
x	x		x		x	x	x			x	x		x			Ослабленные соединения топливопроводов; негерметичные трубки
x	x				x	x								x		Топливопровод подвода топлива забит
x	x		x		x					x						Забиты или сужены трубки высокого давления
						x	x	x		x						Забитый воздушный фильтр двигателя
		x	x	x								x				Неправильно отрегулированы обороты холостого хода
	x				x							x				Система пневматического повышения оборотов холостого хода
		x			x									x		Система электрического регулирования оборотов холостого хода
			x	x										x		Механика управления оборотами двигателя
x	x								x							Вакуумные магистрали
x	x		x		x	x	x	x		x	x				x	Форсунки неисправны
x	x				x	x	x				x		x			Забит топливный фильтр или перепускной клапан
x	x				x	x	x									Проверить подкачивающий насос
			x													Проверить систему предпускового подогрева двигателя
					x					x	x					Компрессия двигателя плохая или неравномерная
x	x		x		x	x	x	x		x	x			x		Установка ТНВД на двигателе (проверить, отрегулировать)
						x	x	x		x	x			x		Неисправность муфты опережения впрыска
						x										Неправильно отрегулированы номинальные обороты двигателя
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	ТНВД или регулятор неисправны

**Рис. 6.2. Возможные неисправности дизельного двигателя**

**Распределение отказов и неисправностей элементов ДВС  
и трудоемкости их устранения**

Наименование элемента ДВС	Вероятность отказа или неисправности	Распределение трудоемкости при ТО и ТР, %
Система зажигания и электрооборудования	0,45 (0,15)	40 (15)
Система питания	0,18 (0,30)	10 (23)
ЦПГ	0,13 (0,20)	23 (27)
КШМ	0,12 (0,17)	17 (23)
ГРМ	0,07 (0,09)	7
Система охлаждения	0,04 (0,08)	2 (4)
Система смазки	0,01	1



**Рис. 6.3. Основные факторы, влияющие на износ деталей ЦПГ двигателя:**

P – давление; Q – потоки тепловой нагрузки; M – момент, вызывающий перекачку поршня

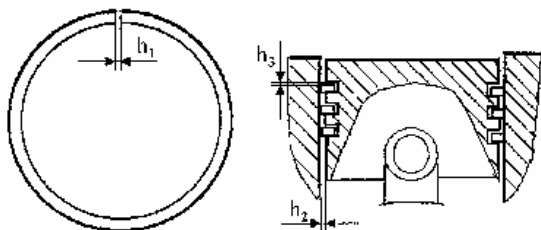
Основными неисправностями ЦПГ являются: деформация и разрушение поршневых канавок, залегание поршневых колец, коксование прорезей в маслосъемных поршневых кольцах, поломка и износ поршневых колец, поршня, цилиндра, задиры или царапины на юбке поршня и поверхности цилиндра, выпадение фиксаторов поршневого пальца, прогар прокладки цилиндров и ряд различных производственных дефектов.

Эти неисправности снижают пусковые свойства, качество сгорания топлива и снижение давления сжатия, что приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик: потере мощности, снижению крутящего момента, увеличенному расходу горюче-смазочных материалов. При оценке технического состояния ЦПГ двигателя должны контролироваться следующие структурные параметры: зазор между поршнем и кольцом по высоте канавки, зазор в стыках поршневых колец, зазор между цилиндром и поршнем в верхнем поясе, зазор между клапаном и седлом (то есть герметичность клапана), нарушение регулировки зазоров в газораспределительном механизме (рис. 6.4, 6.5). При износе цилиндров на 0,25...0,30 мм двигатель можно считать исчерпавшим свой ресурс (по экономическому критерию).

**Неисправностями КШМ** являются:

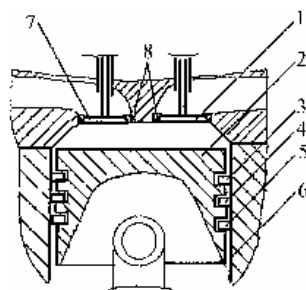
- изнашивание, заклинивание, разрушение вкладышей;
- деформация коленчатого вала;
- деформация и изнашивание отверстий нижней головки шатуна;
- деформация постелей в блоке;
- обрыв шатуна или шатунных болтов;

- изнашивание втулки верхней головки шатуна;
- изнашивание подшипников балансирных валов;
- заклинивание или разрушение подшипников балансирных валов;
- нарушение смазки подшипников скольжения;
- увеличение зазоров между подшипником и шейкой вала, а также между втулкой верхней головки шатуна с поршнем и пальцем поршня;
- пониженное давление масла в главной магистрали смазки подшипников.



**Рис. 6.4. Контролируемые структурные параметры ЦПГ:**

$h_1$  – зазор в стыках поршневых колец;  $h_2$  – зазор между цилиндром и поршнем;  $h_3$  – зазор между поршнем и кольцом по высоте канавки



**Рис. 6.5. Элементы, обеспечивающие герметичность камеры сгорания двигателя:**

1 – впускной клапан; 2 – поршень; 3 – верхнее компрессионное кольцо; 4 – среднее компрессионное кольцо; 5 – маслосъемное кольцо; 6 – цилиндр; 7 – выпускной клапан; 8 – седла клапанов

Причинами падения давления масла в смазочной системе двигателя могут быть: понижение уровня и разжижение масла, неплотность в соединениях, большой износ коренных и шатунных подшипников, неисправность масляного насоса или редукционного клапана. В случае внезапного падения давления при движении автомобиля нужно немедленно остановить двигатель и проверить уровень масла. Если он нормальный, надо вывернуть датчик давления масла и кратковременно повернуть коленчатый вал двигателя. Выбивание сильной струи масла при этом является внешним признаком неисправности датчика. Отсутствие струи свидетельствует о полном прекращении подачи масла и необходимости проведения ремонта системы маслоснабжения.

Повышенное давление масла может возникнуть в результате избыточной вязкости масла, загрязнения маслопроводов и заедания редукционного клапана.

**Основными причинами неисправности ГРМ являются:**

- нарушение тепловых зазоров между стержнями клапанов и носками коромысел;
- подгорание рабочих фасок клапанов и седел;
- потеря упругости или поломка пружин клапанов;

- повышенный износ толкателей, штанг, коромысел, направляющих втулок клапанов, опорных шеек, втулок и кулачков распределительного вала, его упорного фланца и зубьев распределительного зубчатого колеса.

Неисправности газораспределительного механизма (ГРМ) уменьшают мощность и ухудшают экономичность двигателя.

Нарушение тепловых зазоров между стержнями клапанов и носками коромысел приводит к снижению эффективной мощности двигателя. Тепловой зазор в клапанном механизме двигателя обеспечивает необходимую посадку клапана на седло и компенсирует тепловое расширение деталей механизма.

Характерным признаком при увеличенном тепловом зазоре при работе двигателя с малой частотой вращения коленчатого вала без нагрузки прослушивается резкий звонкий стук. При этом уменьшается высота подъема и проходное сечение клапана. Причинами увеличения теплового зазора являются изнашивание торцевой части деталей привода и кулачка, развальцовка от значительных знакопеременных нагрузок торцевой части привода и самого клапана.

Увеличение теплового зазора приводит к ухудшению очистки цилиндра от отработавших газов, в результате чего уменьшается наполнение цилиндра свежим зарядом воздуха горючей смеси, что ухудшает процесс сгорания.

При уменьшенном тепловом зазоре нарушается его посадка в седло, подгорают фаски клапанов и их седла, двигатель работает с перебоями.

Признаками уменьшенного теплового зазора являются периодические хлопки в впускном или выпускном трубопроводах. У карбюраторных двигателей при уменьшенных тепловых зазорах впускных клапанов возникают хлопки в карбюраторе, а выпускных клапанов – в глушителе.

**Неисправности турбокомпрессора.** Наиболее распространенными неисправностями двигателя, которые связаны с техническим состоянием турбокомпрессора, являются:

- снижение мощности;
- повышение расхода масла;
- перегрев двигателя;
- нарушение процессов сгорания топлива, что проявляется в появлении черного и синего дыма из выхлопной трубы.

Основными причинами неисправностей турбокомпрессора являются:

- нарушение процессов смазывания из-за загрязнения или недостатка масла (утечка и снижение давления);
- попадание инородных предметов;
- загрязнение воздушных каналов;
- загрязнение и отложение на лопаточном аппарате смолистых веществ, которые могут приводить к повышению дисбаланса;
- повышение температуры отработавших газов;
- деформация и износ лопаточного аппарата турбокомпрессора;
- износ (увеличение зазора) в подшипниках скольжения;

- подтекание масла в системе смазки и соединениях деталей турбокомпрессора;
- повышенный шум и вибрация турбокомпрессора;
- закоксование корпуса подшипников;
- утечка газов на входе или выходе турбины.

#### **Неисправности системы рециркуляции отработавших газов.**

Большой процент неисправностей, связанных с системой рециркуляции отработавших газов, обусловлен следующими причинами:

- вследствие ужесточения норм токсичности отработавших газов система рециркуляции стала работать в более широком диапазоне режимов;
- специфика организации рабочего процесса с поздним (за ВМТ) впрыскиванием топлива и послеवпрысками для обеспечения работы каталитического нейтрализатора ОГ приводит к образованию большого количества сажи, которая относительно быстро выводит из строя систему рециркуляции ОГ.

### **6.3. Неисправности системы питания двигателя топливом**

#### **6.3.1. Общая характеристика неисправностей**

Система питания дизеля обеспечивает очистку топлива и равномерное распределение его по цилиндрам строго дозированными порциями. Она состоит из топливного насоса высокого давления, форсунок, фильтров грубой и тонкой очистки топлива, топливopодкачивающего насоса низкого давления, топливopроводов низкого и высокого давления, топливных баков, электромагнитного клапана и свечей электрофакельного устройства. Обеспечение стабильности заданных характеристик топливopодачи (неравномерности цикловой подачи, идентичности продолжительности впрыскивания, закона подачи, угла опережения впрыскивания) является непременным условием надежной и экономичной работы дизеля. Нестабильность параметров топливopодачи снижает технико-экономические показатели работы двигателя, повышает механическую и тепловую нагрузку цилиндров, увеличивает дымность и токсичность отработавших газов.

Отрицательное влияние нестабильности параметров топливopодачи особенно ощутимо проявляется на режимах малых цикловых подач и частот вращений коленчатого вала. При работе на режимах холостого хода отсутствие необходимой равномерности может привести к неустойчивой работе дизеля.

На систему питания дизелей приходится до 9 % всех неисправностей автомобиля. Распределение отказов топливной системы современных автомобилей с непосредственным впрыском представлены в табл. 6.2, из которой следует, что 63,4 % от общего числа отказов топливной системы вызваны неисправностями топливного насоса, форсунок или датчика кислорода. Основной причиной выхода из строя системы впрыска Common Rail, кроме естественного износа, является использование некачественного дизельного топлива.

### Основные неисправности топливной системы двигателей

Элементы топливной системы	Количество неисправностей	Относительная величина неисправностей, %
Топливный насос	29	45,31
Форсунка	19	29,68
Датчик кислорода	16	25
Электронный блок управления	12	18,75
Расходомер воздуха	10	15,62
Дозатор-распределитель топлива	4	6,25
Датчик температуры охлаждающей жидкости	4	6,25
Потенциометр дроссельной заслонки	3	4,68
Датчик абсолютного давления	9	3,12
Стабилизатор давления	2	3,12
Автомобилей всего		64

Неисправности систем Common Rail приводят к тому, что автомобиль просто не заводится, причем причин этому может быть очень много: от неисправностей насоса низкого давления и топливоподающей системы, насоса высокого давления, СР-форсунок, управляющего клапана до выхода из строя блока управления двигателя. Опасной неисправностью Common Rail является неспособность системы обеспечить максимальное давление в аккумуляторе давления топлива при нагрузке, когда автомобиль движется с большим ускорением, например, при обгоне. В таких случаях давление должно достигать пиковых величин, которые изношенный насос или потерявшие гидроплотность форсунки не могут обеспечить. Система управления двигателем фиксирует несоответствие фактического и требуемого давлений и «умная» электроника глушит двигатель.

Работоспособность системы управления двигателем и системы впрыска зависит от исправности механических и гидромеханических систем ЦПГ, КШМ и ГРМ. Они вызывают неисправности, которые ошибочно могут быть приняты за неисправности электронной системы управления. Их неисправности могут привести к изменению момента начала подачи топлива, неравномерности работы топливного насоса по углу поворота коленчатого вала и количеству подаваемого топлива, ухудшению качества распыливания топлива, что прежде всего вызывает повышение дымности отработавших газов и приводит к незначительному повышению расхода топлива и снижению мощности двигателя на 3...5 %.

Диагностическим признаком неисправности системы питания является затруднение пуска двигателя. В исправном состоянии система питания должна обеспечивать работу двигателя на этом режиме и не допускать при этом резкого изменения частоты вращения коленчатого вала. Режим пуска и свободного ускорения является наиболее благоприятным для выявления многих неисправностей в аккумуляторной системе топливоподачи (АСТП). Даже незначительное изменение давления (отсутствие коррекции давления)

топлива при пуске ухудшает «пусковые» характеристики двигателя за счет неисправностей ТНВД, например, плунжерных пар.

Вероятность неисправности и наступления отказа ТПА определяется множеством факторов, которые можно разделить на три группы: конструктивные, технологические и эксплуатационные (рис. 6.1). К первым двум относятся все факторы, от которых зависит качество изготовления, сборки узлов ТПА, их обкатки, а также конструктивные особенности узлов и агрегатов. К эксплуатационным факторам относятся как естественный износ деталей и старение материалов, так и природно-климатические условия и вызванные нарушением правил эксплуатации; в частности характером и интенсивностью работы дизеля, методом и квалификационным уровнем ТО, транспортировки и очистки топлива, приводящими к быстрому износу или заклиниванию прецизионных пар и т. п. [32]. Поэтому часто существенное ухудшение мощностных и топливно-экономических показателей дизелей объясняется, в первую очередь, изменением технического состояния элементов топливоподающих систем и параметров топливоподачи и в меньшей степени зависит от износа деталей механической системы двигателя.

Основным показателем надежности топливной аппаратуры является ее ресурс в моточасах или срок службы в годах (для тракторных двигателей). Для автомобилей ресурс может оцениваться также в километрах пробега. В течение заданного периода эксплуатации топливная аппаратура должна обеспечивать нормальную работу дизеля без выхода из строя основных деталей, изменения основных показателей процесса топливоподачи, восстановление которых невозможно осуществить регулировкой ТПА.

Топливная аппаратура перспективных автомобильных дизелей должна обеспечивать не менее 500 тыс. км пробега до капитального ремонта.

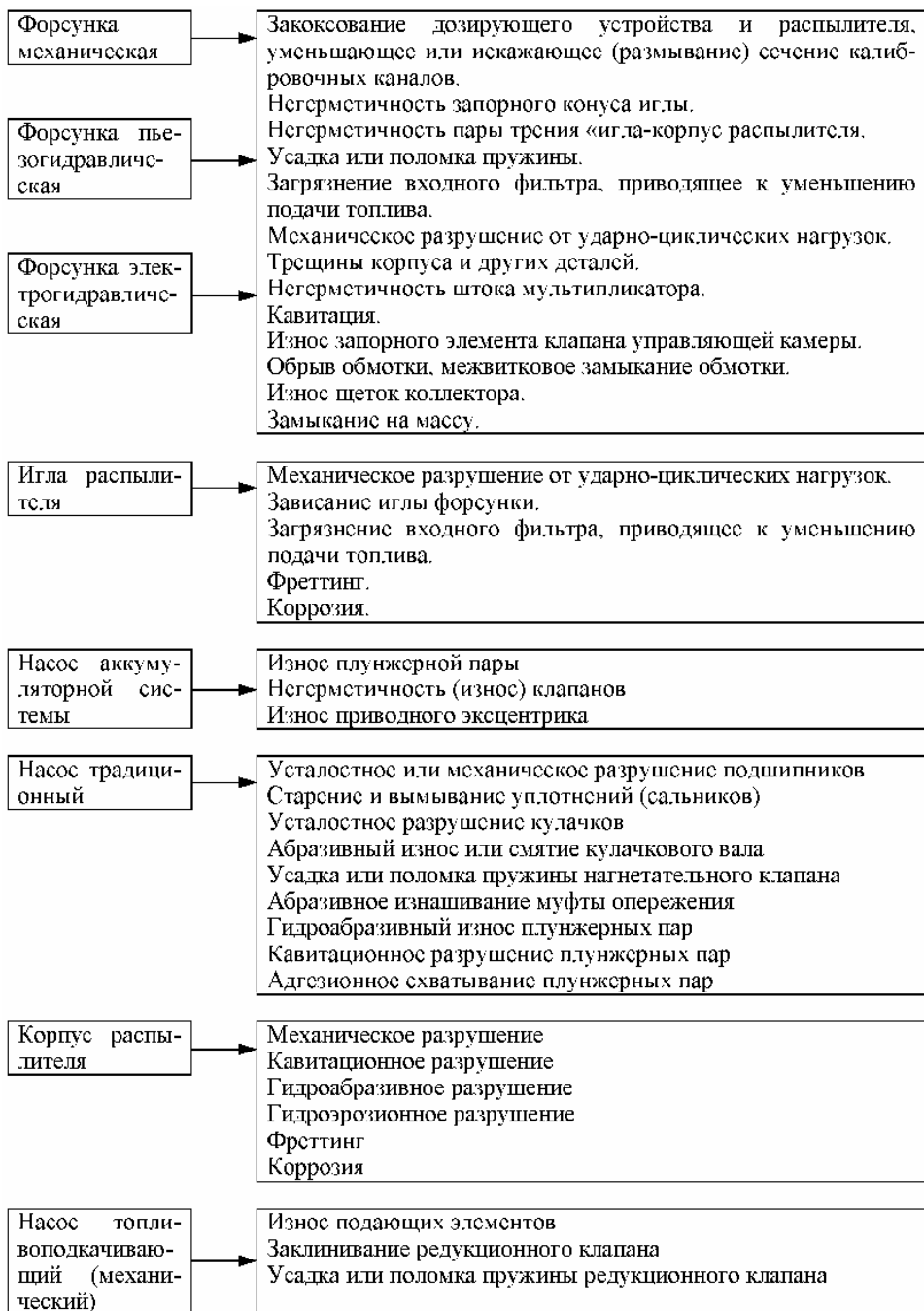
В подавляющем большинстве случаев ухудшение параметров впрыскивания топлива связано с проблемами трения и изнашивания пар трения топливной аппаратуры.

Топливопроводы низкого и высокого давления в процессе эксплуатации из-за вибрации автомобиля могут потерять герметичность. Потеря герметичности в трубопроводе низкого давления (от бака до топливоподкачивающего насоса) приводит к течи и подсосу воздуха через неплотности, что ведет к нарушению работы топливоподкачивающей аппаратуры, а в трубопроводе высокого давления (от топливоподкачивающего насоса до форсунок) – к подтеканию и перерасходу топлива. Неисправности топливной системы дизельного двигателя по объектам диагностирования приведены на рис. 6.6 [32].

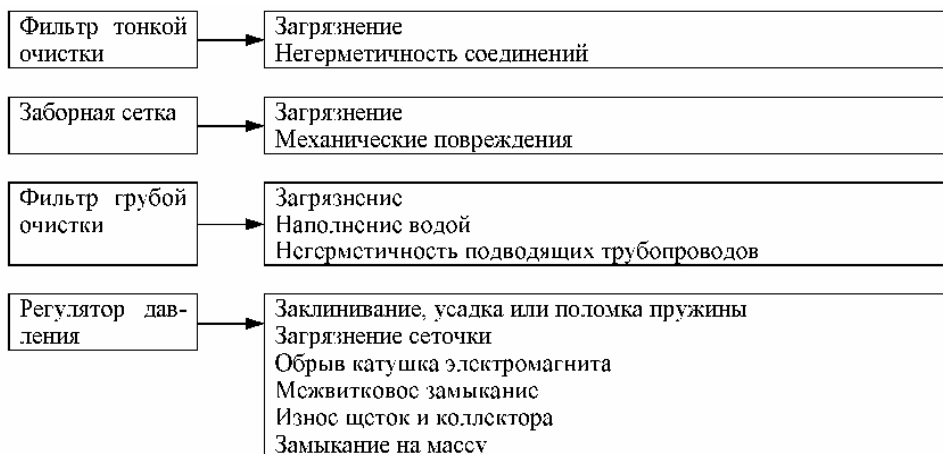
**Признаками неисправностей системы питания** являются невозможность пуска или затрудненный пуск двигателя, падение мощности, дымление, стуки, неустойчивая работа двигателя, его «разнос», то есть когда двигатель трудно остановить.

**Причины уменьшения подачи топлива:**

- снижение давления при впрыске;
- засорение топливопроводов, заборника в топливном баке или фильтрующих элементов топливных фильтров;



**Рис. 6.6. Объекты диагностирования топливной системы дизельного двигателя и их неисправности**



Продолжение рис. 6.6

- замерзание воды или загустение топлива в топливопроводах;
- наличие воздуха в топливной системе;
- нарушение угла опережения впрыска топлива, неисправности топливных насосов низкого и высокого давления;
- попадание масла в турбонагнетатель;
- износ и разрегулировка плунжерных пар насоса высокого давления;
- потеря герметичности, форсунок и снижение давления начала подъема иглы;
- износ выходных отверстий форсунок, их закоксование и засорение;
- засорение системы выпуска газов;
- неисправности привода рычага регулятора (при полном нажатии на педаль подачи топлива частота вращения коленчатого вала двигателя не увеличивается);
- избыток топлива, подаваемого в цилиндры (дым черного или серого цвета).

**Причины неравномерной работы дизеля:**

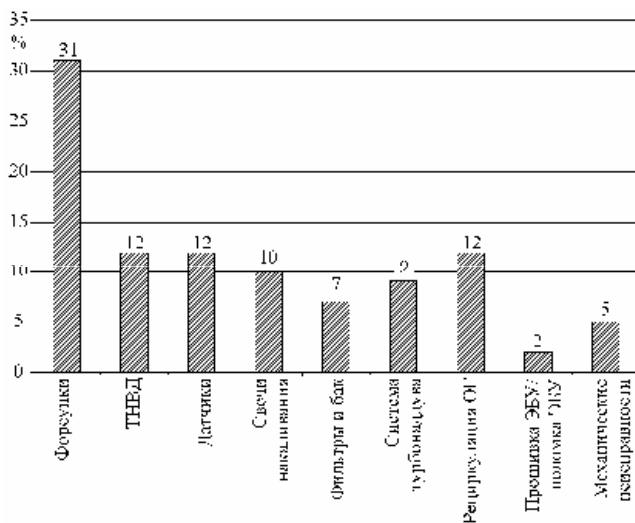
- ослабло крепление или лопнула трубка высокого давления;
- неудовлетворительно работают отдельные форсунки, нарушена равномерность подачи топлива секциями ТНВД;
- неисправен регулятор частоты вращения.

**Причины работы дизеля «вразнос»:**

- заедание рейки ТНВД;
- поломка пружины рычага ее привода;
- попадание лишнего количества масла в камеру сгорания из-за износа цилиндропоршневой группы.

Для АСТП на первом месте по числу отказов находятся форсунки – 31%, примерно по 12 % отказов приходится на ТНВД, систему рециркуляции отработавших газов и датчики системы управления (рис. 6.7) [37]. По сравнению с форсунками традиционной топливной аппаратуры в аккумуля-

торных системах на форсунки приходится большая доля неисправностей. Это обусловлено тем, что электрогидравлические форсунки сложнее традиционных. Одновременно с этим они чувствительнее к содержанию в топливе воды и частиц размерами более 2 мкм.



**Рис. 6.7. Неисправности элементов аккумуляторной топливной аппаратуры и систем управления двигателем**

Кроме того, существенное влияние на состояние распыливающих отверстий оказывает уровень давления впрыскивания, которое значительно выше по сравнению с традиционной топливной аппаратурой. Несмотря на значительное упрощение конструкции ТНВД в АСП, а также вследствие повышенной чувствительности к качеству топлива и высоких развиваемых давлений количество отказов ТНВД аккумуляторных систем выше по сравнению с традиционной топливной аппаратурой.

К неисправностям, присущим только аккумуляторным системам, можно отнести следующие:

- выход из строя электромагнита форсунки, обрыв цепи, неисправность высоковольтного конденсатора в блоке управления;
- износ седла клапана управляющей камеры;
- износ прецизионных поверхностей мультипликатора и иглы;
- овальность шарика клапана управляющей камеры;
- длительность управляющего сигнала блока управления, а, следовательно, исправность всех датчиков системы управления, непосредственно влияющих на цикловую подачу;
- нарушение (разброс) своевременного впрыскивания и качества распыления топлива по цилиндрам двигателя за счет разной жесткости пружин форсунок, разных зазоров в деталях клапанов, проходных и распыливающих отверстий, индуктивности и сопротивления кату-

шек форсунок.

Структурными параметрами основных узлов АСТП являются зазоры в сочленениях деталей, проходные сечения отверстий, которые непосредственно отражают техническое состояние АСТП. К диагностическим параметрам относятся те, которые имеют функциональную связь со структурными параметрами и косвенно отражают техническое состояние объекта.

Неисправности, отказы или ухудшения характеристик одного из компонентов топливной системы приводят к уменьшению тяговой силы и тягово-экономической и экологической эффективности транспортных машин.

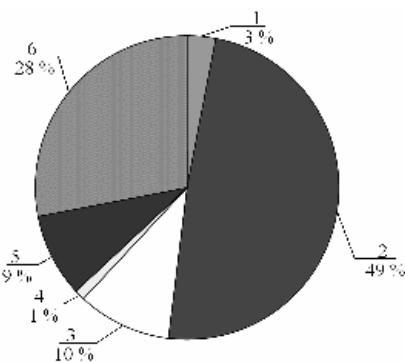
### 6.3.2. Неисправности насосов топливных систем

Для всех систем топливоподачи дизелей, кроме аккумуляторных, неисправности, возникающие в различных узлах, можно распределить в следующем порядке:

- неисправности форсунок – 25 %;
- неисправности электронных и электромеханических компонентов системы управления – 15 %;
- неисправности в линии низкого давления – 12 %;
- примерно по 9 % приходится на ТНВД, турбокомпрессор и механические неисправности двигателя;
- около 3 % отказов приходится на топливоподкачивающие насосы.

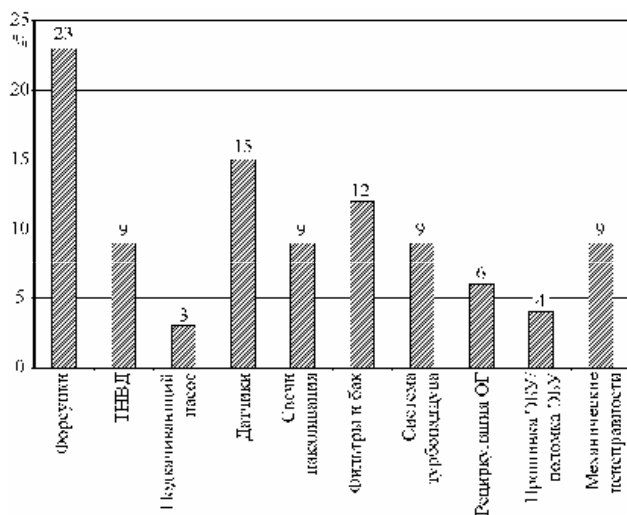
По количеству возникающих неисправностей дизели, оснащенные аккумуляторной системой топливоподачи (АСТП), занимают второе место после традиционных рядных и распределительных ТНВД, оснащенных механическим регулятором или электронной системой управления. Доля неисправных аккумуляторных систем составляет 28 % из всех поступающих в ремонт топливных систем дизелей различных конструкций (рис. 6.8, 6.9).

Одним из распространенных отказов распределительных ТНВД является заклинивание или задиры на поршне автомата опережения впрыскивания топлива (АОВТ) или закупоривание отверстия жиклера, происходящее вследствие попадания продуктов износа деталей ТНВД в нижнюю часть корпуса, где установлен поршень. Доля от общего числа неисправностей деталей и узлов распределительных ТНВД типа VE, связанных с заклиниванием поршня АОВТ и закупориванием его жиклера, в насосах составляют 21 % и 4 % соответственно. Неравномерный износ лопаток топливоподка-



**Рис. 6.8. Распределение неисправностей топливной аппаратуры:**  
1 – ТНВД рядный; 2 – ТНВД распределительный; 3 – ТНВД VP/VR/PSG; 4 – ТНВД индивидуальные; 5 – насос форсунок; 6 – аккумуляторная топливная аппаратура

чивающего насоса приводит к возникновению колебательных явлений в линии низкого давления, в частности, у насосов типа ДРА, существенно ухудшаются равномерность топливоподачи по секциям и стабильность динамического угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ) [43].



**Рис. 6.9. Неисправности топливной аппаратуры дизелей**

Одним из основных элементов топливоподающей системы, определяющим ее надежность, является топливный насос высокого давления (ТНВД). Ресурс насосов во многих случаях ограничивается износом деталей привода плунжеров. Высокая доля отказов распылителей наблюдается практически для всех типов систем, доля отказов плунжерных пар наиболее высока в насосах распределительного типа.

Структурным параметром является величина зазоров, через которые топливо вытесняется с выхода на вход. В результате уменьшается объёмный коэффициент подачи и производительность насоса. Для шестеренчатых топливоподкачивающих насосов аккумуляторной системы топливоподачи характерны неисправности:

- износ поверхностей между зубьями и корпусом;
- заклинивание шестерни или редукционного клапана.

Износ деталей топливных насосов приводит к изменению основных регулировочных параметров.

Из-за недостаточной стабильности жесткости пружин механических регуляторов ТНВД в процессе эксплуатации может существенно уменьшаться частота вращения начала его действия.

В распределительных насосах 28 % основных неисправностей приходится на износ и заедание плунжерных пар, 15 % - на заедание и поломку зубьев промежуточной шестерни.

Заклинивание плунжерных пар наиболее опасно для распределитель-

ных насосов. Так, в частности, в насосах типа VE это приводит к поломке плунжера или к повреждению привода насоса. В насосах НД – к поломке зубьев промежуточной шестерни и др.

Наиболее сильному износу подвержена кулачковая шайба распределительных насосов типа VE с торцевым приводом. Преобладает питтинговый износ кулачков, а также неравномерный (увеличивающийся от центра радиуса) износ переднего фронта кулачков, который достигает 0,5 мм.

Ресурс прецизионных пар возрастает по мере снижения до определенных пределов их исходных зазоров и увеличения гидравлической плотности. Рациональный предел снижения зазора в парах определяется величиной монтажных и рабочих деформаций втулок, а также тонкостью фильтрации топлива. По мере износа пар увеличивается их зазор, и резкое влияние на износ начинают оказывать более крупные частицы. Изменение зазора в пределах 0,6...2,5 мкм существенно не влияет на скорость изнашивания, поэтому уменьшать далее зазор нецелесообразно. В распределительных насосах НД этот зазор варьируется в пределах 0,6...1,6 мкм.

У топливоподкачивающих насосов наиболее часто возникают неисправности, связанные с износом стержня толкателя и его направляющей, нагнетательного и всасывающего клапанов и их гнезд, поршня и его цилиндра. Эксцентрик привода топливоподкачивающего насоса может изнашиваться до 0,3 мм. У топливоподкачивающих насосов поршневого типа по мере эксплуатации возрастают зазоры между поршнем и корпусом (до 0,07...0,20 мм) и штоком и втулкой (до 0,02 мм). В результате снижается подача насоса (почти в два раза) и возрастают утечки топлива в полость корпуса насоса, что приводит впоследствии к разжижению масла в картере двигателя. Предельно допустимые значения зазоров между поршнем и корпусом насоса составляют 0,15 мм, а между толкателем и втулкой – 0,015 мм.

Показатели надежности ТПА могут определяться на основе анализа характера изменения параметров топливоподдачи или коэффициентов, характеризующих их стабильность. Возможность применения этих параметров основана на том, что по мере эксплуатации из-за износа отдельных деталей величины параметров изменяются.

Цикловая подача, непосредственно определяющая мощность двигателя, меняется по мере износа сопрягающих поверхностей деталей насоса высокого и низкого давления и форсунок. В связи с этим цикловая подача может использоваться при оценке состояния как топливного насоса, так и форсунок (при эталонном насосе). При оценке долговечности и сохраняемости топливной аппаратуры может рассматриваться как непосредственное изменение состояния этих элементов, так и изменение цикловой подачи на всех характерных режимах, в частности, на номинальном и пусковом.

Состояние прецизионных узлов (плунжерной пары, нагнетательного клапана, распылителя) и топливоподкачивающего насоса характеризуется их гидравлической плотностью. Интенсивность изменения гидравлической плотности в известной мере является показателем надежности этих узлов. Плотность нагнетательного клапана по пояску можно оценивать по показаниям пневматического прибора; сопряжения «шток-втулка топливоподка-

чивающего насоса» – по скорости падения давления и т. д.

В насосах высокого давления топливоподающих систем (ТПС) типа Common Rail неисправности связаны, прежде всего, с износом плунжеров, поверхностей эксцентриковой обоймы приводного вала и обратных клапанов высокого давления.

**Характерными неисправностями ТНВД типа СР являются [32, 43]:**

**1. Снижение производительности насоса.** Первопричинами этого могут быть указанные далее неисправности. Проявляется либо в полной неработоспособности дизеля, либо во внезапном прерывании работы по команде блока управления ввиду невозможности обеспечения задаваемого уровня давления (обычно по мере роста частоты и нагрузки).

**2. Неисправности клапанов.** Малейшая негерметичность любого клапана (впускного или нагнетательного любой секции) приводит к невозможности достижения высоких давлений. Из-за негерметичности клапанов совершенно новый ТНВД может не работать долгое время, хотя через несколько часов работоспособность может восстановиться. Нарушение герметичности может происходить из-за износа клапанов и седел (визуально при увеличении обнаруживается повреждение запорных поверхностей). Засорение седла – случайный эффект после неаккуратной сборки-разборки ТНВД, появления ржавчины. Потеря подвижности клапанов (по причине коррозии, механической деформации оправки шарикового клапана) приводит к недостаточному наполнению плунжерной полости (впускной клапан) или очень низкому давлению в аккумуляторе (нагнетательный клапан). Излишне большой ход клапана (более 0,4 мм) приводит к его износу и также потере производительности насоса. Несмотря на простую конструкцию шариковых клапанов они очень требовательны к соблюдению технологии изготовления. Неисправности клапанов, связанные с перетечкой топлива под большим давлением, сопровождаются локальным нагревом деталей.

**3. Износ плунжерных пар** происходит по тем же причинам, что и в традиционной ТПА. Отличия заключаются в меньших технологических зазорах в плунжерной паре и невозможности нормальной работы с увеличенными зазорами (по крайней мере, без сильного перегрева насосной секции). В то же время отсутствие отсечной кромки на плунжере и впускных и отсечных окон во втулке плунжера существенно увеличивают его ресурс.

**4. Задиры, заклинивание плунжерной пары,** кроме попадания механических частиц, происходят по причинам монтажных деформаций при нестандартных способах установки и уплотнения. Весьма вероятно возникновение задиров в результате работы ТНВД с большими давлениями и большим дросселированием на всасывании (при большом сопротивлении на всасывании или низком давлении подкачки). В этом случае прихватывание плунжера обусловлено его разогревом при сжатии большого объема газов.

**5. Износ, задиры в подшипниках** обусловлены попаданием абразива в топливо (или масло), непрофессиональной переборкой, нестандартными условиями работы ТНВД с подачей топлива под большим давлением при недостаточной частоте вращения вала. В этом случае снижается несущая способность подшипника скольжения, а этот режим изготовителем не допускается.

**6. Замыкание витков (перегрев), короткое замыкание или обрыв обмотки электромагнитов управления клапанами.** При проверке клапанов следует учитывать, что пропорциональные магниты рассчитаны на регулирование широтно-импульсной модуляции (ШИМ), а не на питание постоянным напряжением. Так, для клапана расхода весь его диапазон регулирования укладывается в интервал 2...6 В постоянного напряжения. Даже кратковременное питание напряжением 12 В является недопустимым вследствие возможного перегрева обмотки и выхода из строя электромагнита. Срабатывание клапана регулирования давления при изменении скважности сигнала наблюдается визуально при демонтированном клапане. При неисправном электромагнитном приводе пружина клапана должна поддерживать давление в аккумуляторе до 30 МПа.

Допустимая неравномерность подачи топлива по секциям ТНВД распределительных топливных насосов типа VE дизелей с различными КС фирм Bosch и Denso представлена в табл. 6.3, для рядных ТНВД – в табл. 6.4.

Таблица 6.3

**Допустимая неравномерность подачи топлива по линиям нагнетания для распределительных ТНВД типа VE фирм Bosch и Denso, %**

Тип КС* дизеля и фирма-изготовитель ТНВД		Номинальный режим		Режим минимального холостого хода	
		регулировка	проверка	регулировка	проверка
Bosch	Неразделенная КС	8...10	10...15	15...30	50
	Неразделенная КС с EDC	5...7	7...10	15...30	40...50
	Разделенная КС	5...7	8...15	20...30	50
Denso	Неразделенная КС	10	-	60...70	-
	Разделенная КС	6...8	-	20...30	-

\* КС – камера сгорания.

Таблица 6.4

**Допустимая неравномерность подачи топлива по секциям рядных ТНВД типа P и MW, %**

Тип КС дизеля	Номинальный режим		Режим минимального холостого хода	
	регулировка	проверка	регулировка	проверка
Неразделенная КС	2,5...7,0	4,5...8,0	14...31	20...49
Разделенная КС	2,4...7,0	4,4...9,0	7,7...20,0	25...60

Кроме межсекционной неравномерности топливоподачи при работе топливоподающей системы наблюдается межцикловая неравномерность, то есть неидентичность следующих друг за другом цикловых подач одной насосной секции. Установлено [43], что межцикловая неравномерность топли-

воподающих систем современных дизелей с механическим регулятором на номинальном режиме не превышает 15 % и вполне удовлетворяет допустимым пределам, но на режимах малых нагрузок и цикловых подач она достигает 60 %. Заметное влияние межциклового неравномерности топливоподачи на технико-экономические показатели работы дизеля начинает проявляться при превышении ее значения на 20 %.

Отказы и неисправности механических элементов топливоподающих систем с электронным управлением практически идентичны механическим системам.

В насосах VE с электронным управлением неустойчивая работа наблюдается при появлении радиального люфта валика перемещения дозатора, износа контактной дорожки в датчике положения дозатора (в электронных регуляторах с резистивным датчиком). В насосах VE и VP29, 30 подача топлива прекращается при заклинивании золотника быстродействующего электромагнитного клапана управления подачей топлива, выходе из строя силовых элементов в электронном блоке управления (ЭБУ).

Неисправности различных датчиков или обрывы в их электрических соединениях (датчики массового расхода топлива, положения коленчатого вала, температуры и др.) приводят к неустойчивой работе двигателя. Нарушения угла опережения впрыскивания в основном обуславливаются обрывом или замыканием в датчике хода иглы форсунки.

Перспективы повышения надежности ТПА связаны с применением технологий индивидуальной регулировки и настройки конкретного элемента ТПА на основе «электронной» коррекции параметров топливоподачи. В целом, показатели надежности и стабильность параметров топливоподачи топливных систем с электронным управлением топливоподачей могут быть улучшены за счет комплексного подхода («механической» и «электронной» настройки) для увеличения периода безотказной работы ТПА.

### **6.3.3. Неисправности и отказы форсунок**

Процесс топливоподачи в дизеле во многом зависит от работы электрогидравлических форсунок (ЭГФ).

Основными причинами неисправностей и отказов ЭГФ являются [32, 43]:

- нарушения герметичности запорного клапана из-за износа седла и (или) шарика;
- посторонние частицы в жиклерах и соединениях;
- коррозия и отложения от некачественного топлива во внутренних полостях ЭГФ;
- износ и заклинивание прецизионных элементов (игла распылителя, управляющий плунжер);
- потери гидроплотности прецизионных соединений вследствие износа направляющей штока клапана, иглы распылителя;
- задиры на направляющей части прецизионных соединений;
- загрязнение внутренних каналов форсунки;
- абразивный износ сопловых отверстий распылителя;

- загрязнение входного фильтра, приводящее к снижению цикловой подачи форсунки;
- термическая перегрузка распылителя;
- эрозия и размывание распыляющих отверстий;
- обрыв или межвитковое замыкание в обмотке электромагнита;
- закоксовывание распыляющих отверстий;
- нарушение герметичности по торцевой поверхности распылителя и корпуса и др.

Неисправная форсунка резко лимитирует работоспособность дизельной топливной аппаратуры.

Наиболее характерные неисправности форсунок следующие: подтекание топлива после впрыскивания, утечки топлива через зазор между отверстием в корпусе и иглой, увеличение хода иглы, зависание иглы и закоксовывание внутренних и наружных поверхностей корпуса распылителя. Неисправности типа подтекания в запирающем клапане приходится до 35 % от всех неисправностей форсунок. Перечисленные неисправности вызываются износом сопловых отверстий, пластической деформацией запирающего конуса, износом торцевой поверхности корпуса форсунки и проставки, уменьшением жесткости пружины и вносом цилиндрических поверхностей и штифта. Наблюдаются случаи коррозионного разрушения рабочей поверхности иглы.

Наиболее слабыми узлами форсунок являются распылители, работающие в весьма тяжелых условиях, с большими ударными нагрузками (на уплотнительный конус действуют ударные нагрузки, иногда в пять раз превышающие статические), интенсивным абразивным износом, при высокой температуре, в агрессивной среде.

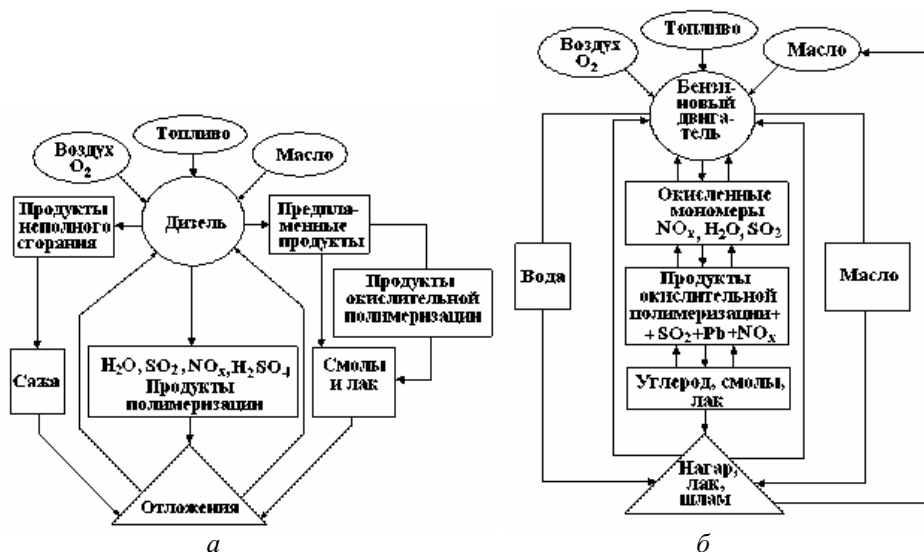
Зависание иглы распылителя вызывается неустойчивостью гидродинамического истечения и тепловой напряженности. Наиболее часто зависание иглы происходит в результате деформации корпуса распылителя. По мнению других авторов, подвижность иглы теряется из-за малой интенсивности отвода тепла от форсунки.

Повышение надежности при совершенствовании конструкции форсунок достигается уменьшением габаритов и массы подвижных деталей, прежде всего за счет уменьшения диаметра иглы, так как это приводит к понижению силы пружины и силы удара иглы о седло и уменьшению возможности обратного прорыва газов. Уменьшение в три раза массы подвижных деталей форсунок снижает интенсивность коксования в 4...5 раз. Уменьшение габаритных размеров также улучшает условия охлаждения головки двигателя и возможности увеличения диаметров его впускных и выпускных клапанов.

Надежность распылителя форсунки может характеризоваться скоростью закоксовывания (снижения эффективного проходного сечения) его сопловых отверстий. Схема примерного процесса образования в дизеле (рис. 6.10, *а*) и в бензиновом двигателе (рис. 6.10, *б*) смол, лаков, нагара, шлама и других отложений показана на рис. 6.10.

Во время работы в пониженном тепловом режиме (пробеги на корот-

кие расстояния, частые пуски и остановки, продолжительная работа на холостом ходу) образование шламов увеличивается в 20...30 раз по сравнению с повышенным тепловым режимом (см. рис. 6.10). Слой отложений толщиной в 5 мкм может изменить пропускную способность сопловых отверстий на 25 %.



**Рис. 6.10. Структурная схема процесса образования загрязнений в дизеле (а) и в бензиновом двигателе (б)**

При закоксовывании сопловых отверстий уменьшается эффективное проходное сечение распылителя и искажается факел распыла. Так как закоксовывание распылителей различных цилиндров обычно происходит неравномерно, то существенно возрастает и степень неравномерности распределения топлива по цилиндрам дизеля.

В результате снижается мощность и экономичность двигателя, работа его на малой частоте вращения коленчатого вала становится неустойчивой, повышается дымность отработавших газов.

Допуски на отклонения давления начала открытия форсунок Bosch и Denso приведены в табл. 6.5 [43].

Таблица 6.5

**Допуски на отклонение давления начала подачи топлива форсункой, МПа**

Фирма-производитель	При замене распылителя	Без замены распылителя
Bosch	±0,4...0,6	±0,4...1,3
Denso	±0,3...0,6	±0,5...1,0

Износостойкость ряда сопряженных элементов деталей форсунки и стабильность жесткости ее пружины можно оценивать по изменению давления начала подъема иглы распылителя. По мере износа этих сопряжений снижается давление начала впрыскивания и, как следствие, возрастает цикловая подача и снижается экономичность двигателя.

Суммарный износ опорных поверхностей иглы, уплотнительного конуса распылителя и торца корпуса форсунки может оцениваться величиной хода иглы. В автотракторных дизелях ее нормальный ход находится в пределах 0,20...0,45 мм, при износе же опорных поверхностей он доходит до 0,6...0,7 мм. При возрастании хода иглы ускоряется изнашивание поверхностей уплотнительного конуса распылителя и его закоксовывание. При закоксовывании сопел распылителей форсунки в линии высокого давления наблюдается эффект гидроудара. Так как ТНВД типа MW имеют высокие давления нагнетания и плунжер является неуравновешенным (отсутствует симметрическая канава по отношению к отсечной), в результате происходит заклинивание плунжерной пары.

Ранжирование исследованных отказов и неисправностей электрогидравлической форсунки первого поколения производства Bosch представлены в табл. 6.6 [43].

Таблица 6.6

### Основные неисправности форсунок типа CR фирмы Bosch

Основные неисправности	ООО «Башдизель», г. Уфа, Россия		«Carwood motor's units limited», г. Бирмигем, Вели- кобритания		Отдел качества «Бош Дизель Центр», г. Хомбург, Германия
	Превы- шение допусков	Причи- на отка- за	Превы- шение допусков	Причи- на отка- за	Причина отказа
Нарушение гидроплотности запорного клапана	90-95%	80%	10%	10%	35%
Прорыв уплотнения фторопластовой шайбы	10%	1%	40%	40%	25%
Нарушение гидроплотности распылителя или заклинивание иглы	40%	10%	80%	40%	30%
Износ штока	15%	2%	1%	1%	Нет данных
Предельное изменение диаметра жиклера	1%	1%	0%	0%	Нет данных
Выход из строя электромагнита	3%	3%	1%	3%	5%
Повреждение корпуса	10%	2%	0,5%	5%	3%
Прочие	1%	1%	2%	2%	2%
Итого	-	100%	-	100%	100%

Данные по третьей колонке таблицы составлены на основе анализа неисправностей 980 форсунок, по четвертой – более 950 отдефектованных в

специализированных предприятиях по ремонту топливной аппаратуры дизелей.

Исследования показали, что у форсунок типа CR фирмы Bosch и в России и в Великобритании средний ресурс до ремонта примерно одинаков и составляет у автомобилей порядка 80-100 тыс. км пробега, у тракторов – 2,1...2,5 тыс. моточасов.

Как и следовало ожидать, работоспособность ЭГФ в значительной мере определяется состоянием их прецизионных узлов. Вместе с тем исследования выявили существенные различия в удельном весе отказов узлов ЭГФ в зависимости от условий эксплуатации. Так, если в России большая доля отказов (80 %) связана с работоспособностью запорного клапана, то в Великобритании основной причиной отказов являются: прорыв фторопластовой шайбы и нарушение гидроплотности или заклинивание распылителя. В европейской части стран Евросоюза, по данным «Бош Дизель Центра» в г. Хомбург (Германия), отказы ЭГФ определяются износом деталей клапанной группы, прорывом фторопластовой шайбы и износом распылителя [43].

Отличительной особенностью испытания ЭГФ является то, что кроме оценки и настройки общих для всех контрольных параметров, выделяются индивидуальные особенности каждой форсунки, формируемые прежде всего ее индивидуальными гидравлическими характеристиками. Поэтому наблюдается тенденция «персонализации», то есть настройки и регулировки конкретной топливной аппаратуры к определенному двигателю. При этом процесс проверки и настройки, как правило, проходит в автоматическом режиме в соответствии с тест-планами производителей топливоподающей аппаратуры и (или) оборудования для испытаний ТПА.

Аналогичная «персонализация» контрольных параметров и допусков наблюдается в тест-планах на проверку и настройку форсунок CR. Анализ тест-планов фирм Bosch и Hartridge для форсунок системы CR показал, что у большинства производителей топливоподающих систем (ТПС) допуски на цикловые подачи на режиме максимального крутящего момента и номинальном режиме составляют, соответственно, не более  $\pm 10\%$  и  $\pm 5\%$ . Сравнивая и анализируя тест-планы фирмы Bosch, можно отметить, что допуски по неравномерности при проверке на стенде достигают 30 %. Если же судить о показателе «расход на управление», то допуски на некоторых режимах по тест-планам достигают 200 % (табл. 6.7 [43]).

Электронное управление топливоподачей открывает возможности гибкой корректировки параметров топливоподачи через ЭБУ даже при значительных отклонениях геометрических размеров и гидравлических характеристик прецизионных элементов ТПА. Применение данной концепции позволяет расширить допусковые величины контрольных размерно-гидравлических параметров элементов ТПА при сборке форсунки с одновременной электронной корректировкой программой управления топливоподачей. Все это обуславливает изменение и уход от общих оценочных показателей ТПА в направлении еще большей «персонализации», то есть каждый элемент топливной аппаратуры должен иметь индивидуальную регулировку и настройку в соответствии со своими размерно-гидравлическими параметрами.

**Основные показатели тест-плана проверки работоспособности форсунки первого поколения CR фирмы Bosch на стенде EPS 200**

Режим	Длительность импульса, мс	Давление, МПа	Продолжительность испытаний, с	Цикловая подача, мм <sup>3</sup> /цикл	Расход на управление, мм <sup>3</sup> /цикл
Тест на герметичность	0	140	200	-	35±35
Полная нагрузка	800	135	90	50,9±4,0	49±32
Холостой ход	675	25	40	4,7±1,6	
Режим пуска	160	80	40	1,5±1,2	

Фирма Bosch на стендах EPS 815, EPS 708 для кодирования форсунок системы CR второго поколения CRI 2.1 и CRI 2.2 применяет восьмизначный IMA код (IMA – Injector Menge Abgleichung). Фирма Delphi на стендах фирмы Hartridge CRI-PC с программным обеспечением IRIS использует для кодирования форсунок своего производства шестнадцатизначный C2I или двадцатизначный C3I код (Correction Individuelle Injecteur). Фирма Denso использует QR код. Технологический процесс проверки и выписки кода ведется одновременно для 4-6 форсунок и занимает от 30 до 60 минут в зависимости от количества и модели форсунки.

Каждая ЭГФ после установки на двигатель идентифицируется в ЭБУ в соответствии со своим индивидуальным кодом и в последующем показатели процесса топливоподачи каждой форсунки на двигателе в режиме реального времени корректируются ЭБУ в соответствии с присвоенным идентификационным кодом.

#### **6.3.4. Неисправности, вызываемые применением некачественного топлива, масла и состоянием фильтров**

Срок службы фильтров определяется количеством пропущенного через них топлива. По мере эксплуатации возрастает их гидравлическое сопротивление. Поэтому показателем состояния фильтров может служить скорость возрастания их гидравлического сопротивления.

Чистота и состав используемого топлива сильно влияет на долговечность прецизионных (плунжерная пара, распределители и др.) или тяжело нагруженных элементов (кулачковый вал, ролик толкателя и пр.).

У топливных насосов низкого давления лопастного типа изнашиваются внутренняя поверхность обоймы ТНВД, лепестки ТНВД, сопрягающиеся с ротором поверхности торцевой крышки и корпуса насоса. Этот износ, как правило, связан с применением некачественного топлива или люфтом приводного вала.

При закупоривании жиклера или предохранительного сетчатого фильтра сливного штуцера количество топлива перепускаемого на обратный слив резко меняется, что приводит к нарушению температурного режима работы насоса из-за низкой циркуляции охлаждающего агента – топлива. При полном закупоривании отверстия дросселя (коэффициент цирку-

ляции системы равен нулю) происходит сильный нагрев (до 85...92 °С) топлива, корпуса и других деталей и узлов ТНВД, что приводит к их повышенному износу. С ростом температуры уменьшаются плотность и вязкость топлива, увеличиваются утечки в прецизионных парах. Это ведет к уменьшению цикловой подачи, изменению угла опережения впрыскивания топлива и отрицательно сказывается на ресурсе ТНВД.

Опасной неисправностью бумажных фильтрующих элементов является прорыв перегородки, вследствие чего к прецизионным парам проходит нефилтрованное топливо, что ведет к резкому возрастанию интенсивности их изнашивания.

В насосах VE и VP со смазкой топливом при использовании некачественного топлива или неправильного натяжения приводного ремня (в дизелях с ременной передачей) изнашиваются приводной вал и его втулки, появляется люфт между приводным валом, крестом и кулачковой шайбой, достигающий 0,35 мм.

Изнашивание цилиндрических поверхностей нагнетательного клапана и его корпуса объясняется в основном действием абразивных частиц в топливе и появлением деформации корпуса клапана при затяжке нажимного штуцера, а также циклической его деформации в процессе топливоподачи.

Использование альтернативных видов топлива (рапсового масла, FAME – жирного кислотного метил-эфира и т. д.) приводит к появлению отложений, смолообразованию на деталях и узлах ТНВД, разрыхлению и разрушению неметаллических уплотнителей. У ТНВД с электронным управлением такие отложения могут вызвать изменение характеристик управления процессом топливоподачи и появление многочисленных неисправностей дизеля в целом.

### **6.3.5. Дефекты и неисправности, вызываемые нарушениями технологии сборки, регулировки и монтажа топливной аппаратуры**

Нарушение работоспособности компонентов топливоподающих систем во многих случаях объясняется нарушением технологии сборки и эксплуатационными факторами, в частности, использованием некондиционного топлива, низкой квалификацией обслуживающего персонала, производящего регулирование и ремонт, эксплуатацию и техническое обслуживание дизельных двигателей.

**Сборка и регулировка форсунок.** Вероятность зависания иглы во многом зависит от величины момента затяжки гайки распылителя. При чрезмерно больших усилиях затяжки наблюдаются значительные деформации корпуса распылителя, нарушающие геометрию уплотнительного конуса и направляющего отверстия и, как следствие, ухудшающие подвижность иглы и герметичность ее посадки в уплотнительный конус по причине деформации корпуса распылителя форсунки, что чаще всего ведет к отказу в начальный период эксплуатации. Монтажные деформации определяются усилиями затяжки гаек форсунок и крепления их в головке двигателя.

В реальных условиях всегда имеется определенная неперпендикулярность опорных поверхностей гайки и форсунки к осям их резьбы. Для обес-

печения надежного уплотнения стыка между корпусами распылителя и форсунки при большой жесткости гайки приходится закручивать ее со сравнительно большим моментом. И наоборот, малая жесткость гайки способствует самоустановке корпуса распылителя относительно корпуса форсунки. Поэтому надежное уплотнение указанного стыка достигается при сравнительно малых моментах затяжки гайки.

В процессе затяжки стяжной гайки распылителя корпус распылителя деформируется, что приводит к изменению зазора между иглой и направляющей, что влияет на подвижность иглы. В результате деформации корпуса распылителя нарушается цилиндричность продольной формы направляющей его части. С повышением усилия затяжки диаметр направляющего отверстия ближе к дифференциальной площадке прямо пропорционально увеличивается, повышая утечки через прецизионное соединение, а у торца распылителя, напротив, начиная с момента затяжки в 34 Н·м наблюдается его прогрессивное уменьшение вплоть до заклинивания иглы распылителя [43].

Гайки штифтовых распылителей затягивают с усилием 100...120 Н·м, бесштифтовых – 70...80 Н·м, контргайку регулировочного болта пружины – 100...200 Н·м, колпак форсунки – 80...100 Н·м.

Стяжная гайка затягивается с установленным моментом затяжки при помощи динамометрического ключа. Заводы-изготовители последнее время, особенно для малогабаритных распылителей повышают рекомендованный момент затяжки стяжной гайки, что может отрицательно сказываться на подвижности иглы распылителя, вследствие деформации его корпуса.

Для исключения излишней деформации при усадке корпуса распылителя осуществляют несколько этапов затяжки стяжной гайки: предварительная затяжка определенным моментом с помощью динамометрического ключа, ослабление на заданный угол, наложение с небольшим заданным моментом и окончательная затяжка путем поворота накидной гайки на установленный угол. В зависимости от модели форсунки и формы торцевой поверхности момент затяжки изменяется, а при его несоблюдении появляются неисправности распылителя диапазонов. Четкие моменты затяжки имеют индивидуальную составляющую.

Недозатяжка пружины форсунки на каждые 3 МПа приводит к увеличению расхода топлива на 3 %, а при отклонении от номинального значения на 6...7 МПа расход топлива возрастает на 20...25 %. Закоксовывание сопловых отверстий распылителей форсунок на 20...28 % приводит к падению мощности дизеля на 6,5...8 % и топливной экономичности – 5 % [43].

В соответствии с ГОСТ 10579-88, ГОСТ 10578-96 значения моментов затяжки гаек распылителей, а также крепления плунжерных пар на насосы устанавливают в технических условиях. Особенно большое внимание моментам затяжки гайки распылителя уделяется в современных аккумуляторных топливоподающих системах. В частности, при сборке форсунки CR двигателя OM612.981 автомобиля Mercedes-Benz Sprinter 413, необходимо произвести предварительную затяжку накидной гайки с моментом 58-62 Н·м, затем ослабить затяжку поворотом ключа на 120°, после чего затя-

нуть с усилием 5 Н·м и окончательно затянуть накидную гайку поворотом ключа на 50...56°. При этом момент затяжки должен лежать в пределах 28...36 Н·м. Таким образом, при сборке форсунки стараются исключить деформацию распылителя. Исследованиями в ГОСНИТИ установлено, что при затяжке нажимного штуцера топливного насоса типа ТН с моментом 120 Н·м втулка в сечении ниже окон деформируется на величину до 3 мкм.

Основные показатели качества работы форсунок и распылителей и методы их проверки регламентируются соответствующими сервисными указаниями и руководствами производителей форсунок и могут существенно различаться как по количеству контрольных параметров, так и по жесткости допусков.

Техническое состояние форсунок можно определить по следующим признакам:

- подвижность иглы распылителя;
- герметичность по запирающему конусу, в местах уплотнений и соединений;
- гидроплотность распылителя форсунки;
- величина давления начала подачи топлива;
- пропускная способность, характеризуемая эффективным проходным сечением распылителя и щелевого фильтра;
- качество распыливания топлива.

Эти параметры проверяют как на стенде с ручным (механическим) приводом или аккумуляторной установке, оборудованными приспособлениями для крепления форсунки, манометром или датчиком давления и прибором отсчета времени, так и на специализированных стендах, оснащенных соответствующим дополнительным оборудованием в зависимости от типа испытываемого агрегата.

Показатели качества работы испытываемой форсунки сравнивают с техническими условиями завода-изготовителя и в случае не соответствия форсунку выбраковывают или ремонтируют. Испытание форсунок и распылителей проводят на технологической жидкости с вязкостью 9,9...10,9 мм<sup>2</sup>/с или на профильтрованном дизельном топливе.

**Сборка и регулирование насосов.** Эксплуатационная надежность топливоподающей аппаратуры обеспечивается прежде всего строгим выполнением установленных правил эксплуатации, технического обслуживания, соблюдением технологии ремонта.

Большинство производителей ТПА предъявляют категоричные требования по обеспечению абсолютной чистоты в рабочей зоне испытаний ТНВД и особенно при его гарантийном обслуживании, при разборке, сборке и дефектации.

Большое разнообразие конструкций ТНВД типа СР различных производителей требует учета, что методики их проверки существенно различаются и гарантированное заключение о техническом состоянии насоса может быть получено только при использовании рекомендованных заводом-изготовителем методик и соответствующего оборудования. Любое отклонение от установленной технологии проверки ТНВД ведет к существенному

искажению полученных контрольных значений.

При весьма малых зазорах в трущихся парах насосов особое значение имеет снижение вероятности зависания плунжера во втулке, которое достигается уменьшением монтажных деформаций втулки путем снижения усилия затяжки штуцера насоса, повышения жесткости втулки и совершенствования ее конструкции. Регулировка топливных насосов высокого давления дизелей представляет собой набор операций, требующих высокой квалификации исполнителя, специализированного дорогостоящего оборудования, наличия технической информации и большой номенклатуры запасных частей.

Контроль ТНВД при эксплуатации проводят в случае его отказа или при техническом обслуживании по результатам диагностирования системы питания, а также при капитальном ремонте двигателя.

Вследствие конструктивных особенностей различных ТНВД и эксплуатационных условий их работы методика регулирования ТНВД должна строго соответствовать инструкции завода-изготовителя, причем для конкретно заданного дизеля. Несоблюдение требований по подготовке стенда к проверке может существенно снизить точность измерений, а следовательно качество регулировки и ремонта ТНВД в целом. На точность измерения параметров влияют следующие факторы:

- тип системы привода;
- мощность электродвигателя привода;
- мгновенное снижение частоты вращения при нагнетании;
- момент инерции маховика стенда;
- соединение насоса с инерционной массой (муфты, приводной вал, крепление насоса);
- система подачи топлива к ТНВД;
- регулировка температуры и ее измерение;
- регулировка и измерение давления подкачки;
- состояние трубопроводов высокого давления;
- тип измерительной системы;
- система сбора топлива;
- система счетчика-прерывателя циклов;
- мерная система (ошибки при сливе, погрешность осаждения);
- электронные помехи.

Например, уменьшение массы маховика на 1 % снижает цикловую подачу топлива при проверке на номинальном режиме на 3 %. Нестандартное соединение насоса с инерционной массой (муфты, приводной вал, крепление насоса) в общем может давать до 8 % погрешности.

Основной причиной увеличения неравномерности подачи топлива секциями ТНВД в процессе эксплуатации является износ плунжерных и клапанных пар, разрегулировка форсунки по давлению начала подачи топлива, закоксовывание сопел распылителя, неидентичность пропускной способности трубопроводов и т. д. Вследствие этого создается неодинаковое гидравлическое сопротивление движению топлива, нагнетаемого насосными секциями, что приводит в итоге к изменению величины цикловой подачи

топлива, хотя активный рабочий ход плунжера остается прежним.

Различие технических состояний комплекта форсунок и топливопроводов, используемого на регулировочном стенде и устанавливаемого на дизель, также вызывает несоответствие величин цикловых подач, полученных при испытании насоса и фактически впрыскиваемых в цилиндр дизеля.

Поэтому для обеспечения необходимой точности дозирования топлива в процессе работы на дизеле, кроме погрешности регулировочного стенда, необходимо учитывать погрешность вызываемую, с одной стороны, нестабильностью параметров стендовых форсунок, с которыми регулируется насос, а с другой стороны – параметров рабочих форсунок и топливопроводов, устанавливаемых на дизель.

Параметры рабочих форсунок и топливопроводов имеют довольно существенный допустимый разброс. Так отклонение одной только пропускной способности распылителей по эффективному проходному сечению некоторыми стандартами допускается в пределах  $\pm 6\%$  от номинального значения. Следовательно, правильная регулировка насоса возможна лишь в том случае, если при стендовых испытаниях обеспечена предусмотренная техническими требованиями на регулировку насосов идентичность пропускной способности стендовых форсунок и топливопроводов высокого давления.

#### 6.4. Неисправности электронных систем управления двигателем

Общими неисправностями для всех видов датчиков являются: нарушение правил крепления (перезатяжка) датчиков, что ведет к искажению их показаний; окисление контактов; обрыв в проводке; отсутствие питания; искажение сигнала вследствие возникновения помех при нарушении экранирующей оплетки информационного провода. Виды других неисправностей по каждому типу датчиков приведены в табл. 6.8. Неисправности датчиков приводят к считыванию из базовой или корректирующих матриц некорректных значений и к ошибкам в формировании управляющих импульсов.

Таблица 6.8

**Неисправности элементов системы управления работой топливной аппаратуры**

Элемент	Принцип действия	Неисправность	Изменение сигнала
Датчик положения коленчатого вала	Индукционный	Короткое замыкание обмотки	Ослабевание амплитуды сигнала
		Обрыв обмотки	Отсутствие сигнала
		Замыкание обмотки на корпус	Отсутствие сигнала
		Биение задающего диска	Волнообразный сигнал («рыба»)
		Дефекты зубьев задающего диска	Искажение отдельных участков осциллограммы

Элемент	Принцип действия	Неисправность	Изменение сигнала
Датчик положения распределительного вала	Элемент Холла	Неисправность согласующего транзистора	Отсутствие сигнала, постоянный сигнал, высокий нижний уровень сигнала
	Оптический	Деформация задающего диска (флажка)	Искажение отдельных участков осциллограммы
Загрязнение оптипары		Пропуски импульсов	
Датчик скорости автомобиля	Элемент Холла	Неисправность согласующего транзистора	Отсутствие сигнала, постоянный сигнал, высокий нижний уровень сигнала
		Износ посадочного места привода от коробки передач	Нестабильный сигнал на малой скорости. Отсутствие сигнала при увеличении скорости
Датчик температуры (охлаждающей жидкости, масла)	Полупроводниковый	Неисправность второго плеча делителя в блоке управления	Неверный уровень сигнала
		Изменение сопротивления полупроводникового элемента	
Датчик положения дроссельной заслонки (педаль акселератора)	Элемент Холла	Отсутствие питания	Отсутствие сигнала, постоянный сигнал, высокий нижний уровень сигнала, «шумы сигнала» при изменении положения заслонки
	Неисправность согласующего транзистора		
Потенциометрический	Потенциометрический	Износ дорожки потенциометра	«Шумы сигнала» при изменении положения заслонки
		Подклинивание напорного диска (пластины)	
Объемный расходомер воздуха с подвижной пластиной	Потенциометрический	Износ дорожки потенциометра	«Шумы сигнала» при изменении положения заслонки
		Подклинивание напорного диска (пластины)	
Массовый расходомер воздуха	Термоанемометрический (нить)	Выход из строя электронной части	Отсутствие сигнала, завышенный уровень сигнала. Заниженный уровень сигнала
		Обрыв измерительной нити (резистора)	
		Загрязнение измерительной нити (резистора)	
Термоанемометрический (пленочный)	Загрязнение измерительной пленки		
Датчик давления воздуха	Пьезоэлемент	Загрязнение подводящей трубки	Заниженный уровень сигнала и запаздывание реакции датчика на переходных режимах, сглаживание осциллограммы
Датчик давления воздуха (продолжение)	Пьезоэлемент	Надрыв, негерметичность подводящей трубки	Повышенный уровень сигнала
		Выход из строя усилителя	Отсутствие сигнала

Элемент	Принцип действия	Неисправность	Изменение сигнала
Датчик давления топлива	Тензоэлемент	Разрушение мембраны	Отсутствие сигнала
		Деформация мембраны вследствие чрезмерной затяжки при установке датчика	Заниженный или завышенный уровень сигнала
		Выход из строя усилителя	Отсутствие сигнала
Датчик детонации	Пьезоэлемент	Недостаточная затяжка при установке датчика, ведущая к его вибрациям	Возникновение «ложных» сигналов о наличии детонации
Циркониевый $\lambda$ -зонд	Твердый электролит $ZrO_2$	Обрыв цепи нагревателя	Сигнал равен опорному напряжению
		Загрязнение чувствительного элемента сажей и присадками к топливу	Уменьшение амплитуды и частоты сигнала
		Разгерметизация контрольной камеры	Отрицательные значения сигнала на бедных смесях
		Физическое разрушение датчика (при деформации от удара)	Отсутствие сигнала (постоянно низкий или высокий уровень сигнала)

Меньше всего отказов приходится на электронные блоки управления (4 %, рис. 6.9).

Надежность компонентов электроники выше у аккумуляторных систем, поскольку отказались от изнашивающихся датчиков на основе потенциометров и заменили их датчиками перемещения на основе элементов Холла. Расширились пределы температурной устойчивости элементной базы контроллеров системы управления.

### Контрольные вопросы

1. Какие области применения термина «дефект»?
2. Каковы причины появления конструктивных дефектов?
3. Обнаружение трещины при эксплуатации двигателя – это дефект или неисправность? Мотивируйте свой ответ.
4. Приведите примеры неисправностей насосов топливоподающих систем.
5. Какие основные неисправности ТНВД типа CR?
6. Какие типовые неисправности форсунок?
7. Приведите причины закоксовывания сопел форсунок.
8. Какие признаки неисправностей распылителей форсунок?
9. Приведите основные причины отказов ЭГФ.
10. Какие признаки и причины гидравлической индивидуальности форсунок?
11. Приведите примеры неисправностей топливоподающих систем, вызываемых применением некачественного топлива и масел.
12. Какие неисправности могут проявляться при нарушениях технологии сборки и монтажа топливной аппаратуры?
13. По каким признакам можно определить техническое состояние форсунок?
14. Какие факторы влияют на точность измерения диагностических параметров ТНВД?

## 7. ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯ

### 7.1. Задачи проектного обеспечения высокого технического уровня создаваемых двигателей

Основные функциональные характеристики и исходные качественные показатели двигателей закладываются на стадии проектирования (П) и доводки (Д), осуществляются при изготовлении и сборке (И) и вводе в эксплуатацию (В), реализуются в процессе эксплуатации (Э). Поэтому надежность и ресурс двигателей определяется комплексом фактического состояния качества (К) [44]:

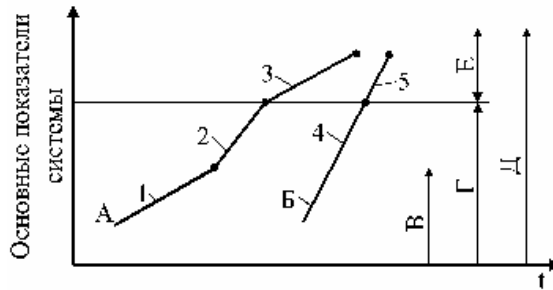
$$K = F(П, Д, И, В, Э) \pm E. \quad (7.1)$$

Фактически каждая составляющая качества двигателя (7.1) имеет  $n$  структурных параметров неизвестного состояния из-за нестабильности технологических процессов и погрешностей их определения (Е). Достоверность знаний о структурных параметрах систем двигателя и характеристик ресурса большого количества элементов двигателя уже на стадиях П, Д, И и В не может быть полной, поскольку значительная часть дефектов конструкции сложных систем двигателя устраняются при доводке лишь по явным их отказам при ограниченных лабораторных и эксплуатационных условиях испытаний. В результате достигнутый технический уровень создания макетных, опытных и серийно выпускаемых двигателей не всегда удовлетворяет заданной надежности и обеспечить требования стабильной работы. Поскольку большая часть скрытых дефектов, определяющих большой разброс конструктивных, технологических и функциональных параметров состояния остается в серийно выпускаемых двигателях. В результате каждый двигатель и автомобиль им оснащенный уже при вводе в эксплуатацию имеет индивидуальные характеристики технического состояния. Эти обстоятельства требуют ввода адаптивных систем управления техническим состоянием двигателей в эксплуатации.

Особая сложность при проектировании диагностического обеспечения возникает из-за высокой нестабильности режимов работы и диагностических параметров, большого разброса значений параметров между отдельными двигателями даже одного технического уровня В и Г (рис. 7.1). На рисунке обозначены: А – кривая стадии эволюционного развития (совершенствования) объекта; Б – реализация новых прогрессивных научно-технических решений (открытий и изобретений), позволяющих значительно сократить время проектирования и доводки машины до заданного технического уровня (этапы 4 и 5 на рис. 7.1).

Производство высоконадежных автомобильных двигателей технического уровня Д (см. рис. 7.1) требует больших затрат при проектировании, доводке и изготовлении и относительно уровня Г меньших затрат при эксплуатации двигателя, то есть в принципе существует оптимальная надеж-

ность двигателя автомобиля, обеспечивающая минимум суммарных затрат. Практически определение оптимальной надежности затруднено, поскольку само понятие надежности многозначно и не может быть выражено единым показателем.



**Рис. 7.1. Технические возможности совершенствования проектирования агрегатов и машин:**

1-5 – циклы совершенствования и доводки машины; В – недопустимый технический уровень; Г – допустимый технический уровень; Д – необходимый технический уровень; Е – зона необходимого экономически обоснованного технического уровня; t – периоды (годы) разработки и доводки

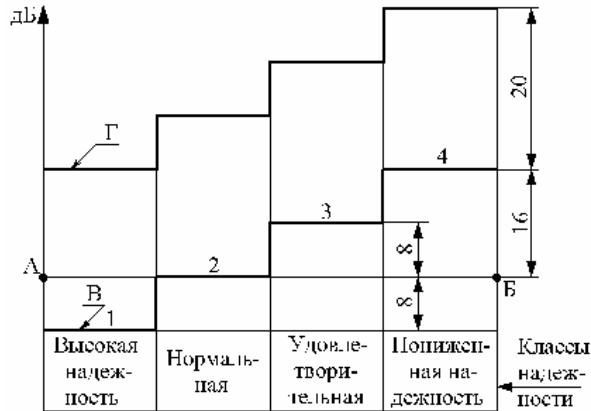
Свойства структуры механизмов машин на стадиях П, Д, И, В (7.1) могут быть охарактеризованы большим набором конструктивных, технологических и функциональных параметров состояний. Конечный набор параметров состояния механизмов на стадии П и их изменение на некоторый момент стадий В и Э трудно сформулировать. Неизбежные отклонения совокупности структурных параметров на стадии И, функциональных состояний и износов на стадии Э изменяют жесткостные характеристики и собственные частоты деталей, контактных соединений и систем, механическое сопротивление и податливость конструкции силовым воздействиям, обуславливающим появление резонансных явлений или затухание колебаний при ослаблении связей элементов и появлении трещин, состояние которых невозможно определить прямыми измерениями. В связи с этим технический уровень проектирования двигателя в значительной мере определяется уровнем диагностического обеспечения всех стадий его создания, производства и эксплуатации, уровнем заложенного диагностического управления рабочими процессами и адаптации двигателя к условиям эксплуатации.

Вопросу диагностирования машин посвящен ряд работ [32, 33, 37, 38, 44] и стандартов, например, [46, 47, 48, 49]. Целью технического диагностирования при доводке, производстве, эксплуатации и ремонте является установление уровня надежности, обеспечение требований безопасности, контроля технологических процессов, работоспособности систем и элементов двигателя в эксплуатации, эффективности его использования.

Контроль и диагностирование на стадии разработки и производства двигателей позволяет повысить техническую и экологическую надежность за счет конструктивных улучшений и совершенствования технологического уровня производства. Контроль и восстановление (регулирование) работо-

способности в эксплуатации играет роль регулятора в управлении эксплуатационной надежностью двигателя.

Рассмотренные уровни проектирования двигателя (зоны В и Г, рис. 7.1), условия эксплуатации, процессы взаимодействия машины с окружающей средой и накопленный опыт [38] показывают, что заданный ресурс и надежность механических, гидрогазоаэродинамических систем определяются заданными вибрационными характеристиками [32]. Общий подход к классификации отдельных узлов, агрегатов, двигателя и в целом комплектного автомобиля по уровню вибрации представлен на рис. 7.2.



**Рис. 7.2. Классификация надежности проектируемых агрегатов и машин по классам вибрации:**

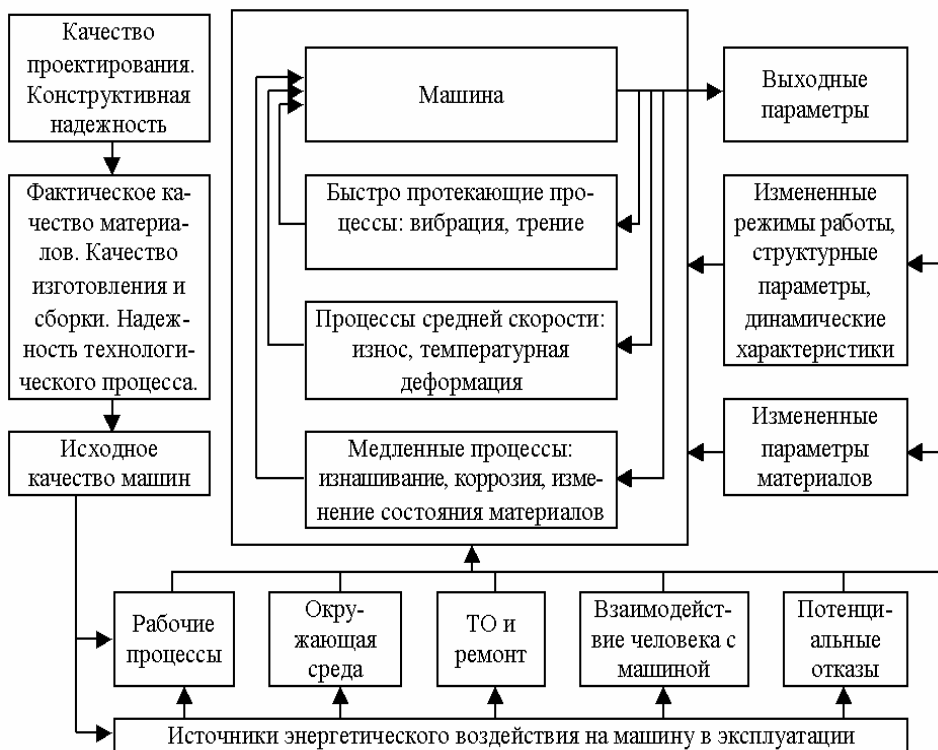
1...4 – классы вибрации отдельных узлов и машины в целом; А, В – уровни вибрации, которые предполагаются проектом по всему спектру частот от 5 до 1000 Гц; 20 дБ – граничное увеличение эксплуатационной вибрации машин для ресурсных элементов; 8 дБ – уровни превышения (снижения) вибрации, которые определяют переход машины в другой класс технического состояния; В – выходные уровни вибрации машин проектного состояния классов 1...4; Г – предельно допустимые вибрации ресурсных элементов в эксплуатации (область работоспособного состояния)

Вибрационные характеристики машины являются комплексным показателем ее структурного, функционального и динамического состояния, уровня стабильной работы (процессов) машины [38, 44].

Здесь каждый класс выходных уровней вибрации В (1, 2, 3, 4) отображает технический уровень проектирования, оптимизации структурных, функциональных и динамических параметров узла, агрегата и комплектной машины. Очевидно, что в машинах и механизмах первого класса вибрации действуют малые энергетические уровни, что и отражает медленные деградационные процессы [38, 44]. Соответственно ресурс и расчеты надежности таких машин должны осуществляться по закономерным процессам старения материалов. А поскольку в агрегатах машин низкого технического уровня проектирования (В, см. рис. 7.1) с уровнями вибрации третьего класса (рис. 7.2) протекают преимущественно быстрые процессы изнашивания, то расчет и прогнозирование ресурса надежности таких машин должно прово-

даться уже по другим расчетным и диагностическим моделям.

Такое понимание влияния проектного (исходного) технического уровня конструкции действующих процессов в двигателе, условий и режимов эксплуатации автомобиля на техническое ее состояние можно представить моделью (рис. 7.3 [38, 44]).



**Рис. 7.3. Физико-вероятностная модель энергетических воздействий на агрегаты и машину в процессе эксплуатации**

Прогрессирующая деградация состояния двигателя автомобиля происходит потому, что при эксплуатации все виды энергии – механическая, тепловая, химическая, электромагнитная – воздействуют на агрегаты и компоненты двигателя не раздельно, а совместно и вызывают обратимые и необратимые процессы, изменяющие начальные характеристики с различной скоростью. Быстро протекающие вибрационные процессы, обусловленные исходными кинематическими, конструктивными и технологическими погрешностями движения элементов машин, размеров и форм деталей, гидрогазоаэродинамическими процессами, переменными скоростными и нагрузочными режимами работы механизмов, возникают сразу же, как только машина начинает функционировать. Наиболее характерными необратимыми процессами являются изнашивание, коррозия, усталость, перераспреде-

ление внутренних напряжений, коробление деталей, потеря параметров материалов с течением времени и др. Эти процессы обуславливают неизбежное ускорение деградации узлов, агрегатов и целом машины.

В результате изнашивания происходит трансформация микро- и макрогеометрических параметров сопряженных деталей, нарушаются условия смазки, пространственная ориентация осей кинематически связанных элементов и увеличивается их динамическая нагруженность.

Помимо структурных изменений в сопряженных деталях износ оказывает отрицательное влияние на эффективность протекания рабочих процессов в агрегатах и системах автомобиля. В ДВС нарушается термодинамика сгорания рабочей смеси в цилиндрах по причине уменьшения степени сжатия, изменения угла опережения зажигания (впрыска), изменения подачи топлива и смесеобразования, фаз газораспределения; увеличивается расход масла на угар, мощность механических потерь, уровень шума и вибрации.

Рассматривая различные скорости протекающих процессов изнашивания (см. рис. 7.3), можно сделать вывод, что для многих элементов механических и гидрогазоаэродинамических систем (класса 3 и 4, см. рис. 7.2) интенсивность изменения параметров состояния функционально связана с вибрационными характеристиками двигателя и автомобиля, которые обуславливают их нестабильную работу и затрудняют создание автоматизированных систем диагностирования. Применение электронных систем предварительного впрыска топлива значительно улучшает динамические и вибрационные характеристики двигателя.

Контроль технического состояния является неременной первой процедурой технического диагностирования. Именно на результатах этого контроля базируются две последующих задачи технического диагностирования - поиск места отказа и прогнозирование технического состояния (остаточного ресурса).

Оптимальное функционирование сложных компонентов автомобильного двигателя, состоящего из отдельных взаимосвязанных механических, гидрогазоаэродинамических, электрических и электронных систем с подсистемами топливоподачи, зажигания, охлаждения, смазки и пр. возможно при создании единого диагностического управления. Такое диагностическое обеспечение управления двигателем необходимо осуществлять с учетом сложных условий скоростных и нагрузочных режимов работы двигателя, различных режимов движения автомобиля в различных условиях эксплуатации – разгон и замедление, движение с относительно постоянной скоростью и остановки. Обеспечение оптимальных выходных параметров двигателя: частота вращения коленчатого вала, крутящий момент, топливная экономичность, токсичность отработавших газов и т. п. необходимо выполнять с учетом эксплуатации автомобиля в сложных дорожных условиях, нестабильных параметров внешней среды (температура и влажность воздуха, атмосферное давление и т. п.), качества топлива и масла, изменяющегося технического состояния автомобиля по времени наработки.

Оптимизация решения задач оценки технического состояния борто-

выми системами требует тщательного их оснащения техническими и программными средствами на стадии проектирования и доводки двигателя.

## 7.2. Выбор и назначение диагностических параметров

При диагностировании о значениях конструктивных показателей судят по прямым и косвенным признакам проявления технического состояния без разборки, качественной мерой которых являются диагностические параметры. Поэтому основной задачей технической диагностики является выбор диагностических параметров, обеспечивающих максимальную информацию о техническом состоянии объекта диагностирования.

**Диагностический параметр** – параметр объекта, используемый при его диагностировании (контроле) для определения технического состояния. Такими параметрами могут быть, например, температура, зазор, шум, вибрация, степень герметичности, давление, расход топлива, расход масла и др. Большинство измеряемых диагностических параметров косвенно характеризуют структурные параметры элементов машины.

Во многих случаях диагностические параметры более правильно характеризуют техническое состояние объекта диагностирования чем структурный параметр, например, состояние цилиндропоршневой группы лучше определить по вибрационному параметру, количеству газов, прорывающихся в картер, по угару картерного масла, по компрессии, а не по зазорам в сопряжениях и другим структурным параметрам.

Между структурными и соответствующими им диагностическими параметрами существует определенная количественная связь, основанная на известной закономерности. Все структурные параметры состояния можно разделить на ресурсные и функциональные (рис. 7.4). На реальный процесс изменения структурных параметров оказывает ряд конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов.

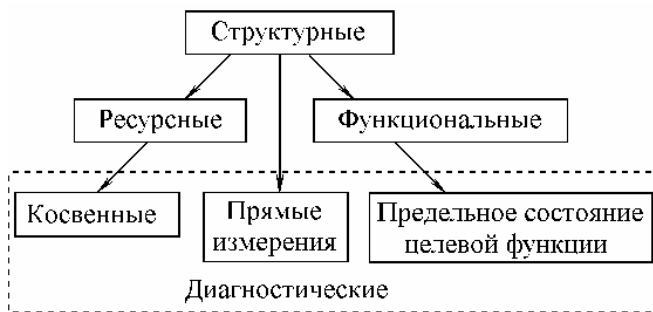
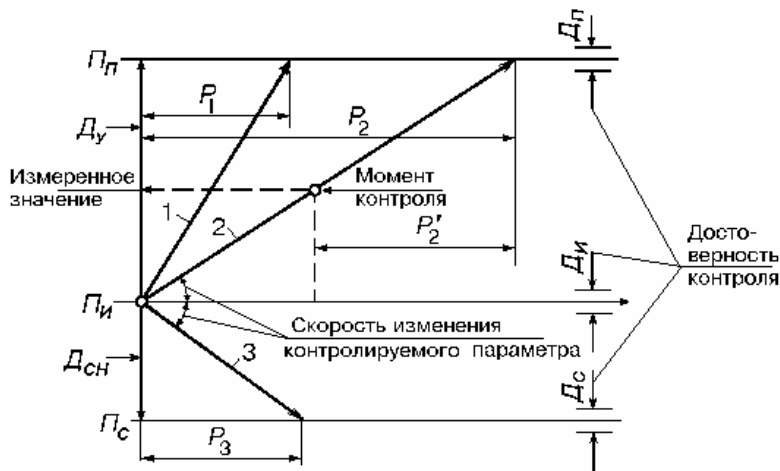


Рис. 7.4. Параметры состояния машин

Номенклатура диагностических параметров, доводки двигателя, технологии производства и эксплуатации определяется на стадии проектирования двигателя и автомобиля.

На стадии доводки диагностическими параметрами могут быть параметры рабочих и сопутствующих процессов или их производные, снижение эффективности заданных функциональных и ресурсных параметров, правильность назначенных структурных и геометрических параметров сопряжений, циклических процессов, выходные характеристики объектов и т. д. [37]. Наличие конструктивных дефектов при проектировании обуславливается несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования: неудачный выбор формы детали, например, с концентрациями напряжений и резким изменением сечения, неудачный выбор компонентов и материалов, их сочетаний, недооценка помех и температур, нагрузок, действующих сил, характеристик датчиков, ошибки в разработке программ и алгоритмов управления процессами и т. д. [36, 37].

Назначение диагностического параметра двигателя и автомобиля в эксплуатации может определяться следующими задачами контроля технического состояния (рис. 7.5).



**Рис. 7.5. Схематическое представление параметров технического состояния:**  
 1, 2, 3 – линейные тренды диагностического параметра;  $P_1, P_2, P_3$  – ресурсы отдельных элементов;  $\Pi_{П}$  – предельное увеличение диагностического параметра;  $\Pi_{С}$  – предельное снижение диагностического параметра;  $D_{У}$  – допустимое увеличение;  $D_{СН}$  – допустимое снижение;  $\Pi_{И}$  – исходное значение диагностического параметра;  $P'_2$  – остаточный ресурс;  $D_{И}, D_{С}, D_{П}$  – достоверность определения исходных ( $D_{И}$ ), предельных ( $D_{П}$ ) параметров снижения ( $D_{С}$ )

1. Значение параметра, при достижении которого следует проводить профилактические работы по восстановлению состояния объекта.

Эти значения диагностических параметров могут находиться в широких пределах на участке от  $\Pi_{И}$  до  $\Pi_{П}$ . Оптимальные значения параметра определяются стратегией технического обслуживания. Допускаемые значения параметра  $\Pi_{Д}$  технического состояния элемента (узла или агрегата) ближе к номинальному значению  $\Pi_{И}$  снижает риск отказа. Значения параметра  $\Pi_{Д}$

используются для определения целесообразности ремонта.

2. Значение параметра, при достижении которого деталь или сопряжение (при текущем или капитальном ремонте) не может быть повторно использованы для восстановления ремонтируемого элемента, узла, агрегата.

Эти значения допустимых параметров, как правило, не должны превышать отклонения от  $P_{II}$  больше, чем на 25 %.

3. Значения предельного  $P_{II}$ , при достижении которого эксплуатация объекта по технологическим причинам запрещается или не рекомендуется по экономическому и (или) экологическому критериям и технике безопасности.

Этот вид значений параметра принимается как предельные значения диагностического параметра.

**Задача выбора** диагностического параметра состоит в определении из множества принципиально возможных физических параметров некоторого ограниченного их числа, содержащих достаточно полную информацию о состоянии конкретного элемента или узла объекта и позволяющего определить неисправность в объекте. На множество диагностических параметров накладываются дополнительные ограничения: эти параметры должны быть наиболее информативными и удобно измеряемыми или наблюдаемыми (рис. 7.6 [44]). Множество диагностических параметров, определенное на множестве вероятных состояний и дефектов, описывающих эти состояния, должны быть оптимизированы по какому-либо критерию информативности, обеспечивать оптимальную различимость неисправностей, обладать хорошей алгоритмичностью.

Множество диагностических параметров считается эффективным, если оно удовлетворяет следующим требованиям:

- полное описание всех классов неисправностей;
- наибольшая чувствительность к изменению значений структурных параметров;
- минимальность состава;
- доступность для контроля и измерения;
- минимум стоимости и времени контроля всех параметров;
- достаточная степень делимости при распознавании отдельных неисправностей.

Назначение «эксплуатационных» диагностических параметров должно (вместе с методами и средствами) обеспечивать:

- контроль технического состояния объекта с целью установления соответствия объекта требованиям технической документации и определения работоспособности (исправен или нет на текущий момент);
- поиск мест неисправностей и повреждений, определение причин неисправностей и отказов с рекомендацией методов и средств восстановления работоспособности объекта;
- прогнозирование технического состояния объекта на предстоящий период эксплуатации с заданной вероятностью безотказной работы или определение с заданной вероятностью интервала времени, в течение которого сохраняется работоспособное состояние объекта.

Измеряемые диагностические параметры (тип и название)	
→ Кинематические и механические	Время, скорость, ускорение, частота и фаза периодических процессов, объемный расход, путь, угол, уровень, наклон, частота оборотов, расход жидкости или газа, колебания, вибрация и др.
→ Геометрические	Длина, зазор, площадь, кривизна линий и поверхностей и др.
→ Статические и динамические	Масса, сила, количество движения, работа, энергия, коэффициент упругости, моменты силы и инерции, массовый расход и др.
→ Механические и молекулярные	Путь, угол, уровень, наклон, скорость, частота вращения, ускорение, вибрация, расход жидкости или газа, сила, давление, частота, плотность, удельный вес, молярная масса, коэффициент продольного растяжения, кинематическая вязкость
→ Тепловые	Температура, тепловой поток, теплоемкость, теплота сгорания, теплопроводность, коэффициент теплоотдачи и др.
→ Акустические	Звуковое давление, объемная скорость, звуковая энергия, интенсивность звука, удельное акустическое сопротивление, коэффициент отражения, коэффициент поглощения и др.
→ Электрические и магнитные	Электрический заряд, напряжение электрического поля, потенциал, емкость, диэлектрическая проницаемость, сила электрического тока, электрическое сопротивление, индуктивность, магнитный поток, магнитная проницаемость и т.п.
→ Параметры излучений	Лучистый поток, сила света, освещенность, яркость, коэффициент преломления, спектральная плотность и т.п.
→ Параметры атомной физики	Радиоактивность, доза поглощенного излучения, момент диполя и т.д.
→ Химические	pH-значения, влажность, содержание пара, молекулы газа, молекулы жидкости, молекулы твердого тела, цвет и т.д.

**Рис. 7.6. Измеряемые физические характеристики объектов диагностирования**

После выбора диагностических параметров необходимо решить два важных вопроса: назначить периодичность диагностирования и выбрать допустимое значение диагностического параметра, при достижении которого следует проводить профилактические работы по восстановлению состояния объекта. Периодическое диагностирование целесообразно совмещать с плановыми ТО автомобиля. При встроенной автоматической диагностике периодичность диагностирования может быть связана с пробегом автомобиля, например, проводится после какого-то количества запусков двигателя, в реальном времени по результатам накопленных реализаций в заданном режиме диагностирования и т. п. [32, 44].

**Методика выбора диагностических параметров** предусматривает следующие этапы:

- анализ статистических данных по эксплуатационным отказам и неисправностям с целью выявить наименее надежные составные части и установить наиболее часто повторяющиеся неисправности;

- установление схемы структурно-следственных связей;
- выбор методики поиска неисправностей и алгоритма диагностирования.

Если неисправность или структурный параметр можно оценить несколькими диагностическими параметрами, то предпочтение отдают тому, который более точно оценивает определяемую величину, измерение которого связано с меньшими затратами и с помощью которого можно оценить несколько структурных или функциональных параметров двигателя.

**Для обоснования номенклатуры диагностических параметров устанавливаются** совокупность всех диагностических параметров, сопутствующих изменению структурных параметров, исследуют диагностические параметры и определяют их связь со структурными. Выбирают диагностические параметры, обладающие максимальной информативностью, обеспечивающие допускаяемую погрешность косвенного измерения структурных параметров.

Для обоснования номенклатуры диагностических параметров проводят теоретические и экспериментальные исследования физических процессов, происходящих в двигателе, устанавливая взаимосвязь диагностических параметров со структурными. При этом сначала составляют структурную схему возможных состояний составных частей двигателя.

Необходимо выбирать диагностические параметры, которые при высокой информативности о техническом состоянии обеспечивают минимальную погрешность косвенного измерения структурного параметра с учетом динамического характера изменения состояния отдельных элементов и автомобиля. Выбор диагностических признаков должен определяться по критерию наибольшей информативности по отношению к анализируемому состоянию и малоинформативному по отношению к другим структурным параметрам. Ввиду сложности неисправностей и дефектов в механизмах и необходимости анализа диагностических параметров (сигналов) используют большое число количественных характеристик сигналов и их комбинации. К ним относятся общеизвестные количественные характеристики детерминированных и случайных процессов.

Для установления количественной зависимости диагностических параметров от структурных используют зависимости изменения вибрации, температуры, давления, расход масла, топлива, изменение газов и их оптической плотности, электрического напряжения и силы тока, изменение частоты вращения, зазоров, степень пробуксовки, выходные реакции объекта диагностирования на рабочее воздействие и др.

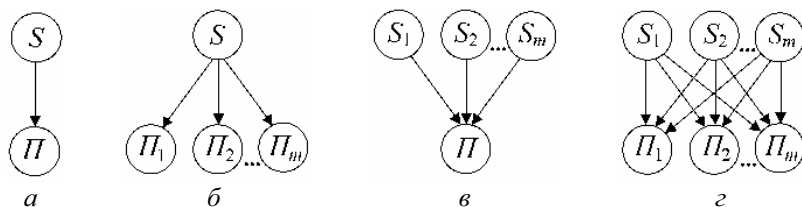
Обоснование и выбор диагностических параметров в каждом случае определяются целью, которая ставится перед этой конкретной системой. Например, нужно определить правильность функционирования двигателя по мощностным параметрам. Для этого достаточно определить мощность двигателя, сравнить ее с нормативными показателями и выяснить, в каком состоянии двигатель. По-другому решается задача диагностирования, если нужно установить причины снижения мощности двигателя. Для этого следует знать значительно больше диагностических параметров.

Для углубленного диагностирования сложных объектов выбирают и измеряют десятки параметров, например, следующие:

- в системе зажигания – напряжение в первичной и вторичной обмотках катушки зажигания;
- угол опережения и сила токо-искрового разряда;
- в системе подачи воздуха – расход воздуха и разрежение во впускном коллекторе;
- в системе впрыскивания топлива – длительность впрыскивания, давление, температура и расход топлива;
- в цилиндропоршневой группе – давление в цилиндре и расход картерных газов;
- в системе выпуска – состав и оптическая плотность газов.

В ряде случаев удается осуществлять прямое измерение структурного параметра, например, зазора в сопряжении. Окончательную номенклатуру диагностических параметров уточняют на этапе разработки диагностических средств и системы диагностирования.

Между структурными ( $S$ ) и диагностическими ( $П$ ) параметрами в зависимости от сложности объекта могут существовать различные взаимосвязи (рис. 7.7).



**Рис. 7.7. Взаимосвязь диагностических параметров со структурными**

Различают:

- единичную связь (рис. 7.7, а), когда с изменением конкретного структурного параметра ( $S$ ) изменяется один диагностический ( $П_i$ );
- множественную связь (рис. 7.7, б), когда изменение одного структурного параметра ведет к изменению  $n$  диагностических;
- неопределенные связи (рис. 7.7, в), когда один диагностический параметр изменяется при изменении  $t$  структурных;
- комбинированные связи (рис. 7.7, з), когда возможны комбинации названных связей.

Из всего комплекса диагностических параметров выбирают лишь те, которые удовлетворяют требованиям однозначности, стабильности, чувствительности, информативности и технологичности [32, 44, 52].

### 7.3. Методы, применяемые при разработке диагностического обеспечения двигателей

Высокий уровень развития методов и средств контроля обеспечивает возможность не только оценки работоспособности или исправности элементов на момент контроля, но и более глубокого анализа технического состояния двигателя и прогнозирования его изменения в предстоящем периоде эксплуатации. Автоматизация контроля диагностических параметров позволяет использовать в практике эксплуатации предельного состояния элементов двигателя – предотказное состояние и стратегию обслуживания по состоянию». Ранее из-за недостаточной достоверности диагностирования в капитальный ремонт преждевременно поступало до 30% двигателей, хотя для восстановления их работоспособности достаточно было провести регулирование или текущий ремонт.

В конструкции современных двигателей предусмотрено наличие совершенных и развитых систем встроенного контроля, обнаружения и распознавания неисправностей в эксплуатации и при техническом обслуживании. Эти системы собирают информацию о работе двигателя, регистрируют ее и в случае необходимости выдают информацию о неисправностях на индикаторы мониторов.

Для проектирования диагностического обеспечения исследований и доводки макетных, опытных и серийных двигателей и диагностирования отдельных систем двигателя в эксплуатации применяют большой арсенал теоретических, эвристических и эмпирических методов.

В табл. 7.1 приведены основные группы применяемых интеллектуальных и инструментальных методов. В каждой группе методов показаны их виды, дана характеристика и указана область их применения. Представленные в табл. 7.1 методы применительно к автомобильным двигателям рассматривались в работах [33, 38, 44].

Все процессы диагностирования двигателей неразрывно связаны с использованием описанных в [33, 38, 44] интеллектуальных и инструментальных методов. При этом первостепенную роль, в диагностировании играют интеллектуальные методы, которые требуют необходимости получения работчику и диагносту большого объема знаний по объекту диагностирования. Особое значение интеллектуальных методов проявляется на этапах разработки диагностического обеспечения и поиске неисправностей двигателя. Для диагностирования двигателя в эксплуатации, в первую очередь, необходимы знания конструкции и рабочих процессов, типовых дефектов и неисправностей, их диагностических параметров, методов и средств диагностирования [31, 32, 34, 36, 37, 38].

В эксплуатационной практике наибольшее развитие находят системы, предусматривающие использование бортовых средств контроля и накопления информации о техническом состоянии двигателя, которые позволяют проводить оценку исправности, работоспособности, правильности функционирования и поиск неисправности.

### Классификация методов диагностики и области их применения

<b>Группы методов</b>	
<b>Виды методов</b>	<b>Области применения</b>
<b>1. Интеллектуальные системы</b>	
<p>Органами чувств человека – органолептические.            Теоретические.            Эвристические.            Экспертные.            Опроса и интервью.            Когнитивный анализ и отбор информативных диагностических признаков.            Логические, математическая логика.            Логическая алгоритмизация выбора диагностических параметров и поиска дефектов и неисправностей.            Структурно-следственные и функционально-структурные методы распознавания неисправностей.            Детерминированные.            Статистические.            Математического моделирования.</p>	<p>Фундаментальные теоретические познания объектов, методов, средств и ключевых понятий диагностики на стадиях конструирования, изготовления и эксплуатации двигателей.            Определение взаимосвязей, обобщение, систематизация, обоснование и принятие решений.            Разработка диагностического обеспечения, моделирование, алгоритмизация и программирование процессов диагностирования.</p>
<b>2. Неразрушающий контроль</b>	
<p>Магнитный.            Электрический по регистрации электрических полей.            Вихревой.            Визуально-оптический.            Радиоволновой.            Тепловой.            Радиационный.            Оптический.            Акустический.            Проникающих веществ.            Акустической голографии.</p>	<p>Контроль качества материалов, технологических процессов, конструкций, соединений деталей при изготовлении, ремонте и эксплуатации двигателей, прогнозирование остаточного ресурса деталей и конструкций.</p>
<b>3. Распознавание технического состояния и рабочих процессов по эталонам, маскам и нормативным параметрам</b>	
<p>Сравнение с эталонным образцом.            Совмещение с опорным спектром процесса.            Сравнение показаний измерительного прибора с показаниями эталонного прибора.            Сравнение текущих значений диагностического параметра с нормативным значением.</p>	<p>Создание программного обеспечения автоматизированных бортовых, переносных и стационарных систем диагностирования с элементами распознавания неисправностей, прогнозирования остаточного ресурса.</p>
<b>4. Тепловые и оптические</b>	
<p>Измерение теплового инфракрасного излучения.            Контактные методы.            Неcontactные методы.            Электронно-оптические преобразователи.            Термография.</p>	<p>Тепловой контроль перегрева деталей и узлов трения, электрических контактов, электрических соединений, электронной аппаратуры.</p>

Виды методов	Области применения
<b>4. Тепловые и оптические</b>	
Ультразвуковые. Опτικο-электронные. Визуальные (эндоскопы, энтроскопы). Измерение отражаемого света. Оптические лазерные методы.	Визуально-оптический контроль, обнаружение трещин, расслоения, отклонения геометрических форм от заданных, измерение дымности, контроль качества масла.
<b>5. Газоаналитические</b>	
Методы химического анализа состава отработавших газов двигателя. Методы инфракрасного излучения (поглощение отдельных газов).	Контроль общего технического состояния ЦПГ, состава топливной смеси, системы подачи и сгорания топлива, электрооборудования системы управления двигателем по составу отработавших газов газоанализаторами.
<b>6. Контроль износа трущихся деталей и смазки</b>	
Микрометрирование. Профилографирование. Взвешивание. Метод искусственных баз. Виброакустический. Тепловой. Калориметрия, химический, активационный и спектральный анализ содержания продуктов износа в масле.	Исследование процессов изнашивания и контроль износа пар трения в эксплуатации для определения технического состояния объектов диагностирования.
<b>7. Трибодиагностика, физические и физико-химические методы</b>	
Рентгенографический. Снятие «реплик» с поверхностей трения (искусственных баз). Физические: Эмиссионная спектрометрия. Атомарно-абсорбционная спектрометрия. Атомарно-флуоресцентная спектрофотометрия. ИК- и УФ-спектроскопия. Абсорбционная спектрофотометрия. Прямое фотометрирование. Электрооптический метод. Микроскопия. Светорассеивание. Поточная ультрамикроскопия. Феррография. Магнитометрия. Метод ядерного магнитного резонанса. Нейтронно-активационный анализ. Акустический анализ. Физико-химические: Седиментометрия. Поляграфия. Плотнометрия	Исследование процессов изнашивания, разработка бортовых и стационарных систем диагностики, изнашивание и прогнозирование остаточного ресурса. Эксплуатационная диагностика.

Виды методов	Области применения
<b>8. Методы контроля состояния работающих масел</b>	
<p>Стандартные методы определения (группы методов).                      Вязкостно-температурных свойств.                      Срабатываемости.                      Загрязнения масла.                      Диэлектрических показателей.</p>	<p>Стандартные показатели:                      – кинематическая вязкость;                      – щелочное и кислотное число;                      – коксуемость;                      – содержание воды;                      – водородный показатель;                      – угар масла;                      – оптическая плотность;                      – диспергирующая способность;                      – состав продуктов износа;                      – диэлектрическая проницаемость.</p>
<b>9. Виброакустические</b>	
<p>Спектральный анализ вибрации:                      – частотный анализ;                      – спектральный анализ;                      – анализ ударных импульсов;                      – кепстральный анализ;                      – анализ спектра вибрации по огибающей;                      – фазовое сравнение сигналов вибрации;                      – амплитудно-временной анализ сигналов вибрации;                      – корреляционный анализ взаимных спектров вибрации;                      – определение акустической эмиссии;                      – статистический анализ вибрационных характеристик;                      – модуляция вибрационных процессов;                      – амплитуда вибрации пик-фактора;                      – величина эксцесса;                      – резонансная частота узла (детали), механизма, газовых и гидравлических потоков;                      – сопоставление спектров.</p>	<p>Исследование динамических характеристик конструкции, технологий производства и технического состояния двигателей в эксплуатации. Высокая информационность вибрационных сигналов на изменение, структурных, функциональных и динамического состояния машин. Высокая универсальность, чувствительность и избирательность вибрационного сигнала к параметрам механических, гидро-, газо- и аэродинамических, электрических и магнитных систем. Большой объем информации в одном измерении вибрации, высокая скорость диагностирования, позволяющая автоматизировать контроль технического состояния. Нормирование вибрации для контроля уровня проектирования, качества изготовления и эксплуатации.</p>
<b>10. Энергетические и гидрогазоаэродинамические методы</b>	
<p>Механический КПД.                      Индикаторные показатели (мощность, КПД, расход топлива).                      Эффективная мощность (измерение мощности тормозным, бестормозным полнотельным и дифференциальными методами).                      Неравномерность работы цилиндров.                      Скорость и неравномерность вращения коленчатого вала.                      Компрессионные свойства цилиндров.                      Внутрицикловое изменение (колебание) угловой скорости коленчатого вала.</p>	<p>Диагностика ЦПГ, КШМ, элементов топливной системы (насосов, гидравлического аккумулятора, форсунок, системы сгорания и расхода топлива).                      Доводка конструкции двигателей до заданных технических характеристик, оценка качества ремонта и эксплуатации отдельного двигателя и в составе транспортного средства.</p>

Виды методов	Области применения
<b>10. Энергетические и гидрогазоаэродинамические методы</b>	
<p>Изменение крутящего момента и угловой скорости вала по углу поворота при равномерной работе цилиндров.</p> <p>Амплитудно-фазовые параметры (осциллограммы) изменения напряжения, тока, сопротивления в первичной и вторичной цепях (переходных процессов) зажигания, давления в цилиндрах.</p> <p>Температура отработавших газов, соответствующая определенным рабочим тактам и порядку работы цилиндров.</p> <p>Величины пульсации давления газовой среды во впускном и выпускном коллекторах и топлива в трубопроводах высокого давления.</p> <p>Осциллограммы скорости нарастания давления топлива в гидравлическом аккумуляторе, давления, создаваемого ТНВД, и пульсации давления в топливной системе.</p> <p>Расход топлива в линиях подачи и обратного слива.</p>	
<b>11. Диагностирование гидроприводов и гидросистем. Контроль жидкостей</b>	
<p>Статопараметрический.</p> <p>Амплитудно-фазовых и переходных характеристик.</p> <p>Термодинамический.</p> <p>Спектральный анализ и индикация инородных примесей.</p> <p>Силовой метод.</p> <p>Акустический.</p> <p>Виброакустический.</p> <p>Скорость нарастания усилия.</p> <p>Кинематический по скорости перемещения исполнительного элемента (сопоставления и наложения осциллограмм (эталонных).</p> <p>Тепловой.</p> <p>Состояния рабочей жидкости. Ферромагнетизм.</p>	<p>Диагностика гидроприводов, гидросистем и отдельных элементов (насосов, топливных систем, систем охлаждения двигателя).</p> <p>Диагностика рабочих процессов в гидросистемах подачи и сгорания топлива.</p> <p>Распознавание источников нестабильных режимов работы двигателя (провалов, рывков, подергивания, вялого разгона).</p>
<b>12. Контроль электрических и электронных систем управления рабочими процессами</b>	
<p>Контроль достоверности максимальных и минимальных значений напряжения, тока, сопротивления, формы, уровня, периодичности и длительности сигнала, амплитуды и частоты входных и выходных сигналов датчиков систем управления.</p> <p>Распознавание сбоев и собственных шумов.</p> <p>Выявление связи между контролируемыми параметрами и характеристиками диагностических систем, определяющих техническое состояние.</p>	<p>Электронные системы управления процессами и режимами работы силовых агрегатов автомобиля.</p> <p>Электронные системы автоматического контроля технических систем (двигателя, подвески, коробки передач, рулевого управления и др.) автомобиля.</p>

Виды методов	Области применения
<b>12. Контроль электрических и электронных систем управления рабочими процессами</b>	
Факторный анализ определения статистической связи показателей качества диагностической системы. Математическое моделирование. Экспертные оценки номенклатуры контролируемых параметров. Оптимальный выбор контролируемых параметров. Алгоритмы и программы контроля и диагностирования. Тестовое, функциональное и комбинированное диагностирование.	Электронные и микропроцессорные системы самоконтроля. Контроль датчиков и исполнительных механизмов.

#### 7.4. Тесты и алгоритмы диагностирования двигателя

Диагностирование всех систем автомобильных двигателей рассмотрено в работах [31, 32, 33]. В этом подразделе лишь кратко рассматриваются процессы диагностирования на примере ЦПГ и гидравлической системы двигателя. Равномерность компрессии по цилиндрам является решающим фактором плавной работы двигателя.

Для оценки технического состояния двигателей в эксплуатации широко применяют внешние средства диагностирования, которыми проверяют [24, 31, 32, 33, 55]:

- ЦПГ и ГРМ по герметичности надпоршневого пространства цилиндров, по разрежению во впускном трубопроводе и прорыву газов в картер;
- ЦПГ измерением компрессии, по изменению угловой скорости коленчатого вала, измерением силы тока стартера и напряжения на АКБ;
- герметичность полостей ЦПГ, ГРМ и клапанов головки блока цилиндров по утечкам подводимого сжатого воздуха, пульсации давления картерных газов и топлива в гидравлических полостях, по параметрам колебаний частоты вращения коленчатого вала;
- КШМ по радиальным зазорам в подшипниках скольжения, давлению и расходу масла в единицу времени, по шуму и вибрации;
- ГРМ по тепловому зазору между стержнем клапана и коромыслом, по высоте кулачка распределительного вала, упругости клапанных пружин;
- технического состояния двигателя по продуктам износа в картерном масле, по составу (параметрам) отработавших газов.

Быстрый эффективный поиск неисправностей ЦПГ и форсунок двигателя с помощью CAS может осуществляться по сравнению частоты оборотов холостого хода, по разности мощностей по цилиндрам, которая может

вызываться разной компрессией или производительностью форсунок. При диагностировании двигателя по компрессии необходимо учитывать, что на показания компрессии влияют: интенсивность смазывания деталей ЦПГ, изменяющаяся в процессе эксплуатации; частота вращения коленчатого вала; степень сжатия и способ соединения манометра с цилиндром (прямой или с расширителем).

**Компрессионный тест.** Разница подачи топлива по цилиндрам может находиться в диапазоне от  $-5,00 \text{ мм}^3/\text{ход}$  до  $+5,00 \text{ мм}^3/\text{ход}$ . Поэтапные проверки работоспособности каждого цилиндра осуществляются последовательным отключением цилиндров при заданных значениях давления топлива, давления наддува, рециркуляции отработавших газов, а также сравнением топливоподачи. Увеличение подачи топлива до  $+5,00 \text{ мм}^3/\text{ход}$  может свидетельствовать о слишком низкой компрессии и (или) загрязнении (закоксованности) форсунки. Уменьшение подачи до  $-5,00 \text{ мм}^3/\text{ход}$  может быть объяснено слишком высокой компрессией в проверяемом цилиндре (отложения на поршне, неправильный зазор в выпускном клапане) и (или) негерметичностью форсунки (износ распылителя, неисправность электроклапана, утечки топлива).

**Система стабилизации работы двигателя** на холостом ходу позволяет компенсировать неравномерность работы цилиндров, которая может быть вызвана, например, различиями компрессии, состояния форсунок и т. д.

**Тест разгона (ускорения).** С помощью теста разгона возможен контроль работоспособности каждого цилиндра. С помощью этой функции происходит поочередное отключение каждого из цилиндров при заданном давлении топлива, объеме топливоподачи, положении регуляторов давления наддува и рециркуляции выхлопа остальных цилиндров. При этом измеряется время, необходимое для достижения определенных оборотов коленчатого вала двигателя.

Необходимые условия выполнения теста:

- в памяти неисправностей блока управления двигателем нет сведений о неисправностях;
- двигатель прогрет до эксплуатационной температуры;
- отключены дополнительные (сторонние) потребители (например, кондиционер);
- для автомобилей с сажевым фильтром не проводится его регенерация.

Во время теста объем впрыска сохраняется постоянным, а количество впрыскиваний точно задается.

Первый этап теста: ускорение двигателя от низких оборотов до высоких. При этом все форсунки активны.

Второй этап: ускорение двигателя, но при отключенной форсунке первого цилиндра, вследствие чего снижаются максимальные обороты, а время их достижения увеличивается. Если же изменения по сравнению с первым этапом не происходит, то данная форсунка либо ограничительный клапан цилиндра неисправны. Этот процесс повторяется на всех цилиндрах двига-

теля.

**Сравнение оборотов холостого хода.** Низкие обороты коленчатого вала свидетельствуют, что проверяемый цилиндр получает недостаточное количество топлива, слишком низкая компрессия, негерметичны форсунки (внутренняя негерметичность, подклинивание иглы распылителя, закоксование отверстий распылителя). Причиной высоких оборотов может быть, что данный цилиндр получает избыток топлива (повышена компрессия цилиндра), форсунки негерметичны (утечка топлива, износ распылителя).

**Тестовая проверка обратного слива** позволяет определить наличие внутренних негерметичностей форсунок в контуре высокого давления. Большое количество обратного слива форсунок может оказывать следующее действие на двигатель:

- двигатель запускается плохо;
- двигатель не запускается (стартер работает);
- двигатель глохнет произвольно;
- понижение мощности на всех режимах (аварийный режим).

Максимально допустимое количество обратного слива определяется как его трехкратное превышение над минимально полученным значением.

**Согласование подачи топлива форсунками** – это программный продукт, обеспечивающий высокую точность дозировки впрыскиваемого топлива путем индивидуальной кодировки форсунок, которая переносится в блок управления двигателя. При работе двигателя компенсационные значения форсунки и цилиндра двигателя позволяют компенсировать отклонения пропускной способности распылителя и время срабатывания электромагнитного клапана. При замене форсунок в условиях СТО и ремонта компенсационные значения вновь вносятся в блок управления двигателя методом EOL-программирования (End of Line).

**Тесты высокого давления.** Основными методами диагностирования гидравлических систем двигателя являются тесты для контроля высокого давления: характеристик нарастания и падения давления; отключения секций ТНВД при различных значениях частот вращения коленчатого вала двигателя и определенном управлении дозатором и клапаном регулирования давления.

## **7.5. Бортовые системы управления рабочими процессами и диагностирования двигателя**

Технический уровень проектирования многих современных автомобильных двигателей очень близок к уровню Д (см. рис. 7.1). Такие двигатели должны иметь бортовые системы диагностирования почти всех технических систем, адаптированное управление рабочими процессами, распознавание и коррекцию состава горючей смеси, регулирование расхода топлива. Высокий технический уровень доводки двигателей позволяет повысить ресурс, техническую и экологическую надежность и периодичность ТО по сравнению с традиционными конструкциями.

### 7.5.1. Организация самоконтроля и самодиагностирования двигателя

Современные системы контроля рабочих процессов оснащены встроенными диагностическими системами и специальными программами с функциями непрерывного самоконтроля («самодиагностики»). Реализация этих функций основана на возможностях электронных систем определять неисправности двигателя и сообщать о них водителю, обслуживающему персоналу, диспетчеру для выработки по диагностической информации рекомендаций по режимам и методам технического обслуживания.

Возможности «самодиагностики» предусматривают:

- идентификацию системы и ECU;
- распознавание, хранение и считывание информации о статических и единичных нарушениях работы;
- считывание текущих реальных данных, включающих условия окружающей среды и спецификации;
- моделирование функций системы;
- программирование параметров системы.

Отдельные программы для тестирующего блока хранятся в подключаемых модулях, тогда как коррекция и передача данных в системе осуществляются с помощью интерфейса данных.

Самодиагностика двигателя характеризуется выполнением нескольких требований [31, 33, 44]:

1. Контроль за работой сложных систем и узлов. Все больше усложняющаяся конструкция двигателя делает возможности самодиагностики достаточно важными для выявления и устранения неисправностей. Целью является интегрирование всей системы в процесс диагностики.

2. Защита узлов и деталей, которые подвергаются особенному риску в случае появления неисправностей. В качестве примера можно привести защиту каталитического нейтрализатора, реагирующую на пропуски зажигания в двигателе. Система реагирует на определенную частоту появления пропусков зажигания, отключая подачу топлива в неисправный цилиндр для предотвращения перегрева нейтрализатора.

3. Работа в аварийной ситуации в соответствии с величинами, принятыми «по умолчанию». Например, в случае выхода из строя датчика нагрузки (который определяет массовый расход воздуха) генерируется сигнал его замены, базирующийся на значениях частоты вращения коленчатого вала и положения дроссельной заслонки.

4. Информирование водителя о неисправностях системы диагностики с помощью индикаторных ламп, дисплеев или акустических устройств предупреждения.

5. Хранение точной информации. Система хранит в ECU предупреждающую информацию и данные об отдельных неисправностях. Также в запоминающем устройстве хранятся данные об условиях работы двигателя на момент обнаружения неисправности.

6. Доступ к сохраненным данным о неисправностях. Данные, хранящиеся в памяти системы самодиагностики во время работы автомобиля, мо-

гут быть переданы на диагностический стенд с дисплеем через последовательно подключенный многоканальный вход (порт).

7. Индикация данных о неисправностях в форме мигающего кода на приборной панели. Это помогает обслуживающему персоналу ускорить диагностику путем сужения поля возможных источников неисправностей.

**Условия реализации самоконтроля.** Как правило, объект самоконтроля находится в пассивном состоянии, в котором он ничем не проявляет свою внутреннюю суть, в том числе и свои неисправности. Чтобы заставить объект проявить свои преимущества или недостатки, его необходимо активизировать, то есть перевести в другое, образно говоря, «прозрачное» состояние, более удобное для рассмотрения и анализа. Например, подать на него стимулирующие влияния, изменить условия внешней среды и т. п. Поэтому первым условием реализации самоконтроля является, во-первых, принципиальная возможность существования такого «прозрачного» состояния, а во-вторых – наличие средств активизации, необходимых для перевода объекта в это состояние. Средства активизации могут быть как внешними, так и внутренними относительно объекта диагностирования.

Следующим условием реализации самоконтроля является существование определенных признаков (параметров) активизированного объекта, которые прямо или косвенно связаны с его состоянием (качеством), а также наличие средств для оценивания этих признаков. В объектах транспортных машин и авиационной техники [37, 50] такими признаками являются технические параметры, которые определяют техническое состояние объектов: коэффициент передачи, чувствительность, напряжение, ток, частота, проводимость, давление и т. д. Указанные признаки измеряют, вычисляют, контролируют с помощью средств самого объекта или же внешних средств.

И, наконец, третьим условием реализации самоконтроля является наличие правила принятия решения (решающего правила), а также наличие средств для реализации этого правила. Решающее правило – это определенная последовательность арифметико-логических операций, которые необходимо выполнить с полученными оценками признаков объекта для определения результата самоконтроля. Тип решающего правила зависит от типа и цели самоконтроля. Средства реализации решающего правила также могут быть как в составе объекта самоконтроля, так и вне его.

Множество условий реализации самоконтроля состоит из двух подмножеств, которые отображают методическое и инструментальное обеспечение задач самоконтроля. Подмножество методических условий требует ответов на следующие вопросы:

1. Как активизировать – в какое из «прозрачных» состояний необходимо перевести объект?

2. Что оценить – какие признаки активизированного объекта необходимо оценить?

3. Как решить – какое решающее правило необходимо применить?

Подмножество инструментальных условий требует ответов на следующие вопросы:

1. Чем активизировать – какими средствами активизировать объект?
2. Чем оценить – какими средствами оценить признаки активизированного объекта?
3. Чем решить – какими средствами реализовать решающее правило?

Следовательно, мера участия собственных средств объекта в реализации самоконтроля может быть различной. В крайнем случае, если собственные средства объекта обеспечивают все три условия реализации самоконтроля (активизацию объекта, оценку признаков и принятие решения), имеем независимый от внешних средств полноценный самоконтроль. В другом крайнем случае, если все три условия обеспечиваются внешними средствами, самоконтроль переходит в контроль. Промежуточные варианты можно отнести или к контролю, или к зависимому самоконтролю, принимая во внимание то, какие средства считать приоритетными. Как правило, приоритет предоставляют средствам реализации решающего правила.

Рассмотрим, например, условия контроля состояния здоровья человека по его температуре. Первое условие – это активизация объекта путем установления контакта его тела с термометром. Второе условие – оценка температуры тела путем отсчета показаний прибора. Третье условие – реализация решающего правила: «если температура ниже или равняется  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ , человек здоров, если выше – болен». В зависимости от того, кем обеспечивается выполнение перечисленных условий (субъектом самоконтроля или другим лицом), описанный эксперимент можно отнести в одном случае к самоконтролю, в другом – к контролю. Итак, граница между контролем и самоконтролем довольно условная, и основные отличия между ними лежат не в методическом, а в ресурсном плане, поскольку самоконтроль имеет более ограниченные ресурсные возможности, чем контроль. Поэтому реализация самоконтроля часто связана с поиском нестандартных приемов, дополнительными затратами на создание средств, которые компенсируют ресурсный дефицит. Но понесенные затраты обязательно окупаются, поскольку наличие самоконтроля обеспечивает высокую готовность объекта и экономии средств на его эксплуатацию.

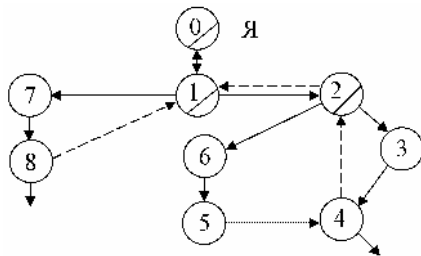
**Типичные операции по организации самоконтроля.** Одними из первых работ, в которых описывались способы самопроверки технических систем, были работы по вычислительной технике. Первенство здесь поясняется тем, что средства вычислительной техники больше, чем какие-либо другие, приспособлены к реализации описанных условий самоконтроля, в особенности это касается реализации третьего условия – принятия решения. Кроме того, учитывая сложность средств вычислительной техники, высокую вероятность ее отказов и сбоев, очень быстро пришло осознание того, что поддержка на надлежащем уровне показателей надежности и достоверности этих средств невозможна без применения самоконтроля.

В одной из первых работ указанного направления сформулирована типичная технология организации самоконтроля сложных систем, которая состоит из трех последовательно выполняемых операций [50].

**Первая операция** – разбиение системы. Сложную техническую систему (технический объект) разделяют на ряд иерархических подсистем с та-

ким расчетом, чтобы любую из них, за исключением старшей в иерархии, можно было проверить одной или несколькими соседними подсистемами. Для того, чтобы подсистема  $S_j$  могла проверить подсистему  $S_i$ , необходимо, чтобы все входы подсистемы  $S_i$  были под воздействием, а все выходы – контролировались подсистемой  $S_j$ .

Это достигается выбором в подсистеме  $S_i$  соответствующих пар точек входных и исходных сигналов и соединением их с соответствующими входами (выходами) подсистемы  $S_j$  через имеющиеся или же дополнительно организованные каналы связи (рис. 7.8 [50]). При этом проверяющая подсистема (диагностическая подсистема) должна иметь определенный объем памяти и возможность выполнять арифметико-логические операции для принятия решения. Кроме того, она не должна иметь общих элементов с подсистемой, которую проверяет. Например, система, показанная на рис. 7.8, разделена на девять подсистем. Из них нулевая, первая и вторая – диагностические. Остальные – те, которые проверяются с помощью диагностических систем. Пунктиром показаны дополнительно организованные каналы связи.



**Рис. 7.8. Разбиение системы на ряд иерархических подсистем**

**Вторая операция** – выделение и контроль «ядра». Старейшая в иерархии подсистема, которая названа в приведенной работе «ядром» (hard core), проверяется заранее и, как правило, вручную с помощью внешних средств. Она не должна иметь отказов в стартовом состоянии перед началом самоконтроля и по своей сути служит основой всех следующих операций самоконтроля. Объем технических средств «ядра» выбирают минимальным, учитывая сложность его проверок.

**Третья операция** – распространение проверок от «ядра» к подсистемам. С помощью технических средств «ядра» проводится проверка старшей после «ядра» подсистемы, а за ней – подсистемы низшего уровня и т. д. Например, в системе, изображенной на рис. 7.8, «ядро» (подсистема 0) проверяет диагностическую подсистему 1, а также подсистемы 7 и 8. Диагностическая подсистема 2, которая проверяет подсистемы 3, 4, 5, 6, перед этим сама проверяется с помощью подсистем 1 и 0.

**Достоверность контроля.** Одной из важнейших характеристик прогнозирующего контроля является достоверность его результатов, которая служит мерой объективности принятых при контроле решений и представляет собой обобщенную характеристику информационных, измерительных и прогнозных свойств автоматизированной системы контроля (АСК). Достоверность выражается количественными показателями, состав и физическая суть которых зависит от цели контроля и применяемых правил решения задачи.

По нормативной документации достоверность контроля технического состояния – это степень объективного соответствия результата контроля действительному техническому состоянию объекта. Другими словами – это мера доверия к полученному результату контроля.

Различают методическую, инструментальную и полную достоверность контроля. Методическая достоверность зависит от метода контроля (параметрический, динамический), от полноты контроля, от назначенных допусков на диагностический параметр. Инструментальная достоверность зависит от точности каналов АСК, от характеристик устройств объекта контроля и т. д. Полная достоверность находится перемножением количественных значений методической и инструментальной.

На формирование достоверности контроля влияет большое количество факторов. Наиболее существенным из них является точность измерения контролируемых параметров, полнота контроля, надежность и помехоустойчивость работы всех устройств и элементов АСК, надежность объекта контроля, которая может быть представлена законами распределения его параметров. На достоверность влияют также установленные границы допусков на параметры, принятая методика измерения параметров, способы накопления, регистрации и отображения результатов контроля, методы самоконтроля АСК, уровень квалификации и подготовленности оператора и др.

Следовательно, достоверность является слишком общей характеристикой АСК и требования, которые предъявляются к этой характеристике, являются исходными для обоснования отдельных характеристик АСК.

Основными задачами обеспечения заданной достоверности контроля и точности АСК являются следующие:

1. Оценка показателей инструментальной достоверности контроля по известным характеристикам параметров объекта и известным погрешностям каналов контроля АСК.

2. Оценка точности каналов контроля по известным погрешностям функциональных устройств, входящих в состав каналов.

Обе задачи по сути своей являются задачами анализа качества АСК как инструмента контроля. Они дают ответ на вопрос, удовлетворяет ли спроектированное средство контроля по своим точностным характеристикам заданным требованиям относительно достоверности контроля. А если нет? Тогда возникает еще одна задача, обратная относительно первых двух, – задача синтеза, а именно: какие характеристики точности должны иметь каналы контроля, чтобы удовлетворить требованиям относительно достоверности контроля.

Характеристики достоверности самоконтроля точно так же, как и характеристики достоверности контроля, зависят от выбранных правил решения и критериев работоспособности АСК. Задача самоконтроля – установить, находится ли АСК в работоспособном состоянии (нет ли внезапных отказов в любом из ее каналов, находят ли погрешности каналов в пределах, обеспечивающих заданные характеристики достоверности контроля при заданном качестве объекта контроля).

**Показатели достоверности контроля.** Для определения количественных критериев оценки достоверности контроля исходят из позиций общей теории проверки статистических гипотез [38, 44].

**Эффективность контроля.** Достоверность – это комплексная характеристика контроля, которая зависит от многих факторов: точности измеряемых параметров, глубины контроля надежности АСК и объекта контроля, законов распределения контролируемых параметров, выбранных допусковых пределов и т. д. Но и эта интегральная характеристика контроля, несмотря на ее многогранность, не может претендовать на роль всеобъемлющей. В частности, ею нельзя оценить влияние контроля на качество функционирования контролируемых объектов.

Этот недостаток достоверности контроля как обобщающего показателя качества контроля обусловил необходимость введения более общей характеристики контроля, которую назвали эффективностью. Под эффективностью контроля чаще всего понимают отношение эффективности работы объекта при наличии и отсутствии его контроля. Такое определение позволяет рассматривать контроль как одну из операций технического обслуживания объекта, а достоверность контроля – как один из главных факторов, которые влияют на эффективность работы объекта.

Эффективность контроля можно оценивать различными показателями в зависимости от того, какое качество контроля ставится на первый план. На практике применяют технические, экономические, временные, информационные и другие критерии эффективности контроля в зависимости от функционального назначения объекта. На практике в большинстве случаев применяют два из них – технический и экономический [38, 44].

### **7.5.2. Техническая реализация задач контроля и управления двигателем бортовыми системами**

Электронные системы управления дизельным двигателем рассмотрены в четвертом и пятом разделах. Замена механических функций регулирования и управления двигателем электронными блоками потребовала разработки огромного количества различных датчиков, контроля функциональных параметров, обеспечения безопасности, контроля технического состояния исполнительных элементов управления и регулировки режимами работы двигателя.

Созданные блоки управления двигателем (PCM) позволяют анализировать и проверять работоспособность систем и компонентов двигателя, обнаруживать сбои в их функционировании, обнаруживать неисправности электрических цепей, датчиков и исполнительных устройств химического и механического характера.

Большинство модулей PCM имеют адаптивное управление, которое приспособливает работу двигателя к изменяющимся рабочим условиям, например, учет расхождения размеров конструктивных параметров и износ элементов ЦПГ, КШМ, ГРМ, изменение условий внешней среды, свойств топлива и масла, изменение мощности двигателя или высоты над уровнем моря, повышение расхода топлива и т. п. Обеспечение оптимального управ-

ления двигателем осуществляется, например, путем кратковременной или долговременной коррекции подачи топлива, частоты вращения на холостом ходу, длительности импульса открытия форсунки, поддержки стехиометрического отношения смеси «воздух-топливо» с учетом заданного уровня вредных выбросов.

Бортовые системы диагностирования контролируют функционирование датчиков, реле, выключателей, их взаимную работу с исполнительными устройствами и электронной системой управления двигателем. Для выявления неисправностей в программах РСМ заложены пороговые значения электрических величин: тока, напряжения, амплитуды, частоты, периода, фазы, длительности импульсов электрического колебания, сопротивления, емкости, индуктивности и других параметров.

Общий мониторинг элементов (ССМ) электронных систем постоянно отслеживает входные сигналы датчиков и выходные сигналы органов управления. Электрические цепи всех датчиков проверяются на работоспособность, а выходные сигналы – на соответствие допустимому диапазону и точности показаний. Периодичность контроля датчиков варьируется в зависимости от конструкции системы управления двигателем и типа применяемых датчиков.

Монитор ССМ контролирует входные сигналы следующих датчиков (не все системы используют все перечисленные датчики, а некоторые могут использовать датчики, не входящие в этот перечень):

- переключатель 4WD Low (только автомобили 4WD);
- датчик-переключатель педали тормоза;
- датчик положения распределительного вала (CMP);
- датчик положения коленчатого вала (СКР);
- переключатель круиз-контроля;
- датчик температуры охлаждающей жидкости двигателя (ECT);
- электромагнитный клапан продувки адсорбера улавливания паров топлива (EVAP);
- датчик частоты вращения первичного вала (ISS);
- датчик температуры воздухазабора (IAT);
- датчик детонации;
- датчик абсолютного давления во впускном коллекторе (MAP);
- датчик-переключатель педали сцепления (на вариантах с механической коробкой передач);
- датчик массового расхода воздуха (MAF);
- датчик частоты вращения вторичного вала (OSS);
- датчик положения дроссельной заслонки (TP);
- датчик частоты вращения турбины (только на вариантах с автоматической коробкой передач);
- переключатель индикатора выбранной передачи (переключатель PRNDL);
- датчик давления трансмиссионной жидкости (только на вариантах с автоматической коробкой передач).

Обнаруженные сбои и неисправности в системах двигателя регистри-

руются кодами неисправностей, которые сохраняются в памяти ЭБУ вместе сданными условий, при которых неисправность возникла.

Методы диагностирования основаны на измерении характеристик сигналов датчиков, исполнительных устройств, работы электрических и электронных цепей и сравнении этих характеристик с установленными нормативными значениями, а также на анализе ответных реакций при подаче тестирующих сигналов [32, 33, 44]. По результатам диагностирования формируются определенные коды неисправностей, осуществляется предупредительная сигнализация и разрабатываются мероприятия по сохранению работоспособности отдельных компонентов и двигателя в целом. Распознавание и устранение неисправностей производится в соответствии с таблицей неисправностей.

Коды неисправностей запоминаются при обнаружении сигнала неисправности. Сигнал может незамедлительно отображаться при нажатии испытательной кнопки на диагностическом блоке. Блок управления снабжается памятью для запоминания кода неисправности и адаптивной программой, которая способна сохранять информацию в течение заданного времени.

Для поиска неисправностей в контролируемых системах требуется подсоединение специального измерительного блока (сканера). Считывание и запись кодов неисправностей, обнаруженных в контролируемой системе, производится с соблюдением необходимых мер, предусмотренных эксплуатационной документацией на автомобиль.

Диагностическая управляющая система решает, присутствуют ли критерии активации мониторов (проверок модулем РСМ) и управляет последовательностью работы мониторов так, чтобы не было конфликтов в отдельном мониторе или между мониторами и диагностическими характеристиками автомобиля.

Общие сведения по обработке сигналов в ЭБУ и о применяемых средствах в электронных системах двигателя описаны в разделе 5 и в работах [10, 17, 31, 45].

## **7.6. Внешние средства контроля и диагностирования дизельной топливной аппаратуры**

### **7.6.1. Стенды контроля и регулировки форсунок**

Современные стенды для контроля и диагностирования оснащаются специальными приборами с рядом дополнительных функций.

Стенды для испытания форсунок могут быть оборудованы манометром (EPS 100 фирмы Bosch, Германия) или электронной индикацией давления (НН-701 с приставкой НН-720 фирмы Hartridge, Великобритания) и включать в себя колбу для сбора распыленного топлива с пневмоотсосом (DSS 100 фирмы Rabotti, Италия) или отдельное приспособление для этого. Для проверки и регулировки двухпружинных форсунок используется приставка, создающая продолжительный импульс повышенного давления. Для испытания электрогидроуправляемых форсунок аккумуляторных ТПА типа Common Rail применяется специальное оборудование [32].

Технические характеристики стендов для контроля форсунок CR, предлагаемые турецкой фирмой Maktest TK 1026, финской фирмой Stardex 0602, Bosch и китайской фирмой NTS 300 представлены в табл. 7.2 [43].

Таблица 7.2

**Технические характеристики полнофункциональных стендов для испытания форсунок ТПС типа CR**

Параметры	Показатели						
	Bosch EPS 708	C-MX 3000	CR-JET 4-ME	CRI-PC	Maktest TK 1026	Stardex 0602	NTS 300
Габаритные размеры, мм	2260× 1565× 660	950× 1500× 600	1000× 1700× 670	1100× 950× 1800	650× 850× 1750	1000× 620× 1530	1200× 700× 1400
Напряжение питания, В	380	220... 230	220... 230	380	220... 230	380	220... 230
Диапазон регулирования давления, МПа	0...180	0...160	0...180	0...180	0...180	0...160	0... 160
Рабочий интервал сигнала открытия форсунки, мкс	100... 4000	100... 4000	100... 3000	100... 4000	100... 3000	100... 3000	100... 3000
Количество одновременно проверяемых форсунок, шт.	6	1	4	4	1	4	4

Технические характеристики стендов для экспресс-проверки форсунок CR представлены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

**Технические характеристики стендов для экспресс-проверки форсунок типа CR**

Параметры	Показатели	
	Bosch EPS 200	Hartridge IFT-70
Габаритные размеры, мм	580×560×780	780×620×890
Напряжение питания, В	220 или 380	220-230
Диапазон регулирования давления, МПа	0-180	0-160
Интервал сигнала открытия форсунки, мкс	100-3000	100-3000
Одновременная проверка форсунок, шт.	1	1
Система измерения	Безмензурочная	Мензурочная

Современные стенды для контроля и диагностирования форсунок дизелей имеют цифровую регистрацию результатов испытаний, возможности сопряжения с персональным компьютером (ПК) с соответствующей технологией протоколирования, хранения и вывода результатов, а также в возможности испытаний двухпружинных форсунок или иных форсунок, реали-

зующих ступенчатое впрыскивание. Кроме того, большинство электронных стендов позволяют оценивать гидроплотность направляющей части распылителя по времени падения давления. Так, универсальный стенд НН-701 фирмы Hartridge применяется для перечисленных работ с любыми форсунками (контроль герметичности, гидроплотности, давления начала впрыскивания и др.). Максимальное давление, создаваемое прибором, составляет около 50 МПа. Возможна установка форсунок диаметром 17,8-33 мм. Предусмотрен принтер и связь с ПК.

Для проверки и регулировки форсунок со ступенчатой подачей используется приставка НН-720, создающая продолжительный импульс повышенного давления. Электронная система регистрации расшифровывает записанную кривую и выводит на дисплей два уровня давлений срабатывания (например, по первой и по второй пружине).

Для первичной диагностики форсунок ТПС типа CR фирма Bosch выпускает малогабаритный настольный стенд EPS 200. Стенд содержит такие компоненты, как: насос и рампа топливный аккумулятор высокого давления, резервуар для тестовой жидкости с системой термостабилизации, расходомер количества впрыскиваемого форсункой топлива, блок измерения расхода топлива на управление, микропроцессор и жидкокристаллический дисплей с сенсорным экраном. На данном стенде можно испытать форсунку на герметичность при максимальном давлении, измерить количество впрыскиваемого топлива и расхода на управление на разных режимах проверки.

Фирма Hartridge для диагностики форсунок CR как в специализированных дизельных центрах, так и в небольших мастерских разработала стенд IFT-70, который позволяет быстро протестировать форсунки CR и может быть дооборудован для проверки обычных механических форсунок и распылителей насос-форсунок (EUI).

Многие фирмы предлагают для проверки форсунок CR использовать, так называемые имитаторы сигнала (CRI 1000 Nova Diteх – Германия, 0302 Stardex – Финляндия, IPOD – Франция). Данные приборы предназначены для подачи программируемых пользователем сигналов управления форсунками CR с целью проверки их работоспособности. Устройство конструктивно выполнено в виде приставки, подключаемой к форсункам, датчику и регулятору давления в рейке при помощи специальных кабелей-переходников.

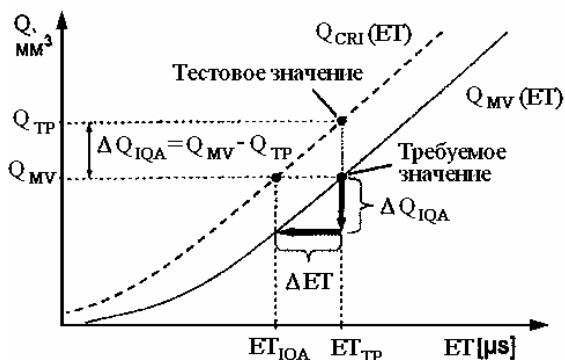
Стенд EPS 708 производства фирмы Bosch позволяет диагностировать ТНВД и форсунки ТПС CR различных производителей в необходимом диапазоне частоты впрыскивания и давлений. Для агрегатов ТПС фирмы Bosch на этом стенде возможно проводить гарантийную экспертизу, что выгодно отличает его от других стендов. Стенд оснащен электронной измерительной системой количества впрыскиваемого топлива и системой электронного регулирования давления на входе в ТНВД.

В качестве дооснащения стенда EPS 708 доступен новый диагностический набор CRI Piezo, позволяющий тестировать пьезофорсунки производства Bosch, Denso, Siemens/Continental и Delphi. Помимо проверок на герметичность и измерения объемов впрыскиваемого топлива для различных ре-

жимов испытания, набор может использоваться для контроля работы компенсатора форсунки, проверки пьезомодуля на пробои в изоляции, а также для гарантийной экспертизы. Данный стенд позволяет измерения межциклового неравномерности, то есть оценку расхождения между отдельными последовательными впрысками. Эта новая технология расширяет возможности диагностики форсунок для выявления конкретных неисправностей, при этом делает ненужными многократные тесты с повторными снятием и установкой форсунок.

Стенд С-MAX 3000 предназначен для контроля и диагностирования форсунок CR производства Bosch, Delphi, Denso, Siemens при системном давлении до 180 МПа. Возможно как ручное управление, так и полуавтоматическое по готовым тест-планам или созданным самим пользователем.

Для корректировки характеристик до контрольных значений процесс проверки и настройки разделяется во времени и месте в два этапа. На первом этапе производится проверка ЭГФ на разных режимах, причем на каждом режиме полученное значение сравнивается с эталонным, заданным в тест-плане ( $Q_{Tr}$  и  $Q_{MV}$  на рис. 7.9). В случае выхода фактического значения из допуска рассеивания подачи программа стенда подбирает коэффициенты, корректирующие продолжительность управляющего сигнала  $\Delta ET$  самым обеспечивая полное соответствие величины самым обеспечивая полное соответствие величины подачи топливу требуемому значению.



**Рис. 7.9. Эталонная  $Q_{MV}$  и фактическая  $Q_{CR}$  характеристики ЭГФ по подаче:**

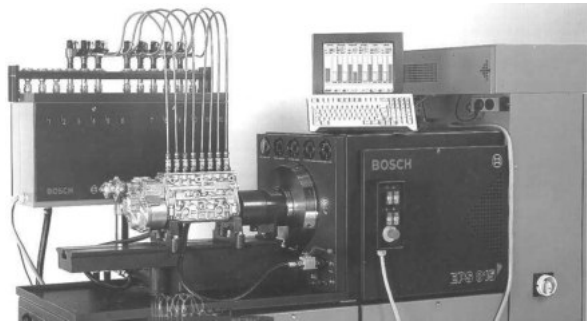
$ET_{TR}$ ,  $ET_{IQA}$  – исходная и скорректированная продолжительность управляющего сигнала;  $Q_{TR}$ ,  $Q_{MV}$  – исходная и скорректированная цикловая подача

### 7.6.2. Стенды контроля и регулировки ТНВД

Стенды для регулировки ТНВД предназначены для воспроизведения заданных условий испытания дизельной топливной аппаратуры: подачи топлива к ТНВД с определенным давлением и фиксированной температурой, изменения частоты вращения приводного вала в соответствии с тест-планами, оценки объемной подачи топлива через каждую форсунку и создания необходимых условий для наладки рабочих органов топливного насоса.

За рубежом производится много дизельной топливной аппаратуры, в том числе с электронным управлением. Из них можно отметить следующие: Bosch (Германия), Hartridge (Англия), Rabotti (Италия), Maktest (Турция), Stardex (Финляндия), Sanwei (Китай), Motorpal (Чехия) и др.

Фирма Bosch является признанным мировым лидером по производству оборудования, оснастки и программного обеспечения для испытания топливной аппаратуры дизелей. В настоящее время базовым для данного производителя является стенд EPS 815 с высокой мощностью привода (15 кВт) и электронной измерительной системой КМА 822 (рис. 7.10).



**Рис. 7.10. Стенд фирмы Bosch EPS 815 для проверки топливной аппаратуры дизелей с электронным управлением**

Функциональные возможности стенда позволяют испытывать ТНВД с повышенной интенсивностью впрыскивания топлива и электронным управлением с гарантированной точностью результатов измерений. Несомненными положительными качествами являются: безмензурочная двухканальная система измерения цикловой подачи, большая база регулировочных тест-планов, подробное руководство по ремонту компонентов, точная центровка и большая масса маховика привода ТНВД для стабилизации частоты вращения приводного вала, продолжительный межсервисный интервал обслуживания.

Стенд оснащен бесступенчатым, регулируемым по частоте вращения электронным приводом. Управление специально спроектированного трехфазного электродвигателя осуществляется с помощью четырехквadrантного преобразователя частоты с регулируемым возбуждением и векторным контуром управления.

Используемая компьютерная система измерения, выполненная на основе прецизионных электронных расходомеров с обратной связью, обладает высокой воспроизводимостью результатов измерений, достаточно легко обслуживается и имеет приемлемую скорость отображения результатов в режиме реального времени. Измерение производится по двум каналам, что позволяет сократить время, необходимое для измерения продолжительность испытаний.

В качестве дооснащения к стенду предлагается целый ряд комплектов, позволяющих сформировать специализированный набор для испытания различных типов топливоподающих систем Common Rail с дооснащением базового стенда EPS 815 специализированными приборами, оборудованием и инструментом по каждому конкретному типу топливных агрегатов. Например, для испытаний агрегатов ТПА CR на стенде EPS 815 необходимо иметь дооснащение, включающее комплекты CRS 845, CRS 846, теплообменник, CP1, CP2, CP3 и наборы инструментов для разборки и сборки соответствующих агрегатов.

Комплекты CRS 845 и CRS 846 предназначены для одновременного тестирования до шести электрогидроуправляемых форсунок CR1 или CRIN.

В набор входят: насос высокого давления СРЗ, блок управления с зажимным устройством для шести форсунок, проверочные камеры, соединительные кабели и трубки. Рейка высокого давления с датчиком служит как аккумулятор давления со встроенным регулятором. Электронный блок управляет клапанами рейки и насоса на основе показаний датчиков. Регулирующий клапан служит для регулировки давления рециркуляции проверяемого насоса на различных режимах работы двигателя. Для охлаждения проверочной технологической жидкости применяется теплообменник. В качестве дополнительных принадлежностей предлагаются крепежные адаптеры для фиксации различных насосов.

По технологическим картам (тест-планам) регулировки (проверки) рядных ТНВД фирмы Bosch на контрольно-регулирующем стенде неравномерность топливоподачи при номинальной частоте вращения кулачкового вала насоса составляет  $\pm 0,5...3$  % при регулировке ТНВД, которой предшествовала его разборка-сборка, и  $\pm 1,5...5$  % при проверке без разборки насоса. В качестве предельных значений принимаются данные из соответствующего листа регулировочных данных.

Определенные на основе анализа тест-планов распределительных топливных насосов типа VE автотракторных дизелей с различными КС допустимые неравномерности подач топлива по секциям ТНВД фирм Bosch и Denso представлены в табл. 7.5, для рядных ТНВД – в табл. 7.6.

Первая часть тест-плана проверки ТНВД СРЗ приведена в табл. 7.4.

Изменение динамического УОВТ в распределительных ТНВД типа VE происходит путем гидравлического управления поршнем автомата опережения впрыскивания топлива (АОВТ). Величина его перемещения является одним из диагностических (регулируемых) параметров для данного ТНВД и ее проверка осуществляется на безмоторном стенде для регулировки ТНВД специальным устройством для определения положения поршня АОВТ. Допуски на углы начала нагнетания для насосов типа VE фирм Bosch и Denso установлены заводами-изготовителями в пределах  $\pm 0,07...0,10$  мм независимо от КС дизельного двигателя (табл. 7.5).

Для номинальной частоты вращения приводного вала допуск на перемещение поршня составляет для распределительных ТНВД Bosch  $\pm 5,0...11,0$  % при регулировании и  $\pm 9,0...13,0$  % при проверке, а для насосов (VE...EP) с электронным регулятором скорости  $\pm 5,0...7,0$  % и  $6,5...9,0$  % соответственно; а для Denso –  $5,0...9,0$  % при регулировочно-настроечных работах. Кроме того, фирма Denso предъявляет дополнительное требование к качеству регулировки АОВТ: допустимая величина колебаний его поршня относительно «фиксированного» положения на любом режиме работы насоса (так называемая величина «hysteresis») по тест-плану должна быть не более  $0,30$  мм [43].

Давление, развиваемое ТПН регламентируется соответствующими тест-планами на регулировку (проверку) ТНВД в зависимости от марки дизеля на режимах: номинальном, максимального крутящего момента дизеля и частоте вращения вала насоса, соответствующей началу действия корректора по наддуву (при его наличии) или  $500...700$  мин<sup>-1</sup> приводного вала.

Допустимые отклонения давления ТПН распределительных ТНВД типа VE представлены в табл. 7.6.

Таблица 7.4

**Тест–план проверки ТНВД СРЗ (первая часть)**

Этап проверки (режим)	Частота вращения вала, мин <sup>-1</sup>	Производительность, л/ч	Перелив, л/ч	Давление в гидроаккумуляторе, МПа	Сила тока на регуляторе, А
Прогрев	2000			25,0±15,0	0,4
Визуальная проверка	2000			30,0±2,0	1,0
Контроль	3500	122,3±19,9	35,0±11,0	50,0±2,0	0,4
Наполнение	3500	17,0±1,0			1,3
Нулевая подача	3500	1,0±1,0			1,5
Максимальная эффективность	1000	35,1±5,5		135,0±1,0	0,4
Пуск двигателя	180	6,6±1,8		20,0±2,0	0,4

Таблица 7.5

**Допуски на регулировку угла начала нагнетания топлива секциями рядных ТНВД фирмы Bosch**

Тип КС дизеля	Допуск на угол начала нагнетания			
	первой секции, мм		между секциями, град	
	регулировка	проверка	регулировка	проверка
Неразделенная КС	±0,05	±0,10	±0,50	±0,75
Разделенная КС			±0,80	±1,00

Таблица 7.6

**Допустимые отклонения давления ТПН распределительных ТНВД фирмы Bosch и Denso**

Режим работы ТНВД		Допуск, %
Bosch	Номинальный	3,5...6,5
	Максимальный крутящий момент	3,5...5,5
	Начало действия пневмокорректора (500...700 мин <sup>-1</sup> )	8,0...11,0
Denso	Номинальный	1,7...5,0
	Начало действия пневмокорректора (500...700 мин <sup>-1</sup> )	9,0...14,0

**Контроль состояния ТНВД.** Отказ в работе одной из нагнетательных секций ТНВД легко обнаружить путем осциллографирования сигнала с датчика давления топлива в аккумуляторе системы СР. Циклически повторяющийся сигнал разделяется отметчиком положения кулачкового вала на отдельные рабочие циклы (выделенные линии на рис. 7.11). При работе ТНВД число пиков должно соответствовать количеству его нагнетательных секций, при отказе одной (рис. 7.11) или двух секций на выделенном участке осциллограммы будет наблюдаться провал.

При диагностировании и ремонте систем впрыска топлива на испытательных стендах необходимо проводить перечисленные далее диагностические операции.

1. При испытаниях на стенде насосов систем Common Rail фирмы Denso NR-2 определяют параметры работы насоса низкого давления интегрированного в этот насос, температуру на выходе, работу управляющих электроклапанов насоса и высокое давление на выходе, а также производительность насоса. На стенде проверяется также способность насоса создавать на данных оборотах заданное оператором давление, согласно тестовым параметрам, а также количество топлива, которое создает насос, чтобы обслуживать форсунки. Тестовая жидкость подогревается до рабочей температуры.

2. Стенд Pump Tester для испытания традиционных топливных насосов оснащен электронным блоком. Оператор выбирает различные режимы проверки, имитирует различные режимы работы двигателя, давления в топливном аккумуляторе, насосов и форсунок систем Common Rail. Для этого на форсунки подаются различные тестовые импульсы. Проводятся измерения количества топлива, которое впрыскивает распылитель форсунки в камеру сгорания, и количества топлива, отводимого обратно в бак. На каждую форсунку требуется по две измерительные емкости.

3. При тестировании систем Common Rail насосов и форсунок классических ТНВД цифровое табло показывает выбранный оператором режим: давление в аккумуляторе топлива, длительность срабатывания каждой форсунки в миллисекундах, количество циклов срабатывания и количество подключенных к стенду форсунок.

4. Универсальный стапель для разборки Common Rail насосов позволяет устанавливать насос в любое удобное для работы положение, а четыре сменных адаптера дают возможность работать со всеми широко применяемыми насосами Bosch CP1.S, CP1.K, CP1.H, CP3.2, CP3.3, CP3.4; Denso NP-2, NP-3, NP-4; Delphi; Siemens.

5. При диагностике форсунок систем Common Rail при помощи модулятора сигналов и обычного форсуночного стенда проверяется качество распыла и гидравлические утечки форсунки, что позволяет не тратить время на установку заведомо неисправной форсунки на специальные стенды.

6. При сборке насоса Common Rail Denso системы NP-2 можно наблюдать датчики давления, предохранительные клапаны самих аккумуляторов давления топлива. Насос используется для легковых автомобилей и внедо-

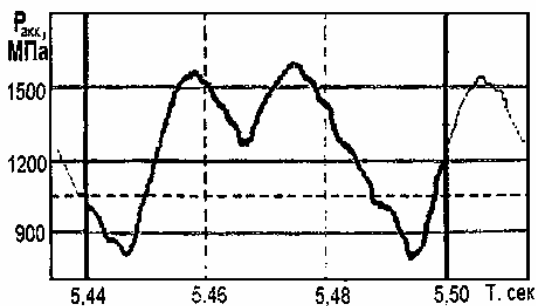


Рис. 7.11. Осциллограмма давления топлива в аккумуляторе при одной неисправной нагнетательной секции ТНВД типа CR

рожников.

Наиболее важным шагом при тестировании ТНВД является определение величины цикловой подачи топлива. Насос устанавливается на стенд и соединяется с его приводом. Измерение величины подачи происходит с помощью испытательной жидкости, обладающей физическими свойствами дизтоплива, но практически не горючей. При испытаниях ее температура измеряется и регулируется. К каждой секции ТНВД подсоединяется специальная тестовая форсунка. Цикловая подача определяется с помощью мензурок или электронной безмензурочной системы измерения.

При регулировании на стенде рядных ТНВД устанавливается начало подачи первой плунжерной секции и угловая равномерность нагнетания между секциями, величина цикловой подачи по секциям, настройка регулятора и турбокорректора ТНВД, а также согласование параметров ТНВД и регулятора.

Что касается систем впрыска управляемых электроникой, рядных, одноплунжерных и роторных ТНВД с ECD-регуляторами, систем с насос-форсунками, систем Common Rail, то их ремонт невозможен без приборов электронной диагностики, специальных тестеров, а также современных стендов, оснащенных соответствующими адаптерами, контроллерами, модуляторами сигналов, тестовыми форсунками и т. д. Например, для ремонта систем Common Rail на специализированном дизельном сервисе необходимо иметь весь автомобиль. Для правильного определения неисправности вначале производится электронная диагностика и считывание кодов ошибок, затем гидравлические тесты на двигателе без демонтажа насоса и форсунок. Потом насос и форсунки демонтируются и проверяются при помощи специальных стендов, а в случае необходимости ремонтируются или заменяются. За этим следует чистка гнезд форсунок, монтаж насоса и форсунок, ввод в систему управления двигателем индивидуальных кодов форсунок, обнуление кодов ошибок и коррекционных параметров насоса. После этого необходимо произвести тест-драйв и заново произвести электронную диагностику. Это необходимо для выявления возможных неисправностей, не связанных с самими форсунками и насосом, например, неправильной работы датчиков положения коленчатого и распределительного валов, клапанов управления турбиной и рециркуляцией отработавших газов и т. п., что может сказаться на работе двигателя.

Поэтому двигатель с качественно отремонтированными или новыми системами Common Rail, насосом и форсунками может вообще не запуститься или работать с неполной мощностью, если их устанавливали специалисты сервиса, не имеющие достаточной квалификации, оборудования и приборов.

**Проверка высокого давления** осуществляется по объему подачи топлива, росту давления и определению внутренних и внешних негерметичностей контура высокого давления. При проверке ТНВД управления механизмом отключения его секций и клапаном регулировки давления, на заданных вручную оборотах, примерно 3000 мин<sup>-1</sup>, измеряется максимальное системное давление, а на четырех различных диапазонах оборотов измеря-

ется время, необходимое для создания максимального системного давления.

Если достигается максимальное давление, то можно сделать вывод об исправности ТНВД. Если же при этом не обнаружено внутренних или внешних утечек, то весь контур высокого давления исправен. Если максимальное давление не достигается, то причина может быть в контуре низкого давления, дозирующем клапане или утечках (внутренних или внешних).

**Контроль производительности ТНВД**, его функционирования, а также внутренней и внешней герметичности контура высокого давления возможен путем подачи соответствующих сигналов управления на дозирующий клапан и клапан регулировки давления. При четырех различных частотах вращения вала двигателя измеряется время, необходимое для создания максимального давления в контуре высокого давления.

Исходными условиями контроля производительности ТНВД и работоспособности клапанов являются такие же, как и для теста разгона двигателя.

Тест высокого давления состоит из трех этапов, во время которых контролируется производительность ТНВД, характеристика клапана регулировки давления и функционирование клапана отключения секции (СР 1) в пяти различных диапазонах оборотов коленчатого вала двигателя. В четырех из них с помощью повышения давления в гидроаккумуляторе до максимального значения контролируется производительность ТНВД, а путем последующего его ступенчатого снижения – характеристика клапана регулировки давления. В последнем диапазоне контролируется функционирование клапана отключения секции.

Проведение теста осуществляется при:

- установке заданных оборотов коленчатого вала;
- повышении давления и измерение необходимого для этого времени;
- снижении давления и измерении необходимого для этого времени;
- повторение измерений на пяти различных скоростях вращения коленчатого вала;
- на последнем этапе тест проводится с отключенным впрыскиванием.

Причинами медленного повышения давления при нормальном сбросе давления являются:

- недостаточная производительность ТНВД;
- пониженная пропускная способность дозирующего клапана;
- недостаточная производительность или пониженное давление подкачивающего насоса.

Причинами слишком медленного сброса давления являются:

- негерметичность дозирующего клапана;
- повышенное давление в магистрали обратного слива топлива;
- неисправность впускного клапана.

Причинами слишком быстрого сброса давления являются:

- утечки в форсунках или клапане регулировки давления;
- внешние утечки в контуре высокого давления;
- утечки в ТНВД.

Возможности диагностирования всех систем двигателя изложены в

[33], поэтому в данной работе они не рассматриваются.

### Контрольные вопросы

1. Приведите факторы, влияющие на качество создаваемых двигателей.
2. Какие диагностические параметры могут быть назначены для контроля качества доводки двигателя?
3. Какие задачи технического диагностирования необходимо решать при эксплуатации двигателя?
4. Приведите методику выбора диагностических параметров.
5. Какие могут быть взаимосвязи между диагностическими и структурными параметрами и как их учитывать при назначении диагностического параметра?
6. Перечислите требования, которым должны удовлетворять назначенные диагностические параметры.
7. Какие основные группы интеллектуальных методов диагностирования?
8. Перечислите виды применяемых интеллектуальных методов при оценке технического уровня проектирования двигателей.
9. Какие основные группы инструментальных методов диагностирования?
10. Приведите примеры стендов, применяемых для контроля и диагностирования форсунок.
11. Приведите примеры стендов, применяемых для контроля и диагностирования ТНВД.
12. Какие методы применяют для контроля технического состояния форсунок?
13. По какому принципу работает стенд EPS 815 контроля состояния насосов?
14. Как контролируют момент начала подачи топлива секциями ТНВД?
15. Как контролируют состояние форсунок двигателей на стенде EPS 708?
16. Каковы могут быть причины появления неисправностей в ЦПГ и КШМ?
17. Какие факторы влияют на точность определения компрессии?
18. Приведите примеры появления конструктивных дефектов.
19. Опишите тест для контроля технического состояния ЦПГ двигателя.
20. Как можно осуществлять проверку давления при контроле герметичности гидравлических систем?
21. Как контролируют производительность ТНВД?
22. Приведите перечень приборов, которыми оснащаются современные стенды контроля топливной аппаратуры.
23. По каким диагностическим параметрам контролируют на стендах техническое состояние современных ТНВД (с электронным управлением)?
24. Приведите перечень диагностических параметров, по которым контролируют техническое состояние форсунок с электронным управлением.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Автобусы Львовского завода – 24
- Автомобиль
  - КрАЗ-650-С20 – 15
  - Škoda Octavia – 32
- Активатор – 231
- Аккумуляторная системы топливоподачи – 64, 183, 188
  - высокого давления – 179, 190, 212, 213
  - неисправности – 255
  - основные функции – 182
  - регулирование давления – 186
  - Common Rail – 180, 181
- Арифметико-логическое устройство – 237
- Блок гидронасоса с вакуумным насосом – 47
- Быстроизнашивающиеся детали узлов трения – 54
- Вентиляция топливного бака – 97, 98
- Верхняя мертвая точка (ВМТ) – 48
- Впрыск – 139, 165, 195, 197
  - давление – 173
  - коррекция – 156
  - определение момента – 145
  - основной – 151, 153
  - управление моментом – 151, 152
- Впрыска система – 61, 102, 103, 110, 126, 149, 203, 204
  - автоматическое регулирование – 107
  - аккумуляторная – 123
  - с внешним смесеобразованием – 110
  - с внутренним смесеобразованием – 122
  - дизельных двигателей – 202
  - компоненты – 110
  - контроль – 159
  - коррекция – 154
  - с механическим регулятором – 155
  - многоточечная – 111, 160
  - непосредственная – 123, 169
  - одновременная – 103
  - одновременная распределенная – 105
  - одноточечная – 121
  - продолжительность – 109
  - распределенная – 104, 105, 119
  - с распределительным ТНВД – 74, 208, 209
    - аксиальным ТНВД – 77
    - радиальным ТНВД – 76, 77
    - с электронным регулированием – 75
    - с рядным ТНВД – 72
    - с ТНВД типа VE – 207
    - тип регулирования – 106
    - управление – 148, 151
      - длительностью и моментом – 151
      - объемом – 152, 153
    - фазированная – 104, 105
    - центральная – 105, 121, 148
    - с электронным управлением – 149, 151, 160, 204, 205, 220
      - устройство – 150
    - Ford EEC IV, V – 118, 127
    - Jetronic – 111, 112, 121
    - Motronic – 121, 169
    - UIS (Unit Injector System) – 80
    - UPS (Unit Pump System) – 80
  - Высокое давление
    - контур – 65
    - насосы, фильтры и регуляторы – 65
  - Газораспределительный механизм (ГРМ) – 53, 54, 56
    - неисправности – 248
  - Герметичность камеры сгорания – 248
  - Гидравлическая аккумуляторная топливная система – 63
  - Гидрогазоаэродинамические системы двигателя – 48
  - Данные, передача другим системам – 239
    - адресации схема – 241
    - ассоциативная адресация данных – 241
    - последовательная (CAN) – 240
    - приемочная проверка – 241
  - Датчик – 91, 155, 156, 187, 228
    - давления – 116, 142
      - атмосферного – 116
      - во впускном коллекторе – 84
      - выбор датчика и места его установки – 142-144
      - калибровочная характеристика – 135, 136
      - топлива – 135
    - кислорода – 95
    - массового расхода воздуха – 87, 88
    - массового расхода топлива – 89
    - наддува – 84
    - определения наполнения цилиндров воздухом – 116
    - положения дроссельной заслонки – 135, 136
    - температуры – 90
    - управления двигателем – 175
  - Двигатель – 48, 52

- автобусов и микроавтобусов – 24
- внешняя скоростная характеристика – 12-14, 19, 20, 31, 33, 35
- грузовых автомобилей – 14
- диагностическое обеспечение – 274, 285
- индикаторные показатели рабочего цикла – 49
- компрессионный тест – 291
- легковых автомобилей – 27
- образование загрязнений – 263
- отказы и неисправности – 245, 246
- питания система – 29, 61
- режимы работы – 138, 140
- самоконтроль, самодиагностирование – 293
- достоверность – 296
- техническая реализация – 298
- эффективность – 298
- сравнение оборотов холостого хода – 292
- стабилизации работы – 291
- тест разгона (ускорения) – 291
- технические требования – 8
- технические характеристики – 8, 14
- тип – 9
  - автомобиля «ГАЗель» –
  - автомобиля Daewoo Nexia – 41, 44
  - автомобиля KIA Sephia – 41, 42
  - автомобиля Škoda Octavia – 31, 34
  - зарубежного производства – 28
  - КрАЗ-650-С20 – 4
  - ЯМЗ – 16
  - AGU 1,8 20V Turbo – 32, 33
  - Audi – 34-38, 187
  - Deutz – 25
  - FSI (с прямым впрыском) – 27, 29
  - MAN – 24
  - 1.8 TFSI – 41
  - 2.8 TFSI – 40
  - трудоемкости устранения отказов и неисправностей – 247
  - управления система – 208, 218, 222, 226
    - диагностированием – 292
    - с микропроцессором – 217
    - неисправности – 255
    - с программным управлением – 121
    - рабочими процессами – 292
    - техническая реализация – 298
    - Motronic – 112-115
  - число оборотов определение – 52
  - эксплуатационные свойства – 10
  - эффективные показатели – 49
  - Дефект – 243, 245
- Диагностический параметр(ы) – 274, 279, 282, 283
  - взаимосвязь со структурными параметрами – 284
- Диагностирование
  - классификация методов – 286
  - тесты и алгоритмы – 290
  - топливной аппаратуры – 143
- Дизель – 52
  - гидравлические системы – 179
  - диагностические параметры – 14, 253
  - малолитражный высокооборотный – 26
  - питание воздухом – 82, 83
  - неисправности – 253
  - неравномерная работа – 254
  - образование загрязнений – 263
  - работа «вразнос» – 254
  - система EDC – 206
  - топливный насос – 67
  - тип
    - легковых автомобилей Volkswagen – 46
    - Audi – 39
    - VW TDI AUN – 45
    - V12-TDI – 39
    - V6 модели OM 642 – 30
    - 4ДТНА1 –
    - 4ДТНА2 –
    - 4ДТНА – 26
  - токсичность ОГ – 11
  - топливные системы – 69, 70
  - управления система – 190, 203, 219
    - электронная – 221
    - электромагнитная – 63, 206
    - электромеханическая – 62
  - фильтры – 67
  - электронного управления система – 211, 212
- Драйверы активаторов – 231
- Зажигания система – 161, 165
  - бесконтактная – 162
  - классическая (контактная) – 162, 163
  - лазерное зажигание – 165
  - микропроцессорная – 164
  - VAG Simos – 164
- Заслонка
  - во впускном коллекторе – 85
  - дроссельная – 85, 114, 168, 222, 223
- Зонда сигналы
  - перед катализатором – 100
  - после катализатора – 100
- Измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) – 229

- вычислительные функции – 230
- контроллерные функции – 230
- сервисные функции – 231
- тестовые функции – 231
- Интерфейс – 230
- бортового контроллера связи (CAN) – 234
- диагностический – 234
- Исполнительные механизмы – 187
- Калибровок устройство – 239
- Клапан
  - неисправности – 259
  - регулировки давления – 180
- Компенсация теплового зазора и износа сопрягаемых деталей – 58
- Кривошипно-шатунный механизм (КШМ) – 53, 54, 61
  - неисправности – 247
- Крутящим моментом управление – 139
- Механические системы двигателя – 48
- Микроконтроллер – 231, 233
  - микропроцессорного управления двигателем – 233
- Микропроцессор – 229, 237
- Микропроцессорная система управления (МПСУ) – 166, 228, 229
  - впрыском – 165
  - дроссельной заслонкой – 168
  - зажиганием – 165
  - программное обеспечение – 182
  - ME-Motronic – 167
- Модель энергетических воздействий на агрегаты при эксплуатации – 277
- Наддув – клапан как регулятор давления – 85
- Надежность агрегатов и машин по классам вибрации – 276
- Насос – 68
  - неисправности – 256
  - сборка и регулировка – 269
  - снижение производительности – 259
  - топливоподкачивающий – 66, 73, 78
  - топливный высокого давления – 68, 70, 72
  - топливный дизеля – 67
- Насос-форсунка – 60, 198-202
- Неисправности – 243, 245
  - аккумуляторной системы топливоподачи – 255
  - газораспределительного механизма – 248
  - двигателя – 245
  - управления системы – 255
- дизеля – 253
- клапанов – 259
- кривошипно-шатунного механизма – 257
- насосов – 256
- из-за применения некачественного топлива, масла и состояния фильтров – 266
- рециркуляции системы ОГ – 250
- ТНВД – 259
- топливной системы – 243
  - из-за нарушений технологии сборки, регулировки и монтажа – 267
- турбокомпрессора – 249
- форсунок – 261
- цилиндро-поршневой группы – 247
- электромагнитного клапана – 260
- электронных систем управления двигателем – 271
- Нижняя мертвая точка (НМТ) – 48
- Объем камеры сгорания – 48
- Обогащение состава рабочей смеси – 155
- Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) – 238
- Определение нагрузки на двигатель – 93
- Отработавшие газы (ОГ)
  - анализ – 97
  - выпуск – 97, 100
  - неисправности системы рециркуляции – 250
- Отрицательной обратной связи (ООС) контур – 191
- Охлаждения система – 43, 54
- Охлаждающей жидкости температура – 222, 223
- Память
  - адаптивная – 235
  - оперативная (RAM) – 237
- Параметр
  - структурный – 52
  - функциональный – 52
- Питания системы
  - воздухом – 82, 86, 87, 93, 95
  - регулирование – 87, 94
  - дизеля КамАЗ-740 –
  - подачи дополнительных порций воздуха – 93
- Плунжерные пары
  - задиры, заклинивание – 259
  - износ – 259
- Подача топлива (режимы) – 170, 196
  - аккумуляторная система – 125
  - гомогенно-антидетонационный – 141
  - гомогенно-обедненный – 140

- гомогенно-послойный – 140
- гомогенно-раздельный – 141
- гомогенный (однородный) – 138
- давления изменение – 145, 147, 148
- допустимая неравномерность – 260
- с индивидуальным ТНВД – 79
- послойный – разогрев катализатора – 140
- послойный – стартовый – 141
- послойный (стратифицированный) режим – 138
- причины уменьшения – 252
- регулирование расхода – 158, 159
- регулятор – 79, 146
- схема с обратной связью – 107, 109
- Подшипники
  - износ, задиры – 259
- Полный объем цилиндра – 48
- Постоянное программируемое запоминающее устройство (ППЗУ) – 238
- Преобразователь
  - аналого-цифровой – 229
  - измерительный – 228
  - кодов и сигналов – 229, 230
- Программное обеспечение – 232
- Рабочей смеси состав – 154
- Рабочий объем (литраж) двигателя – 48
- Рабочий объем цилиндра – 48
- Рабочий процесс (цикл)
  - четырехтактного дизеля – 58-60
  - четырехтактных двигателей – 54, 55
- Распределенная обработка данных – 232
- Распределительный механизм – 46
- Распыление топлива – 136, 141
- Расходомер массы воздуха
  - с нитью накала – 89
  - с пленочным термозлементом – 89
  - термоанемометрический пленочный – 88, 116
- Регулятор давления топлива – 65
  - электромагнитный клапан – 66
  - – неисправности – 260
- Регулятор закручивания потока воздуха на впуске – 85
- Ременная передача – 47
- Сгорание топлива – 82
- Сеть электронных блоков управления – 233
- Системный модуль – 231
- Смазочная система – 41
- Смесеобразование – 82, 136, 137
- Степень сжатия – 48
- Такт – 48
- Технического состояния параметры – 280
- ТНВД
  - индивидуальный – 60, 81
  - контроль состояния – 306
  - неисправности – 259
  - производительность – 309
  - распределительный – 71
  - рядные – 72
  - – с дозирующей муфтой – 72
  - – типа РЕ – 73
  - стенды контроля и регулировки – 303
  - тест-план проверки – 306
  - тесты высокого давления – 292, 308
- Топливная система – 61, 103, 174, 175, 184
  - автоматическая (АСПТ) – 217
  - аккумуляторная – 174, 176, 185
  - – контур высокого давления – 170
  - – контур низкого давления – 170
  - аппаратура – 184
  - внешние средства контроля и диагностирования – 300
  - гидравлические системы – 61, 184
  - двигателя типа ЯМЗ-650 – 22
  - дефекты и неисправности – 243, 250-252, 256, 257
  - измерение и анализ процессов – 144
  - традиционная – 173
  - Common Rail System (CRS) – 19, 20, 177, 178
  - Citroën, Peugeot (PSA), BMW – 186
- Турбокомпрессор
  - с изменяемой геометрией лопаток – 83
  - неисправности – 249
  - регулируемый – 47
- Улавливание паров бензина – 97
- Фазы газораспределения двигателя – 57
- Физические характеристики объектов диагностирования – 282
- Фильтры топлива – 67
- Форсунка – 128, 131, 132, 191
  - высокого давления – 133
  - допуски на отклонение давления – 263
  - неисправности и отказы – 261, 264
  - проверка работоспособности – 266
  - с пьезоклапаном – 197
  - пьезоэлектрическая – 133, 179, 195
  - сборка и регулировка – 267
  - систем Common Rail – 192
  - согласование подачи топлива – 292
  - стенды контроля и регулировки – 300, 301
  - тестовая проверка обратного слива –

- 292
  - электромагнитная – 128, 130
  - электрогидравлическая – 191, 193
  - электроуправляемая – 212
- Цилиндро-поршневая группа (ЦПГ) – 53, 61
  - износ деталей – 247
  - диагностические структурные параметры – 248
- Ход поршня – 48
- Шина передачи данных – 234
- Электрически программируемое запоминающее устройство (ЭПЗУ) – 239
- Электронная система управления двигателям – 23, 102, 120, 216, 225, 227
  - входные сигналы – 235
  - выходные сигналы – 237
  - неисправности – 271
  - обработка сигналов – 235
  - формирование сигналов – 235
- Электронный блок управления (ЭБУ) – 231, 237
  - данные, поступающие от датчиков – 156
  - дизелем – 173
  - коррекция напряжения – 157
  - обработка сигналов – 235, 236
  - сеть – 240

## ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Тимченко І. І. Автомобільні двигуни: підручник / І. І. Тимченко, Ю. Ф. Гутаревич, К. Е. Долганов, М. Д. Муждобасєв. – Х.: Основа, 1995. – 460 с.
2. Марченко А. П. Двигуни внутрішнього згоряння. Серія підручників у 6 т. – Т. 3. Комп'ютерні системи керування ДВЗ / А. П. Марченко, М. К. Рязанцев, А. Ф. Шеховцов: за ред. А. П. Марченка, А. Ф. Шеховцова. – Х.: Прапор, 2004. – 344 с.
3. Абрамчук Ф. І., Рязанцев М. К., Шеховцов А. В. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 6. Надійність ДВЗ / За ред. проф. А. П. Марченка, засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова. – Х.: Видавн. центр НТУ «ХПІ», 2004. – 324 с.
4. Тимченко І. І. Двигуни внутрішнього згоряння: навч. посібник / І. І. Тимченко, О. І. Воронков, Д. І. Тимченко, Г. І. Тохтар. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 276 с.
5. Гутаревич Ю. Ф. Екологія та автомобільний транспорт: навч. посібник / Ю. Ф. Гутаревич, Д. Ф. Зеркалов, А. Г. Говорун. – К.: Арістей, 2006. – 292 с.
6. Дяченко В. Г. Двигуни внутрішнього згоряння: підручник / В. Г. Дяченко: за ред. А. П. Марченка. – Х.: НТУ «ХПІ», 2008. – 488 с.
7. Кульчинский А. Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие высшей школы / А. Р. Кульчинский. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Академический проект, 2004. – 400 с.
8. Краткий автомобильный справочник в 5 т. – М.: НПСТ «Трансконсалтинг», 2002.
9. Конструкция автомобиля. Том IV. Электрооборудование. Системы диагностики: учебник / С. В. Акимов, В. И. Набоких, Ю. П. Чижов: под ред. А. Л. Карунина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 480 с.
10. Системы управления дизельным двигателем: пер. с нем. – М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2004. – 480 с.
11. Гребенников А. С. Диагностирование автотракторных двигателей динамическими методами / А. С. Гребенников. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2002. – 196 с.
12. Ерохов В. И. Система впрыска бензиновых двигателей. Конструкция, расчет, диагностика: учебник / В. И. Ерохов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 551 с.
13. Врублевский А. Н. Научные основы создания аккумуляторной топливной системы для быстроходного дизеля: монография / А. Н. Врублевский. – Х.: ХНАДУ, 2010. – 216 с.
14. Системы управления бензиновым двигателем Bosch: пер. с нем. – М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2005. – 432 с.
15. Смирнов Ю. А. Электронные и микропроцессорные системы управления автомобилями: учеб. пособие / Ю. А. Смирнов, А. В. Муханов. – СПб.: Изд-во «Лань», 2012. – 612 с.

16. Пойда А. М. Технічна експлуатація автомобілів з мікропроцесорними системами керування: лабор. практикум / А. М. Пойда. – Х.: ХНАДУ, 2012. – 172 с.
17. Голобородько О. О. Механотронні системи автомобільного транспорту: навч. посібник / О. О. Голобородько, В. В. Редчиць, О. М. Коробочка. – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 300 с.
18. Гаврилов К. Л. Моторная диагностика. Практическое руководство / К. Л. Гаврилов. – М.: НКЦ «Март»; Ростов н/Д: изд-во «Март», 2005. – 312 с.
19. Губертус Гюнтер. Диагностика дизельных двигателей: пер. с нем. – М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2004. – 176 с.
20. Вахламов В. К. Автомобили. Основы конструкции: учеб. пособие / В. К. Вахламов. – М.: Изд. центр «Академия», 2007. – 528 с.
21. Загальні принципи діагностування систем керування автомобіля: навч. посібник / О. Ф. Доценко, В. Г. Максимов, О. Д. Ніцевич та ін.: за ред. М. Б. Копитчука. – Одеса: Наука і техніка, 2012. – 392 с.
22. Твег Р. Диагностика электронной системы управления двигателя. Руководство по техническому обслуживанию / Р. Твег. – М.: Астрель, 2003. – 144 с.
23. Борщенко Я. А. Электронные и микропроцессорные системы автомобилей: учеб. пособие / Я. А. Борщенко, В. И. Васильев. – Курган: Изд-во Курган. гос. ун-та, 2007. – 207 с.
24. Зенкін Є. Ю. Розробка методу прискороного діагностування автомобільних дизелів з акумуляторними системами паливоподачі: дис. канд. техн. наук: 05.22.20 / Є. Ю. Зенкін. – Х.: ХНАДУ, 2010. – 180 с.
25. Грехов Л. В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник / Л. В. Грехов. – М.: Легион Автодата, 2004. – 344 с.
26. Данов Б. А. Электронные системы иностранных автомобилей / Б. А. Данов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 224 с.
27. Сашко В. А. Електронне та електричне обладнання автомобілів / В. А. Сашко. – К.: Каравела, 2007. – 367 с.
28. Соснин В. А. Новейшие автомобильные электронные системы / В. А. Соснин, В. Ф. Яковлев. – М.: Солон-Пресс, 2005. – 240 с.
29. Тюнин А. А. Диагностика электронных систем управления двигателями легковых автомобилей: практ. пособие: 2-е изд. / А. А. Тюнин. – М.: Солон-Пресс, 2008. – 350 с.
30. Яковлев В. Ф. Диагностика электронных систем автомобиля: учеб. пособие / В. Ф. Яковлев. – М.: Солон-Пресс, 2003. – 272 с.
31. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей: учеб. пособие в 3 т. Т. 1. Объекты и методы диагностирования / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2014. – 459 с.
32. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей: учеб. пособие в 3 т. Т. 2. Неисправности, параметры и средства диагностики / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2014. – 403 с.
33. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей: учеб. пособие в 3 т. Т. 3. Практические основы диагностирования /

В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2014. – 444 с.

34. Мигаль В. Д. Автомобильные двигатели внутреннего сгорания. Параметры и системы управления: учеб. пособие / В. Д. Мигаль, А. Н. Врублевский. – Х.: Майдан, 2015. – 269 с.

35. Абрамчук Ф. І. Техніко-економічне обґрунтування необхідності державної підтримки у виконанні інноваційно-інвестиційного проекту: монографія / Ф. І. Абрамчук, С. О. Альохін, М. А. Белов, О. М. Врублевський: за ред. Ф. І. Абрамчука, О. В. Гриника, І. А. Дмитрієва. – Х.: ХНАДУ, 2012. – 164 с.

36. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справ. пособие в 6 т. Т. 1. Дефекты и эксплуатационные неисправности / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2012. – 380 с.

37. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справ. пособие в 6 т. Т. 2. Диагностические параметры и признаки / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2012. – 420 с.

38. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справ. пособие в 6 т. Т. 3. Методы диагностирования / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2012. – 548 с.

39. Система контроля отработавших газов: учеб. пособие. Т. 4. TOYOTA MOTOR CORPORATION, 2001. – 84 с.

40. Электронный впрыск топлива [Текст]: учеб. пособие. Т. 5. ТОАМ – «Техническое обучение автомобильному мастерству». Этап 2. – TOYOTA SERVICE TRAINING, 2005. – 121 с.

41. Зенкин Е. Ю. Анализ технического состояния топливной аппаратуры на основе колебаний давления топлива в гидроаккумуляторе / Е. Ю. Зенкин // Двигатели внутреннего сгорания. Научно-технический журнал. – Х.: НТУ «ХПИ». – 2009. - № 1. – С. 144-147.

42. Врублевський О. М. Обґрунтування методики діагностування компонентів паливної апаратури двигуна з примусовим запалюванням / О. М. Врублевський, С. Ю. Зенкін, О. В. Денісов, М. П. Булгаков // Вісник СевНТУ: зб. наук. праць. Серія «Машинобудування та транспорт». Вип. 134/2012. – Севастополь, 2012. – С. 109-112.

43. Грехов Л. В. Конструкция, расчет и технический сервис топливоподающих систем дизелей: учеб. пособие / Л. В. Грехов, И. И. Габитов, А. В. Негорова. – М.: Легион-Автодата, 2013. – 292 с.

44. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобилей. Теоретические основы: учеб. пособие / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2014. – 516 с.

45. Датчики в автомобиле: пер с нем. под ред. Конрада Райфа. – М.: За рулем, 2013. – 166 с.

46. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1994. – 23 с.

47. ГОСТ 27518-87. Диагностирование изделий. Общие требования. Дата введения с 01.01.1989. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 11 с.

48. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. Введен 26.12.1989 (взамен ГОСТ 20911-75). – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 10 с.

49. ГОСТ 25044-81. Диагностика автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных, строительных машин. Основные положения. Дата введения с 01.01.1983. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.

50. Чорний Г. П. Автоматизовані системи контролю літальних апаратів: навч. посібник / Г. П. Чорний. – К.: НАУ, 2008. – 160 с.

51. Мигаль В. Д. Средства информационных систем автомобиля: справ. пособие / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2012. – 444 с.

52. Мигаль В. Д. Теория технической диагностики транспортных машин: учеб. пособие / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2014. – 466 с.

53. Пойда А. Н. Определение эксплуатационных показателей дизельной топливной аппаратуры по балансу расхода / А. Н. Пойда, А. Н. Врублевский, Е. Ю. Зенкин // Автомобильный транспорт. – Вып. 23. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2008. – С. 135-139.

54. Вибрация и надежность транспортных машин. Монография / В. Д. Мигаль, В. М. Мищенко, В. П. Волков, С. А. Гаврилов, А. В. Мищенко. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2007. – 382 с.

55. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справ. пособие в 6 т. Т. 5. Средства диагностирования (книга 2) / В. Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2012. – 460 с.

*Учебное издание*

**МИГАЛЬ**  
**Василий Дмитриевич**

**АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ  
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ.  
ПАРАМЕТРЫ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

*Учебное пособие*

В авторской редакции

Технические редакторы: А. В. Щепкин, А. И. Жадан

Компьютерная верстка: А. В. Щепкин, А. И. Жадан

Дизайн обложки: А. В. Щепкин

Підписано до друку 10.12.2015. Формат 70х100/16.  
Папір офсетний. Гарнітура Таймс. Друк офсетний.  
Ум. друк. арк. 20. Наклад 300 прим. Зам. № 15-81.

Видання і друк ТОВ «Майдан»  
61002, Харків, вул. Чернишевська, 59  
Тел.: (057) 700-37-30

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців і розповсюджувачів  
видавничої продукції ДК № 1002 від 31.07.2002 р.