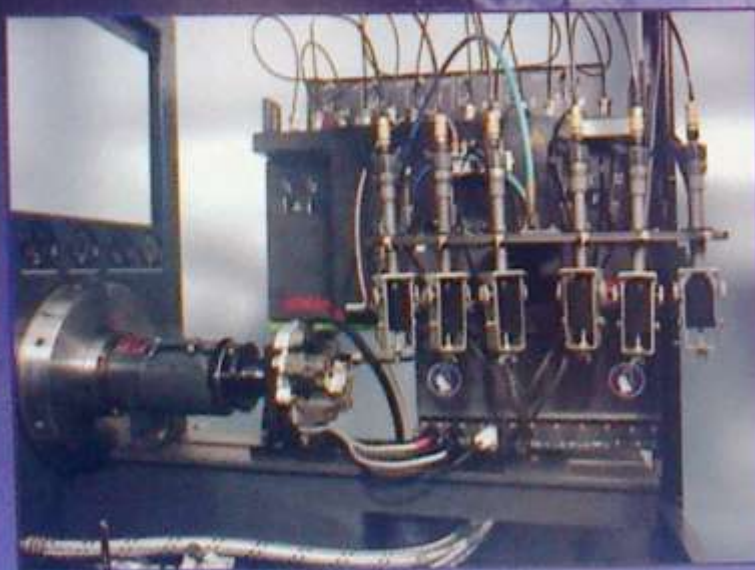
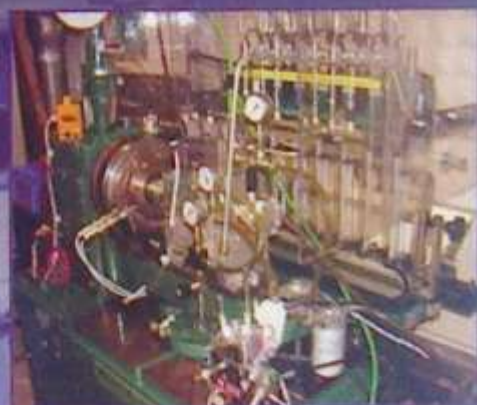


И.И. Габитов, Л.В. Грехов, А.В. Неговора

Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных дизелей



**УСТРОЙСТВО, РАБОТА, ТЕХНИЧЕСКОЕ
ОБСЛУЖИВАНИЕ, ДИАГНОСТИКА,
ИСПЫТАНИЯ И РЕМОНТ**



И.И.Габитов, Л.В.Грехов, А.В.Неговора

Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных дизелей

Рекомендуется Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области энергетики и электротехники в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 140500 – «Энергомашиностроение», специальностям 140501.65 – «Двигатели внутреннего сгорания» и 140501.68 – «Поршневые и комбинированные двигатели»

Рекомендуется Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по агроинженерному образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям 110304 – «Технология обслуживания и ремонта машин в агропромышленном комплексе» и 110301 – «Механизация сельского хозяйства»

Уфа 2008

УДК 621.436

ББК 31.365

И.И.Габитов, Л.В.Грехов, А.В. Неговора. Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных дизелей: Учебное пособие. - Уфа: Изд-во БГАУ, 2008. - 240 с.

ISBN 5-7456-0151-5

Рецензенты: д.т.н., проф. МГТУ им. Н.Э.Баумана В.А.Марков
д.т.н., проф. МГАУ им. В.П.Горячкина С.Н.Девянин

В пособии описана конструкция, работа, техническое обслуживание и диагностирование современных топливных систем отечественных и зарубежных автотракторных и комбайновых дизелей. Особое внимание уделено особенностям конструкций новейших систем топливоподачи с электронным управлением, современным технологиям диагностирования, технического обслуживания, ремонта топливной аппаратуры с использованием технологического оборудования, также оснащенного электронными системами управления. Описаны технологии испытаний и регулировки топливной аппаратуры и применяемое при этом оборудование, представлен обширный справочный материал по применению и регулировочным данным топливной аппаратуры.

Предназначено для студентов вузов, обучающихся по специальностям «Двигатели внутреннего сгорания», «Поршневые и комбинированные двигатели», «Технология обслуживания и ремонта машин в агропромышленном комплексе», «Механизация сельского хозяйства», а также инженерно-технических работников автотранспортных и сельскохозяйственных предприятий и организаций, занимающихся эксплуатацией автомобилей, тракторов и самоходных комбайнов.

Ил. 256. Табл. 22. Библиогр. 46 назв.

© И.И.Габитов, Л.В.Грехов, А.В.Неговора

© Изд-во БГАУ, 2008.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ ПО ТЕКСТУ СОКРАЩЕНИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ	5
1. УСТРОЙСТВО И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ТОПЛИВОПОДАЮЩИХ СИСТЕМ	7
1.1. Влияние работы топливной аппаратуры на показатели дизеля и требования, предъявляемые к топливным системам	7
1.2. Линия низкого давления дизельной топливной системы	10
1.3. Системы непосредственного действия	18
1.3.1. Блочные топливные насосы высокого давления	18
1.3.2. Популярные отечественные насосы высокого давления и их автоматические регуляторы	28
1.3.3. Блочные и индивидуальные ТНВД с электронным управлением	39
1.3.4. Распределительные насосы с механическим и электронным управлением	42
1.3.5. Гидромеханические форсунки	60
1.3.6. Насос-форсунки	68
1.4. Аккумуляторные топливные системы с электронным управлением	74
1.4.1. Состав и устройство элементов систем Common Rail	74
1.4.2. Насосы высокого давления для аккумуляторной топливной системы Common-Rail	77
1.4.3. Электрогидравлические форсунки Common Rail	81
1.4.4. Управление впрыскиванием в системах Common Rail	89
1.4.5. Аккумуляторные системы с мультипликаторами давления	93
2. НАДЕЖНОСТЬ, ОСНОВНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ И ПРИЧИНЫ ОТКАЗОВ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ	99
2.1. Надежность топливной аппаратуры, количественные ее характеристики	99
2.2. Основные неисправности и причины отказов.	108
3. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА	123
3.1. Технический сервис топливной аппаратуры	123
3.2. Специализированное предприятие по техническому сервису	127
3.3. Электронная сервисная информация и программное обеспечение	131
4. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА	137
4.1. Техническое обслуживание и диагностирование традиционной топливной аппаратуры	137
4.2. Электронные системы диагностики современных машин	141
4.2.1. Электронные блоки управления и системы диагностики	141
4.2.2. Стандарты интерфейса связи	143
4.2.3. Бортовая система диагностики	144
4.2.4. Технические средства диагностирования топливной аппаратуры машин, оборудованных бортовой системой диагностики	146
4.3. Диагностирование современных машин	150
4.3.1. Подключение диагностических средств к диагностической колодке или адаптеру	150
4.3.2. Диагностические коды неисправностей	152
4.3.3. Установка информационного обеспечения, подключение приборов и диагностирование	155
4.3.4. Алгоритмы проверки систем и исполнительных механизмов	158
4.4. Признаки неисправностей топливной аппаратуры по показателям работы дизеля	160

5. ИСПЫТАНИЕ И РЕГУЛИРОВКА ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ	164
5.1. Оборудование для испытаний топливной аппаратуры дизелей	164
5.2. Контрольно-регулирующие показатели дизельной топливной аппаратуры	185
5.3. Регулирование ТНВД Ногинского завода ТА (серия УТН)	186
5.4. Регулирование ТНВД Алтайского завода ТА (серия ТН)	189
5.5. Регулирование ТНВД Чугуевского завода ТА (серия НД)	191
5.6. Регулирование ТНВД Ярославского завода ТА (серия 43 ЯМЗ)	193
5.7. Регулирование ТНВД Ярославского завода ДА (серия 33 КАМАЗ)	195
5.8. Регулирование ТНВД Ярославского завода ДА (серия «Компакт 40»)	198
5.9. Регулирование ТНВД Ярославского завода ДА (серия «Компакт 32»)	199
5.10. Регулирование ТНВД Челябинского ТЗ (серия КДМ)	201
5.11. Регулирование ТНВД распределительного типа (серия VE)	203
5.12. Регулирование ТНВД фирмы Bosch с электронным управлением (серия VP)	205
5.13. Регулирование агрегатов топливных систем типа Common Rail	206
5.14. Оценка качества работы и регулировка форсунок	208
5.15. Установка топливного насоса на двигатель и проверка угла опережения впрыскивания топлива	211
ЛИТЕРАТУРА	218
СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ И РЕГУЛИРОВОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ	220

ОБЩИЕ ПО ТЕКСТУ СОКРАЩЕНИЯ

ЛВД – линия высокого давления;	ВВ – вредные вещества;
ЛНД – линия низкого давления;	ДТ, ДТЛ – дизельное топливо (летнее);
СУ – система автоматического управления;	КУ – камера управления;
ТА – топливоподающая аппаратура;	ОГ – отработавшие газы;
ТНВД – топливный насос высокого давления;	ТО – техническое обслуживание;
ТПН – топливоподкачивающий насос;	ТП – топливоподача;
ТСМ – топливо-смазочные материалы;	ЦЧ – цетановое число;
УОВТ – угол опережения впрыскивания топлива;	CR – Common Rail.
ЭГФ – электрогидравлическая форсунка;	
ФГО, ФТО – фильтр грубой (тонкой) очистки;	

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность использования транспортных средств, тракторов и мобильных сельскохозяйственных машин в значительной степени определяется характеристиками установленных на них ДВС. В последние годы все большее распространение получают дизельные двигатели. Такими двигателями оснащается подавляющее большинство грузовых автомобилей, автобусов и сельскохозяйственная техника. Расширяется применение дизелей и на легковых автомобилях. Так, если в период более, чем столетний период истории дизелестроения, оказалось достаточным иметь для двигателей наземного транспорта максимальное давление впрыскивания топлива 20...50 МПа, то в последние 10...15 лет этот показатель вырос в несколько раз и уже достиг 250 МПа.

Другая важнейшая особенность современной топливоподающей аппаратуры – электронное управление ее работой. Оно позволяет более полно оптимизировать рабочий процесс на всех характерных режимах работы и за счет этого добиться снижения выбросов вредных веществ, шумности, расхода топлива, улучшения пусковых свойств, динамичности транспортного средства и др. Опыт последовательного введения законодательных норм в Европе и России показал, что предел возможного для автомобильных дизелей с топливными системами, имеющими механические автоматические регуляторы – экологический уровень 3 (Евро-3). В России сроки действия экологического уровня 3 установлены с 1.01.2008 по 1.01.2010 г. Для сельскохозяйственной техники темпы введения экологических требований ниже, но тенденции те же. Для реализации высоких показателей современные дизели оснащаются отдельными устройствами или целыми системами управления топливоподачей.

Существенное ухудшение технико-экономических и экологических показателей дизелей объясняется, в первую очередь, изменением технического состояния элементов топливоподающих систем, неисправностью их систем управления и в меньшей степени зависит от износа двигателя. Переход от механических регуляторов к системам электронного управления не только изменил конструкцию топливоподающей аппаратуры, но, что чрезвычайно важно для нужд эксплуатации, изменил методы испытаний, регулировки (настройки) и само испытательное оборудование: оно стало значительно сложнее и дороже. Можно без преувеличения сказать, что сервисная база для обслуживания современной топливоподающей аппаратуры с электронным управлением в России практически не готова. Это касается как острейшего дефицита безмоторных топливных стендов для новой аппаратуры, так отсутствия достаточно квалифицированных для этого кадров, опыта работ и информации.

При подготовке этого издания ставилась задача познакомить читателей с основами конструкции и работы топливоподающей аппаратуры, технического обслуживания, элементов теории надежности, диагностирования, способов организации сервиса и дать представление о приемах и способах обслуживания и регулировки аппаратуры. При этом особое внимание было уделено особенностям конструкции и работы с системами с электронным управлением.

В пособии описаны конструкция и работа современных топливных систем отечественных и зарубежных автотракторных и комбайновых дизелей, рассмотрены вопросы технического обслуживания и диагностирования при технической эксплуатации топлив-

ной аппаратуры. Рассмотрены основные неисправности и причины отказов систем топливоподачи, в том числе с электронным управлением.

В соответствии с современными требованиями изложены вопросы организации сервисной службы с использованием электронной сервисной информации и программного обеспечения, связи с производителями, поставщиками. Подробно излагаются основы бортового диагностирования, технические средства, анализ получаемой информации. Описаны оборудование, технологии испытаний и регулировки топливной аппаратуры отечественной и зарубежной техники, в том числе с использованием электронных средств и систем, представлен обширный справочный материал по применению и регулировочным данным топливной аппаратуры.

Пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по специальностям «Двигатели внутреннего сгорания», «Поршневые и комбинированные двигатели», «Технология обслуживания и ремонта машин в агропромышленном комплексе», «Механизация сельского хозяйства», а также инженерно-технических работников автотранспортных и сельскохозяйственных предприятий и организаций, занимающихся эксплуатацией автомобилей, тракторов и самоходных комбайнов.

Книга написана на основе курсов лекций, читаемых авторами, и материалов исследований выполненных авторами в МГТУ им.Н.Э.Баумана, Башкирском ГАУ, специализированном предприятии по техническому сервису топливной аппаратуры «Башдизель», предприятиях по производству топливной аппаратуры, в ряде других организаций. Изложенный в издании материал отражает современный уровень конструкций топливной аппаратуры, ее технического обслуживания и диагностирования.

6. УСТРОЙСТВО И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ТОПЛИВОПОДАЮЩИХ СИСТЕМ

1.1. ВЛИЯНИЕ РАБОТЫ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ И ТРЕБОВАНИЯ К ТОПЛИВНЫМ СИСТЕМАМ

Значение топливной аппаратуры (ТА) для дизеля заключается не только в невозможности его нормальной работы при неисправной ТА, но и в определяющем влиянии ее показателей на показатели дизеля. Поэтому под критериями совершенства ТА в отношении влияния на работу дизеля будем считать мощность и шумность его работы, расход топлива, выбросы ВВ с ОГ, динамичность транспортного средства, надежность пуска, коэффициент приспособляемости, соблюдение ограничений по давлению в цилиндре, жесткости сгорания, тепловым нагрузкам, температуры газов перед турбиной.

Характерно, что решение наиболее важных на сегодня – экологических - проблем дизелей всегда увязывается с совершенствованием ТА, а наиболее трудоемкие и дорогостоящие работы при создании и совершенствовании дизелей связаны именно с **оптимизацией внутрицилиндровых рабочих процессов** и согласованием с ним конструктивных и режимных параметров ТА.

Так, ныне считается, что для качественного смесеобразования форсунка в головке цилиндра должна располагаться вертикально и соосно камере сгорания в поршне. Только в этом случае удастся обеспечить идентичность топливных струй. Ради этого идут на существенное усложнение головки и обслуживание форсунки (рис. 1.1, а). В связи с этим становится ясно, что небрежная установка наклонной форсунки может вызывать нерасчетное расположение топливных струй, нарушение оптимизированного процесса смесеобразования и сгорания (рис. 1.1, б). К сожалению, такая возможность в старых двигателях (например, Д144) существует.

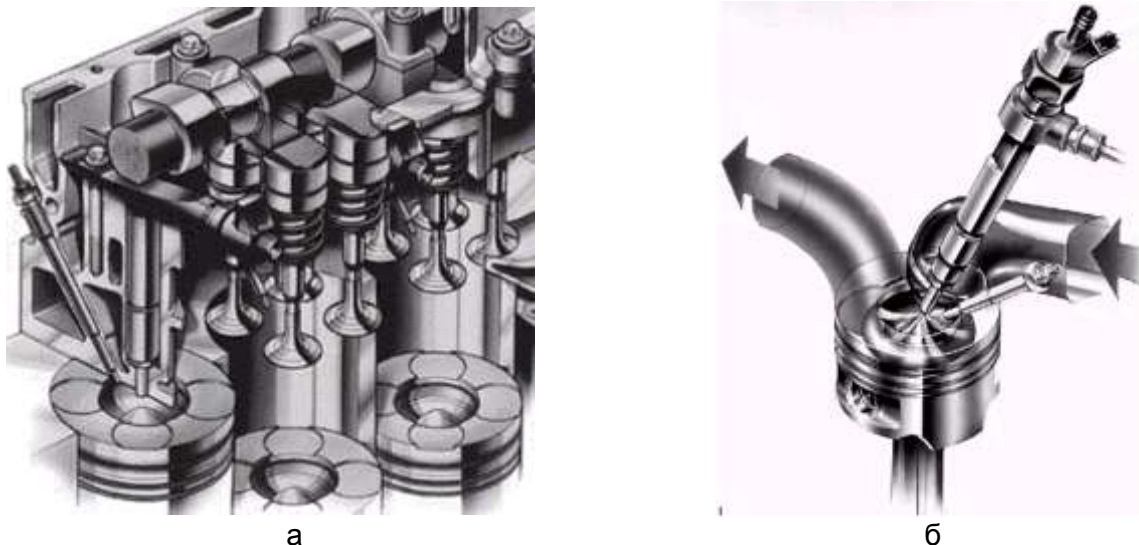


Рис. 1.1. Вертикальное расположение форсунок в головке с четырьмя клапанами и одним распределительным валом в дизеле Opel Ecotec (а) и наклонное в головке с двумя клапанами в дизеле JTD Alfa Romeo 156 (б).

С точки зрения воздействия на рабочий процесс необходимо иметь в виду, что его оптимизация велась производителем многие годы, зачастую – десятилетий, поэтому любое отклонение от оптимальных условий его организации, как правило, ведет к его ухудшению.

Один из важнейших параметров организации рабочего процесса - обеспечение заданного **давления впрыскивания**. Повышенное давление впрыскивания является редким фактором, позволяющим одновременно добиваться обычно взаимоисключающих результатов: с одной стороны – снижения выбросов NO_x , жесткости сгорания, механической нагруженности дизеля, с другой стороны - расхода топлива, выбросов частиц, CO , CH_x . Так, изменение УОВТ, образующее каждую из кривых на рис. 1.2, обеспечивают лишь одностороннее улучшение экологических показателей.

Не случайно в последние 15-20 лет максимальные давления впрыскивания выросли в 3-5

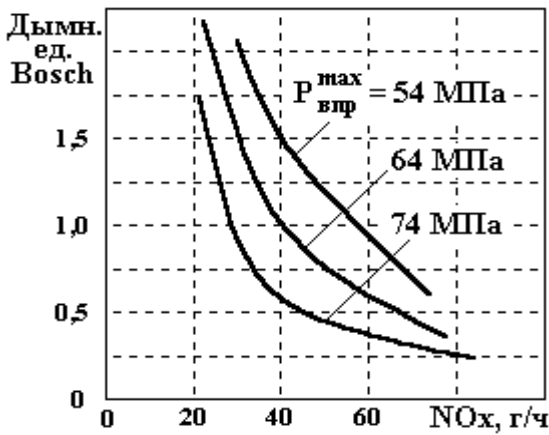


Рис. 1.2. Типовая диаграмма эмиссии ВВ при различных УОВТ и давлениях впрыскивания (дизель Mercedes OM611 при $n=2000 \text{ мин}^{-1}$, $p_e=0,4 \text{ МПа}$).

впрыскивания (усилия предварительной затяжки пружины форсунки), износа плунжерной пары, прецизионной поверхности, запорного конуса и сопел распылителя.

Другим современным направлением совершенствования ТА является переход с механического на **электронное управление** [10, 24]. Ввиду важности напомним достоинства электронного управления ТП дизелей:

- гибкое регулирование цикловой подачи в функции частоты вращения двигателя и обеспечение заданной внешней скоростной характеристики;
- минимальная неравномерность подачи по цилиндрам или, напротив, оптимальная неравномерность подачи и УОВТ для каждого цилиндра в соответствии с особенностями конструкции, изготовления и технического состояния;
- оптимальное регулирование УОВТ в соответствии с режимом работы и другими факторами;
- автоматизация пуска, обогащение подачи при пуске, ее выключение на принудительном холостом ходу, регулирование на переходных режимах;
- отключение цилиндров и циклов работающих цилиндров на частичных режимах;
- обеспечение самодиагностики электрических цепей, компенсацию выбывших из строя элементов с помощью резервных программ;
- управление по режимам работы характеристикой и давлением впрыскивания (см. Common Rail).

Жесткие нормы выбросов ВВ все труднее выполнить без использования возможностей гибкого электронного управления. Например, при высоких нагрузках приоритет в регулировании УОВТ имеет критерий минимума NO_x , а на малых нагрузках в целях сокращения расхода топлива и дымности он может быть увеличен. Обеспечение автомобильными дизелями нормативов уровня Евро-3 без электронного управления затруднительно, Евро-4 и выше - невозможно. Широкое внедрение электронного управления тормозится, в том числе дефицитом опыта, средств и доступных методик диагностики и обслуживания.

Расширение использования **аккумуляторных систем (Common Rail)**. Может рассматриваться как самостоятельное направление или дальнейшее развитие ТА с электронным управлением. По сравнению с ТА непосредственного действия они позволяют оптимально регулировать давление и характеристику впрыскивания, осуществлять многофазную подачу.

В этих системах возможно произвольное **управление давлением впрыскивания** на каждом из рабочих режимов, а значит, оптимизация рабочего процесса на всех режимах дизеля (рис. 1.3). С точки зрения эксплуатации стоит задача поддержание заданных законов управления давлением впрыскивания.

То же относится и к **управлению характеристикой впрыскивания**. В быстроходном дизеле с обычной для разделенной ТА характеристикой впрыскивания 75...80% подачи осуществлялось за время задержки воспламенения [2]. Повышенная динамичность цикла приводит к перегрузке кривошипно-шатунного механизма, шумности, вибрациям и повышенным выбросам NO_x .

раз, достигнув 250 МПа. С точки зрения эксплуатации и ремонта изначально следует отвергать нестандартную комплектацию ТА, особенно более старыми модификациями, несмотря на кажущуюся взаимозаменяемость. Так, ТНВД с меньшим диаметром или ходом плунжера, высотой разгружающего пояса нагнетательного клапана, другими сопловыми отверстиями форсунки или давлением начала впрыскивания приведут к иным параметрам ТП, старые образцы – к уменьшенному давлению впрыскивания и, следовательно, к увеличению дымности ОГ, расхода топлива. Также надо быть готовым к увеличению опасности засорению сопел современных дизелей из-за увеличения их числа и уменьшению диаметра (до 0,08...0,1 мм).

Давление впрыскивания снижается по времени эксплуатации из-за снижения давления начала

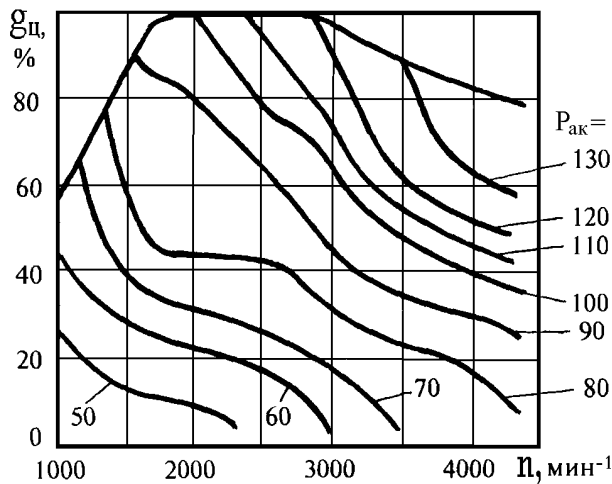


Рис. 1.3. Давление в аккумуляторе Common Rail в функции частоты вращения и относительной подачи для дизеля Mercedes OM611.

(например, ухудшения подвижности клапана, иглы) нарушается процесс смесеобразования и сгорания.

Управление углом опережения впрыскивания (УОВТ) совершенно необходимо для оптимизации рабочего процесса в зависимости, по крайней мере, от 5...8 режимных параметров ДВС, что реализуется с помощью электронного управления. Распределительные ТНВД с механическим регулятором обеспечивали управление УОВТ по 1...3 параметрам. Некоторые из выпускаемых сегодня автомобильных дизелей не имеют регулирования УОВТ (ММЗ-245 для грузовика Бычок, ГАЗ с дизелем Steyr), что не соответствует современным требованиям. В этом случае наиболее важная характеристика управления – по частоте вращения – противоположна оптимальной, т.е. при росте частоты УОВТ уменьшается. Считается, что эти требования ниже для тракторов ввиду наличия одного преимущественного режима работы.

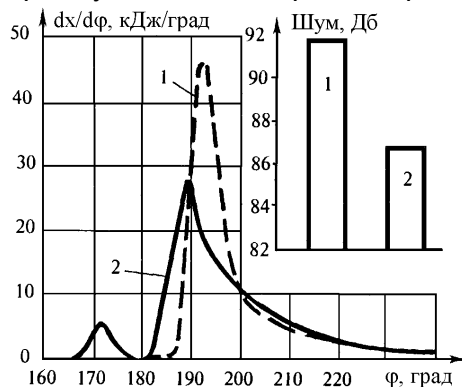


Рис. 1.4. Скорость тепловыделения и шумность дизеля Mercedes OM611 при $n = 2000$ мин⁻¹, $p_e = 0,2$ МПа с однофазным (1) и двухфазным (2) впрыскиванием.

К числу показателей, непосредственно влияющих на качество рабочего процесса дизеля можно отнести **быстрое завершение впрыскивания, отсутствие подтекания распылителя**. Доказано, что подтекание обуславливает эмиссию CH_x с ОГ, закоксовывание распылителя. Медленное завершение впрыскивания приводит к образованию крупных капель, т.е. дымности ОГ и росту расхода топлива. Напротив, резкая отсечка подачи ТНВД при снижении быстродействия иглы форсунки приводит к забросу газов в распылитель и закоксовыванию внутренних его поверхностей. Близкое требование – исключение подвпрыскивания – самопроизвольного дополнительного впрыскивания значительно позже основного. Его появление возможно при появлении негерметичности разгружающего пояса нагнетательного клапана, регулировке на излишне высокое давление начала впрыскивания.

Помимо названных к ТА предъявляются также **иные требования**, выполнение которых обуславливается при проектировании и должно обеспечиваться в процессе эксплуатации:

- минимальные стоимость и масса, высокая технологичность (в структуре стоимости автомобильного дизеля ТА достигает от 25...40%);
- стабильность показателей подачи топлива в течение срока эксплуатации;
- удобство обслуживания, ремонта, регулирования (например, неудобна конструкция, требующая для выемки форсунки снятия крышки газораспределения или люка);

Фактор динамичности можно уменьшить путем формирования пологого или ступенчатого переднего фронта характеристики впрыскивания. В традиционной ТА эту задачу стараются решить с помощью двухпружинной форсунки. Радикальным средством сокращения задержки воспламенения при подаче основной порции топлива является двухфазная или многофазная подача. В полной мере это осуществляется только в системах Common Rail. Эффективность двухфазной подачи для снижения выбросов NO_x и шумности (рис. 1.4) вынуждает вести разработку средств ее реализации. Особую трудность представляет подача малых порций. Это обусловлено пределом технических возможностей исполнительных органов, электрогидравлических форсунок. По этой причине при ухудшении их технического состояния

- обеспечение максимального ресурса в пределах ресурса двигателя (ресурс ТА высокооборотных дизелей 4...10 тыс. ч);
 - минимальная неравномерность подачи топлива по цилиндрам или, напротив, управляемая неравномерная подача по каждому цилиндру;
 - минимальный собственный уровень шума (менее 80 дБ на расстоянии 1 м) и уменьшение уровня шума двигателя;
 - возможность прокачки системы для удаления воздушных пробок.
 - формирование скоростной характеристики ТА;
 - обеспечение необходимых динамических качеств двигателя на переходных режимах работы; ускорение переходных процессов в самой ТА (управление остаточным давлением, создание ТА с остаточным давлением, не зависящим от режимов);
 - виброустойчивость и герметичность для предупреждения потерь топлива и попадания пыли, воды и воздуха;
 - работоспособность в широком интервале температур воздуха.
- Этот перечень может расширяться как применительно ко всей ТА, так и частными требованиями к отдельным ее элементам.

Контрольные вопросы

1. Каков механизм влияния работы ТА на рабочий процесс дизеля?
2. Почему повышение давление впрыскивания позволяет улучшить такие противоречивые показатели дизеля как выбросы частиц и NO_x , снизить шумность, механические нагрузки и расход топлива?
3. В чем усматриваются достоинства электронного управления ТА над механическими регуляторами?
4. Как влияет на показатели дизеля угол опережения впрыскивания и зачем необходимо им управлять?
5. Назовите важнейшие требования к ТА дизеля.

1.2. ЛИНИЯ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ

Под линией низкого давления (ЛНД) понимают низконапорную часть топливной системы, включая бак, фильтры, подкачивающий насос, арматуру. В ней топливо находится под давлением до 0,2...1,5 МПа. Напротив, в линии высокого давления (ЛВД), содержащей более сложные ТНВД и форсунки, давления достигают сотен МПа, ее будем рассматривать отдельно.

На рис. 1.5 представлена **типовая схема топливной системы** традиционного типа (непосредственного действия) автотракторного дизеля.

Имеется тенденция изъятия ФГО. Такое решение характерно для зарубежных легковых автомобилей. Очевидно, что оно предполагает нормальное загрязнение топлива (по ГОСТ – не более 50 г/Т). Напротив, на некоторых зарубежных моделях для обеспечения работы в холодное время между ФГО и ТПН устанавливался водо-топливный подогреватель с топливным термостатом. Дренаж топлива из форсунок ввиду его малости часто производят не в бак, а в более близкие узлы (на вход в ТПН, во впускной коллектор дизеля).

По схеме циркуляции топлива в ЛНД системы разделяют на тупиковые, проточные и замкнутые. В **тупиковой системе** отсутствует слив топлива после ТПН через перепускной капан 7 и топливопровод 13. В этом случае давления топлива на входе в ТНВД зависят от жесткости пружины поршня ТПН. Такая система применяется, например, на тракторах Челябинского тракторного завода.

Преимущество тупиковой системы состоит в минимизации расхода топлива через ФТО. При этом скорость движения топлива через фильтрующие элементы сравнительно мала, что создает хорошие условия для его фильтрации.

К недостаткам системы относится зависимость давления во впускной полости ТНВД от состояния фильтра тонкой очистки и режима работы двигателя. Изменение давления влияет на параметры работы ТНВД. Другой недостаток - завоздушивание системы пузырьками газа, попавшими в топливо или выделившегося из него при работе двигателя. Для выпуска газов из впускной полости ТНВД перед запуском дизеля в этом случае предусмотрено средство для удаления воздуха; имеется (пробка 12, рис. 1.5, а)

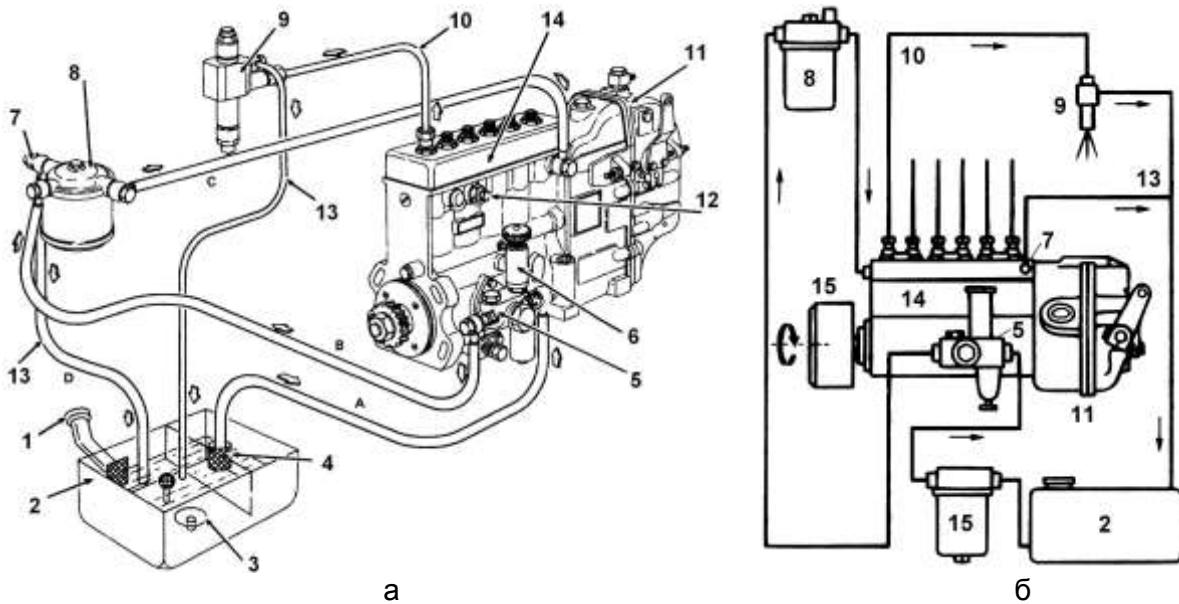


Рис. 1.5. Схемы топливной системы дизеля: 1 - заливная горловина; 2 - топливный бак; 3 - отстойник со сливной пробкой; 4 - топливозаборник с сетчатым фильтром; 5 - топливоподкачивающий насос (ТПН); 6 - ручной подкачивающий насос; 7 - перепускной клапан; 8 - фильтр тонкой очистки (ФТО); 9 - форсунка; 10 - нагнетательный топливопровод; 11 - автоматический регулятор; 12 - пробка для удаления воздуха; 13 - сливной топливопровод (дренаж, "обратка"); 14 - топливный насос высокого давления (ТНВД); 15 - фильтр грубой очистки (ФГО).

В **проточной системе** (рис. 1.5, б) топливо циркулирует по кругу, в который последовательно включены все агрегаты топливной системы, т.е. ТНВД непрерывно промывается топливом. Все топливо, проходящее через перепускной клапан, направляется в бак.

Для устранения перегрева топлива бак используют как радиатор и слив осуществляют в его верхней части. Напротив, для улучшения эксплуатации топливной системы зимой перепускаемое топливо подается к нижнему заборному штуцеру бака, разогревая пространство вокруг него – это решение применяется в судовой и авиационной технике. Такая система используется на тракторах Т-150К и К-701.

В **замкнутой системе** топливо циркулирует, минуя бак (слив осуществляют на вход ФГО или ТПН). В этом случае система еще более привлекательна для холодного климата и хуже для теплого. В этой схеме также отсутствуют условия для отделения пузырьков воздуха и газов, попавших с топливом.

Остальные достоинства и недостатки проточной и замкнутой систем – общие. Давление подкачки в них стабильнее за счет заданного давления срабатывания перепускного клапана 7, устанавливаемого в головке ТНВД (рис. 1.5, б) или ФТО (рис. 1.5, а). Это позволяет обеспечить полноценное наполнение надплунжерных полостей ТНВД на всех режимах работы двигателя. Перепускной клапан регулируют обычно на давление 0,07...0,25 МПа. Другое преимущество таких циркуляционных систем – в многократной циркуляции и очистке топлива в ФТО.

Однако, для этих схем возможна опасность работы ТНВД на неочищенном топливе, которое будет подсасываться через сливной топливопровод и недостаточно герметичный перепускной клапан. Причиной этого может быть предельное загрязнение ФТО и возникающее из-за него разрежение во впускной полости ТНВД. Поэтому при ремонте топливной аппаратуры необходимо проверять герметичность перепускного клапана на приборе для регулировки форсунок, а в эксплуатации необходим постоянный контроль за давлением во впускной полости системы, особенно при работе дизеля под нагрузкой, когда расход максимален.

Замкнутую схему применяют в большинстве дизелей сельскохозяйственного назначения, в частности, на тракторах МТЗ-82, ЮМЗ-6Л/Н, Т-40, Т-25А, Т-16М, Т-4, Т-70С, ДТ-75М. Проточную систему чаще используют в автомобильных системах.

При работе форсунок топливо, находящееся при впрыскивании под большим давлением, просачивается через зазор между иглой и распылителем. Его отводят через сливные

топливопроводы 13 (рис. 1.5). С учетом малости расходов, для смазывания клапанов и промывки проточной части компрессора, часть дренажного топлива могут направлять во впускной коллектор. Для простоты оно также может отводиться в любую точку ЛНД до ТПН.

Фильтрация дизельного топлива совершенно необходима. Абразив быстро изнашивает прецизионные сопряжения или приводит к их заклиниванию, вода – к коррозии при остановке дизеля и также потере подвижности. Согласно ГОСТ механических примесей не должно быть более 50 г/т (0,005%). Доходя до потребителя, топливо содержит примесей в среднем уже вдвое больше, а в неблагоприятных условиях – и в 10 раз. В современных дизелях применяется многоступенчатая фильтрация: предварительная, грубая, тонкая и предохранительная, обеспечивающая полноту отсева до 97-99% и тонкость отсева до 2 мкм.

Фильтры предварительной очистки устанавливаются на топливозаборниках и входных устройствах, они представляют собой сетки, обтягивающие цилиндрический каркас, заливные горловины или заборные трубки. Сетки изготовляют квадратного или саржевого плетения с ячейкой 0,25...0,5 мм. Для защиты внутренней поверхности баков от попадания пыли в горловинах бпков сельхозтехники размещают фильтрующие набивки, главным образом из мягкой проволоки, которую для лучшего улавливания пыли и защиты от коррозии промасливают. Они улавливают частицы до 5÷20 мкм. Если позволяет компоновка, в баках предусматривают зону для отстоя топлива, а топливозаборник поднимают на 50÷100 мм над дном.

Фильтры грубой очистки (ФГО) служат для исключения неисправностей аварийного характера (задилов и зависаний плунжеров и игл форсунок) и защиты ТПН. Перед ТПН редко удается поставить ФГО ввиду его большого сопротивления. В последнее время, особенно на зарубежных автомобильных дизелях ФГО не устанавливают.

Корпусы фильтров представляют собой цилиндрические тела, внизу которых имеется пробка или реже, краник для слива отстоя. Движение топлива – с периферии в центр – позволяет иметь наибольшую фильтрующую поверхность. ФГО обеспечивают полноту отсева по массе, т.е. задержание от исходного содержания 20...55% механических примесей и до 60...85% воды. Тонкость отсева, т.е. минимальный размер задерживаемых частиц – 20...90 мкм. Обслуживание ФГО: сливается отстой (например, каждые 240 моточасов), а сам фильтр очищается обратной промывкой топливом (1000 моточасов).

Встречаются ФГО с контактным фильтроэлементом, например, с намоткой на каркас ворсистого хлопкового или синтетического шнура (в дизелях ЯМЗ). Чаще используются ленточно-щелевые ФГО с неподвижными пакетами из перфорированной ленты (рис. 1.6). Высота выштамповок обуславливает величину щелей "А" и, соответственно, тонкость отсева. В проволочно-щелевых фильтрах зазоры между пластинами обеспечиваются проволокой. Материалом пластин служит латунь, нержавеющие стали, пластмасса.

Получают все большее распространение ФГО седиментационного (инерционно-отстойного) типа – рис. 1.7 (слева). Дефлектор 4 снабжен фильтрующим элементом, задерживающим механические частицы размером более 0,09 мм. Однако основной эффект очистки обусловлен осаждением более тяжелых примесей и воды за счет сил тяжести и инерции при медленном и обязательно ламинарном движении топлива. Для этого служат дефлектор 4 и успокоитель 2.

Фильтры тонкой очистки (ФТО) служат для гарантированного отделения опасного для прецизионных пар ТА абразива и воды. Они обеспечивают полноту отсева 96...99% механических примесей и воды. Начальную тонкость отсева сейчас не стараются делать менее 2...3 мкм. Для распределительных ТНВД она должна быть заведомо менее 4...5 мкм, для других ТНВД – 8...10 мкм. По мере засорения тонкость отсева снижается в несколько раз.

Доминирующей конструкцией стала сменная кассета на основе бумажного или картонного фильтроэлемента - рис. 1.7 (справа). За счет спирального сворачивания поверхность фильтрации увеличивается на 1...2 порядка. Бумажные фильтрующие элементы (толщина бумаги до 0,5 мм) изготовляют из целлюлозной массы с добавкой хлопчатобумажных волокон для улучшения пористой структуры и повышения механической прочности. С целью придания влагостойких и гидрофобных (водоотталкивающих) свойств в массу вводят эмульсию латекса (1, 5—3%), парафина (3—6%), кремнийорганические соединения типа КЖ-94 (1,5- 3%), присадки волокон асбеста, каучука и квасцов. Фильтрующий элемент дополнительно пропитывается поверхностно-активными водоотталкивающими веществами. Срок службы фильтроэлемента может достигать 3000 ч. Картонные фильтроэлементы имеют меньший ресурс, но более надежны, чем бумажные.

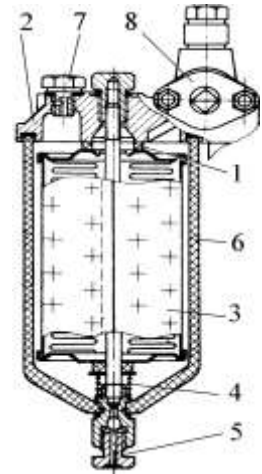
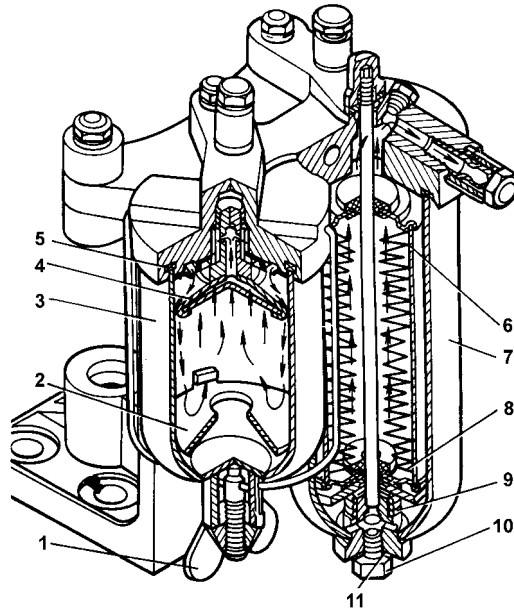
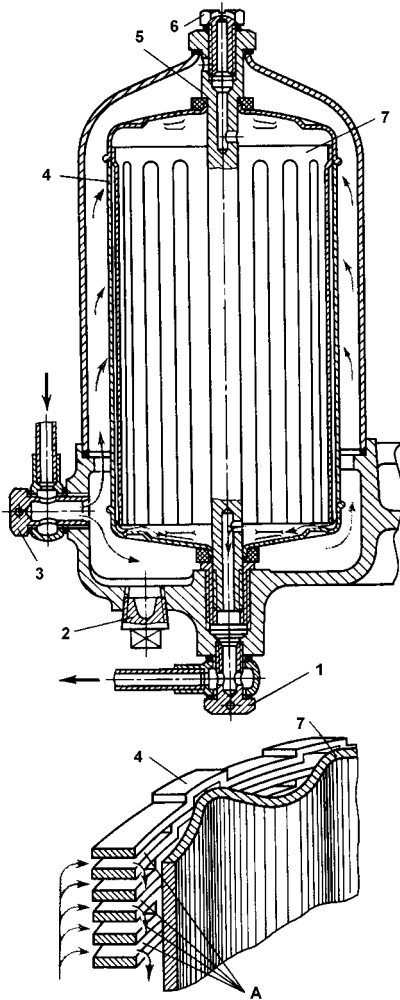


Рис. 1.7. Седиментационный ФГО (слева) и ФТО (справа): 1 и 11 - гайки крепления стаканов; 2 - успокоитель отстоя; 3 и 7 - стаканы фильтров; 4 - ламинаризирующий дефлектор с фильтром; 5 - прокладка; 6 - картонный кожух фильтроэлемента; 8 - бумажный фильтроэлемент; 9 - пружина; 10 - сливная пробка.

Рис.1.8. Топливный фильтр тонкой очистки: 1 - уплотнительное кольцо; 2 - корпус; 3 - фильтрующий элемент; 4 - пружина; 5 - сливная пробка; 6 - стакан; 7 - пробка для выпуска воздуха; 8 - ТПН с краном для очистки элементов противотоком.

Рис. 1.6. Ленточно-щелевой тракторный ФГО: А – фильтрующие щели; 1, 3 - штуцеры; 2 - сливная пробка; 4 - фильтрующая лента; 5 - стяжной болт; 6 – пробка для выпуска воздуха; 7 - гофрированный стакан.

Фильтроэлемент поджимается пружиной 9, сверху элемент уплотнен резиновым кольцом 1 (рис. 1.8). Для удаления воздуха при прокачке системы предусматривается пробка 7. ФТО может быть объединен с ручным ТПН 8 и снабжен краном для обратной промывки системы без переподсоединения топливопроводов. Техническое обслуживание ФТО заключается в сливе отстоя через 240 моточасов и замене фильтроэлементов через 960...1000 моточасов или по необходимости при падении давления на фильтре выше 0,06 МПа.

Современные автомобильные ФТО снабжаются датчиком предельного уровня отстоя и встроенного или размещенного в верхней части фильтра электроподогревателя топлива для разблокирования пор кристаллами парафинов при низких температурах. Наиболее прогрессивные нагреватели выполняются из позисторов-керамик с предельной температурой разогрева. ФТО зарубежных дизелей часто снабжены фильтром первичной очистки (аналогично ФГО) и могут быть неразборными, что упрощает их замену и проведение ТО системы питания.

На рис. 1.9 в качестве примера представлен комбинированный фильтр фирмы Separ для крупного транспортного дизеля. В конструкции предусмотрена пятиступенчатая очистка топлива, полностью вобравшая функции ФГО и ФТО. Грубая очистка для снижения габаритов использует принцип центрифугирования в циклоне. Фильтры обеспечивают 99% водоотделение и 96% грязеотделения в соответствии с DIN ISO 4020. К особенностям фильтра относится высокая пропускная способность, регенерация фильтроэлемента, малые габариты и малая трудоемкость обслуживания. Корпус фильтра выполнен прозрачным, что облегчает контроль состояния фильтра.

Фильтр SEPAR 2000 выпускается в различных модификациях с расходами топлива 5, 10, 18, 40, 80, 130, 260 литров в минуту. Например, фильтр SEPAR 2000/5, с расходом 5 л/мин предназначен для дизеля мощностью до 250 л.с.

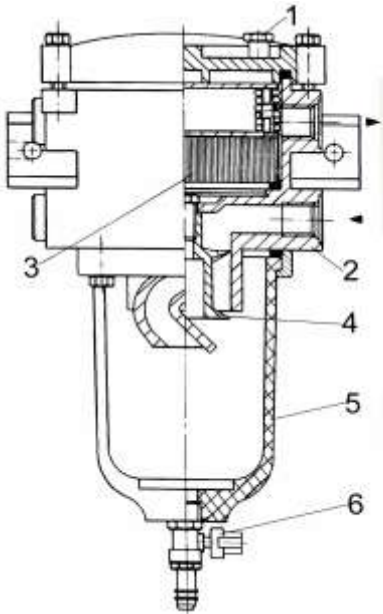


Рис.1.9 Комбинированный фильтр Separ 2000/5: 1 - пробка для выпуска воздуха; 2 - корпус; 3 - фильтрующий элемент; 4 - циклон; 5 - стакан; 6 - сливной кран.

Обычно ФТО располагают после ТПН, т.к. они имеют значительное гидравлическое сопротивление и пропуск через них топлива без напора затруднителен. Исключением являются топливные системы с распределительными насосами, поскольку ТПН встроен в корпус ТНВД – тогда ФТО располагается непосредственно после бака.

За ТПН в ЛНД имеется перепуск топлива, стабилизирующий давление подкачки. При перепуске топлива до ФТО условия его работы лучше, т.к. через него пропускается меньший расход топлива. Но при засорении ФТО перепуск возрастает, а ТНВД испытывает дефицит подачи. При перепуске топлива после ФТО и его засорении перепад давлений в нем увеличивается, что ухудшает очистку топлива и сокращает срок службы фильтрующего элемента.

Иногда ФТО сдвигаются: параллельная их работа позволяет вдвое увеличить ресурс, последовательная – повысить качество фильтрации. При параллельном соединении фильтров каждый из них имеет на входе и выходе топлива клапаны выключения или трехходовые краны.

В соответствии с ГОСТ14146 – 88 для систем с ТНВД с диаметром плунжера до 12 мм установлены требования к показателям качества работы фильтров (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Требования к качеству работы фильтров

Показатели	Автомобильные дизели	Прочие дизели
Полнота отсева, не менее	0,85	0,9
Тонкость отсева, не более, мкм	5	3
Ресурс фильтрующего элемента до замены, ч	500	1500
Перепад давления, не вызывающий разрушения фильтрующего элемента, МПа	0,22	0,22

ФТО проверяют на герметичность и пропускную способность. Герметичность фильтров контролируют методом опрессовки сжатым воздухом под давлением 0,5 МПа в ванне с чистым дизельным топливом. Пропускную способность проверяют статической проливкой на безмоторном топливном стенде для испытаний ТНВД при напоре 0,01 МПа, сравнивая объем собранного топлива с установленным в технических условиях.

Предохранительные фильтры устанавливаются на входе в форсунки. Они предназначены для отсева из топлива частиц стружки, окалины, фильтрующих материалов и случайных загрязнений, попавших в ЛВД, например при переборке. Предохранительные фильтры не могут уменьшить износ ТА, а только обеспечивает надежность ее работы.

Наиболее популярны были фильтры, образованные пакетом металлических сеток (рис. 1.10). Другие, металлокерамические фильтры прессуют из порошков бронзы, нержавеющей стали, никеля, титана под давлением 50÷400 МПа с последующим спеканием. Для увеличения сквозных пор применяют специальные наполнители, которые выгорают в процессе спекания. Наиболее качественные и дорогие - щелевые фильтры. Своей функцией он обязан чередующимся по направлению несквозным пазам глубиной 0,4...0,5 мм на вставной в корпус втулке. Она устанавливается в корпусе с радиальным зазором 0,01...0,02 мм. Топливо перетекает из паза в паз через зазор, а частицы остаются во входных пазах.

Топливоподкачивающие насосы (ТПН), как правило, предназначены:

- для преодоления разности уровней и гидравлических сопротивлений (фильтров, топливопроводов, кранов и др.) при движении топлива от бака до ТНВД;
- для создания избыточного давления и циркуляции топлива, способствующих наполнению топливом плунжерных полостей ТНВД, и охлаждению и вымыванию газовой фазы из впускной полости ТНВД.

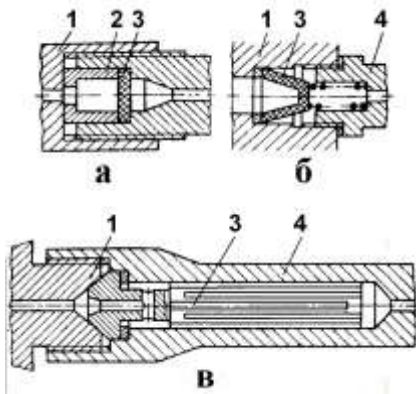


Рис.1.10. Предохранительные фильтры: а - сетчатый; б - металлокерамический; в, г - щелевой; 1 - корпус форсунки; 2 - трубка; 3 - фильтр; 4 - штуцер.

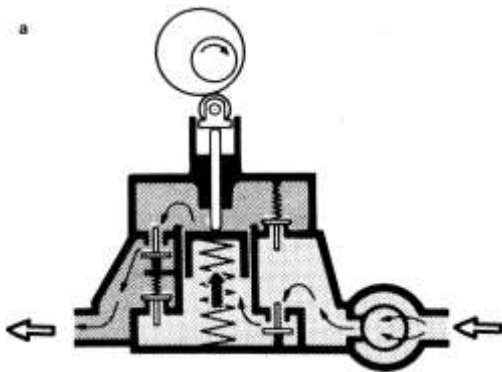
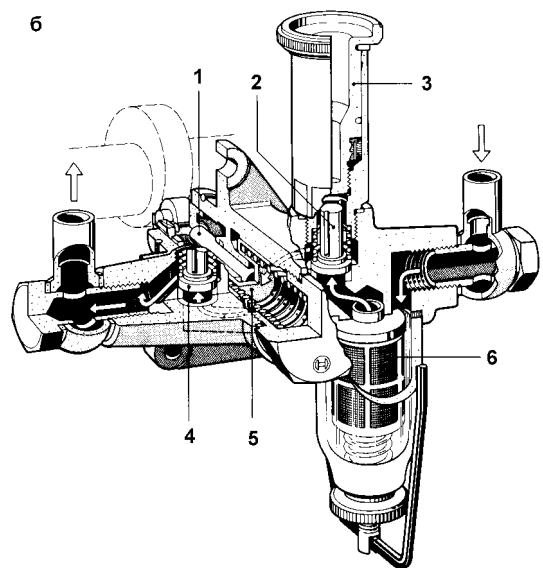


Рис. 1.11. Схема поршневого ТПН двойного действия (а) и разрез ТПН BOSCH высокооборотного дизеля (б): 1 - толкатель; 2 - впускной клапан; 3 - поршень ручной прокачки; 4 - выпускной клапан; 5 - рабочий поршень; 6 - фильтр-отстойник.



При работе ТПН автоматически ограничивается рабочее давление благодаря пружинному приводу поршня. Так, при повышении давления в камере над рабочим поршнем 16 (рис. 1.12) пружина 17, движущая поршень, не может преодолеть сопротивление топлива, и поршень останавливается. Чем меньше расход топлива, тем выше давление в камере, тем раньше останавливается поршень и тем меньше его рабочий ход. Так давление подкачки мало увеличивается при снижении расхода топлива.

Кроме того, насосы снабжаются вторым поршнем с ручным приводом для удаления воздуха перед пуском и для промывки ФГО. После окончания прокачки поршень отпускают и заворачивают его рукоятку 7, обеспечивая герметичность сжатием прокладки 11.

Уплотнение рабочего поршня – щелевое (диаметральный зазор 0,015...0,1 мм), поршня ручной прокачки - чаще манжетное. Поршневые ТПН надежны, мало подвержены износу, имеют хорошую всасывающую способность (не менее 2 м), но ограничены по быстродействию из-за ухудшения наполнения и создают неравномерную подачу.

Роторно-лопастные (коловратные) ТПН применяются в составе зарубежных распределительных ТНВД и с автономным приводом, например, для подачи топлива от бака в аккумуляторную ТА. Их работа основана на изменении объема между двумя соседними лопастями при повороте ротора. ТПН могут иметь различные рабочие элементы (рис. 1.13). Для обеспечения работы на малых частотах (при пуске) лопасти 1 все же приходится подпружинивать, прижимать давлением топлива или осевым валом (рис. 1.13, а,б). Для малых давлений пригодны эластичные лопасти (рис. 1.13, в). Самоподжимные лопасти менее чувствительны к точности изготовления и износу. Неразрезные лопасти с двусторонним

Это вынуждает делать ТПН с запасом по производительности и напору. Подача ТПН в 3...10 раз превышает полезную через форсунки. Минимальное давление подкачки, при котором еще обеспечивается работа ТНВД, составляет 0,03...0,05 МПа, но обычно их регулируют на 0,1...0,4 МПа. В составе распределительных ТНВД напор, создаваемый ТПН, достигает 0,8...1,2 МПа.

Поршневые ТПН (рис. 1.11) получили широкое распространение с блочными и индивидуальными ТНВД. Рабочий поршень приводится в действие пружиной, сжимаемой эксцентриковым приводом или в насосах двойного действия - обоими способами (рис. 1.11, а).

Поршневые подкачивающие насосы устанавливают на отечественных насосах типа ТН, УТН, НД и др. На рис.1.12 представлен ТПН модели УТН-3-111106020 для ТНВД типа 4УТНМ. ТПН других производителей схожи.

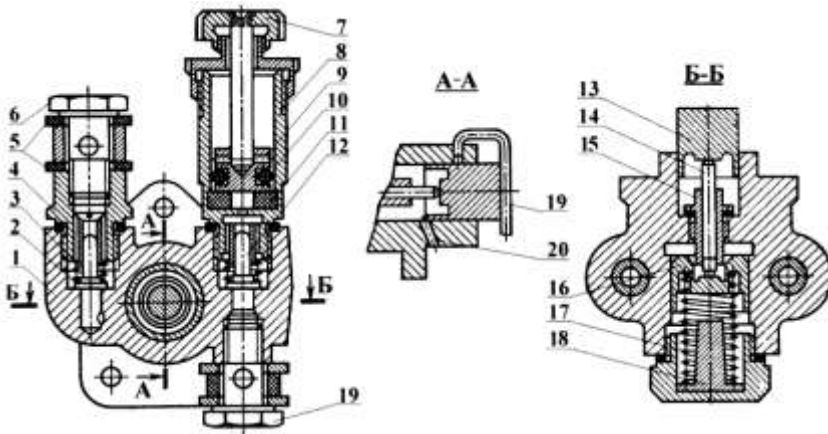


Рис.1.12. ТПН модели УТН-3 производства НЗТА: 1 - корпус; 2,12 - клапан-грибок; 3,17 - пружина; 4 - футорка; 5 - прокладка; 6,19 - болт-штуцер; 7 - рукоятка ручного насоса; 8 - ручной насос; 9 - поршень ручного насоса; 10 - кольцо; 11 - прокладка; 13 - толкатель; 14 - шток толкателя; 15 - прецизионная втулка; 16 - поршень; 18 - вытеснитель; 19 - предохранительная чека; 20 - дренажное отверстие.

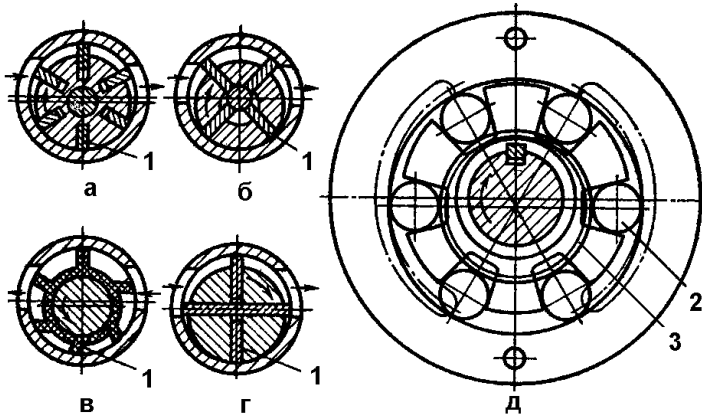


Рис. 1.13. Роторно-лопастные (коловратные) ТПН с различными рабочими элементами: 1 – лопасти; 2-ролики; 3 -пружина.

Обычно осевые зазоры составляют 0,02...0,03 мм и через них проходит 75...80% всех утечек.

Некоторые шестеренчатые насосы также могут снабжаться поршневым прокачивающим насосом с ручным приводом (дизелей Д-108, Д-160) – рис. 1.14. При вращении ведущей шестерен находящееся между зубьями топливо переносится из приемной полости в полость нагнетания.

Шестеренчатые ТПН просты, надежны, создают малые пульсации подачи, но не обеспечивают достаточного разрежения на впуске, требуя предварительного заполнения топливом рабочих полостей.

Меньшие габариты имеют ТПН с внутренним зацеплением шестерен. Дальнейшим развитием таких конструкций можно считать героторные насосы (рис. 1.15). В отличие от насосов с внутренним зацеплением шестерен они не имеют разделительной перемычки между зубьями шестерен в зоне их расхождения, а герметичность сопряжения обеспечивается близостью зубьев при точном изготовлении и специальном их профилировании. В результате снижаются перетечки и увеличивается КПД. С целью недопущения ухудшения свойств насосов из-за износа шестерни изготавливают методом порошковой металлургии. Хрупкость деталей требует бережного отношения к ним при переборках.

контактом (рис. 1.13, г) почти разгружены от радиальных сил, меньше изнашиваются, но все детали требуют точной обработки. Более износостойки за счет твердости и качения роликовые вкладыши 2 (рис. 1.13, д), но они плохо работают на малых частотах. Похожие ТПН с электроприводом широко используются в системах впрыскивания бензина, однако, в дизелях для работы на малых частотах возникает необходимость в подпружинивании роликов кольцевой пружиной 3.

Коловратные насосы с электроприводом применяются в качестве дополнительных насосов для облегчения прокачки топлива из баков, расположенных ниже уровня двигателя (например, в комбайнах).

Роторно-лопастные ТПН просты, надежны, не создают больших пульсаций и имеют большую производительность. Основной их недостаток – рост утечек при износе рабочих элементов.

Шестеренчатые ТПН применяются в аккумуляторной ТА, при подаче различных, в том числе маловязких топлив (рис. 1.14). В последнем случае используются сложные торцовые уплотнения.

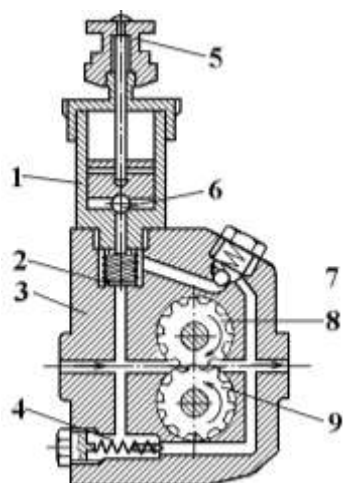


Рис. 1.14. Шестеренчатый ТПН с внешним зацеплением: 1 – ручной прокачивающий насос; 2, 7 – клапаны ручной подкачки; 3 – корпус; пружина; 4 – перепускной клапан; 5 – рукоятка прокачивающего насоса; 6 – уплотнительный шарик; 8, 9 – ведомая и ведущая шестерни.

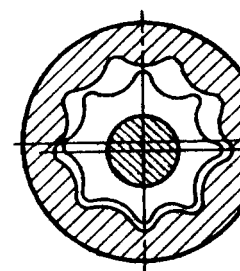


Рис. 1.15. Героторный ТПН

Обслуживание ТПН сводится к проверке производительности, максимального давления, герметичности клапанов и отсутствия подтеков топлива или подсоса воздуха (масла). Иллюстрируем это на примере наиболее популярных отечественных ТА (см. табл. 1.2).

Таблица 1.2. Регулировочные данные отечественных ТПН

Насос	Частота вращения	Производительность ТПН, не менее л/мин	Максимальное давление при 600 мин ⁻¹ , МПа	Давление открытия перепускного клапана, МПа
АЗТН, ХТЗ	650	1,2	0,26 - 0,30	0,08 - 0,15
НЗТА	650	1,2	0,26 - 0,29	0,08 - 0,13
ЧТА, ВЗТА	800	2,0	0,30 - 0,35	0,12 - 0,18
ЯЗТА	1050	2,2	0,32 - 0,38	0,08 - 0,13
КАМАЗ	1050	2,2	0,30 - 0,35	0,13 - 0,17
ЧТЗ	600	1,8	0,30 - 0,35	-

Давление топлива в наполнительной магистрали контролируют по манометру стенда при частоте вращения $n=600 \text{ мин}^{-1}$. Регулировка проводится путем подбора пружины в перепускном клапане, установленном на выходе из ТНВД.

Для простоты производительность ТПН косвенно оценивают по максимальному давлению при перекрытом выходе топлива, и регулируют прокладками под пружинной 17 поршня 16 (рис.1.12).

При одинаковых присоединительных размерах ТПН различных моделей отличаются различным выступанием толкателя над установочным фланцем (например, в ТПН ЯЗТА и АЗТН).

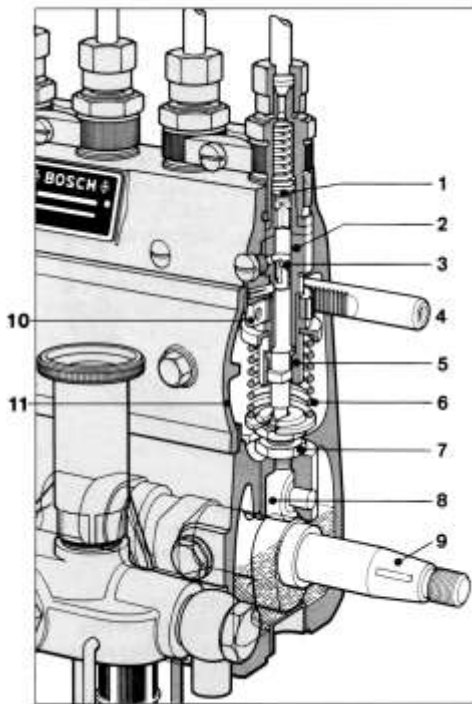
Контрольные вопросы

1. В чем усматриваются достоинства и недостатки тупиковой, проточной и замкнутой топливных систем в ЛНД?
2. Зачем нужны фильтр грубой очистки и фильтр тонкой очистки? Какова тонкость отсева в каждом из них?
3. Как можно обезопасить ТА при возможности использовании топлива с повышенным содержанием примесей и воды?
4. В каких случаях используют поршневой ТПН с ручным приводом?
5. Каковы причины снижения подачи роторно-лопастными ТПН в процессе эксплуатации?
6. Чем отличаются конструктивно, технологически и по показателям героторные насосы от шестеренчатых?
7. Как оценить техническое состояние ТПН?

1.3. СИСТЕМЫ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ДЕЙСТВИЯ

1.3.1. Блочные топливные насосы высокого давления

Топливная система непосредственного действия с кулачковым приводом плунжеров – классическая и до недавнего времени наиболее популярная [9]. Топливный насос высокого давления (ТНВД) для нее ведет родословную с конструкции фирмы R.Bosch 1927 г. (по классификации фирмы серия “А”, рис. 1.16). Такие блочные ТНВД и аналогичные по конструкции индивидуальные в 40...80-х годах прошлого столетия стали доминирующей конструкцией, вытеснив все альтернативные. К началу XXI в. они остались на популярных отечественных танковых, тракторных и даже автомобильных дизелях. Позднее ТНВД претерпели заметные усовершенствования.



Системы с ТНВД с кулачковым приводом плунжера относительно просты конструктивно и в обслуживании, надежны, сравнительно легко компонуются на двигателе, допускают широкое изменение цикловых подач, для их изготовления имеется оборудование на всех профильных предприятиях. Наряду с этим им присущи недостатки: давление и характеристика впрыскивания нежелательно меняются при изменении скоростного и нагрузочного режимов системы. Результатом этого, в частности, является плохое распыливание на режимах холостого хода, малых частот, при пуске. В деталях привода возникают большие нагрузки. Остается проблема идентичности характеристик топливоподачи по секциям многоплунжерного насоса.

Рис. 1.16. Классический ТНВД систем непосредственного действия (тип А фирмы R.Bosch): 1 - нагнетательный клапан; 2 - втулка плунжера; 3 - плунжер; 4 - рейка; 5 - поворотная втулка; 6 - пружина плунжера; 7 - регулировочный болт; 8 - роликовый толкатель; 9 - кулачковый вал; 10 - регулировочный люк; 11 - зубчатый хомут.

Золотниковое регулирование производительности стало основным для данного типа ТНВД. При постоянном геометрическом ходе плунжеров цикловая подача, т.е. мощность дизеля, изменяется за счет переменного активного хода плунжера, а остальная часть хода – холостая. Изменение активного хода производится разворотом плунжера 4 (рис. 1.16) вокруг оси за его хвостовик, через поворотную втулку 6 с зубчатым хомутом 12 и зубчатую рейку 5.

Детальнее принцип изменения активного хода плунжера при его повороте иллюстрируется рис. 1.17. Нагнетание начинается после пересечения верхней кромкой плунжера впускного окна. Именно в этом положении находится плунжер на рис. 1.17, а, оно соответствует так называемому **геометрическому началу подачи** (геометрическому или статическому УОВТ). На него ориентируются при установке ТНВД на дизель, он обычно и указывается в паспортных данных. В конце активного хода плунжера открывается окно нижней (отсечной) кромкой и происходит вытекание топлива из надплунжерной полости под большим напором – **отсечка** подачи. Она необходима для резкого прекращения подачи, т.к. затянутая фаза окончания впрыскивания напрямую приводит к увеличению дымности ОГ и расхода топлива. Соответственно, наступление отсечки связывают с геометрическим концом и геометрической продолжительностью подачи.

Если в ТНВД по рис. 1.16, сняв люк 11, отвернуть болт 7 с контргайкой, то плунжер займет более высокое положение, раньше начнется подача, т.е. увеличится УОВТ данной секции ТНВД. Если отвернуть винт зубчатого хомута 10, ослабив его на поворотной втулке 5, и развернуть плунжер 3, то при том же положении рейки, связанной с автоматическим регулятором, изменится цикловая подача данной секции.

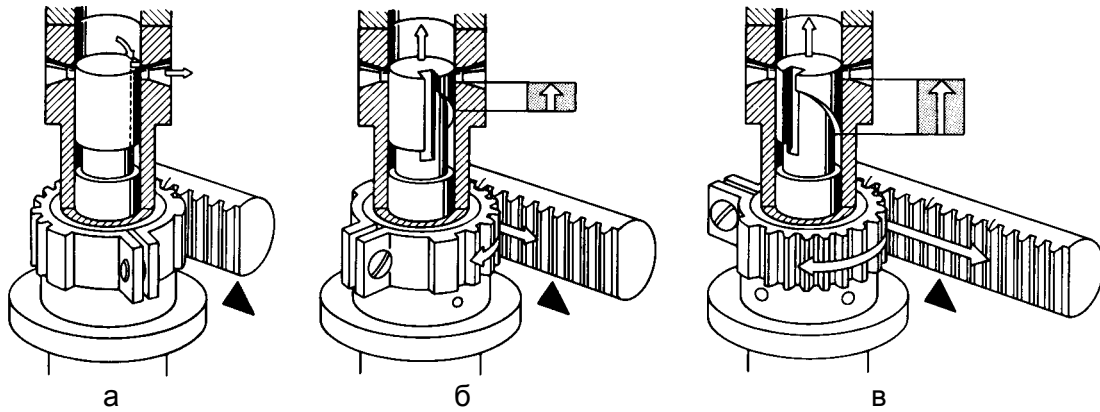


Рис. 1.17. Принцип золотникового регулирования цикловой подачи: а – нулевая подача; б – промежуточная; в – наибольшая подача.

Управляющие кромки плунжера, выполненные несимметричной выфрезеровкой плунжера (рис. 1.18, а), приводят к возникновению боковой силы при нагнетании и ускоренному износу. Хотя в результате более плотного перекрытия окон втулки может улучшаться гидроплотность сопряжения, в конечном итоге в результате трения и износа, она будет потеряна быстрее. Лучшими возможностями противостоять износу обладают симметричные плунжеры (рис. 1.18, б), в которых винтовые выфрезеровки могут быть соединены с надплунжерным пространством осевым и радиальным сверлениями.

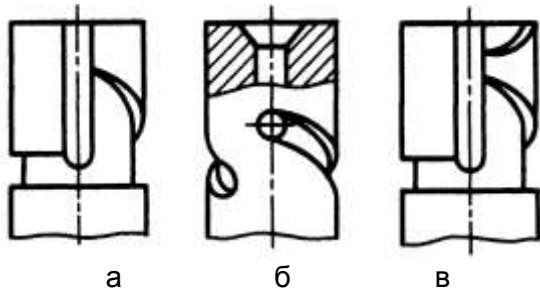


Рис. 1.18. Варианты золотниковой части плунжеров.

Оптимальный УОВТ возрастает с увеличением частоты вращения вала двигателя. С повышением нагрузки, т.е. цикловой подачи топлива, ввиду роста температур цикла требуется меньшее опережение подачи. Это достигается введением верхней управляющей кромки (рис. 1.18, в). Иногда верхнюю кромку образуют для других целей, например, в области максимальных подач, используемых при пуске, на верхнем торце плунжера выполняют выфрезеровку. Она приводит к запаздыванию закрытия окна, т.е. уменьшению пускового УОВТ.

Втулки плунжеров современных ТНВД с высокими давлениями нагнетания выполняют толстостенными, особенно в верхней части (поз. 2 на рис. 1.16). Они меньше подвержены деформациям от давления топлива и затяжки корпуса клапана, более технологичны в производстве и ремонте.

Во втулках плунжеров имеются впускные и отсечные окна. Если два окна располагаются на разных высотах, значит они разноименные, если диаметрально противоположны и плунжер имеет две управляющие кромки, значит каждое окно одновременно впускное и отсечное. Для исключения разрушения корпуса насоса вытекающим из окон топливом, напротив отсечных окон устанавливают защитные пластины из высокопрочных сталей.

В средней части втулки может иметься канавка, сообщенная косым отверстием с впускной полостью или сливом. Она обеспечивает возврат утечек топлива и исключает разжижение масла картера ТНВД.

Более современна неразрезная конструкция – высокая фланцевая втулка для высоких давлений подачи с размещенным в ней корпусом клапана (рис. 1.19). Насосную секцию с такой втулкой называют “подвесной”, так как она закреплена (“подвешена”) за собственный или накидной фланец (6 на рис. 1.19). Отсутствие разъема увеличивает радиальную жесткость и снижает вероятность раскрытия стыков, а закрепление фланца используется для регулировки подачи и опережения. Дальнейшее развитие этой тенденции привело к появлению моновтулок с глухим отверстием под плунжер (в ТНВД среднеоборотных дизелей).

Применяемые в производстве плунжерных пар материалы (стали ХВГ и ШХ15 или другие), цикл термообработки, включающий закалку, отпуск, обработку холодом, искусственное старение, термохимические способы обработки обеспечивают твердость HRC 58...66, высокую износостойкость, сохранение размеров и геометрической формы в эксплуатации. Высокие технические требования предъявляют и к качеству механической обработки. Все это исключает нор-

мальную работу этих деталей, изготовленных на непрофильных предприятиях или с нарушением технологии.

Сборка плунжерной пары. После тщательной промывки в топливе проверяют легкость перемещения плунжера во втулке: плунжер должен свободно опускаться под действием силы тяжести. В настоящее время применяемую технологию промывки прецизионных деталей бензином заменяют ультразвуковой промывкой в дизельном топливе или специальных антикоррозионных растворах.

Сборка плунжерной пары невозможна на принципах полной взаимозаменяемости. Обеспечение радиального зазора между плунжером и втулкой порядка 1 мкм при значительно большей неточности изготовления компенсируют либо парным шлифованием, либо селективной сборкой. Такие операции, как притирка, остались только в мелкосерийном производстве для запасных частей ввиду применения ручного труда и, главное, ухудшения геометрической формы деталей, сглаживания острых регулирующих кромок.

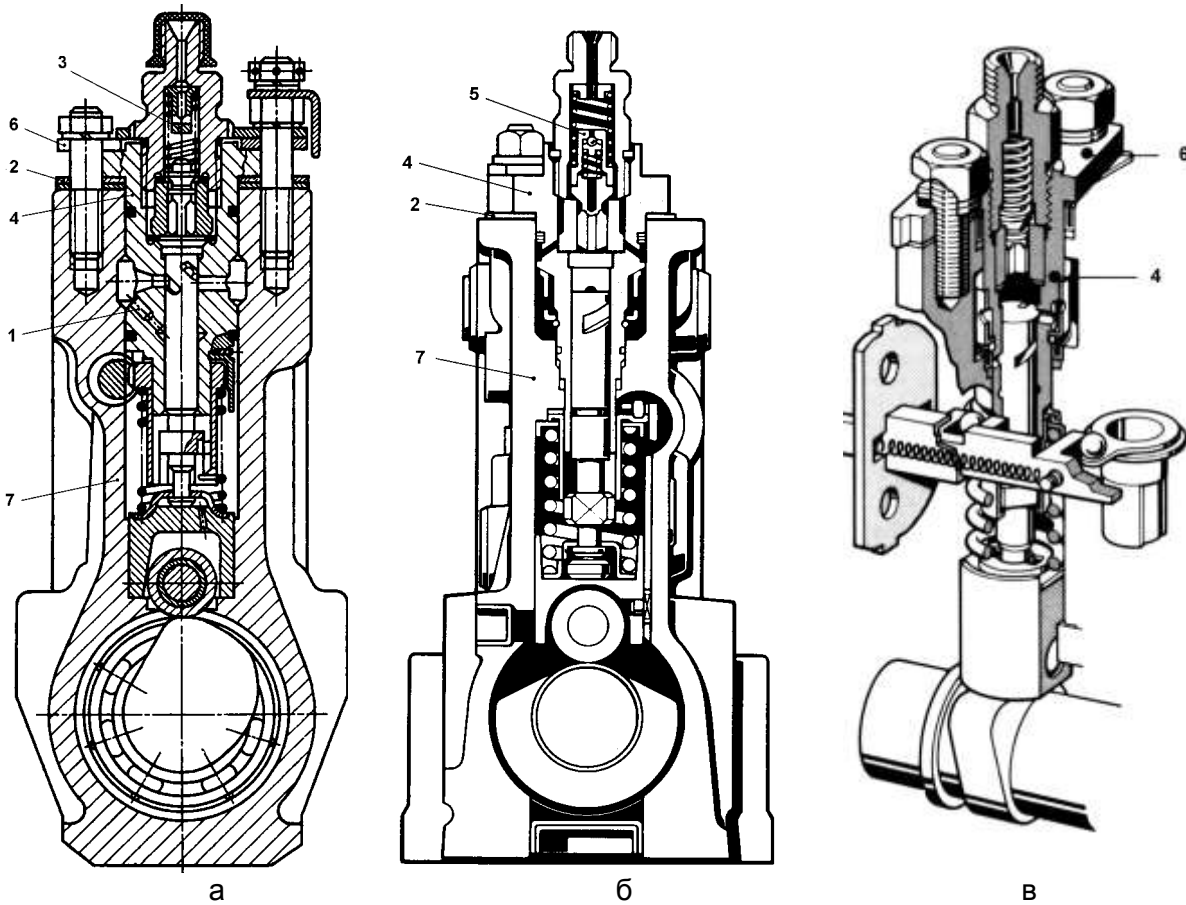


Рис. 1.19. Автотракторные ТНВД для интенсивного впрыскивания: а - модель 94 ЯЗТА; б - ТНВД P-S7100 R.Bosch; в - насосная секция ТНВД MW R.Bosch; 1 - сверления для возврата утечек; 2 - регулировочные прокладки; 3 - вытеснитель; 4 - неразрезная втулка плунжера; 5 - клапан двойного действия; 6 - прижимной фланец подвесной насосной секции; 7 - глухой корпус.

При парном шлифовании по готовой втулке в размер шлифуют плунжер. В более популярном случае селективной сборки, пару подбирают из множества изготовленных деталей: сначала на основе геометрического замера, потом проверкой гидроплотности. Этот тест может применяться и в эксплуатации для оценки реальной **гидроплотности**, пригодности пары к дальнейшей эксплуатации, а возможно, улучшения комплектования ТНВД при ремонте.

Плунжер 1 (рис. 1.20), создавая с помощью груза 3 давление 20 МПа, должен опускаться в заглушенной втулке 2 не быстрее заданного времени t . Иногда оговаривают и нижний предел для t , опасаясь вероятного зависания плунжера из-за деформаций и небольших засорений. Метод эффективен при диаметральных зазорах $\delta=1...6$ мкм. Для

опрессовки используют смесь дизельного топлива или рабочей жидкости РЖ с маслом определенной вязкости, обычно $(9,9...10,9) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Применяют и другие способы, например, измерение максимального давления, развиваемого ТНВД при пуске двигателя, однако они не нашли широкого распространения.

Можно показать, почему можно отрегулировать ТНВД на равномерность подач по его секциям только на одном режиме работы. На рис. 1.21 представлено изменение гидроплотности одной τ_1 и другой τ_2 плунжерной пары многосекционного ТНВД по мере разворота плунжеров φ относительно своих втулок в направлении повышения цикловой подачи. В частности, из-за различных зазоров в парах, гидроплотность неодинакова, неодинаковы будут и цикловые подачи.

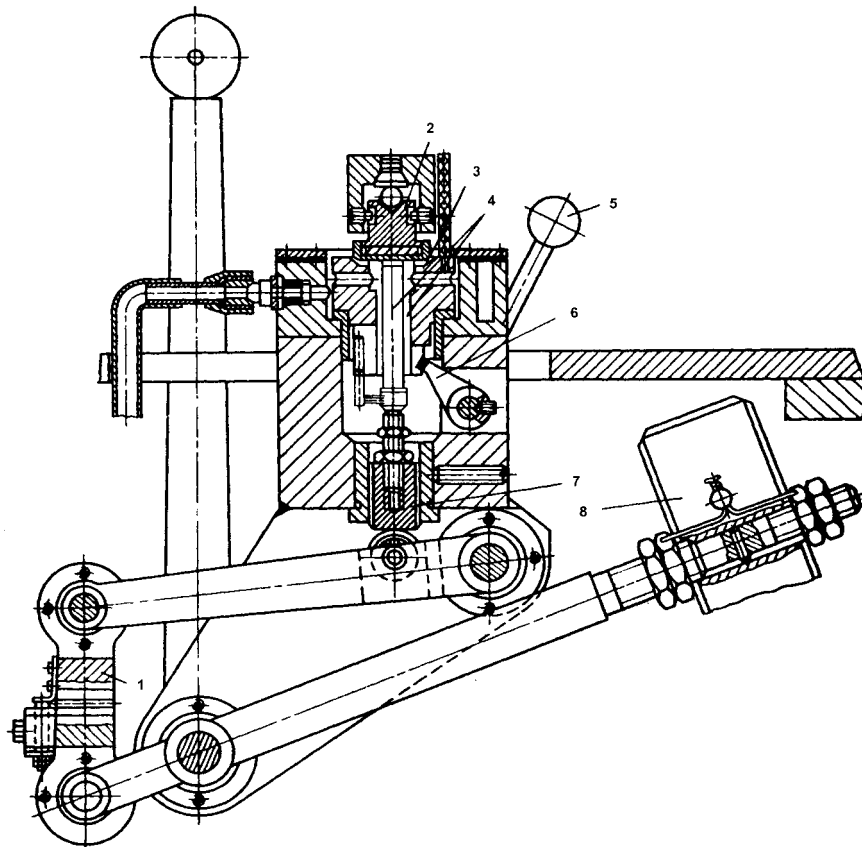


Рис. 1.20. Определение гидроплотности плунжерной пары на гиревом стенде: 1 - тяга; 2 - плита; 3 - втулка; 4 - проверяемая плунжерная пара; 5 - рычаг собачки; 6 - собачка; 7 - толкатель; 8 - груз.

Для их выравнивания при регулировке поворачивают плунжер (на старых ТНВД) или втулку с фланцем секции (на новых). Для номинального (т.е. регулировочного) режима путем разворота плунжера удается выравнять гидроплотность $\tau_1^{\text{пов}} = \tau_2$ и цикловые подачи. Но при других подачах (т.е. разворотах плунжера) равенства нарушаются (рис. 1.21). Нарушаются они и на

других частотах вращения вала ТНВД, т.к. объемы утечек зависят от времени нагнетания, а их компенсация произведена одним и тем же для разных частот отклонением активного хода плунжера.

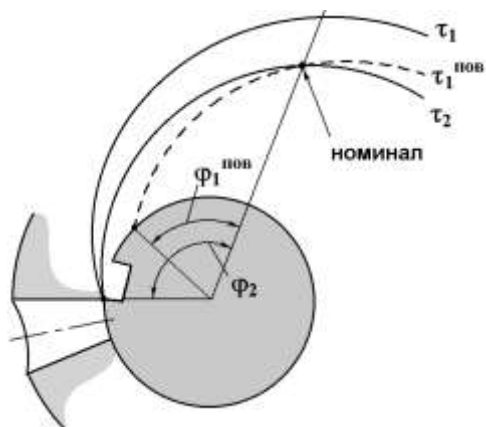


Рис. 1.21. Изменение гидроплотности двух плунжерных пар при развороте плунжеров в направлении повышения цикловой подачи.

Этот негативный эффект снижается при близости гидроплотности всех плунжерных пар. Практический вывод из рассмотренной картины: комплектовать один насос следует прецизионными парами одной группы гидроплотности, для чего их предварительно необходимо отсортировать на группы. К сожалению, ныне в целях удешевления производства этим правилом зачастую стали пренебрегать. После проверки плунжерную пару не разукрупняют.

Сочленение плунжера с толкателем осуществляют с образованием осевого зазора облегчения поворота ненагруженного давлением топлива плунжера, что улучшает условия работы автоматического регулятора.

Толкатели ТНВД обеспечивают передачу осевого усилия на плунжер и принимают на себя боковое усилие от кулачка. Наибольшее распростране-

ние получили роликовые толкатели ввиду оптимального сочетания быстродействия, надежности, компактности (поз. 8 на рис. 1.16). В качестве подшипников могут использоваться игольчатые. При его разборке нужно избегать замены игл из других комплектов. Более популярны подшипники скольжения с плавающей промежуточной втулкой (рис. 1.16, 1.19,а). Лучшими материалы для ролика - стали 12ХН3А и 15Х, рабочую поверхность цементируют и закаляют до HRC ~ 58. Характерные неисправности – задир боковой поверхности и выкрашивание поверхности ролика.

Цельные **кулачковые валы** используют в блочных ТНВД. Они имеют две крайние опоры, а при числе секций более шести - промежуточные. Подшипники скольжения выполняют в виде стальных втулок с антифрикционной заливкой, бронзовых или латунных вкладышей, втулок из легких сплавов. Подшипники качения применяют на крайних опорах ТНВД. Все кулачковые валы снабжают упорными или радиально-упорными подшипниками. Зубчатое колесо или муфту привода устанавливают на конус вала и дополнительно фиксируют от проворачивания.

Материал для кулачковых валов - стали 15...35, легированные цементируемые стали, например, 15Х, 20Х, 18ХГТ, углеродистые стали 40, 45, 45Х, реже - отбеливающиеся чугуны. Малоуглеродистые стали подвергают цементации на глубину 0,6-1,5 мм и поверхностной закалке до твердости HRC 55...65.

Профиль кулачка оказывает большое значение на показатели ТА и дизеля. Выбирают профиль кулачка и рассчитывают перемещения и скорости деталей, используя тригонометрические построения [9]. Скорость плунжера на рабочем участке подбирают из условия обеспечения необходимой интенсивности впрыскивания. В отличие от кулачков газораспределения, в ТА нет проблемы безударности, разрыва кинематической связи, но значительно жестче стоит проблема нагруженности и предъявляются специальные требования к профилю. Для современных ТНВД актуальнее не обеспечение необходимой прочности валов, сколько их жесткости, т.е. возможности создания высоких давлений топлива. Ранее использовали тангенциальные симметричные кулачки. Ныне полностью перешли к кулачкам с переменным радиусом кривизны, для высоких давлений применяют вогнутые профили. Тыльная сторона современных кулачков обеспечивает медленное и плавное опускание плунжера. В любом случае из-за заданного порядка работы секций ТНВД не может быть реверсивным и при их испытании надо соблюдать штатное направление вращения вала топливного стенда. Характерные неисправности валов – разрушение подшипников и выкрашивание кулачков.

Пружины плунжеров выбирают из условия неразрывности кинематической связи плунжер-кулачок. Расчет деталей привода на прочность приведен в [32]. Пружины должны обеспечивать значительную силу при больших деформациях и цикличности, поэтому их изготавливают из сталей 50ХФА, 50ХГ, 60С2А и подвергают обработке дробью или песком, заневоливанию, оксидируют, покрывают лаками, эмалями, цинком или кадмием.

Корпус ТНВД воспринимает монтажные нагрузки, усилия от нагнетания и сил инерции. Наличие люка для регулировки снижает жесткость корпуса. Для обеспечения уплотнения между втулкой и корпусом клапана необходимо давление не менее 200 МПа. Обеспечить его удается при создании напряжения среза в корпусе ТНВД до 80 МПа. Давление кольцевой опоры втулки не должно превышать 350 МПа. Корпусы ТНВД автотракторных двигателей изготавливают из алюминиевых сплавов литьем в кокиль и под давлением, реже – из чугунов.

Клапаны ТНВД также относятся к прецизионным деталям. В большинстве ТНВД всех типов применяются автоматические нагнетательные клапаны, разъединяющие линию высокого давления и надплунжерную полость (рис. 1.16, 1.19). Этим обеспечивается: улучшение наполнения надплунжерной полости; создание в нагнетательном трубопроводе в период между впрыскиваниями заданного остаточного давления; корректирование скоростной характеристики топлива.

На рис. 1.22 представлены варианты конструкций нагнетательных клапанов. Наиболее распространены *грибковые клапаны* (рис. 1.22, а-г, з). Под действием давления топлива клапан поднимается, сжимая пружину. Крестообразные направляющие (перья) 1 служат для исключения радиального биения. Разгружающий поясok 2 при опускании клапана, имея малый зазор с корпусом, разгружает всю ЛВД от избыточного остаточного давления (*разгрузка*), т.к. выполняет функцию поршня, увеличивающего объем ЛВД.

Увеличение объема сопровождается уменьшением давления в нагнетательном трубопроводе, так называемой.

Прецизионными являются цилиндрическая и нижняя торцовая поверхности корпуса клапана. Последняя образует с верхним торцом втулки плунжера беспрокладочное герметичное соединение.

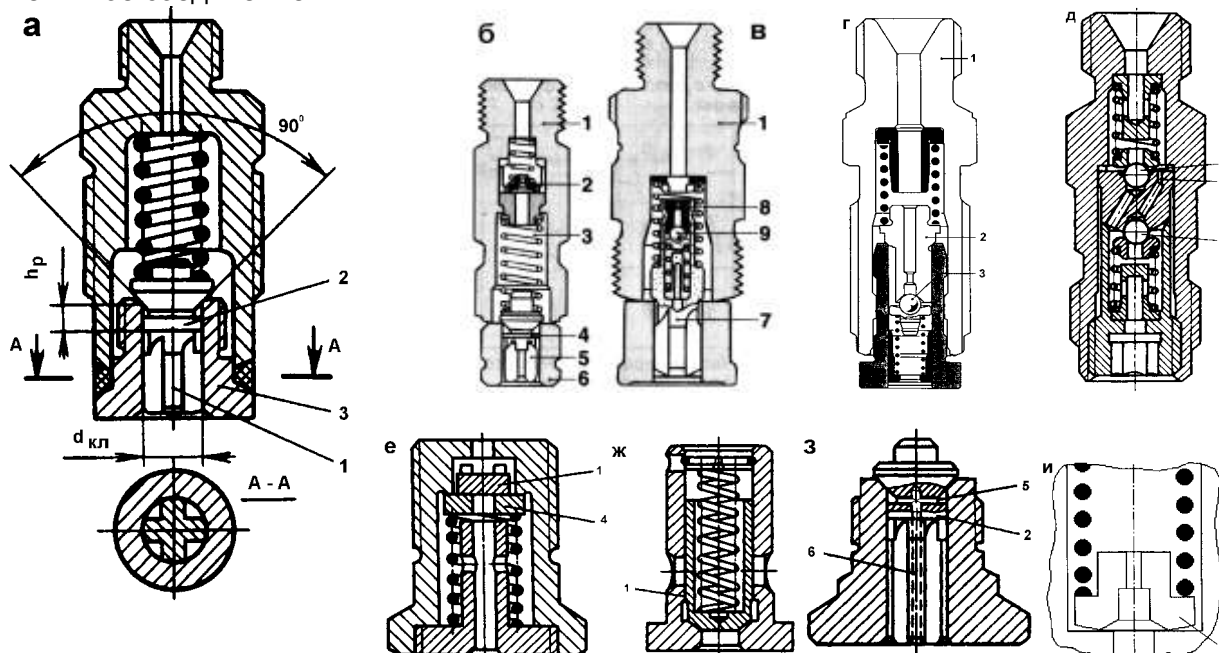


Рис. 1.22. Нагнетательные клапаны ТНВД: 1 - нагнетательный клапан; 2 - разгружающий пояс; 3 - седло клапана; 4 - реверсивный клапан для подавления волны давления; 5 - жиклер; 6 - каналы клапана-корректора; 7 - последовательный клапан.

Цилиндрические клапаны (рис. 1.22, ж) отличаются такой же надежностью, как грибовые, но компактнее их, поэтому применяются на крупных дизелях. Плоские (рис. 1.22, з, и) и шариковые (рис. 1.22, д) имеют малую массу, т.е. высокое быстродействие, однако, надежность герметичности и стабильность их работы ниже.

После закрытия клапана остановка столба топлива обуславливает гидроудар, образование волны давления, вызывающей повторное открытие форсунки – **подвпрыскивание**. Все изображенные на рис. 1.22 клапаны различными способами противодействуют ему. Простейшее решение – подбор диаметра и хода разгружающего пояса 2, снижающего остаточное давление до допустимого. Поэтому каждая десятая доля мм высоты пояса - существенна.

Простейшее решение – жиклер в клапане (рис. 1.22, и) – не может обеспечить повышенного остаточного давления. Последовательный с нагнетательным клапаном 7 (рис. 1.22, б) не мешает впрыскиванию, но закрываясь, тормозит посадку нагнетательного и, таким образом, демпфирует гидроудар и уменьшает остаточное давление за счет роста вытекающего из трубопровода топлива при отсечке.

Радикальное решение в борьбе с подвпрыскиванием – установка **реверсивного клапана** 4 параллельно нагнетательному, но направленного в противоположную сторону (рис. 1.22, в-е). Реверсивные клапаны ослабляют гидроудар перепуском топлива в плунжерную полость и обеспечивают стабильное начальное давление. Управление этим процессом осуществляют тщательным подбором последовательного с реверсивным клапаном жиклера 5.

Нагнетательные **клапаны-корректоры** (рис. 1.22, з) позволяют уменьшить обеспечить уменьшить $dg_{\text{д}}/dn$ на скоростной характеристике подачи. Другими словами - увеличить цикловую подачу и давление впрыскивания на малых частотах. Конструкции их многообразны, но все они имеют разгружающий пояс 2 и дроссельные каналы 6 для перетечек топлива, препятствующих разгружающему эффекту. В простейшем случае их функцию выполняют лыска на разгружающем поясе или увеличенный зазор его с седлом. Износ разгружающего пояса - редкий случай износа, приводящий к повышению параметров подачи, особенно на малых частотах.

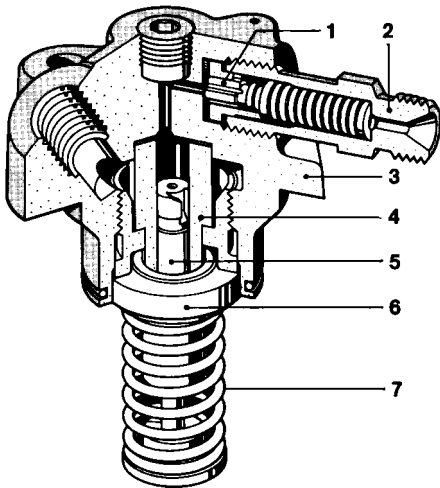
Технология производства и материалы клапанов аналогичны плунжерным парам. Твердость клапанов HRC 56...62, седел - 60...64. Соединение проверяют на герметичность сжатым воздухом под давлением 0,4...0,6 МПа при погружении в жидкость в течение 10 с, а также контролируют свободное опускание клапана под действием силы тяжести, величину зазора по разгружающему пояску по расходу воздуха при продувке. Клапан с седлом не разуконплектовываются.

Компоновка ТНВД. Блочные (многосекционные) насосы получили широкое распространение ввиду компактности, меньшей стоимости, удобства привода одного агрегата (всех секций, регулятора, ТПН), удобства синхронного регулирования всех секций как по g_c , так и по УОВТ, удобства безмоторных испытаний и наличия промышленного испытательного оборудования. До недавнего времени доминировала рядная многоплунжерная конструкция с корпусом, снабженным смотровыми люками (11 на рис. 1.16). Через них настраивают УОВТ и g_c каждой из секций (первое - изменением положения болта 7, второе - разворотом втулки с зубчатым хомутом 10).

Однако, повышение давления впрыскивания потребовало перехода у более жестким глухим корпусам (рис. 1.19). В этих насосах регулировка УОВТ осуществляют подбором толщины прокладок 2 или диаметра ролика толкателя, а регулирование цикловой подачи - тангенциальным разворотом подвесной секции насоса. Для исключения деформации втулки при сборке используют накидные фланцы. Масса такого насоса несмотря на увеличенные размеры деталей привода, оказывается обычно даже меньше "лючного" аналога.

Высокая компактность ТНВД дизелей КамаЗ обеспечена **V-образным расположением секций** и установкой регулятора в развале между ними (рис. 1.23). Малая длина ТНВД позволила повысить жесткость кулачкового вала и корпуса. На этом насосе используются подвесные насосные секции 14, автоматическая муфта УОВТ 28, смазка от центральной масляной системы. Вместе с тем корпус из алюминиевого сплава имеет внутренние люки, что ранее не создавало проблем при невысоких давлениях впрыскивания (45...80 МПа). V-образный ТНВД, размещенный в развале блока V-образного дизеля, позволяет применить короткие нагнетательные трубопроводы, позволяя отказаться от индивидуальных ТНВД на автотранспорте.

Индивидуальные ТНВД на каждый цилиндр с приводом от распределительного вала



традиционно использовались в судовых, тепловозных и иных крупных дизелях. Причина их использования - трудность получения высоких давлений впрыскивания в ТА с длинными нагнетательными трубопроводами. Насосы малоразмерных и малоцилиндровых дизелей выполняют индивидуальными в целях простоты, дешевизны и компактности (рис. 1.24). Они крепятся фланцем к блоку над распределительным валом.

Рис. 1.24. Индивидуальные ТНВД малоразмерного дизеля с $N_{e\text{ цил}} < 16$ кВт (тип PFE 1Q R.Bosch): 1 - клапан; 2 - штуцер; 3 - корпус; 4 - втулка плунжера; 5 - плунжер; 6 - поворотная втулка; 7 - пружина.

Имелась тенденция использования индивидуальных ТНВД в автомобильных дизелях. Однако, это связано с рядом трудностей, например, неготовностью эксплуатационников проводить регулировку по параметрам рабочего процесса. Очевидно, что использование индивидуальных ТНВД без электронного управления уже не найдет в будущем широкого применения.

Привод ТНВД осуществляется непосредственно от распределительного вала (индивидуальных) или с помощью зубчатых колес, зубчатых ремней, цепей (блочных). Важнейшая характеристика привода ТНВД, особенно при высоких давлениях впрыскивания - его жесткость и моменты инерции деталей. После зубчатой передачи устанавливают муфты, карданные валы, выполняющие обычную функцию - компенсации несоосности валов.

Однако, имеются более сложные и функциональные конструкции [12]. На рис. 1.25 представлена центробежная автоматическая муфта регулирования УОВТ. При

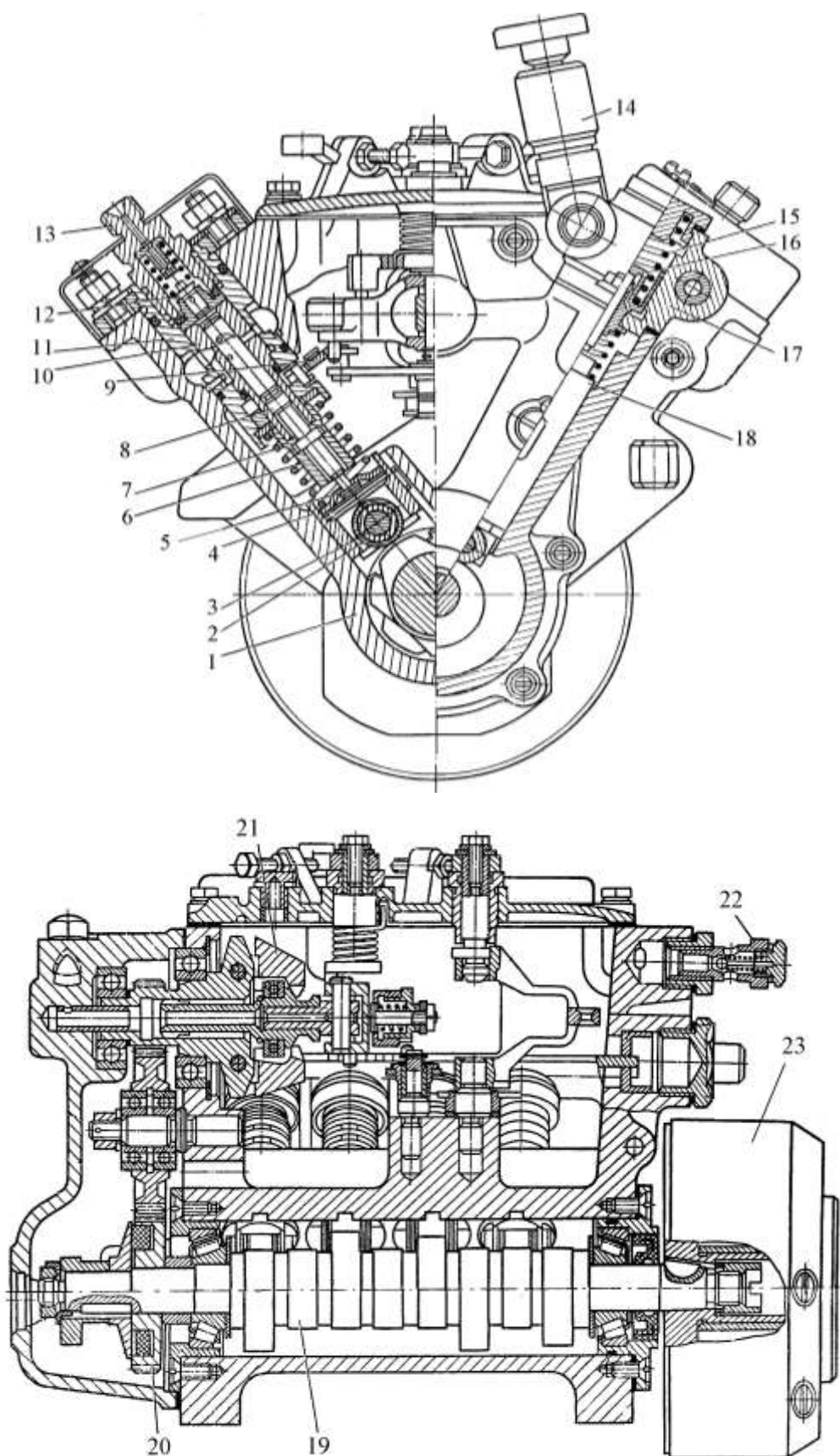


Рис. 1.23. V-образный ТНВД дизеля КамАЗ модели 33-02: 1 - корпус; 2 - ролик; 3 - ось; 4 - толкатель; 5 - тарелка пружины; 6 - поворотная втулка; 7 - пружина; 8 - плунжер; 9 - правая рейка; 10 - втулка плунжера; 11 - корпус секции; 12 - нагнетательный клапан; 13 - штуцер; 14 - ТПН; 15 - пружина; 16 - поршень ТПН; 17 - корпус насоса; 18 - толкатель ТПН; 19 - кулачковый вал; 20 - ведущая шестерня регулятора; 21 - груз; 22 - перепускной клапан; 23 - муфта УОВТ.

увеличении частоты вращения грузы 4, преодолевая усилие пружин 2, поворачиваются на осях 1, закрепленных на корпусе. При этом благодаря обкатыванию роликами 3, оси которых закреплены на грузах, кулачковых шайб 5, жестко связанных со ступицей, производится разворот ступицы относительно корпуса на угол α . Первая посажена на вал ТНВД, второй через привод связан с коленчатым валом. Есть варианты муфт УОВТ с гидроусилением и электронным управлением.

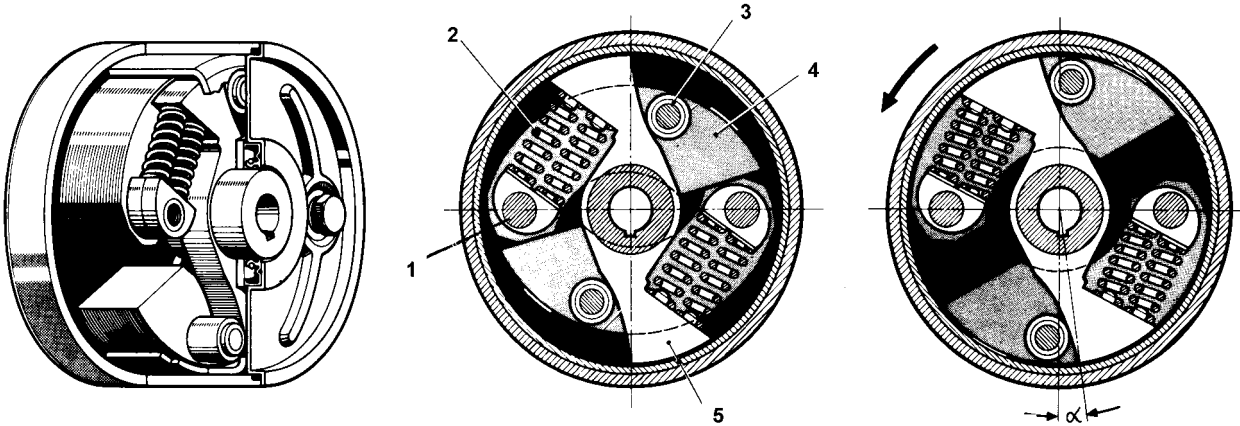


Рис. 1.25. Автоматическая муфта регулирования УОВТ в зависимости от частоты вала.

Автоматические регуляторы [9, 7, 17, 34]. Сегодня на них возлагают функцию формирования внешней скоростной характеристики (ВСХ), стабилизацию частоты вращения в соответствии с выбранным положением рычага управления.

Форма ВСХ обычно такова, что с уменьшением частоты вращения от номинальной при неизменном положении рычага управления $q_{ц}$ должна возрастать до частоты вращения $n_{кр}$, соответствующей максимальному крутящему моменту дизеля, затем уменьшаться, особенно в дизелях с наддувом, чтобы исключить дымление и излишние перегрузки на детали дизеля. В зоне пусковых частот ($n_{п} = 50 \div 200 \text{ мин}^{-1}$) $q_{ц}$ должна снова возрастать (кривая "а" на рис. 1.26).

К сожалению, естественная ВСХ ТА при прямом соединении рычага управления с рейкой ТНВД (кривая "б" на рис. 1.26) не совпадает с желательной. Снижение подачи топлива со снижением частоты вращения вала происходит, в основном, по двум причинам. Во-первых, со снижением частоты вращения ввиду фактора времени становятся существеннее утечки в прецизионных соединениях. Во-вторых, с уменьшением частоты снижается значение дросселирования топлива во впускных и отсечных окнах, что ведет к уменьшению активного хода плунжера, т.е. и цикловой подачи топлива. Из-за несовпадения кривых "а" и "б" возникает необходимость корректирования ВСХ.

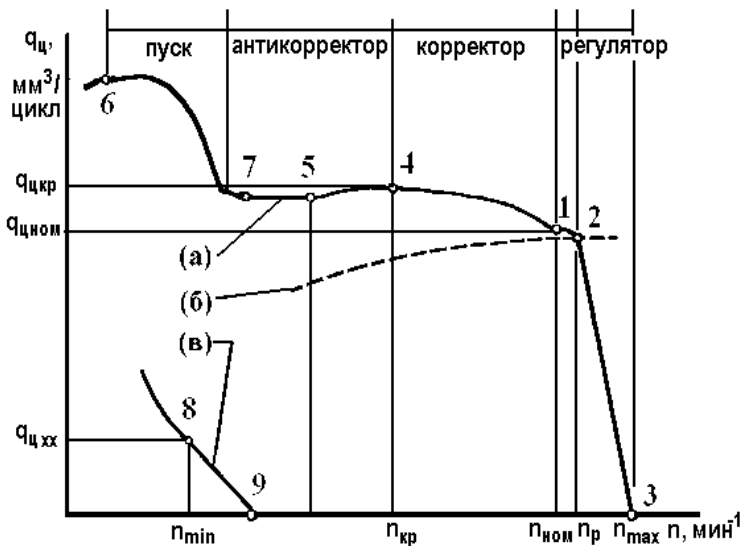


Рис. 1.26. Характеристики ТНВД регуляторная внешняя (а), скоростная (б), регуляторная частичная (в) и типичные режимные точки: 1 - номинальный режим; 2 - начало действия регулятора; 3 - полное отключение подачи; 4 - режим максимальной нагрузки; 5 - режим перегрузки; 6 - пусковой режим; 7 - выключение пускового обогатителя; 8 - минимальный холостой ход; 9 - отключение подачи холостого хода.

Задача поддержания заданной частоты вращения включает, в частности, ограничение макси-

мальной частоты вращения холостого хода n_{\max} и обеспечивать автоматическое поддержание устойчивой частоты вращения на режимах холостого хода n_{\min} , которая составляет $n_{\min} = 400 \div 800 \text{ мин}^{-1}$.

На всех частотах возрастание нагрузки на двигатель приводит к снижению частоты вращения. Без регулятора это приведет к уменьшению цикловой подачи и так вплоть до остановки двигателя. При падении нагрузки частота вращения возрастает, вызывая увеличение подачи топлива, что приводит к «разносу» двигателя. Устраняет этот недостаток автоматический регулятор.

Для выполнения этих задач ТНВД может иметь следующие регулирующие устройства [7]:

регулятор частоты вращения – стабилизирует частоту вращения;

корректор цикловой подачи топлива - обеспечивает увеличение подачи топлива на ВСХ при снижении частоты вращения;

антикорректор - уменьшает подачу топлива на ВСХ при снижении частоты для снижения дымности отработавших газов;

пусковой обогатитель подачи топлива;

пневмокорректор (для дизелей с турбонаддувом) – ограничивает подачу топлива при недостаточном давлении наддува;

упор минимальных оборотов – заранее задает нужную частоту вращения на холостом ходу;

стоп-устройство - выключает подачу топлива для остановки дизеля.

Внешняя регуляторная характеристика (кривая 2 - 3 на рис. 1.26) является основной характеристикой ТНВД, определяющей его основные регулировочные параметры. Она снимается путем изменения частоты вращения при положении рычага управления в положении максимальной подачи. Вблизи номинала рейка ТНВД находится на упоре, обеспечивая стабильность цикловых подач топлива в некотором диапазоне изменения частоты вращения (кривая 1 - 2). При дальнейшем увеличении частоты вращения регулятор начинает перемещать рейку ТНВД, снижая подачу топлива вплоть до полного выключения (точка 3). При работе на двигателе уменьшение подачи топлива приводит к падению частоты вращения, что предотвращает «разнос».

Так достигается автоматическое поддержание заданного скоростного режима работы дизеля и на частичных частотах (положениях рычага управления). Но если внешние регуляторные характеристики различных регуляторов сходны, то их частичные характеристики существенно разнятся в зависимости от области применения дизеля.

В настоящее время в отечественных тракторных дизелях чаще применяется **всерезжимное** регулирование n (рис. 1.27,а). Это дает автоматическое поддержание с заданной точностью заданного скоростного режима независимо от изменения нагрузки. Однако, такое регулирование связано с частым и неоправданным выходом дизеля на ВСХ, что приводит к перерасходу топлива и дымлению. Альтернативное решение - двухрежимное регулирование (рис. рис. 1.27,б), т.е. использование регулирования только на минимальной и максимальной частотах и естественных скоростных характеристик ТА на промежуточных частотах.

Другим недостатком всережимного регулирования по сравнению с двухрежимным является рост динамических нагрузок на детали трансмиссии из-за переходных режимов, вызываемых забросами рейки (до 35 %). Поэтому в автомобилях и тракторах, выполняющих транспортные работы в условиях с быстро изменяющейся нагрузкой, применяют двухрежимные регуляторы.

С другой стороны **двухрежимный регулятор** усложняет управление дизелем, требуя более активной и квалифицированной реакции водителя. Кроме того, из-за пологого протекания регуляторных характеристик может наблюдаться неустойчивая работа двигателя на режимах с пониженными оборотами.

Компромиссным вариантом между двумя крайними решениями - всережимное регулирование с пологими характеристиками на промежуточных скоростных режимах, называемое также иногда "трехрежимным регулированием" (рис. 1.27,в). При таком регулировании можно выделить три зоны регулирования - при минимальных и максимальных n (как при двухрежимном) и в промежуточном диапазоне n (относительно пологие зависимости момента двигателя M_e от n). По характеристикам управления двигателем трехрежимное регулирование приближается к двухрежимному, но при этом уменьшается возможность неустойчивой работы двигателя на пониженных n .

Работу регулятора оценивают **степенью его неравномерности** δ_p , которая показывает его чувствительность к изменению частоты вращения и характеризует быстроту перемещения рейки ТНВД:

$$\delta_p = \frac{(n_{\max} - n_{\text{НОМ}})}{n_{\text{НОМ}}}$$

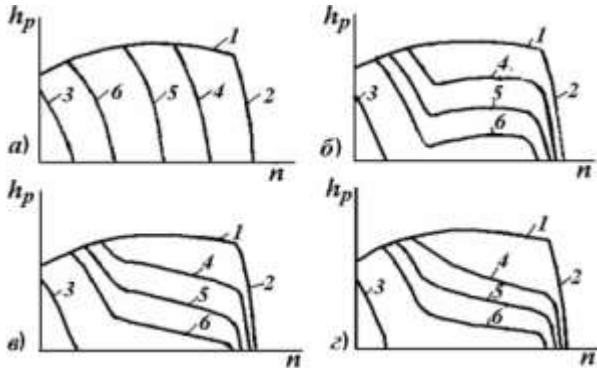


Рис. 1.27. Способы регулирования скорости автотракторных и комбайновых дизелей (h_p – положение рейки ТНВД, n – частота вращения) [19]:

- а – всережимный;
- б – двухрежимный;
- в – трехрежимный;
- г – гиперболический.

Степень неравномерности регуляторов тракторных дизелей находится в пределах $0.07 \div 0.08$. При изменении положения рычага управления в сторону снижения скоростного режима δ_p увеличивается и в области минимально-устойчивой частоты вращения составляет $0.4 \div 0.45$.

Контрольные вопросы

1. Опишите одной-двумя фразами, как регулируют цикловую подачу и угол опережения впрыскивания каждой секции многосекционного ТНВД с механическим регулятором:

- в старых ТНВД с регулировочными люками;
- в более новых ТНВД с глухими корпусами.

2. Можно ли заменить втулку плунжера, оставив на месте плунжер? Какова величина диаметрального зазора между плунжером и втулкой?

3. Равенством каких параметров обуславливается возможность взаимозаменяемости грибковых нагнетательных клапанов ТНВД:

- присоединительных размеров;
- диаметра по разгружающему пояску;
- высотой разгружающего пояска;
- объемом разгрузки;
- полного хода клапана;
- эффективного сечения корректирующих каналов;
- эффективного сечения клапанной щели при максимальном ходе;
- давлением открытия клапана;
- предварительной затяжкой пружины?

4. Зачем применяют индивидуальные ТНВД вместо блочных многосекционных? Почему переходят от корпусов с люками к глухим корпусам блочных ТНВД?

5. Как бы вел себя дизель без регулятора?

6. Опишите достоинства и недостатки двухрежимных, всережимных автоматических регуляторов.

1.3.2. Популярные отечественные насосы высокого давления и их автоматические регуляторы

ТНВД Ногинского завода топливной аппаратуры (НЗТА) [7]. ТНВД серии УТН выпускаются Ногинским ЗТА, в основном, для дизелей Минского, Владимирского тракторных заводов и АО «Рыбинские моторы». В последнее время выпускаются модификации для алтайских дизелей А-41 и харьковских дизелей СМД-14 (-18). Применяемость насосов по маркам дизелей и машин и регулировочные данные приведены в приложении 1, а общий вид некоторых насосов показан на рис 1.28.

Насосы выпускаются в правом и левом исполнении, отличающиеся, в основном, установкой рычагов управления, топливоподкачивающего насоса и конструкциями плиты крепления

насоса к двигателю. В последних модификациях предусмотрена смазка от системы смазки двигателя. Насосы комплектуются плунжерными парами диаметром 9 и 10 мм. Насосы для надувных дизелей имеют пневмокорректоры. Устройство ТНВД рассмотрим на примере насоса 4УТНМ (рис. 1.29).



а

б

в

Рис. 1.28. Общий вид ТНВД серии УТН: а - 4УТНМ для дизеля Д-243; б - 4УТНИ-Т для дизеля Д-245.12; в - 2УТНМ для дизеля Д-120; г - 627 для дизеля Д-260.



г

Блочный корпус насоса выполнен из алюминиевого сплава. В головке имеются разделенные каналы для подвода и отвода топлива к секциям. Кулачковый вал вращается в конических подшипниках повышенной работоспособности. Профиль кулачков тангенциальный (в насосах УТНИ несимметричный профиль кулачков), оси роликов толкателей плавающего типа. В головке болта толкателя предусмотрен цилиндрический выступ, по которому центрируется нижняя тарелка пружины. Начало подачи регулируется винтом толкателя, а равномерность подачи – разворотом плунжеров, осуществляемым втулкой с зубчатым венцом.

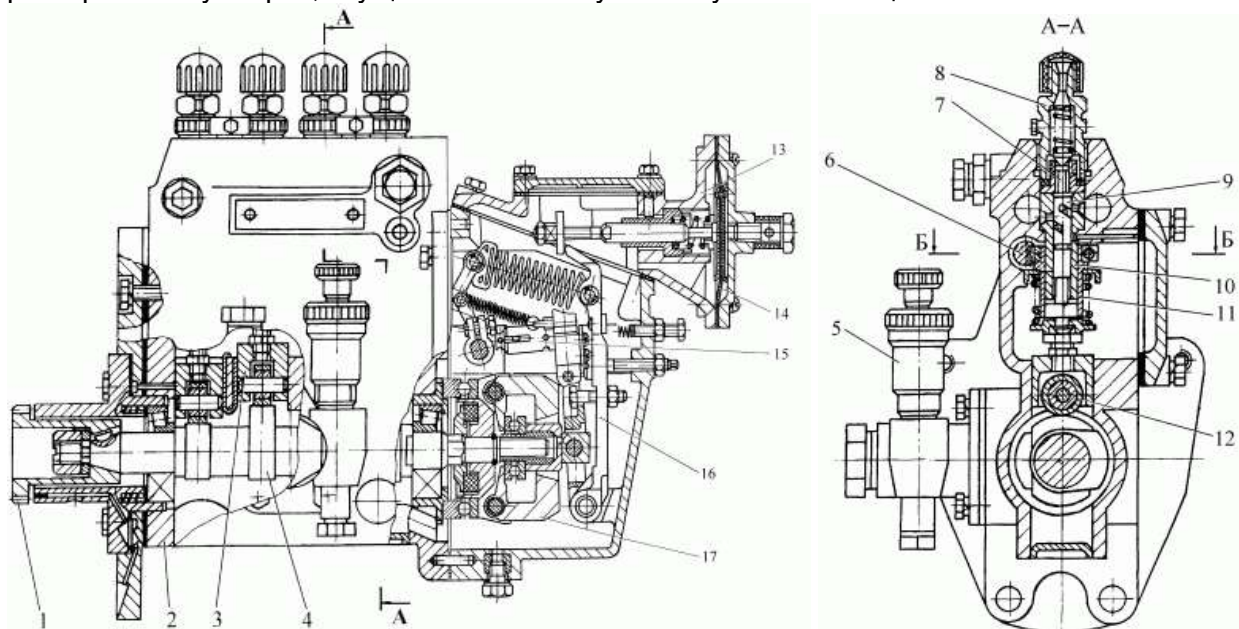


Рис. 1.29. Топливный насос 4УТНМ-Т: 1 - шлицевая втулка; 2 - корпус ТНВД; 3 - толкатель; 4 - кулачковый вал; 5 - ТПН; 6 - рейка; 7 - нагнетательный клапан; 8 - штуцер; 9 - плунжер; 10 - втулка плунжера; 11 - поворотная втулка; 12 - ролик толкателя; 13 - корпус пневмокорректора; 14 - мембрана пневмокорректора; 15 - корректор; 16 - основной рычаг регулятора; 17 - груз.

Регулятор насоса серии УТН. Малогабаритный регулятор имеет четыре груза 3 (рис. 1.30), соединенные осями со ступицей 5, которая свободно сидит на кулачковом валу 1.

Вал со ступицей связан через резиновые демпферы 2, которые уменьшают неравномерность вращения грузов регулятора. По хвостовику кулачкового вала свободно передвигается муфта 4 регулятора с упорным шарикоподшипником.

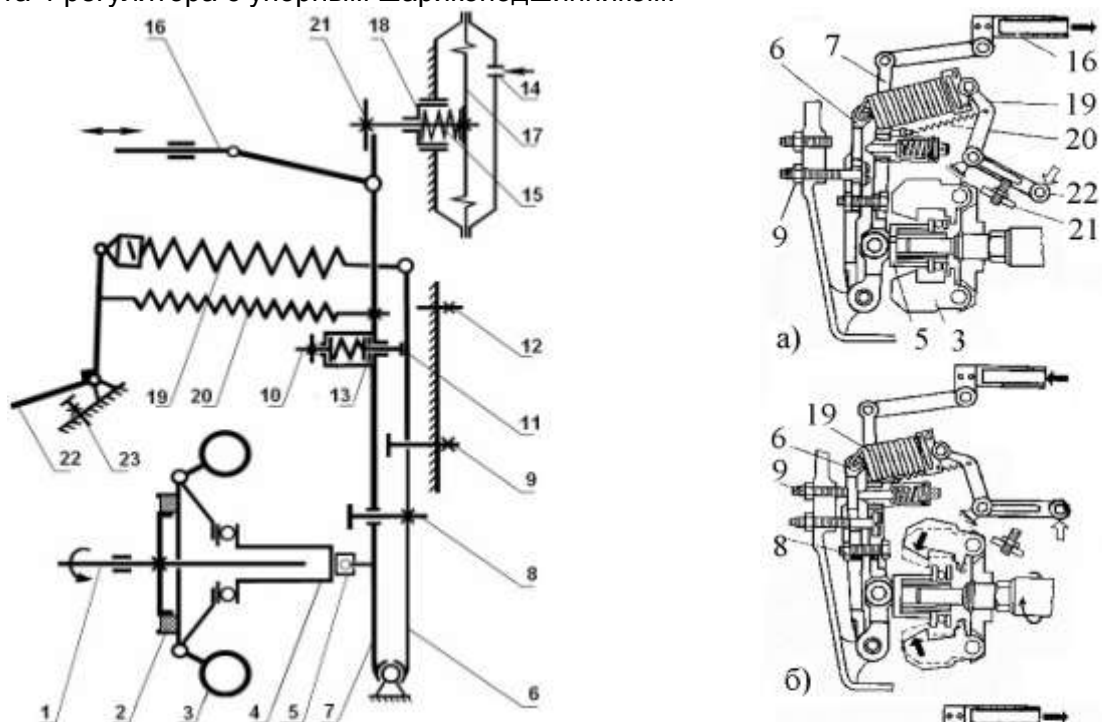


Рис. 1.30. Схемы работы регулятора: а - пуск; б - остановка; в – перегрузка; 1 - кулачковый вал; 2 - демпфер; 3 - груз регулятора; 4 – муфта; 5 - упорный подшипник; 6 - основной рычаг; 7 - промежуточный рычаг; 8 - винт ограничения хода промежуточного рычага; 9 - винт номинальной подачи; 10 - винт регулировки пружины корректора; 11 - шток корректора; 12 - винт упора; 13 - регулировочная шайба; 14-штуцер подачи воздуха; 15 – пружина; 16 -рейка ТНВД; 17 - мембрана; 18 регулировочный стакан пружины; 19 - пружина регулятора; 20 - пусковая пружина; 21 - регулировочный упор штока пневмокорректора; 22 - рычаг управления подачей топлива; 23 - винт ограничения максимальной частоты вращения;

В задней части регулятора на оси установлены основной 6 и промежуточный 7 рычаги, связанные болтом 8, ограничивающим необходимую свободу их взаимного перемещения. Вверху промежуточный рычаг соединен тягой с рейкой 16 насоса. На нем расположена шпилька крепления пружины 20 обогатителя. Основной рычаг соединен через пружину 19 регулятора с рычагом 22 управления. В наружный прилив корпуса регулятора ввернут винт 21, который ограничивает натяжение пружины регулятора. В заднюю стенку корпуса регулятора ввернуты болт 9 номинальной подачи топлива (жесткий упор) и винт 12 прекращения подачи топлива. В промежуточный рычаг 7 ввернут корректор, который через шток 11 корректора соприкасается с основным рычагом 6.

В регуляторе предусмотрен автоматический обогатитель подачи топлива на пусковой частоте вращения коленчатого вала двигателя. Пружина 20 обогатителя соединяет промежуточный рычаг 7 рычагом 22 управления.

Работа регулятора ТНВД УТН. При пуске двигателя рычаг 22 (рис. 1.30,а) управления поворачивается до упора в винт 21 и растягивает пружины 19 и 20. Пружина регулятора перемещает основной рычаг 6 до упора в головку болта 9, а пружина обогатителя перемещает промежуточный рычаг 7 и соединенную с ним рейку 16 насоса вперед (на рисунке - вправо), обеспечивая увеличение подачи топлива, необходимое для пуска двигателя. В начале работы двигателя грузы 3 регулятора под действием центробеж-

ной силы расходятся и выступами перемещают муфту 5, а вместе с ней промежуточный рычаг 7 и рейку назад, уменьшая подачу топлива.

Если рычаг 22 управления подачей топлива повернуть вверх до отказа (рис. 1.30, б), то пружина 19 регулятора сначала полностью сожмется и затем, действуя как жесткая тяга, передвинет основной рычаг 6 назад до упора в винт 12 прекращения подачи топлива. Посредством болта 8 промежуточный рычаг и связанная с ним рейка 16 ТНВД перемещаются вместе с основным рычагом, подача топлива прекращается и двигатель останавливается.

При максимальной частоте вращения холостого хода рычаг управления регулятора упирается в винт 21. Двигатель, не имея нагрузки, работает с повышенной частотой вращения коленчатого вала. Центробежная сила вращающихся грузов увеличивается и, преодолевая усилие пружин 19 и 20, отклоняет рычаги 6 и 7 влево, перемещая рейку в сторону уменьшения подачи топлива, поэтому частота вращения коленчатого вала снижается. В дальнейшем центробежная сила грузов уравнивается усилием пружины 19 регулятора, а рейка насоса находится в определенном промежуточном положении. При этом шток корректора 11 утоплен, а основной и промежуточный рычаги прижаты один к другому и работают как одно целое.

Когда двигатель нагружен полностью, частота вращения коленчатого вала снижается, и центробежная сила грузов уменьшается. Под действием пружины регулятора промежуточный и основной рычаги перемещаются вперед до упора основного рычага в головку болта. Если нагрузка постоянная, то устанавливается равновесие между усилием пружины регулятора и центробежной силой грузов, частота вращения коленчатого вала при этом номинальная. При изменении нагрузки равновесие нарушается, и промежуточный рычаг перемещается вместе с рейкой насоса, изменяя подачу топлива.

Если двигатель перегружен (рис. 1.20, в), то частота вращения коленчатого вала падает, центробежная сила грузов ослабевает настолько, что пружина 14 корректора, действуя с помощью штока 11 на основной рычаг, перемещает промежуточный рычаг 7 и рейку 16 вперед, дополнительно повышая подачу топлива. При этом крутящий момент двигателя растет и преодолевается перегрузка. Корректор может увеличивать подачу топлива на 15÷20% по сравнению с подачей топлива при номинальной нагрузке.

Ранее рассматривалась работа регулятора при упоре рычага управления в винт максимальной частоты вращения. Перемещением рычага 22 управления ТНВД можно изменить степень растяжения пружины 19 регулятора и, следовательно, заданный скоростной режим двигателя. Во время работы трактора при неполной нагрузке целесообразно для экономии топлива выбирать пониженный скоростной режим двигателя.

ОАО НЗТА разработан для четырех- и шести-цилиндровых дизелей (Д-260Т, Д-265, Д-245, семейства СМД и др.) **ТНВД серии 627 и 427** с подвесными секциями и межцентровым расстоянием 27 мм. Его основные конструктивные решения аналогичны изображенным на рис. 1.19. Диаметр плунжера 10 мм, ход 7-11 мм, максимальная цикловая подача 150 мм³/цикл. Глухой корпус насоса выполнен из алюминиевого сплава. Регулировка угла начала подачи производится прокладками под фланец секции, неравномерности подачи - поворотом секции. Насос оборудуется всережимным регулятором и пневмокорректором.

Применяемость и особенности конструкции ТНВД фирмы Ярославские ТС для дизелей ЯМЗ. Рядные ТНВД выпускаются для шести-, восьми- и двенадцатицилиндровых дизелей Ярославского и Тутаевского моторных заводов. Применение насосов приведено в приложении 2, а общий вид некоторых насосов показан на рис. 1.31, (см. также рис. 1.19).

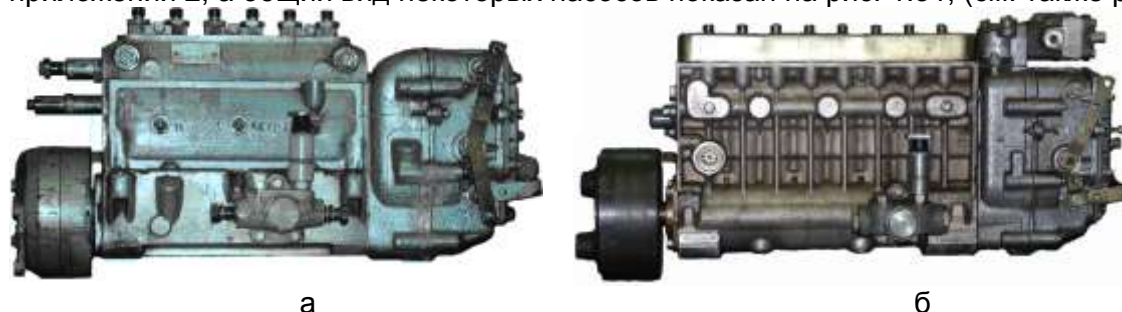


Рис. 1.31. Общий вид ТНВД: а - 60.5-30 дизеля ЯМЗ-236М2; б - 175 дизеля ЯМЗ-7511.

Насосы комплектуются плунжерными парами диаметром 9 и 10 мм. Регулятор насоса выполнен по схеме с последовательным включением корректора, имеет ускоряющую передачу на валик регулятора. Применяется циркуляционная система смазки, на автомобильных дизелях применяется центробежная муфта опережения впрыскивания. Для дизелей с наддувом предусмотрена установка пневмокорректора с гидроусилением.

Отличительной особенностью двенадцатисекционных насосов является использование двух ТПН, при этом ручным подкачивающим насосом укомплектован только один из них. ТПН установлены на двигателе и приводятся в действие от эксцентрика распределительного вала. Для высоких давлений подачи уменьшен объем надплунжерной полости, усилена конструкция толкателя, внедрен кулачковый вал с увеличенным диаметром приводного конца.

Топливный насос 806.5-40 дизельного двигателя ЯМЗ-238Д-2 установлен между рядами цилиндров и приводится в действие от шестерни распределительного вала через автоматическую муфту 1 опережения впрыска (рис. 1.32). Управление работой насоса осуществляется с места водителя и автоматически корректируется всережимным регулятором.

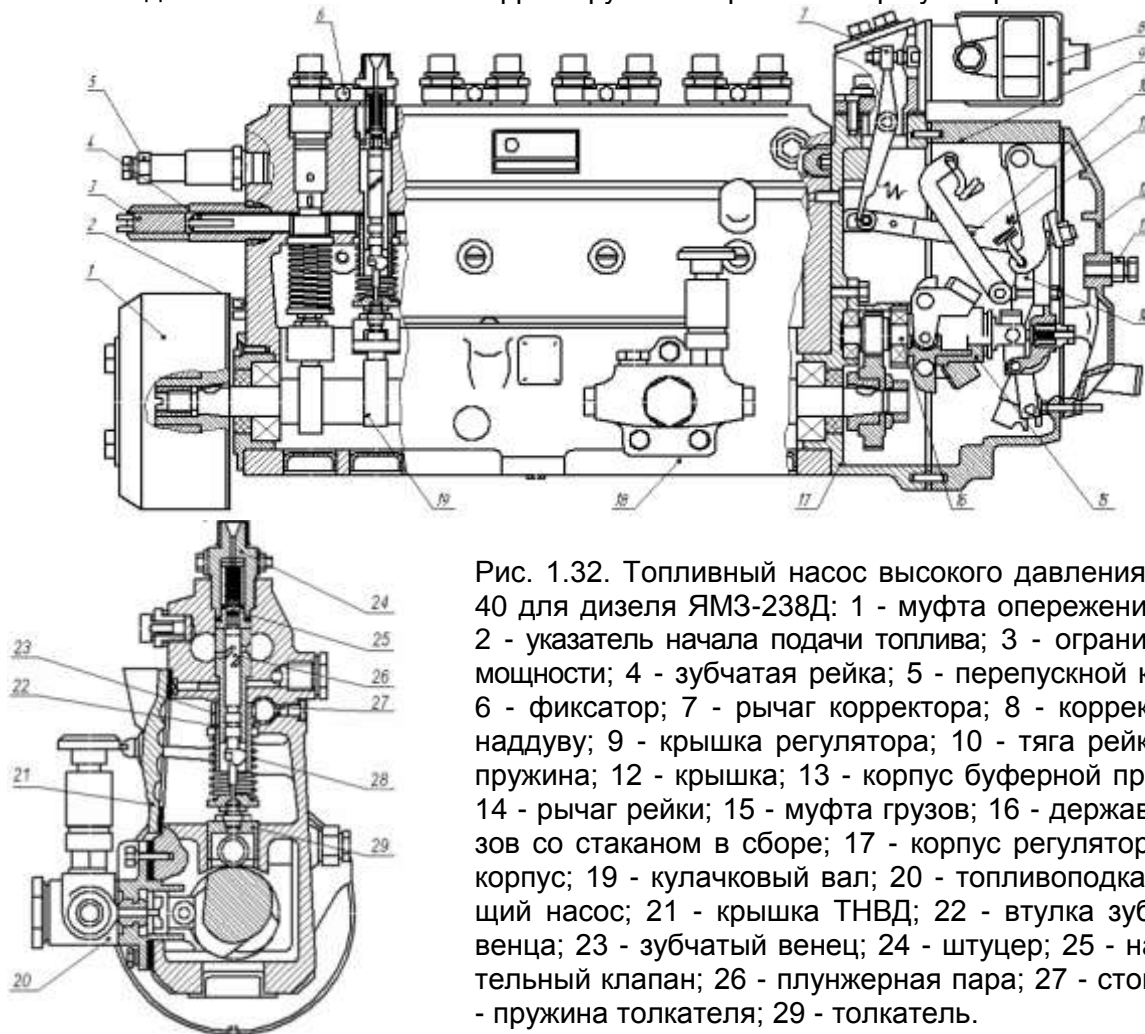


Рис. 1.32. Топливный насос высокого давления 806.5-40 для дизеля ЯМЗ-238Д: 1 - муфта опережения угла; 2 - указатель начала подачи топлива; 3 - ограничитель мощности; 4 - зубчатая рейка; 5 - перепускной клапан; 6 - фиксатор; 7 - рычаг корректора; 8 - корректор по наддуву; 9 - крышка регулятора; 10 - тяга рейки; 11 - пружина; 12 - крышка; 13 - корпус буферной пружины; 14 - рычаг рейки; 15 - муфта грузов; 16 - державка грузов со стаканом в сборе; 17 - корпус регулятора; 18 - корпус; 19 - кулачковый вал; 20 - топливоподкачивающий насос; 21 - крышка ТНВД; 22 - втулка зубчатого венца; 23 - зубчатый венец; 24 - штуцер; 25 - нагнетательный клапан; 26 - плунжерная пара; 27 - стопор; 28 - пружина толкателя; 29 - толкатель.

Нагнетательные секции удерживаются штуцерами 24 и установочными винтами в гнездах верхней части корпуса 18 насоса. Топливо к секциям подводится и отводится через продольные каналы, просверленные по всей длине корпуса насоса.

Сбоку от нагнетательных секций в продольном сверлении корпуса размещена зубчатая рейка 4, зацепленная с зубчатыми секторами 23 каждого плунжера. Ход рейки ограничивается ограничителем 3. Свободный конец рейки, выходящий из корпуса насоса, соединен тягой 10 с регулятором частоты вращения коленчатого вала, который управляет количеством подачи топлива. От поворота рейка фиксируется при помощи винта, входящего в ее продольный паз и ввернутого в стенку блока насоса.

Роликовые толкатели 29 от проворачивания удерживаются удлиненными осями роликов, которые входят в вертикальные пазы, выполненные в гнездах. Кулачковый вал 19 насоса,

установленный на двух подшипниках качения и подшипнике скольжения, имеет кулачки и эксцентрик для привода ТПН. На переднем хвостовике вала закреплена муфта опережения впрыска, на заднем - через демпфер закреплена шестерня привода регулятора.

Работа регулятора ТНВД. На номинальном режиме работы рычаг 16 (рис. 1.33) управления регулятора упирается в винт 15. Пружина 18 регулятора через двуплечий рычаг 20 перемещает основной рычаг 19 и упорную пяту 9 с рычагом 11 тяги до упора болта 24 номинальной подачи в ось рычага 16. С противоположной стороны на упорную пяту 9 действует центробежная сила грузов 4, но на данном режиме этой силы недостаточно для преодоления усилия пружины 18 регулятора, поэтому рейка 12 находится в жестком положении на упоре в болт 24 номинальной подачи. При этом пружина 27 корректора сжата до упора рычага 11 в выступы рычага 19.

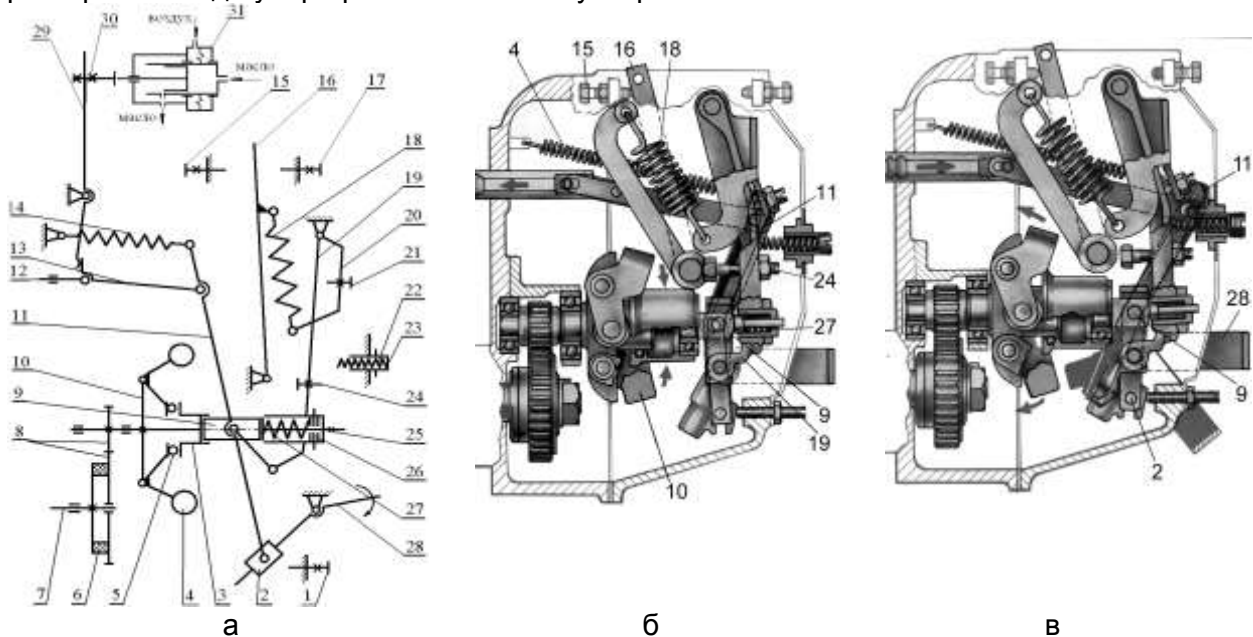


Рис. 1.33. Схема регулятора ЯЗТА: 1 - винт кулисы; 2 - кулиса; 3 - муфта грузов; 4 - грузики; 5 - подшипник; 6 - демпфер; 7 - кулачковый вал; 8 - шестерни привода; 9 - упорная пятя; 10 - державка грузов; 11 - рычаг тяги; 12 - тяга рейки; 13 - рейка; 14 - пружина пускового обогатителя; 15, 17 - болты максимальной и минимальной частоты вращения; 16 - рычаг управления; 18 - пружина регулятора; 19 - рычаг регулятора; 20 - двуплечий рычаг; 21 - винт двуплечего рычага; 22 - буферная пружина; 23 - корпус буферной пружины; 24 - болт номинальной подачи; 25 - гайка хода штока корректора; 26 - регулировочная шайба натяжения пружины корректора; 27 - пружина корректора; 28 - скоба остановки двигателя; 29 - рычаг корректора; 30 - регулировочный винт; 31 - пневмогидрокорректор.

При повышении частоты вращения кулачкового вала (рис. 1.33,б) центробежная сила вращающихся грузов 4 увеличивается и, преодолевая усилие пружины 18, отклоняет рычаг 11 вправо, перемещая рейку 12 в сторону уменьшения подачи топлива. В результате этого частота вращения кулачкового вала снижается, центробежная сила грузов падает, и за счет усилия пружины 18 регулятора рейка ТНВД возвращается в исходное положение.

С увеличением нагрузки частота вращения коленчатого вала снижается, и центробежная сила грузов 4 падает (рис.1.33,в). Под действием пружины 18 регулятора рычаг 19 находится на упоре в болт 24 номинальной подачи, но за счет действия пружины 27 корректора рычаг 11 перемещается для увеличения подачи на величину хода штока корректора, устанавливаемого гайкой 25.

При пуске двигателя пружина 4 обогатителя перемещает рычаг тяги 11 и соединенную с ним рейку 12 насоса влево вокруг кулисы 2, обеспечивая увеличение подачи топлива. После пуска грузы 4 регулятора под действием центробежной силы расходятся и выступами перемещают муфту 5, а вместе с ней промежуточный рычаг 11 и рейку 12 назад до упора в корректор 27, уменьшая подачу топлива. Если рычаг 22 управления подачей топлива повернуть до упора в болт 17 ограничения минимальных оборотов, то в отличие от тракторных регуляторов подача топлива не прекратится. В этом случае центробежная

сила грузов 4 будет уравниваться усилием буферной пружины 22, и рейка 12 будет находиться в положении минимальной подачи. Для останова двигателя необходимо воздействовать на рычаг 27, при этом за счет скольжения кулисы 2 рычаг 11 поворачивается вокруг упорной пяты 9, перемещая рейку 12 в сторону выключения подачи.

Применяемость и особенности конструкции ТНВД дизелей КамАЗ. V-образные многоплунжерные насосы ЯЗДА с углом развала между рядами секций 75° , выпускаются для шести- и восьмицилиндровых дизелей КамАЗ (рис. 1.23). В последние годы освоено производство ТНВД типа «компакт» с подвесными секциями для дизелей семейства ГАЗ-544, Д-245, Д-260, Д-65Н и др. Применение насосов и регулировочные данные приведены в приложении 6.

Все типы V-образных насосов имеют автоматическую центробежную муфту прямого действия и централизованную систему смазки. Модернизированные модели ТНВД серии 332, 337 имеют плунжерные пары диаметром 10 и 11 мм, оригинальные нагнетательные клапаны, кулачковый вал с увеличенным ходом плунжера и диаметром приводного конца. Для дизелей с наддувом предусмотрена установка пневмокорректора. Дополнительно устройство ТНВД рассмотрим на примере насоса 33-02 (рис. 1.23).

В корпусе из алюминиевого сплава, имеются гнезда для установки насосных секций, каждая из которых является сборочной единицей и включает свой корпус, втулку с плунжером, поворотную втулку, нагнетательный клапан. От поворота толкатель фиксирует сухарь, выступ которого входит в паз корпуса ТНВД. Регулирование угла начала подачи производится установкой в толкателе пяты определенной толщины, а равномерность подачи по секциям – поворотом секции в пределах овальных отверстий фланцев корпусов.

Всерезимный регулятор выполнен по схеме с переменной деформацией главной пружины, причем с предварительной деформацией изменяется ее наклон к главному рычагу. На номинальном режиме рычаг 16 управления (рис.1.34) находится на упоре в болт 22 максимальной скоростного режима. Под действием пружины 11 основной рычаг 27 поворачивается вокруг оси 6 до упора в болт 29 номинальной подачи. С противоположной стороны на рычаг 27 давят рычаг 19 антикорректора и промежуточный рычаг 28, перемещающиеся в сторону выключения подачи за счет центробежной силы грузов 15. При этом пружины корректора 23 и антикорректора 12 находятся в сжатом положении, обеспечивая жесткую фиксацию промежуточного рычага 28, который определяет положение реек 26 и 1.

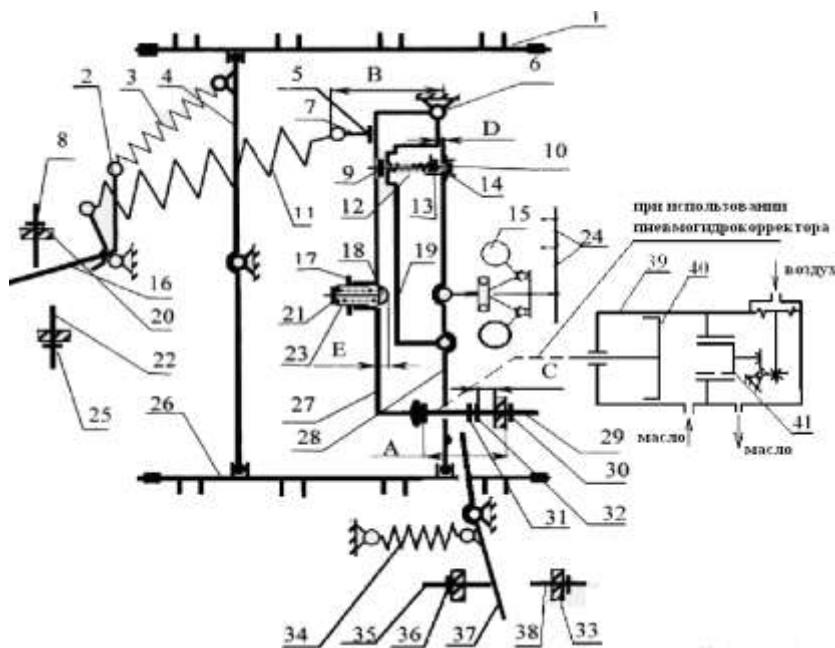


Рис. 1.34. Схема регулятора КамАЗ: 1, 26 - рейки; 2 - рычаг пускового обогапителя; 3 - пусковая пружина; 4 - рычаг реек; 5, 20, 25, 30, 31, 32, 33, 36 - гайки контрольные; 6 - ось; 7 - регулировочный болт; 8 - болт минимальной частоты вращения; 9, 21 - гайка коронная; 10 - болт антикорректора; 11 - пружина регулятора; 12 - пружина антикорректора; 13 - гайка; 14 - стопорная шайба; 15 - грузики; 16 - рычаг управления; 17 - корпус корректора; 18 - шток корректора; 19 - рычаг антикорректора; 22 - болт максимальной частоты вращения; 23 - пружина корректора; 24 - шестерни привода регулятора; 27 - основной рычаг; 28 - промежуточный рычаг; 29 - болт номинальной подачи; 34 - возвратная пружина; 35 - болт регулировки пусковой подачи; 37 - рычаг останова; 38 - болт ограничения хода; 39 - пневмогидрокорректор; 40 - поршень; 41 - золотник.

при использовании пневмогидрокорректора

При повышении частоты вращения центробежная сила вращающихся грузов 15 увеличивается и, преодолевая усилие пружины 11, отклоняет систему рычагов 19, 27, 28 от болта 29 номинальной подачи, перемещая рейки 1 и 26 в сторону уменьшения подачи топлива. В результате этого частота вращения кулачкового вала снижается, центробежная сила грузов падает, и за счет усилия пружины 11 регулятора рейка ТНВД возвращается в исходное положение.

С увеличением нагрузки частота вращения коленчатого вала снижается, и центробежная сила грузов 15 падает. Под действием пружины 11 регулятора основной рычаг 27 находится на упоре в болт 29 номинальной подачи, но за счет действия пружины 23 корректора рычаги 19 и 28 поворачиваются вокруг оси 6 на величину хода корректора Е в сторону увеличения подачи. Если перегрузка преодолена, рычаги возвращаются в исходное положение, если же частота вращения продолжает снижаться, то усилие грузиков 15 становится настолько низким, что распрямляется пружина 12 антикорректора и промежуточный рычаг 28 поворачивается вокруг соединения с рычагом 19 антикорректора, уменьшая подачу топлива. Это вынуждает водителя перейти на пониженную передачу, исключая работу двигателя с повышенным дымлением.

При пуске двигателя для перевода рычагов в пусковой режим необходимо повернуть рычаг 16 управления до упора в болт 22 максимального скоростного режима. При этом рычаг 22 специальным выступом перемещает пусковой рычаг 2 натягивая пусковую пружину 3 обогатителя, которая непосредственно перемещает рычаг рейки 4 и соединенные с ним рейки 1 и 26 до упора промежуточного рычага 28 в рычаг 37 останова, обеспечивая увеличение подачи топлива. После запуска двигателя грузы 15 регулятора под действием центробежной силы расходятся и выступами перемещают промежуточный рычаг 28 и рейки 1 и 26 назад, уменьшая подачу топлива.

На режиме минимально устойчивой частоты вращения рычаг 16 управления находится на упоре в болт 8. Центробежная сила грузов 15 уравнивается усилием пружины 11, и рейка 12 находится в положении минимальной подачи. Для останова двигателя необходимо повернуть рычаг 37 до упора в болт 38, при этом он воздействует на промежуточный рычаг 28, перемещая рейки 1 и 26 в сторону выключения подачи.

Применяемость и особенности конструкции ТНВД серии ТН (ЛСТН).

Четырехсекционные ТНВД выпускаются Алтайским ЗТА (серии 4ТН) и Харьковским ТЗ (серии ЛСТН). Применение насосов по разным маркам дизелей и машин и регулировочные данные приведены в приложении 7, а общий вид некоторых насосов показан на рис. 1.35.



Рис. 1.35. Общий вид ТНВД серии ТН: а - 4ТН 10x10 для дизеля А-41; б - АТНМ 4 100 10 для дизеля Д440; в - 6ТН 10x10-03 для дизеля А-01; г - НТВ-4 для дизеля Д-245.

Насосы, устанавливающиеся на левую сторону дизеля (по ходу движения), имеют в обозначении букву «Л» и, соответственно, расположенные с левой стороны подкачивающий насос и рычаг управления регулятором. ТНВД разных заводов, кроме того, отличаются конструкцией плиты крепления, кулачковым валом и комплектацией регулятора. Насосы последних конструкций имеют централизованную систему смазки через отверстие в установочном фланце. Отдельные модели имеют пневмокорректор мембранного типа.

ТНВД серии 6ТН для шестицилиндровых дизелей производит только Алтайский ЗТА. Конструктивно он подобен насосам 4ТН, отличаясь способом крепления на дизель, промежуточной опорой кулачкового вала и муфтой привода. В то же время насосы АТНМ6 для дизелей Д-463 имеют фланцевое крепление.

Алтайский завод ТА начал производство новых топливных насосов серии НТВ (рис. 1.35,г) с межсекционным расстоянием 27 мм и подвесными секциями в едином блочном корпусе. ТНВД имеет всережимный механический регулятор с прямым и обратным корректорами, нагнетательные клапаны двойного действия и централизованную систему смазки.

Общее устройство ТНВД 4ТН показано на рис. 1.36. Корпусы насоса и регулятора изготавливаются из алюминиевого сплава. Насосные секции монтируются в съемную головку, которая крепится к насосу на шпильках. В головке имеются П-образный канал для подвода и отвода топлива к секциям и перепускной клапан, поддерживающий давление в канале от 0,07 до 0,12 МПа (рис.1.36, а). При установке плунжерных пар в топливоподающие каналы устанавливаются защитные экраны, предохраняющие головку топливного насоса от разрушения струями, действующими при отсечке топлива.

Втулка плунжера фиксируется штифтом от проворачивания и имеет два окна, одно из которых предназначено для наполнения надплунжерного пространства топливом, а второе – для отсечки топлива в конце подачи. Отсечка происходит при нагнетательном ходе плунжера в момент совмещения его отсечной кромки с отсечным отверстием втулки. При этом топливо из надплунжерного пространства через отверстия плунжера и втулки перетекает в полость низкого давления. Одноканальная головка топливного насоса (рис. 1.36, б) – в головке для подвода топлива к плунжерным парам выполнен один центральный канал вдоль продольной оси головки. Окна во втулке плунжера расположены вдоль оси этого канала, а не перпендикулярно к осям каналов, как в П-образной головке. Поэтому струя топлива, возникающая при отсечке топлива, попадает на стальную втулку плунжера, а не на алюминиевую головку топливного насоса и необходимость в защитных экранах отпадает.

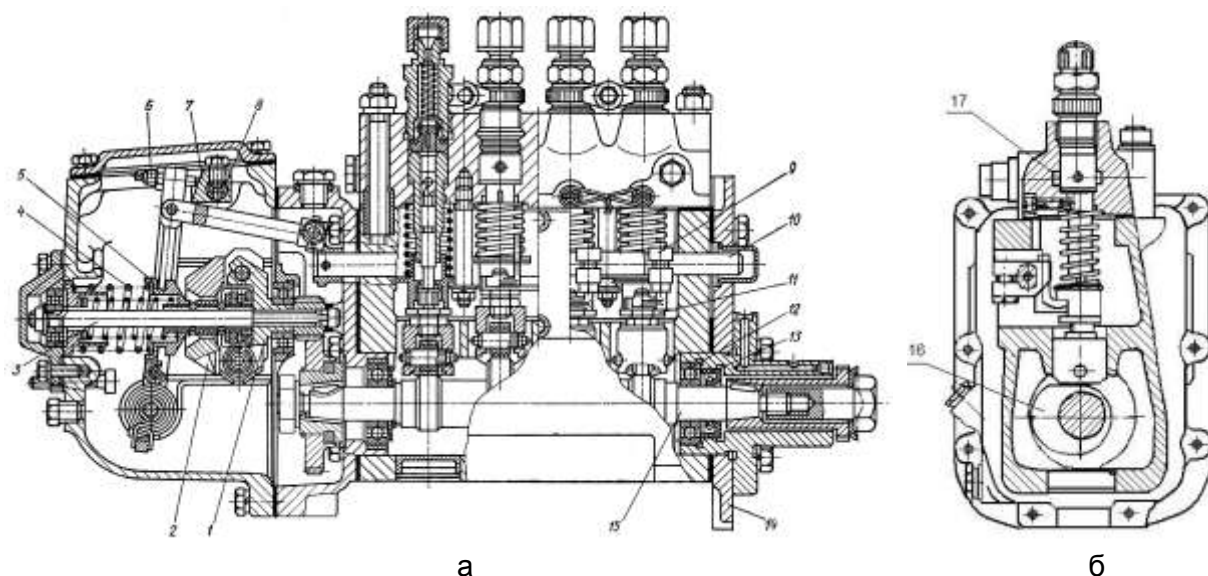


Рис. 1.36. Топливный насос серии ТН с П-образным топливоподающим каналом головки (а) и одноканальной головкой ТНВД (б): 1 - ступица регулятора; 2 - груз; 3 - валик регулятора; 4 - пружина регулятора; 5 - муфта; 6 - вильчатый рычаг; 7 - призматический упор; 8 - валик обогатителя; 9 - поводок плунжера; 10 - рейка; 11 - толкатель; 12 - подшипник; 13 – уплотнение; 14 - фланец; 15 - кулачковый вал; 16 – несимметричный кулачковый вал; 17 – вариант исполнения головки насоса с одним центральным каналом подвода топлива.

Равномерность подачи топлива по секциям регулируется разворотом плунжеров (смещением того или иного хомутика поводка плунжера относительно рейки насоса), а угол начала подачи – винтом толкателя. ТНВД серии ТН имеют кулачковый вал с симметричными концами, поэтому для правильной его установки (чтобы соблюдался порядок работы 1-3-4-2) на цилиндрической поверхности около первого кулачка наносится метка.

Регулятор ТНВД серии ТН. Регулятор топливного насоса расположен в отдельном корпусе и прикреплен сзади к топливному насосу. Вал 7 (рис. 1.37) регулятора установлен в корпусе на двух шарикоподшипниках и получает вращение от кулачкового вала насоса через пару шестерен 18. На вал жестко посажена крестовина 16 с грузами 15, подвижная муфта 19 и две пружины 8. При работе двигателя на муфту действуют две противоположно направленные силы: сила пружин и центробежная сила грузов. Перемещаясь под действием этих сил, муфта поворачивает вилку 10 через шипы, входящие в пазы муфты.

Вилка соединена тягой 11 с рейкой топливного насоса. Винт 12 вилки при номинальной подаче топлива упирается в призму 13 корректора, имеющую наклонную площадку. С помощью кнопки 14 призма может выходить из-под винта при пуске двигателя в холодное время года. Кронштейн 4 свободно надет на валик рычага 20 управления регулятором, но соединен с ним двойной спиральной пружиной 3, усики которой охватывают кронштейн 4.

Заданный скоростной режим работы двигателя устанавливается перемещением рычага 20 управления регулятором. Во время работы дизеля рейка 17 топливного насоса перемещается под действием пружин 8 и центробежной силы грузов 15. При кратковременной перегрузке срабатывает корректор: частота вращения коленчатого вала временно снижается, и центробежная сила грузов 15 уменьшается настолько, что под действием силы пружин 8 кронштейн 4 повернется по ходу часовой стрелки (спиральная пружина 3 корректора закручивается) и вилка 10 переместится вперед, а винт 12 будет скользить по скосу призмы 13 вверх. Рейка дополнительно сместится в сторону увеличения подачи топлива, вращающий момент дизеля возрастет, преодолевая временную нагрузку.

При остановке дизеля рычаг 20 управления регулятором перемещают до соприкосновения сектора рычага с винтом 22. Рейка топливного насоса отводится вилкой 10 назад (по рисунку — влево) до отказа, и подача топлива прекращается.

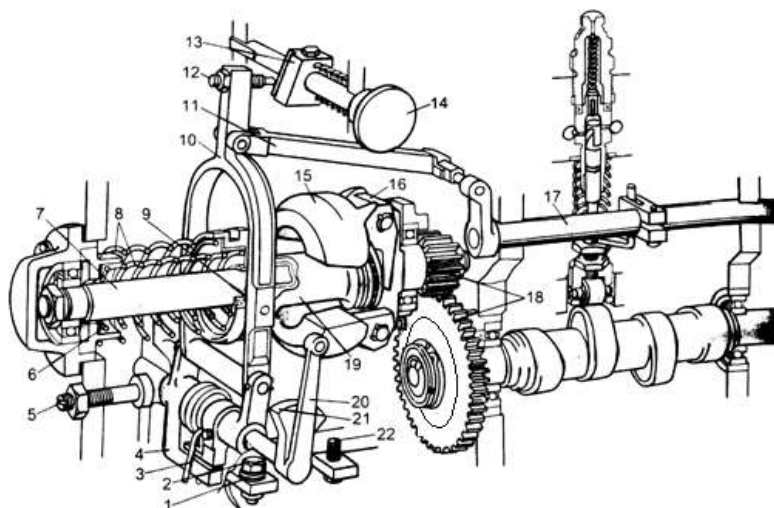


Рис. 1.37. Всережимный регулятор ТНВД серии ТН: 1 - регулировочные шайбы; 2 - болт-ограничитель; 3 - спиральная пружина корректора; 4 - кронштейн; 5 - упорный болт; 6 - регулировочная прокладка; 7 - вал регулятора; 8 - пружины; 9 - шип вилки; 10 - вилка; 11 - тяга рейки; 12 - болт номинала; 13 - призма; 14 - кнопка обогатителя; 15 - груз; 16 - станина; 17 - рейка топливного насоса; 18 - шестерни; 19 - муфта; 20 - рычаг управления

регулятором; 21 - сектор; 22 - винт.

Применяемость и особенности конструкции ТНВД Челябинского тракторного завода. Рядные насосы серии ЧТЗ выпускаются для дизелей Челябинского тракторного завода. Применение насосов по разным маркам дизелей и машин и регулировочные данные приведены в приложении 6.

Устройство ТНВД рассмотрим на примере насоса 14-67-сб2 (рис. 1.38). В чугунном литом корпусе устанавливаются четыре насосные секции, закрепленные на блоке 32 насоса. Кулачковый вал 33 вращается в бронзовых втулках 4 и 34. В нижней части плунжера сделана кольцевая проточка, на которой стяжным винтом укреплен зубчатый сектор 21. Он находится в зацеплении с рейкой 46, соединенной поводком 47 с тягой 30. На левый конец тяги накручена муфта 14, которая может касаться пластинчатой пружины 13 корректора, закрепленной на блоке ТНВД с некоторым зазором.

В толкатель 9 ввернут хвостовик 19, который своим пазом захватывает головку плунжера. Плунжерные пары второй и третьей секций имеют более широкий перепускной паз для отключения подачи топлива во второй и третий цилиндры двигателя при работе без нагрузки. Эти пары не взаимозаменяемы с парами первой и четвертой секций.

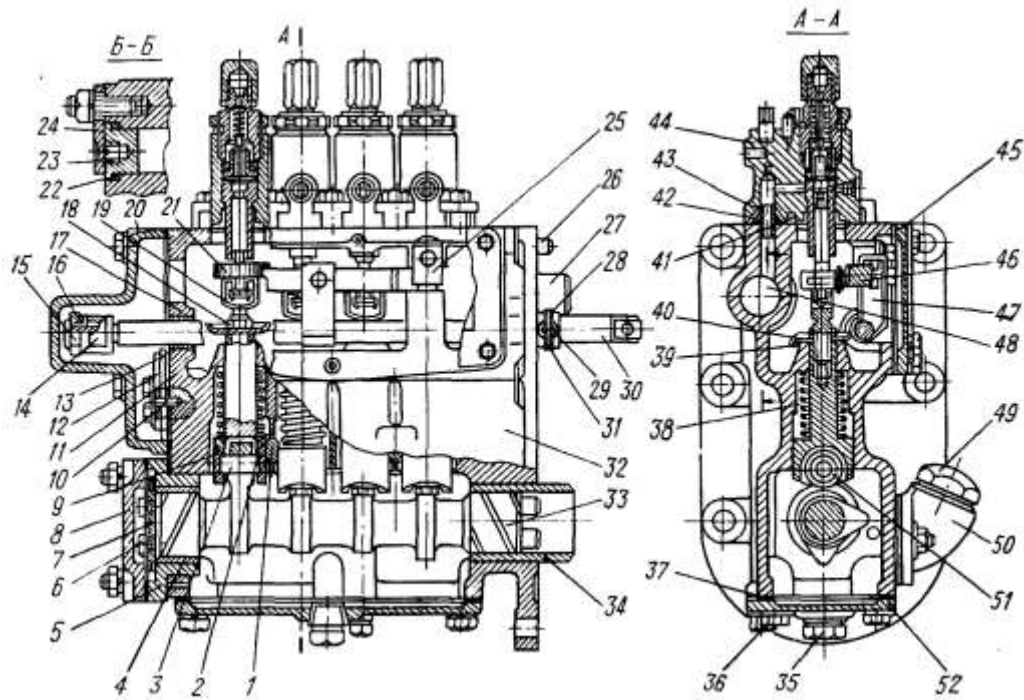


Рис. 1.38. Топливный насос 14-67-сб2: 1 - направляющий палец; 2 - отверстие; 3 - ось толкателя; 4,17,34 - втулки; 5 - корпус заднего подшипника; 6 - болт; 7 - шайба; 8 - крышка подшипника; 9 - толкатель; 10 - установочный штифт; 11 -подкладка; 12 - накладка; 13 - пластинчатая пружина корректора; 14 - регулировочная муфта; 15,18 - контргайки; 16 - стопорный угольник; 19 - хвостовик толкателя; 20 - крышка корректора; 21 - зубчатый сектор; 22,42 - уплотнительные кольца; 23,27 - заглушки; 24 - прижим; 25 - направляющая пластина; 26,41 - установочные штифты; 28 - стопорное кольцо; 29 - палец; 30 - тяга; 31 - упорное кольцо; 32 - корпус насоса; 33 - кулачковый вал; 35 - пробка; 36 - штуцер; 37 - прокладка; 38 - пружина; 40 - тарелка; 43 - трубка; 44 - секция ТНВД; 45 - крышка бокового люка; 46 - рейка; 47 - поводок; 48 - канал; 49 - пробка; 50 - горловина; 51 - ролик толкателя; 52 - нижняя крышка люка.

Регулятор частоты вращения установлен в отдельном корпусе. Грузики 16 (рис. 1.39) приводятся во вращение через коническую передачу 13. Всережимный регулятор выполнен по схеме с переменной деформацией главной пружины 8, причем с изменением предварительной деформации изменяется ее наклон к двуплечему рычагу 15.

На номинальном режиме работы рычаг 11 управления находится на упоре в болт 12. За счет усилия пружины 8 регулятора двуплечий рычаг 15 через тягу 7 перемещает рейку 5 в сторону увеличения подачи, пока это усилие не скомпенсируется суммарным воздействием центробежной силы грузиков 16 и пружины 3 корректора, которая упирается в регулировочную муфту 2.

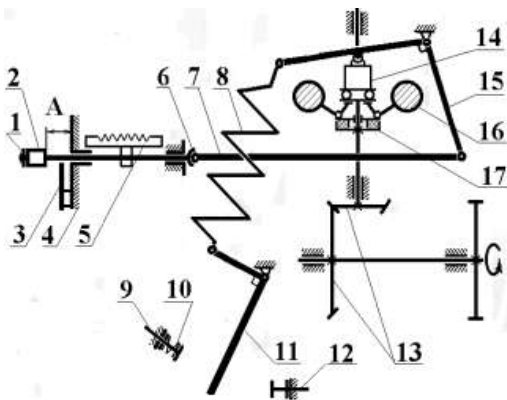


Рис. 1.39. Схема регулятора КДМ: 1 - гайка; 2 - муфта регулировочная; 3 - пружина корректора; 4 - корпус ТНВД; 5 - рейка ТНВД; 6 - кольцо тяги рейки; 7 - тяга; 8 - пружина регулятора; 9 - болт минимального скоростного режима; 10 - пружина упора; 11 - рычаг управления; 12 - болт максимального скоростного режима; 13 - шестерни привода регулятора; 14 - муфта грузиков; 15 - двуплечий рычаг; 16 - грузики; 17 - демпферы.

При увеличении частоты вращения центробежная сила грузиков 16 возрастает и двуплечий рычаг 15, растягивая пружину 8 регулятора, перемещает рейку 5 в сторону уменьшения цикловой подачи топлива. Снижение частоты вращения вызывает уменьшение

центробежной силы грузиков 16, и под действием усилия пружины 8 рейка 5 возвращается в исходное положение. При дальнейшем снижении частоты вращения (режим перегрузки) рейка 5 перемещается за счет того же усилия пружины 8 регулятора, деформируя пружину 3 корректора до упора в корпус 4 ТНВД.

При повороте рычага 11 управления до упора в болт 9 поддерживается минимально устойчивая частота вращения холостого хода, причем на этом режиме подача топлива происходит только в два цилиндра. Для останова дизеля необходимо дополнительно повернуть рычаг 11, деформируя пружину упора 10.

Контрольные вопросы

1. Какую функцию имеют наружные регулировочные винты рычага управления ТНВД?
2. Какие еще регулировочные винты используются в автоматическом регуляторе?
3. Изменение каких параметров можно достигнуть регулировкой автоматического регулятора и как это можно сделать (на примере рассмотренных выше):
 - максимальной частоты холостого хода;
 - момента на номинальной частоте;
 - момента на минимальной частоте наддувного дизеля;
 - формы внешней скоростной характеристики?

1.3.3. Блочные и индивидуальные ТНВД с электронным управлением

Блочные ТНВД с электронным управлением базируются на использовании традиционных технических решений и технологий производства. В простейшем случае от традиционного, такой ТНВД может отличаться только заменой механического регулятора на электронный. ТА с электронными регуляторами сегодня наиболее подготовлена к широкому использованию, но в наименьшей степени использует возможности электронного управления. Реечное управление электронными регуляторами следует рассматривать как подход полезный, но временный.

Двухреечные блочные насосы. В отличие от распределительных ТНВД, гибкое регулирование УОВТ в блочных ТНВД затруднено. Регулирование УОВТ за счет конструкции насосной секции и второй рейки (вала, тяги) было реализовано в ТНВД фирмы Zexel (ранее - Diesel Kiki), фирмы R.Bosch для ТНВД типов MW и P [27] (рис. 1.40). ТНВД имеет независимое управление цикловой подачей нижней рейкой и УОВТ верхним поворотным валом.

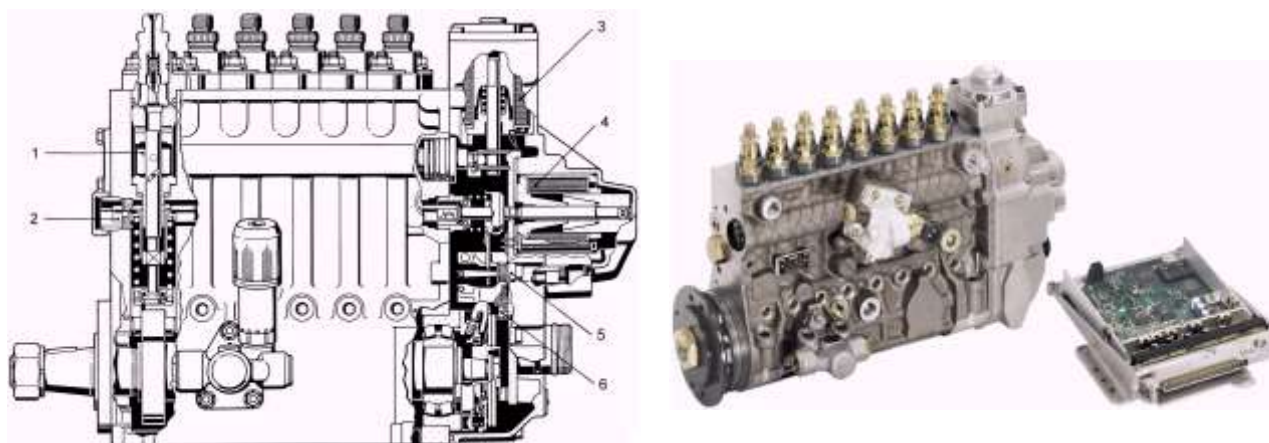


Рис. 1.40. Блочный ТНВД PR 39 фирмы R.Bosch с электронным регулированием подачи и УОВТ: 1 - муфта регулирования УОВТ; 2 - рейка цикловой подачи; 3 - электромагнит регулирования УОВТ; 4 - электромагнит регулирования цикловой подачи; 5 - датчик рейки цикловой подачи; 6 - датчик частоты вращения вала.

Муфта 1 (рис. 1.40) перемещается поводком, закрепленном на валу, поворачиваемом пропорциональным электромагнитом 3 управления УОВТ. Имеется возможность предварительной регулировки УОВТ каждой секции путем поворота вокруг вала расслабленного поводка при снятой заглушке. Аналогично перемещают рейку цикловой подачи. Положения рейки g_c и вала УОВТ контролируется собственными датчиками перемещения. Для ТНВД с

6 секциями использован электромагнитный привод рейки с усилием 75 Н, для 8...12 секциями - 90 Н. Гидроусилитель питается от двух ТПН с давлением 0,3 МПа. Геометрическое начало подачи обуславливается не закрытием окон втулки 2 (рис. 1.41), а закрытием окна 6 плунжера 8 телом регулирующей муфты 3. Так, при изменении вертикального положения муфты достигается регулирование УОВТ. Отсечка подачи наступает при открытии спиральной выточки 5, сообщенной с надплунжерной полостью 1, отсечным окном 4.

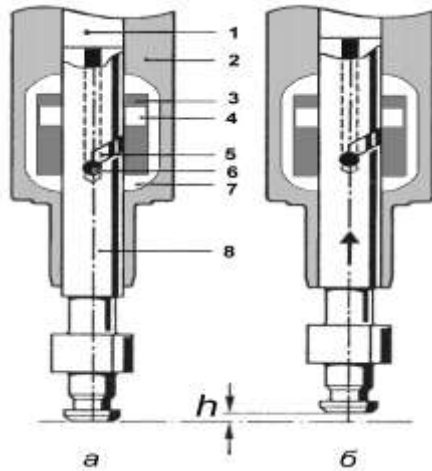


Рис. 1.41. Управление подачей в ТНВД PR 39 фирмы R.Bosch: а - начало подачи; б - конец подачи.

Как и ранее, цикловая подача регулируется поворотом плунжера. Полость 7 является впускной и отсечной. В ТНВД PR39, PR43 при диаметре плунжера 12 мм и ходе 14...18 мм ход муфты составляет 5,5 мм, что обеспечивает регулирование УОВТ на 6° по кулачковому валу (12° по коленчатому валу).

Схема электронного управления топливоподачей R.Bosch в дизеле грузового автомобиля типа Mercedes-Benz OM442LA представлена на рис. 1.42. Каналы управления насосом - по цикловой подаче и УОВТ. Электронный блок управления осуществляет оптимальное в рамках возможностей данной ТА управление рабочим процессом дизеля с использованием сигналов ТНВД, автомобиля, дизеля коробки переключения передач (КПП) и механизма отбора мощности на внешние агрегаты.

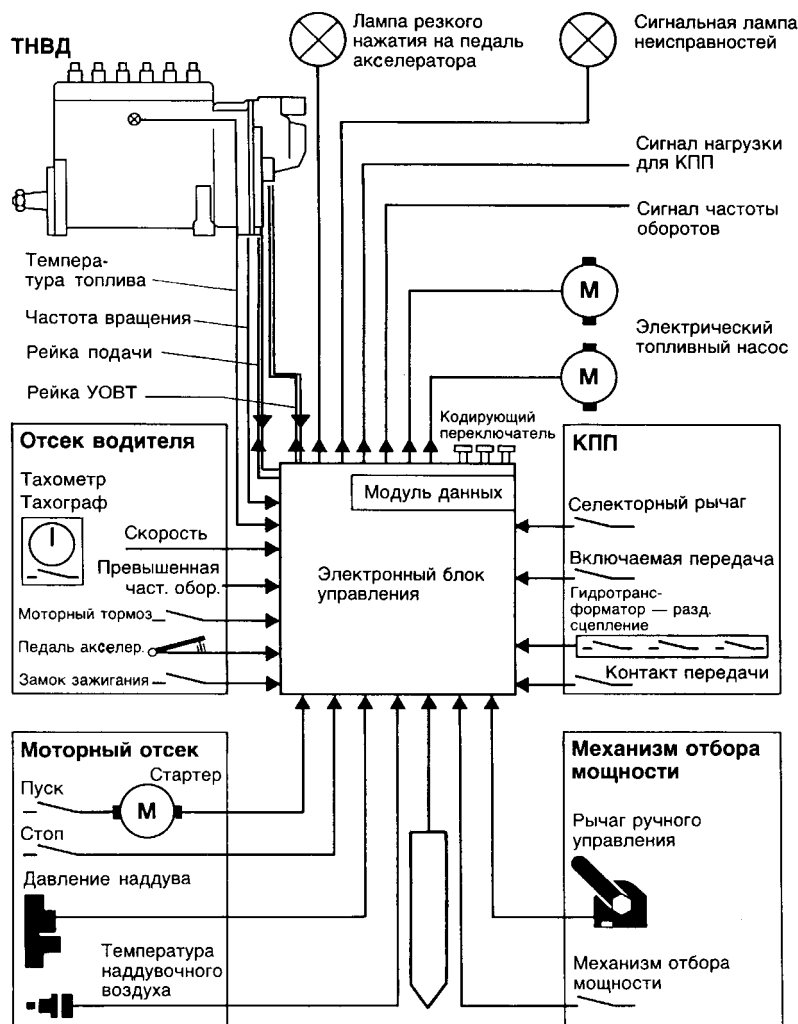


Рис. 1.42. Схема электронного управления подачей топлива дизеля грузовика.

Датчик подъема иглы форсунки может отсутствовать. С использованием сигналов датчиков температуры и давления воздуха рассчитывается расход и коэффициент избытка воздуха. Это позволяет предотвратить дымление на рабочих режимах дизеля, включая работу на высоте до 4000 м над уровнем моря при минимальной потере мощности. Отключение подачи на режиме принудительного холостого хода обеспечивает торможение двигателем. Она снабжена функциями самодиагностики, сигналы о неисправностях подаются на приборный щиток и запоминаются.

Индивидуальные ТНВД с электроуправляемым клапаном на сливе (ТНВД с клапанным управлением) конструктивно относительно просты: не имеют привычной рейки, механизма поворота плунжера, плунжер лишен усложненной золотниковой части, как правило, отсутствует нагнетательный клапан (рис. 1.43). В такой ТА используется обычная форсунка, сохраняются привычные компоновочные решения, приемы обслуживания и регулировки. Впрыскивание в таких ТНВД начинается энергично, имеется четкая отсечка, и этот способ регулирования даже обеспечивает некоторое повышение давления впрыскивания, оставляет возможность индивидуальной подачи по цилиндрам, а, возможно, и осуществления двухфазного впрыскивания.

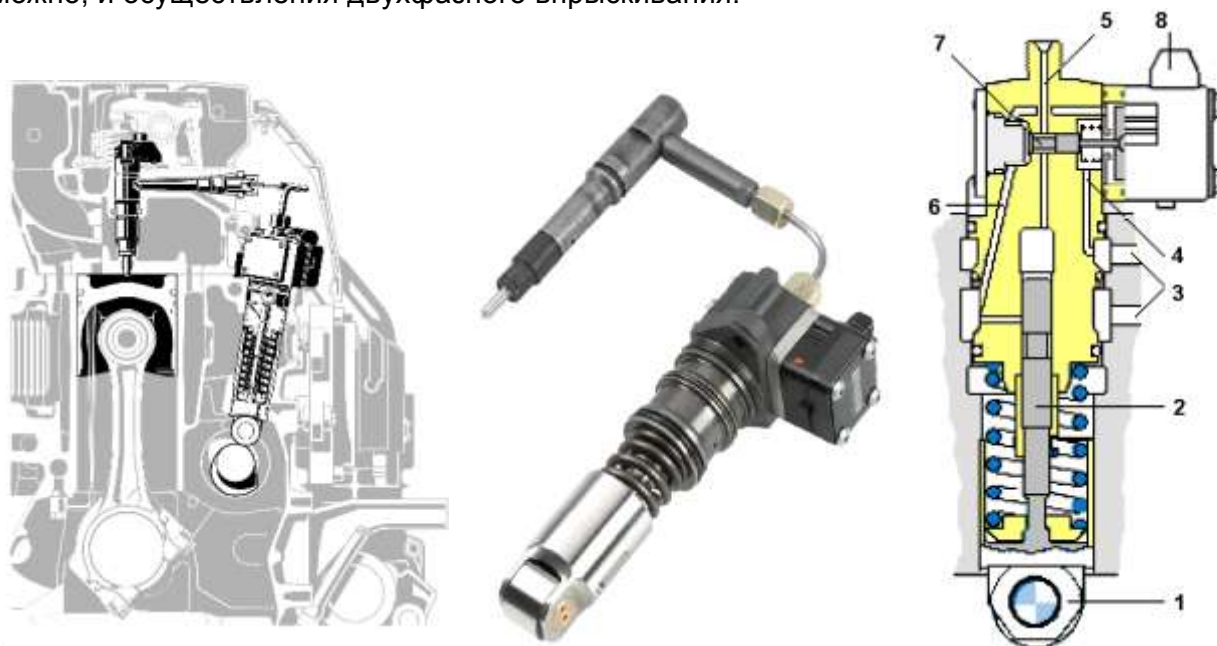


Рис. 1.43. Компоновка, внешний вид и разрез индивидуального ТНВД фирмы R.Bosch для дизелей грузовых автомобилей [27] с быстродействующим электромагнитным клапаном слива: 1 - толкатель; 2 - плунжер; 3 - полости подкачки и слива; 4 – канал отсечки; 5 - каналы высокого давления; 6 - каналы низкого давления; 7 - клапан управления сливом; 8 - электромагнитный привод.

Ввиду специфичности процессов в новых элементах ТНВД необходимо со вниманием относиться к нарушениям нормальной ЛНД, работы клапанов. ЛНД важна не столько потому, что обуславливает скорость изменения давления нагнетания, сколько потому, что через нее и клапан производится наполнение плунжерной полости. Любая нестандартная замена элементов ЛНД (топливопроводов, дополнительных клапанов и жиклеров) может изменить отлаженный процесс. Типичные дефекты при этом: перегрев элементов ЛНД, повышенное пенообразование, и, как следствие, нестабильность подачи, ее уменьшение (потеря мощности).

Быстродействующий клапан управления - единственно сложный и нетрадиционный элемент ТНВД. Такие клапаны используются также в распределительных ТНВД и насос-форсунках. В высокооборотном дизеле он должен срабатывать в обе стороны за время 0,1...0,2 мс. Это оказывается возможным не только при малых массах и усилиях электромагнита более 250 Н, но и гидравлической разгруженности клапана, т.е. равной нулю равнодействующей от значительных гидравлических сил.

На рис. 1.44 представлен клапан наиболее популярной геометрии. Для разгрузки от сил высокого давления в центральной камере, сообщенной с плунжерной полостью, используют разгружающий стебель клапана с прецизионным сопряжением с седлом. Казалось

бы, с негерметичностью такого клапана можно было бы мириться: утечки много меньше полезной подачи. Однако, эти утечки ухудшают параметры малых подачи и приводят к перегреву клапана.

ТА с такими насосами – наиболее простая, традиционная в отношении производства и эксплуатации и, в то же время, эффективная в регулировании системы. По этим причинам ТА с ТНВД с электроуправляемым клапаном можно считать наиболее реальной перспективной среди систем нового поколения.

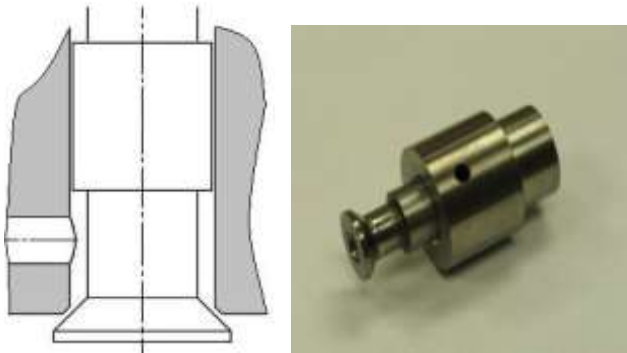


Рис. 1.44. Управляющий клапан ТНВД.

В отношении сохранения гидравлической разгруженности клапана чрезвычайно важна динамика смятия области контакта в процессе эксплуатации и изменения ввиду этого среднего диаметра пояска контакта. Наиболее критичный момент срабатывания клапана – посадка и отрыв от седла при высоком давлении в полости. Другой дефект клапана – изнашивание запорной фаски. Он происходит из-за множественных ударов о седло и кавитации при истечении топлива в районе фаски. Причинами этого могут быть дефекты изготовления, нарушения штатного гидродинамического процесса в ЛНД, увеличенный относительно штатного ход клапана.

1.3.4. Распределительные насосы с механическим и электронным управлением

Наиболее дорогими деталями топливоподающей аппаратуры, помимо сложных корпусных, составляют прецизионные детали. В ТНВД распределительного типа используют одну плунжерную пару для обслуживания от двух до восьми цилиндров. При этом часто функцию распределительного элемента выполняет тот же плунжер.

Конструкции распределительных насосов разнообразны и определяются, в основном, схемами привода плунжера, распределения и регулирования. Рассмотрим работу такого насоса на примере самого массового по числу произведенных в мире ТНВД: типа VE фирмы R.Bosch.

Распределительные насосы VE фирмы R.Bosch. Одноплунжерные ТНВД с приводом от торцевой кулачковой шайбы типа VE (1.45) начали производиться фирмой с 1976 г. Из 3,5 млн. насосов, выпускаемых R.Bosch в год, более 1 млн. приходилось на VE. По лицензии фирмы они долго выпускались в Японии и Южной Корее. Ныне все их производство фирмой R.Bosch передано в азиатские филиалы в Индии и Турции. Они же пока комплектуют быстроходные дизели ЗМЗ-5143 для автомобилей ГАЗ и УАЗ.

ТНВД VE могут обслуживать дизели с числом цилиндров 2, 4, 6, цилиндровой мощностью до 25 кВт, частотой до 5000 мин⁻¹, g_c до 100 мм³, давлением нагнетания до 90 МПа. Возможная комплектация: диаметр плунжера 8...12 мм, ход - 1,5...4 мм. Эти насосы хорошо описаны в [9].

Общий вид ТНВД VE с механическим регулятором представлен на рис. 1.45. Привод насосной секции более наглядно представлен на рис. 1.46. Приводной вал с шестерней привода автоматического регулятора, приводит во вращение через муфту 1 (рис. 1.46) кулачковую шайбу 3 и плунжер 5. В исходное положение плунжер возвращается двумя пружинами 8 через планку 6.

На приводном валу размещен роторно-лопастной ТПН 8 (рис. 1.45). Кулачковая шайба 6 при вращении катится по роликам обоймы 7, допускающей свой разворот вокруг своей оси за поводок автоматом 5 регулирования УОВТ (гидроцилиндром, перемещаемым давлением подкачки топлива, зависящим от частоты и цикловой подачи). При изменении давления подкачки от 0,27 до 0,8 МПа ход гидропоршня достигает 9,4 мм, что обеспечивает изменение УОВТ до 12 град по валу ТНВД.

Регулирование цикловой подачи осуществляется перемещением муфты 4. В традиционной версии ТНВД она управляется механическим автоматическим регулятором. Через распределитель 3 топливо подается к нагнетательному клапану в штуцере 2. Электромагнитный клапан 1 разрешает или прекращает работу дизеля путем перекрытия канала наполнения плунжерной полости. Фазы работы ТНВД поясняет рис. 1.47.

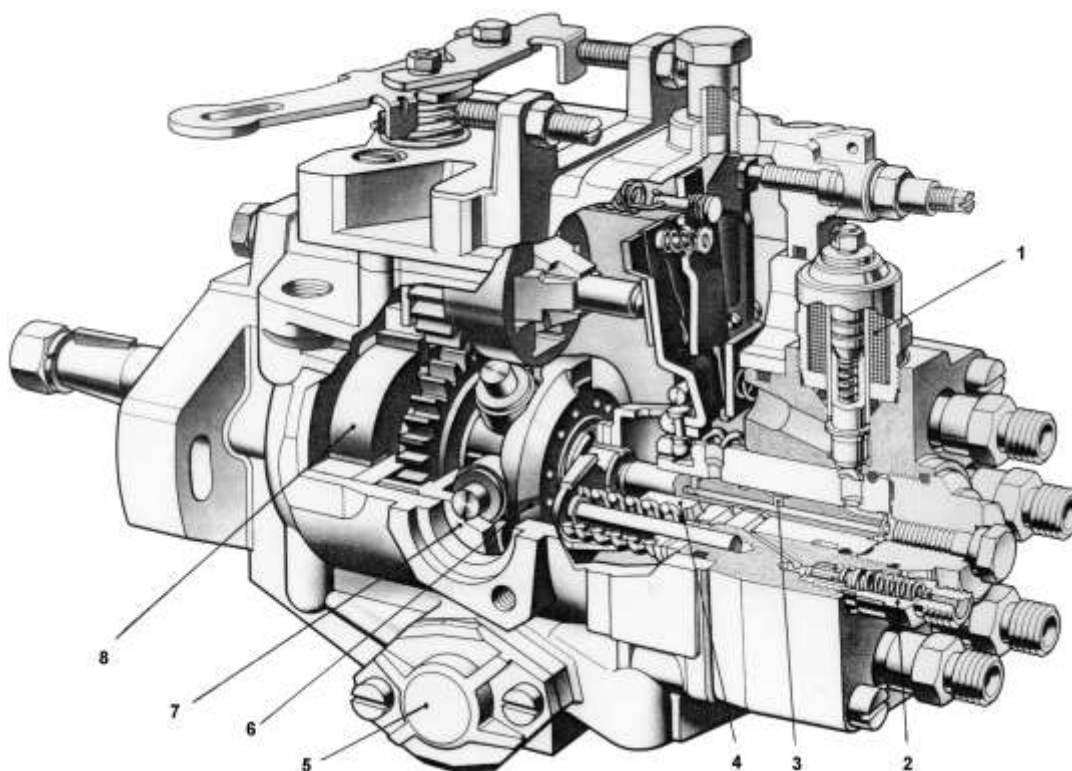


Рис. 1.45. Общий вид ТНВД VE фирмы R.Bosch базовой конструкции с механическим регулятором: 1 - электромагнитный клапан; 2 - штуцер нагнетательного клапана; 3 - выфрезеровка-распределитель; 4 - дозирующая муфта; 5 - автомат регулирования УОВТ; 6 - кулачковая шайба; 7 - обойма с роликами; 8 - ТПН.

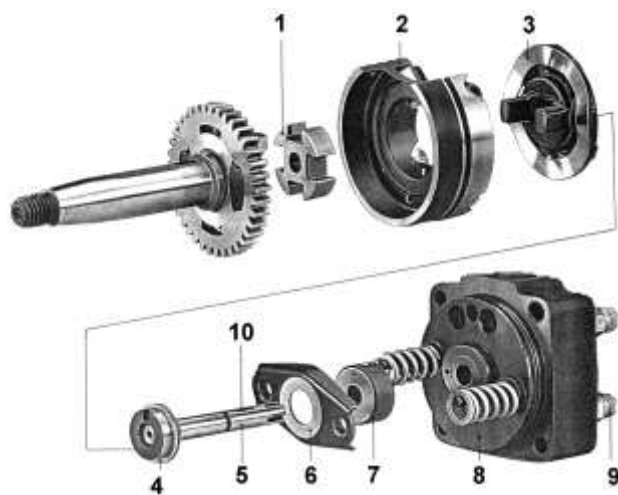


Рис. 1.46. Детали насосной секции ТНВД VE: 1 - муфта; 2 - обойма с роликами; 3 - кулачковая шайба; 4 - хвостовик; 5 - плунжер; 6 - планка; 7 - дозирующая муфта; 8 - пружина; 9 - штуцер; 10 - выфрезеровка-распределитель.

Производство насосов начиналось для вихрекамерных дизелей с максимальным давлением впрыскивания 30...40 МПа. По мере интенсификации топливоподачи изменялась работа нагнетательных клапанов. Вместо традиционного грибового клапана (рис. 1.45) для подавления подвпрыскивания устанавливался комбинированный клапан с реверсивным шариковым клапаном (рис. 1.22, г). Для интенсивного

впрыскивания применен простейший плоский клапан с дросселем для демпфирования гидроудара (рис. 1.22, и). Его применение оправдывается разобщением трубопровода и плунжерной полости распределителем, хотя и не гарантирует равенства остаточного давления давлению подкачки.

На рис. 1.48 показан вычлененный всережимный **регулятор** и разрез ТНВД с пневмокорректором (антидымным корректором). При пуске из-за малых усилий грузов 17 пусковая пружина 12 отклоняет нажимной рычаг 13 максимально влево, т.е. дозирующую муфту 14 – вправо. Это положение соответствует поздней отсечке, максимальной цикловой подаче. С повышением частоты вращения вала регулятора 18 грузы 17 перемещают муфту 7 вправо, следовательно, рычаги 9 и 13, связанные упором - синхронизатором положения рычагов 10, поворачиваются по часовой стрелке, смещая дозирующую муфту 14

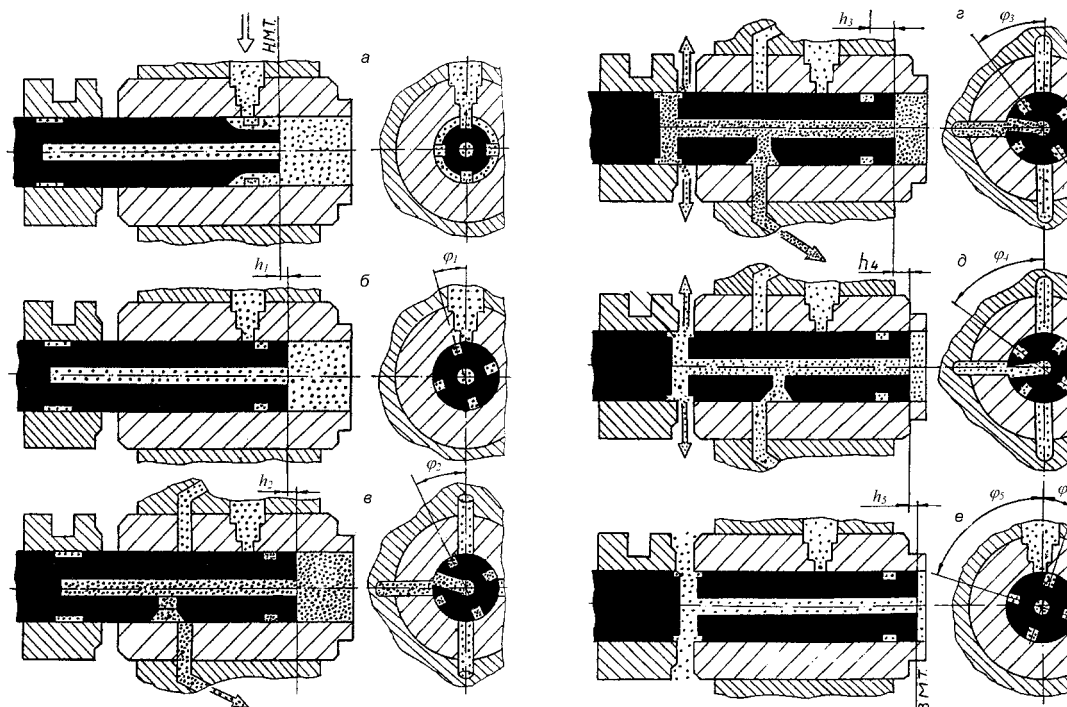


Рис. 1.47. Фазы распределения топлива в ТНВД VE: а - наполнение; б - начало сжатия; в - нагнетание; г - начало отсечки; д - разгрузка трубопровода через плунжер; е - стабилизация давления.

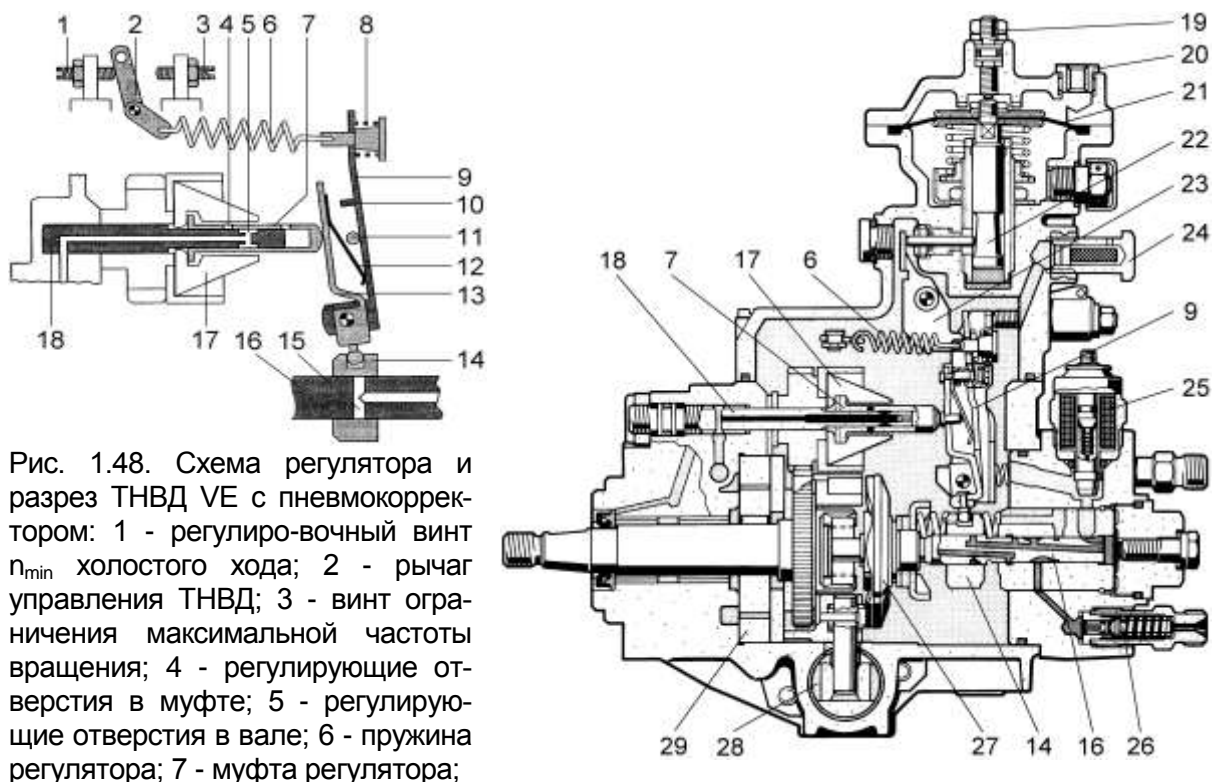


Рис. 1.48. Схема регулятора и разрез ТНВД VE с пневмокорректором: 1 - регулировочный винт n_{\min} холостого хода; 2 - рычаг управления ТНВД; 3 - винт ограничения максимальной частоты вращения; 4 - регулирующие отверстия в муфте; 5 - регулирующие отверстия в вале; 6 - пружина регулятора; 7 - муфта регулятора; 8 - пружина n_{\min} холостого хода; 9 - рычаг регулятора; 10 - синхронизатор положения рычагов; 11 - упор рычага регулятора; 12 - пусковая пружина; 13 - нажимной рычаг; 14 - дозирующая муфта; 15 - отсечные отверстия; 16 - плунжер; 17 - грузы регулятора; 18 - вал регулятора; 19 - регулировочный винт пневмокорректора; 20 - штуцер надувочного воздуха; 21 - мембрана пневмокорректора; 22 - шток; 23 - рычаг пневмокорректора; 24 - сливной штуцер; 25 - электромагнитный клапан; 26 - нагнетательный клапан; 27 - кулачковая шайба; 28 - гидропоршень автомата регулирования УОВТ; 29 - ТПН.

влево (в сторону уменьшения подачи). К тому же результату приведет ослабление натяга пружины 6, вызванное отжатием рычага 2 управления ТНВД со стороны водителя.

Антидымный пневмокорректор предотвращает подачу большого количества топлива при малом давлении наддува: в этом случае диафрагма 21 под действием возвратной пружины находится в верхнем положении, шток 22 своей профилированной частью поворачивает рычаг корректора 23 против часовой стрелке, ограничивая качание рычагов 9 и 13 в сторону больше подачи. Насосы этой серии оснащались большим количеством различных корректоров: прямых, антикорректоров, температуры охлаждающей жидкости, пуска и др. [9].

Автоматический регулятор ТНВД VE включен в линию управления УОВТ. Во-первых, отметим, что в этих насосах, как и во всех современных распределительных ТНВД, УОВТ регулируется гидравлическим сервоприводом, разворачивающим на необходимый угол кулачковую шайбу или ответную деталь. В частности, на рис. 1.49 показано, как в ТНВД VE гидропоршень 7 (или поз. 28 на рис. 1.48) через шток 4 поворачивает кольцо 2, несущее ролики 3, по которым обкатывается торцовая кулачковая шайба (поз. 27 на рис. 1.48).

Положение поршня 7 зависит от баланса сил пружины 9, реактивного момента от впрыскивания и с другой стороны - от давления топлива в полости 6. При повышении давления поршень смещается влево и разворачивает кольцо с роликами по часовой стрелке (на рис. 1.49 - справа). Вал ТНВД в этом случае вращается против часовой стрелки, УОВТ увеличивается. В свою очередь давление подкачки топлива в полости 6 зависит от частоты вращения вала ТНВД, т.к. связано с производительностью ТПН и дополнительно стабилизируется срабатывающим клапаном с жиклером. Так осуществляется регулирование УОВТ по частоте. Кроме того, это давление зависит и от нагрузки на дизель, т.е. от цикловой подачи. Пояснение этому находим опять на рис. 1.48. Чем больше подача, тем более смещена дозирующая муфта 14 вправо, а муфта регулятора 7 - вправо. Тем больше сечение для слива топлива из каналов подкачки: через вал регулятора 18 и, далее, частично перекрывающихся отверстий 4 и 5. Тем ниже давление подкачки и меньше УОВТ.

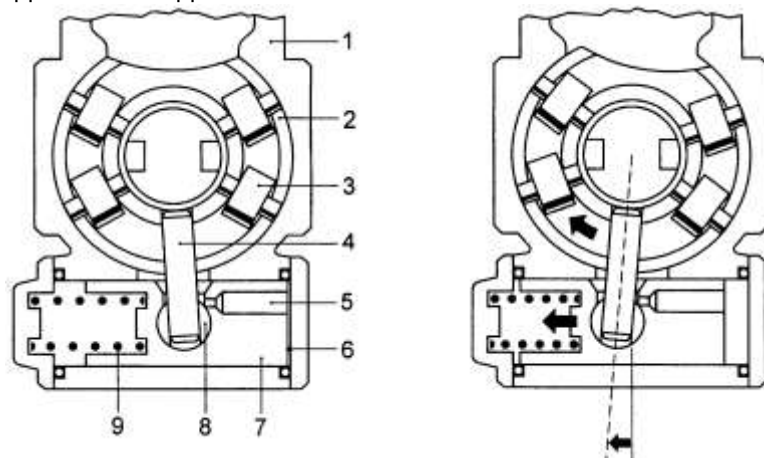


Рис. 1.49. Схема регулирования УОВТ в ТНВД VE: слева-исходное положение, справа - при повышении давления подкачки; 1 - корпус; 2 - кольцо; 3 - ролик; 4 - шток; 5 - канал в поршне; 6 - рабочая полость гидроцилиндра; 7 - поршень; 8 - шарнир; 9 - возвратная пружина.

Насосы VE и модификации с электронным управлением. Электронное управление в ТНВД VE осуществляется более просто ввиду наличия встроенного автомата УОВТ и меньших перестановочных усилий регулирования подачи [9, 27] (рис. 1.50). Оно было внедрено еще в 1984 г. По-прежнему активный ход плунжера 4 регулируется муфтой 6, но она перемещается эксцентриком на валу поворотного пропорционального электромагнита 2 на угол до 60° . Его поворот контролируется датчиком 1, а клапан разрешения работы 3 теперь запитывается от блока управления. Электроуправление введено и в регулятор УОВТ. Теперь давление в гидроцилиндре обуславливается скважностью открытия электроклапана 5 (отношением времени цикла его работы к интервалу между срабатываниями). Этот механизм использован в современных ТНВД фирмы VP-30, VP-37 (рис. 1.51), VP-44, и будет более подробно рассмотрен применительно к ТНВД VP-44.

Номенклатура используемых датчиков, исполнительных механизмов, функции СУ ТА с насосом VE изображена на рис. 1.52. Педаль акселератора водителя является лишь одним из датчиков СУ. Она, по существу, является уже СУ двигателя, регулируя турбонаддув, рециркуляцию ОГ (заслонкой перепуска), пуска и прогрева, а также снижая шум на малых нагрузках (заслонкой на впуске).

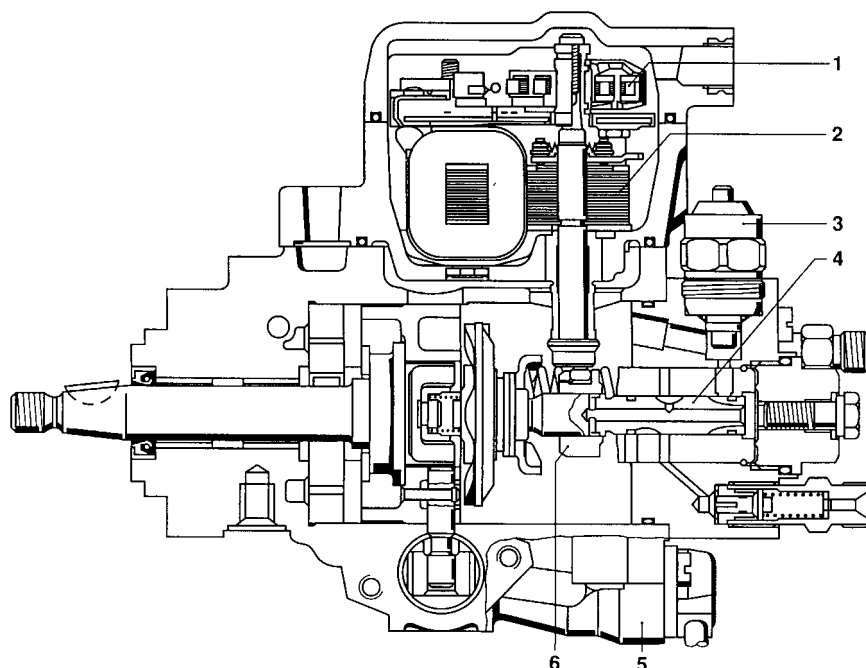


Рис. 1.50. ТНВД VE R.Bosch с электронным управлением: 1 - датчик; 2 - поворотный пропорциональный электромагнит; 3 - электромагнитный клапан; 4 - плунжер; 5 - быстродействующий электроклапан управления УОВТ; 6 - дозирующая муфта.

В более современных системах появились датчики температуры и давления атмосферного и наддувочного воздуха, скорости автомобиля, органов управления сцеплением и тормозами. Некоторые датчики перемещены в ТНВД (на рис. 1.51 диски частоты и углового положения вала - 1 и 2, датчики 3). Электронное управление с ТНВД VE используют японские фирмы Isuzu, Zexel, Nippon Denso.

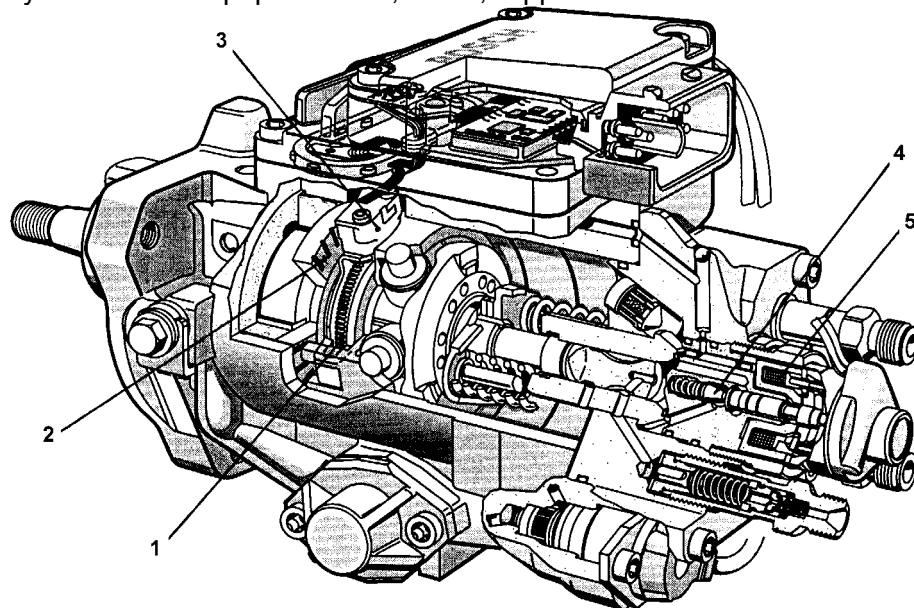


Рис. 1.51. ТНВД VP-30 (VP-37) R.Bosch с электронным управлением: 1 и 2 - диски частоты и углового положения вала; 3 - датчики; 4 - золотник; 5 - быстродействующий электромагнитный привод золотника.

Дальнейшее развитие ТНВД VE связано с переходом на систему регулирования цикловой подачи с помощью клапана - золотника 4, управляемого быстродействующим электромагнитным приводом 5 (рис. 1.51). Замена им регулирующей муфты плунжера удешевило производство прецизионных механических элементов, позволило индивидуализировать подачу по цилиндрам и даже осуществлять двухфазную подачу. Такие ТНВД фирма выпускает под марками VP-37 для ряда европейских автомобилей и VP-30 - для Ford Focus и Ford Duratorq мощностью 55 и 66 кВт.

На дизеле 1,8 - I-Endura-DI автомобиля Ford Focus TA с ТНВД VP-30, трубопроводами $\varnothing 1,6 \times 360$ мм, форсунками Lucas Varity с соплами $5 \times 0,176$ мм обеспечила давление над плунжером 80 МПа, впрыскивания - 125 МПа, в то время как ближайший вариант ТНВД VP-37 обеспечивал соответственно 72 и 97 МПа. В результате были достигнуты выбросы вредных веществ уровня Euro-III, расход топлива на автомобиле полной массой 1250 кг по шоссе и в европейском городском цикле - 3,9 и 4,9 литров на 100 км соответственно.

Точное регулирование начала впрыскивания и его продолжительности достигается использованием встроенного в насос датчика 3 (рис. 1.51) положения вала. Это дает возможность отказаться от использования датчика подъема иглы первой форсунки, хотя такой контроль УОВТ менее точен (рис. 1.52, 1.72).

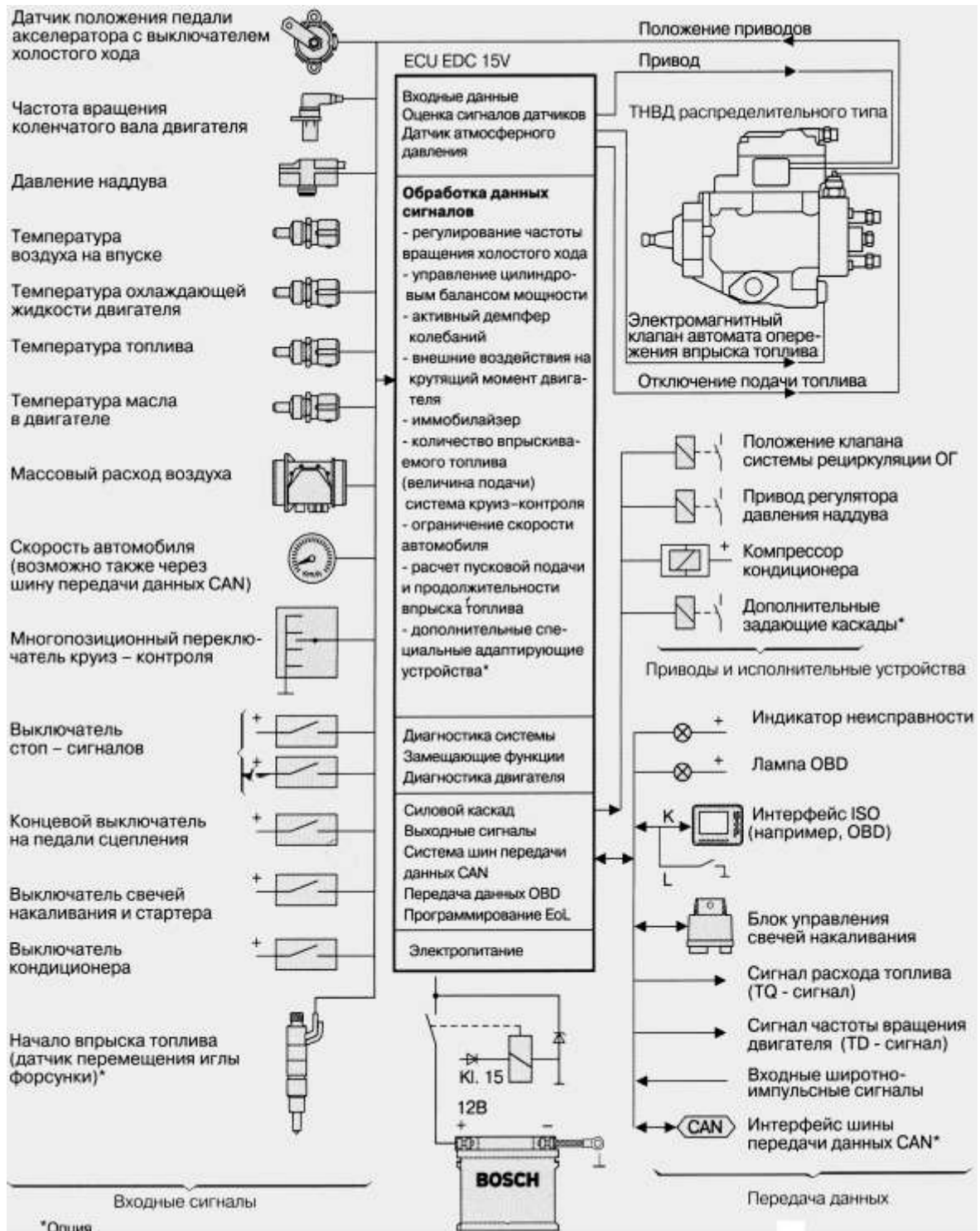


Рис. 1.52. Схема электронного управления дизеля легкового автомобиля с ТНВД VE-EDC [13].

Максимальное давление впрыскивания, достигаемое с помощью ТНВД VP-30 выше – до 150 МПа. Однако ресурсы этой конструктивной схемы по напряжениям в сложном кулачковом приводе практически исчерпаны, на этом совершенствование ТНВД VE фирма R.Bosch, в основном, закончила.

Роторные механические ТНВД реализуют конструктивную схему, изображенную на рис. 1.53. Соосный с приводным валом ротор 2 заключает в себе противоположно движущиеся плунжеры 4, сходящиеся за счет набегания их роликов 3 на радиальные выступы окружающей ротор фигурной шайбы 1. При расхождении плунжеров плунжерная полость каналами 5 сообщена с ЛНД, при схождении – через распределитель 6 с одной из форсунок через каналы 7.

Роторные насосы выпускали фирмы Lucas (Великобритания), Sigma (Франция), Stanadyne (США). Последняя начала их производство в 1950 г. Некоторые из них зарекомендовали себя как самые простые и дешевые, например серии DPA фирмы Lucas (рис. 1.54).

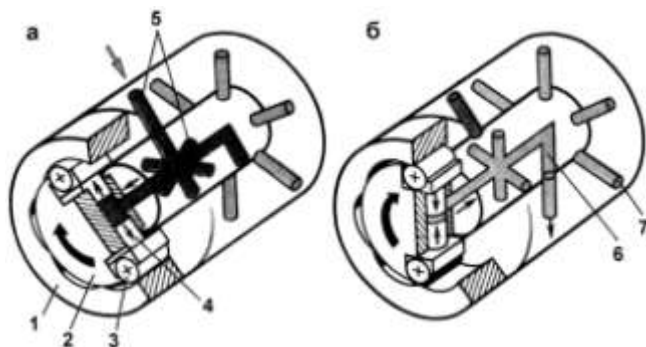


Рис. 1.53. Схема работы роторного распределительного ТНВД: а - такт наполнения; б - такт нагнетания.

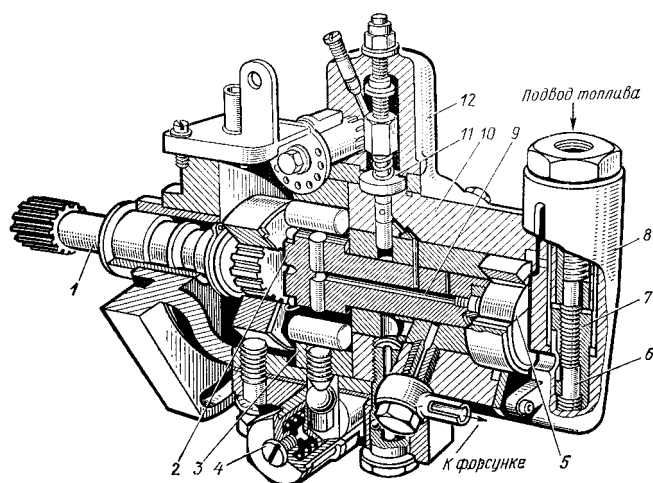


Рис. 1.54. Простейший роторный ТНВД серии DPA Lucas: 1 - вал; 2 - ротор; 3 - кулачковая шайба; 4 - автомат УОВТ; 5 - ТПН; 6 - клапан регулирования подкачки; 7 - втулка клапана; 8 - фильтр; 9 - канал наполнения и подачи; 10 - головка насоса; 11 - дозирующий золотник; 12 - гидравлический регулятор.

последних моделях дизелей Opel Ecotec, Opel Astra, Audi V6 - TDI, Ford-Duratorq, BMW M47D, Daimler-Chrysler E290. При $n=4200 \text{ мин}^{-1}$ давление нагнетания в ТНВД достигает 100 МПа, а давление в форсунках - 130...150 МПа и даже 175 МПа (BMW) или 185 МПа (Audi). Наибольшее достигнутое с этим ТНВД $P_{впр}=205 \text{ МПа}$. При $n=1000 \text{ мин}^{-1}$ давления нагнетания и впрыскивания близки к 50 МПа.

Схема топливной системы с этим ТНВД представлена на рис. 1.55. Особенностью ТА является схема ее управления, включенная в СУ дизелем. Электронный блок состоит из двух блоков, в частности окончательные каскады питания электромагнитов располагаются на корпусе ТНВД.

Гидравлический регулятор представлял собой регулирующий золотник на линии всасывания в плунжерную полость. Его введение значительно удешевляло агрегат, но вместо неравномерности механического регулятора на номинальном режиме и холостом ходу 7,5 и 16,6%, гидравлический обеспечивал соответственно 17,2 и 29%.

Традиционно в роторных насосах соосно приводному валу размещается роторно-лопастной ТПН, механический автоматический регулятор снабжается собственным валом, имеется автомат управления УОВТ. Нагнетательных клапанов может быть по числу цилиндров или один (как в ТНВД DPA). Последнее обеспечивает большую равномерность параметров подачи по цилиндрам. Изменение g_c осуществляется дросселированием топлива на впуске или полным ходом плунжеров. Роторные ТНВД обслуживают дизели с числом цилиндров от 2 до 8. Большинство современных роторных ТНВД отличаются достаточной сложностью, но высокими энергетическими параметрами. Подробнее познакомимся с роторными насосами на примере современных конструкций с электронным управлением.

Роторный насос VP-44 фирмы R.Bosch. Наиболее современным вариантом распределительных насосов фирмы R.Bosch является модель VP-44 [9, 27]. Она использована на по-

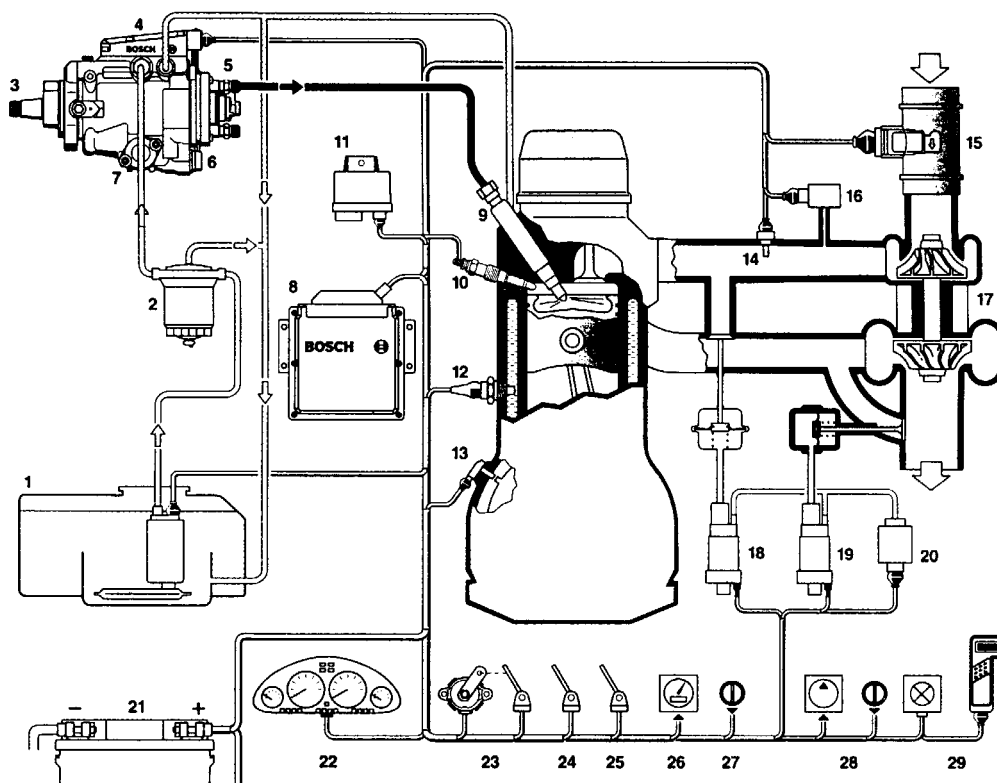


Рис. 1.55. Топливная система с ТНВД VP-44: 1 - бак, фильтр, элетрический ТПН; 2 - фильтр тонкой очистки; 3 - ТНВД VP-44; 4 - блок управления ТНВД; 5 - нагнетательные клапаны; 6 - электроклапан управления УОВТ; 7 - гидропривод регулирования УОВТ; 8 - центральный блок управления; 9 - форсунка; 10 - пусковая свеча накаливания; 11 - реле све-

чи; 12 - датчик температуры жидкости; 13 - датчик положения колен. вала; 14 - датчик температуры воздуха; 15 - расходомер воздуха; 16 - датчик давления воздуха; 17 - турбокомпрессор; 18 - регулятор рециркуляции газов; 19 - регулятор давления наддува; 20 - компрессор; 21 - электроаккумулятор; 22 - панель приборов; 23 - педаль акселератора; 24, 25 - датчики трансмиссии, агрегатов и др.; 26 - датчик скорости; 27 - регулятор скорости; 28 - компрессор и регулятор кондиционера; 29 - лампа самодиагностики и разъем для электронного мотор-тестера.

Рассмотрим устройство ТНВД: его разрез изображен на рис. 1.56, функциональные схемы

насоса - на рис. 1.57.

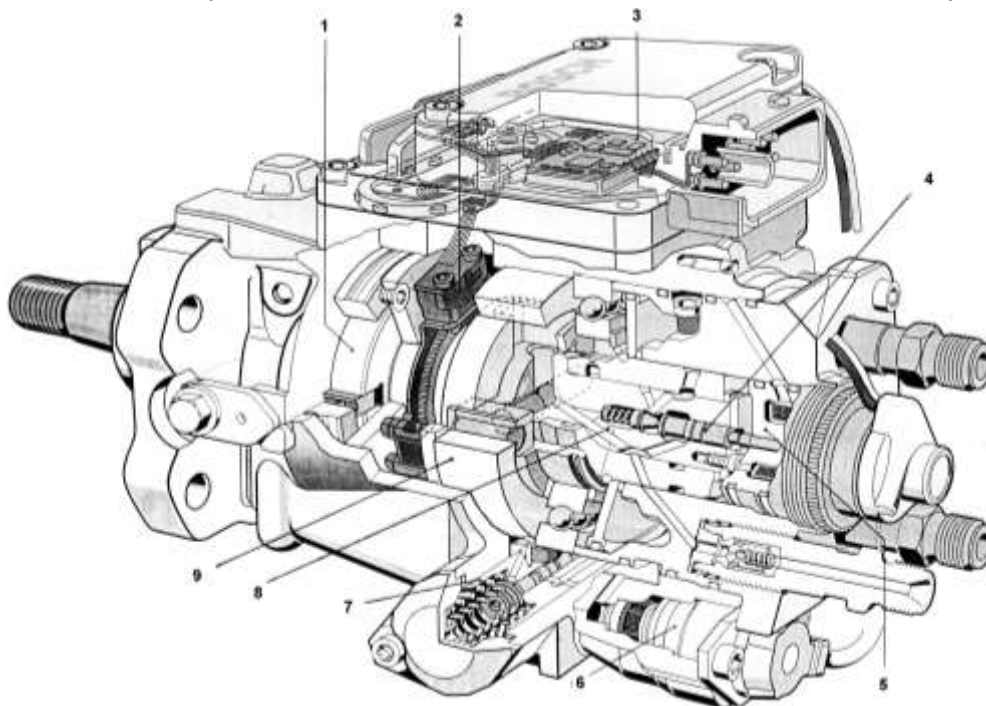


Рис. 1.56. ТНВД VP-44:

1 - ТПН; 2 - датчик частоты и положения вала; 3 - блок управления; 4 - золотник; 5 - электромагнит подачи; 6 - электромагнит УОВТ; 7 - гидропривод УОВТ; 8 - ротор; 9 - кулачковая шайба.

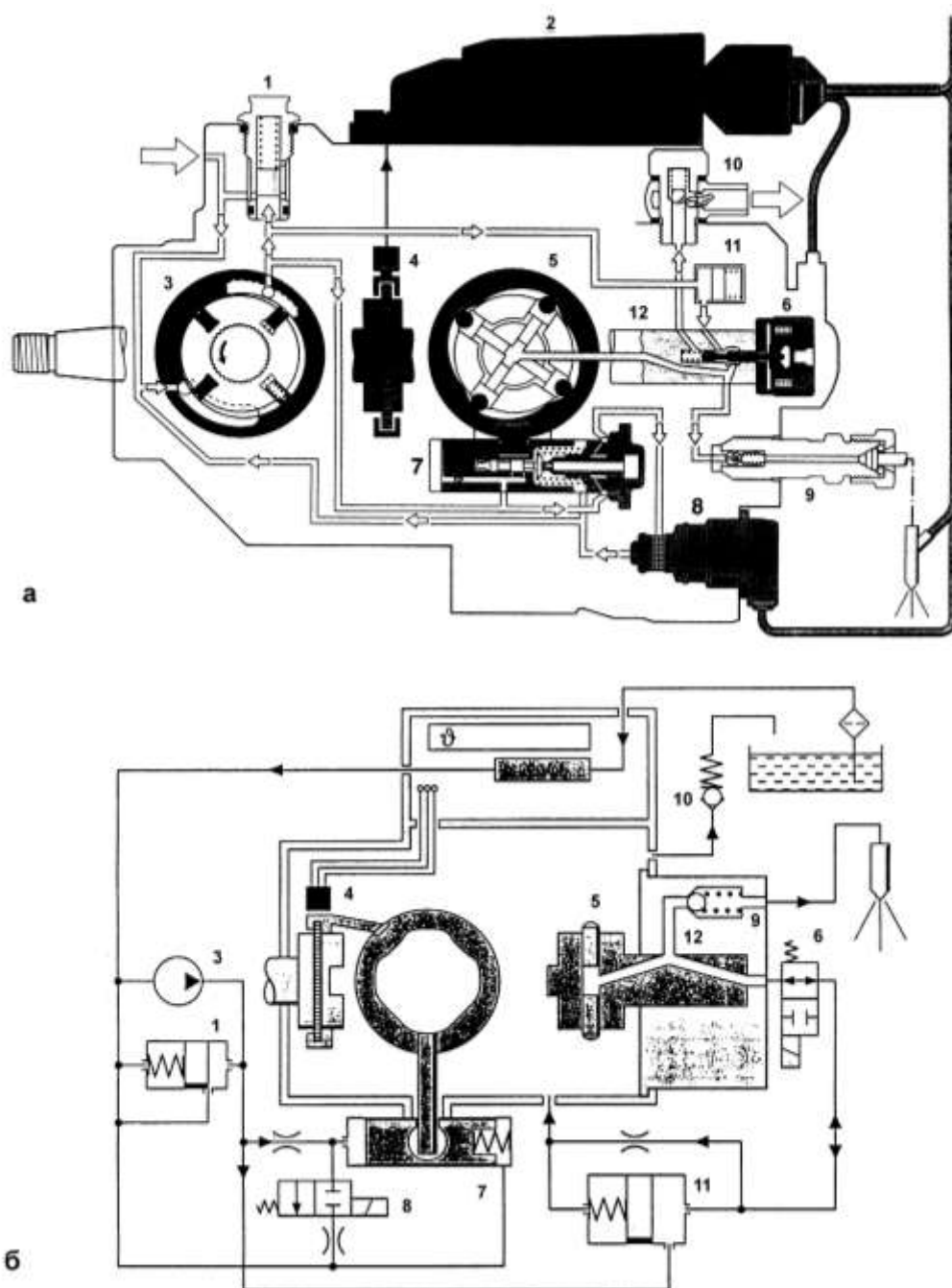


Рис. 1.57. Узловая (а) и электрогидравлическая (б) схемы ТНВД VP-44: 1 - регулятор давления подкачки; 2 - блок управления ТНВД; 3 - ТПН; 4 - датчик частоты и положения вала; 5 - насосная секция; 6 - электроклапан управления $g_{ц}$; 7 - гидропривод управления УОВТ; 8 - электроклапан управления УОВТ; 9 - нагнетательный клапан; 10 - дренажный клапан; 11 - поршневой демпфер; 12 - ротор-распределитель

Вал насоса и ротор разгружены от осевых усилий и вращаются в шариковых подшипниках. Роторно-лопастной ТПН 1 (рис. 1.56) в отличие от ранее используемых, имеет 4 отдельные, а не 2 целые подпружиненные пластины, что повышает его ресурс.

Соосно приводному валу и ТПН располагаются датчик 2 частоты и положения вала (рис. 1.56), насосная секция, выполненная заодно с ротором 8, имеющим канал-распределитель, электромагнит 5 управления подачей с золотником. Соответственно на рис. 1.57, а - поз. 4, 5, 12, 6. Регулятор 1 (рис. 1.57, а) с дренажным клапаном 10 поддерживают постоянное давление подкачки. Поршневой демпфер 11 не препятствует этому, гася интенсивные волны давления при нагнетании топлива плунжерами при открытом золотнике. Следящий гидропривод 7 кулачковой шайбы изменяет УОВТ в соответствии с давлением топлива, регулируемым электроклапаном 8 управления УОВТ.

Появление роторного распределительного ТНВД R.Bosch было обусловлено тенденцией повышения давления впрыскивания. Как и во всех последних ТНВД других фирм, здесь используется 4 плунжера: они обеспечивают малый мертвый объем и за счет снижения диаметра уменьшают контактные напряжения на кулачковой шайбе. Используются плунжеры $\varnothing 6,5...7$ мм, более пологий профиль кулачковой шайбы (рис. 1.57,а) соответствует наполнению через открытый золотник 6, более крутой - впрыскиванию.

Кулачковая шайба 9 (рис. 1.56) за поводок может разворачиваться в корпусе **для регулирования УОВТ**. Его пределы заметно шире ранее применявшихся: до 20° по валу ТНВД. Ввиду значительности давлений подачи и необходимых усилий для разворота кулачковой шайбы управляющий электроклапан 8 (рис. 1.57) воздействует на гидропривод 7 с гидроусилителем.

Более детально механизм регулирования УОВТ рассмотрен на рис. 1.58. Электроклапан по команде СУ, включаясь с изменяемой скважностью (отношением периода включения к длительности сигнала), регулирует слив из управляющей полости 1 и, следовательно, давление в ней. Такой метод регулирования называют широтно-полосной модуляцией. При повышении давления поршень 2 перемещается вправо. Тогда выполненный заодно с ним золотник 4 открывает канал 5 и из каналов 3 топливо повышенного давления заполняет рабочую полость 7, а сервопоршень 6 перемещается вправо. Поэтому такой привод иногда называют следящим.

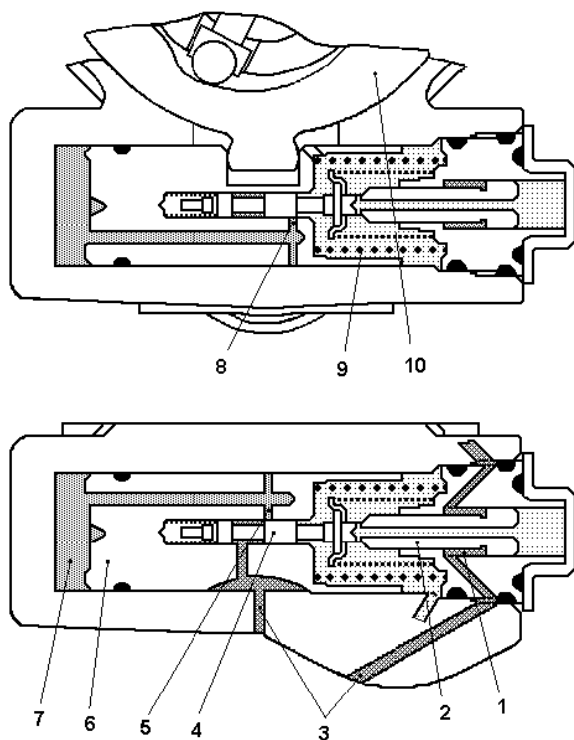


Рис. 1.58. Гидропривод поворота кулачковой шайбы (две проекции): 1 - управляющая полость; 2 - управляющий поршень; 3 - напорные каналы; 4 - управляющий золотник; 5 - напорный канал золотника; 6 - сервопоршень; 7 - рабочая полость; 8 - сливной канал золотника; 9 - полость низкого давления; 10 - кулачковая шайба.

При уменьшении управляющего давления в полости 1 золотник 4 перемещается влево, открывая канал 8 и сообщая рабочую полость 7 с полостью 9 низкого давления. Перемещение золотника и сервопоршня влево обязано возвратным пружинам. Движение сервопоршня обуславливает разворот кулачковой шайбы 10 и изменение УОВТ. Необходимость в использовании гидроусиления обуславливается не только значительностью усилия реакции кулачковой шайбы, но и его импульсностью. Во время подачи топлива при смещении шайбой сервопоршня влево, возникает отрицательная обратная связь по давлению в полости 7 (рис. 1.58) в результате увеличения сечения 5 ее подпитки и уменьшения сечения 8 слива топлива. Таким образом, минимизируются колебания шайбы и стабилизируются показатели впрыскивания.

Рассмотрим **регулирование подачи** с помощью золотника 4 (рис. 1.59). При наполнении плунжерной полости (рис. 1.59, а) распределитель 13 - заглушен, якорь с золотником 4 втянут в электромагнит 7, обеспечивая проход топлива в плунжерную полость по каналам 12, 9, 13, 8 (по направлению течения топлива). При схождении плунжеров (рис. 1.59, б) топливо от них по каналу 8, распределителю 13, каналу 14, нагнетательный клапан 15 поступает к одной из форсунок. Однако при схождении плунжеров золотник может открывать путь топливу обратно на впуск (на рис. 1.59 не показано). При его закрытии начинается подача, при открытии - заканчивается. Возможна двухфазная подача (зальная порция - до $1,5 \text{ мм}^3$). Несмотря на возможность регулирования УОВТ фазой за-

крытия золотника, эта возможность не используется. Фаза впрыскивания выбирается такой, чтобы использовать для подачи максимальную скорость плунжера.

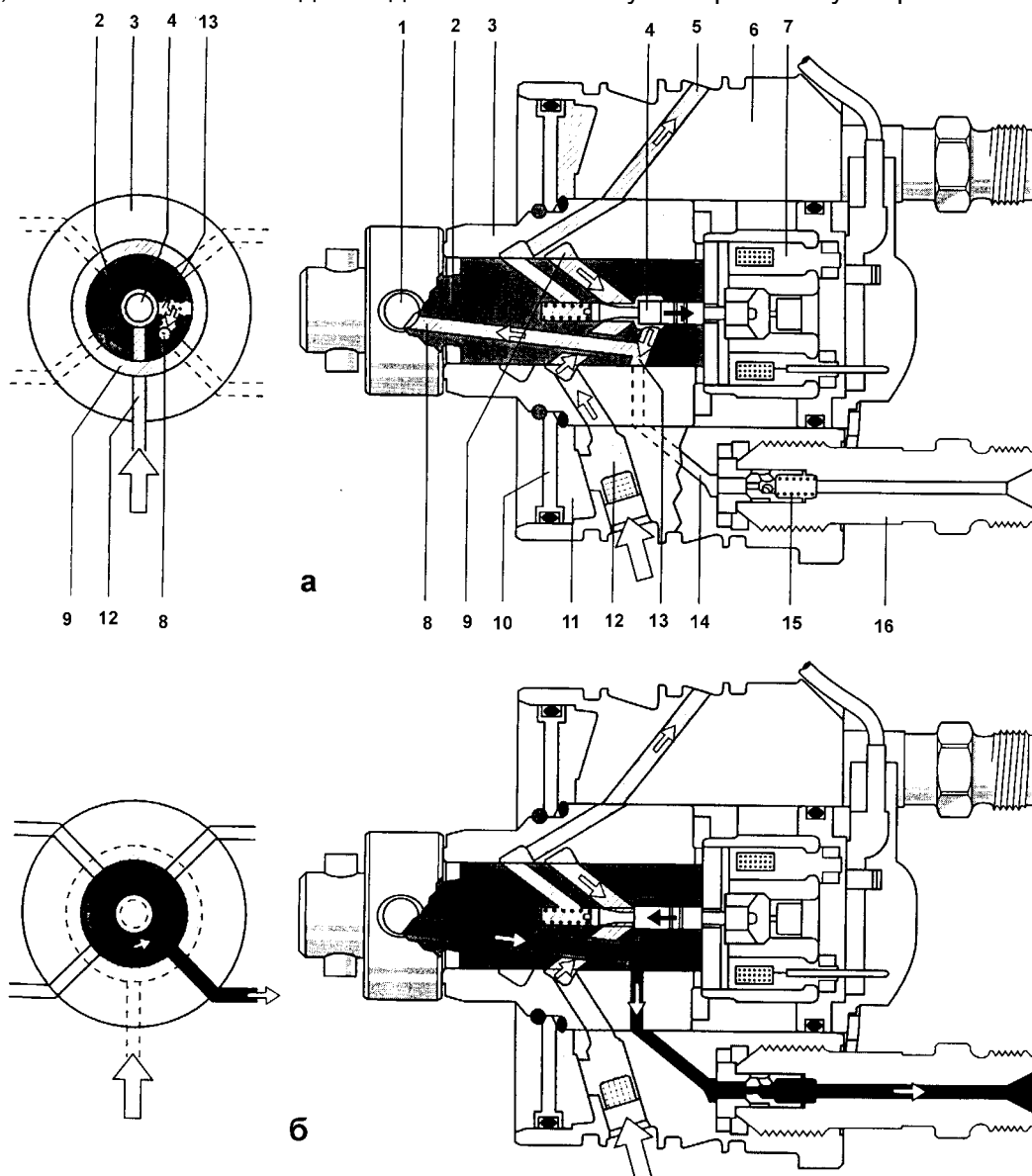


Рис. 1.59. Работа насосной секции и регулирование подачи: а - наполнение; б - нагнетание; 1 - плунжер; 2 - ротор; 3 - втулка ротора; 4 - золотник; 5 - канал слива; 6 - головка ТНВД; 7 - электромагнит управления $d_{ц}$; 8 - канал плунжерной полости; 9 - канавка для впуска топлива; 10 - разделительная перегородка полостей подкачки и слива; 11, 12 - впускная полость; 13 - канал-распределитель; 14 - нагнетательный канал; 15 - нагнетательный клапан; 16 - штуцер.

Состав СУ иллюстрируется рис. 1.55 и 1.57, б. В числе исполнительных механизмов СУ, встроенных в ТНВД - два выше описанных клапана с электромагнитным приводом. В числе встроенных датчиков - индукционный датчик (2 на рис. 1.56) взаимодействует с прецизионным диском, который должен был иметь 120 зубцов. Однако, 4 из них для 4 - цилиндрического дизеля удалены. Таким образом, датчик дает сигналы о мгновенной частоте вращения вала и грубый сигнал о положении вала. Последнее может использоваться для фазирования впрыскивания при работе по резервной программе управления. Более точно, с ошибкой менее 1% по коленчатому валу, фазу впрыскивания определяют по сигналу датчика 13 (рис. 1.55). Усиление сигнала с датчика угла в насосе (4 на рис. 1.57) обеспечивают расположенные в перпендикулярной плоскости два постоянных подковообразных магнита.

Система EPIC фирмы Lucas с роторным ТНВД – наиболее совершенная, сложная и оригинальная система с электронным управлением фирмы Lucas (EPIC - Electronically Programmed

Injection Control). Она разработана фирмой (с 2001 г британская фирма Lucas CAV преобразована в Delphi) в конце 70-х годов и изначально нацеливалась на снижение эмиссии ВВ. Она применяется на легковых автомобилях, микроавтобусах и вседорожниках с числом цилиндров 3,4 и 6 и рабочим объемом одного цилиндра менее 0,75 л. На дизелях с открытой камерой сгорания система появилась с 1987 г. (2,5 - литровый четырехцилиндровый дизель Ford Transit).

Система управления собирает информацию от датчиков давления наддува, температуры воздуха, температуры охлаждающей жидкости, частоты и положения коленчатого вала, положения педаль акселератора, педали торможения, положения клапана рециркуляции, скорости автомобиля, хода иглы, встроенных в ТНВД датчиков положения регулирующих элементов подачи и кулачковой шайбы, температуры топлива, частоты вала и положения вала ТНВД.

СУ включает два процессора со скоростью работы в 250 операций в секунду, один из которых управляет работой дизеля по заложенным многомерным характеристикам, а другой следит за работой первого. СУ выполняет следующие функции [9]:

- управление УОВТ: он оптимизируется в зависимости от различных условий работы и записывается в память. УОВТ и частота холостого хода плавно повышаются при снижении температуры охлаждающей жидкости. Управление УОВТ решающим образом влияет на эмиссию ВВ и надежность пуска;

- адаптивное управление подачей по цилиндрам в соответствии с неравномерностью допусков, износом цилиндров и ТА. Так, при $n=750 \text{ мин}^{-1}$ до введения индивидуального дозирования подач колебания частоты составляли $12,5 \text{ мин}^{-1}$, а после введения были снижены до $2,5 \text{ мин}^{-1}$. В результате обеспечена устойчивость, снижены частота вращения, шум, вибрации;

- управление наддувом для снижения выбросов ВВ осуществляется по трем каналам: изменением геометрии проточной части, управлением клапаном байпаса охладителя, регулированием рециркуляцией ОГ;

- управление рециркуляцией ОГ в функции частоты вращения вала, температуры и нагрузки дизеля, при температуре охлаждающей жидкости $60...110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и $n < 3500 \text{ мин}^{-1}$;

- обеспечение быстрого бездымного разгона автомобиля за счет алгоритма управления, допускающего кратковременный форсаж дизеля. Двухэтапное увеличение цикловой подачи обеспечивает отсутствие колебаний от первого этапа наброса нагрузки. На режиме принудительного холостого хода при $n > 1500 \text{ мин}^{-1}$ подача топлива в цилиндры прекращается;

- предпусковая подготовка и прогрев после пуска при повышенной частоте вала. Чем выше температура воздуха, тем меньше пусковая подача;

- круиз-контроль (поддержание скорости автомобиля); взаимодействие с системами автомобиля (с антиблокировочной и антипробуксовочной, автоматической трансмиссией, кондиционированием, антиугонным устройством и т.д.);

- самодиагностика СУ и контроль показателей периферийных устройств, контрольные лампы на щитке по серьезным неисправностям и диагностический разъем для работы с электронными мотор-тестерами. Все основные команды контролируются на выполнение, в случае неисправности включается аварийная программа управления, например, сигнал датчика частоты вала замещается сигналом хода иглы.

Для высокооборотных дизелей системы EPIC выпускаются в двух основных модификациях. Для дизелей с открытой камерой - EPIC-80 – имеет диаметр кулачковой шайбы 80 мм, 4 плунжера, обеспечивает $P_{впр}^{max}=95 \text{ МПа}$. Для предкамерных дизелей EPIC-70 соответственно: 70 мм, 2 плунжера, 35 МПа.

Общий вид ТНВД систем EPIC представлен на рис. 1.60. Его корпус закрепляется на двигателе с помощью средних опор 17 и переднего адаптера 28, допускающих поворот ТНВД вокруг оси для предварительной установки УОВТ. Приводной вал 27 на подшипниках 26 и 20 приводит во вращение роторно-лопастной ТПН с четырьмя подпружиненными лопастями. Они обеспечивают уже при пусковой частоте коленчатого вала 180 мин^{-1} давление подкачки 0,3 МПа, а свыше 500 мин^{-1} - 0,8...0,9 МПа. Вал несет перфорированное кольцо 21 для измерения датчиком 19 положения вала. Вал заканчивается клиновыми захватами, приводящими во вращение соосно расположенный далее по длине насоса ротор 11. Это сопряжение изображено на рис. 1.61. Ротор снабжен прецизионными отверстиями под два или четыре плунжера 18 и пазы под роликовые толкатели 24. Их ро-

лики обкатывают внутренний профиль кулачковой шайбы 16, которая заставляет их сходиться для нагнетания топлива. Ротор снабжен тремя продольными разгружающими пазами (из них на рис. 1.60 видны два спаренных). Кроме того, ротор имеет продольный паз-распределитель (на рис. 1.60 показан пунктиром). Только последний сообщен с плунжерной полостью. Так, при схождении плунжеров распределитель сообщается с одним из нагнетательных клапанов 15, а при расхождении - с наполнительными каналами втулки ротора (этом момент зафиксирован на рис. 1.60). В верхней части ТНВД располагаются электромагниты управления 4, 5, 7, 10 и механизм 2 поворота кулачковой шайбы для изменения УОВТ.

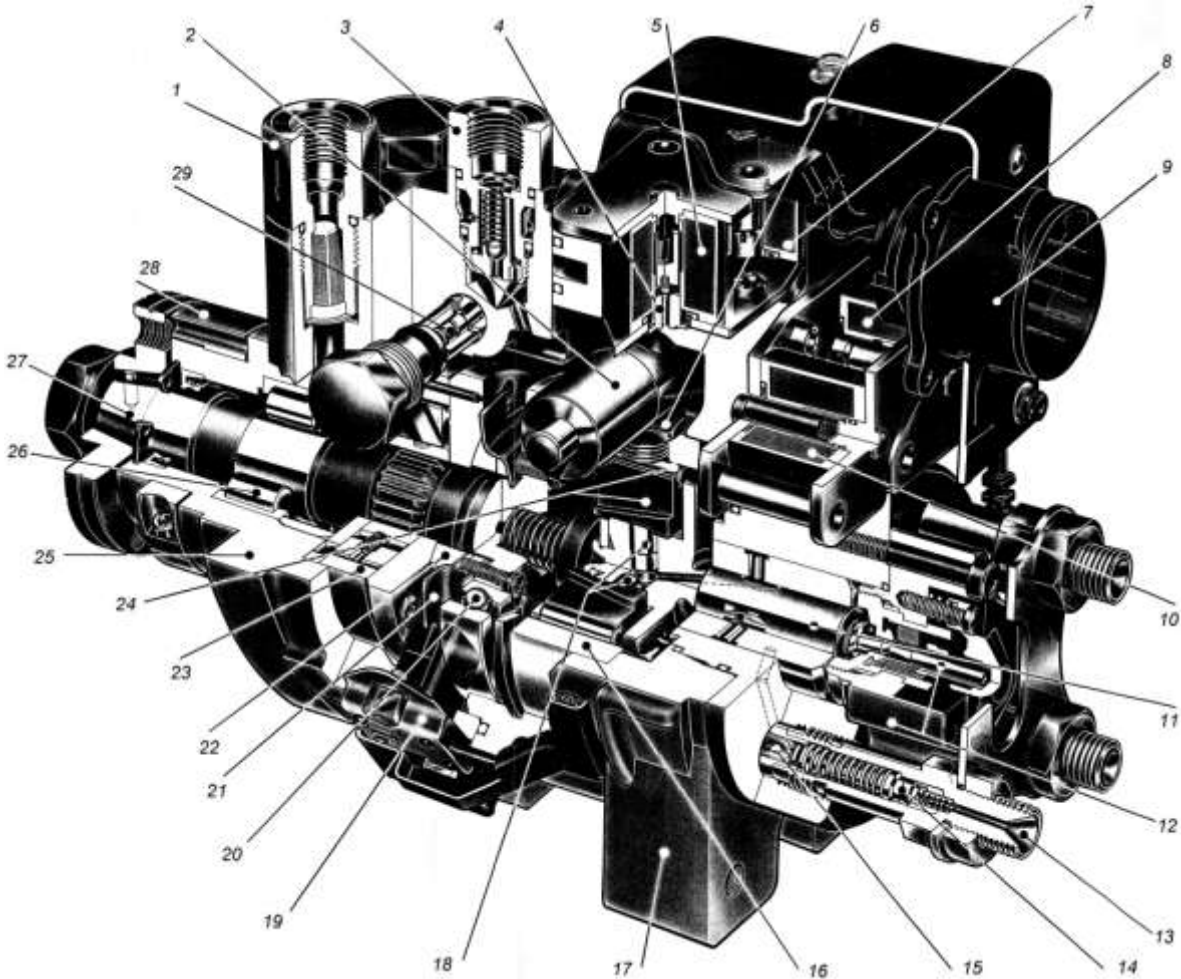


Рис. 1.60. Общий вид ТНВД EPIC-80: 1 - штуцер подвода топлива; 2 - сервопоршень регулирования УОВТ; 3 - штуцер слива; 4 - седло шарикового клапана; 5 - актюатор УОВТ; 6 - болт-поводок кулачковой шайбы; 7 - актюатор дренажа управления ротором; 8 - актюатор подачи управления ротором; 9 - разъем; 10 - электромагнит прерывания ТП; 11 - ротор; 12 - датчик осевого положения ротора; 13 - нагнетательный штуцер; 14 - демпфирующий клапан; 15 - нагнетательный клапан; 16 - кулачковая шайба; 17 - средняя опора; 18 - плунжеры; 19 - датчик углового положения вала; 20 - внешний шариковый подшипник; 21 - кольцо измерения частоты вала; 22 - внутреннее кольцо сферической опоры; 23 - роторно-лопастной ТПН; 24 - ролик кулачковой шайбы с толкателем; 25 - корпус привода; 26 - передний подшипник; 27 - приводной вал; 28 - адаптер регулировки УОВТ; 29 - регулятор давления подкачки.

Совершенно оригинальным решением в ТНВД EPIC является **механизм регулирования цикловой подачи** (рис. 1.61). Он продолжает традиции фирмы Lucas, использующей для регулирования подачи изменение полного хода плунжеров. Если максимальное схождение плунжеров определяется расстоянием между противоположными вершинами кулачковой шайбы с внутренним профилем (рис. 2.46), то расхождение плунжеров, в отличие, от немецких и большинства американских насосов, ограничивается через толкатели клиновыми захватами 30 приводного вала (рис. 1.61). Ротор 11 в период между подачами может перемешаться в осевом направлении. Тогда благодаря клиновидной форме

захватов и сопряженных с ними скосов 32 на толкателях 24 расхождение плунжеров меняется, а, следовательно, меняется наполнение плунжерной полости и цикловая подача.

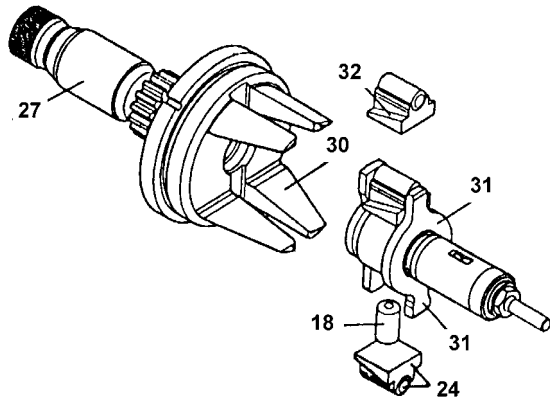


Рис. 1.61. Механизм привода и регулирования цикловой подачи - позиции рис. 1.60 и дополнительно: 30 - клиновые захваты; 31 - выступы; 32 - скос на толкателе.

Механизм управления осевым положением ротора (т.е. цикловой подачей) удобно рассмотреть на гидромеханических схемах на рис. 1.62. Топливо через входной штуцер поступает к ТПН, давление подкачки стабилизируется регулятором 29 (позиции на рис. 1.60-2.62 унифицированы), и поступает к шариковому клапану актюатора 8 подачи СУ положением ротора. При его открытии топливо поступает в торцевую полость ротора, повышая давление в ней. С другой стороны давление из нее сбрасывается шариковым клапаном актюатора 7 дренажа в корпус ТНВД, находящийся под давлением, несколько превышающем атмосферное. Нормально открытые клапаны актюаторов 7 и 8 на короткое время попеременно

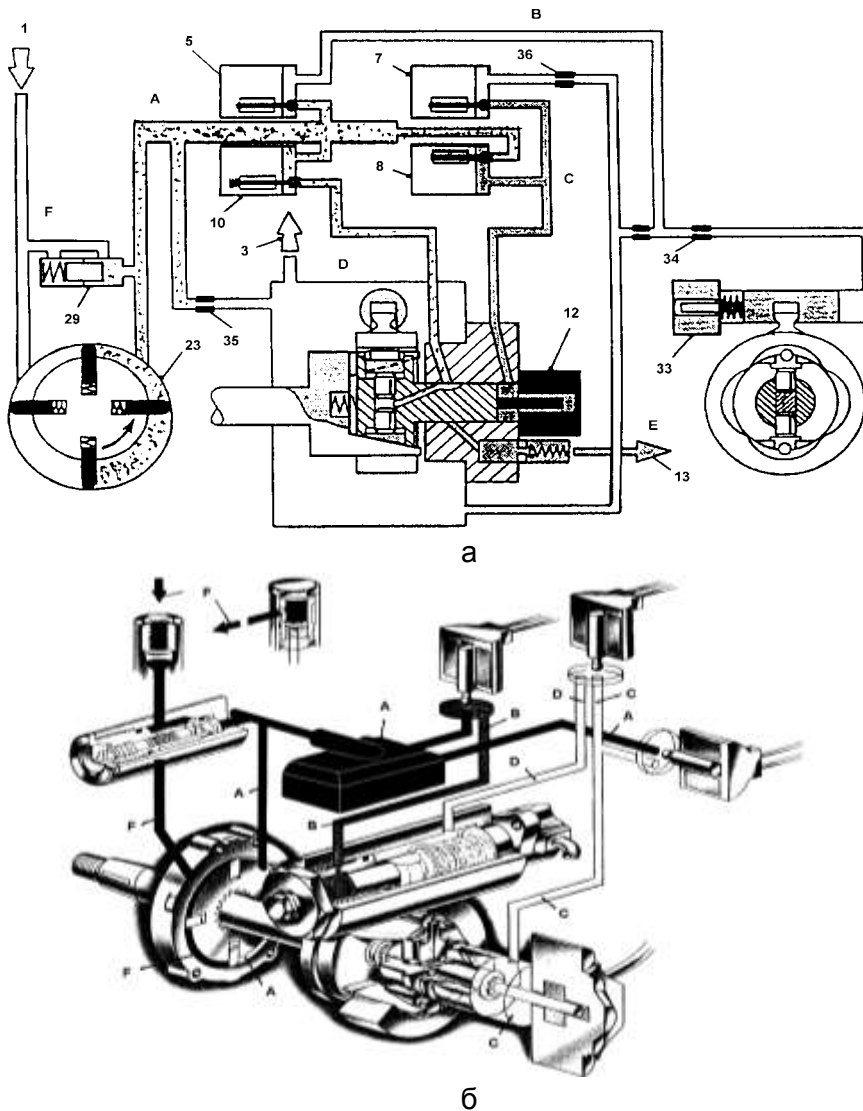


Рис. 1.62. Гидромеханические схемы управления подачей и УОВТ в ТНВД ЕРІС: Позиции - на рис. 1.61., дополнительно: 33 - датчик положения сервопоршня; 34 - жиклер стабилизации УОВТ; 35 - жиклер стабилизации сервопоршня от нагнетания топлива; 36 - жиклер стабилизации положения ротора. Характерные давления в ТНВД: А - подкачки; В - управления УОВТ; С - управления положением ротора; D - низкое корпуса ТНВД; E - нагнетания; F - входа в ТНВД и слива.

закрываются по командам блока управления, обеспечивая необходимое давление у торца ротора. Его изменение обусловлено скажностью включения того или иного актюатора (метод широтно-полосной модуляции). Для снижения пульсаций давления в канале дренажа имеется жиклер (рис. 1.62, а). Баланс силы от давления и противодействия возвратной

пружины между приводным валом и ротором, обуславливает его устойчивое положение. Перемещение ротора осуществляется только в периоды между впрыскиваниями.

В рабочей области перемещений ротора 2,5 мм (при геометрическом 4 мм) обеспечивается строгая линейность между перемещением и цикловой подачей. Крайнее внутреннее положение ротора соответствует минимальной подаче, а полностью ее отключает электромагнит 10 (рис. 1.60), перекрывая подвод топлива к плунжерам. Он используется для остановки дизеля и включен в противоугонную систему.

Обратная связь по подаче в СУ осуществляется с помощью датчика 12 осевого положения ротора и обеспечивает межцикловую стабильность и точность заданной (равномерной или индивидуальной) подачи по цилиндрам. При нормально отрегулированных форсунках неравномерность подачи по цилиндрам составляет $0,5 \text{ мм}^3$ в интервале подач $10...50 \text{ мм}^3$.

На холостом ходу система EPIC обеспечивает индивидуальную подачу по цилиндрам, поэтому за один оборот вала ТНВД СУ подачей и положением ротора успевает перенастроиться для каждого цилиндра. В то же время переход от минимальной подачи к максимальной искусственно демпфируется на период до 0,1 с. Датчик положения коленчатого вала с четырьмя метками (для 4 - цилиндрического дизеля) позволяет оперативно диагностировать вырабатываемую каждым цилиндром мощность и корректировать цикловую подачу, добываясь баланса мощности по цилиндрам.

Механизм управления УОВТ особенно необходим ввиду регулирования цикловой подачи по ее началу. Как и во всех современных распределительных ТНВД, изменение УОВТ достигается разворотом кулачковой шайбы 16 с помощью сервопоршня 2. Его положение обусловлено балансом момента с шайбы, усилия пружины и разницы давлений топлива на сервопоршень.

В ТНВД можно выделить каналы и полости под шестью характерными давлениями топлива (рис. 1.62). Одно из них (В) относится к управлению УОВТ и определяется балансом расходов топлива в гидроцилиндр: оно постоянно сбрасывается на слив в корпус через жиклер (рис. 1.62, а), но и периодически поступает через актюатор 5. Таким образом, уровень давления в гидроцилиндре и, следовательно, УОВТ обуславливается скважностью открытия актюатора. В этом случае управление методом широтно-полосной модуляции осуществляется по одному каналу, т.к. допустима меньшая точность. Тем не менее, СУ также включает обратную связь по положению сервопоршня от датчика Холла 33 (там же расположен и датчик температуры топлива). Точное регулирование УОВТ за счет обратных связей по датчикам положения сервопоршня и вала способствовала снижению эмиссии ВВ.

В выходном штуцере 13 (рис. 1.60) размещены два клапана. Клапан 14 демпфирует опускание нагнетательного 15 и интенсивность гидроудара, предотвращая подвпрыскивание (аналог рис. 1.19, б). В другом варианте в штуцере размещен один грибовый клапан, с последовательно установленным жиклером $\varnothing 0,56 \text{ мм}$. При кажущейся неадекватности установки сильного дросселя на пути топлива, он не только делает менее вероятным подвпрыскивание, но и стабилизирует давление впрыскивания по режимам работы дизеля, в частности, повышение давления впрыскивания при установке жиклера на малых частотах и подачах [9].

Несмотря на конструктивную сложность, ТНВД имеет на 50% меньше движущихся деталей относительно предшествующей конструкции, он компактен, легок, надежен, но сложен в обслуживании. Индивидуальные данные каждой системы регистрируются при изготовлении и заносятся в блок управления. К числу наиболее частых неисправностей относят эрозию нагнетательных клапанов, попадание воздуха на всасывание в ТНВД, негерметичность, засорение ЛНД. Датчики проверяют на величину сопротивления. Предварительно код неисправности считывают с использованием блока управления.

Роторные насосы фирмы Stanadyne. Фирма Stanadyne Hartford (США, позднее - Stanadyne Diesel Systems, Stanadyne Automotive Corporation) выпустила в 1987 г. на базе насоса DB-2 [42] (рис. 1.63) и СУ Motorola новый ТНВД **марки PCF** [201]. Он стал на 40 мм короче и на 30% легче, чем DB-2.

Система дозирования топлива дросселированием на впуске заменена ограничением полного хода плунжеров. Расхождение плунжеров 1 (рис. 1.64) при всасывании ограничивается скобой 2. Регулирование подачи осуществляется перемещением скобы относительно плунжеров и использованием скосов на контактирующих поверхностях этих деталей.



Рис. 1.63. Внешний вид наиболее популярных ТНВД фирмы Stanadyne.

Перемещение скобы производится под действием штока 5 и возвратной пружиной 4. Перемещение штока обеспечивается взаимодействием кулачковых профилей поворотного вала 9 с неповоротным, но перемещаемым вдоль оси кулачком 8.

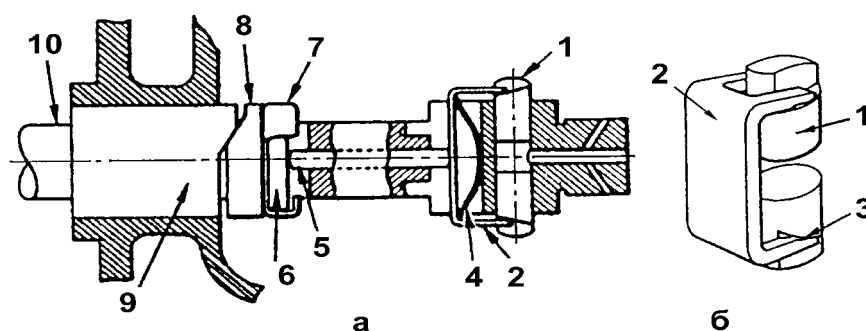


Рис. 1.64. Механизм регулирования цикловой подачи в ТНВД PCF Stanadyne (а) и плунжерный узел (б): 1 - плунжер; 2 - ограничительная скоба; 3 - скосы; 4 - возвратная пружина; 5 - шток; 6 - толкатель; 7 - упорный подшипник; 8 - торцовый кулачок; 9 - поворотный регулирующий вал; 10 - приводной вал.

В первых конструкциях поворотный вал 9 приводился в движение шаговым электродвигателем, позднее, как и для управления УОВТ, применен следящий гидропривод (рис. 1.65): шаговый двигатель 14 перемещает управляющий золотник 15, а уже сервопоршень 16 поворачивает вал 17. Такой привод увеличил перестановочные усилия и устранил смещение регулирующего органа от реактивного момента при нагнетании топлива и стабилизировал цикловую подачу и УОВТ.

В СУ предусмотрены обратные связи по подаче с помощью датчика 9 положения поворотного вала и по УОВТ с помощью датчика 5 подъема иглы. Сигнал положения коленчатого вала является опорным для задания начала впрыскивания. В сравнении с чисто механическим ТНВД DB-2, СУ обеспечила дополнительные функции: управление подачей и УОВТ при пуске и холостом ходе, частичных нагрузках, ограничения подачи, скорости автомобиля, круиз-контроль. Введены блокировки: отключение подачи при отсутствии сигнала частоты вращения, ограничение 20% подачи при исчезновении сигнала педали акселератора и др.

Для дизелей с разделенными и неразделенными КС в 1991 г фирма Stanadyne разработала существенно усовершенствованную конструкцию роторного ТНВД с электронным управлением, выпущенного под **маркой DS** [9] (рис. 1.63, 1.66). Насос позволяет обслуживать до 8 цилиндров рабочим объемом 0,5...1,5 л каждый, а именно, обеспечивать максимальную подачу до 75 мм^3 при частоте вращения вала двигателя до 5000 мин^{-1} . Он позволяет нагнетать топливо под давлением 90...100 МПа, что обеспечивает давления у форсунок до 120 МПа.

В отличие от ТНВД DB-2 и PCF, в насосах DS применен новый принцип дозирования с помощью быстродействующего золотникового клапана 12 (рис. 1.66) в торце ротора. По этой причине вместо единого для всех цилиндров нагнетательного клапана ТНВД DB-2, применены обычные в таких насосах индивидуальные клапаны в выпускных штуцерах 1.

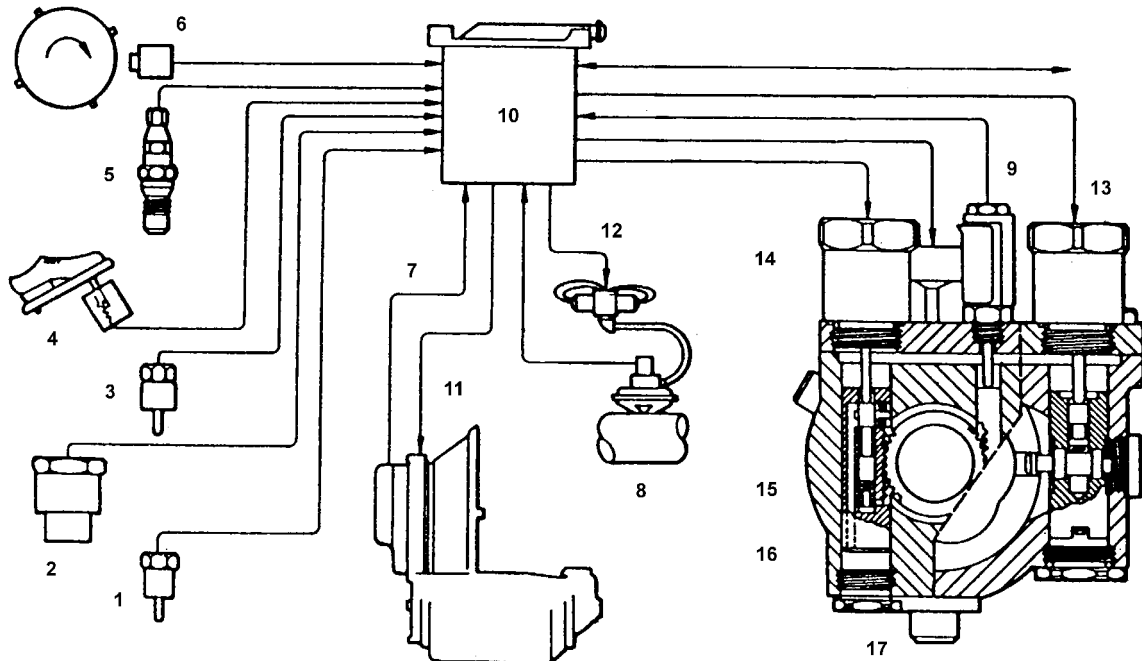


Рис. 1.65. Система управления ТНВД PCF Stanadyne: 1 - датчик температуры воздуха на впуске; 2 - датчик давления воздуха на впуске; 3 - датчик температуры охлаждающей жидкости; 4 - датчик педали акселератора; 5 - датчик подъема иглы; 6 - датчик частоты и положения коленчатого вала; 7 - датчик скорости автомобиля; 8 - датчик клапана рециркуляции; 9 - датчик полного хода плунжеров; 10 - микропроцессорный блок управления; исполнительные устройства: 11 - трансмиссией; 1 - рециркуляцией отработавших газов; 13 - шаговый электродвигатель УОВТ; 14 - шаговый электродвигатель подачи; 15 - золотник; 16 - сервопоршень цикловой подачи; 17 - поворотный вал регулирования подачи.

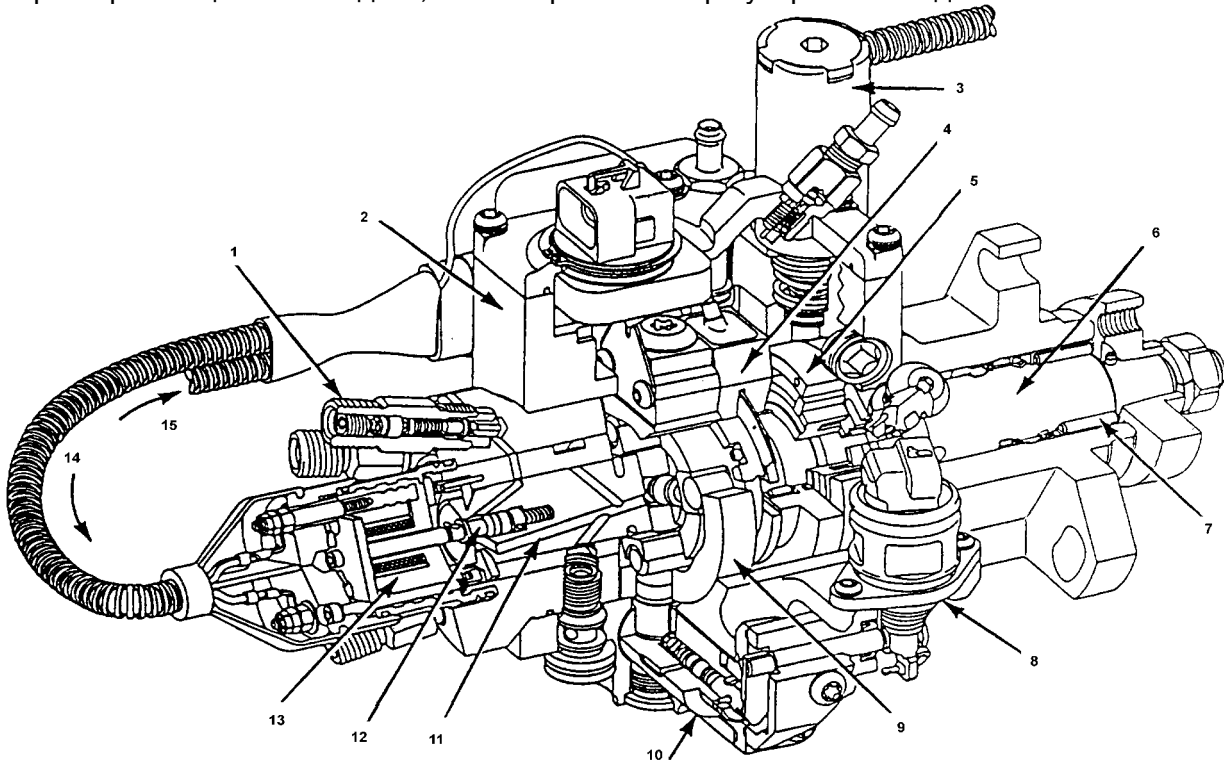


Рис. 1.66. Роторный ТНВД DS Stanadyne: 1 - выпускной штуцер; 2 - корпус; 3 - выключатель ТП; 4 - оптический датчик положения вала; 5 - ТПН; 6 - вал; 7 - игольчатый подшипник; 8 - шаговый электродвигатель УОВТ; 9 - кулачковая шайба; 10 - следящий гидроривод УОВТ; 11 - ротор; 12 - управляющий золотниковый электроклапан; 13 - электромагнит; 14 - от установленного на ТНВД электронного блока; 15 - от центрального блока управления.

Другое отличие, ставшее сегодня обычным для интенсивного впрыскивания, четыре рабочих плунжера. Регулирование УОВТ, аналогично модели РСФ, с помощью шагового электродвигателя 8, следящего гидропривода 10 и кулачковой шайбы 9.

СУ в насосах DS практически совпадает с используемой для модели РСФ, исключая исполнительный электроклапан регулирования цикловой подачи, и дополнительно имея управление свечами накаливания. На ТНВД установлен усилитель сигналов. Он же контролирует фазу закрытия управляющего клапана и передает этот сигнал в центральный блок управления. За два цикла дизеля подача может изменяться от 0 до 100%. Иначе говоря, время собственных переходных процессов в ТА становится практически несущественным.

Высокоточный датчик положения вала ТНВД, датчики дизеля и способ дозирования позволили обеспечить соблюдение УОВТ с точностью $0,04^0$ (по коленчатому валу). Обеспечивается адаптивная компенсация мощности цилиндров и других параметров, стабилизация мгновенной частоты вращения коленчатого вала путем индивидуализации цикловой подачи и УОВТ по цилиндрам дизеля в пределах каждого цикла дизеля. В зависимости от температуры охлаждающей жидкости СУ управляет устойчивой частотой вращения холостого хода, нагревом свечей накаливания и рециркуляцией ОГ. СУ обменивается сигналами с системами автомобиля, несет по отношению к ним управляющие функции (автоматическая трансмиссия), обеспечивает хранение и вывод диагностической информации.

Насосы распределительного типа НД-21 и НД-22. Были разработаны в ЦНИТА и освоены в производстве на ныне несуществующем Вильнюсском заводе топливной аппаратуры (НД-21 с одной насосной секцией для четырехцилиндровых дизелей воздушного охлаждения Д-144 или двухцилиндровых Д-120 ВТЗ). Чугуевский ЗТА выпускал ТНВД НД-22 с двумя секциями для питания шестицилиндровых дизелей СМД (рис. 1.67). Сами дизели с 2007 г. не выпускаются. Насосы этого типа безнадежно устарели, не обеспечивают регулирования УОВТ. Тем не менее, в эксплуатации они еще встречаются. Подробнее об этих насосах можно прочесть в [7, 8]. В приложении 3, 4 приведена применяемость и регулировочные данные ТНВД.

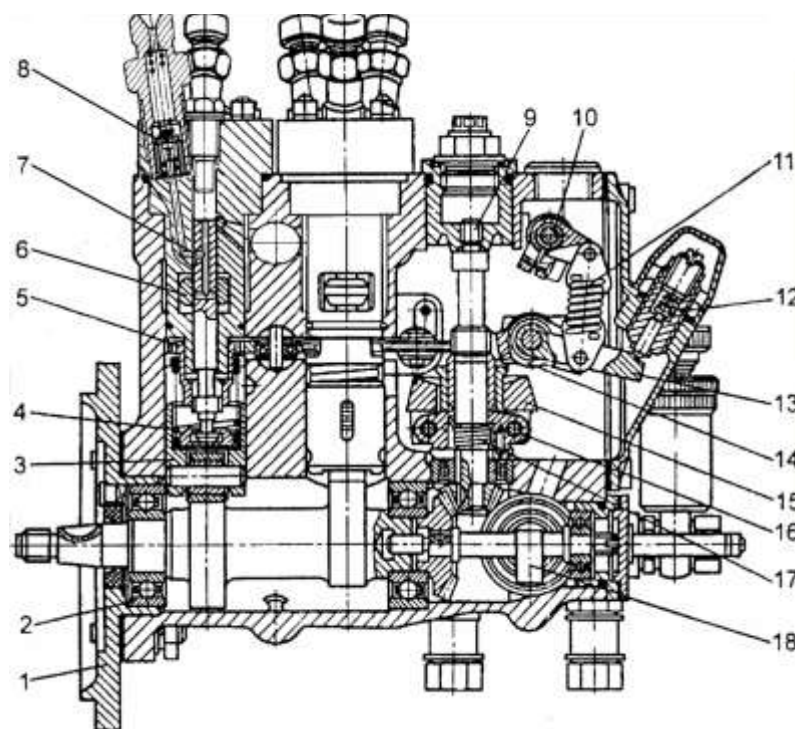


Рис. 1.67. Топливный насос НД 22: 1 - установочный фланец; 2 - подшипник; 3 - толкатель; 4 - пружина; 5 - зубчатая втулка; 6 - дозирующая муфта; 7 - канал-распределитель в плунжере; 8 - нагнетательный клапан; 9 - вал регулятора; 10 - рычаг управления; 11 - пружина регулятора; 12 - корректор в сборе; 13 - рычаг корректора; 14 - вильчатый рычаг; 15 - груз; 16 - ступица грузов; 17 - упругое звено; 18 - вал привода ТПН.

Общие черты распределительных ТНВД. Если распределительные насосы для автомобильных дизелей оснащены механическим регулятором, то обычно двухрежимным, а тракторные - всережимным.

Применялись также простейшие гидравлические. Насосы оборудуют электрическим стоп-устройством, срабатывающим от «ключа зажигания», на режиме принудительного холостого хода и для остановки двигателя. ТНВД оснащаются большим числом разнообразных корректоров. В насосах с электронным управлением обеспечивают отключение цилиндров, индивидуальную по цилиндрам подачу.

Смазывание большинства современных ТНВД осуществляют топливом. Во всех современных ТНВД регулируется УОВТ. Их ресурс достигает 10 000 ч, они обеспечивают

работу дизеля с агрегатной мощностью 1000 кВт и более. Последние образцы обеспечивают давление впрыскивания до 140...160 МПа.

Эти насосы могут устанавливаться на двигателе в любом пространственном положении. Их размеры вдвое меньше, чем размеры многоплунжерных насосов, и на 30% меньше масса. Они более технологичны, несмотря на собственную сложность, до недавнего времени имели меньшую стоимость и проще в эксплуатации, обеспечивают лучшую равномерность подачи топлива по цилиндрам в сравнении с многосекционными ТНВД.

Вместе с тем распределительным ТНВД присущи недостатки: меньший ресурс, большая сложность и необходимость специального оборудования (например, для шлифовки кулачковой шайбы), увеличенные гидравлические потери в линии нагнетания, большая требовательность к очистке топлива по примесям и воде. Совокупность отмеченных свойств распределительных насосов определили тенденцию замены ими многосекционных ТНВД на автотракторных дизелях, особенно малоразмерных. Ввиду развития аккумуляторных систем необходимость разработки и освоения относительно сложных распределительных насосов сегодня уже не является очевидной.

Контрольные вопросы

1. Достоинства и недостатки распределительных ТНВД относительно многосекционных.
2. Как регулируется в процессе работы цикловая подача и опережение впрыскивания в зависимости от частоты и нагрузки в ТНВД VE фирмы R.Bosch?
3. Особенности ТНВД VE R.Bosch с электронным управлением.
4. Объясните, почему для создания высоких давлений впрыскивания более приспособлены роторные ТНВД, чем одноплунжерные?
5. Почему в современных распределительных ТНВД для управления опережением используется специальная система со своим каналом управления, а не быстродействующий клапан?
6. Зачем в новых распределительных ТНВД для управления опережением стали применять гидроусилитель и как он работает?
7. Какие способы управления цикловой подачей используются в британских и американских ТНВД?

1.3.5. Гидромеханические форсунки

Форсунки предназначены для введения топлива в КС, при этом они должны обеспечивать оптимальные с точки зрения выбранных условий смесеобразования длину топливной струи, мелкость распыливания, равномерность распределения топлива по КС, высокие давления впрыскивания в начале и конце процесса. Помимо общих требований к ТА (п. 1.1), к форсункам предъявляется ряд **специальных требований** [9]:

- минимальные размеры для повышения давления впрыскивания и облегчения компоновки на дизеле; минимальная масса движущихся деталей;
- простота, дешевизна, надежность (ресурс распылителей меньше ТНВД и прочих деталей; для автотракторных дизелей – не менее 1,5 тыс. ч);
- минимальное гидравлическое сопротивление запорного клапана, уменьшающее давление впрыскивания;
- высокое давление начала и, особенно, конца впрыскивания;

Трудность обеспечения всех требований обусловила многообразие форсунок, отличающихся по конструкции и принципу действия. Подробно их обзор с сопоставлением гидравлических характеристик - зависимостью $P_{\phi}=f(Q_{\phi})$ – дается в [12]. Ниже рассматриваются только нормальные закрытые форсунки, имеющее ныне доминирующее значение. Скажем только, что сегодня не применяются **открытые форсунки**, т.е. не имеющие запорного органа. Они интересны только в отношении недостатков, частично проявляющихся в реально используемых, в частности неисправных форсунках. А именно, подача топлива через открытую форсунку начинается при малейшем перепаде давления, это приводит к увеличению продолжительности подачи, снижению давления впрыскивания, подтеканию.

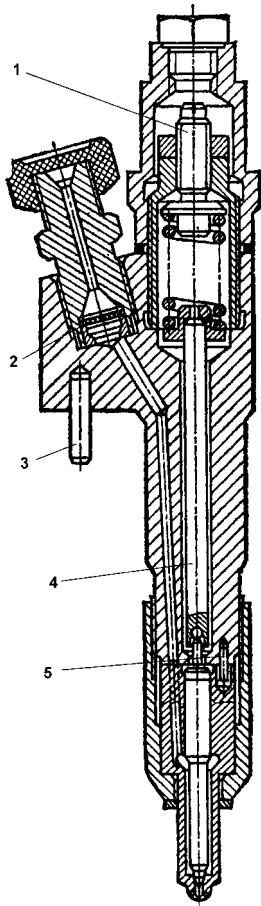


Рис. 1.68. Нормальная закрытая форсунка старого поколения: 1 - регулировочный винт; 2 - контрольный фильтр; 3 - ориентирующий форсунку штифт; 4 - штанга; 5 - ориентирующий распылитель штифт.

На рис. 1.68 представлена типичная для 60-80-х годов **нормальная закрытая форсунка** с механическим (пружинным) запираем иглы. Игла запирает топливо по конусу и в сопряжении с распылителем по прецизионной поверхности герметизирует карман по ЛВД. Просочившееся по цилиндрической поверхности иглы топливо обеспечивает ее смазывание, отвод теплоты и создает ванну для пружины. Это предохраняет пружину от коррозии и на 20...25% уменьшает динамические напряжения в витках. Регулировку давления начала впрыскивания осуществляют с помощью винта. Подъем иглы всегда ограничивается упором и составляет - 0,2...1,3 мм (в высокооборотных дизелях - 0,2...0,45 мм).

К достоинствам нормальной закрытой форсунки относятся надежность работы, малое подтекание, исключение подачи при низких давлениях. Запирающая игла большую часть времени мало дросселирует топливо. Надежное запираение обеспечивает создание высокого остаточного давления, что позволяет интенсифицировать последующее впрыскивание. Форсунки такого типа стали сегодня базовой конструкцией для аккумуляторных систем.

К основным недостаткам нормальных форсунок относят большую массу движущихся деталей, большие, чем у иных форсунок габариты, наличие линии слива (дренажа). Прецизионное соединение значительно повышает стоимость конструкции, оно подвержено изнашиванию и создает возможность зависания иглы. Давление начала впрыскивания снижается с повышением давления в цилиндре, снижается в процессе эксплуатации, а давление закрытия форсунки благодаря дополнительной силе от давления топлива на запорный конус, меньше давления начала впрыскивания. Это ухудшает распыливание в конце подачи, приводя к увеличению расхода топлива дизелем и выбросу несгоревших углеводородов и сажи.

Гидравлическая характеристика нормальной закрытой форсунки представлена на рис. 1.69. Кривая давления в предсопловом канале $P_{впр}$ изменяется по закону открытой форсунки - параболе; сложный характер изменения зависимости $P_{ф}$ обуславливается наличием двух дросселирующих сечений при различных подъемах иглы $x_{и}$.

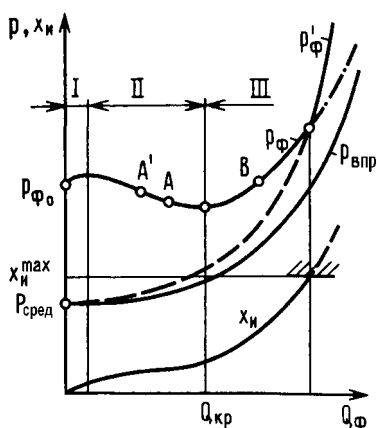


Рис. 1.69. Гидравлическая характеристика нормальной закрытой форсунки.

При подъеме иглы форсунки до упора $x_{и}^{max}$ площади дросселирующих сечений не зависят от режима ее работы, т. е. от $Q_{ф}$ и характеристика форсунки также становится типичной для открытой форсунки - параболой. Это нежелательно в отношении сильной зависимости давления впрыскивания от режимов работы дизеля.

Неустойчивые режимы работы возникают при работе в зоне $dP_{ф}/dQ_{ф} < 0$. Так, согласно выводам Г.Г.Калиша, при случайном смещении рабочей точки из A в A' происходит уменьшение $Q_{ф}$ и $x_{и}$. Возросшее дросселирование топлива приведет к еще большему увеличению $P_{ф}$. Напротив, равновесие иглы устойчивое в точке B. Реально неустойчивость в зоне $dP_{ф}/dQ_{ф} < 0$ проявляется в автоколебаниях иглы и появлению так называемого **дробящего впрыскивания**. Его наличие свидетельствует о подвижности

иглы. Вид гидравлической характеристики определяется рядом конструктивных и регулировочных параметров форсунки: затяжкой пружины, ее жесткостью, отношением d_1/d_0 , сечением сопел, разностью зазорных конусов распылителя и иглы и др. [12].

Особенности конструкций нормальных закрытых форсунок [7,9,12]. Значительная масса подвижных деталей приводит к уменьшению быстродействия форсунки, затягиванию окончания впрыскивания, ускоренному изнашиванию запирающего конуса. По этим причинам от длинной штанги (рис. 1.68) отказываются, заменяя короткой штангой-тарелкой 9 (рис. 1.70, а,б).

Бесштанговая форсунка становится компактнее, но возникает необходимость введения дополнительной проставки 2 с прецизионными торцовыми поверхностями. Силу предварительной затяжки пружины регулируют подбором комплекта шайб 7. В современных однопружинных форсунках $P_{ф0}=17...32$ МПа.

Еще более компактная форсунка, отражающая современные тенденции конструирования, выпущена четверть века назад в США под торговой маркой Roosa Master, - так называемая карандашная форсунка (рис. 1.71,а,б). Она имеет наименьшие диаметральные размеры: установочный (по накидной гайке) $\varnothing 9,5$ мм, запорной иглы $\varnothing 3,5$ мм [6]. В восьмидесятых годах появилась еще более миниатюрная форсунка с внешним диаметром носика распылителя 5,4 мм (рис. 1.71,в). Эти форсунки имеют самый маленький диаметр. Миниатюризация форсунок позволяет снизить мертвые объемы, следовательно, повысить давление впрыскивания, а также увеличить быстродействие за счет малых масс, уменьшить склонность к закоксовыванию распылителя, уйти от проблемы его перегрева.

На входе в форсунку устанавливают контрольные фильтры против случайного засорения *распыливающих (сопловых)* отверстий (рис. 1.70,а, см. также рис. 1.10). Распылитель 1 образует с торцом корпуса 4 форсунки беспрокладочное прецизионное герметичное соединение. От взаимного поворота эти детали фиксируют в наклонных форсунках (с несимметричными соплами) штифтами 10.

Форсунки **крепятся к головке цилиндра** шпильками за свои фланцы, с помощью центральной гайки на корпусе, вворачиваемой в форсуночный стакан головки, резьбы на гайке распылителя штифтовой форсунки. Наиболее популярный и простой способ – использование рычагов, коромысел, роверов, опирающихся на выфрезеровки 5 ее корпуса (рис. 1.70,а).

Расположение форсунок в головке. Устаревшее или вынужденное расположение форсунки в среде смазки газораспределительного механизма. Предпочтительной для условий эксплуатации ее расположение в сухом форсуночном стакане, обеспечивающее легкий доступ. Отдаются предпочтение центрально расположенным, вертикальным форсункам. Это обеспечивает равные условия входа потока в сопловые отверстия и идентичность топливных струй в цилиндре, улучшенные экологические показатели дизеля.

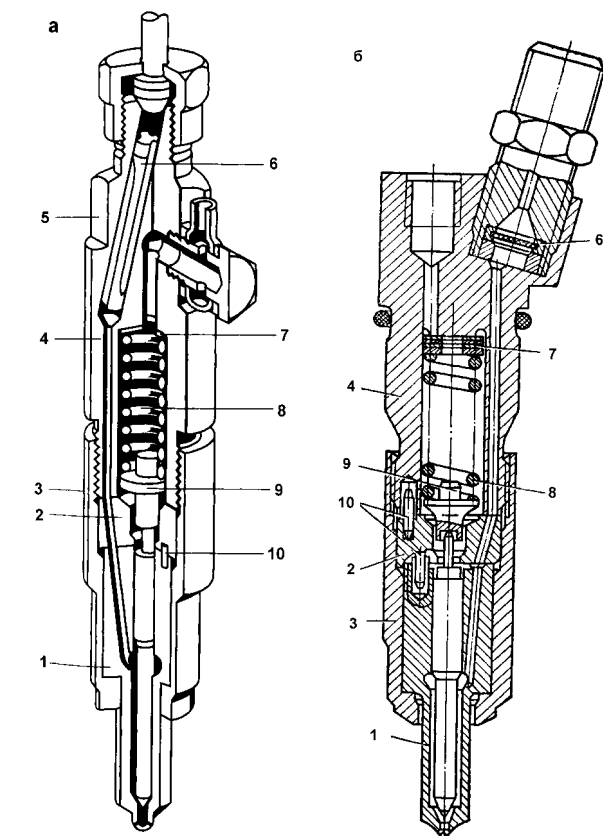


Рис. 1.70. Автомобильные форсунки с укороченной штангой: а - стандартная фирмы R.Bosch; б - ЯЗДА (для КамАЗ): 1 - распылитель; 2 - проставка; 3 - стяжная гайка; 4 - корпус; 5 - крепежные выфрезеровки; 6 - фильтр; 7 - регулировочные прокладки; 8 - запорная пружина; 9 - тарелка; 10 - штифт.

Такая компоновка удачно реализуется в головках цилиндров с четырьмя клапанами и без единственного верхнего распределительного вала.

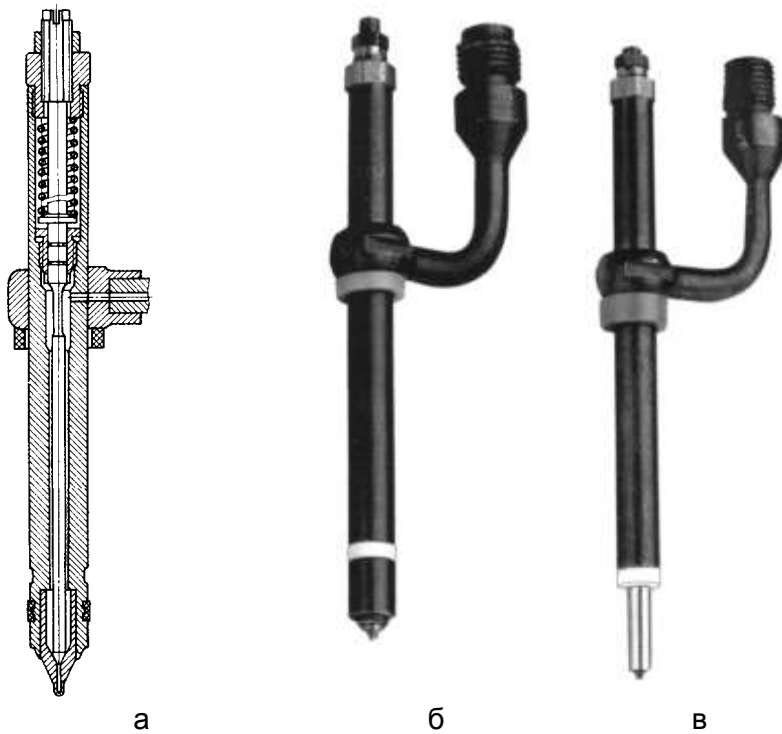


Рис. 1.71. Карандашные форсунки торговой марки Roosa Master фирмы Stanadyne: а, б - с диаметром носика распылителя 9,5 мм, в - 5,4 мм.

второй - 0,25...0,28 мм, давление начала впрыскивания по первой - 20...22 МПа, второй - 36...42 МПа. Регулировка затяжки пружин обеспечивается шайбами 2 и 5. Снизить выбросы NO_x с помощью такой форсунки не удалось из-за несовместимости ее параметров на всех режимах дизеля. С ее помощью решена задача снижения шумности работы дизеля на холостом ходу и малых нагрузках и частотах. На других режимах игла не успевает останавливаться на промежуточном упоре и форсунка не отличается от обычной.

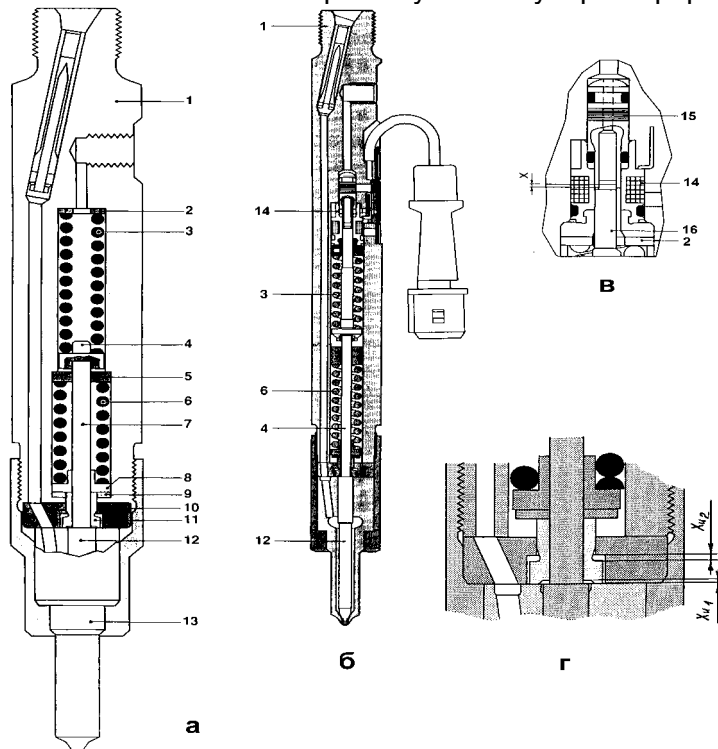


Рис. 1.72. Двухпружинные форсунки R.Bosch: а - 2...4-го цилиндров; б - 1-го цилиндра; в - датчик подъема иглы; г - проставка с механизмом последовательного включения пружин.

Для ТА с электронным управлением выпускаются двухпружинные форсунки с датчиком 14 подъема иглы (рис. 1.72, б, в). В этом случае удлиненная штанга 4 является подвижным сердечником 16 индукционного датчика. Успокоитель 15 радиальных биений препятствует образованию шумов сигнала. Форсунка остается малогабаритной: диаметр иглы - 4 мм, носика распылителя - 7 мм, накидной гайки - 17 мм, канала в корпусе 1 - 1,2 мм.

К недостаткам двухпружинных форсунок можно отнести усиление зависимости режимов работы дизеля на давление впрыскивания, а также требование к специальным стандам для регулировки форсунок для контроля начала срабатывания также и по второй пружине.

Двухпружинные форсунки

начали выпускаться с конца 90-х годов фирмой R.Bosch для автомобильных дизелей с открытой КС и частотой вращения 4000...4500 мин^{-1} (рис. 1.72) [9]. Они призваны обеспечить ступенчатость переднего фронта характеристики впрыскивания за счет быстрого открытия иглы 12 по первой пружине 3, запирающей ее через тарель 4 и шток 7. При дальнейшем росте давления игла выбирает зазор $x_{и2}$ над втулкой 11, сжимая вторую пружину 6 до упора в проставку 10. Ход иглы по первой пружине 0,04...0,07 мм, по

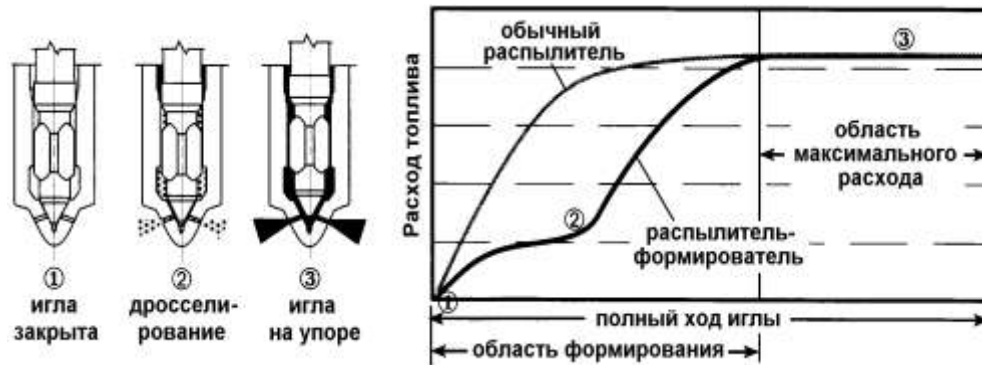


Рис. 1.73. Форсунка RSN фирмы Stanadyne для формирования ступенчатой характеристики впрыскивания.

Попытки создать форсунку, обеспечивающую ступенчатую или двухфазную подачу предпринимались давно, но серийной продукции почти не было. Другое решение применено в форсунке RSN фирмы Stanadyne (Rate Shaping Nozzle), т.е. распылителя с функцией формообразования характеристики впрыскивания. Внешне она не отличается от обычных форсунок. Замедление начала впрыскивания (положение 2, рис. 1.73) обусловлено в ней дросселированием топлива в щели между распылителем и дополнительным пояском на игле.

Напротив, форсунка дизеля может не иметь пружин, а использовать **гидрозапирание иглы** давлением топлива на ее верхнем торце. Это облегчает иглу и условия ее работы [12]. Такие системы использовать перестали, но идея гидрозапирания нашла развитие в аккумуляторной ТА (п. 1.4). **Форсунки судовых дизелей** могут быть снабжены запорными органами в ЛВД для удаления воздуха при прокачке системы, каналами принудительного охлаждения, последовательно установленными дублирующими клапанами [9].

Конструкции распылителей многообразны, в значительной степени определяются условиями смесеобразования и работы вблизи КС [6, 9]. Угол запорного конуса близок к 60° . У новых распылителей угол на $0,5 \dots 1,5^\circ$ меньший, чем у иглы, что обеспечивает ее быструю посадку без сильного удара о седло и надежное уплотнение (рис. 1.74,а). Для увеличения лимитирующей площади живого сечения клапанной щели в области наименьших диаметров производят подрезку распылителя (рис. 1.74,а) или, чаще, - иглы (рис. 1.74,б).

ЯЗДА производит иглы со ступенькой и обратной разностью конусов (рис. 1.74,в). Они отличаются повышенной надежностью запорного конуса и малым темпом падения давления начала впрыскивания $P_{ф0}$ по времени эксплуатации, что снижает требуемую частоту обслуживания форсунок. Это требует пояснений. Снижение $P_{ф0}$, обусловлено, во-первых, пластической деформацией

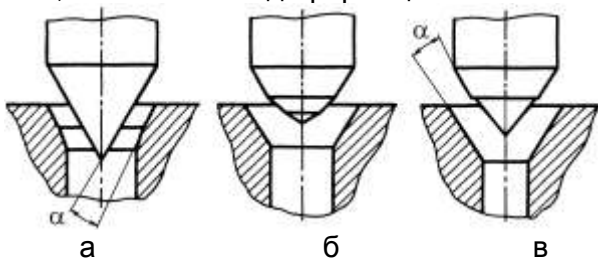


Рис. 1.74. Запорные конусы распылителей: а - с подрезкой распылителя и традиционным α ; б - с подрезкой иглы; в - с уступом и обратной иглы углом α .

запорной пружины, во-вторых, износом конуса (ослаблением предварительной затяжки пружины). В-третьих, износ конуса изменяет средний диаметр поверхности контакта в конусе d_1 . В распылителе с традиционной разностью конусов (рис. 1.74,а) в смятие первичной линии контакта диаметр d_1 смещается внутрь – уменьшается, что увеличивает дифференциальную площадку иглы $f_{диф} = (d_0^2 - d_1^2) \cdot \pi / 4$. Считая усилие пружины постоянной и равной произведению $P_{ф0} \cdot f_{диф}$, приходим к выводу о неизбежном уменьшении $P_{ф0}$ в процессе эксплуатации. В распылителе по рис. 1.74,в d_1 растет, увеличивая $P_{ф0}$ и противодействуя влиянию двух первых факторов, обуславливая сложное, но более благоприятное изменение $P_{ф0}$ в эксплуатации (рис. 1.75). По этим причинам значение дифференциальной площадки иглы всегда стремятся сделать максимальным, но не допуская повышенного дросселирования топлива в запорном конусе.

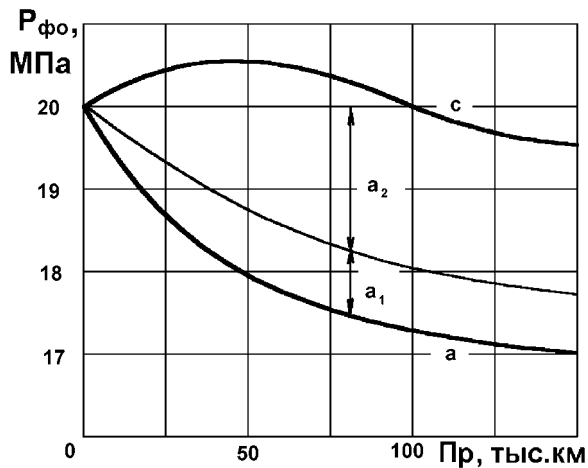


Рис. 1.75. Давление начала впрыскивания в функции пробега автомобиля: а - с запорными конусами по рис. 1.74,а; б - с запорными конусами по рис. 1.74,б; в - с запорными конусами по рис. 1.74,в; a_1 - снижение $P_{\phi 0}$ от осадки пружины; a_2 - снижение $P_{\phi 0}$ от изменения геометрии запорного конуса.

Наибольшее распространение получили *многосопловые распылители* - они в наилучшей степени соответствуют смесеобразованию в неразделенных КС. Число **сопловых отверстий** - от 2 до 10, диаметр отверстий $d_c = 0,08 \dots 0,45$ мм (в классе быстроходных дизелей). Самые малые диаметры реализованы в насос-форсунках. Есть тенденция уменьшать d_c для улучшения экологических показателей дизелей. Нижний предел d_c обусловливается скорее не технологическими трудностями, сколько ростом вероятности засорения. Но даже в малооборотных судовых дизелях диаметр $d_c < 1$ мм, т.к. при большем капле распыленного топлива становятся недопустимо большими.

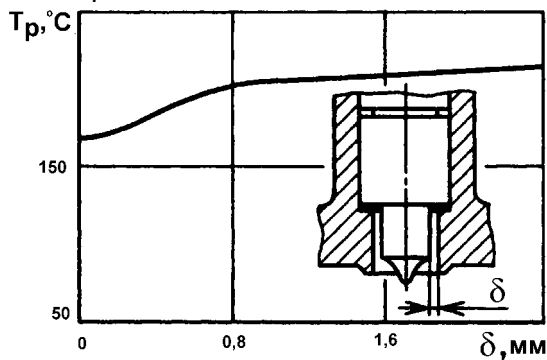


Рис. 1.78. Зависимость температуры распылителя от радиального зазора с головкой цилиндра.

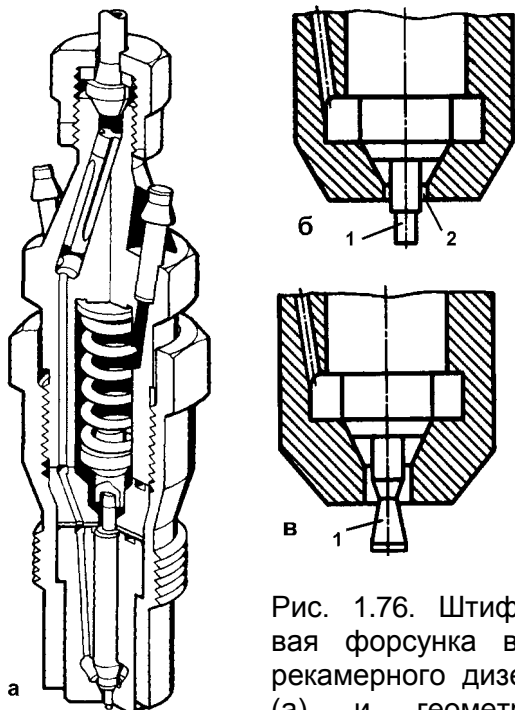


Рис. 1.76. Штифтовая форсунка вихрекамерного дизеля (а) и геометрия штифтов (б,в).

Минимальные подтекание, закоксовывание распылителя, выбросы CH_x наблюдается при сверлении сопловых отверстий в предсопловой канал наименьшего объема ($< 1 \text{ мм}^3$) или непосредственно на запорный конус.

В быстроходных дизелях применяют цельные распылители. Наибольшее распространение сегодня имеют **длиннокорпусные распылители** (рис. 1.70,а,б и рис. 1.72) с удлиненной нижней частью. Они позволяют удалить прецизионную пару от нагретой нижней части, облегчить конструирование форсунки с укороченной штангой, уменьшить диаметр ее нижней части, облегчая компоновку головки цилиндра и снижая нагрев распылителя.

В штифтовых форсунках игла снабжена удлинением - штифтом 1 (рис. 1.76), входящим в ответный канал распылителя. Впрыскиваемое топливо разгоняется в кольцевом штифтовом канале 2. Для зарубежных легковых автомобилей выпускают-

ся более технологичные распылители с цилиндрическим штифтом 1 в канале 2 (рис. 1.76,б), отечественной промышленностью выпускались более сложные штифты 1 (рис. 1.76,в). Положение штифта в канале определяет геометрию распыленной струи и гидравлические свойства распылителя. Последнее позволяет конструктору формировать нужную гидравлическую характеристику форсунки.

К достоинствам штифтовых форсунок относится меньшая чувствительность давления впрыскивания к режимам работы двигателя и свойствам топлива, меньшая склонность к засорению. Штифтовые распылители создают одну полую коническую струю. Такая форма наряду с низким давлением впрыскивания (из-за большой площади штифтового канала) определили судьбу этих форсунок: их производство сокращается вместе с производством вихрекамерных (предкамерных) дизелей.

Результаты расчетов процесса в топливной системе зависят от **коэффициентов расхода** дросселирующих сечений. Их значения определяются особенностями формы и размерами этих сечений, режимами течения и не являются постоянными. Течение в сопловом отверстии связано множеством особенностей, в частности, отрывом пограничного слоя на входной кромке с кавитацией в вихревой зоне. Это явление описано эмпирическими соотношениями, имеющими практическое значение [9]:

$$\mu_c = \begin{cases} \mu_c^{\text{атм}} + 0.15 & K_{\text{кавит}} \leq 1.5 \\ \mu_c^{\text{атм}} + \frac{4.6}{K_{\text{кавит}} + 6} \frac{T}{T_0} & K_{\text{кавит}} > 1.5, \end{cases} \quad \text{где } K_{\text{кавит}} = \frac{P_{\text{впр}} - P_{\text{среды}}}{\bar{P}_{\text{среды}}}$$

Таким образом, при впрыскивании в плотные среды по сравнению с атмосферой коэффициент расхода выше, перепад давления на сопловых отверстиях ниже, и результирующий эффект обычно таков: цикловая подача ниже, давление впрыскивания и продолжительность подачи – больше. Впрочем, другие факторы также существенны: нагрев топлива на дизеле неизбежно приводит к снижению давления впрыскивания и росту продолжительности. Практически важный вывод – неточное совпадение параметров подачи на дизеле и топливном стенде.

Рост коэффициента расхода сопел μ_c в процессе эксплуатации происходит из-за сглаживания входных кромок. Для этого, распылитель при его изготовлении подвергают

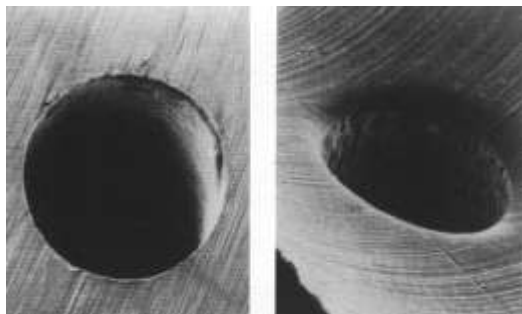


Рис. 1.77. Фотографии входного сечения соплового отверстия до электрохимической обработки (слева) и после нее (справа).

гидроабразивному полированию или электрохимической обработке (рис. 1.77). Отметим только, что никакая доработка при обслуживании форсунок в этом отношении недопустима: увеличение μ_c связывается с уменьшением сопротивления, возмущения потока топлива. С точки зрения разрушения струи, мелкости распыливания и формы струи неизбежно приведут к нежелательному изменению оптимизированного рабочего процесса дизеля.

Актуальная задача - ограничение **тепловой нагрузки распылителей**. При перегреве распылителя увеличивается износ посадочного конуса, изменяются зазоры в прецизионном соединении, уменьшается его герметичность [12]. Возможно зависание иглы, закоксовывание сопловых отверстий. Дефекты прогрессируют через ухудшение рабочего процесса двигателя.

Быстрое снижение работоспособности распылителей происходит при превышении 220-240°C. Эффективно уменьшение теплоподвода к распылителю за счет уменьшения площади тепловоспринимающей поверхности, запрессованных в головку защитных экранов, уменьшения радиального зазора между головкой и носиком распылителя (рис. 1.78). В этой связи недопустимо увеличение гнезда в головке под носик распылителя. Важно, чтобы зазор был равномерен по периметру, для чего форсунку центрируют по стяжной гайке 3 (рис. 1.70) с зазором 0,1...0,4 мм. При установке форсунок также полезна очистка поверхностей, медной прокладки, ее отжиг для повышения пластичности, обеспечение необходимого усилия притягивания форсунки к головке.

Уместно упомянуть и о механической нагруженности распылителей. За счет использования буртов или утолщенной верхней части распылителя, стягиваемого с корпусом накидной гайкой, возникают монтажные напряжения. Только в результате их после сборки форсунки игла может потерять подвижность. Наибольшие напряжения возникают у носика распылителя от нагрева, давления топлива и ударных нагрузок со стороны иглы. Они приводят к смятию запорного конуса и потере его герметичности. Нерасчетные нагрузки возникают также при засорении сопловых отверстий: известны случаи отрыва носиков распылителей насос-форсунок из-за повышения давления впрыскивания.

Закоксовывание внутренних и внешних поверхностей распылителей - одни из основных дефектов форсунок. В обоих случаях первопричинами являются дефекты работы самой ТА. Процессы интенсифицируются с ростом температуры распылителя.

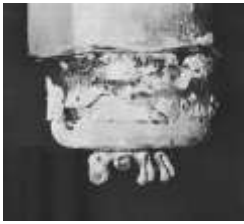


Рис. 1.79. Кратеры коксовых отложений на носике распылителя

Закоксовывание внешних поверхностей и связанный с этим перегрев распылителя обусловлены истечением топлива из сопловых отверстий с малыми скоростями, например в результате вялого окончания подачи или зависания иглы, а также вызываются подтеканием, негерметичностью запорного конуса иглы. В результате неполного сгорания, пиролиза углеводородов на носике распылителя образуются коксовые отложения, близкие по физико-химическим свойствам к нагару (рис. 1.79), искажающие форму топливных струй и нагревающие распылитель.

Закоксовывание внутренних поверхностей распылителя происходит вследствие окисления и полимеризации остающегося на поверхности металла топлива с образованием твердой и прочной лаковой пленки. При этом уменьшается сечение сопловых отверстий, теряется подвижность иглы. Необходимыми условиями этого процесса: температура более 180-190°C и контакт топливной пленки с газами при их забросе из цилиндра в распылитель [144]. Для исключения второго условия необходимо обеспечить $P_{впр} > P_{ц}$ для всех моментов подачи, в частности, принимают меры для ускорения закрытия иглы форсунки (рис. 1.80). Лакообразование также заметно снижается при уменьшении шероховатости поверхности, при замене стали ШХ15 на ХВГ.

Сведения о материалах и технологии производства форсунок. Для изготовления прецизионных деталей используют инструментальную сталь ХВГ и шарикоподшипниковую сталь ШХ15. Лучшими материалами для распылителей являются 18Х2Н4МА, 30Х3ВА. Лучшие материалами для иглы - быстрорежущие стали Р9, Р18. Твердость деталей HRC 60...65. Корпус форсунки выполняют из стали 45, 12ХН3А и др.

Пружину форсунки, воспринимающую большие динамические нагрузки, изготавливают из шлифованной, полированной проволоки (стали 50ХФА, 60С2А), закаливают до твердости HRC 42...47, для повышения сопротивления усталости подвергают дробеструйной (пескоструйной) обработке и азотированию на глубину 0,15-0,3 мм. Для уменьшения усадки пружин применяют перераспределение напряжений по сечению витков – заневоливание (сжатие в рабочем направлении до пластических деформаций). Торцы пружин сошлифовываются до прилегания к плоскости на участке 0,75 длины окружности. Неравномерность витков допускается не более 0,2 мм, непараллельность торцов - менее 0,1 мм.

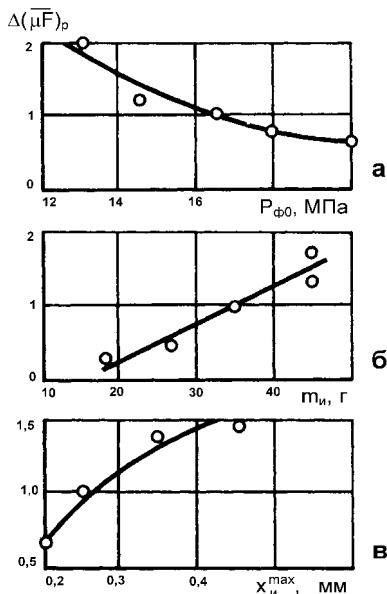


Рис. 1.80. Относительное уменьшение эффективного сечения распылителя из-за закоксовывания в функции: а - давления начала впрыскивания; б - суммарной массы иглы; в - максимального хода иглы.

Термообработка деталей форсунок аналогична обработке деталей ТНВД. Если сопловые отверстия образованы не сверлением, а электроискровой (электроэрозивной) прошивкой, то их поверхностный слой более твердый, замедляющий изнашивание. В России этот метод применяют на ОАО АЗПИ. Электроискровую про-

шивку проводят в масле, керосине или на воздухе с охлаждением водой. Катодом является распылитель, с инструмента – вольфрамового анода - подаются мощные импульсы. При разряде металл катода оплачивается, происходит взрывообразный выброс вещества. Этот метод обеспечивает точность, несколько меньшую, чем при сверлении, требует специального управления режимами прошивки.

К механической обработке деталей предъявляют жесткие технические требования [9]. Направление и качество обработки отверстий проверяют на специальном стенде проливкой дизельным топливом под давлением 0,2 МПа: струи топлива должны быть ровными и гладкими. Контролируется величина пропускной способности распылителя в целом и каждого отверстия одного распылителя – неравномерность не более 8%.

Контрольные вопросы

1. Перечислите требования к форсункам дизелей: общие для ТА и специфические.
2. Что такое и как следует относиться к подвпрыскиванию, подтеканию распылителя, дробящему впрыскиванию форсунок?
3. Зачем перешли на “бесштанговые” форсунки и как в них регулировать давление начала впрыскивания?
4. О чем свидетельствует наличие дробящего впрыскивания при испытании форсунки и является ли его отсутствие признаком неисправности “бесштанговой” форсунки?
5. Зачем выпускают двухпружинные форсунки и на каких режимах дизеля они проявляют свои особенности?
6. Зачем подрезают запорные конусы игл или распылителей.
7. В чем опасность и в чем причины закоксовывания внутренних и внешних поверхностей распылителей?

1.3.6. Насос-форсунки

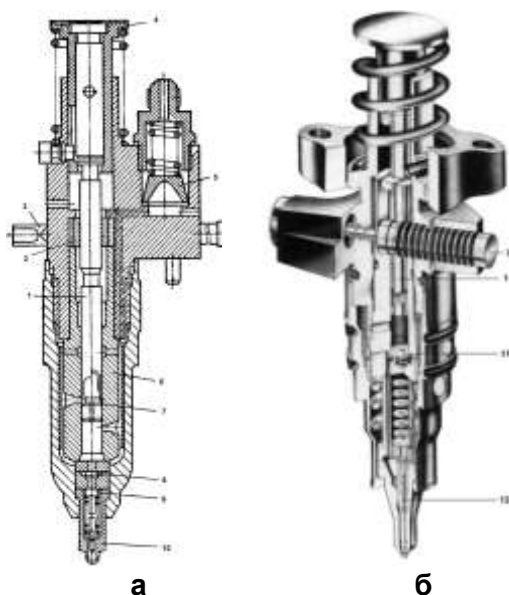


Рис. 1.81. Механические насос-форсунки: а - Ленкарз; б - Steyr: 1 - плунжер; 2 - механизм поворота; 3 - рейка; 4 - толкатель; 5 - фильтры; 6 - втулка плунжера; 7 - управляющая кромка; 8 - клапан давления; 9 - обратный клапан; 10 - распылитель; 11 – клапан управления гидродогрузением иглы; 12 – игла.

Синоним насос-форсунки – топливная система неразделенного типа (подразумевается, не разделена нагнетательным топливопроводом). В едином корпусе размещается ТНВД и форсунка, и этот узел устанавливается в головке цилиндров на месте форсунки.

Насос-форсунки применялись на дизелях всегда, но отношение к ним менялось не раз. Еще до 80-90-х годов они не считались перспективными. Американская промышленность (General Motors, Cummins) не прекращала использования насос-форсунок даже в 60-70-е годы - годы пониженного к ним интереса. В СССР и России они применялись на дизеле на ЯАЗ-204/206, судовом Д42 (8ЧН30/38), ныне на ГАЗ-560 (Steyr) см. рис. 1.81.

Насос-форсунка AP-21 (рис. 1.81,а) для двухтактного дизеля ЯМЗ-204 была скопирована вместе с самим дизелем General Motors и выпускалась Ленинградским карбюраторным заводом. Несмотря на более чем 60-летний возраст, она обеспечивала вполне современное $P_{впр}=132$ МПа и выше. Клапан давления 9 ($\Delta P_{откр}=5$ МПа) продублирован обратным клапаном 8. И все же этого оказалось недостаточно, поэтому фирма General Motors изменила конструкцию, использовав запорную иглу. В России этот дизель и ТПА с конца

80-х годов производятся в малых объемах для армейских дизель-генераторов.

В насос-форсунке для высокооборотного **дизеля ГАЗ-560**, производящегося по лицензии австрийской фирмы Steyr (рис. 1.81,б), представлен обычный набор элементов ТНВД и форсунки (имеется игла, но отсутствует нагнетательный клапан). Дополнительный клапан 11 с жиклером обеспечивает до выхода на упор обеспечивает догружение надыгольной полости, а после – не препятствует развитию процесса. В результате передний фронт характеристики подачи немонотонный, ступенчатый, что соответствует задачам снижения шума и выбросов NO_x .

В судовой конструкции дизеля Д42 имеется весь привычный набор элементов. В насос-форсунке General Motors процесс подачи управляется импульсным гидродождением иглы от плунжерной полости с помощью дополнительных кромок плунжера и окон втулки. Еще менее традиционный процесс реализует насос-форсунка фирмы Cummins. В ней плунжер, являющийся одновременно и иглой, впрыскивает газотопливную эмульсию (ныне фирма перешла на электроуправляемые насос-форсунки, описываемые ниже). Эти конструкции описаны в [9], но их практическое значение утрачивается.

Насос-форсунки с электронным управлением. Электронный регулятор, изменяющий положение рейки управления цикловой подачи, применяемый на дизелях ГАЗ-560, является первой ступенью электронного управления. Все современные насос-форсунки имеют близкую конструктивную схему и клапанное управление цикловой подачей и УОВТ.

Насос-форсунки фирмы Detroit Diesel Allison (отделения General Motors). Система DDEC-II (Detroit Diesel Electronic Control) (рис. 1.82) для тяжелых грузовых автомобилей начала производиться с 1985 г. Именно она стала первой серийной в классе ТА с электроклапанным управлением. Свыше 4,8 миллионов таких насос-форсунок служит на транспортных дизелях, в том числе военного назначения.

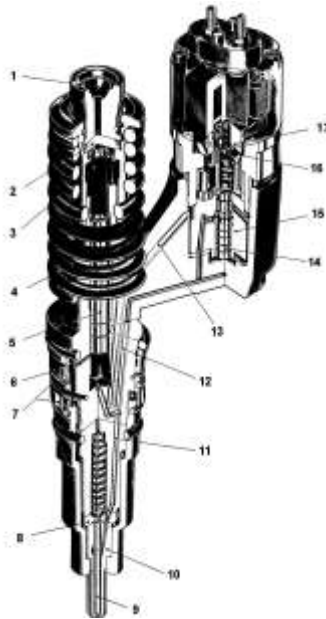


Рис. 1.82. Насос-форсунка системы DDEC-II фирмы Detroit Diesel Allison: 1 - электромагнит; 2 - тарельчатый управляющий клапан; 3 - плунжер; 4 - плунжерная полость; 5 - канал управления; 6 - носик распылителя.

Рис. 1.83. Насос-форсунка EUI фирмы Lucas: 1 - головка толкателя; 2 - подушка толкателя; 3 - пружинная шайба; 4 - возвратная пружина; 5 - плунжер; 6 - впускное окно; 7 - кольцевые фильтры; 8 - проставка; 9 - игла; 10 - распылитель; 11,12,13 - каналы высокого давления; 14 - клапан управления сливом; 15 - направляющая клапана; 16 - возвратная пружина; 17 - магнитопровод.

В начале и конце движения плунжера 3 клапан 2 открыт, обеспечивая слив топлива из плунжерной полости 4. Закрытие его на короткое время обуславливает активный ход плунжера, т.е. цикловую подачу. Началом закрытия управляют УОВТ.

Наполнение плунжерной полости осуществляется также через клапан. Отсутствие разрежения при наполнении и короткие нагнетательные каналы позволяют обойтись без нагнетательного клапана. Управляющий клапан (рис. 1.44) имеет собственную частоту 10 кГц. Этого оказывается достаточно для организации двухфазного впрыскивания. Несколько насос-форсунок с управляющими клапанами могут быть выключены из работы. Метод электрического отключения насос-форсунок при диагностике дизеля позволяет быстро выявить неисправную.

СУ получает информацию от датчиков температуры масла, топлива, охлаждающей жидкости и воздуха на впуске; от датчиков давления наддува и масла; положения коленчатого вала; положения дросселя. В зависимости от типа энергоустановки применяются другие дат-

чики. При нормальной работе СУ на датчики посылается модулированный сигнал 5 В. Нормальный отклик каждого датчика 0,5...4,5 В. В противном случае, в отличие от случая неразрешенного значения измеряемого параметра, диагностируется неисправность датчика.

Для исключения влияния внешних электромагнитных помех сигнал, управляющий электромагнитом, является частотно-модулированным. Электронный блок использует однокристалльный микропроцессор Motorola, работоспособный при 125⁰С.

На каждом рабочем режиме СУ функционирует по заложенным алгоритмам и логическим условиям. Например, когда оператор включает стартер, то СУ препятствует впрыскиванию, если частота вращения вала недостаточна. Это предотвращает белый дым и переохлаждение цилиндров топливом. СУ изменяет УОВТ относительно нормального уровня. После запуска частота вращения холостого хода увеличивается для ускорения прогрева, постепенно приближаясь к нормальной. Более быстрый прогрев осуществляется за счет работы только половины цилиндров, в дальнейшем включаются неработавшие цилиндры.

Насос-форсунки фирмы Lucas - EUI (Electronic unit injectors) - предназначены для малотоксичных дизелей с открытой КС легковых автомобилей, автобусов, внедорожников, грузовиков (рис. 1.83). Первоначально типоразмерный ряд насос-форсунок обеспечивал максимальные подачи 50, 100, 150 и 200 мм³/цикл. Сейчас возможности такой ТА выше (табл. 1.3). Она применяется, в частности, на дизелях Volvo, John Deer, Detroit Diesel. Такая ТА может приводиться от верхнего или нижнего распределительных валов, может устанавливаться в головке с 2 или 4 клапанами.

Конструкция насос-форсунки Lucas несколько сложнее, чем предыдущая: топливо поступает и сливается через фильтр 7 (рис. 1.83) и опоясывающие корпус полости. Каналы высокого давления 11-13 сообщают клапан 14 и распылитель 10 с плунжерной полостью, канал А используется для слива через клапан. Наполнение плунжерной полости осуществляется через клапан и впускное окно 6.

Система обеспечивает с помощью быстродействующего клапана (с уплотнением по торцу) гибкое управление подачей и УОВТ, в том числе на переходных режимах. СУ снабжена датчиками частоты вращения и положения вала, температуры и давления воздуха, температуры охлаждающей жидкости. СУ связана с другими системами автомобиля, что обеспечивает возможность всесторонней диагностики. Дизели с такими насос-форсунками отличаются низкой эмиссией ВВ и шумностью работы.

Уже в образцах 1983 г. обеспечивалась запальная доза двухфазного впрыскивания продолжительностью до 8 % от общей за 0,5 мс. Организация двухфазного впрыскивания организована в последних моделях насос-форсунки с помощью плунжера гидрогужения запираания иглы аналогично иллюстрируемому рис. 1.87.

Таблица 1.3. Параметры насос-форсунок Lucas Variety:

Размерность	50/100	150	200	250
Частота вращения вала дизеля, мин ⁻¹	5000	3000	2400	2000
Рабочий объем одного цилиндра, л	0,5/1,0	1,0/1,5	1,5/2,0	2,0/2,5
Диаметр плунжера, мм	8	9	10	11
Ход плунжера, мм	9	11/13	15	18
Цикловая подача, мм ³	120	160	240	300
Максимальное давление подачи, МПа	200	200	200	200

Фирма R.Bosch выпускает насос-форсунки с электроуправлением двух типов: для грузовиков и легковых автомобилей. На рис. 1.84 представлена схема топливной системы фирмы R.Bosch [29], на рис. 1.85 и 1.86 – внешний вид и разрезы насос-форсунок. Блок-схема управления ТА и двигателем весьма схожа с соответствующей схемой для ТНВД распределительного типа – рис. 1.52 (отсутствует датчик подъема иглы, а исполнительными органами насосной части является не два, а единственный управляющий клапан).

На дизелях VW 4CH79,5/95,5 рабочим объемом 1,9 л, мощностью 85 кВт при n=4000 мин⁻¹ насос-форсунки обеспечивают давление впрыскивания до 205 МПа [29].

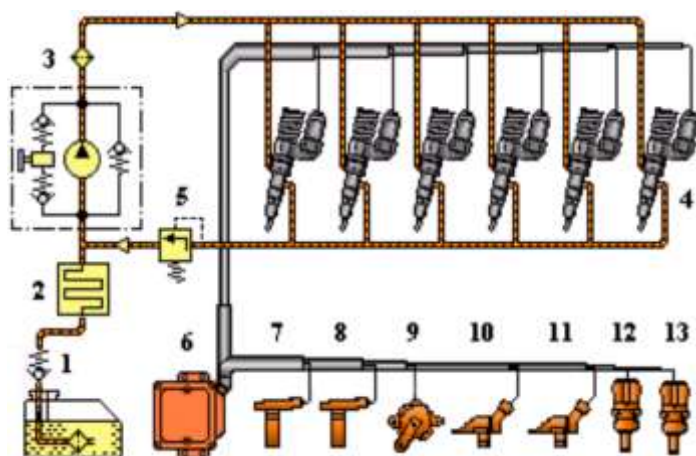
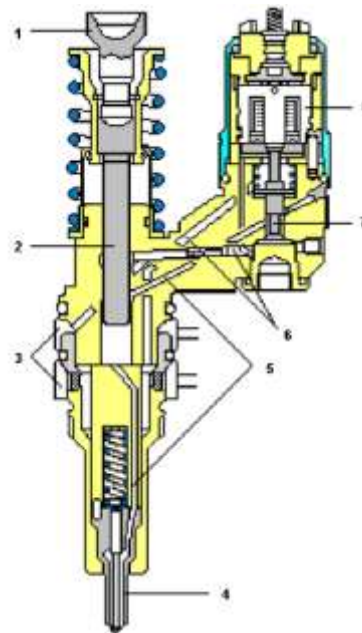


Рис. 1.84. Укрупненная схема топливной системы R.Bosch с насос-форсунками: 1 - бак; 2 - теплообменник-подо-греватель; 3 - ТПН с регулируемыми давлением клапанами; 4 - насос-форсунки; 5 - дренажный клапан; 6 - блок управления; 7...13 - датчики частоты и положения вала, акселератора, давления заряда и воздуха, температуры воздуха и охлаждающей жидкости.



Рис. 1.85. Внешний вид и разрез насос-форсунки с быстродействующим электромагнитным клапаном слива фирмы R.Bosch для дизелей грузовых автомобилей: 1 - толкатель; 2 - плунжер; 3 - полости подкачки и слива; 4 - распылитель; 5 - каналы высокого давления; 6 - каналы низкого давления; 7 - клапан управления сливом; 8 - электромагнитный привод.



Сначала они применялись на автомобилях Volkswagen Passat, затем и на других. Отмечается, что запальная порция двухфазного впрыскивания достигает $1,5 \text{ мм}^3$, причем с большей точностью, чем в ТПА типа CR. Сейчас они обслуживают дизели с цилиндровой мощностью до 25 кВт при $n=4800 \text{ мин}^{-1}$ с цикловой подачей до 60 мм^3 . На вседорожниках мощность в цилиндре 45...80 кВт, частота 2400 мин^{-1} , цикловая подача $160...400 \text{ мм}^3$, максимальное давление впрыскивания 160...180 МПа.

Конечно, ввиду особенностей компоновки усложняется соосное цилиндру расположение насос-форсунки, ее демонтаж и обслуживание (ее верхняя часть, в отличие от форсунок, не может находиться в атмосфере). Несосное и наклонное расположение насос-форсунки предопределено в дизеле с двумя клапанами на цилиндр. Однако, высокое качество впрыскивания наряду с возможностями электронного управления подачей, включая и ее характеристику, обеспечило выполнение перспективных экологических норм, достижение максимального крутящего момента 285 Н·м при частоте вала дизеля $n=1900 \text{ мин}^{-1}$ (0,475 от номинальной частоты), расход топлива при скорости 90, 120 км/ч и в городском цикле – 3,6, 4,4 и 5,9 л на 100 км.

Насос-форсунка легкового автомобиля имеет две особенности. Во-первых, ее клапан отличается геометрией от используемых в большинстве аналогичных конструкций: электромагнитный привод располагается со стороны запорной фаски, а не разгружающего плунжера. Это упрощает закрепление на клапане якоря. Более важно наличие дополнительных элементов 23, 24, обеспечивающих периодическое догружение иглы и организацию двухфазной подачи топлива. Сказанное поясняется рис. 1.87.

При закрытии управляющего клапана поднимающееся давление в кармане распылителя заставляет подняться иглу – начинается фаза предварительной подачи "а" на рис.

1.87. Дальнейшее повышение давления в плунжерной полости заставляет открыться клапан, опирающийся на плунжер гидродогружения иглы (23 на рис. 1.86). За счет начала действия высокого давления на площадь плунжера, большую, чем площадь клапана, эти детали быстро сдвигаются вниз до упора, поджимая запорную пружину. В результате этого запирающая иглу сила превышает гидравлическую и игла закрывается. Только дальнейшее повышение давления подачи заставляет иглу вновь открыться и осуществить основное впрыскивание (фаза "б" на рис. 1.87).

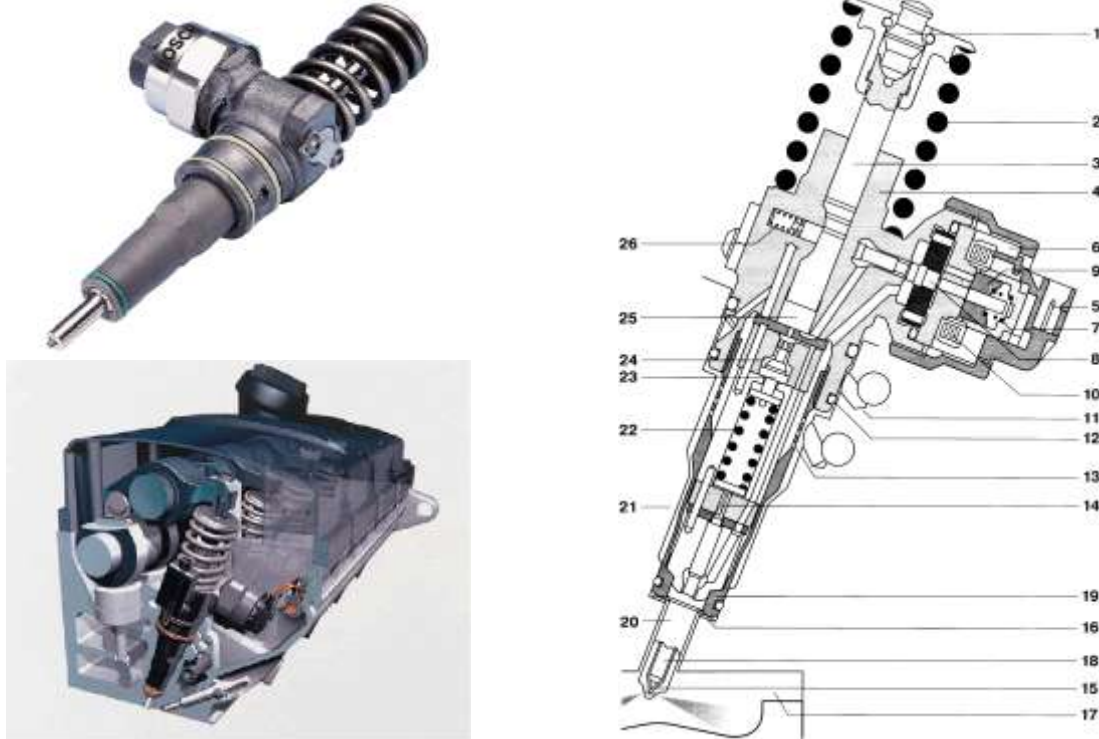
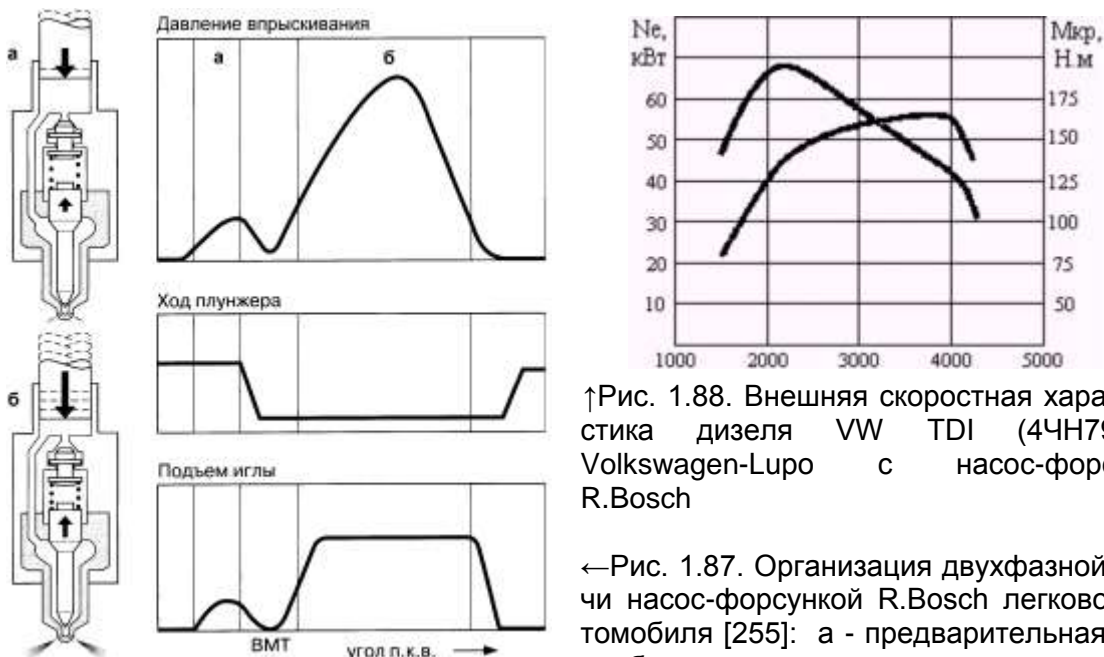


Рис. 1.86. Внешний вид, компоновка и разрез электроуправляемой насос-форсунки R.Bosch легкового автомобиля [255]: 1 - толкатель; 2 - пружина; 3 - плунжер; 4 - корпус; 5 - разъем; 6 - магнитопровод; 7 - компенсирующая пружина; 8 - клапан; 9 - якорь; 10 - катушка; 11 - канал слива; 12 - уплотнение; 13 - впускные отверстия; 14 - гидравлический демпфер; 15 - запорный конус; 16 - прокладка; 17 - камера сгорания; 18 - игла; 19 - стяжная гайка; 20 - распылитель; 21 - головка блока; 22 - пружина; 23 - плунжер гидродогружения иглы; 24 - камера гидродогружения; 25 - плунжерная полость; 26 - возвратная пружина.



Использование таких насос-форсунок на автомобиле дизеле Volkswagen Lupo с дизелем 4СН79,5/88 рабочим объемом 1,4 л, мощностью 55 кВт при $n=4400 \text{ мин}^{-1}$ обеспечило максимальный крутящий момент 195 Н·м при $n=2200 \text{ мин}^{-1}$ (0,5 от номинальной частоты), коэффициент приспособляемости 1,95 (рис. 1.88).

Таким образом, путем совершенствования дизеля, а не путем применения сложных и потому малоперспективных решений, удалось вплотную подойти к созданию "двигателя постоянной мощности" – т.е. двигателя с пропорциональным увеличением момента при снижении частоты. Он, как известно, позволяет получить наилучшие динамические качества автомобиля, уменьшить число переключений передач при езде, улучшить экономичности и проходимости автомобиля. Кроме того, обеспечено выполнение норм выбросов вредных веществ на уровне Euro-III-IV и реализацию концепции-мечты европейских производителей "трехлитрового автомобиля". Справедливости ради следует упомянуть, что 3 л в городском цикле и до 2,6 по шоссе обеспечивает не серийный автомобиль, а это эксклюзивное исполнение с кузовом из легких сплавов, низкопрофильными шинами с давлением 0,42 МПа и дополнительными энергосберегающими техническими решениями.

Заключение

Повышение интереса к насос-форсункам в последние годы было обусловлено наиболее полным соответствием двум важнейшим тенденциям совершенствования ТПА при максимальной простоте конструкции: интенсификации впрыскивания и введению электронного управления. Давно известны достоинства насос-форсунок: повышение давления впрыскивания за счет минимизации объемов сжимаемого топлива, отсутствие подвпрыскивания, уменьшение номенклатуры деталей, резкая отсечка подачи, меньшее закоксовывание и больший ресурс распылителя, меньшие затраты мощности, отсутствие необходимости в нагнетательном клапане, снижение запаздывания впрыскивания относительно нагнетания плунжера, что уменьшает разброс УОВТ по частотам вращения и уменьшает требуемый диапазон его регулирования.

Насос-форсунки обеспечивают относительно более пологий передний фронт подачи, что соответствует экологическим требованиям. Более пологий передний фронт и более резкий задний способствуют снижению жесткости сгорания, шумности, выбросов NO_x , получению крупных капель в конце впрыскивания, снижению сажеобразования.

Сегодня насос-форсунки используются в дизелях с диаметром цилиндра 67...300 мм. В дизелях FOCS Lamborghini они представляют Г - образную конструкцию с перпендикулярными осями насосной секции и распылителя. Электроуправляемыми насос-форсунками снабжены быстроходные дизели Caterpillar, Cummins, Detroit Diesel, Volkswagen, MAN, Scania и др. В последних в 2006 было достигнуто рекордное давление впрыскивания – 250 МПа.

Ограничивали применение насос-форсунок недостатки: усложненные условия компоновки головки, увеличенный диаметр форсуночной части, большее снижение давления впрыскивания на частичных режимах работы, усложненные и менее точные условия регулировки равномерности подачи по цилиндрам, усложнение привода реек и специального привода автоматического регулятора, зачастую отсутствие специально приспособленных для насос-форсунок испытательных топливных стендов.

В связи с использованием электронного управления число достоинств выросло, а недостатков - уменьшилось. Так, плунжерная пара максимально упростилась, исчез механизм поворота плунжера, реечные тяги и индивидуальный автоматический регулятор, отпала необходимость выравнивания подачи по цилиндрам при регулировке, возникла возможность обеспечения двухфазной подачи, регулирования УОВТ, а поэтому, повысились экономичность, надежность пуска, снизилась эмиссия ВВ. Дорогие топливные стенды начали комплектовать специальными оборудованием. Насос-форсунки будут использоваться в и будущем.

Контрольные вопросы

1. Какое решающее преимущество перед иной ТА имеют насос-форсунки?
2. Как осуществляется в насос-форсунках ступенчатое впрыскивание?
3. Какие новые возможности приобретают насос-форсунки с электронным управлением?
4. Какие обстоятельства препятствуют расширению использования насос-форсунок?

1.4. АККУМУЛЯТОРНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ СИСТЕМЫ С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

ТПА аккумуляторного типа начала применяться на главных судовых дизелях с 1910 г. и наиболее широко использовалась в 50-е годы [12]. Механическое управление клапаном, приводимым от кулачка, обуславливало количество и фазу впрыскиваемого топлива. Высокое давление впрыскивание оказывалось возможным поддерживать на всех частичных режимах работы дизеля. К исчезновению на полстолетия этих систем привели их недостатки: сложность, металлоемкость, громоздкость, разветвленность ЛВД и недостаточная живучесть при разгерметизации одного из соединений, необходимость автономной зарядки аккумулятора перед пуском.

Новые требования к ТПА, а именно, управляемости давлением, характеристикой подачи и УОВТ по режимам работы и возможность, таким образом, глубокой оптимизации рабочего процесса, вызвали к жизни новое поколение аккумуляторных систем – с электронным управлением. Главные функциональные преимущества этих систем заключаются в разделении во времени процессов нагнетания и впрыскивания топлива. Это обеспечивает независимость от скоростного режима работы двигателя параметров впрыскивания: фазы, продолжительности, формы характеристики, давления впрыскивания. Разработки таких систем велись с 70-х годов, причем наиболее удачные конструктивные решения были разработаны именно в России.

Принцип работы CR схож системе впрыскивания бензина с электронным управлением: давление в аккумуляторе постоянно, а УОВТ и g_c регулируются фазой и продолжительностью открытия форсунки. Однако, режимы, условия работы, предъявляемые требования иные, а следовательно и конструкция существенно сложнее.

Современные аккумуляторные системы выполняются по одной из двух принципиальных схем: системы среднего давления с мультипликаторами давления и системы высокого давления типа Common Rail. Начнем рассмотрение с последних ввиду их большего распространения.

Крупнейшие производители систем CR в мире: фирма R.Bosch - в 2002 г. произвела более 4 миллионов комплектов, которые устанавливаются на дизели нового поколения многих производителей (в основном европейских и азиатских). Второй по первенству и объему производства - фирма Siemens, в то же время выпускала около 2-х миллионов, поставляет эти системы в основном для европейских дизелей и начала выход на рынок США и Канады. Фирма Delphi Diesel Systems (бывш. Lucas CAV) выпускает систему DCR (Delphi Common Rail) и в 2007 должна была выпустить уже 2,5 комплектов для автомобилей Renault, Nissan, PSA, Hyundai, Kia, Ford. В 2007 г. подготовку и начало выпуска CR имели уже почти все фирмы, производящие ТА, но из-за отставания с началом работ их объем производства меньше.

1.4.1. Состав и устройство элементов систем Common Rail

Первым промышленным образцом аккумуляторной топливной системы с электронным управлением без мультипликаторов давления, названный Common Rail (“Общий путь”, т.е. общая для форсунок магистраль, аккумулятор), явилась совместная разработка фирм Robert Bosch GmbH, Fiat, Elasis, реализованная в 1997 г. В настоящее время работы над CR ведутся во всех фирмах-производителях ТПА и круг законченных разработок быстро расширяется. Вместе с тем разработки таких систем велись с 70-х годов, причем именно в России, наиболее удачно [24].

На рис. 1.89 представлен внешний вид основных механических элементов автомобильной CR R.Bosch, а на рис. 1.90 – ее размещение на дизеле. Такие системы не усложняют головку цилиндра, как насос-форсунки, легче, чем любые другие komponуются на двигателях различных кинематических схем. Привод ТНВД – любого типа, он не испытывает острой импульсной нагрузки. К числу функциональных элементов относятся и нагнетательные трубопроводы от аккумулятора до форсунок: в отличие от бензиновых систем без них не удастся обойтись. Они имеют длину 150...240 мм, что в сочетании с длинными каналами современных форсунок приводит к образованию сложных волновых процессов. Без их точного расчета нельзя спроектировать систему, а в эксплуатации нельзя допускать неравноценную замену трубопроводов.



Рис. 1.89. Внешний вид автомобильной CR фирмы R.Bosch: 1 - форсунка; 2 - корпус аккумулятора; 3 - аварийный ограничитель подачи; 4 - датчик давления; 5 - предохранительный клапан; 6 - ТНВД.

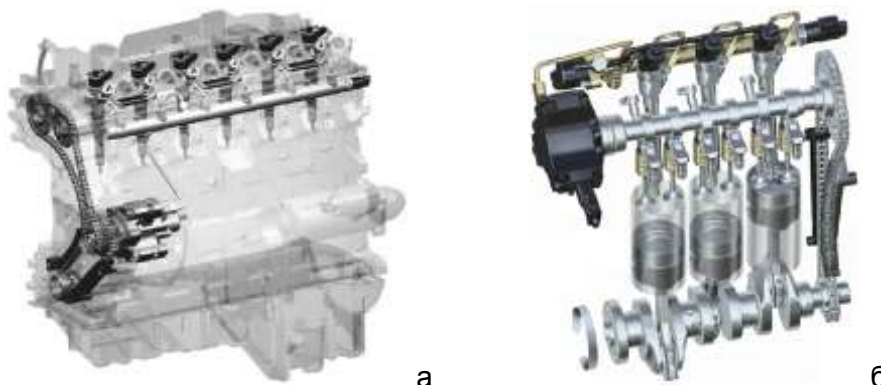


Рис. 1.90. Размещение CR на автомобильных дизелях фирмы BMW DI (а) и Daimler-Chrysler AG автомобиля Smart (б).

Рис. 1.91 иллюстрирует **состав и взаимосвязи элементов CR** [13, 27]. Главная линия движения топлива пролегает из бака 5 в ТПН 3, ТНВД 1, аккумулятор 9, форсунку 14.

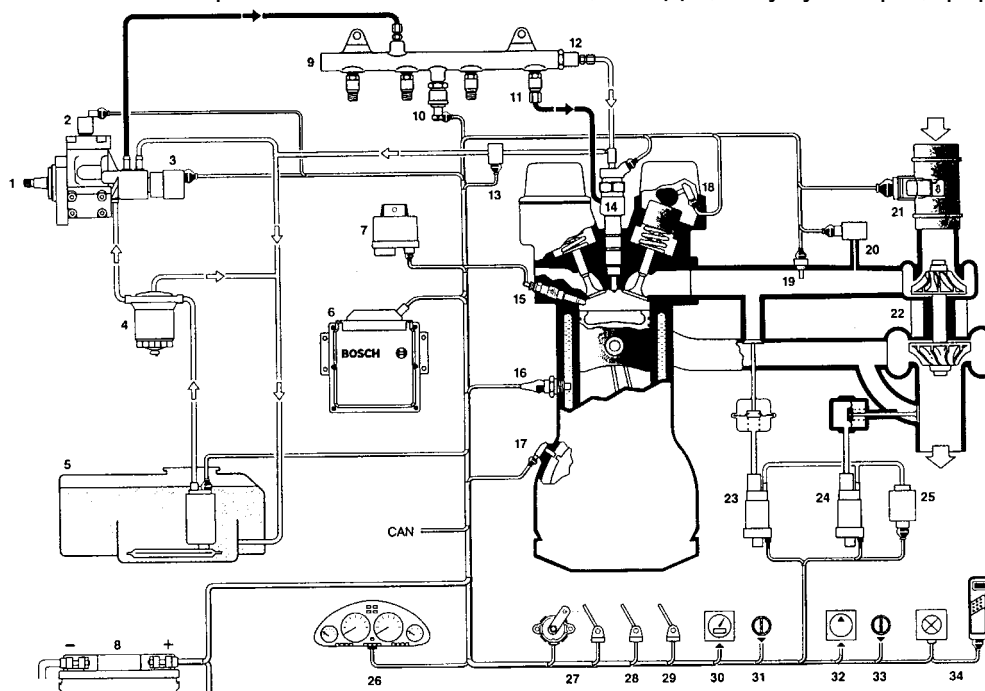


Рис. 1.91. Система CR в составе быстроходного автомобильного дизеля: 1 - ТНВД; 2 - электроклапан регулирования расхода; 3 - электроклапан регулирования давления; 4 - фильтр тонкой очистки; 5 - бак, фильтр, электрический ТПН; 6 - блок управления; 7 - реле свечи; 8 - электроаккумулятор; 9 - гидроаккумулятор 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 к.в.; 18 - датчик такта дизеля; 19 - датчик температуры воздуха; 20 - датчик давления воздуха; 21 - расходомер воздуха; 22 - турбокомпрессор; 23 - регулятор рециркуляции ОГ; 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.

Существенно, что из ТНВД и форсунки под высоким давлением топливо сбрасывается на слив. Это вынуждает организовывать специальную низкотемпературную систему охлаждения топлива, как это сделано на автомобиле Mercedes-Benz C220 CDI. Охлаждитель топлива устанавливают на сливной магистрали перед баком.

ТПН и фильтры в CR аналогичны традиционным, однако, сформировалось мнение, что системы CR все же более требовательны к качеству фильтрации топлива. Широко используются роторно-лопастные, шестеренчатые и героторные встроенные ТПН, а также роторные роликовые и шестеренчатые насосы с автономным электроприводом, в том числе погруженные в бак. Давление подачи диктуется наполнением плунжерного пространства, обеспечением смазки и имеет порядок 0,5...0,8 МПа. Обычно ТПН обеспечивают не менее двухкратного запаса по производительности относительно максимального через ТНВД.

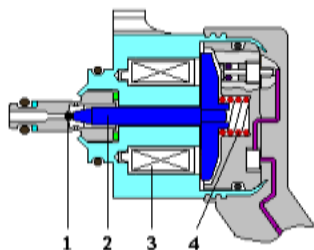


Рис. 1.92. Электроуправляемый клапан - регулятор давления CR R.Bosch.



Рис. 1.93. Электроуправляемые клапаны CR Siemens: сверху - клапан давления, внизу - регулирования производительности ТНВД.

пропуски подач).

Клапан может устанавливаться и в ТНВД, и на аккумуляторе. Пружина 4 через шток 2 закрывает шариковый клапан 1 (рис. 1.92) [13]. Электромагнитом 3 создается дополнительное запирающее усилие. Частота срабатывания клапана - 200...350 Гц. Ввиду постоянного сброса топлива нормальное состояние клапана - разогрев, не позволяющий его держать рукой. При заворачивании клапана CR Siemens легко раздавить таблеточное седло шарикового клапана 0,8 мм. В результате приходится покупать самый дорогой компонент системы - ТНВД. По этой причине при попытке обеспечить уплотнение по торцу седла необходимо пользоваться динамометрическим ключом со шкалой до 2...5 Н.м. При плохом уплотнении клапан будет перегреваться, а давление в аккумуляторе не будет достигнуто.

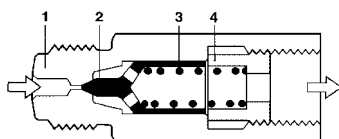


Рис. 1.94. Предохранительный клапан CR R.Bosch.

Аккумулятор в CR для получения коротких нагнетательных трубопроводов закрепляется на головке и выполняется в виде толстостенной трубы (рис. 1.89-1.91). Например, а ТПА R.Bosch для легковых автомобилей внутренний диаметр литого стального аккумулятора 10 мм, наружный - 18 мм, длина 280...600 мм, т.е. объем от 22 до 47 мл (для дизелей с цилиндровой мощностью 30...50 кВт - до 60 мл).

Рис. 1.3, иллюстрирующий изменение $P_{акк}$ по режимам дизеля, поясняет, почему имеется тенденция к снижению объема аккумулятора (до 13 мл). В переходных процессах двигателя, в первую очередь - при приеме нагрузки, необходимо быстро изменить давление в аккумуляторе. С учетом сжимаемости топлива, сделать это легче с аккумулятором малого объема.

Клапанный регулятор давления (поз. 3 на рис. 1.91). Сразу оговоримся, что метод регулирования сливом из высоконапорного аккумулятора имеет очевидные недостатки: слишком неэкономичен, требует специального охладителя топлива и быстродействующего клапана. Поэтому в некоторых системах его уже изъяли. Если же он имеется, то используется не только для снижения $P_{акк}$ в переходном процессе, но ему отводится также роль второго канала регулирования $P_{акк}$ на установившихся режимах дизеля. Если он не работает, то $P_{акк}$ нестабильно, а при резком снятии нагрузки дизель работает шумно, возможны трудности обеспечения малых подач при высоких давлениях (замедление сброса нагрузки или

Предохранительный клапан (поз.12 на рис. 1.91) предназначен для стравливания топлива из аккумулятора при превышении давления выше допустимого. Давление срабатывания клапана 2 (рис. 1.94) регулируется винтом 4. Предъявляются повышенные требования к точности изготовления запорного конуса клапана и обеспечению его герметичности. Конус у клапана 2 более тупой, чем у корпуса 1, усилие затяжки пружины 3 - 400...450 Н. Обе детали закалены. По ресурсу клапан рассчитан на редкое срабатывание (не более 50 раз).

Датчик давления топлива в аккумуляторе (рис. 1.95). Его особенность - стабильная нулевая точка. Мембрана 2 приварена к корпусу и снабжена полупроводниковым первичным преобразователем. Она может прогибаться до 1 мм при давлении 150 МПа. В корпусе смонтирована плата 1 с электронной схемой обработки сигнала. Питание 5 В, первичный сигнал 0...70 мВ, после усиления - 0,5...4,5 В. Точность измерения не хуже 2 %. Датчик неразборный.

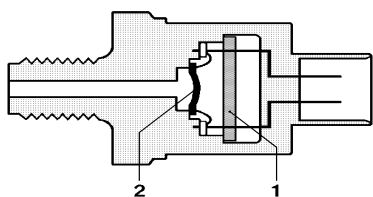


Рис. 1.95. Датчик давления в аккумуляторе CR Bosch.

Аварийный ограничитель подачи предотвращает опорожнение аккумулятора через форсунку с зависшей иглой или клапаном управления и по этой причине повреждение соответствующего цилиндра дизеля. В ограничителе используется

принцип возникновения разницы давлений по обе стороны от клапана 1 (рис. 1.96) при прохождении топлива через его жиклеры 2. Сечение жиклеров, затяжка пружины 3 и диаметр клапана подобраны таким образом, что при самой большой и длительной подаче топлива клапан не дойдет до запорного седла. За период между впрыскиваниями на любом режиме (в первую очередь – номинальном) клапан возвращается в исходное положение. Посадка его на седло рассматривается как недопустимо большая или непрерывная подача топлива. В этом случае форсунка выключается из работы до остановки дизеля, т.к. слева от клапана давление равно $P_{ак}$, а справа – существенно более низкое.

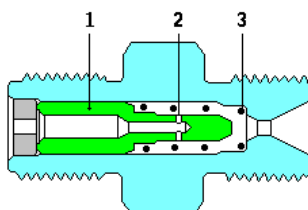


Рис. 1.96. Аварийный ограничитель подачи через форсунку CR R.Bosch.

Контрольные вопросы

1. Перечислите важнейшие достоинства систем Common Rail относительно другой ТА с электронным управлением ?
2. Какую функцию выполняет регулятор давления и как его работа соотносится с регулированием производительности ТНВД ?
3. Зачем устанавливают аварийный ограничитель подачи?

1.4.2. Насосы высокого давления для аккумуляторной топливной системы Common Rail

Проблеме создания ТНВД CR вплоть до 1997 г. не уделяли внимания - считалось, что в этом нет серьезной проблемы. В действительности, существенными оказались проблемы работоспособности и ресурса ТНВД, а также его стоимости и простоты. По целому ряду технических решений традиционный ТНВД для этой цели неприемлем, а адаптированный из него - неконкурентоспособен по технико-экономическим показателям. Из всех компонентов систем CR ТНВД является самым дорогим агрегатом. Так, для дизеля легкого грузовика 21% стоимости приходится на блок управления, 30% - на четыре форсунки, 37% - ТНВД, остальное – на датчики, аккумулятор и арматуру.

Первые из промышленно реализованных специализированных ТНВД для CR были **радиально-плунжерные насосы немецких фирм**. ТНВД первого поколения системы **CR фирмы R.Bosch** для легкового автомобиля с дизелем 2...2,5 л представлен на рис. 1.97 [9, 13, 27]. Он создавался на расчетное давление подачи до 135 МПа. Радиально-плунжерный ТНВД обеспечивает равномерность загрузки приводного вала. Так, для дизеля 2...2,5 л $M_{кр\ max} \approx M_{кр\ средн} = 16$ Н·м, что в 9 раз ниже $M_{кр\ max}$ распределительного ТНВД типа VE. Таким образом, требования к приводу ТНВД снижаются до уровня требований к приводам прочих вспомогательных агрегатов ДВС. Например, в немецких автомобилях широко используется цепной привод (рис. 1.90).

Однако, при соизмеримых давлениях впрыскивания в одном дизеле мощность на привод ТНВД CR выше, чем в традиционных системах. Так, если распределительный ТНВД типа VE потреблял 2,5 кВт, то ТНВД CR ($P_{ак} = 135$ МПа) - 3,8 кВт. Противоречие между высоким КПД (90%) и затратами мощности ТНВД для CR объясняется потерями топлива на управление в форсунках. Частота вращения вала ТНВД не соответствует половине частоты коленчатого вала и обычно выше, доходя до 3000 и даже 4000 мин⁻¹.

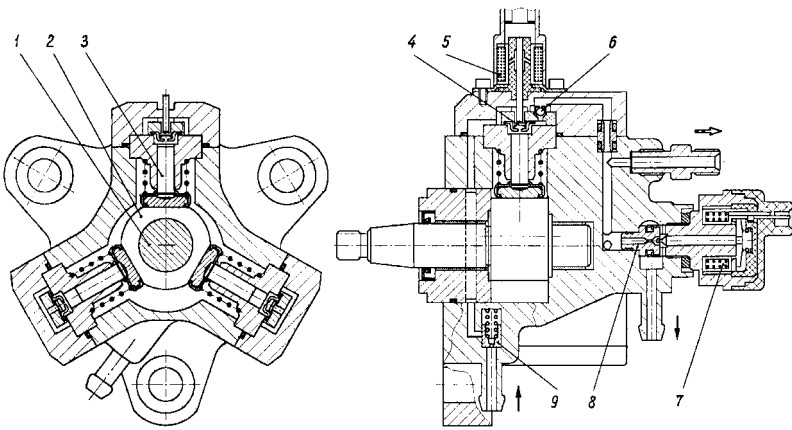


Рис. 1.97. Радиально-плунжерный ТНВД Common Rail первого поколения: 1 - эксцентрик вал; 2 - приводная втулка; 3 - плунжер; 4 - впускной клапан; 5 - электромагнит впускного клапана; 6 - выпускной клапан; 7 - электромагнит регулятора давления; 8 - седло клапана регулятора; 9 - противодренажный клапан.

На рис. 1.97 можно уловить дезаксиал осей плунжеров относительно вала (эксцентрик должен вращаться против часовой стрелки). Дезаксиал позволяет снизить момент, перекашивающий плунжер во втулке. Каждая плунжерная пара имеет впускной и выпускной клапаны. Кроме того, имеется общий клапан давления с $\Delta P_{откр} = 0,05 \dots 0,15$ МПа на входе в ТНВД со стороны подкачки. Он предотвращает опорожнение полостей ТНВД и задержку пуска дизеля. Смазка и охлаждение ТНВД осуществляется топливом, для чего предусматривается его циркуляция по линии низкого давления. Регулирование производительности осуществлялось блокированием впускного клапана 4 электромагнитным приводом 5.

Быстро стали ясны недостатки ТНВД по рис. 1.97, а получение давлений выше 135 МПа с его помощью стало невозможно. На рис. 1.98 и 1.99 представлен выпускаемый ныне R.Bosch вариант насоса.

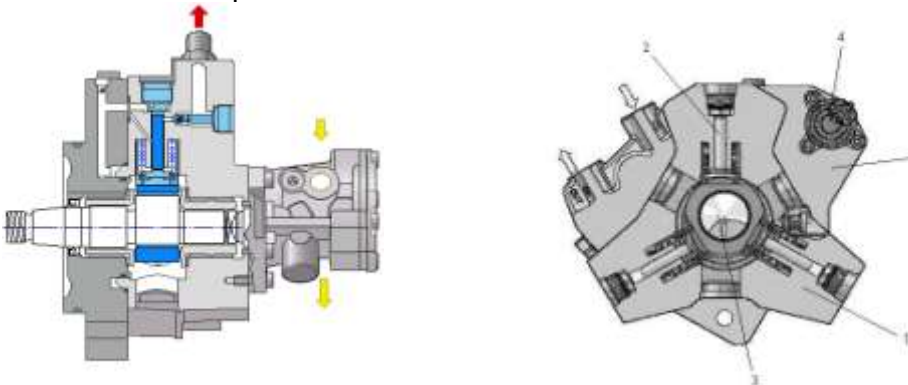


Рис. 1.98. ТНВД CP-3.4 R.Bosch системы Common Rail: 1 - секция высокого давления; 2 - плунжер; 3 - эксцентрик вал; 4 - регулятор производительности насоса; 5 - фланец.



Рис. 1.99. Детали ТНВД CP-3 R.Bosch для легковых автомобилей.

Он отличается повышенной работоспособностью привода плунжеров, использованием автоматических шариковых впускных клапанов, компоновкой совместно с подкачи-

вающим шестеренчатым насосом, регулированием производительности дросселированием на всасывании, отличающимся высоким КПД. ТНВД CP-3.4 для двигателей грузовиков смазывается маслом. В настоящее время во всех конструкциях ТНВД CR регулирование производительности производится путем дросселирования на впуске. В ТНВД фирмы Denso поток топлива дополнительно дросселируется на выходе из насоса.

Для облегчения ТНВД фланцевая часть корпуса отлита из алюминиевого сплава, для обеспечения работоспособности толкателя и сохранения прочности другая (насосная часть) – из чугуна. Масса насоса 6,6 кг. Из специальных антифрикционных материалов выполнены детали втулки эксцентрика. Если три ее скоса достаточно твердые, то вкладыш подшипника качения – фторобронзовый (шаровидная бронза диспергирована во фторопласте). Он достаточно мягкий, легко царапается и повреждается при попадании в зазор абразива, при наличии повреждений на поверхности эксцентрика, при надевании на вал с перекосом.

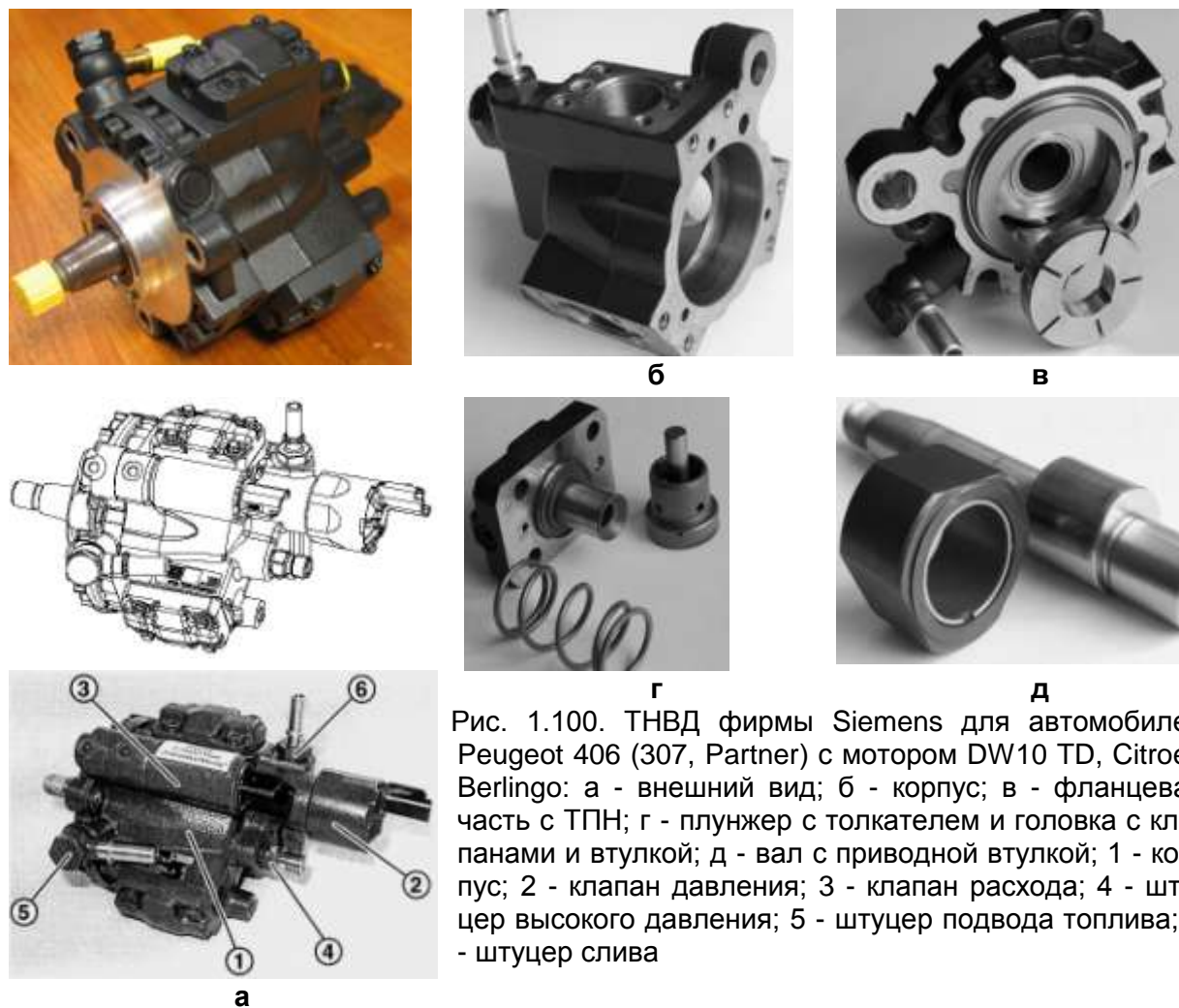


Рис. 1.100. ТНВД фирмы Siemens для автомобилей Peugeot 406 (307, Partner) с мотором DW10 TD, Citroen Berlingo: а - внешний вид; б - корпус; в - фланцевая часть с ТПН; г - плунжер с толкателем и головка с клапанами и втулкой; д - вал с приводной втулкой; 1 - корпус; 2 - клапан давления; 3 - клапан расхода; 4 - штуцер высокого давления; 5 - штуцер подвода топлива; 6 - штуцер слива

Близкие конструктивные решения применены в **ТНВД фирмы Siemens** (рис. 1.100). Он отличается малыми габаритами, массой (4,5 кг), наличием двух встроенных клапанов управления (рис. 1.93) и предназначался для нагнетаний топлива под давлением до 150 МПа. Основная часть корпуса выполнена – литьем из чугуна (рис. 1.100,б), фланцевая – из алюминиевого сплава (рис. 1.95,в). Шариковые клапаны в головке насосной секции – неподпружиненные, в корпусе-корсете. Втулка плунжера заодно с головкой (рис. 1.100,г).

Клапан регулятор расхода, приводимый в действие пропорциональным электромагнитом, управляется микроконтроллером широтно-импульсной модуляцией, изменяющей среднее значение тока, подаваемого в обмотку электромагнита. Характер регулирования подачи отличается от системы EDC16C3 фирмы R.Bosch. Если в той величина управляющего воздействия регулятора обратно пропорциональна подаче топлива (при отсутствии управляющего сигнала клапан открыт), то в системе SID 801 фирмы Siemens величина управляющего воздействия регулятора прямо пропорциональна подаче топлива.

Максимальная производительность насоса DPC фирмы Siemens составляет 0,8 мл на 1 рабочий цикл приводного вала.

Роторные ТНВД для систем CR также являются ныне серийной продукцией и выпускаются фирмами, имеющими опыт производства роторных распределительных ТНВД для систем непосредственного действия (рис. 1.53): Delphi Diesel Systems, Nippon Denso. На рис. 1.101 представлен ТНВД фирмы Delphi.

В отличие от распределительных насосов фирмы Lucas, в которых нагнетающие плунжеры размещены во вращающемся роторе, в насосе для системы CR плунжеры с роликовыми толкателями размещены в неподвижной головке насоса, а кулачковая шайба объединена и вращается с приводным валом. Обращает на себя внимание достаточная простота конструкции, в первую очередь за счет уменьшения номенклатуры деталей.

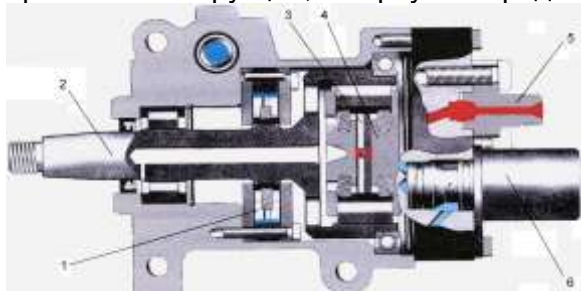


Рис. 1.101. Внешний вид и разрез роторного ТНВД фирмы Delphi: 1 - ТПН; 2 - приводной вал с кулачковой шайбой; 3 - плунжер; 4 - ротор; 5 - напорный штуцер; 6 - регулятор расхода.



Рис. 1.102. ТНВД фирмы R. Bosch для грузовых автомобилей.

Производительность ТНВД изменяется регулятором расхода дросселированием на впуске в межплунжерную полость топлива, подаваемого от ТПН. Для увеличения производительности может устанавливаться вторая насосная секция, приводимая в движение более широкой кулачковой шайбой и плунжеры которой двигаются в перпендикулярной плоскости.

Встроенный роторно-лопастной (четырёхлопастной) ТПН развивает давление 0,4...0,6 МПа, производительность насоса при 300 мин⁻¹ - 90 л/ч, при 2500 мин⁻¹ - 650 л/ч. Смазка и охлаждение деталей - циркулирующим через корпус топливом. Требуемый минимальный расход топлива для охлаждения на номинальном режиме - 50 л/ч. ТНВД устанавливается на двигатель с помощью фланца и трех шпилек с центровкой по цилиндрической поверхности диаметром 68 мм. Масса насоса 6,4 кг. Максимальная производительность ТНВД 700 мм³ на 1 оборот вала, создаваемое давление - до 160 МПа.

Рядные ТНВД CR лидируют по числу разработанных конструкций. Если имеется такая возможность, то используется двухсекционная компоновка. Таковы насосы фирм R. Bosch, Nippon Denso, Cummins, Caterpillar, Deutz (рис. 1.102). Рядными или индивидуальными выполняют ТНВД CR в крупных судовых дизелях. Фирма L'Orange GmbH для дизелей MTU выпускает рядный многосекционный ТНВД с оппозитным расположением секций, приводящихся в действие одним эксцентриком и поочередным расположением секций в перпендикулярных плоскостях [9].

Обычно рядные ТНВД приводятся в действие кулачковым валом с тремя вершинами. Утро-



Рис. 1.103. ТНВД разработки МГТУ им. Н.Э.Баумана для дизеля 3М3-5148.

енная частота работы позволяет обеспечить необходимую производительность ТНВД с помощью малого числа секций (рис. 1.102). Такой кулачок технологичен, но на нем возникают предельные контактные напряжения. Две секции обеспечивают простоту корпуса, короткий вал и технологичность сборки. Важным достоинством таких ТНВД – максимальная конструкционная и технологическая близость к традиционным насосам, удобная компоновка на дизеле, малое количество уплотнений высокого давления между корпусными деталями. Недостатки – относительно большая масса, сложность.

В опытном ТНВД для дизеля 3М3-5148 привод плунжеров более компактен и осуществлен не через роликовый толкатель, а промежуточную втулку (рис. 1.103). На-

сос рассчитан на давления подачи 200 МПа.

Определение необходимой производительности ТНВД определяется из параметров дизеля:

$$Q_{\text{теор}} = 2n i_{\text{цил}} g_{\text{ц}} / (\rho_{\text{т}} \tau),$$

где τ - тактность (2 или 4). В действительности все электрогидравлические форсунки имеют дополнительные расходы утечек в распылителе и в мультипликаторе запираения, в электроуправляемом клапане (золотнике), и, главное, значительный расход на управление. Таким образом, $Q_{\text{форс}} = k_{\text{форс}} Q_{\text{теор}}$.

Лучшие электрогидравлические форсунки имеют $k_{\text{форс}}=1,06\dots 1,35$. Популярны форсунки с дроссельным управлением при гарантировано устойчивой работе на всех режимах, монотонной характеристике $g_{\text{ц}}=f(t_{\text{откр}}^{\text{кп}})$ имеют не менее $k_{\text{форс}}=1,25\dots 1,75$ (см. п. 1.4.3).

Критичным по соображениям производительности может оказаться любой из трех режимов: номинальный (высокая частота и расход), максимума крутящего момента (максимальная подача), пуска (велики утечки и полезная подача). Наконец, для автомобильного дизеля закладывается возможность обеспечения динамического резерва при кратковременном приеме нагрузки дизеля. Так, например, в этом случае согласно рис. 1.3 при $n=3000$ давление в аккумуляторе необходимо увеличить вдвое: от 60 до 120 МПа. Дополнительный расход $\Delta Q_{\text{дин.рез.}}$ находится из условий объемного баланса:

$$\Delta Q_{\text{дин.рез.}} = \beta_{\text{средн}} (P_2 - P_1) \cdot V_{\text{ак}} / \Delta t_{\text{п.п.}},$$

$$Q_{\text{max}} = \Delta Q_{\text{дин.рез.}} + Q_{\text{форс}}; V_{\text{ц}}^{\text{ТНВД}} = Q_{\text{max}} / n_{\text{ТНВД}}$$

Вопросы проектирования, обоснования технических решений, технические требования к ТНВД обсуждаются в [9,10].

Контрольные вопросы

1. Как оценить необходимую производительность ТНВД и почему она не равна подаче топлива в цилиндр?
2. Как управляют производительностью ТНВД?
3. Чем ограничивается возможность дальнейшего повышения давления подачи?
4. Почему при испытаниях ТНВД на малой частоте вала нельзя превышать соответствующее ей ограничительное давление подачи?

1.4.3. Электрогидравлические форсунки Common Rail

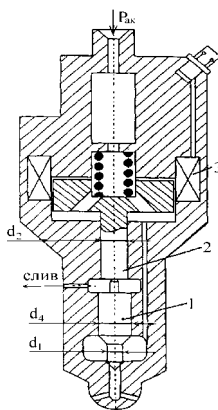


Рис. 1.104. Разгруженная электромеханическая форсунка: 1 - игла; 2 - разгружающий плунжер; 3 - электромагнит.

Все электроуправляемые форсунки могут быть разделены на два класса: **электромеханические** и электрогидравлические (ЭГФ). В первых электроуправляемый привод непосредственно открывает запорный орган (обычно – иглу). Такие форсунки широко используются в системах впрыскивания бензина. Их недостаток – невозможность обеспечить необходимое быстродействие при высоких давлениях, когда неуравновешенная гидравлическая сила становится соизмеримой с усилием электропривода. А величину этого усилия ограничена при сохранении малых масс, т.е. быстродействия. Максимальный уровень давления топлива, при котором применяются электромеханические форсунки – около 10 МПа (в системах непосредственного впрыскивания бензина). Для возможности применения в дизелях форсунки снабжали разгружающим иглу плунжером: $\pi/4 \cdot d_2^2 \geq \pi/4 \cdot (d_4^2 - d_1^2)$ (рис. 1.104). Но эффект оказывался только частичным, а конструкции нетехнологичными [9].

В ЭГФ электропривод открывает управляющий клапан, а за счет изменяющихся давлений гидравлическая сила открывает иглу. Усилия электропривода хватает для открытия малогабаритного клапана, а быстродействие форсунки обеспечивается большим силовым воздействием гидропривода. Так удалось обеспечить высокое

быстродействие ЭГФ при любых разумных давлениях топлива.

Сразу оговоримся, что схема управления, использованная в 50-х годах, с управлением подвода топлива от аккумулятора к карману распылителя, хотя и очевидна, но сегодня признана бесперспективной. Причиной этого является большой расход топлива, следовательно, большие μF управляющего органа, большая масса и низкое быстродействие.

Конструкции электрогидравлических форсунок. Под электрогидравлической форсункой (ЭГФ) для CR будем пониматься нормальная закрытая форсунка 1 (рис. 1.105) с быстродействующим клапаном 2, управляющим давлением в камере управления - КУ (надыгольной полости) и постоянно сообщенный карман распылителя (подыгольную полость) с аккумулятором 5.

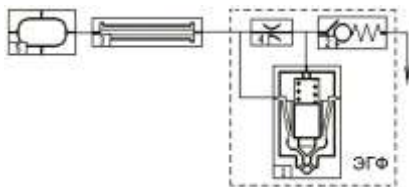


Рис. 1.105. Схема ЭГФ с дроссельным управлением.

Наиболее распространенная схема с так называемым дроссельным управлением использует простейший однозатворный клапан или простейший золотник для слива топлива из КУ и дроссель 4 для его подачи из аккумулятора. Начало подачи обусловлено открытием клапана и разгрузкой КУ над иглой, конец – закрытием клапана и восстановлением давления гидрозапирания через входной (главный) жиклер 4. Клапан 2 малогабаритный, а значит быстродействующий, т.к. через него проходит лишь так

называемый “расход на управление”. В современных ЭГФ расход топлива на управление - составляет от 25 до 100 % от цикловой подачи в цилиндр двигателя.

С другой стороны, движение иглы в ЭГФ обеспечивается гидроусилением воздействия от клапана. Это на порядок снижает необходимую для управления электроклапаном мощность. Клапан располагается в полости слива, это облегчает его компоновку, сохраняет возможность охлаждения, снижает требования к гидроплотности полости привода, позволяет его унифицировать для различных дизелей. Именно такие ЭГФ реализованы с 1997 г. в серийной продукции.

Рассмотрим несколько известных конструкций ЭГФ. Следует отметить, что на протяжении трех десятилетий до появления серийной продукции во всех развитых странах шли поисковые и ОКР по созданию систем CR. Именно отечественные разработки КФ ВЗПИ и Коломенского завода, Башкирского ГАУ, МАДИ, МГТУ им. Н.Э.Баумана, Воронежского ГАУ оказались наиболее удачными в отношении найденных технических решений, которые и легли в основу современных конструкций ЭГФ. Первые образцы ЭГФ в профессиональной среде называли “русскими”. К сожалению, научные разработки не были реализованы в серийной продукции, т.к. оказались невостребованными. Сегодня важнейшим условием успешности такой продукции является не столько нахождение новых решений, сколько обеспечение высокого технологического уровня производства и эксплуатации такой ТА.

В 70-х годах в **Коломенском филиале ВЗПИ** были построены опытные ЭГФ для ряда отечественных дизелей (рис. 1.106) [2, 24]. Они снабжались гидравлически разгруженным золотниковым клапаном 3, для которого был достаточным малогабаритный электромагнитный привод 4. Клапан при подъеме открывал окна 2, разгружая КУ 9 и обеспечивая подъем иглы. Дополнительный жиклер 5 был призван ускорить закрытие иглы за счет большего давления над иглой и меньшего под ней.

Форсунка R.Bosch. Торцевой электромагнит 11 (рис. 1.107,а) [13, 27] с дисковым якорем 10, преодолевая пружину 12, открывает шариковый клапан 8. Давление над плунжерным мультипликатором 5 запирания иглы падает, и игла 2 открывает проход к сопловым отверстиям. После обесточивания электромагнита и посадки клапана давление над мультипликатором восстанавливается через входной жиклер 7. Крупнее КУ изображена на рис. 1.108. К особенностям форсунки можно отнести следующие: пружина 4 (рис. 1.107,а) иглы для функционирования форсунки необязательна и установлена для предотвращения заброса газа из цилиндра при отсутствии давления в аккумуляторе. Мультипликатор 5 запирания (плунжер) увеличивает запирающее усилие, действующее на иглу. Он образует с корпусом прецизионную пару. Несмотря на кажущееся увеличение габаритов ЭГФ, он облегчая ее компоновку, отодвигая объемный и не терпящий перегрева привод клапана от распылителя.

Один из вариантов форсунки имеет дополнительную пружину 4 (рис. 1.108) для снижения смятия седла при ударной посадке капана 5 и для предотвращения повторного

открытия клапана от волн давления при его посадке. В дальнейшем от нее все же отказались из-за трудностей осуществления многофазного впрыскивания.

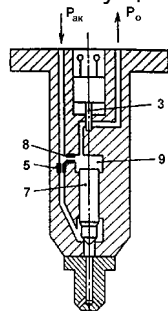
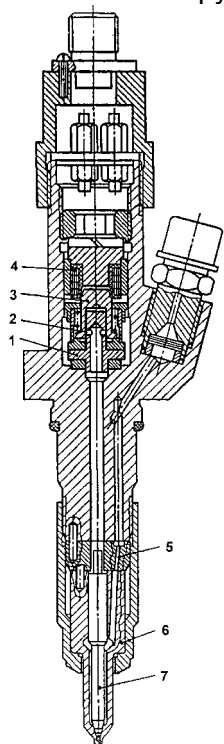


Рис. 1.106. ЭГФ КФ ВЗПИ и ее схема: 1 - неподвижная направляющая клапана; 2 - окна золотникового механизма; 3 - управляющий клапан-золотник; 4 - электромагнит; 5 - дополнительный дроссель кармана распылителя; 6 - карман распылителя; 7 - игла; 8 - входной дроссель; 9 - камера управления.

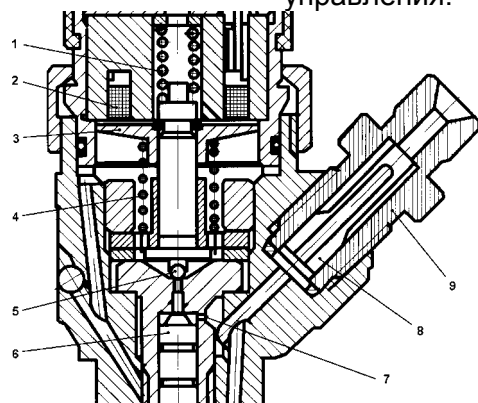


Рис. 1.108. Управляющий узел ЭГФ R.Bosch: 1 - пружина запирания клапана; 2 - электромагнит; 3 - якорь; 4 - демпфирующая пружина; 5 - клапан; 6 - мультипликатор запирания; 7 - жиклер камеры гидроуправления; 8 - фильтр; 9 - штуцер.

При впрыске мультипликатор 5 (рис. 1.108) своим верхним торцом стремится закрыть осевое отверстие, ведущее к шариковому клапану 5. Тогда прекращается разгрузка КУ, но продолжается наполнение через жиклер 7. В результате игла отжимается вниз и находит равновесное положение на некотором удалении от упора, при котором устанавливается минимально необходимый расход на управление. Вследствие ограничения слива из КУ, давление в ней $P_{кам}$ не опускается до минимально возможного, а устанавливается вблизи уровня, соответствующего статическому равновесию: $P_{кам} = P_{карм} F_{и} / F_{диф}$. Таким образом, не только снижается расход на управление, но и ускоряется восстановление давления после закрытия клапана, т.е. быстрое действие ЭГФ в конце подачи. Перекрываемый мультипликатором канал может быть радиальным. Таким образом, осуществляется обратная связь по подъему иглы. Это также отечественное решение [111].

В форсунке R.Bosch ход иглы $0,23 \pm 0,03$ мм, ход якоря электромагнита $0,050 \pm 0,002$ мм, минимальный воздушный зазор между якорем и электромагнитом $0,065 \pm 0,010$ мм, диаметр дросселя в канале управления клапана 5 (рис. 1.108) - 0.2375 мм. Минимальное количество впрыскиваемого топлива $1,4 \pm 0,8$ мм³. В дизеле Mercedes OM611 распылитель имеет сопла 6 x 0,169 мм.

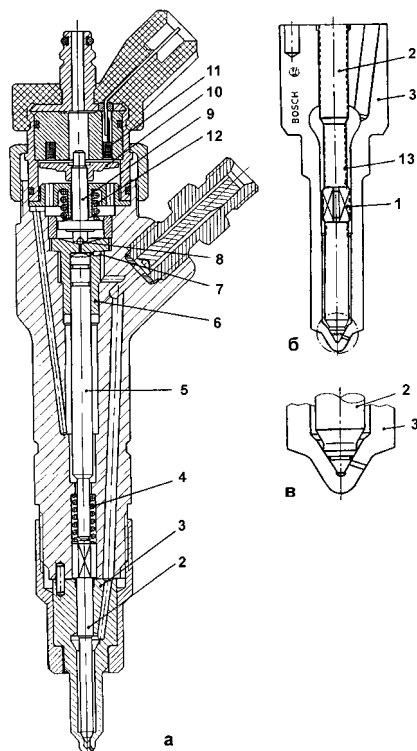


Рис. 1.107. Электрогидравлическая форсунка R.Bosch (а), ее распылитель (б) и запорный конус (в): 1 - крестообразная направляющая; 2 - игла; 3 - распылитель; 4 - пружина запирания иглы; 5 - мультипликатор запирания; 6 - втулка мультипликатора; 7 - жиклер камеры гидроуправления; 8 - шариковый управляющий клапан; 9 - шток; 10 - якорь; 11 - электромагнит; 12 - пружина клапана; 13 - углеродное покрытие.

Сопла просверлены на запорный конус для исключения подтекания и снижения выбросов CH_x . Если несколько лет назад считали необходимым минимизировать подгольный объем для снижения выбросов CH_x , то в данной конструкции использован так называемый микрообъем этой полости. По-прежнему он мал, но вход в сопла не перекрыты запорным конусом (рис. 1.109). Запорный конус с обратной разностью углов (аналогично рис. 1.74,в), улучшает стабильность подачи и герметичность конуса по времени эксплуатации. Микрообъем у входа в сопла выравнивает давление впрыскивания и обеспечивает равномерность топливных струй. Однако, современные длинные иглы хуже центрируются при посадке на запорный конус, т.е. на холостом ходу и особенно, при впрыскивании запальных подач, что стало типичным для CR. Поэтому для дополнительного центрирования иглы использована крестообразная направляющая 1 (рис. 1.107, б). Для снижения трения, вероятности “схватывания” поверхностей, уменьшения износа и биения иглы, она покрыта аморфным углеродом.

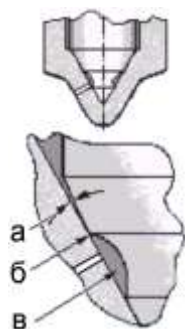
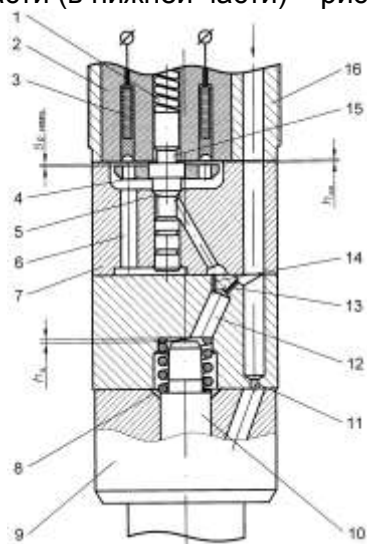


Рис. 1.109. Конструкция запорного конуса ЭГФ Bosch с обратной разностью углов конусов (а) с линией контакта (б) и микрообъемом (в)

Форсунка фирмы Delphi также использует дроссельное управление, но ее управляющий клапан, оставаясь однозатворным, не испытывает со стороны топлива высокого давления значительных усилий благодаря разгружающей плунжерной части (в нижней части) – рис. 1.110.

Рис. 1.110. ЭГФ фирмы Delphi и укрупненный разрез ее управляющего узла: 1 - пружина клапана; 2 - сердечник электромагнита; 3 - обмотка электромагнита; 4 - якорь электромагнита; 5 - клапан управляющий; 6 - дренажная полость; 7 - седло клапана; 8 - пружина иглы распылителя; 9 - корпус распылителя; 10 - игла распылителя; 11 - жиклер распылителя; 12 - камера управления; 13 - жиклер камеры управления; 14 - управляющий жиклер; 15 - толкатель клапана управляющего; 16 - корпус форсунки.



Благодаря гидравлической разгруженности ЭГФ имеет компактный электромагнитный привод и при этом большие сечения управляющего клапана, что обеспечивает

повышение быстродействия. Таким образом, даже для быстроходного дизеля удалось обойтись без мультипликатора запирания иглы. ЭГФ отличается простотой и имеет положительные отзывы от эксплуатационников.

В форсунке фирмы Siemens впервые применен пьезопривод клапана (рис. 1.111). Для увеличения хода клапана используется механический рычажный мультипликатор перемещения 2. В начале своего хода через него передается максимальное усилие, противодействующее высокому давлению, снижения усилия (увеличения перемещения) почти нет: $a/b \approx 1$ (позиция I на рис. 1.111). В конце хода усилие уменьшается, а ход увеличивается в $a/b > 1$ раз (позиция II).

В появившейся позже ЭГФ R.Bosch (рис. 1.112) удалось разместить пьезопривод в корпусе небольшого диаметра, обойтись без мультипликатора перемещения клапана и обеспечить минимальную подачу также менее 1 мм^3 .

Форсунка Societe BUDI (Франция) [12] интересна в отношении применения гидравлически разгруженного двухзатворного клапана (рис. 1.113). Электромагнит 1 поднимает якорь 2 с клапаном 4. При этом КУ 8 разобцается с каналами нагнетания 11 по сечению 6 между клапаном и неподвижной направляющей 5 и сообщается через сечение 7 с каналом слива 3. Тогда игла 10 преодолевает усилие от штанги 9 и начинается впрыскивание. Благодаря двухзатворному клапану форсунка почти не имеет расхода топлива на

управление, почти линейную характеристику подачи от продолжительности управляющего импульса.

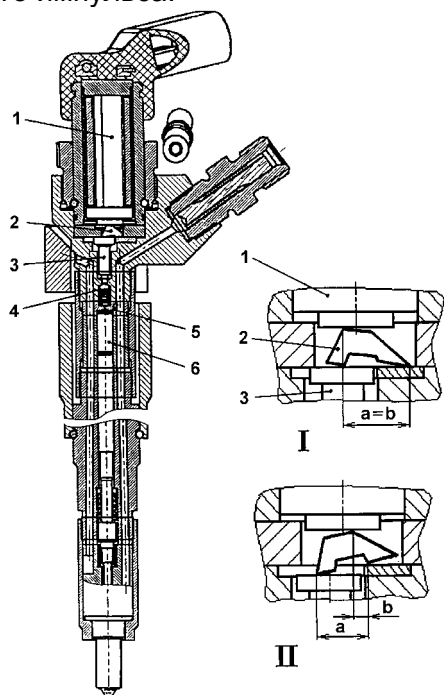


Рис. 1.111. Электрогидравлическая форсунка фирмы Siemens: 1 - пьезопривод; 2 - рычажной мультипликатор перемещения; 3 - шток; 4 - клапан управления; 5 - жиклер камеры управления; 6 - мультипликатор гидрозапирания: I – рычажной мультипликатор перемещения в исходном положении; II - то же во время подачи.



Рис. 1.112. ЭГФ R.Bosch с пьезоприводом клапана

Такую ЭГФ уже нельзя назвать “с дроссельным управлением”, т.к. функцию дросселя (входного жиклера) выполняет второй затвор клапана. Но ее не удалось применить в серийном производстве для быстроходного дизеля из-за сложного сопряжение по двум прецизионным поверхностям клапана. Этот пример показателен в отношении ведущихся поисков простого и технологичного двухзатворного управляющего клапана.

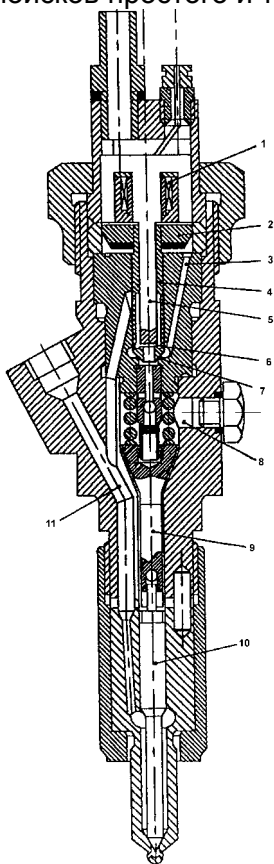


Рис. 1.113. Электрогидравлическая форсунка Societe BUDI (Франция).

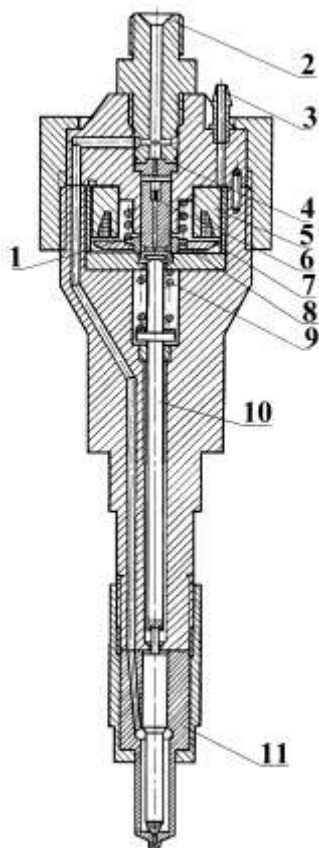


Рис. 1.114. Форсунка БашГАУ с отрицательной обратной связью: 1 - плунжер; 2 - штуцер подачи; 3 - сливной штуцер; 4 - жиклер; 5 - электромагнит; 6 - жиклер плунжера; 7 - якорь; 8 - дозатор; 9 - пружина; 10 - штанга; 11 - распылитель.

В форсунке Башкирского государственного аграрного университета дозатор 3 (рис. 1.114) золотникового типа, поднимаясь якорем 5 электромагнита 7, открывает золотниковое сечение - сквозное отверстие в плунжере-мультипликаторе запирания 2 [94]. Давление в камере управления 10 падает и игла поднимается. Однако, подъем иглы вмес-

те с мультипликатором приводит к уменьшению золотникового сечения и восстановлению давления в КУ ее подпиткой через жиклер 1. Игла может не выходить на упор, а находится в устойчивом равновесии в соответствии с подъемом дозатора 3. Разгрузка КУ и расход на управление автоматически устанавливаются минимально возможными для осуществления подачи. Так, при сохранении принципа дроссельного управления цикловой расход на управление в такой форсунке может быть менее 15 % от цикловой подачи.

Анализ работы, пути совершенствования и проектирование ЭГФ.

Даже простейшая ЭГФ с дроссельным управлением для обеспечения работоспособности и, тем более эффективности, обязательно *требует оптимизации*. В первую очередь требуется подбор эффективных сечений входного жиклера и управляющего клапана. При некоторых их сочетаниях ЭГФ не открывается или не закрывается. При других

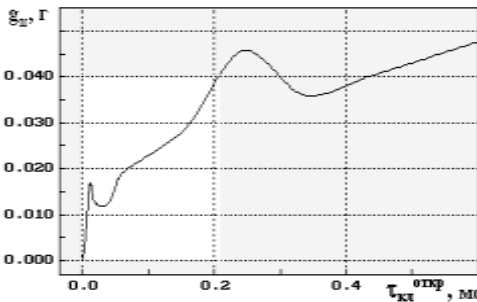


Рис. 1.115. Характеристика подачи по времени открытия клапана в простейшей ЭГФ.

работает неустойчиво или неэффективно в отношении быстродействия, давления впрыскивания, расхода на управление, невозможными малых цикловых подач. Также важно, чтобы характеристика подачи по времени открытия клапана $g_{ц} = f(\tau_{кл}^{откр})$ имела на всех участках положительную производную для осуществления возможности управления дизелем. Между тем, эта характеристика обычно имеет участок провала, вызванный изменением динамики движения клапана и иглы с выходом или без выхода их на упор (первый минимум на рис. 1.115). Возможны и другие причины, например, второй участок с

$dg_{ц} / d(\tau_{кл}^{откр}) < 0$ обусловлен волновым процессом в нагнетательном трубопроводе – сменной волны сжатия на волну разрежения на конечном участке подачи. Эффективным способом уменьшения (устранения) характерного участка $dg_{ц} / d(\tau_{кл}^{откр}) < 0$ в области малых $g_{ц}$ – уменьшение хода клапана и иглы. Так, в ЭГФ R.Bosch – 0,05 мм.

Объем камеры управления – на редкость прогнозируемый фактор: чем он ниже, тем меньше потери топлива на изменение давления в ней, тем лучше все показатели ЭГФ, устойчивее работа. Из камеры выносятся запорная пружина (хотя ее сохраняют для поддержания закрытой иглы при любых сочетаниях давлений в ТПА и цилиндре). В лучших автомобильных ЭГФ объем камеры доведен до 10 мм³.

Влияние плунжерного *мультипликатора запираания* иглы (5 на рис. 1.107) сводится к увеличению запирающего усилия при том же давлении в камере управления $P_{кам}$ и, таким образом, ускорению закрытия иглы. Даже с учетом увеличения движущихся с иглой масс, при оптимальный диаметр мультипликатора увеличивает быстродействие ЭГФ, особенно в высокооборотном дизеле. Это обеспечивает рост среднего давления впрыскивания и снижение расхода на управление, минимальной устойчивой подачи. Ускорение закрытия иглы можно бы было достигнуть усилением затяжки пружины, но оно приводит к затрудненному открытию иглы и эффективность ЭГФ уменьшается (табл. 1.4). Следует только учитывать, что появление мультипликатора увеличило число прецизионных пар и привело к постоянным утечкам через зазор у него и у иглы не только во время впрыскивания, но и в режиме ожидания, который составляет 97% цикла дизеля. На языке эксплуатационников ЭГФ превратилась в “пылесборник”. Это еще раз подчеркивает важность качественной фильтрации в CR.

Таблица 1.4. Сравнение показателей ЭГФ с мультипликатором запираания и с различной затяжкой запорной пружины в ЭГФ без мультипликатора.

Показатели ЭГФ	С мультипликатором	Форсунка без мультипликатора				
$P_{ф0}$, МПа	10	<12	15	22	28	35
$\bar{P}_{впр}$, МПа	111,4	<100	108	110	112	113
$g_{ц}^{упр}$, мг	8,17	<7	9,9	11,1	12,3	12,7

ЭГФ с обратными связями – один из перспективных путей повышения их эффективности. Простейшая отрицательная обратная связь по перепаду давлений ($P_{ку} - P_{кармана}$) организуется установкой жиклера в канале питания кармана распылителя (5 на рис. 1.106). К сожалению,

его эффективность достигается не всегда, в любом случае мала и только в узком диапазоне $\mu F_{ж}$. Недостаток же – снижение $P_{впр}$ – присутствует постоянно.

Обратная связь по подъему иглы образуется, если торец мультипликатора (6 на рис. 1.115) при подъеме иглы закрывает канал управления, препятствуя излишнему сверх необходимого снижению давления КУ, ускоряя закрытие иглы и минимизируя расход на управление (табл. 1.5).

Таблица 1.5. Показатели ЭГФ с различными клапанами и обратной связью.

Показатели ЭГФ	ЭГФ с шариковым клапаном		С двухзатворным клапаном
	С обратной связью	Без обратной связи	
$\bar{P}_{впр}$, МПа	107,7	107,2	114
$g_{ц}^{упр}$, мг	8,4	10,33	0,5
$g_{ц}^{min}$, мг	2,9	2,9	0,19

ЭГФ со следящей системой привода иглы – пример глубокой отрицательной обратной связи, охватывающей привод иглы в целом (см. описание ЭГФ БашГАУ и рис. 1.114). Помимо низкого расхода на управление такие ЭГФ отличаются наибольшими возможностями управления характеристикой впрыскивания $Q_{ф}=f(t)$ путем управления электрическим сигналом на клапане.

Управляющие клапаны ЭГФ. Быстродействие современных ЭГФ обуславливается больше задержками не гидропривода иглы, а электроуправляемых клапанов. Электромагнитные и пьезоприводы работают вблизи достигнутых на сегодня технических пределов. Снизить требования к ним позволяет гидравлическая *разгрузка клапанов*. Это особенно актуально с учетом широких пределов изменения давления топлива в аккумуляторе по режимам работы дизеля, при которой баланс гидравлических сил и усилия сжатой пружины существенно меняется.

Гидравлически разгруженные клапаны, аналогичные работающим в ТА непосредственного действия, в ЭГФ сообщаются своей золотниковой частью с КУ, а торцом обращены в полость слива (рис. 1.110). Иные конструкции разгруженных затворов изображены на рис. 1.116 [111,251]. Лучшей работоспособностью обладает клапан с конической запорной поверхностью с плавающим седлом (рис. 1.116, д). Недостаток других – износ прецизионной поверхности с потерей гидроплотности. Слишком большое эффективное сечение, ненужное для CR, приходится уменьшать последовательным жиклером.

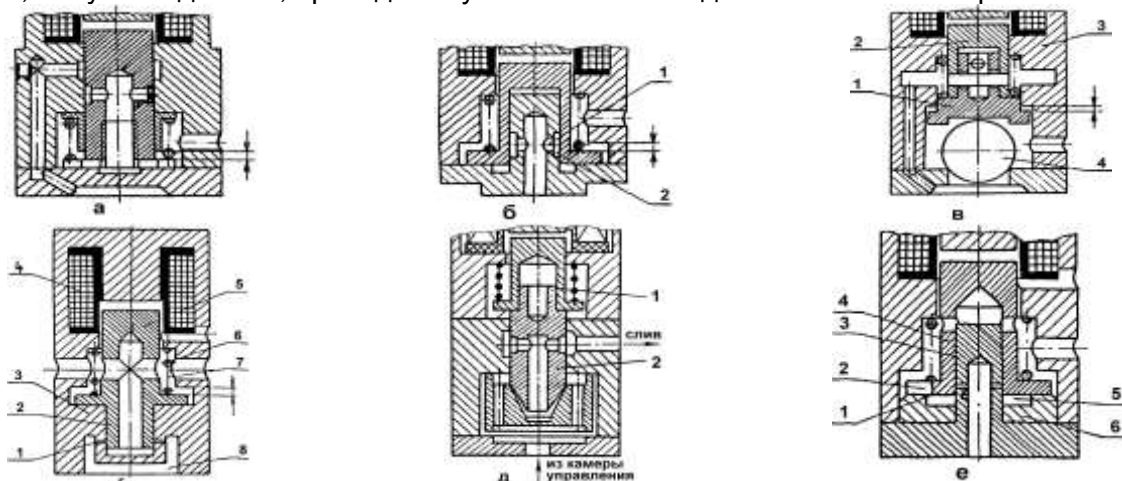


Рис. 1.116. Гидравлически разгруженные клапаны и золотники ЭГФ.

Разгруженные клапаны позволяют снизить усилие электропривода в несколько раз. При этом клапаны более долговечны и надежны по запорной поверхности, чем золотники. Однако, их трудно выполнить малогабаритными ввиду необходимости обработки цилиндрической прецизионной поверхностям. Из-за массы клапана его динамические качества остаются приблизительно на том же уровне.

Простейшие золотники уравновешены при любых давлениях. Наиболее распространены цилиндрические золотники (2 на рис. 1.106). По сравнению с шариковым клапаном золотник требует минимального усилия электропривода, имеет большие сечения, может иметь меньшую массу группы движущихся деталей. Однако, золотник требует большего рабочего хода, с

ним труднее добиться монотонной характеристики $g_{ц}=f(t_{эл-прив})$. Но главное, из-за роста зазора при износе быстро ухудшаются показатели ЭГФ и даже утрачивается ее работоспособность. Другая проблема - в неидентичности таких форсунок для многоцилиндрового дизеля.

Трехпозиционные золотники отличаются от простейших тем, что благодаря невозможности одновременного открытия каналов сообщения КУ с аккумулятором и сливом, нет расхода топлива на управление во время впрыскивания. Расход топлива на слив обусловлен только разгрузкой КУ и утечками.

Двухзатворные клапаны сочетают в себе достоинства трехпозиционных золотников с технологичностью и надежностью клапанов. При этом простейшие гидравлически неразгруженные клапаны интереса не представляют. Клапаны на рис. 1.117 разгружены за счет равенства диаметров прецизионной поверхности и линий контакта в обоих запорных конусах, например, за счет равенства d_1 и d_2 на рис. 1.117, в (см. также рис. 1.113).

Основная проблема двухзатворных клапанов – технологическая. Кроме того, создает проблему изменение характерного диаметра посадочного седла при его смятии и износе, и соответствующее возникновение неуравновешенной гидравлической силы. В этом смысле менее удачно сочетание разнохарактерных запоров по двум положениям клапана (рис. 1.116, в, д, рис. 1.117, б). Одно из возможных решений - обе запирающие поверхности одного типа (рис. 1.117, а, в). Или запираение по конусу с постоянным средним диаметром по мере износа (рис. 1.118).

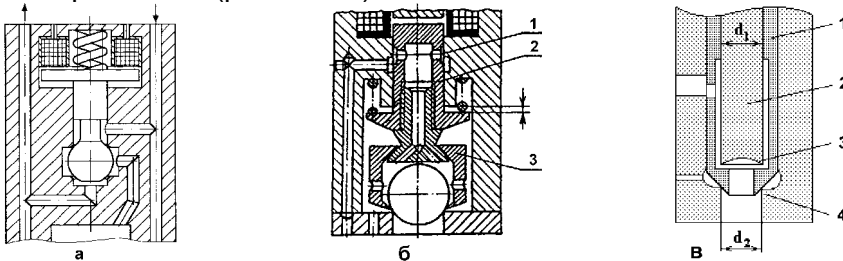


Рис. 1.117. Гидравлически разгруженные двухзатворные клапаны ЭГФ.

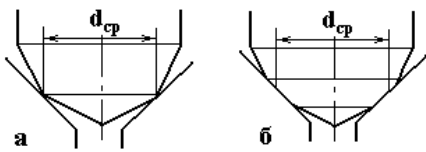


Рис. 1.118. Запорный конус с постоянной площадью в процессе износа.

Привод клапанов. До недавнего времени использовался только электромагнитный привод. Для получения большего силового воздействия применяются торцевые электромагниты. Из альтернативных электроприводов наиболее перспективен пьезопривод. Изменило отношение к нему появление современных пьезокерамик, пленочных пьезоэлементов, которые смогли повысить относительное удлинение с 10^{-5} до 10^{-3} . Пьезопривод для CR имеет следующие достоинства: высокое силовое воздействие и как следствие, высокие динамические качества электроклапана; отсутствует ток удержания в открытом состоянии; высокий КПД (минимум - 70 %, удержания - 100 %); малый нагрев. В табл. 1.6 приведено сравнение стабильности подач ЭГФ с электромагнитным и пьезоприводом клапана.

Пьезоматериалы накапливают усталость и подвержены разрушению. Но основной их проблемой остается малый ход. Он соизмерим с точностью изготовления деталей, причем ход клапана – замыкающий размер группы деталей с суммированием погрешностей по пра-

вилам сложения случайных погрешностей: $\delta_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}$ В этих условиях смятие контактирую-

щих поверхностей при работе, сборка с заменой деталей может приводить к нарушению штатных параметров движения клапана, вплоть до его заклинивания.

Таблица 1.6. Разброс подач между максимальной и минимальной в лучших форсунках с электромагнитным приводом и пьезоэлементами Siemens

Р _{акк} , МПа	Запальная подача, мм ³		Основная подача, мм ³	
	Электромагнит	Пьезопривод	Электромагнит	Пьезопривод
30	0,49	0,28	0,72	0,41
70	0,59	0,27	0,73	0,31
120	0,68	0,27	1,17	0,63

Контрольные вопросы

1. Почему все серийные форсунки CR – электрогидравлические, а не электромеханические?
2. Постарайтесь сформулировать достоинства и недостатки каждой ЭГФ фирм R.Bosch, Siemens, Delphi, Башкирского ГАУ?
3. В чем трудности создания пьезопривода?
4. Что дает мультипликатор запираия иглы и какие проблемы он создает??
5. Как Вы понимаете гидромеханические обратные связи в ЭГФ, приведите примеры конструктивных решений?
6. Каким важнейшим требованиям должен отвечать управляющий клапан и какой из известных типов клапанов наиболее подходит для ЭГФ?

1.4.4. Управление впрыскиванием в системах Common Rail

Помимо упомянутых в п. 1.1 возможностей, общих для всех типов ТА, системы CR позволяют произвольным образом регулировать по режимам работы давление и характеристику впрыскивания.

Простейшие закономерности управления. Место системы управления в CR иллюстрируется поз. 6 рис. 1.91. На рис. 1.119 представлены блок-схема систем управления CR фирмы R.Bosch.

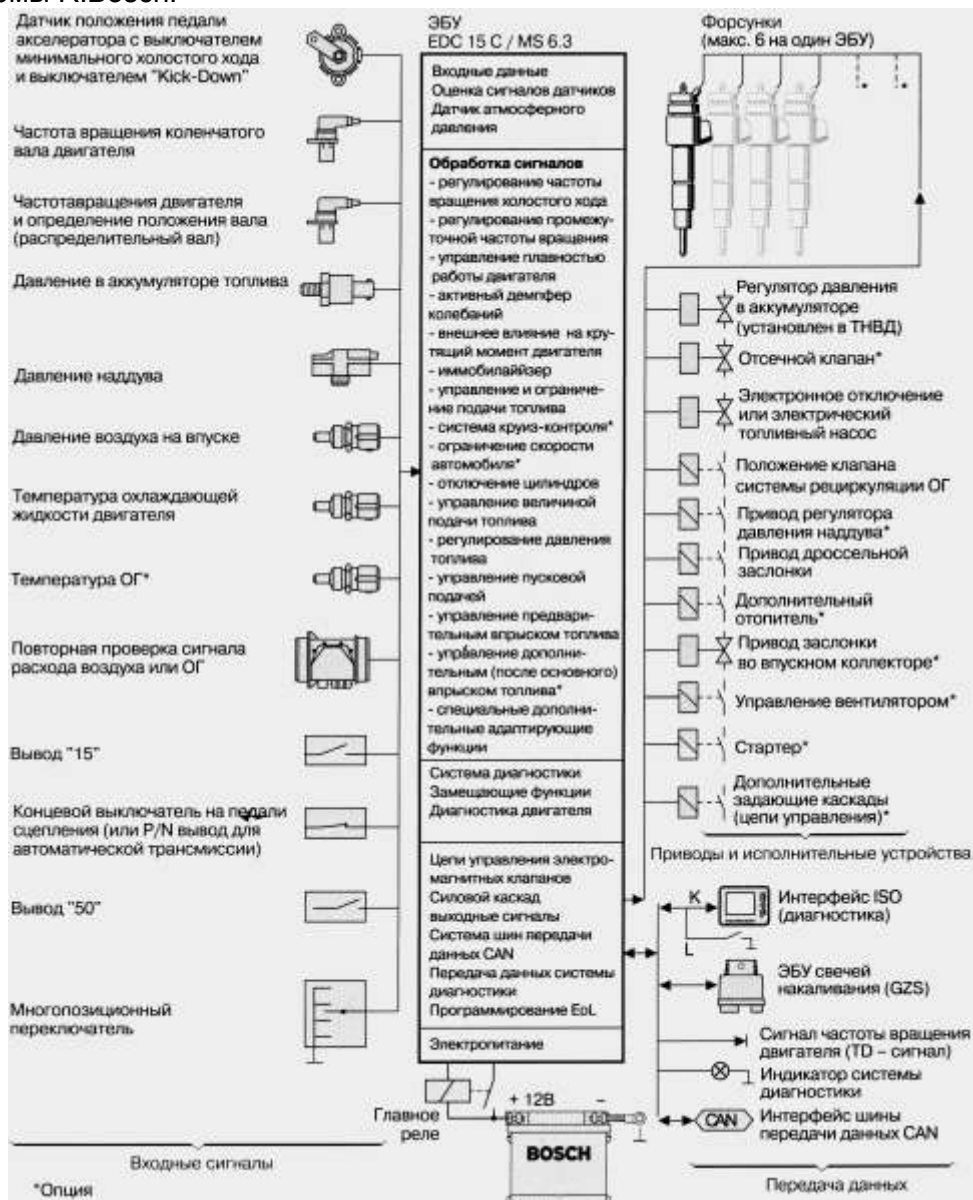


Рис. 1.119. Схема управления дизеля с CR R.Bosch [13, 27]

Состав, структура и функционирование СУ определяются в соответствии с полученным для данного двигателя законами оптимального управления и другими требованиями. Оптимальные законы управления для каждого режима и прочих условий работы дизеля формируются в процессе тщательного многофакторного исследования рабочего процесса дизеля.

Аккумуляторные системы позволяют получить на всех режимах максимально короткий, П-образный закон подачи. Ни по форме закона, ни по уровню давлений он не отвечает оптимальным условиям организации рабочего процесса (рис. 1.3). Так, возникает задача регулирования давления впрыскивания. СУ на всех режимах должна оптимизировать и другие параметры ТП, влияющие на рабочий процесс и эмиссию ВВ: УОВТ, закон подачи.

С учетом большого числа действующих факторов, дороговизны, трудоемкости физического эксперимента представляется чрезвычайно заманчивым формирование законов управления с использованием математического моделирования. Здесь, конечно, ключевым вопросом является достоверность, доступность и приспособленность к таким задачам самих моделей. На рис. 1.120 представлены законы управления однофазным впрыскиванием топлива, полученные с помощью ПК Дизель-ПК по критериям расхода топлива и ограничениям по выбросу ВВ при реализации 13-ступенчатого испытательного цикла в дизель 3МЗ-514 [18].

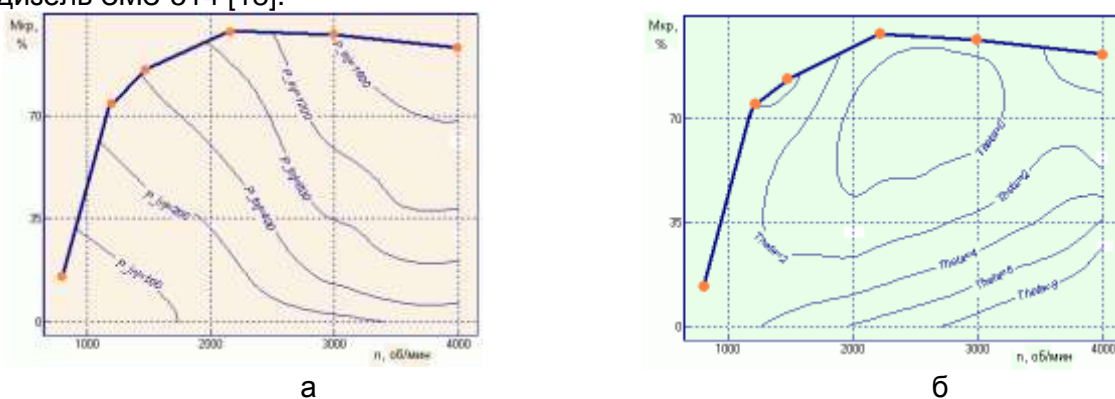


Рис. 1.120. Законы управления давлением впрыскивания (а) и УОВТ (б), полученные методом расчетной оптимизации рабочего процесса.

Однако, этот метод по ряду причин (некорректный учет некоторых факторов, методическая непроработанность и некорректность постановки задачи поиска оптимумов для условий испытательных циклов, в том числе с переходными режимами) пока только развивается и может применяться только для сужения областей поиска. Пока же основным методом остается экспериментальный (так называемые калибровки СУ). С учетом слишком большого количества необходимых опытов наиболее актуальной задачей при этом является создание эффективных методов организации испытаний и обработки их результатов [24].

Управление характеристикой впрыскивания $Q_{\phi}=f(t)$ представляет собой задачу более сложную в отношении отыскания оптимальной характеристики и неоднозначную по способам реализации, чем управление давлением впрыскивания. В процессе разработки систем CR были реализовывались следующие способы.

- Электроимпульсное управление представляет собой подачу СУ сигнала определенной формы, обычно модулированного пакета импульсов заданной скважности (интервалов между импульсами и/или их продолжительности) [24]. Пакет высокочастотных импульсов электромагнит и механическая часть ЭГФ сглаживают, а клапан обрабатывает нужный закон движения. Лучшими ЭГФ для этого способа является быстродействующий следящий привод, в котором игла обрабатывает движение клапана (рис. 1.114). Проблема состоит не только в формировании нужного пакета импульсов, но в неидентичности работы форсунок. Пока метод широко не используется.

- Многоканальное управление характеристикой требует специальной оптимизации ТА и изменения ее структуры. Так, например, с помощью двухканального управления ЭГФ с двумя электроуправляемыми клапанами в КУ и на входе в форсунку и тремя жиклерами. Этот метод имеет расширенные возможности, но усложняет и удорожает систему, снижает ее надежность.

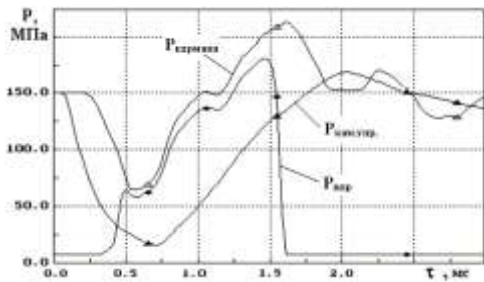


Рис. 1.121. Влияние волнового процесса на характерные давления в ЭГФ

- Использование волнового процесса наиболее просто в реализации, поскольку не требует введения новых элементов, а лишь целенаправленной параметрической оптимизации ЭГФ [9]. Пологий передний фронт или ступенчатая подача в рамках одной фазы впрыскивания достигается кратковременным снижением давления у форсунки в начале подачи в результате расходования топлива через сопла и на управление (рис. 1.121). Образованная волна разрежения, отражаясь от аккумулятора волной сжатия, приходит к форсунке, обеспечивая окончание впрыскивания при повышенном давлении, в том

числе при $P_{впр} > P_{ак}$. Условие $P_{впр} > P_{ак}$ в основной подаче может быть обеспечено предварительной подачей при использовании двухфазного впрыскивания.

Его недостаток – жесткая настроенность – сглаживается общим благоприятным характером $Q_{ф}=f(t)$ для всех режимов. А именно, пологий передний фронт характеристики и возрастание в конце позволяет снижать выбросы NO_x и шумность работы, легче обеспечивать минимальные подачи и гладкую монотонную характеристику $g_{ц}=f(t_{ко}^{откр})$, впрыскивание с максимальными давлениями, превышающими давление в аккумуляторе. Пока сформировалась практика организации подачи без активного использования волновых процессов, хотя в ослабленной форме этот эффект присутствует всегда.

- Организация многофазной подачи пока видится западными производителями основным способом формирования заданной характеристики впрыскивания $Q_{ф}=f(t)$. Принципиальное отличие метода от электроимпульсного управления заключается в его дискретности. Каждое впрыскивание из множества управляются индивидуально и заканчивается посадкой иглы. Это позволяет сформировать единую универсальную программу управления каждым впрыскиванием, повысить стабильность осуществления задаваемой характеристики подачи. Для автомобилей Fiat в начале 2000-х годов готовилась система CR Multijet, изменяющую в зависимости от режима дизеля количество впрысков от 10 до 15. Однако, стало ясно, что такая задача не только трудно реализуема, но и нецелесообразна из-за увеличения общей продолжительности подачи. Современные серийные системы имеют до 4-5 характерных впрыскивания. В этом случае не ставится задача формирования непрерывной характеристики из многочисленных отдельных подобно гистограмме. Преследуется другая задача: каждый из 1-4 впрыскиваний имеет свое назначение и в соответствии с этим оптимизируется в составе всей характеристики. Упрощенно это иллюстрируется рис. 1.122.

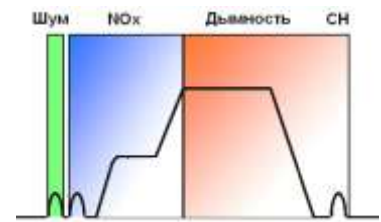


Рис. 1.122. Преимущественное воздействие фаз впрыскивания на показатели дизеля.

В соответствии с такими функциями оптимизируется структура многофазного впрыскивания на каждом режиме работы двигателя (рис. 1.123).

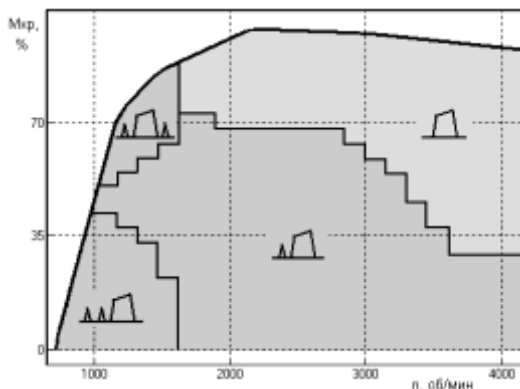


Рис. 1.123. Полигон индивидуальных характеристик впрыскивания в поле режимов работы дизеля легкового автомобиля.

- Организация двухфазного впрыскивания – частный случай многофазного – появился раньше и только начинает применяться ныне в дизелях грузовиков и тракторов по мере внедрения на них ТА с электронным управлением. Отметим также, что только им ограничиваются при использовании в ТА клапанного управления (п. 1.3.3, 1.3.4, 1.3.6).

Сгорание запальной порции топлива увеличивает давление и температуру воздуха в цилиндре, уменьшая задержку воспламенения и жесткость сгорания основной подачи топлива. Эффективность двухфазного впрыскивания тем больше, чем ниже тепловое состояние заряда, т.е. чем ниже нагрузка и частота вращения коленчатого вала (рис. 1.124). Двухфазное впрыскивание ста-

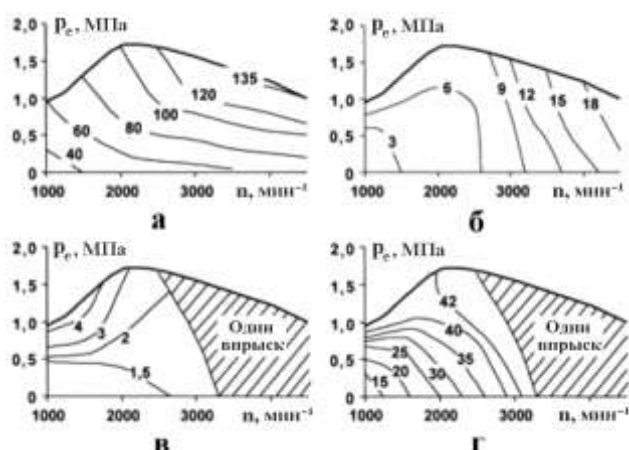


Рис. 1.124. Изменение параметров двухфазного впрыскивания в поле нагрузок (среднего эффективного давления p_e) и частот вращения вала дизеля JTD Alfa Romeo 156: а - оптимальное давление в аккумуляторе, МПа; б - УОВ основной подачи, град; в - величина запальной порции, мм³; г - УОВ запальной подачи, град.

$g_{ц} = f(\tau_{кл}^{откр}, P_{ак})$ важно при различных $P_{ак}$, для оценки устойчивости и пригодности выбранных параметров ТА для различных способов подачи.

Сопоставление характеристик различных систем убеждает в их неуниверсальности.

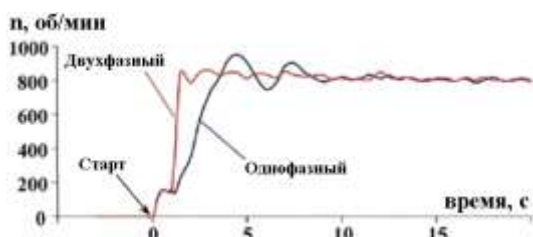


Рис. 1.125. Время запуска дизеля JTD при температуре воздуха -15°C при различных характеристиках впрыскивания топлива.

С точки зрения работы ЭГФ в реальном многоцилиндровом двигателе важно обеспечение идентичности подач по цилиндрам. К сожалению, в CR, как и в традиционной ТА, в этом есть трудности. В системах CR никаких средств предварительной механической регулировки равномерности подач не предусматривается. Однако, имеются принципиальные возможности решения этой задачи. Так, если характеристики $g_{ц} = f(\tau_{кл}^{откр})$ эквидистантны (рис. 1.127, а), то путем настройки СУ (корректировки продолжительности управляющего сигнала на конкретную форсунку относительно осредненной величины, задаваемой СУ в соответствии с конкретными параметрами работы) можно добиться совпадения подач не только для одного режима (например, номинального), но для всего диапазона $\tau_{кл}^{откр}$ (рис. 1.127, б).

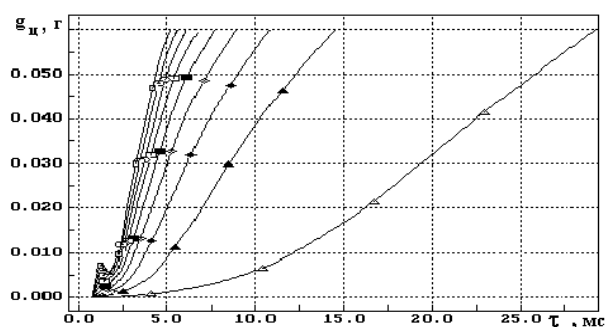


Рис. 1.126. Характеристики подачи в функции времени открытия управляющего клапана при давлении в аккумуляторе: слева направо $P_{ак} = 160, 145, 130, 115, 100, 85, 70, 55, 40$ МПа.

новится нежелательным не только при высоких частотах и нагрузках, но и при неоптимальных сочетаниях характеристики впрыскивания, например больших запальных (пилотных) подачах. Достигнутый сегодня уровень – $0,7...3$ мм³. Помимо форсирования командного импульса (рис. 1.128) эффективным средством достижения минимально устойчивых подач является использование пьезопривода клапана форсунки (табл. 1.6).

Управление двухфазным впрыскиванием полезно и на специальных режимах, например, при холодного пуска, на холостом ходу (рис. 1.125), снижается шумность работы дизеля не только на установившихся режимах, но и на переходных.

Характеристики подачи в функции времени открытия управляющего клапана представляет интерес ввиду того, что дозирование топлива осуществляется временем открытия форсунки. Установление зависимости $g_{ц} = f(\tau_{кл}^{откр}, P_{ак})$ для оценки устойчивости и пригодности выбранных параметров ТА для различных способов подачи.

Зависимость $g_{ц} = f(\tau_{кл}^{откр})$ при средних и больших подачах обычно монотонная, о возможности существования и непригодности для работы участков с отрицательной производной $dg_{ц} / d\tau_{кл}^{откр} < 0$ уже говорилось в п. 1.4.3.

Если же характеристики $g_{ц} = f(\tau_{кл}^{откр})$ неэквидистантны (рис. 1.127, в), то путем корректировки продолжительности

управляющего сигнала на одном режиме не удастся обеспечить совпадения подач для любого иного режима с другим $\tau_{\text{кл}}^{\text{откр}}$ (рис. 1.127,г).

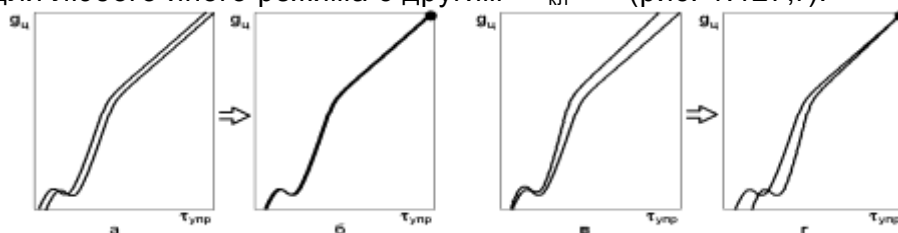


Рис. 1.127. Возможности идентификации характеристик подачи в функции времени открытия управляющего клапана.

На расхождение характеристик влияют отклонения в эффективных сечениях сопел, жиклеров, клапанов, реальных ходах клапанов и игл и т.д.

Практический вывод из рассмотренного заключается в том, что простая замена форсунки на дизеле обеспечивает его работоспособность, но, в общем случае, не обеспечивает идентичной работы цилиндров, а, следовательно, может приводить к увеличению расхода топлива и выбросов ВВ с ОГ. Необходима адаптация форсунки в двигатель с корректировкой работы СУ. Более того, при отклонении характеристик ЭГФ от других, в полной мере эта работа может не привести к желаемым результатам. Если существует такая возможность, следует устанавливать ЭГФ одной партии одного изготовителя (завода, а не фирмы) и не пользоваться смешиванием аналогов.

Формирование управляющего импульса для исполнительных механизмов. В любом случае сигнал управления форсункой, как показывает практика конструирования CR [13, 24], должен иметь определенную форму. Начальный ток страгивания клапана обеспечивается разрядом импульсного конденсатора с токами до 20А, затем поддерживается нормальный ток удержания (рис. 1.128).



Рис. 1.128. Процесс управления ЭГФ.

Ускорению закрытия клапана способствует небольшой размагничивающий отрицательный импульс. Без него, например, вместо двухфазного впрыскивания получаем однофазное. Все амплитудные и фазовые параметры сигнала оптимизируются.

Требования к системам управления многоплановы и многочисленны. Они замыкают на себе требования ко всей ТПА. Пример их приведен, например, в [9, 10].

Электронные САУ ныне изготавливаются только на базе микропроцессорной техники и быстро совершенствуются в аппаратной части. Однако, наибольшие проблемы в создании ДВС с электронным управлением заключаются в создании программ оптимального управления. Подробнее эти проблемы изложены, например, в [24].

Контрольные вопросы

1. Как изменяют давление подачи по частоте вращения вала дизеля и его нагрузке?
2. Охарактеризуйте возможности различных способов формирования характеристики впрыскивания.
3. Зачем применяют двухфазное впрыскивание и почему оно не используется при больших нагрузках и частотах?
4. Нарисуйте график управляющего напряжения на электромагните привода клапана и объясните назначение каждого участка.
5. Какие возможности идентификации подачи по цилиндрам существуют при несовпадении характеристик подачи ЭГФ по продолжительности управляющего сигнала?

1.4.5. Аккумуляторные системы с мультипликаторами давления

Аксиальные насосы (насосы с косой шайбой) промышленной гидравлики и гидроавтоматики (рис. 1.129) рассчитаны на максимальные давления 28 или, реже, на 40 МПа. Использовать гидравлические насосы казалось заманчивой возможностью. Они отлича-

ются компактностью, выпускаются большими сериями. К сожалению, они работают только на масле, не являются дешевыми и, главное, не допускают повышения давления подачи.

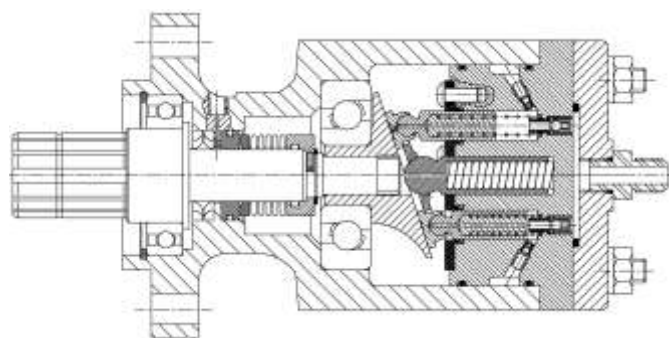
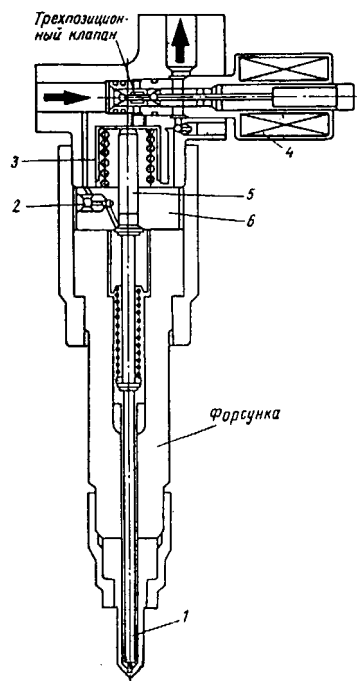


Рис. 1.129. Аксиальный гидравлический насос

объем сжатого до высокого давления топлива значительно уменьшен по сравнению с системами CR и приближен к сопловым отверстиям распылителя, а в контурах управления давление топлива или масла меньше давления впрыскивания. Аккумуляторная ТПА с мультипликатором давления (насос-форсунка с гидроприводом плунжера) до середины 90-х годов считалась наиболее перспективной аккумуляторной системой с электронным управлением. Аргументами такого мнения были возможность получения любого разумного давления впрыскивания при небольших давлениях в аккумуляторной системе. В этом направлении работали МАДИ, ЦНИТА, Воронежский ЛТИ, зарубежные фирмы. Родоначальником таких систем были системы с механическим распределителем [12]. В 70-х годах появились опытно системы. ТА R.Bosch для дизелей MAN K3EZ52/105C/CL с цилиндровой мощностью 885 кВт (1979 г) имела мультипликатор вне форсунки.

Поясним причину того, что помимо прямого дозирования приводной жидкости (рис. 1.130, 1.132, в) существует еще ряд сложных технических решений. Над плунжером давление ниже приблизительно в k , где $k = f_{\text{поршн}} / f_{\text{плун}}$ – коэффициент мультипликации. В выполненных системах он 5...7. В соответствии с этим через управляющий клапан проходит расход топлива по крайней мере в k раз больший, чем через сопла. Но даже от управления этим расходом в CR категорически отказались ввиду трудностей создания быстродействующего клапана с большим эффективным сечением. Поэтому в гидроприводных насос-форсунках используют двухступенчатое управление: электромагнит – клапаном с малым сечением (массой), а он гидравлически воздействует на клапан, регулирующий расход жидкости в гидроцилиндр. Ниже приводятся обе схемы.



Насос-форсунка системы GRIDEC фирмы BKM Inc. (рис. 1.130) сообщает полость мультипликатора давления 3 с аккумулятором или сливом с помощью двухзатворного шарикового клапана. Система испытана на дизеле Ford с $g_{\text{ц}} < 100 \text{ мм}^3$ и $n < 2600 \text{ мин}^{-1}$ с $P_{\text{впр}}$ до 150 МПа.

Рис. 1.130. Насос-форсунка системы GRIDEC фирмы BKM Inc: 1 - игла; 2 - впускной клапан; 3 - сервопоршень; 4 - электромагнитный привод; 5 - плунжер; 6 - втулка плунжера.

Система Universal Fuel Injection System (UFIS) фирмы American Bosch (ныне AMBAK International) обеспечивает питание дизеля $g_{\text{ц}} < 500 \text{ мм}^3$ и $n < 3000 \text{ мин}^{-1}$ с $P_{\text{впр}}$ до 140 МПа (рис. 1.131) [12]. В канал 1 подается топливо "среднего" давления 10...20 МПа для привода плунжера. Слив топлива осуществляется через окно 2. Плунжер В сжимает топливо под действием мультипликатора А. Он управляется дифференциальным поршнем С-Д. При закрытом шариковом клапане (в период предварительного дозирования, рис. 1.131, а) ввиду большего у поршня D, чем С диаметра, он

Система Universal Fuel Injection System (UFIS)

фирмы American Bosch (ныне AMBAK International) обеспечивает питание дизеля $g_{\text{ц}} < 500 \text{ мм}^3$ и $n < 3000 \text{ мин}^{-1}$ с $P_{\text{впр}}$ до 140 МПа (рис. 1.131) [12]. В канал 1 подается топливо "среднего" давления 10...20 МПа для привода плунжера. Слив топлива осуществляется через окно 2. Плунжер В сжимает топливо под действием мультипликатора А. Он управляется дифференциальным поршнем С-Д. При закрытом шариковом клапане (в период предварительного дозирования, рис. 1.131, а) ввиду большего у поршня D, чем С диаметра, он

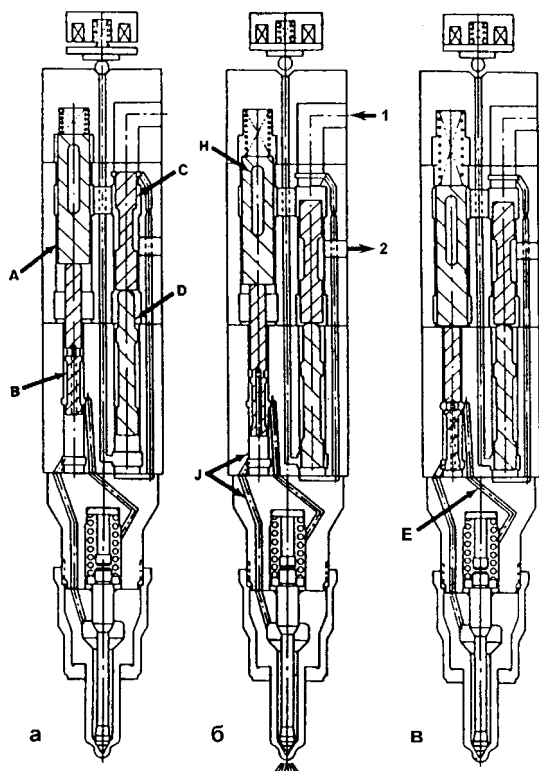


Рис. 1.131. Насос-форсунка UFIS:
а - дозирование; б - впрыскивание; в - отсечка.

На двигателях фирмы Caterpillar эта система была применена на дизелях 3126 (сначала с насос-форсунками модели H1A250, а с 1998 г. - с насос-форсунками модели H1300), затем система HEUI стала применяться и в дизелях 3408E, 3412E и 3116. Самая маленькая насос-форсунка модели H190 была применена в 1997 г. на японском дизеле 4JX1-TC с рабочим объемом цилиндров 3 л фирмы Isuzu. В настоящее время в эксплуатации находятся более 7 млн. дизелей с системой HEUI, наиболее массовые - Caterpillar и Perkins.

Топливо к насос-форсункам поступает под давлением 0,4 МПа (поз. 5, 30-32 рис. 1.131,а). Привод сервопоршня 4 мультипликатора давления осуществляется с помощью масла под давлением 4...25 МПа. Управление его подачей в гидроцилиндр мультипликатора осуществляется клапаном 2 с электроприводом 1. На рис. 1.131 показано, что масло забирается из картера дизеля, охлаждается, очищается, еще раз сжимается и поступает в насос-форсунку (поз. 9 - 12, 25 - 26). Для этого используется аксиально-плунжерный насос, обеспечивающий напор 4...27,5 МПа, изменяемый регулятором IAPCV. СУ содержит традиционный набор датчиков, необходимый для организации ТП и дополнительно датчики обратной связи контроля давления впрыскивания, а также уточненного контроля параметров масла в смазочной системе дизеля.

Особенностью системы HEUI является применение двухзатворного (или трёхпутевого, т.е. с тремя выходами) гидравлически разгруженного управляющего клапана. Он сообщает гидроцилиндр мультипликатора либо с ЛВД, либо со сливом (рис. 1.132). Двухзатворный клапан является весьма сложным в изготовлении, однако функционально может заменить два обычных однозатворных клапана, работающих в противофазе.

Первые образцы HEUI обеспечивали давление впрыскивания 135 МПа, но уже в 1995г. эта величина была повышена до 150 МПа. С 2000г. серийно выпускаются системы HEUI-B с типоразмерным рядом из насос-форсунок моделей H165B, H110B, H1200B производительностью соответственно 65, 110 и 200 мм³ при давлении впрыскивания до 160 МПа и насос-форсунки модели H1300B производительностью 300 мм³ при давлении 175 МПа.

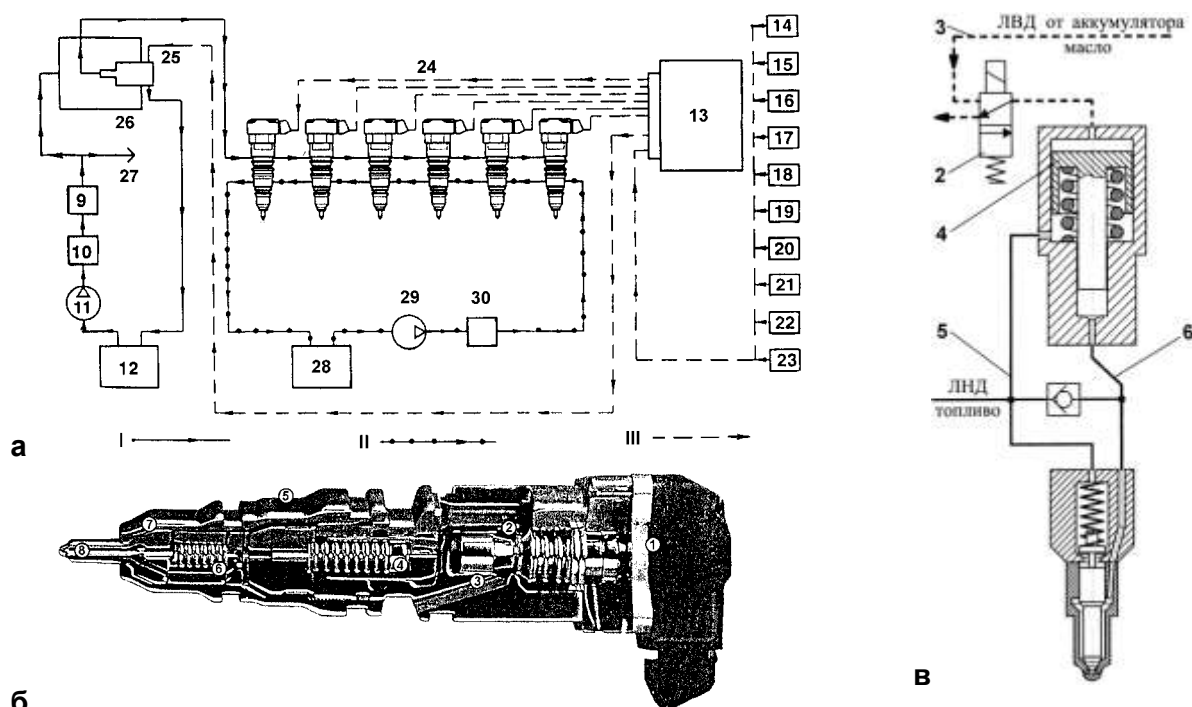
Как в прочих аккумуляторных системах управление ТП осуществляется за счёт изменения давления питания мультипликатора. Форма характеристики впрыскивания в ТА HEUI близка к трапецевидной. Известны модели ТА HEUI с автоматическим кратковременным сбросом давления в нагнетательной магистрали на всех режимах работы дизеля для осуществления двухфазного впрыскивания. Очевидно, что обеспечить то же за счёт

занимает верхнее положение. В этот период открыт путь для слива топлива из полости над мультипликатором А через паз Н, окно 2. Открытие электроприводом шарикового клапана снижает давление под поршнем D, он перемещается вниз, открывая путь топливу среднего давления через открытое золотниковое сечение G, паз Н в полость над мультипликатором (рис. 1.131,б). Форма и размер паза Н подачи топлива в полость над мультипликатором А определяет закон подачи. Резкое прекращение подачи определяется прекращением поступления топлива к соплам через каналы J и одновременным увеличением гидрозапирания через канал E (рис. 1.131,в). Упомянутые выше разработки не нашли широкого применения, очевидно, ввиду своей сложности и дороговизны.

Серийный выпуск наиболее популярной ТА этого класса типа **HEUI (Hydraulically actuated Electronically controlled Unit Injection)** был начат в 1993 году в результате совместных разработок компаний Navistar и Caterpillar.

Система HEUI впервые была применена на V-образных 8-цилиндровых дизелях с рабочим объемом 7,3 л фирмы Navistar, а в дальнейшем и в дизелях этой фирмы DT466E, T444E и 530E.

двукратного включения управляющего клапана не удастся из-за массивного управляющего клапана и мультипликатора.



б

Рис. 1.131. Схема системы HEUI (а), разрез насос-форсунки (б) и ее схема (в): 1 - электромагнит; 2 - управляющий двухзатворный клапан; 3 - масло под давлением; 4 - сервопоршень мультипликатора давления; 5 - топливо под давлением подкачки; 6 - топливо под давлением нагнетания; 7 - корпус; 8 - распылитель; 9 - фильтр; 10 - радиатор; 11 - насос; 12 - масляный поддон; 13 - блок управления; 14...23 - датчики (положения педали акселератора, положения распределительного вала, давления впрыскивания, давления наддува, температуры масла, давления масла, температуры охлаждающей жидкости, температуры окружающей среды, давления воздуха на впуске, давления отработавших газов); 24 - насос-форсунки; 25 - редуцирующий клапан; 26 - масляный насос высокого давления; 27 - слив; 28 - топливный бак; 29 - ТПН, 30 - фильтр; I - масло; II - подкачка топлива; III - электрические цепи.

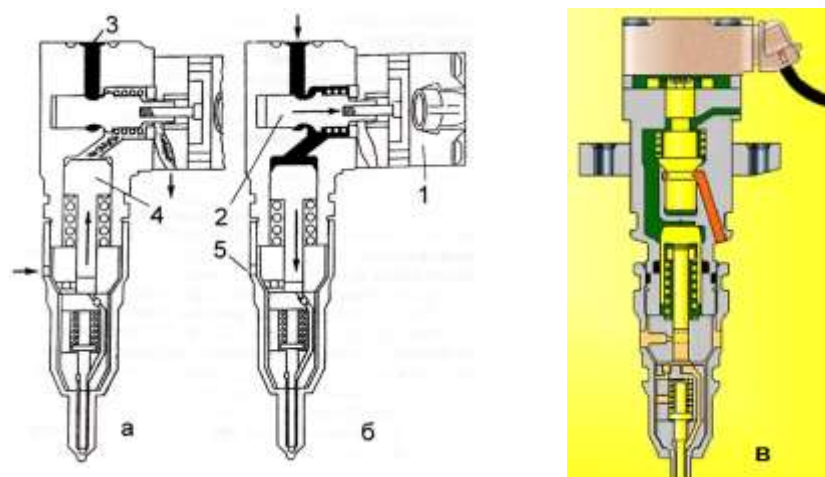


Рис. 1.132. Конструктивная схема насос-форсунки HEUI: а - ожидание; б - впрыскивание; позиции рис. 1.132; в - более поздняя конструкция с осевым расположением клапана.

ТПС типа HEUI второго поколения (**HEUI-B**) является дальнейшим развитием данного направления. Максимальные давления впрыскивания повышены до уровня (160...175) МПа [33]. По сравнению с предшествующей ТПС в составе системы HEUI-B применена электрогидроуправляемая форсунка. Для этого применена уникальная клапанная система. В ней используется прецизионное фазовое управление двумя клапанами, один из

которых является вспомогательным к другому. Оба клапана приводятся посредством единственного электромагнита с двумя обмотками, который имеет несколько устойчивых уровней тяговой силы. Клапаны не требуют какой-либо модуляции при движении для обеспечения управления впрыскиванием [33]. По заявлениям разработчиков ТА типа HEUI-B является наиболее гибкой среди известных систем и может обеспечить независимо от режима работы дизеля получение характеристик впрыскивания четырёх видов: трапецеидальной формы, прямоугольной формы и двухстадийное впрыскивание обоих типов (рис. 1.133). СУ определяет все параметры каждого этапа впрыскивания (количество, продолжительность и давление), при этом обеспечиваются более низкий шум сгорания, меньшие выбросы CH и NO_x+CH .



Рис. 1.133. Возможные характеристики впрыскивания топлива ТА типа HEUI-B в поле режимов работы дизеля

Установка наклона переднего фронта характеристики впрыскивания топлива в ТПС типа HEUI-B производится за счёт управления длительностью фазы между моментами включения управляющих клапанов мультипликатора и форсунки. Чем больше длительность, тем выше давление, при котором открывается форсунка, тем интенсивнее начинается впрыскивание топлива. Соленоид не только контролирует величину давления масла, поступающего к поршню мультипликатора, но также контролирует давление масла, управляющее подъемом и опусканием иглы распылителя. Однако, с точки зрения технологичности HEUI-B вряд ли оптимальна. Каждая насос-форсунка содержит мультипликатор давления, три клапанных узла, распылитель с разделительными поверхностями, две прецизионные пружины клапанов и т.д. Прецизионные детали и узлы также имеются в ЛВД, поддерживающих высокое давление в аккумуляторе. Так, HEUI-B содержит почти вдвое больше прецизионных по сравнению с наиболее распространённой дизельной ТА (табл. 1.7).

Опыт эксплуатации системы HEUI показывает ее достаточную надежность. В 2006-2007 г. дизели Caterpillar с системами HEUI эксплуатировались на автобусах ЛиАЗ и др. Основная причина повреждения – нарушение режима фильтрации топлива и масла, задержки с заменой масла. Наиболее уязвимыми узлами системы являются электроуправляемый клапан и датчик высокого давления масла.

В дизеле **Opel Monterey** (плод труда фирм Opel и Isuzu) с $V_h=3,0$ л, $N_e=117$ кВт, $n=3900$ мин⁻¹, используется аналогичная ТА с мультипликатором. Отфильтрованное после насоса масло поступает в ТНВД 12 (рис. 1.134), далее в аккумулятор 1, насос-форсунки 2 и сливается в поддон. Топливная ЛНД – традиционная. Давление подачи топлива ТПН – 1 МПа, давление масла за ТНВД на различных режимах – 5...20 МПа, давление впрыскивания – до 140 МПа, коэффициент мультипликации равен семи. Насос-форсунка позволяет осуществить двухфазную подачу благодаря разгрузочному каналу 4 плунжера 2, кратковременно открываемому для отсечки в окно 5 (рис. 1.135). Благодаря такой ТПА дизель имеет низкий шум сгорания, точное дозирование запальной порции, возможность обеспечения оптимальных параметров впрыскивания и, как следствие, высокие экологические показатели и высокий крутящий момент в интервале 1500...3900 мин⁻¹, что вполне достаточно даже для вседорожника.

ТПА с мультипликаторами давления швейцарской фирмой *Ganser-Hudromag AG* обеспечивает запальную порцию 1...3 % от номинальной цикловой подачи и давление впрыскивания 15...160 МПа. В системе с мультипликацией фирмы *Robert Bosch* для гидропривода применяется топливо под давлением 15...20 МПа. Система рассчитана на цикловую подачу топлива до 110 мм³ при частоте вращения двигателя 2500 мин⁻¹.

В заключение отмечаем, что многочисленные предложенные схемы мультипликаторов давления с электроуправлением, дороги, т.к. содержат дополнительные прецизионные детали (табл. 1.7), имеют значительные неуравновешенные массы, требующие демпфирования и накладывающие ограничения на их быстродействие. Можно предположить, что именно по этим причинам такие аккумуляторные системы не нашли широкого применения, особенно для высокооборотных дизелей. Вместе с тем их появление – следствие трудностей создания и непрерывного поддержания сверхвысоких давлений топлива. В ТА с мультипликатором отсутствуют сильно нагруженные детали, как с

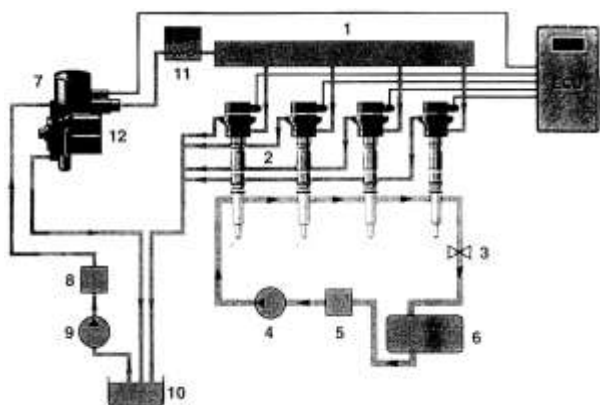


Рис. 1.134. Гидравлическая схема ТПА R.Bosch дизеля Opel Monterey: 1 - аккумулятор; 2 - насос-форсунки; 3 - редукционный клапан; 4 - ТПН; 5 - ФТО; 6 - бак; 7 - регулирующий давление электроклапан; 8 - фильтр; 9 - масляный насос; 10 - поддон; 11 - двухсторонний клапан; 12 - масляный ТНВД.



Рис. 1.135. Мультипликатор давления насос-форсунки дизеля Opel Monterey: а - запальная подача; б - основная подача; 1 - масляная полость; 2 - сервопоршень; 3 - плунжерная полость; 4 - разгрузочный канал плунжера; 5 - отсечное окно.

механическим приводом плунжера, меньше приведенная к плунжеру масса подвижных деталей. В результате используется существенно большие, чем в системах с механическим приводом, скорости плунжера при впрыскивании. Данные системы имеют преимущества по сравнению с насос-форсункой с механическим приводом в отношении компоновки на дизеле, т.к. не требуют размещения кулачкового вала в головке цилиндров. Система терпима к износу и стабильна в процессе эксплуатации. Так, при росте утечек лишь растут затраты мощности в ТНВД, но уровень давлений подачи не меняется.

Вопрос целесообразности применения мультипликаторной ТА, обладающей большими возможностями управления параметрами впрыскивания, но также и повышенной сложностью и стоимостью, остаются открытыми. В этом смысле неудивительно, что даже одна и та же фирма прорабатывала альтернативные топливные системы. И все же есть основания прогнозировать замену систем с мультипликацией классическими системами Common Rail.

Таблица 1.7. Конструктивные характеристики современной дизельной ТА

Тип топливной аппаратуры	Количество прецизионных элементов			
	Прецизионная пара	Клапанный узел	Пружи-на	Дрос-сель
ИТН (насос-форсунка) с ЭУК и традиционной ГМФ	3	2	2	–
ИТН с ЭУК и двухпружинной ГМФ	3	2	3	–
ИТН (насос-форсунка) с двухступенчатым ЭУК и традиционной ГМФ	3	2	3	–
Насос-форсунка с ЭУК и накопительным клапаном	4	2	2	н.д.
Аккумуляторная ТА Common Rail*	2(3)	2	1	2(3)
Аккумуляторная ТА HEUI*	4	4(5)	2	–
Насос-форсунка с двумя ЭУК HEUI-B	4	3	2	1
Аккумуляторная ТА HEUI-B*	5	4	2	1

Примечания к таблице: н.д. – нет данных; * – ТА также содержит прецизионные детали в ЛВД (ТНВД, клапаны и пр.); ГМФ – гидромеханическая форсунка; ЭУК-электроуправляемый клапан; ИТН-индивидуальный топливный насос.

Контрольные вопросы

1. Зачем создаются системы с мультипликацией давления?
2. В чем усматривается сложность гидроуправления насос-форсункой с гидроприводом плунжера?
3. Почему в большинстве систем с мультипликацией привод плунжера осуществляется маслом?
4. Как лично Вы оцениваете перспективы применения систем с мультипликаторами давления?

2. НАДЕЖНОСТЬ, ОСНОВНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ И ПРИЧИНЫ ОТКАЗОВ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

2.1. НАДЕЖНОСТЬ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ, КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Существенное ухудшение мощностных и топливно-экономических показателей дизелей объясняется, в первую очередь, изменением технического состояния элементов топливоподающих систем и параметров топливодачи и в меньшей степени зависит от износа деталей двигателя. Так проведенная исследователями [21] стендовая проверка двигателей 8 Ч 13/14 после длительной эксплуатации показала, что мощность и топливная экономичность понижена, а дымность ОГ повышена. При установке на двигатели контрольных комплектов ТА максимальное снижение мощности (по сравнению с новым) составило 5%, а увеличение удельного расхода топлива – не более 4%. После регулировки ТА мощностные показатели дизелей были, как правило, не хуже, чем при работе с контрольной. При этом даже у двигателей с нормально отрегулированной ТА и большим износом деталей цилиндропоршневой группы не отмечалось падения мощностных и экономических показателей более чем на 5%.

Надежность является одним из главных показателей качества любого изделия и в соответствии со стандартом рассматривается как свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность изделия выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Система включает в себя совокупность действующих совместно технических устройств, предназначенных для самостоятельного выполнения определенных задач в процессе ее применения по назначению. **Элементом** называется часть системы, не имеющая самостоятельного эксплуатационного значения и предназначенная для выполнения заданных функций. Степень разделения системы на составляющие ее элементы зависит от вида решаемых задач. Так при анализе надежности топливной аппаратуры в качестве элементов могут выступать отдельные агрегаты, узлы, части узлов: топливный насос, регулятор, форсунка, плунжерная пара, ось, шестерня, рычаг и т. д.

Системы и элементы могут быть восстанавливаемыми и невосстанавливаемыми, ремонтируемыми и неремонтируемыми.

Под **восстанавливаемым** понимается **объект**, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской документации. **Невосстанавливаемый объект** — это объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния не предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Ремонтируемый объект—это объект, для которого проведение ремонтов предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской документации. **Неремонтируемый объект**—объект, для которого проведение ремонтов не предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Техническое состояние – это совокупность подверженных изменению в процессе эксплуатации свойств объекта, характеризующих его пригодность к использованию по назначению, определяющихся в данный момент времени значениями параметров и качественными признаками, состав которых установлен технической документацией.

Работоспособностью называется такое состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации. Работоспособное состояние объекта определяется перечнем параметров и допустимыми пределами их изменения. Неработоспособность — это состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Отказом называется нарушение работоспособности.

Различают структурные и диагностические параметры состояния машин. **Структурные** параметры (износ, зазор) непосредственно обуславливают техническое состояние. **Диаг-**

ностические параметры (давление топлива в ЛВД), используемые для определения технического состояния машин, в основном косвенно характеризуют структурные параметры элементов. Когда структурный параметр определяется в процессе диагностирования прямым измерением, он одновременно выступает как диагностический параметр.

Структурные параметры с точки зрения обеспечения работоспособности можно подразделить еще на две характеризующие техническое состояние группы – ресурсные и функциональные. Достижение в процессе эксплуатации ТА предельных величин обуславливает отказ элементов топливной системы или дизеля в целом. Первая группа параметров при этом будет характеризовать ресурсные отказы, вторая – функциональные.

Функциональные параметры – обычно технические и рабочие характеристики топливоподающей системы и ее составных узлов, интегрально отражающие определенную совокупность структурных параметров (изменение базовых характеристик цикловой подачи и УОВТ, характеристики впрыскивания и нестабильность параметров топливоподачи и т.д.).

На реальный процесс изменения структурного параметра влияет значительное количество факторов. Их можно классифицировать на две большие группы – внутренние и внешние или конструктивные и эксплуатационные. К первым относятся все факторы, от которых зависит качество изготовления, сборки узлов ТА, обкатки ТНВД, а также характер конструкции и структура самих элементов. К внешним, эксплуатационным факторам, относят природно-климатические условия, характер и интенсивность работы дизеля, методы и уровень технического обслуживания и ремонта и т.д. Динамика естественного процесса изнашивания ТА показана на рис.2.1. Можно выделить три периода изнашивания: приработку (1), нормальное (2), и аварийное (3) изнашивание. Вторым периодом характеризуется постоянством скорости изнашивания и определяет продолжительность нормальной эксплуатации детали.

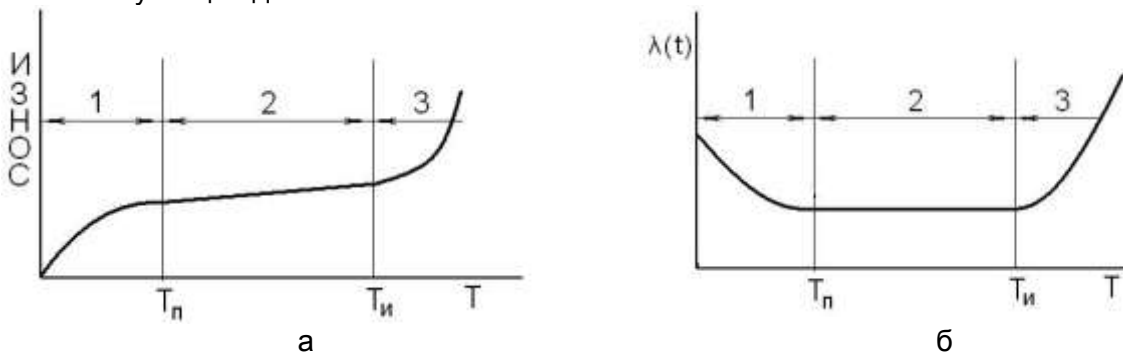


Рис. 2.1. График изнашивания детали (а) и зависимость интенсивности отказов $\lambda(t)$ от наработки изделия (б): 1 - приработка; 2 - период нормального изнашивания; 3 - период аварийного изнашивания; T_p и $T_{и}$ - соответственно конец приработки и начало аварийного изнашивания.

Износ детали (сопряжения) определяют взвешиванием (определением потери массы), микрометрированием (определением изменения ее размеров), профилографированием поверхностей, измерением размеров искусственных баз и другими способами.

В соответствии с указанным на рис. 2.1 характером изнашивания можно различить три группы отказов. Приработочные отказы (в течение первого периода) проявляются в начальный период эксплуатации и являются следствием монтажных деформаций, наличия дефектных деталей и узлов, нарушения технологии сборки. Они должны полностью устраняться при обкатке машины. Интенсивность отказов при нормальной эксплуатации является постоянной (второй период). В течение третьего периода изнашивания интенсивность отказов резко возрастает.

Отклонение (изменение) структурного или ресурсного параметра состояния элемента в зависимости от наработки, в частности износ детали, под действием первой группы факторов в постоянных эксплуатационных условиях характеризуется плавной возрастающей кривой. Если взять не один элемент, а несколько, то можно наблюдать совокупность возрастающих кривых, отличающихся друг от друга скоростью изменения параметра (рис.2.2,а). Такую совокупность гладких кривых обычно получают в результате заводских или лабораторных испытаний элементов, работающих при постоянном режиме.

Отклонение структурного или ресурсного параметра элемента под влиянием второй группы факторов происходит уже не по гладкой, а по ломаной возрастающей кривой (рис.2.2,б). Резкое увеличение скорости изменения параметра (зазора в плунжерной паре, степень фильтрации топлива) в отдельные моменты обусловлено случайными неблагоприятными эксплуатационными условиями (большие нагрузки, некачественное топливо, неправильная регулировка узлов, недостаточная смазка и т. д.).

Динамика диагностического параметра, косвенно характеризующего изменение одного или нескольких структурных, также может быть выражена возрастающей кривой. Отличительная особенность заключается в наличии относительно больших изломов кривой, в немонотонном в ряде случаев ее возрастании (рис.2.2,в).

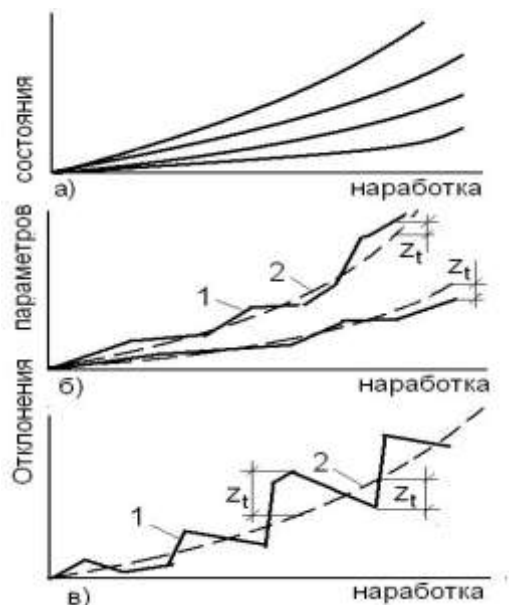


Рис. 2.2. Характер кривых отклонений параметров состояния: а - плавные монотонно возрастающие кривые; б - ломаные монотонно возрастающие кривые; в - ломаные немонотонно возрастающие кривые; 1 - фактическое отклонение параметра; 2 - усредненное отклонение; z_t - случайная функция отклонения параметра с нулевым математическим ожиданием (в единицах параметра).

Диагностические параметры — вибрация, изменение давления топлива, неравномерность частоты вращения, состав отработавших газов и другие, обнаруживая общую тенденцию к возрастанию, в отдельные моменты времени могут быть меньше, чем в предыдущие. Это зависит от нагрузочного и скоростного режимов работы дизеля, скорости движения деталей,

температурных условий, применяемого топлива, состояния системы смазки и других факторов, а также погрешности измерения диагностического параметра.

Достижение параметров состояния совокупности одноименных элементов предельной величины, обуславливающее отказ всех элементов, исчерпание их технического ресурса можно представить в виде плотности распределения технического ресурса элементов, то есть рассеивания моментов пересечения реализации параметров горизонтали, соответствующей предельной величине параметра.

Вообще связь между предельным параметром и отказом имеет вероятностный характер. Тем не менее, в целях упрощения решения ряда важных вопросов прогнозирования состояния и диагностирования элементов машин обычно понимают под отказом, потерей работоспособности, момент пересечения кривой параметра состояния элемента горизонтальной линии, соответствующей предельной величине параметра, установленной нормативно-технической документацией.

Предельное состояние ТА наступает при отклонении параметров топливоподачи за пределы, после которых существенно нарушаются показатели работы двигателя, или появлении необходимости выполнения работ по разборке базовых узлов или замене хотя бы одной из следующих деталей: у насоса – плунжерной пары, кулачкового вала, толкателя, вала регулятора, ступицы с грузами, пружины, подшипника; у форсунки – корпуса или пружины; у фильтров – корпусов. После достижения предельного состояния топливную аппаратуру следует регулировать или ремонтировать. При экономической нецелесообразности ремонта топливная аппаратура или ее элементы подлежат замене.

В процессе изменения технического состояния объекта его параметры изменяются от номинального до предельного значения. **Номинальное значение параметра** – значение, определенное функциональным назначением и служащее началом отсчета отклонений. Номинальное значение параметра наблюдается у нового и капитально отремонтированного объекта.

Предельное значение параметра – это наибольшее или наименьшее значение, которое может иметь работоспособный объект. **Допускаемое значение параметра** харак-

теризуется граничным его значением, при котором объект допускают после контроля к эксплуатации без операций технического обслуживания и ремонта. Это значение приводят в технической документации на ремонт и обслуживание. При допускаемом значении параметра объект надежно работает.

Отказы бывают **частичные** и **полные**. При частичном отказе эксплуатация изделия может не прекращаться (например, поломка сливного трубопровода форсунки, отворачивание сапуна и др.).

По характеру проявления различают **скрытые** и **очевидные** отказы, а по характеру возникновения – **внезапные** и **постепенные** (ожидаемые).

Внезапные отказы являются следствием скрытых производственных дефектов, усталостных разрушений, деформаций деталей из-за перегрева и других причин. В топливной аппаратуре эти отказы проявляются в виде поломок топливопроводов, пружин толкателей, потери подвижности плунжеров, игл распылителей и т.д.

Постепенные отказы являются следствием естественного изнашивания деталей и в основном зависят от длительности эксплуатации. С увеличением наработки вероятность их появления возрастает. В отличие от внезапных эти отказы бывают, как правило, скрытыми и частичными, причем их появление можно прогнозировать. Большая часть постепенных отказов топливной аппаратуры проявляется в виде изменения цикловой подачи топлива, нарушения равномерности его распределения по цилиндрам двигателя и по сопловым отверстиям форсунки, изменения опережения и давления впрыскивания, изменения настройки регулятора ТНВД.

На определенной стадии постепенные отказы могут перейти во внезапные. Так, по мере эксплуатации двигателя, на стенках внутренних полостей распылителей форсунок может образоваться достаточно толстый слой кокса, который под действием высокой температуры и ударов при посадке иглы может отслаиваться и смываться топливом. Отслоившийся кокс иногда закупоривает отдельные сопловые отверстия форсунок, что резко изменяет подачу топлива.

Отказы топливной аппаратуры могут происходить по конструкционным, технологическим и эксплуатационным причинам. Отказы, обусловленные дефектами конструкции, проявляются обычно не в отдельных, а в большинстве экземплярах данной конструкции (серии) топливной аппаратуры.

Технологические отказы в большинстве случаев являются следствием нарушения режимов термической обработки, несоблюдения точности изготовления деталей, неудовлетворительной очистки отдельных элементов линии высокого давления от стружки, окалины и т.д. К этой группе отказов можно отнести, например, интенсивный износ лапок грузов регулятора из-за нарушения режимов их термической обработки, течь топлива по резьбе втулки штока топливоподкачивающего насоса из-за некачественного ее монтажа и др.

Эксплуатационные отказы могут быть закономерными, связанными с естественным износом деталей и старением материала и вызваны нарушениями правил эксплуатации, в частности ТО, правил хранения, транспортировки и очистки топлива, приводящими к быстрой потере плотности прецизионных пар, зависанию игл распылителей, плунжеров и т.д.

По трудоемкости устранения отказы топливной аппаратуры разделяют на **три группы сложности** (табл.2.1). В первую группу включают и изменения параметров топливоподдачи, выходящие за установленные пределы [3,16].

Надежность является комплексным свойством изделия, которое в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость в отдельности или определенное сочетание этих свойств как для объекта, так и для его частей.

Безотказность – это свойство изделия не иметь отказов (сохранять работоспособность) в течение некоторого времени или некоторой наработки. Свойством безотказности объект обладает как в период его использования, так и в периоды хранения и транспортирования.

Долговечностью называется свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Ремонтпригодность – это свойство изделия, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Таблица 2.1. Характеристики отказов

Группа сложности	Характеристики отказов
1	Устраняемые ремонтом или заменой деталей, расположенных снаружи узлов и агрегатов (устранение отказов производится без разборки этих агрегатов и узлов); устранение отказов требует внеочередного проведения ТО-1 и ТО-2; учитываемые как отказы, вызывающие предельное изменение параметров топливоподачи; все отказы топливных фильтров и форсунок, в том числе отказы, устраняемые ремонтом и заменой форсунки и топливных фильтров, требующих разборки узлов, но не вызывающих предельного состояния (подгруппа 1 а), и отказы, вызывающие предельное состояние форсунок и фильтров (подгруппа 1 б).
2	Устраняемые ремонтом или заменой легкодоступных узлов и агрегатов или их деталей (нагнетательного клапана, плунжерной пары); устраняемые вскрытием внутренних полостей основных узлов, но без их разборки (замена пружин регулятора); требующие внеочередного проведения операций, предусмотренных ТО-3.
3	Устраняемые при полной разборке аппаратуры (поломка кулачкового вала, подшипников, трещины корпуса).

Сохраняемость топливной аппаратуры характеризует ее свойство сохранять обусловленные эксплуатационные показатели в течение и после срока хранения и транспортирования, установленного технической документацией.

Для различных объектов и условий их эксплуатации относительная значимость этих свойств также различна. Для неремонтируемых объектов надежность включает в себя в основном их безотказность, в то время как для ремонтируемых объектов одним из важнейших свойств, составляющих надежность, является ремонтпригодность.

Надежность топливной аппаратуры дизелей в эксплуатации определяется как общими (безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость, комплексные показатели), так и присущими только ТА показателями: стабильностью исходных конструктивно-регулируемых параметров.

Количественные характеристики надежности, называемые критериями, характеризуют различные ее составные части с количественной стороны. Численные значения критериев также называют параметрами или показателями надежности.

В связи с тем, что процессы накопления неисправностей и появления отказов изделий носят по своей физической природе случайный характер, показатели надежности являются вероятностными величинами и определяются на основе правил теории вероятностей и математической статистики.

Основным показателем надежности топливной аппаратуры является ее ресурс в моточасах или срок службы в годах (для комбайновых 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 своих основных деталей, изменения основных показателей процесса топливоподачи, восстановление которых невозможно осуществить регулировкой аппаратуры.

В соответствии с ГОСТ 10578 – 96, ГОСТ 10579 – 88, ГОСТ 14146 – 88, ресурс до капитального ремонта топливных насосов, форсунок и плунжерных пар автотракторных дизелей (срок службы – для комбайновых) должен быть не менее ресурса до капитального ремонта дизелей, для которых они предназначены. Ресурс распылителей тракторных и комбайновых дизелей должен быть не менее 0,5 ресурса форсунок, а автомобильных дизелей – не менее 3500ч.

В соответствии с перспективными отраслевыми требованиями для тракторных дизелей ресурс ТНВД должен составлять 10000÷12000ч, форсунок – 12000÷18000ч (распылителей – 6000ч), фильтров грубой и тонкой очистки – 12000÷18000ч, фильтрующих элементов для насосов диаметром плунжера до 12мм – 1500ч, а для автомобильных дизелей – 500ч [31].

Доверительная вероятность обеспечения показателей ресурса составляет 90%. Но-

менклатуру и значения показателей надежности устанавливают в технических условиях. В соответствии с перспективными требованиями для тракторных и комбайновых дизелей и топливных насосов высокого давления, наработка на отказ должна быть не менее ресурса дизеля, а вероятность безотказной работы форсунок и фильтров за период ресурса – не менее – 0,8. Топливная аппаратура перспективных автомобильных дизелей должна обеспечивать не менее 500 тыс. км пробега до капитального ремонта.

Гарантийный срок эксплуатации и гарантийная наработка топливных насосов всех дизелей и плунжерных пар автотракторных дизелей должны быть не менее гарантийного срока эксплуатации и гарантийной наработки дизелей, для которых они предназначены.

В соответствии с перспективными требованиями к ТА тракторных и комбайновых дизелей, межрегулировочный период работы топливных насосов должен составлять не менее 4000ч, а форсунок – 3000ч. В период межрегулировочного срока изменение номинальной частоты вращения насоса не должно превышать $\pm 3\%$ (в перспективе $\pm 1\%$), цикловой подачи - $\pm 4\%$ ($\pm 1\%$), давления начала впрыскивания форсунки – не более 6% (3%), пропускной способности форсунок $\pm 4\%$ ($\pm 1\%$) [31].

Показатели надежности ТА могут определяться на основе анализа характера изменения параметров топливоподачи или коэффициентов, характеризующих их стабильность. Возможность применения этих параметров основана на том, что по мере эксплуатации из-за износа отдельных деталей величины параметров изменяются. По данным ЦНИТА, у насоса УТН-5 на каждые 1000ч работы цикловая подача возрастает на 1%, частота вращения начала действия регулятора уменьшается на 0,6%, а угол начала подачи топлива снижается на $0,23^\circ$.

Цикловая подача, непосредственно определяющая мощность двигателя, меняется по мере износа сопрягающих поверхностей деталей насоса высокого и низкого давлений и форсунок. В связи с этим цикловая подача может использоваться при оценке надежности как топливного насоса, так и форсунок (при эталонном насосе). При оценке надежности может рассматриваться и изменение цикловой подачи на всех характерных режимах, в частности, на номинальном и пусковом [3, 4].

Надежность регулятора можно определять по изменению частоты вращения в начале его действия. Величина указанного параметра целиком определяется износом сопрягающих поверхностей механизмов и изменением характеристик пружин регулятора.

Износостойкость ряда сопряженных элементов деталей форсунки и стабильность жесткости ее пружины можно оценивать по изменению давления начала подъема иглы распылителя. По мере износа указанных сопряжений снижается давление начала впрыскивания и, как следствие, возрастает цикловая подача и снижается экономичность двигателя.

Рассмотренные выше критерии косвенно оценивают надежность отдельных элементов или системы в целом. При оценке безотказности, долговечности и сохраняемости топливной аппаратуры могут применяться и критерии, непосредственно определяющие состояние этих элементов. Такие критерии в ряде случаев могут дать более конкретные сведения, необходимые для изыскания путей дальнейшего повышения надежности.

Состояние прецизионных узлов (плунжерной пары, нагнетательного клапана, распылителя) и топливоподкачивающего насоса характеризуется их гидравлической плотностью. В этой связи интенсивность изменения гидравлической плотности в известной мере является показателем надежности этих узлов. 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. Установлено, что при возрастании хода иглы ускоряется изнашивание поверхностей уплотнительного конуса распылителя и его закоксовывание.

Надежность распылителя форсунки может характеризоваться скоростью закоксовывания (снижения эффективного проходного сечения) его сопловых отверстий. 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 соответствии с гост 10579-98 давление начала впрыскивания форсунок при регулировке должны устанавливаться с допуском для форсунок с регулировочным винтом не

более $\pm 0,8$ мпа, с регулировочными шайбами не более $\pm 1,2$ мпа. Определенные на основе анализа [36, 37] допуски на давления начала открытия форсунок bosch и denso приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Допуски на давления начала открытия форсунок, МПа

Фирма-изготовитель	При замене распылителя	Без замены распылителя
Bosch	0,4...0,6	0,4...1,3
Denso	0,3...0,6	0,5...1,0

Общая износостойкость деталей регулятора, передвигающих рейку насоса соответственно положению центра тяжести грузов, может оцениваться скоростью увеличения приведенного к рейке люфта. У регулятора насоса типа ТН к числу таких деталей относятся оси соединений, рейка, тяга регулятора, вилка, штыри вилок, муфта, упорный подшипник, грузы, а у регулятора насоса УТН – ступица грузов, упорный подшипник муфты, ось качения рычагов, муфта, плоская пята, грузы.

Срок службы фильтров определяется количеством пропущенного через них топлива. По мере эксплуатации возрастает их гидравлическое сопротивление. Показателем надежности фильтров может служить скорость возрастания их гидравлического сопротивления.

Кроме указанных, могут применяться и другие критерии оценки надежности. Например, плотность нагнетательного клапана по пояску может оцениваться по показаниям пневматического прибора, сопряжения шток – втулка топливоподкачивающего насоса – по скорости падения давления и т.д. Меры по обеспечению высокой надежности машин при ремонте сводятся к применению более эффективных методов восстановления и обработки трущихся поверхностей деталей, ужесточению требований на разборку, сборку и обкатку составных частей и машин в целом, улучшению контроля ремонтных операций.

В процессе эксплуатации в основном ставится задача обеспечения надежности в течение продолжительного периода. Обеспечение в процессе эксплуатации стабильности заданных характеристик топливоподачи (неравномерности цикловой подачи, идентичности продолжительности впрыскивания, закона подачи, угла опережения впрыскивания) является непременным условием надежной и экономичной работы дизеля. Нестабильность параметров топливоподачи снижает технико-экономические показатели работы двигателя, повышает механическую и тепловую нагрузку цилиндров, увеличивает дымность и токсичность отработавших газов [2, 4, 7, 12].

Отрицательное влияние нестабильности параметров топливоподачи особенно остро 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.

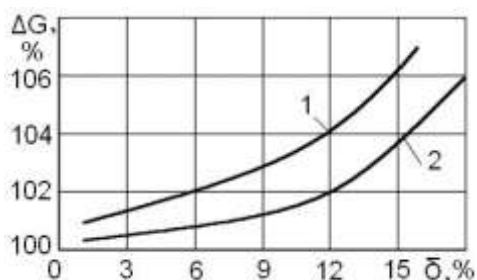


Рис. 2.3. Зависимость часового расхода топлива от межсекционной неравномерности топливоподачи: 1 – Т-150К; 2 – ДТ-75.

При работе тракторного агрегата в составе трактора Т-150К и прицепа ММЗ-771Б Власовым П.А. установлено, что увеличение неравномерности подачи на каждые 3% приводит к увеличению часового расхода на 1...2% (рис. 2.3 кривая 1). По результатам работы трактора ДТ-75 на пахоте, возрастание неравномерности на 18% обуславливает увеличение погектарного расхода топлива на 6% (рис. 2.3 кривая 2).

В соответствии с ГОСТ 10578-96 отклонение часовой или средней цикловой подачи топливного насоса на номинальной частоте вращения его вала или частоте вращения, соответствующей максимальному крутящему моменту при регулировании на стенде, для автотракторных дизелей не должно выходить за пределы $\pm 1,5\%$ (при проверке на контрольном стенде допускается дополнительное отклонение в $\pm 1\%$).

Отклонение начала нагнетания топлива между секциями топливного насоса должно лежать в пределах ± 30 минут по углу поворота кулачкового вала; при этом за начало отсчета углов принимают начало нагнетания топлива одной из секций топливного насоса, установленное с допуском не более 1° от угла поворота кулачкового вала для симмет-

ричного профиля кулачка или 0,1 мм хода плунжера для несимметричного профиля.

Неравномерность подачи топлива по секциям топливных насосов при регулировании их на стенде, а также при проверке на контрольном стенде не должна быть более указанной в табл. 2.3 для распределительных и в табл. 2.4 для остальных (ГОСТ 10578-96).

Таблица 2.3. Допустимая неравномерность подачи топлива в распределительных ТНВД

Число секций в ТНВД	Неравномерность подачи топлива по линиям нагнетания, %	
	На номинальном режиме	На режиме холостого хода
1	6	30
2	6	40

Таблица 2.4 Допустимая неравномерность подачи топлива

Число секций в ТНВД	Неравномерность подачи топлива по секциям, %			
	на номин. режиме или $M_{кр\ max}$		на режиме холостого хода	
	при регулировке	при проверке	при регулировке	при проверке
2	3	6	20	25
3	3	6	25	30
4	3	6	30	35
5	3	6	32	37
6	3	6	35	40
8	3	6	40	50
10	3	6	45	60
12	4	8	55	75
16 и более	4	8	55	75

По технологическим картам (тест-планам) [36] на регулировку (проверку) на контрольно-регулирующем стенде для рядных ТНВД фирмы BOSCH 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 [23].

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. 2.5, для рядных ТНВД – в табл. 2.6 [36, 37].

Таблица 2.5. 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 и ТНВД с электронным управлением	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	–

Таблица 2.6. 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	14,0...31,0	20,0...49,0
Разделенная КС	2,4...6,0	4,4...9,0	7,7...20,0	25,0...60,0

Кроме межсекционной неравномерности топливоподачи при работе топливоподающей системы наблюдается межцикловая неравномерность, т.е. неидентичность следующих друг за другом цикловых подач одной насосной секции. В отличие от межсекционной величина межцикловой неравномерности не регламентирована ГОСТ. Между тем установлено, что межцикловая неравномерность топливоподающих 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 межцикловой неравномерности топливоподачи на технико-экономические показатели работы дизеля начинает проявляться при превышении ее значения на 20%. Испытаниями дизеля 1Ч10,5х14 установлено, что с увеличением межцикловой неравномерности с 20% до 100% минимально-устойчивая частота вращения одноцилиндрового дизеля возрастает на 10,7% (с 900 мин⁻¹ до 960 мин⁻¹), а соответствующая ей минимально возможная средняя цикловая подача увеличивается на 23,5% (с 34 мм³/цикл до 42 мм³/цикл) [7].

Изменение динамического УОВТ в распределительных топливных насосах типа VE происходит с помощью гидравлического АОВТ. Величина перемещения поршня АОВТ является одним из диагностических (регулирующих) параметров для данного типа распределительного ТНВД и ее проверка осуществляется на безмоторном стенде для регулировки дизельных топливных насосов 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 $\pm 0,07 \dots 0,10$ мм независимо от КС дизельного двигателя (табл.2.7) [36, 37].

Таблица 2.7. Допуски на угол начала нагнетания первой секцией и допустимые отклонения начала нагнетания между 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	$\pm 0,05$	$\pm 0,10$	$\pm 0,50$	$\pm 0,75$
Разделенная КС			$\pm 0,80$	$\pm 1,00$

Для номинальной частоты вращения приводного вала допуск на перемещение поршня составляет для распределительных ТНВД BOSCH $\pm 5,0 \dots 11,0\%$ при регулировании и $\pm 9,0 \dots 13,0\%$ при проверке, а для насосов (VE...E) с электронным регулятором скорости $\pm 5,0 \dots 7,0\%$ и $6,5 \dots 9,0\%$ [36] соответственно; а для Denso – $5,0 \dots 9,0\%$ 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 должно быть не более 0,30 мм [37].

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⁻¹ приводного вала. Допустимые отклонения давления ТПН распределительных ТНВД типа VE представлены в табл. 2.8 [36, 37].

Таблица 2.8. Допустимые отклонения давления ТПН распределительных ТНВД фирмы BOSCH и Denso, %

Режим работы ТНВД		Допуск, %
Bosch	номинальный	3,5...6,5
	максимального крутящего момента	3,5...5,5
	начало действия пневмокоректора (частота вращения 500...700 мин ⁻¹ приводного вала ТНВД)	8,0...11,0
Denso	номинальный	1,7...5,0
	начало действия пневмокоректора (частота вращения 500...700 мин ⁻¹ приводного вала ТНВД)	9,0...14,0

В соответствии с ГОСТ 10579-88, ГОСТ 10578-96 номенклатура и значения показателей надежности ТА устанавливаются по техническим условиям на конкретные элементы ТА или по руководствам по эксплуатации дизелей, для которых они предназначены. Критерии предельного состояния, определяющие необходимость ремонта и замены деталей ТА, устанавливаются в эксплуатационной (ремонтной) документации. ЦНИТА обоснованы нормативные показатели надежности топливной аппаратуры и их предельные изменения, учитываемые как отказ (табл.2.9). Следует отметить, что эти нормативы определены еще в 80-х годах для традиционных систем с механическими регуляторами.

Таблица 2.9. Нормативные показатели надежности топливной аппаратуры, %

Показатели	Допустимые изменения показателей при проведении регламентных операций:	
	между ТО	во время ТО
Изменение цикловой подачи при номинальной частоте вращения вала насоса, свыше	± 3	± 5
Изменение частоты вращения вала насоса при начале действия регулятора	± 2	± 4
Изменение величины цикловой подачи на режиме пуска	-10	-20
Неравномерность топливоподачи, свыше:		
- на номинальном режиме	10	14
- на режиме холостого хода	45	60
Изменение величины давления начала подачи топлива форсункой	10	15
Изменение пропускной способности форсунок	4	6

Надежность как интегральный показатель безотказности, ремонтпригодности, долговечности и сохраняемости в процессе эксплуатации зависит от ряда факторов: характера и объема выполняемых работ, почвенно-климатических условий работы машины, принятой системы технического обслуживания и ремонта, качества и наличия нормативно-технической документации и технических средств обслуживания машин, качества выполнения правил эксплуатации и ТО машин.

Под управлением техническим состоянием машины следует понимать целенаправленные, предупреждающие отказы технические воздействия по восстановлению номинальных значений совокупности параметров технического состояния, т.е. реализацию мероприятий по обеспечению надежности ТА.

В широком плане управление работоспособностью топливоподающей системы предполагает оптимальное формирование всех ее составляющих - безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости и включает все мероприятия, направленные на поддержание основных показателей в заданных пределах в течение требуемого времени или наработки.

2.2. ОСНОВНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ И ПРИЧИНЫ ОТКАЗОВ

Многочисленными исследованиями установлено, что топливная аппаратура, являясь одним из основных элементов дизеля, в ряде случаев не обеспечивает его требуемую надежность в условиях эксплуатации и обуславливает 25...30% всех отказов двигателей [3, 4, 6, 10, 12, 16].

Вероятность наступления отказа элементов ТА определяется множеством факторов, которые можно разделить на две группы: конструктивные и эксплуатационные. К первым относятся все факторы, от которых зависит качество изготовления, сборки узлов ТА, их обкатки, а также конструктивные особенности узлов и агрегатов. К эксплуатационным факторам относят природно-климатические условия, характер и интенсивность работы дизеля, методы и квалификационный уровень ТО и ремонта и т.д.

Эксплуатационные отказы могут быть: закономерными, связанные с естественным

износом деталей и старением материала; вызванные нарушениями правил эксплуатации, в частности: ТО, правил хранения, транспортировки и очистки топлива, приводящие к быстрому износу или заклиниванию прецизионных пар и т.д.

Одним из основных элементов топливоподающей системы, определяющим ее надежность, является топливный насос высокого давления (ТНВД). По статистике одного из ремонтных предприятий (рис. 2.4) для отечественных ТНВД серий УТН, ТН, НД наиболее характерны отказы II группы сложности, устраняемые ремонтом или заменой легкодоступных узлов и агрегатов или их деталей (соответственно 52%, 56% и 48% от общего количества отказов).

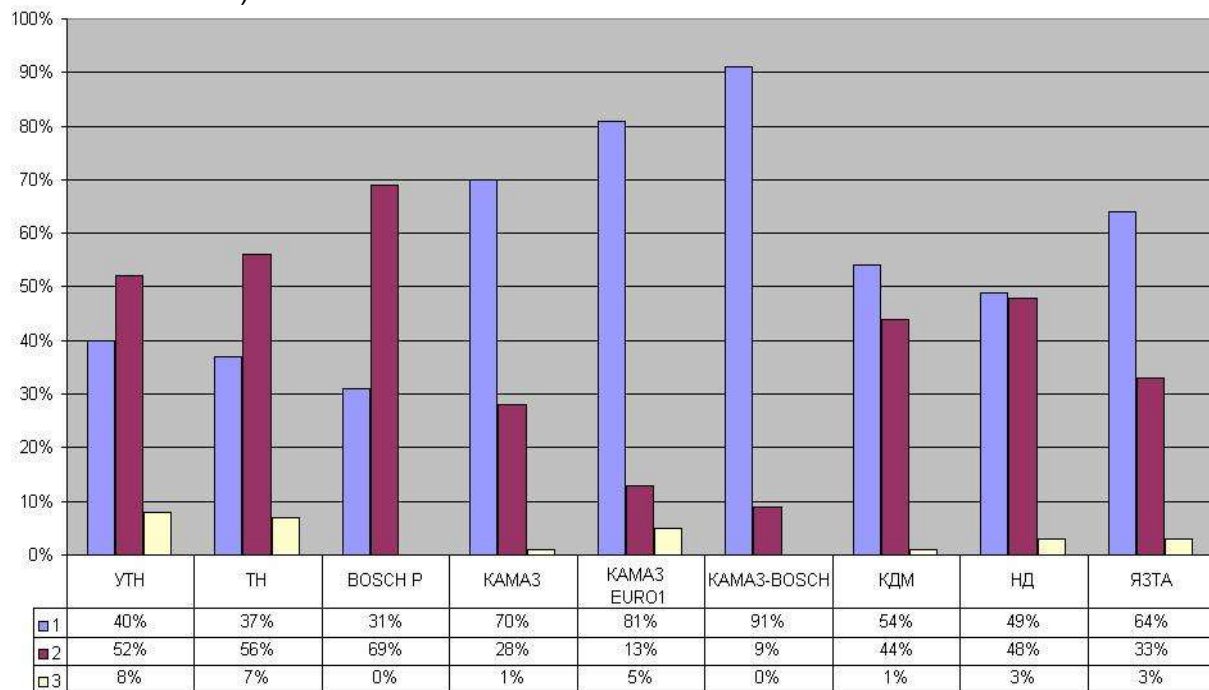


Рис. 2.4. Диаграмма отказов I, II, и III группы сложности для распространенных серий ТНВД автотракторных дизелей по данным ООО «Башдизель» за 2004-2006 гг.

В ТНВД семейства КаМАЗ, в отличие от остальных типов, отказы II группы сложности встречаются реже. Такие отказы в основном обусловлены потерей работоспособности прецизионных элементов. Для ТНВД семейства КаМАЗ характерны отказы I группы сложности (70%), устраняемые ремонтом или заменой деталей, расположенных снаружи узлов и агрегатов (форсунка, топливный насос низкого давления и т.п.). Отказы III группы сложности, устраняемые при полной разборке, больше встречаются в ТНВД типа УТН и ТН. Поломка кулачкового вала и подшипников (рис.2.5) в этих ТНВД происходит, вероятно, из-за недостаточной жесткости кулачкового вала. Поэлементный анализ удельного веса отказов от их общего количества представлен в виде диаграммы на рис.2.5, по которому можно судить о высокой доле отказов распылителей практически для всех типов систем, доля отказов плунжерных пар наиболее высока в насосах типа УТН, ТН, КДМ, НД.

Проведенные исследования по определению средней наработки в реальных условиях эксплуатации показывают значительное снижение ресурса насосов. Так, ЦНИТА проводил наблюдение за 13 насосами УТН-5А в течение 1986...89гг. При доверительной вероятности 0,9 средняя наработка насосов до их замены составила от 2,94 до 4,24 тыс. моточасов.

Как показали исследования Горбаневского В.Е., в подавляющем большинстве случаев ухудшение параметров впрыскивания топлива связано с проблемами трения и изнашивания пар трения топливной аппаратуры. Детали пар трения изготавливаются из сталей, имеют высокую твердость (около 60 HRC) и малую шероховатость (R_a до 0,04 мкм для прецизионных и до 0,32 мкм – для точных поверхностей). Диаметральные зазоры составляют 1...2 мкм в прецизионных и 10...40 мкм - в точных парах скольжения.

В работах по обеспечению долговечности стальных пар трения ТА за основу приняты наиболее глубокие обобщающие работы, такие, как, например отечественная структурно-энергетическая теория трения Костецкого Б.И.

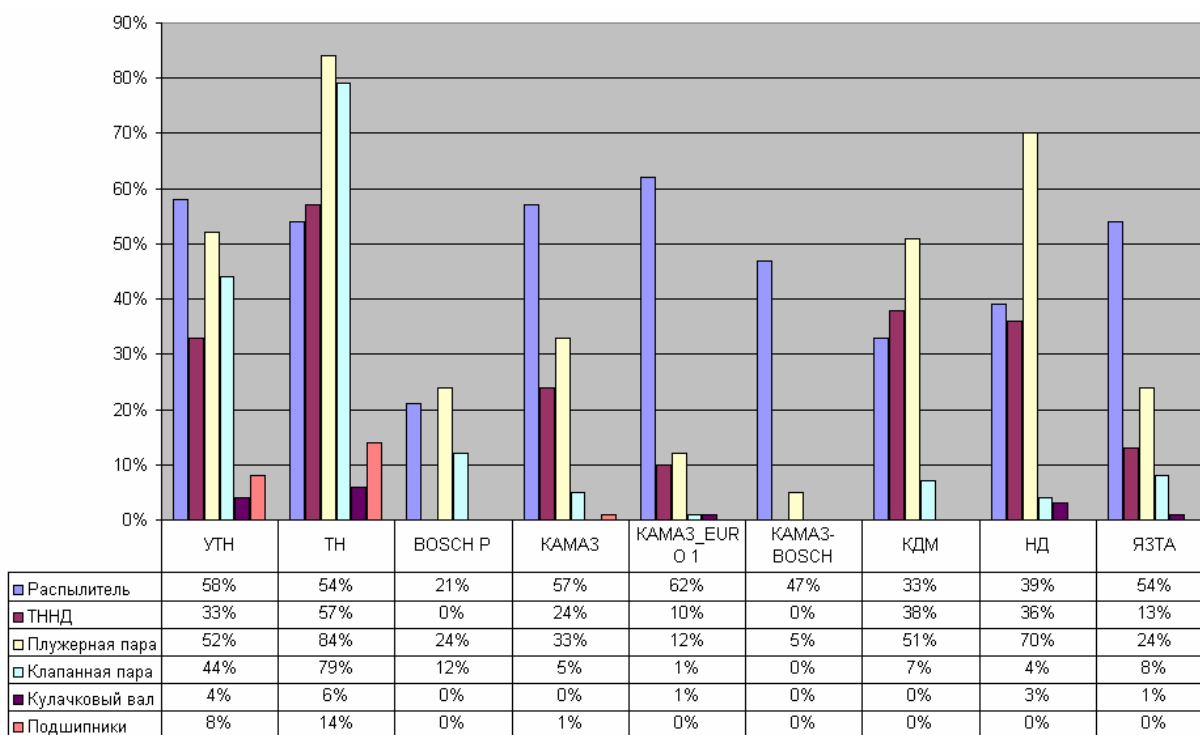


Рис. 2.5. Диаграмма отказов элементов для распространенных серий ТНВД и соответствующих им типов форсунок по данным ООО «Башдизель» за 2004-2006 гг.

Из большого объема исследования натуральных пар трения ТА наиболее интересны данные по плунжерным парам. Горбаневским В.Е. и Кисловым В.Г. выявлено, что чаще наибольший износ прецизионной поверхности плунжера (рис.2.6) наблюдается на его головке со стороны, противоположной рабочей отсечной спирали, т.е. в зоне, где воздействие максимальных прижимающих усилий (создаваемых давлением 50...80 МПа) ударного характера (период нарастания давления) накладывается на воздействие максимальной (2...4м/с) скорости движения плунжера на каждом рабочем цикле.

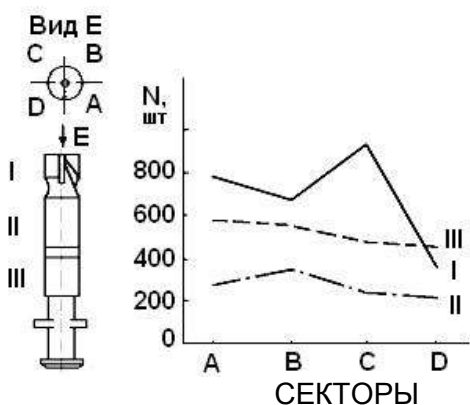


Рис. 2.6. Количество случаев сильного износа плунжеров насоса НК в различных зонах их прецизионных поверхностей.

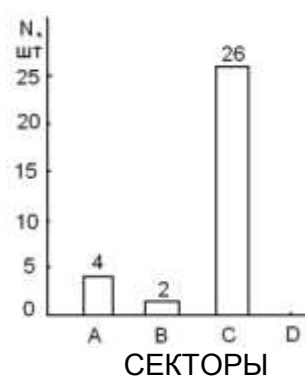


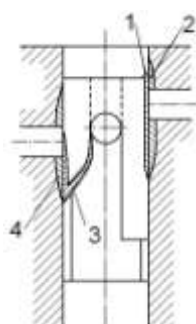
Рис. 2.7. Количество случаев заклинивания в средней зоне (II) прецизионной поверхности плунжеров в подвесной секции насоса типа MW.

Проведенные нами исследования заклинивания плунжерных пар 36 рядных насосов типа MW комбайновых дизелей (наработка насосов 746...2740 моточасов) показали, что, как правило, в рядных насосах происходит заклинивание одной, редко - двух плунжерных пар. При этом отмечался аналогичный характер заклинивания (рис. 2.7). Следует отметить, что остальные плунжерные пары насоса при этом имели хорошее состояние поверхностей, без видимых повреждений и пятен. Проведенный поэлементный анализ линии нагнетания отказавших секций выявил, что 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 канавка по отношению к отсечной), в результате происходит заклинивание плунжерной пары.

Антипов В.В., Бахтияров Н.И., Загородских Б.П. и др. отмечают, что рабочие поверхности плунжеров и втулок изнашиваются абразивными частицами, содержащимися в топливе.

Исследования, проведенные ЦНИТА, показали, что износ плунжерной пары имеет локальный характер, в районе впускного и выпускного окон (рис. 2.8). Общая величина изношенной поверхности трения не превышает 5%, а характер микронеровностей на ней указывает на износ от абразивных частиц, которые вместе с топливом поступают в надплунжерное пространство при всасывающем ходе плунжера. При нагнетательном ходе часть топлива вытекает обратно в наполнительное отверстие, причем по ходу плунжера поток топлива дросселируется, что сопровождается ростом давления в надплунжерном пространстве и резким нарастанием скоростей перетекания [20].



Место износа	Глубина, мкм	Ширина, мм	Длина, мм
1	23 – 25	4,5 – 5	9,5 – 10,0
2	25 – 27	4,5 – 5	6 – 7
3	18 – 20	2,5 – 2,7	4
4	15 – 17	-	-

Рис.2.8. Локальный износ плунжерных пар в эксплуатации (опыты ЦНИТА).

При наличии в топливе абразивных частиц вследствие эрозии и кавитации происходит «размывание» поверхности втулки, прилегающей к отсечному отверстию, и поверхности плунжера вблизи отсечной кромки (рис.2.9). Кроме того, часть топлива просачивается в зазор между втулкой и плунжером и заносит туда абразивные частицы. Зазор при сборке невелик и составляет 1,5 – 3,5 мкм, но он существенно увеличивается в процессе нагнетания за счет расширения втулки, когда давление топлива значительно возрастает.



Рис 2.9. Износ плунжера вследствие попадания абразивных частиц.

Расчеты ЦНИТА показали, что расширение втулки возможно на 6 – 7 мкм, так что суммарный зазор в паре может достигать 8 – 10 мкм. Следовательно, в зазор могут заноситься частицы до 10 мкм, которые после падения давления защемляются между трущимися парами и вызывают истирание. Как полагают многие, по этим причинам наиболее опасны для плунжерных пар частицы с размерами от 6 до 10 мкм, ибо они могут крошиться и попадать в зазор, где в течение ряда циклов царапают поверхности трения.

Опыты ЦНИТА показали [20], что изменение гидроплотности плунжерных пар при работе на топливе с различными размерами загрязнителя происходит следующим образом: практически не влияет на износ загрязнитель менее 2 мкм, вызывает очень интенсивный износ загрязнитель более 4 мкм.

Работы, выполненные в ГОСНИТИ, показывают наличие связи износа рабочих поверхностей прецизионных пар с деформированием втулки плунжера. Установлено, что крупные абразивные частицы, находящиеся в топливе, попадают в зазор между плунжером и втулкой вследствие деформации последней во время нагнетания топлива.

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 варьирует в пределах 0,6...1,6 мкм.

При имеющих место весьма малых зазорах в парах особое значение приобретает вопрос снижения вероятности зависания плунжера во втулке, что достигается, в частности, уменьшением монтажных деформаций втулки путем снижения усилия затяжки штуцера насоса, повышения жесткости втулки и совершенствования ее конструкции. Исследованиями в ГОСНИТИ установлено, что при затяжке нажимного штуцера топливного насоса типа ТН с моментом 120 Нм втулка в сечении ниже окон деформируется на величину до 3 мкм. Эти же данные были подтверждены исследованиями деформации деталей плунжерной пары при сборке насосов УТН-5, которые проводились в Саратовском ИМЭСХ [10, 11].

Как считают Горбаневский В.Е. и Ващенко А.Н. при хорошем качестве фильтрации топлива (картонные или бумажные топливные фильтры задерживают до 99,5% и более механических частиц размером от 2 мкм и больше) абразивный износ не может быть определяющим. Рабочей средой для прецизионных пар трения является дизельное топливо, для точных (внутри ТНВД) – смесь масла из масляной системы дизеля с топливом, просочившимся в картер насоса по зазорам прецизионных плунжерных пар трения.

Однако в реальных условиях эксплуатации на долговечность работы деталей, главным образом прецизионных (плунжерная пара, распылители и др.) или тяжело нагруженных (кулачковый вал, ролик толкателя и пр.) большое влияние оказывает чистота и состав (вид) используемого топлива.

В частности, большая доля неисправностей деталей распределительных насосов типа VE является следствием применения топлива ненадлежащего качества. На рис.2.10 показаны следы износа оси ролика (а) пальцев приводного вала (б) и профиля кулачковой шайбы (в) вследствие использования топлива ненадлежащего качества с плохими смазывающими свойствами.

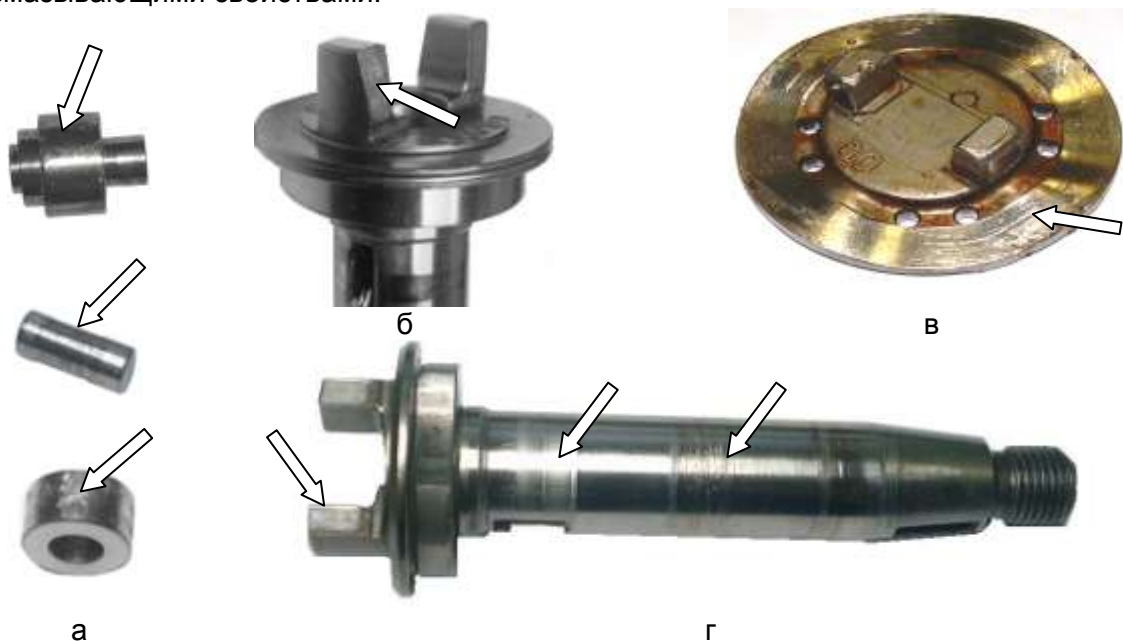


Рис.2.10. Износ деталей распределительных насосов типа VE: а – ролика и оси ролика; б и г - пальцев приводного вала и поверхности; в - профиля кулачковой шайбы.

Наличие воды в топливе приводит к коррозии деталей ТНВД, нарушению подвижности или заклиниванию плунжера, поломке элементов привода плунжера и пр. (рис 2.11).

Использование альтернативных видов топлива (рапсового масла, FAME – жирного кислотного метил-эфира и т.д) приводит к появлению отложений, смолообразованию на деталях и узлах ТНВД (рис.2.12), разрыхлению и разрушению неметаллических уплотнителей. У ТНВД с электронным управлением такие отложения могут вызвать изменение характеристик управления процессом топливоподачи и появлению многочисленных неисправностей дизеля в целом.

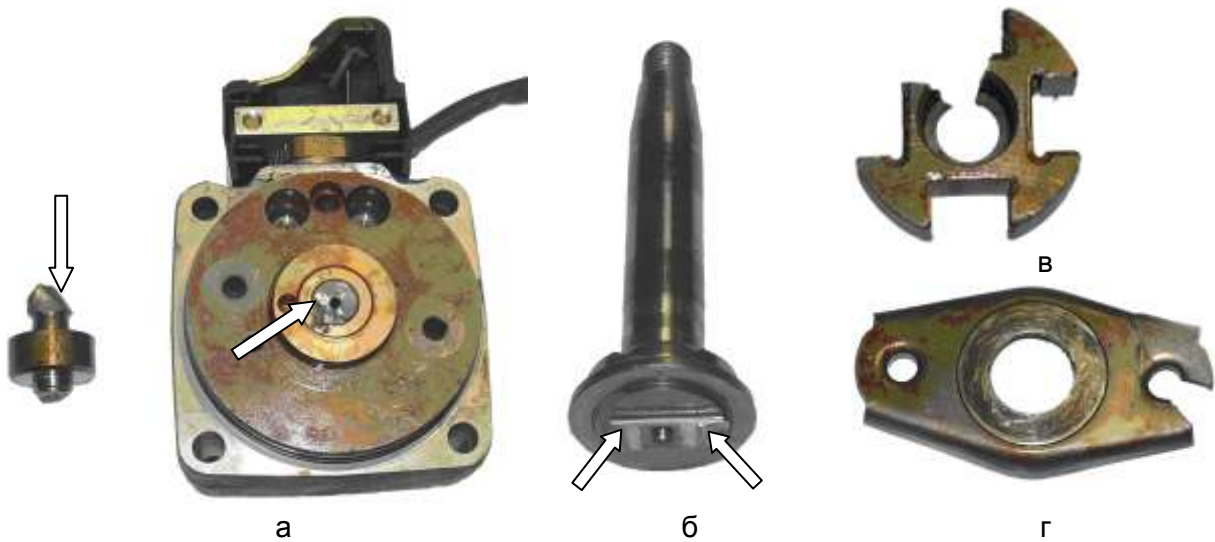


Рис.2.11. Поломка элементов привода ТНВД типа VE: а - плунжера; б - приводная крестообразная шайба; в - приводной вал; г - пружинный мост.



Рис.2.12. Отложения на деталях ТНВД вследствие использования топлива неадекватного качества: а - роликовая обойма, статор ТПН, грузики регулятора в обойме, кулачковая шайба, редукционный клапан ТПН; б, в - внутренние полости корпуса и крышки регулятора ТНВД.

Топливные насосы отказывают из-за износа деталей и, как следствие, изменения основных регулировочных параметров. Обработка данных, полученных ЦНИТА при эксплуатационных испытаниях насосов УТН-5, показала, что 29% всех отказов приходится на износ подшипников кулачкового вала, 12,5% на нарушение герметичности уплотнений, 29,2% - на увеличение неравномерности распределения топлива и снижение цикловой подачи (износ плунжерных пар и нагнетательных клапанов) и 8,5% - на снижение частоты вращения начала действия регулятора [3].

В распределительных насосах 28% основных дефектов приходится на износ и заедание плунжерных пар, 15% - на заедание и поломку зубьев промежуточной шестерни.

По данным ЦНИТА, суммарный износ сопряжений деталей в цепи привода плунжера (венец – рейка и поводок – втулка) за 1000 ч работы в условиях нормальной эксплуатации

составляет 0,124мм. Почти 30% этого износа приходится на сопряжение болт толкателя – плунжер, 24% - на беговые дорожки подшипников, 28% - на ролики, ось и отверстие оси толкателя и 9% - на кулачок вала.

Заклинивание плунжерных пар наиболее опасно для распределительных насосов. Так, в частности, в насосах типа VE это приводит к поломке плунжера или к повреждению привода насоса (рис.2.11). В насосах НД – к поломке зубьев промежуточной шестерни и др.

Кулачковая шайба распределительных насосов типа VE с торцевым приводом наиболее сильно подвержена износу. Преобладает питтинговый износ кулачков (рис.2.13, а), а также неравномерный (увеличивающийся от центра радиуса) износ переднего фронта кулачков, который достигает 0,5мм (рис.2.13, б).

У головок насосов при затяжке штуцеров без динамометрических ключей часто срываются резьбы под штуцеры. Из других узлов насосов высокого давления особого внимания требует привод плунжеров.

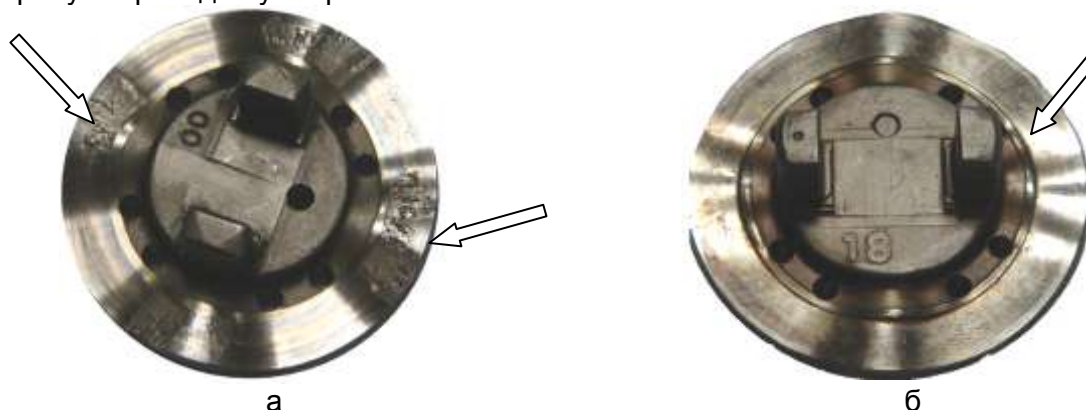


Рис.2.13. Износ кулачковой шайбы распределительного топливного насоса типа VE.

В настоящее время ресурс насосов во многих случаях ограничивается износом деталей именно этого узла. В насосах многих фирм толкатель смазывается маслом, подводимым под давлением от системы смазки двигателя, что значительно увеличивает ресурс насосов.



Рис.2.14. Износ втулок приводного вала и корпуса распределительного топливного насоса типа VE.

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 (рис. 2.14), появляется люфт между приводным валом, крестом и кулачковой шайбой, достигающий 0,35 мм. Допускаемый радиальный зазор между втулкой и валом составляет 0,25 мм. В насосах VP наблюдается износ (иногда срез) шплицев приводного вала и ротора ТННД, износ толкателей в месте контакта с плунжером, нередко осевой люфт превышает допустимую величину 0,1-0,4 мм.

Из-за недостаточной стабильности жесткости пружин механических регуляторов ТНВД в процессе эксплуатации может существенно уменьшаться частота вращения начала его действия. Из деталей регулятора в основном изнашиваются лапки и оси грузов, обойма подшипника, рычаг управления, регулировочные болты и др. По данным ЦНИТА, суммарный износ в размерной цепи механизма регулятора (приведенный к рейке насоса) у насоса УТН-5 за 1000 ч работы составляет 0,127мм.

В процессе выполнения регламентных работ у 32 насосов типа MW была произведена проверка работы всережимных регуляторов типа RSV (узел регулятора не подвергался разборке). Анализ контрольных параметров 18 ТНВД типа MW дизелей Cummins 6СТА комбайнов Case 2366 и 4 насосов VE с всережимными регуляторами дизелей 4Т390 самоходных косилок Case 8825HP показал стабильность установленных на заводе параметров регулятора (рис.2.15). В частности, у насосов MW значения положения рейки отличались от заданных заводом-изготовителем на номинальной частоте вращения кулачкового вала на 2 %, на режиме начала действия регулятора – на 3% (экспериментальные

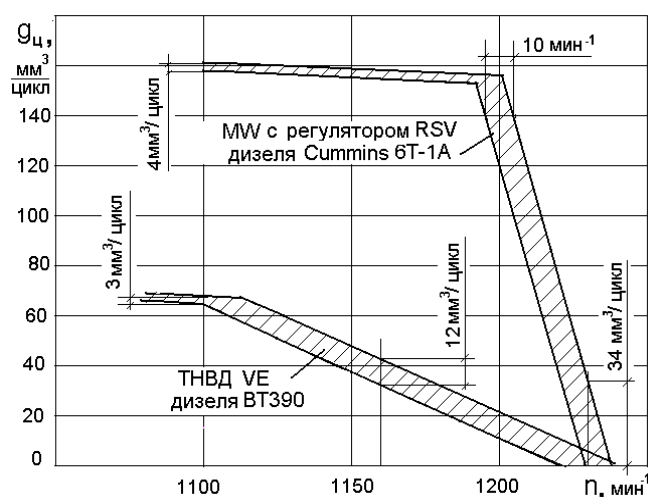


Рис.2.15. Стабильность работы регуляторов насосов типа VE и MW.

точки находились в поле допуска). В то же время объемная подача у 8 насосов не удовлетворяла регулировочным значениям из-за низкой гидроплотности плунжерных пар.

Особенностью условий работы регуляторов распределительных насосов (типов VE, VP) является то, что топливо подается в надплунжерное пространство через полость регулятора. При неудовлетворительной очистке топлива на внутренних стенках и деталях регулятора скапливаются отложения, которые в дальнейшем отслаиваются и попадают в линию нагнетания, нарушая работу плунжерной пары и форсунки. К тому же уменьшение проходного сечения жиклера в слив-

ном штуцере из-за его засорения отрицательно сказывается как на величине, так и на равномерности цикловых подач.

Системы питания автотракторных дизелей зарубежного производства в большинстве случаев комплектуются насосами MW, VE и DPA. Проведенный сравнительный анализ изменяющихся в процессе эксплуатации параметров топливоподачи систем с указанными насосами, в частности, межсекционной неравномерности (δ) показал, что наилучшие показатели по стабильности подачи имеет система с плунжерным распределительным насосом типа VE. Так, на режиме холостого хода величина δ составила 12%, а на номинальном – не более 1,5%. Более худшие показатели системы с роторным насосом DPA объясняются тем, что здесь количество подаваемого топлива регулируется дросселированием на впуске и зависит от давления подкачки топлива. В результате неравномерного износа лопастей подкачивающего насоса при работе возникают колебательные явления в линии низкого давления, что отражается на равномерности подачи. К тому же в отличие от систем с насосами VE и MW в силу конструктивных особенностей система с ТНВД типа DPA более требовательна к отклонениям давления начала впрыскивания форсунок различных цилиндров.

К недостаткам системы с ТНВД типа DPA следует отнести и высокую чувствительность к наличию очень малого количества воздуха в системе низкого давления, выражающуюся в полном прекращении подачи топлива (системы с ТНВД MW и VE при наличии малого количества пузырьков воздуха при работе автоматически прокачиваются и затем обеспечивают нормальную работу дизеля).

Наиболее частыми дефектами топливопроводов высокого давления являются поломки, вызываемые вибрациями. С целью снижения вибраций топливопроводы прикрепляют к общему зажиму, снабженному пластиковыми прокладками. На практике встречаются случаи комплектации при ремонте топливной системы дизеля различными по длине нагнетательными трубопроводами (при замене отказавшего топливопровода), что отрицательно отражается впоследствии на равномерности подачи.

Срок службы фильтров определяется количеством пропущенного через них топлива. По мере эксплуатации возрастает их гидравлическое сопротивление. Показателем надежности фильтров может служить скорость возрастания их гидравлического сопротивления. Часто встречающимся и опасным дефектом бумажных фильтрующих элементов является прорыв перегородки, вследствие чего к прецизионным парам проходит нефилтрованное топливо, что ведет к резкому возрастанию интенсивности их изнашивания.

У топливоподкачивающих насосов наиболее часто возникают неисправности, связанные с износом стержня толкателя и направляющего отверстия его гнезда, 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. Н.В.Марочкин определил, что предельно допустимые значения зазоров между поршнем и корпусом насоса составляют 0,15 мм, а между толкателем и втулкой - 0,015 мм.

Проведенный анализ технического состояния более сотни ТНВД типа VE, поступивших на ремонт и проведение регулировочно-настроечных работ в ООО «Башдизель», показал, что наиболее высокий удельный вес отказов указанных ТНВД связан с нарушением процессов в ЛНД (до 70%). Отклонения величины давления топлива в полости низкого давления ТНВД вызываются неисправностями роторно-лопастного ТННД и редукционного клапана, регулирующего его производительность.

С целью оценки степени влияния величины и пульсаций давления топлива в ЛНД на эксплуатационные показатели ТА дизеля 4D56 фирмы Mitsubishi были проведены безмоторные экспериментальные исследования. Эксперименты проводились по плану с имитацией различных технических состояний его элементов, влияющих на процессы в ЛНД (рис.2.16). Испытания проводились на всех скоростных режимах ТНВД, при этом давление открытия исправно работающего редукционного клапана ($P_{\text{лнд}}$) устанавливали равным 0,31, 0,53 и 0,65 МПа, соответственно при 500 мин⁻¹, на режимах коррекции и номинальном (допустимый разброс $P_{\text{лнд}}$ по данным тест-плана - $\pm 7,5$; 3,0 и 3,5% на тех же режимах).

Установлено, что на производительность ТПН влияют его техническое состояние и состояние редукционного клапана. На изменение действительного УОВТ кроме производительности ТПН оказывает влияние и техническое состояние АОВТ.

Выявлено, что максимальные пульсации давления в полости АОВТ наблюдаются на номинальном режиме работы насоса. Так, на номинальном режиме работы ТНВД дизеля 3М3-514 при нормальном техническом состоянии АОВТ ($\varnothing 0,5$ мм), ТПН и его редукционного клапана средняя амплитуда пульсаций в полости давления АОВТ составляет 1,14 МПа, соответственно максимальная амплитуда колебаний поршня - 0,23 мм (допуск – не более 0,30 мм). Увеличение диаметра жиклера поршня АОВТ с 0,5 до 0,55 мм приводит к увеличению средних максимальных амплитуд пульсаций в полости АОВТ с 1,14 до 1,24 МПа, при этом максимальная амплитуда колебаний поршня увеличивается с 0,24 до 0,39 мм т.е. превышает величину допуска и не удовлетворяет нормативам по динамическому УОВТ.

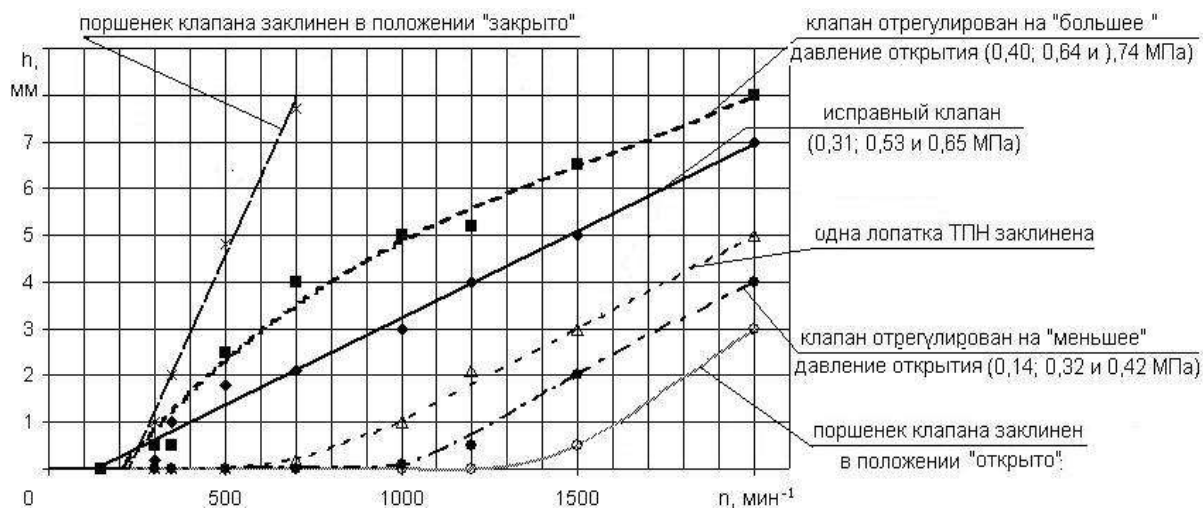


Рис.2.16. Зависимость хода поршня АОВТ от частоты вращения приводного вала ТНВД дизеля 4D56 при различных технических состояниях его редукционного клапана и ТПН (в скобках указаны давления открытия редукционного клапана при 500 мин⁻¹, на режимах коррекции и номинальном соответственно).

У топливных насосов низкого давления лопастного типа изнашиваются внутренняя поверхность обоймы ТННД, лепестки ТННД, сопрягающиеся с ротором поверхности торцевой крышки и корпуса насоса (рис. 2.17). Износы, как правило, связаны с применением некачественного топлива или люфтом приводного вала.

Установлено, что заклинивание одной из лопаток ТПН приводит к падению давления во внутренней полости ТНВД на 0,09...0,13 МПа, что влияет на функционирование автомата опережения впрыскивания топлива (АОВТ) и является причиной нарушения угла начала

подачи топлива в цилиндры дизеля. Заклинивание же двух и более лопаток ТПН (рисунок 2.17, а) приводит к фактическому отсутствию давления подкачки на всех режимах работы насоса (ТПН не способен самостоятельно закачать топливо).



Рис.2.17. Заклинивание лопаток ротора (а), износ внутренней рабочей поверхности статора (б), износ торцевой крышки коловратного ТПН (в) ТНВД типа VE; износ внутренней поверхности (г) и крышки ТНВД (д) в зоне контакта с элементами ТПН системы CR.

Одним из распространенных отказов распределительных ТНВД является заклинивание или задиры на поршне АОВТ (рис. 2.18, а) или закупоривание его жиклерного отверстия, происходящие вследствие попадания продуктов износа деталей ТНВД в нижнюю часть корпуса, где установлен поршень.

При неисправностях ТПН, вызывающих периодические колебания давления во внутренней полости ТНВД поршень периодически ударяется о крышку, герметично закрывающую полость давления, что приводит к выкрашиванию материала как поршня, так и крышки (рисунок 2.18, б). При этом поршень АОВТ также теряет свою подвижность.



Рис.2.18. Задиры на поверхности поршня АОВТ (а) и износ в местах соударения поршня и крышки АОВТ (б) распределительного топливного насоса дизеля ЗМЗ-514.

Доли от общего числа неисправностей деталей и узлов распределительных ТНВД типа VE, связанных с заклиниванием поршня АОВТ и закупориванием его жиклера, в насосах, поступивших в специализированное предприятие «Башдизель», составляют 21 и 4 % соответственно. Неравномерный износ лопаток ТПН приводит к возникновению колебательных явлений в линии низкого давления, в частности, у насосов типа DPA, существенно ухудшаются равномерность топливоподачи по секциям и стабильность динамического УОВТ.

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 циркуляции системы равен нулю) происходит сильный нагрев (до 85...92°C) топлива, корпуса и других деталей и узлов ТНВД, что приводит к их повышенному износу (рис.2.13 б, рис 2.14). 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.

За период эксплуатации в течение 1998...2003 гг семидесяти комбайнов Case-2366 у 16 топливоподкачивающих насосов коловратного типа с электроприводом наблюдались отказы (наработка составляла 240÷2700ч). При разборке насосов было установлено, что отказ вызывает разгерметизация сальника, разделяющего полости электропривода и нагнетания. Это приводит к отклеиванию постоянных магнитов с внутренней стенки корпуса насоса и заклиниванию привода. При этом было отмечено отсутствие износа лопаток и внутренней полости корпуса насоса.

Клапанные пары топливного насоса в большинстве случаев (80÷90%) выбраковывают из-за износа разгрузочного пояса, на поверхности которого образуются глубокие бороздки. Поясок обычно больше изнашивается со стороны нижнего торца.

Изнашивание цилиндрических поверхностей нагнетательного клапана и его корпуса большинство исследователей объясняют действием абразивных частиц в топливе. Однако, исследованиями ГОСНИТИ установлено появление деформации корпуса клапана при затяжке нажимного штуцера и циклическая его деформация в процессе топливоподдачи. В результате суммарных деформаций наблюдаются случаи изменения структуры материала, что ведет к ускорению изнашивания деталей.

Установлено, что чрезмерное уменьшение зазора в зоне отсасывающего пояса клапана ненамного повышает его долговечность. Объясняется это тем, что при уменьшении зазоров увеличивается скорость изнашивания поверхностей. Указанный зазор, как и в плунжерных парах, выбирают с учетом тонкости фильтрации топлива. В клапанах современных насосов он находится в пределах 2÷20 мкм (у насосов УТН в пределах 2÷8 мкм). В зависимости от величины зазора клапаны делят на две группы: с зазорами 0,002÷0,005 мм (первая группа) и 0,005÷0,008 мм (вторая группа). По мере эксплуатации зазор между отсасывающим пояском и направляющей клапана увеличивается, в результате чего понижается остаточное давление в топливопроводе и цикловая подача системы (в отдельных случаях на 17% и более). Отказы в работе нагнетательных клапанов могут вызываться и поломками пружины клапана.

Процесса топливоподдачи в дизеле во многом зависит от работы форсунок. Неисправная форсунка резко лимитирует работоспособность дизельной топливной аппаратуры. Проведенные ГОСНИТИ исследования показали, что 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% [12, 22].

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. Перечисленные дефекты вызываются износом сопловых отверстий, пластической деформацией запирающего конуса, износом торцевой поверхности корпуса форсунки и проставки (рис.2.19), уменьшением жесткости пружины и износами цилиндрических поверхностей и штифта.



Рис. 2.19. Отказы и износ элементов форсунки: а - направляющей распылителя; б – закоксовывание отверстий распылителя; в – износ запирающего конуса; г - торцевой поверхности проставки форсунки в зоне упора хвостовика иглы распылителя; д – отложения нагара на поверхности корпуса распылителя.

Кроме того, наблюдаются случаи коррозионного разрушения рабочей поверхности иг-

лы. Наиболее слабыми узлами форсунок являются распылители, работающие в весьма тяжелых условиях, с большими ударными нагрузками (на уплотнительный конус действуют ударные нагрузки, иногда в 5 раз превышающие статические), интенсивным абразивным износом, при высокой температуре, в агрессивной среде.

Причины неисправностей форсунок выяснялись многими исследователями. В работе И.А.Мичкина отмечается, что 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.

По данным В.В.Антипова, природа изнашивания рабочих поверхностей корпуса распылителя и иглы такая же, как и у плунжера. Кроме того, коррозионное разрушение поверхности иглы объясняется воздействием горячих газов, прорывающихся из камеры сгорания.

Проведенные ГОСНИТИ исследования показывают, что средний ресурс распылителей форсунок в настоящее время не превышает 2000...2500 моточасов, что не отвечает требованиям. Повышение надежности при совершенствовании конструкции форсунок достигается уменьшением габаритов и массы подвижных деталей, прежде всего за счет уменьшения диаметра иглы, так как эти мероприятия приводят к понижению силы пружины и силы удара иглы о седло и уменьшению возможности обратного прорыва газов. Уменьшение в 3 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. Основные параметры и характеристики малогабаритных распылителей производства Алтайского завода прецизионных изделий приведены в приложении.

Вероятность зависания игл распылителей уменьшается по мере увеличения зазора в направляющей части иглы. Однако чрезмерное его увеличение недопустимо ввиду возрастания утечек топлива в полость корпуса форсунки. В распылителях тракторных и комбайновых дизелей обеспечивается зазор $2\div 6$ мкм [20,23].

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 головку двигателя.

Исследованиями ГОСНИТИ установлено, что в реальных условиях всегда имеется определенная неперпендикулярность опорных поверхностей гайки и форсунки к осям их резьбы. Для обеспечения 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 самоустановлению корпуса распылителя относительно корпуса форсунки. Поэтому надежное уплотнение указанного стыка достигается при сравнительно малых моментах затяга гайки [4, 9, 20].

Следует отметить, что в соответствии с ГОСТ 10579-88, ГОСТ 10578-96 значения моментов затяжки гаек распылителей, а также крепления плунжерных пар на насосы устанавливаются в технических условиях. Особенно большое внимание моментам затяжки гайки распылителя уделяется в современных аккумуляторных топливоподающих системах. В частности, при сборке электрогидроуправляемой форсунки двигателя OM612.981 автомобиля Mercedes-Benz Sprinter 413, необходимо произвести предварительную затяжку накидной гайки с моментом 58...62 Нм, затем ослабить затяжку поворотом ключа на 120 град., после чего затянуть с усилием 5 Нм и окончательно затянуть накидную гайку поворотом ключа на 50...56 град. При этом момент затяжки должен лежать в пределах 28...36 НМ. Таким образом при сборке форсунки стараются исключить деформацию распылителя.

Отказы и неисправности топливоподающих систем с электронным управлением практически идентичны механическим системам. Отметим ниже отказы, связанные неисправностями электрической части этих ТПС.

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 ЭБУ.

Неисправности различных датчиков или обрыве 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.

В насосах высокого давления ТПС типа Common Rail неисправности связаны, прежде всего, с износом плунжеров, поверхностей эксцентриковой обоймы приводного вала и ратных клапанов высокого давления (рис.2.20).



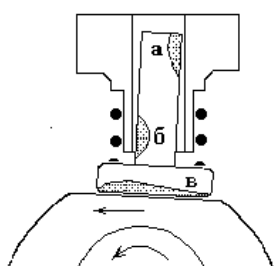
Рис.2.20. Отказы и износ деталей ТНВД системы типа Common Rail: а - кулачковый вал, эксцентрик; б - рабочая поверхность кулачка; в - блок плунжеров; г - хвостовик кулачкового вала (привод ТПН); д - шестеренчатый ТПН; е - плунжер со втулкой.

Характерными неисправностями ТНВД CR являются:

- Снижение производительности насоса. Первопричинами этого могут быть перечисленные ниже дефекты. 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).

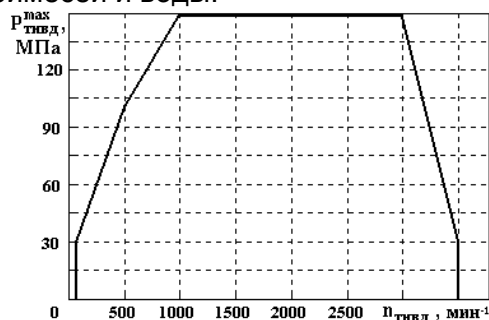
- Дефекты клапанов. Малейшая негерметичность любого из автоматических клапанов (впускных или нагнетательных любой секции) приводит к невозможности достижения высоких давлений. Из-за негерметичности клапанов может долгое время не работать совершенно новый ТНВД. В дальнейшем (возможно, через несколько часов) работоспособность может восстановиться. Нарушение герметичности может происходить из-за износа клапанов и седел (визуально под лупой обнаруживается как негладкость запорных поверхностей). Засорение седла – случайный эффект после неаккуратной сборки-разборки ЛНД, появления ржавчины. Потеря подвижности клапанов (по причине коррозии, механической деформации ограничительной “корзинки” шарикового клапана) приводит к недостаточному наполнению плунжерной полости (впускной клапан) или очень низкому давлению в аккумуляторе (нагнетательный клапан). Излишне большой ход клапана приводит к его износу и также потере производительности. Обычный ход клапанов – 0,1...0,4 мм. Следует отметить обманчивую простоту шариковых клапанов и их требовательность к соблюдению технологии (многочисленных “ноу-хау”). Их замена при утрате практически исключается. Неисправности клапанов, связанные с перетечкой топлива с большим напором, сопровождаются локальным нагревом деталей.

- Износ плунжерных пар происходит по тем же причинам, что и в традиционных конструкциях. Отличия заключаются в меньших технологических зазорах в плунжерной паре и невозможности нормальной работы с увеличенными зазорами (по крайней мере, без сильного перегрева насосной секции). Другая особенность – плунжера в зонах “а” и “б” (рис. 2.21) - наблюдался только в первых образцах ТНВД, не имеющих цилиндрических толкателей с плавающим креплением плунжеров. Решающее обстоятельство в снижении износа – качественная очистка топлива от примесей и воды.

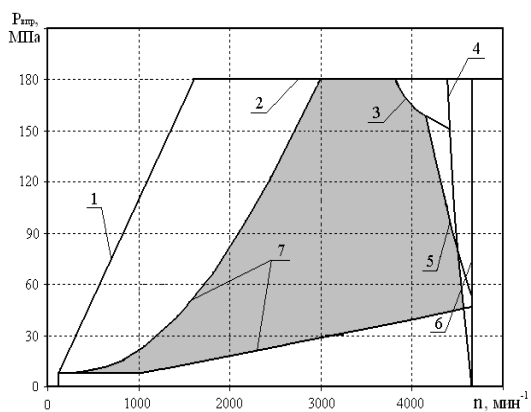


←Рис. 2.21. Износ плунжера в отсутствие толкателя

→Рис. 2.22. Допустимые давления подачи ТНВД CR Siemens.



←Рис. 2.23. Поле рабочих режимов ТНВД CR и его границы: 1 - работоспособность подшипника скольжения; 2 - раскрытие стыков; 3 - тепловыделение в подшипнике; 4 - работоспособность клапанов; 5 - наполнение; 6 - разрыв кинематических связей; 7 - оптимальные для рабочего процесса $P_{\text{впр}}$.



режимов подачи под большими давлениями с большим дросселированием на всасывании (появление большого сопротивления на всасывании или низкого давления подкачки). В этом случае прихватывание плунжера обусловлено его разогревом при сжатии большого объема газов.

- Износ, задиры в подшипниках обусловлены попаданием абразива в топливо (или масло), непрофессиональной переборкой, нестандартными условиями работы или испытаний ТНВД с подачей топлива под большим давлением при недостаточной частоте вращения вала. В этом случае не хватает несущей способности подшипника скольжения, этот ре-

жим изготовителем не допускается (рис. 2.22). В более широком аспекте поле рабочих режимов, обусловленных, в основном, соображениями работоспособности элементов и функциональности ТНВД, представлено на рис. 2.23.

- Замыкание витков (перегрев), короткое замыкание или обрыв обмотки электромагнитов управления клапанами. При проверке клапанов следует учитывать, что пропорциональные магниты рассчитаны на регулирование ШИМ, а не 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. Срабатывание регулятора при изменении напряжения наблюдается визуально. Напротив, срабатывание клапана давления можно ощутить только косвенно в составе работающего ТНВД: при неисправном электромагнитном приводе пружина клапана в состоянии поддерживать давление в аккумуляторе не выше 30 МПа.

Отказы ЭГФ ТПС типа Common Rail наблюдаются по причине:

- нарушения герметичности шарикового клапана из-за кавитационного износа, как самого шарика, так и седла (глубина каверн более 0,01 мм, см. рис.2.24);
- заклинивания прецизионных элементов (игла распылителя, управляющий плунжер);
- обрыва или межвиткового замыкания в обмотке электромагнита;
- нарушения герметичности по торцевой поверхности распылителя и корпуса и др.

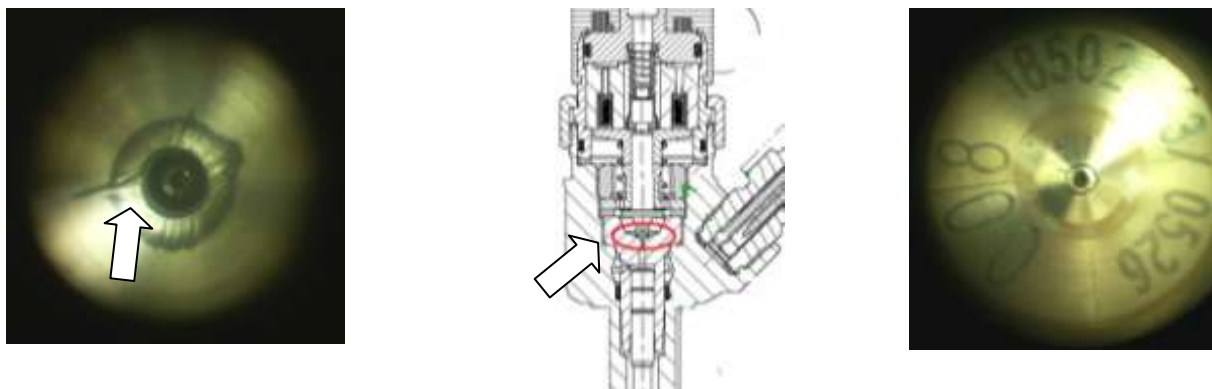


Рис.2.24. Износ седла управляющего клапана ЭГФ системы Common Rail.

Заключение

Эксплуатационная надежность топливной аппаратуры обеспечивается прежде всего строгим выполнением установленных правил эксплуатации, технического обслуживания, соблюдением технологий ремонта автотракторной и комбайновой техники.

Нарушение работоспособности топливной аппаратуры в подавляющем большинстве случаев объясняется:

- использованием некондиционного топлива;
- низкой квалификацией персонала, производящего ремонты, эксплуатацию и техническое обслуживание машин;
- применением неоригинальных запасных частей низкого качества;
- ухудшением технологической дисциплины производителей топливной аппаратуры и др.

Контрольные вопросы

1. Определите основные показатели надежности топливной аппаратуры.
2. Назовите основные структурные и диагностические параметры состояния объекта применительно к топливной аппаратуре.
3. Каковы перспективные нормативы по ресурсу топливных насосов высокого давления и форсунок?
4. Как подразделяются на группы сложности по трудоемкости устранения отказов топливной аппаратуры?
5. Назовите основные неисправности и причины отказов ТНВД.
6. Назовите основные неисправности и причины отказов форсунок.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

3.1. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

Технический сервис – это комплекс услуг по эффективному использованию машин и оборудования в определенной сфере производства и поддержанию их в работоспособном состоянии. Как правило, технический сервис включает в себя изучение конъюнктуры рынка представляемых услуг и используемых машин, предпродажную подготовку и продажу, гарантийное и послегарантийное обслуживание, обеспечение запасными частями и другими материалами, представление услуг технического обслуживания и ремонта, обучение и консультирование по вопросам правильной эксплуатации. В связи с этим, развитие технического сервиса топливной аппаратуры является производной от наличного модельного состава, насыщенности, степени использования и территориального размещения парка дизельных машин и др.

Эффективность технического сервиса в значительной мере определяется качеством проведения технического обслуживания и ремонта, реализацией запасных частей и услуг. Как правило, владелец дорогой и высокопроизводительной техники готов оплатить дорогостоящие услуги, требуя при этом быстрый и качественный ремонт и техобслуживание.

В период с 1990 по 2000 гг. кризисные явления в экономике страны привели к разрушительным воздействиям на всю систему ТО и ремонта в сфере АПК. Произошло значительное сокращение парка машин отечественного производства. Вместе с тем, анализ поступлений на ремонт топливной аппаратуры в 2004...2006 гг. в специализированное предприятие по техническому сервису дизельной ТА «Башдизель» показывает, что основной объем работ по техническому сервису остается ориентированным на отечественную технику. На рис.3.1 показана диаграмма процентного соотношения отремонтированных топливных насосов высокого давления по типовым сериям ТНВД, составленная из данных анализа порядка 3050 комплектов ТА.

Вопросами технического обслуживания и ремонта отечественной топливной аппаратуры занимались ГОСНИТИ, ЦНИТА и ряд институтов, посвящены труды ученых

В.В.Антипова, К.А.Ачкасова, Р.М.Баширова, Б.П.Загородских, Л.М.Кривенко, И.М.Федосова, Н.И.Бахтиярова, В.Г. Кислова, А.В.Белявцева и др.

Вопросы технического сервиса традиционной ТА достаточно хорошо отработаны, поэтому перспективы развития ТС во многом определяются все возрастающей долей оригинальной, в большинстве своем импортной, ТА. Так, во многих регионах в значительных количествах были приобретены зарубежные тракторы и комбайны, увеличился импорт и дизельной автотранспортной техники в Россию. Кроме этого, некоторые производители

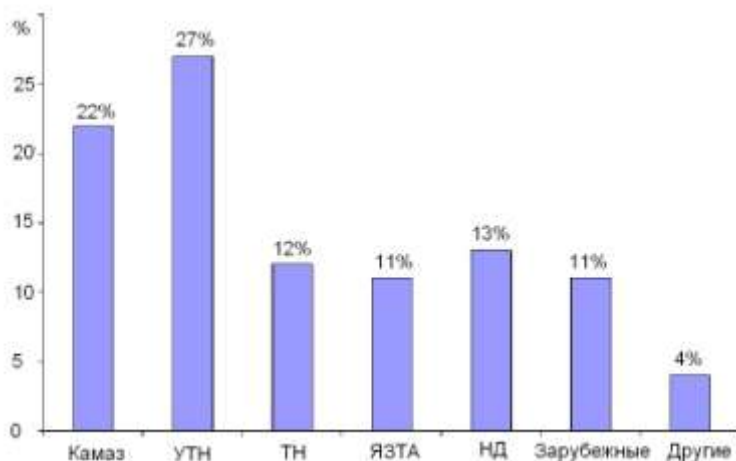


Рис.3.1. Диаграмма процентного соотношения поступивших на ремонт ТНВД различных серий в специализированное предприятие по техническому сервису в 2004...2006 гг.

отечественных двигателей начали комплектовать свои дизели зарубежными топливоподающими системами: дизели КамАЗ-740.30-260 с рядным ТНВД типа Р фирмы BOSCH, ЗМЗ-514.10 с распределительным ТНВД типа VE фирмы BOSCH. Перспективный дизель производства Ярославского моторного завода ЯМЗ 536 в штатном варианте комплектуется с системой Common Rail и др. Для выполнения современных требований по экономическим и экологическим показателям расширяется применение в дизелях электронного управления топливоподачей. По оценке фирмы R.Bosch в производстве топливной аппаратуры удельный вес новых топливных систем возрастет с 35% в 2004 г до 60% в 2014 г. (рис.3.2).

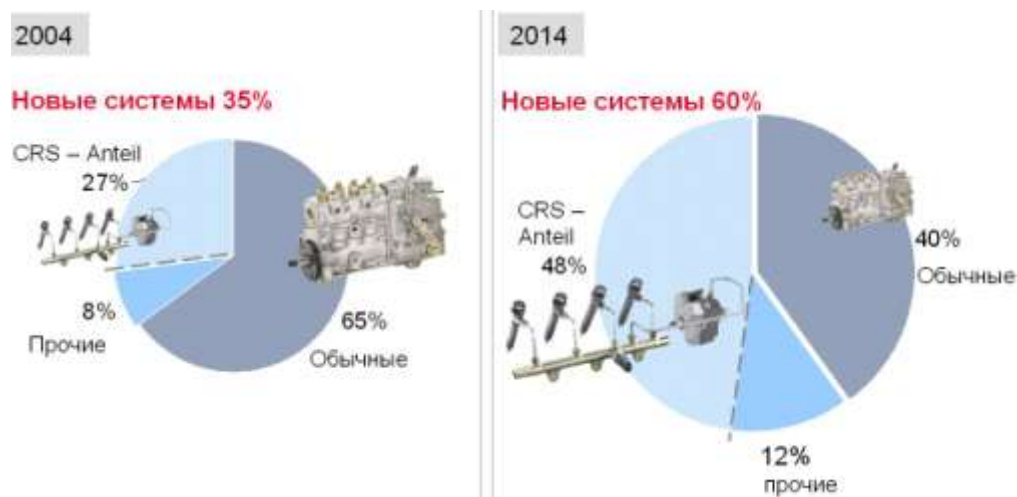


Рис.3.2. Прогноз применения различных видов топливной аппаратуры в технике по оценке фирмы R.Bosch.

Опыт эксплуатации тракторов и комбайнов техники в машинно-технологических станциях в Республике Башкортостан в 1998...2007 гг. (в 2007 г в МТС «Башкирская» парк импортных комбайнов CNH и John Deere составлял порядка 1 тыс.) показал, что традиционная система ТО и ремонта ТА оказалась практически не готовой к проведению качественного технического сервиса зарубежной ТА. К тому же многомарочность применяемой в импортных машинах ТА существенно усложняла организацию и повышала себестоимость ТО и ремонта [7].

Переход предприятий на рыночные условия хозяйствования и особенности эксплуатации дорогостоящей импортной и отечественной техники потребовали реформирование организации работы обслуживающих предприятий с разграничением полномочий по организации технического сервиса для:

- крупных предприятий и организаций с числом эксплуатируемой техники от нескольких десятков и выше (МТС, автопредприятия и др.);
- клиента, во владении которого находятся от одного до нескольких единиц техники (фермерские хозяйства, автовладельцы).

Например, машинно-тракторный парк МТС характеризуется наличием сложной, высокопроизводительной разномарочной техники, посредством которой обслуживаются большие территориальные зоны. Высокая вероятность нахождения техники в удалении от пунктов ТО и ремонтных цехов в период напряженных сельскохозяйственных работ, неравномерная годовая загрузка машин, временный характер работы механизаторов и т.п. обуславливают особенности технического сервиса в МТС.

Как правило, в МТС организуется сервисное обслуживание техники, в том числе и топливной аппаратуры, с разграничением функций различных структур на каждой ступени инженерно-технической службы вплоть до механизатора:

- **механизатор** выполняет простейшие операции по ежедневному уходу, замене или очистке фильтров, заправке топливом, замена и мелкий ремонт быстроизнашивающихся деталей и т.п;
- **техник-механик или мастер-наладчик** производит снятие и установку сложных агрегатов, электронную настройку, эксплуатационные регулировки и т.п.;
- **сервисный инженер или соответствующая служба дилера** устраняет сложные отказы, проводит диагностирование и регулировку установленных агрегатов или оборудования и т.п.

Устранение отказов техники, находящейся на гарантийном обслуживании, входит в обязанность исключительно дилера или самой фирмы-производителя.

Технический сервис современной топливной аппаратуры наиболее эффективно организуется и производится через *дилерскую систему сервиса и дилерскую систему фирменного сервиса*.

Дилерская система сервиса предусматривает проведение ТО и устранение отказов дилером. Предприятие может выступать одновременно дилером нескольких фирм-

производителей, названия которых могут не отражаться в его наименовании. Эти предприятия, как правило, обслуживают полностью машину, и, как следствие, обеспечивают сервисное обслуживание установленных на ней узлов и агрегатов различных фирм (топливной и гидравлической аппаратуры – фирмы BOSCH, элементов трансмиссии – ZF, и др).

Дилерская система фирменного сервиса предусматривает проведение работ по техническому сервису под жестким контролем качества выполняемых работ фирмой-производителем. Предприятия, работающие по этой схеме, не принадлежат фирме-производителю, но пользуются его логотипом и названием, имеют право гарантийного обслуживания и ремонта. В качестве примера организации такого сервиса топливной аппаратуры в России следует назвать сервисные центры фирмы BOSCH.

Основные **функции дилеров** в отношении топливной аппаратуры:

- изучение конъюнктуры рынка, поиск потенциальных клиентов, продажа и реклама продукции и услуг;
- техническое обслуживание и ремонт в гарантийный и послегарантийный периоды;
- обучение владельцев машин и ремонтно-обслуживающего персонала правильной эксплуатации техники;
- обеспечение запасными частями и расходными материалами;
- учет отказов и представление информации фирме-производителю о качестве машин, эксплуатационной надежности и др.

Восстановлением деталей и ремонтом узлов и агрегатов топливной аппаратуры дилер не занимается, но имеет договора с ремонтными предприятиями на ремонт деталей и узлов, которые потом возвращаются на склады дилера. В последние годы наблюдается тенденция снижения объемов ремонтных работ в общем объеме, и акценты смещаются на проведение технического обслуживания. Преобладает агрегатный метод ремонта. Весь процесс производимого дилером ремонта, как правило, сводится к разборочно-сборочным работам, связанным с заменой ТНВД, форсунок, блоков управлений и др.

Дилер несет ответственность перед фирмой за гарантированное техническое обслуживание и ремонт поставляемой техники. В то же время ответственность за качество машины перед покупателем несет и сама фирма. Она возмещает расходы дилеру за счет скидок при оптовой продаже запасных частей и узлов, оплачивает работы производимой по инициативе завода-изготовителя модернизации топливной системы дизеля, а в гарантийный период – стоимость отказавших деталей и узлов.

Любой заказчик может заключить договор с дилером на техническое обслуживание машин. Экономические взаимоотношения дилера и клиента осуществляются в основном через стоимость реализованных запчастей и услуг. В контракте на обслуживание, как правило, оговариваются:

- сроки гарантийного обслуживания (как правило, от шести месяцев на бывшую в эксплуатации до трех лет на новую);
- сроки поставки запасных частей и прибытия специалистов фирмы в случае возникновения неисправности машины после получения факсимильного сообщения (от 4 до 24 часов, но не более 72 часов);
- поставка быстроизнашивающихся деталей и запасных частей (как правило, в течение десяти лет с момента поставки машин);
- проведение обучения инженерно-технической службы и механизаторов;
- представление нормативно-технической документации, инструкции по эксплуатации машин и др.

В случае возникновения отказа, который заказчик не в состоянии самостоятельно устранить, приглашается дилер. Дилер предварительно определяет стоимость ТО и ремонта и согласовывает ее с потребителем. Она впоследствии может корректироваться с учетом времени, фактически затраченного на ремонт. Качество оказанных дилером услуг и произведенных им работ по техническому сервису, в том числе и топливной аппаратуры, находится в поле зрения фирмы-производителя. Существенное внимание придается оформлению акта выполненных работ, в котором отражены данные по машине, объем работ по обслуживанию и ремонту, расход запасных частей и материалов, оценка качества выполненных работ клиентом и др. (рис.3.3).

Как правило, один бланк акта состоит из трех - четырех листов самокопирующейся бумаги разного цвета. Например, в региональном представительстве компании Matrix Agritech в Рос-

сии (дилер фирмы John Deere) после заполнения акта первый экземпляр (на бумаге белого цвета) выдается клиенту, второй (желтого) остается у регионального дилера, третий (зеленого) направляется фирме John Deere, четвертый (голубого) – в центральный офис компании Matrix Agritech. Аналогичным образом практически все фирмы-производители постоянно проводят оценку качества выполненных дилерами работ.

НАИМЕНОВАНИЕ СЕРВИСНОЙ ФИРМЫ _____

АКТ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

Оплачиваемые (charged) _____
 Предпродажные (pre-delivery) _____
 Гарантия (warranty) _____
 Внутренние (interdepartmental) _____

Дата прибытия « ____ » _____ 20__ г

Проект _____
 Год _____
 Фирма _____
 Ответственный _____

Машина _____
 Модель _____
 Нарботано мото-часов _____
 Год выпуска _____

№ проекта _____
 № контракта _____
 серийный № _____
 двигатель _____
 № двигателя _____

1. РАБОТЫ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ И РЕМОНТУ

Дата	Описание выполненной работы	Затраченное время	Исполнитель

2. ЗАПАСНЫЕ ЧАСТИ И МАТЕРИАЛЫ

п/п	Артикул	Наименование	Ед.изм.	Кол-во	Цена	Стоимость
1						
2						
3						
4						
Оценка работы механика			хорошо			
			неудовлетворительно			

Примечание (рекомендации клиенту):

Ответственный за выполнение работ _____

Представитель компании клиента _____

Рис.3.3. Акт выполненных работ.

Эффективное функционирование системы технического сервиса требует высокой квалификации инженерно-технических работников сервисного предприятия. Вместе с тем в современных условиях даже превосходная техническая подготовка инженера без соответствующей маркетинговой основы не может обеспечить дальнейшего развития предприятия. В этой связи в большинстве дилерских предприятий значительное внимание уделяется менеджерской подготовке инженерно-технического персонала и существует соответствующая система **оценки работы сотрудника**. С этой целью ежегодно проводится собеседование технического работника (инженера, мастера-наладчика) с менеджером, которое, например, может проводиться путем заполнения анкет (Рис.3.4). По результатам оценки принимается решение о соответствии занимаемой должности, выделении средств на развитие и дальнейшем карьерном росте сотрудника. Через год эти показатели снова анализируются с учетом их динамики.

ФИО сотрудника _____ Дата собеседования _____ Должность _____ Менеджер, проводивший собеседование _____		A – очень плохое исполнение B – плохое исполнение C – исполнение в соответствии с ожиданием D – хорошее исполнение E – отличное исполнение	
Общие критерии		Комментарии	Оценка (A, B, C, D, E)
1. Навыки устного общения			
2. Навыки письменного общения			
3. Способность самостоятельно решать задачи			
4. Инициативность			
5. Орг. работы и координация действия других			
6. Навыки управления			
7. Навыки работы с клиентом			
8. Гибкость			
9. Дисциплина			
10. Честность			
11. Убеждение клиентов			
12. Авторитетность			
13. Стрессоустойчивость			
14. Работа с коллегами			
15. Отношения и общение с руководством			
16. Эффективность			
Слабые стороны			
Сильные стороны			
Клиентская база и развитие рынка			
Исполнение проектов			
Поддержка коллег			
Осуществленный оборот (собственный)			
Осуществленный оборот (с помощью других)			
Какие условия в рабочей обстановке должны быть улучшены (исправлены) для достижения больших успехов			
Каким образом сотрудник видит свое дальнейшее развитие			
Какое дополнительное обучение (семинары, курсы) необходимо.			
Договоренности, достигнутые по итогам собеседования			
Общая оценка, выводы			

Подпись менеджера _____

Подпись сотрудника _____

Рис. 3.4. Анкета деятельности и развития работника сервисного предприятия.

3.2 СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СЕРВИСУ

Применение электронных, пневматических, гидравлических схем в отдельных узлах, агрегатах, системах и управлении всей машиной в целом предопределяет необходимость внедрения агрегатно-узлового метода ремонта в условиях специализированного предприятия, оснащенного оборудованием и квалифицированными кадрами. Как правило, эти предприятия специализируются на техническом обслуживании и ремонте сложных узлов и агрегатов авто-тракторной, комбайновой и строительно-дорожной техники: топливной аппаратуры, гидрооборудования, электроники, электрооборудования и т.п. Для специализированного предприятия по техническому сервису топливной аппаратуры можно выделить следующие **основные функции**:

- техническое обслуживание и гарантийное обслуживание топливной аппаратуры;
- ремонт топливной аппаратуры отечественного и зарубежного производства с предоставлением гарантии;
- разработка и внедрение устройств и систем проверки, контроля и регулировки параметров топливоподающих систем;
- обеспечение запасными частями и расходными материалами;
- повышение квалификации инженерно-технической службы различного уровня, переподготовка и подготовка мастеров-наладчиков и слесарей-регулирующих топливной аппаратуры и др.

Эффективная деятельность предприятия основывается на деловых контактах с зарубежными фирмами, их представительствами и дилерами, с отечественными заводами по произ-

водству ТА, с ведущими учреждениями в области исследования и конструирования топливо-подающих систем и др. Организационная схема взаимодействия специализированного предприятия по техническому сервису ТА с внешними структурами может быть представлена в следующем виде, представленном на рис.3.5.

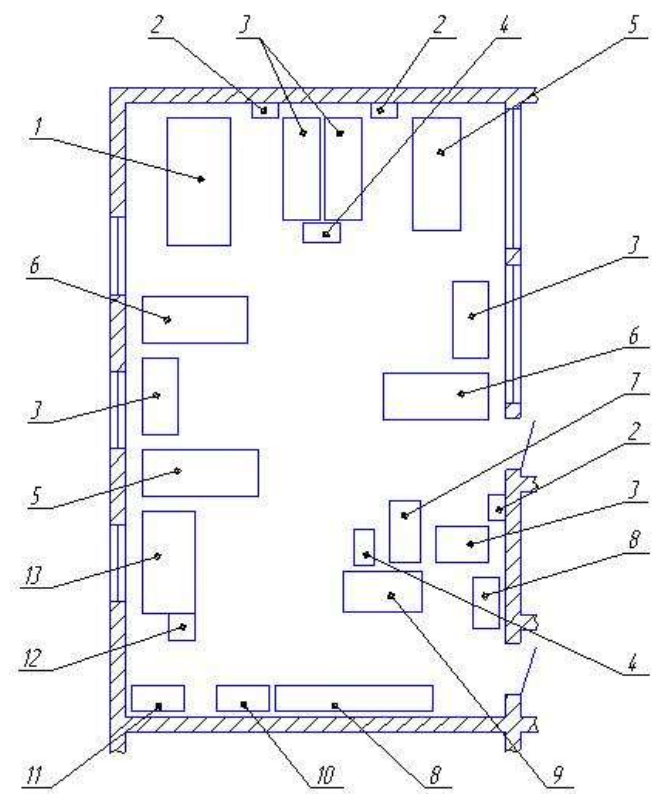


Рис.3.5. Организационная схема взаимодействия специализированного предприятия по техническому сервису ТА с внешними структурами.

В зависимости от объемов работ по техническому обслуживанию и ремонту материально-техническая база комплектуется современным стационарным и переносным оборудованием и приборами отечественного и зарубежного производства, нормативно-технической документацией, специальной литературой и электронными базами данных.

Структура специализированного предприятия по техническому сервису, как правило, предусматривает функционирование следующих отделов и подразделений:

- офис (оформление договоров, прием и консультации клиентов);
- участок приемки-сдачи ТА;
- отдел продажи запасных частей и расходных материалов со складом;
- участок диагностирования топливной аппаратуры дизельных автомобилей;
- цех испытаний и ремонта ТА;



На рис.3.6 приведена примерная схема расстановки оборудования и приборов в цехе испытаний и ремонта специализированного предприятия по техническому сервису топливной аппаратуры, на рис.3.7 – рабочее место мастера-регулировщика.

Рис. 3.6. Схема компоновки оборудования и приборов в участке ремонта топливной аппаратуры:

1 – стенд для испытаний и регулировки ТА Bosch EPS 815; 2 – индивидуальные шкафы; 3 - рабочие столы мастеров-регулировщиков; 4 – подвижные столы; 5, 6, 7 – стенды для испытаний и регулировки ТА; 8 - стеллажи неисправной топливной аппаратуры; 9 – стол отремонтированной аппаратуры; 10 - мойка; 11 – шкаф оборудования и инструментов; 12 – стенд для проверки форсунок; 13 – стол разборки, дефектовки и регулировки форсунок.



Рис.3.7. Участок рабочего места мастера-регулировщика: а – рабочий верстак; б – стенд для испытаний и регулировки ТА EPS815 с измерительной системой KMA822 фирмы BOSCH.

Высокие требования предъявляются к кадровому составу предприятия, так как только соответствующий научно-технический уровень специалистов может обеспечить должное качество предоставляемых услуг. Как правило, технический персонал проходит ежегодную переподготовку в технических центрах заводов-производителей ТА и российского подразделения Bosch, John Deere с аттестацией и получением сертификата.

Сервисные предприятия, оказывающие услуги на должном уровне, после добровольной аттестации фирмой-производителем агрегатов, узлов и систем могут организовать свою деятельность уже как ее дилер и непосредственное представительство.

Организация предприятия по техническому сервису. Одним из широко распространенных в нашей стране типов специализированных предприятий, предназначенных для технического сервиса топливной аппаратуры дизелей, является Бошдизельсервис.

На первом этапе организации Бошдизельсервиса фирма BOSCH устанавливает необходимый для функционирования предприятия перечень оборудования (могут быть различные модели, но обязательно производства фирмы BOSCH) и специализированного инструмента для проверки и регулировки дизельной топливной аппаратуры. Как правило, предписывается наличие следующей номенклатуры:

- стенд для испытаний топливной аппаратуры;
- стенд для испытаний и регулировки дизельных форсунок;
- оснастка и инструмент для электронно-управляемых ТНВД (EDC);
- системный тестер для сканирования бортовой системы диагностики;
- оснастка и инструмент для разборки-сборки ТНВД и регулировки его на стенде;
- пакет обновляемых прикладных программ ESItronic с технической информацией и инструкциями по ремонту.

По мнению фирмы, наличие такого перечня является необходимым условием проведения качественного обслуживания, регулировки и ремонта ТА производства фирмы BOSCH. При этом сама фирма BOSCH не занимается кредитованием или организацией лизинга для кандидатов в БошДизельСервисы, предоставляя скидку только своим дилерам или фирменным предприятиям. На следующем этапе кандидату в БошДизельСервис предъявляются определенные требования к внешнему оформлению здания, места приемки (reception) и комнаты клиента, наличию фирменной спецодежды специалистов, а также обязательному наличию магазина расходных материалов BOSCH-SHOP (рис.3.8).

Большое внимание уделяется размещению информационных указателей и придорожных пилонов со строгим соблюдением цветовой гаммы и стиля логотипов, установленных фирмой BOSCH (см. рис.3.9).

После выполнения условий соглашения о партнерстве представитель фирмы BOSCH лично инспектирует предприятие, по результатам чего предприятию присваивается статус:

- кандидата;

- авторизованного сервиса;
- гарантийного сервиса.



а



б

Рис.3.8. Специализированное предприятие по техническому сервису топливной аппаратуры: а – офис; б – отдел расходных материалов.

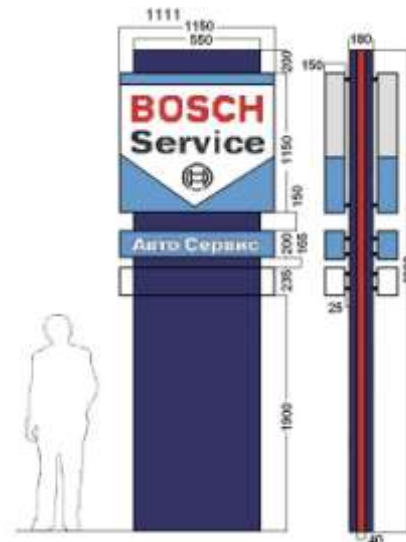


Рис.3.9. Требования к информационным указателям фирмы BOSCH, логотипы BOSCH DieselCenter и BOSCH Service.

Различие статуса предприятий определяется набором оборудования и специализированного инструмента, квалификацией персонала. Статус авторизованного сервиса свидетельствует, что качество проводимых предприятием работ соответствует уровню BOSCH, единому во всех странах. Однако право осуществлять гарантийное обслуживание, т.е. принимать решение о наступлении отказа по вине производителя предоставляется только гарантийному сервису.

В фирме BOSCH существует **международная оценка качества сервисного обслуживания**, основанная на анализе комплекса оценочных критериев, основные из которых приведены в табл.3.2.

Оценка каждого показателя проводится по четырехбалльной шкале и определяется интегральный показатель качества. Затем с учетом объемов закупки запасных частей, значения интегрального показателя качества, участия в семинарах BOSCH, модернизации оборудования BOSCH, своевременного представления отчетности в центральный офис по специальной методике производится расчет бонусов. Бонусы соответствуют установленной сумме денежных средств, на которую предприятию выделяются определенные товары (программное обеспечение, скидки по приобретению оборудования).

Таблица 3.2. Основные оценочные критерии БошДизельСервиса

Обобщенный критерий	Оцениваемые параметры
1. Имидж	Состояние здания Обустроенность, чистота и порядок на территории Название предприятия на фасаде, надписи и указатели Состояние помещения для клиентов и зал продаж Чистота и порядок в мастерской Рабочая одежда
2. Организация работы	Удобное для клиентов время Использование компьютеров Использование бланков наряд-заказ Современные средства связи и Интернет Диски ESI с функцией каталога Насосы из обменного фонда
3. Гарантия	Справочник по гарантии Система гарантий BOSCH Документация по гарантии Хранение бракованных гарантийных изделий Обучение по гарантийному обслуживанию
4. Персонал	Обучение специалистов Методы обучения на предприятии
5. Сотрудничество с Бош	Использование оригинальных изделий BOSCH Участие в акциях по сервисному обслуживанию Оперативная связь с представительством
6. Оборудование	Перечень приведен в тексте.

3.3. ЭЛЕКТРОННАЯ СЕРВИСНАЯ ИНФОРМАЦИЯ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В современных тракторах и сельскохозяйственной технике резко возрастает использование различных электро- и гидроуправляемых узлов и элементов, управляемых электронными блоками или бортовыми компьютерами в соответствии с заданной программой. В этой связи для эффективной эксплуатации такой техники требуется «интеллектуальный» подход со стороны обслуживающего персонала, владеющего современными информационными технологиями и навыками программирования и настройки техники и машинно-тракторных агрегатов.

С другой стороны систематизация данных при организации и проведении ТО и ремонта на основе применения электронной сервисной информации может обеспечить существенное снижение трудоемкости проведения диагностических и ремонтно-обслуживающих работ. Особенно эффективно это проявляется при ее внедрении в работу крупных машинно-технологических станций и технических сервисных центров, обслуживающих широкий спектр видов, моделей и модификаций автомобилей, тракторов, самоходных машин и другой техники.

Множество моделей и типов мобильных сельскохозяйственных машин, тракторов, автомобилей, разнообразие применяемых в них узлов и агрегатов требует управления данными, в частности, номерами запасных частей, контрольными параметрами и др.

Электронные базы данных и программные продукты могут применяться в основном для:

- организации работы предприятия на основе электронной системы обработки и хранения данных по эксплуатируемому или обслуживаемому парку машин;
- организации и проведения ремонтно-обслуживающих работ различных машин, узлов, систем, в том числе непосредственно в процессе их диагностирования;

- калибровки (программирования электронных блоков управления) тракторов, комбайнов и машинно-тракторных агрегатов, различного навесного и прицепного оборудования и др. для эффективной эксплуатации в конкретных условиях;

- настройки и регулировки различных систем и узлов двигателя или машины при ТО или ремонте, например, топливной аппаратуры по задаваемой программе и, при необходимости, автоматического последующего индивидуального программирования электронного блока управления (ТНВД типа VP).

Для использования на персональном компьютере в начальный период данные записывались в электронном виде на гибких дисках. С середины девяностых годов сервисная информация стала представляться на компакт-дисках (CD), а с 2003 г – на DVD, позволяющих сохранять существенно большие базы данных. В настоящее время практически всеми ведущими фирмами-производителями техники, систем и узлов разработаны подробные электронные каталоги, инструкции по эксплуатации (BOSCH для топливной аппаратуры, REXROT для гидрооборудования и пр.) и др., которыми в первую очередь снабжаются дилеры.

Предоставление сервисной информации потребителям возможно только с согласия фирмы производителя при выполнении определенных требований. Чаще всего пользование предоставляется за оплату и на конкретный срок, хотя некоторые производители открыто ее публикуют (Hitachi, Toyota и др.). При этом доступ к указанным базам данных может быть осуществлен как через инсталляцию CD, так и через Internet по индивидуальному коду доступа, который представляется фирмой-производителем машины, агрегата или узла.

Как правило, сервисная информация объединяется с диагностической программой, но может поставляться отдельно. Алгоритмы пользования сервисной информацией индивидуальны для каждого производителя, но принципы организации схожи. Имеется исходная графическая оболочка, где размещена общая база данных на все модели машин, выпускаемых фирмой. Общая база данных может быть объединена с клиентской базой конкретного предприятия и связана по локальной сети с его отделами и подразделениями. Общая база включает в себя данные, необходимые для идентификации мобильной машины, и ссылки на разделы сервисной информации, где имеются описания конструкции или техобслуживания данной машины.

Некоторые фирмы (Autodata, Alldata, TecDoc и др.) специализируются на систематизации контрольных значений регулировочных показателей и разработке пособий по техобслуживанию и ремонту различной техники, но в основном они ориентированы только на легковые автомобили для частных лиц. Что касается организации техобслуживания коммерческой и сельскохозяйственной техники на предприятиях, то здесь информация предоставляется только дилерам или авторизованным представителям.

Использование электронной информации в системе технического сервиса на предприятии можно представить в виде следующей табл. 3.3.

На первом уровне пользователь на первичном уровне (механизатор, оператор машины или водитель) анализирует первичную информацию с бортовых систем машины и обеспечивает эксплуатацию комбайна, машинно-тракторного агрегата или автомобиля в соответствии инструкциями по эксплуатации и показаниями информационных данных бортовой системы диагностики и системы предупредительной сигнализации. В случае критических показаний электронных систем прекращает работу и принимает меры по устранению неисправностей или вызову инженерной службы.

На втором уровне пользователь (инженер сервисной службы, дилер) обеспечивает программирование с использованием бортового компьютера следующих операций и работ на конкретной машине или МТА:

- калибровку систем и агрегатов машин (настройка датчиков скорости, пробуксовки колес, параметров управления гидравлической системы, ширины захвата, норм внесения, глубины обработки почвы и тягового усилия сельхозмашин и др.);

- установку параметров и периодичности обслуживания и др.

Эта же служба анализирует электронную информацию с бортовых компьютеров при:

- плановом обслуживании и отказах машины;

- определении параметров сменной выработки и др.

Таблица 3.3. Иерархическая схема применения электронной сервисной информации в системе технического сервиса предприятия

Уровень пользователей	Назначение электронной сервисной информации	Объект воздействия
<i>Четвертый уровень</i> Руководящее звено предприятия	Анализ эффективности использования парка машин, системы технического сервиса, технико-экономических параметров новых машин и машинно-тракторных агрегатов, конъюнктуры рынка автотракторной и сельскохозяйственной техники, поставщиков запасных частей и оборудования и др.	Предприятие, его структурные подразделения
<i>Третий уровень</i> Инженерная и экономическая служба предприятия	Анализ работоспособности (учет отказов, разработка предложений совершенствованию технического сервиса и модернизации техники). Анализ использования парка машин и конкретных моделей. Формирование рациональных резервов запасных частей и учет складских запасов.	Парк машин, сфера обслуживания и материально-технического снабжения предприятия
<i>Второй уровень</i> Сервисный инженер, инженер по эксплуатации, дилер.	Калибровка систем и агрегатов машин. Определение параметров и периодичности обслуживания. Анализ данных бортовой системы диагностики. Определение параметров сменной выработки. Формирование индивидуальной карты трактора, комбайна, автомобиля и др.	Конкретная машина или машинно-тракторный агрегат
<i>Первый уровень</i> Механизатор, оператор машины, водитель	Эксплуатация в соответствии показаниям информационного данных бортовой системы диагностики и системы предупредительной сигнализации.	Конкретная машина или машинно-тракторный агрегат

Инженерная служба может проводить работу по формированию индивидуальной карты трактора, комбайна, автомобиля и др. В этом случае могут использоваться различные программные оболочки, написанные в среде Excel или Microsoft Access и удовлетворяющие следующим основным требованиям:

- выделенное поле для одной единицы техники должно иметь не менее 20 независимых ячеек для описания эксплуатационных (срок эксплуатации, ТО, расход топлива, отказы, замененные детали и т.п.) и конструктивных (номера физические и по каталогу, контрольные данные и др.) параметров как самой машины, так и ее отдельных агрегатов и узлов;
- гипертекстовый доступ к данным по видам машин, отдельным узлам, их характеристикам, и т.п.;
- возможность редактирования и дополнения текстовой и растровой информации по каждой ячейке, в том числе расширение дерева информации;

База данных создается непосредственно инженерной службой предприятия, причем банк постоянно пополняется информацией за счет поступления новых машин и сведениями по эксплуатации уже имеющегося парка. Например, при обращении в сервисный центр клиента с заявкой на обслуживание служба центра получает из банка данных все имеющиеся сведения о заявленной технике и воспроизводится предыстория трактора или комбайна со всеми проведенными в прошлом работами по обслуживанию и ремонту. Все проведенные работы вместе с необходимыми для ремонта запчастями автоматически регистрируются для оформления счета и клиент получает полный протокол о всех проведенных работах и расходе материалов.

На третьем уровне инженерная и экономическая служба предприятия проводит на базе обработки электронной сервисной информации анализ работоспособности (учет отказов и предложения по модернизации, планирование и выполнение работ по сервису и др.) использования парка машин и моделей, формирование рациональных резервов запасных частей и учет складских запасов и др.

К четвертому уровню можно отнести руководящее звено предприятия, которое проводит анализ эффективности использования парка машин, системы технического сервиса, технико-экономических параметров новых машин и машинно-тракторных агрегатов, конъюнктуры рынка автотракторной и сельскохозяйственной техники, поставщиков запасных частей и оборудования и др.

Таким образом, использование электронной сервисной информации в соответствии с представленной иерархической структурой обеспечивает наиболее полное и оперативное представление информации для управления техническим состоянием, как конкретных машин, так и всей техники и качественной организации технического сервиса в предприятии.

Организацию электронной базы данных по топливной аппаратуре можно представить на примере фирмы BOSCH [36]. Информация представлена в модульной форме по разделам на нескольких компакт-дисках (рис.3.10). Однако сервисная информация с других дисков может активироваться только при установке диска А с программой ESItronic. Доступ к информации и к другим разделам производится по выбору потребителя.



Рис.3.10. Электронная база данных фирмы BOSCH «Техническая информация ESItronic».

Сектор А «Автомобильное оборудование». Программа ESItronic. Доступ к 15000 единиц легковых автомобилей, 11500 грузовых автомобилей, 5000 мотоциклов, 8000 тракторов, комбайнов и специальных автомобилей.

Сектор В «Нормы времени». Свыше 2 миллионов норм времени для 6500 автомобилей и транспортеров. Свыше 1,8 миллиона дополнительных норм для специальных работ в часах и минутах.

Сектор С «Диагностика автомобиля и руководство по поиску неисправностей». Полноценные, взятые от производителя комбинации инструкций по поиску неисправностей и диагностике блоков систем управления бензиновым, дизельным двигателем, тормозных и других систем. Руководства по поиску неисправностей применимы на любом персональном компьютере, идеально подходят для диагностической техники BOSCH.

Сектор D «Дизель-запчасти». Полный каталог дизельных запчастей BOSCH. Перечень из 14000 списков объединяет более 1,1 миллиона запчастей.

Сектор E «Электрика-запчасти». Полный каталог электрики BOSCH. Перечень из 12000 списков объединяет более 300000 запчастей.

Сектор F «Архив запчастей». Около 1500 спецификаций архива для старых машин.

Сектор M «Автомобильная механика». Данные по техническому обслуживанию, периодичности, углов установки колес, обозначений шин, зубчатых ремней: описание операций по снятию и установки.

Сектор P «Электрические принципиальные схемы». Электрические принципиальные схемы от фирм-производителей в едином представлении. Более 60 фирм, 520 модельных рядов, 5000 машин, свыше 100000 единиц электрических схем.

Сектор W «Контрольные параметры ТНВД». Тест-планы и контрольные параметры для испытания и регулировки всех топливных насосов фирмы BOSCH.

Пакет программного обеспечения, как правило, содержит различные сведения и данные по диагностированию машины. В процессе обслуживания имеются различные возможности для поиска неисправности. Может отображаться дополнительная информация, например, расположение агрегатов, топливных и гидравлических магистралей, схемы демонтажа узлов, электрооборудования, гидрооборудования и др. От схем демонтажа узлов в персональном компьютере можно переключиться непосредственно на список запасных частей с их номерами для заказа. Для представления данных на экране широко применяются элементы анимационного оформления в виде всплывающих рисунков высокого качества, специального ступенчатого фрагментирования и др. На рис.3.11 приведено окно с информацией ТНВД типа VE (применяется в многих дизелях тракторов и автомобилей мощностью 40...150 кВт).

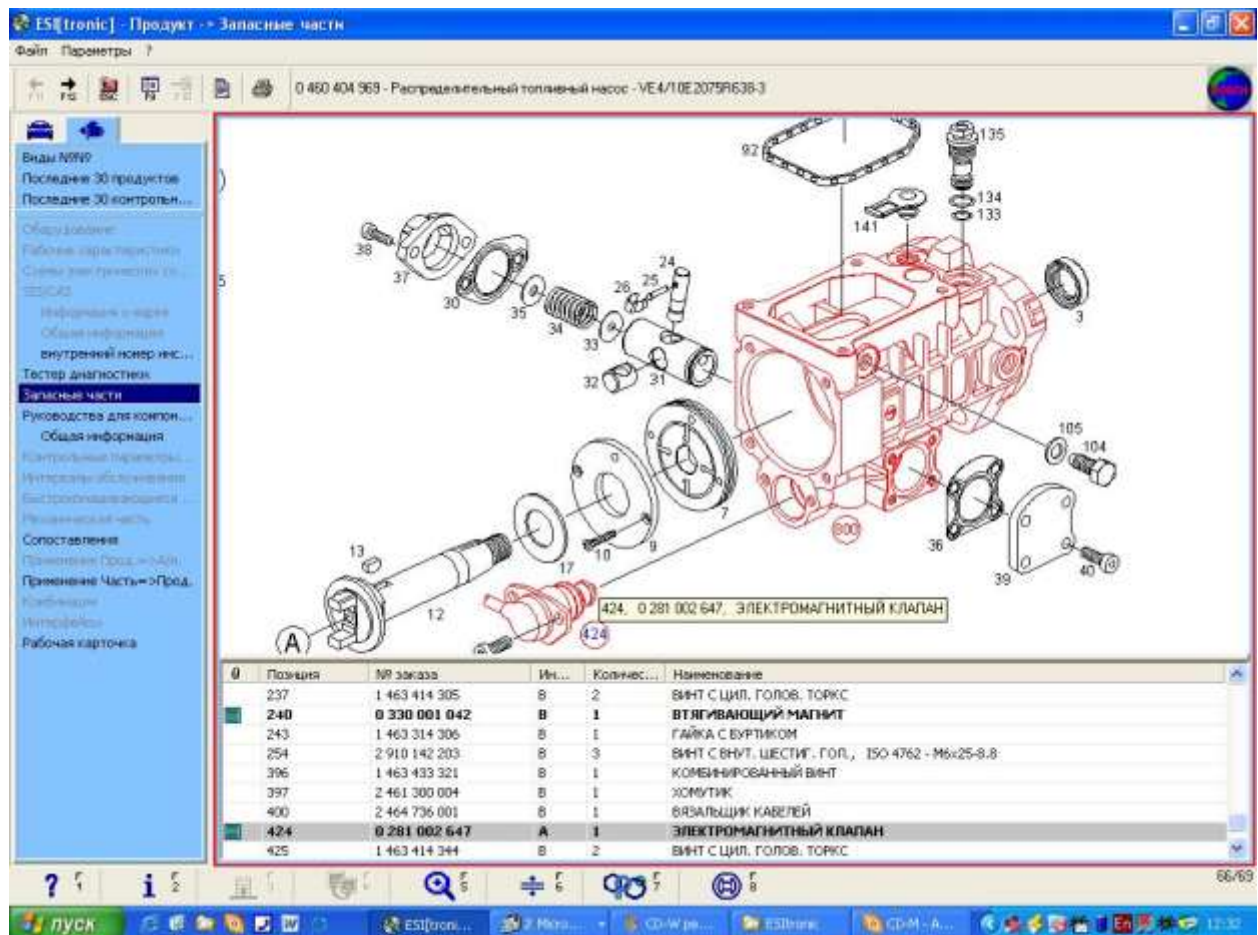


Рис.3.11. Окно данных о запасной части «электромагнитный клапан» к ТНВД типа VE.

В левой части окна активизирована зона «Запасные части», при подводе указателя мышки к какому либо элементу на изображении деталей в нижней части экрана в общем списке выделяются порядковый и каталожный номера и они же высвечиваются на фоне рисунка (424 0 281 002 647, электромагнитный клапан). Узлы, состоящие из нескольких элементов, выделяются красным цветом. Далее можно кликом мышки по выбору перейти к составлению заказа по покупке этой детали, к схеме монтажа, к параметрам регулировки этого насоса применительно к конкретному дизелю и др.

На рис.3.12 показано окно с параметрами проведения стендовых испытаний и контрольных значений ТНВД. В правой верхней области окна можно последовательно активизировать и две другие зоны - «установочные», «проверочные значения». В выделенной желтым цветом области записываются полученные при испытаниях данные, на основании анализа которых ЭВМ затем выдает заключение о проведенной регулировке.

Особенности применения программного обеспечения для программирования и проверки топливоподающих систем рассматриваются в последующих разделах, посвященных технологиям диагностирования и технического обслуживания.

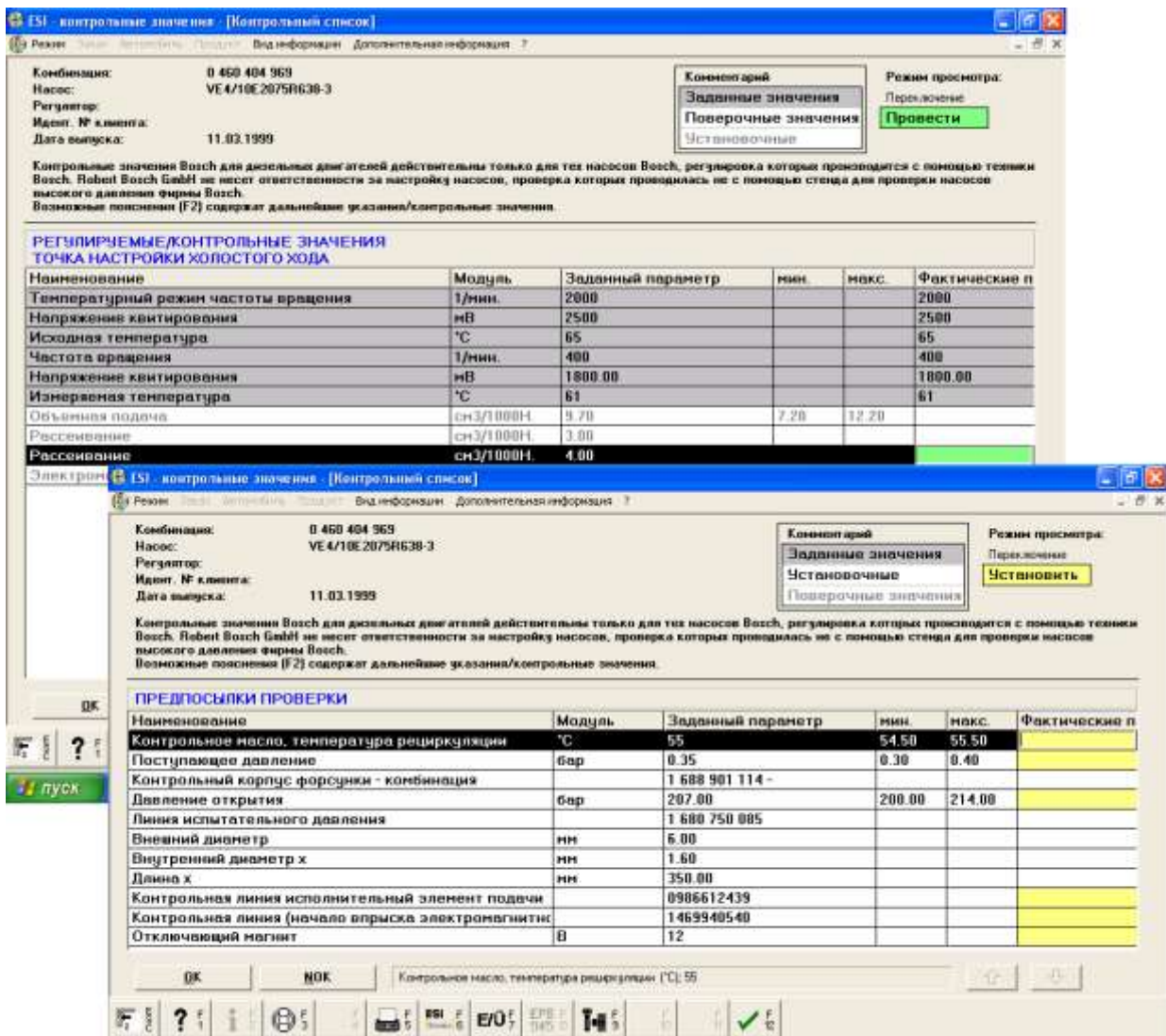


Рис.3.12. Окна с параметрами проведения стендовых испытаний и контрольных значений ТНВД.

Заключение

Перспективы организации технического сервиса ТА характеризуются:

- организацией работ в соответствии с планово-предупредительной по состоянию системой ТО и ремонта;
- организацией системы технического сервиса с разграничением полномочий технических служб по проведению операций ТО и ремонта. В условиях России наиболее эффективными являются дилерские системы сервиса.
- расширением применения электронной сервисной информации и программного обеспечения.

Контрольные вопросы

1. Выделите наиболее эффективную систему технического сервиса современной ТА и обоснуйте ее преимущества.
2. Определите последовательность мероприятий при организации предприятия с дилерской системой технического сервиса.
3. Определите основные функции специализированного предприятия по техническому сервису топливной аппаратуры.
4. Приведите примеры использования электронной сервисной информации на различных уровнях пользования.
5. Обоснуйте необходимость применения электронных баз данных и специализированных программных продуктов при технической эксплуатации современных машин.

4. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ДИАГНОСТИРОВАНИЕ

4.1. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТРАДИЦИОННОЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

Техническое обслуживание топливной аппаратуры отечественного производства основано на **планово-предупредительной системе обслуживания**. Наиболее полно раскрыты вопросы эксплуатации и ремонта традиционной топливной аппаратуры авто-тракторных и комбайновых дизелей в работах [5,7,15,16,25].

В соответствии с рекомендациями заводов-изготовителей при ежесменном техническом обслуживании (ТО) топливной системы проверяют отсутствие подтеков топлива. При проведении эксплуатационной обкатки, ТО-1 (10 000 км пробега для автомобилей или 125 моточасов для тракторов) и ТО-2 (50 000 км пробега или 500 моточасов) дополнительно включаются операции слива отстоя из фильтров грубой очистки топлива и, при необходимости, замены фильтра тонкой очистки. Так же очищается отстойник топливного бака и система его вентиляции.

При проведении ТО-3 (1000 моточасов только для тракторов) дополнительно к операциям ТО-2 проверяют и при необходимости регулируют форсунки и ТНВД. При техническом обслуживании форсунок определяют качество распыливания и давление начала впрыскивания. Качество распыливания оценивают по комплексу косвенных показателей: мелкости частиц распыленного топлива, плотности распределения частиц топлива по поперечному сечению факела; гидравлической плотности по направляющей поверхности иглы; герметичности по запирающему конусу и звучности впрыскивания. Проверяют работоспособность регулятора ТНВД (по величине и неравномерности цикловых подач, минимальной и максимальной частотам вращения коленчатого вала), давление развиваемое ТПН, давление или разряжение перед фильтром тонкой очистки топлива.

Основная часть трудоемкости технического обслуживания системы топливоподачи относится к операции проверки и, при необходимости, регулировки ТНВД, форсунок, угла опережения впрыскивания топлива (12,2...21,3% от трудоемкости технического обслуживания двигателя). В последнее время в тракторах и автомобилях для наиболее полного использования ресурса заменяемых при ТО элементов, стали устанавливать различные сигнализаторы, в частности, предельного разряжения топлива перед подкачивающим насосом или воздушным фильтром.

Перечень операций по видам технического обслуживания конкретных марок топливной аппаратуры разрабатывается с учетом конструктивных особенностей и условий эксплуатации. Например, ТО насоса 4УТНМ согласно инструкции по эксплуатации следует производить через каждые 2000 часов работы. По достижении этого срока ТНВД снимают с двигателя, промывают чистым дизельным топливом и устанавливают на регулировочный стенд. Наливают в полость картера насоса 150⁺⁵⁰ мл тщательно отфильтрованного масла, проверяют регулировочные параметры и при необходимости производят регулировку. Допускается проверка и регулировка ТНВД на безмоторном стенде перед определением мощности и удельного расхода топлива при проведении ТО-3 тракторного дизеля.

Особенности технологий технического обслуживания автотракторной техники зарубежных производителей. Техническое обслуживание зарубежных машин основано на **планово-предупредительной по состоянию системе обслуживания**. Фирмы производители техники при определении периодичности обслуживания устанавливают различные сроки и, в отличие от отечественной практики, не позиционируют их как ТО-1, ТО-2 и ТО-3. Например, техника производства CNH в большинстве своем ориентирована на ТО с периодичностью 300, 600 моточасов, новая техника John Deere – 500 и 1000 моточасов. Как правило, регламентируются операции обслуживания ежесменное и с периодичностью 50, 100, 200, 500 моточасов. Например, слив отстоя топлива из первичного фильтра производится через 250 моточасов, замена ФТО - через 500 моточасов или при потере мощности двигателя. За период эксплуатации современных автомобилей, тракторов и комбайнов предусматриваются проведение только операций по сливу отстоя из фильтров, замене фильтров очистки топлива, промывке топливного бака. Не предусмотрены отдельные операции по обслуживанию и проверке других элементов ТА (электроуправляемых насосов и форсунок, ТНВД, ЭБУ и др.)

Трудоемкость ТО дизелей зарубежных коммерческих машин ниже трудоемкости отечественных. В течении заявленного моторесурса (пробега до капитального ремонта) большин-

ством производителей дизелей (тракторы John Deere серий 8000 и 9000, Deutz Fahr, Ford 401Д, CASE 504 WDT, комбайны CASE 2966, 527, New-Holland TX65) не предусматривается регулировка ТНВД и установка угла начала подачи топлива. За период эксплуатации форсунок (а также ряда модификаций ТНВД) предусматривается только их диагностирование через каждые 100-150 тыс. км пробега (2000 моточасов наработки), по результатам которого может приниматься решение об обслуживании или ремонте.

Для облегчения процесса ТО элементы располагают в быстродоступных местах и выполняют максимально открытыми. К примеру, корпус фильтра тонкой очистки топлива у двигателей John Deere выполнен прозрачным (рис. 4.1, а,б). Слив отстоя из фильтра производится с помощью сливной пробки (рис. 4.1, в, е). Смена фильтра осуществляется путем нажатия рукой на пружинную пластину. Конструкция фильтра тонкой очистки топлива на двигателях Ford, Perkins аналогична фильтрам дизелей John Deere. На подавляющем большинстве современных автотракторных дизелей применяются неразборные конструкции фильтров грубой и тонкой очистки топлива и масла. Замена фильтра производится без применения инструмента, путем отворачивания корпуса фильтра «от руки». Смена фильтрующих элементов (воздушного, топливного, гидросистемы, масляного, охлаждающей жидкости) производится достаточно легко и просто (рис.4.1, д). Во многих конструкциях эти операции осуществляются согласно показаниям сигнального табло системы предупредительной сигнализации.

В целом, наблюдается тенденция снижения трудоемкости ТО и обеспечения надежной работы машин без проведения ТО сложных агрегатов в течение наиболее напряженного периода сельскохозяйственных работ (500...1000 моточасов для тракторов и 250...400 для комбайнов). При этом, как правило, контроль периодичности обслуживания систем, агрегатов дублируется и сигнализируется через систему предупредительной сигнализации и бортовую систему диагностики.

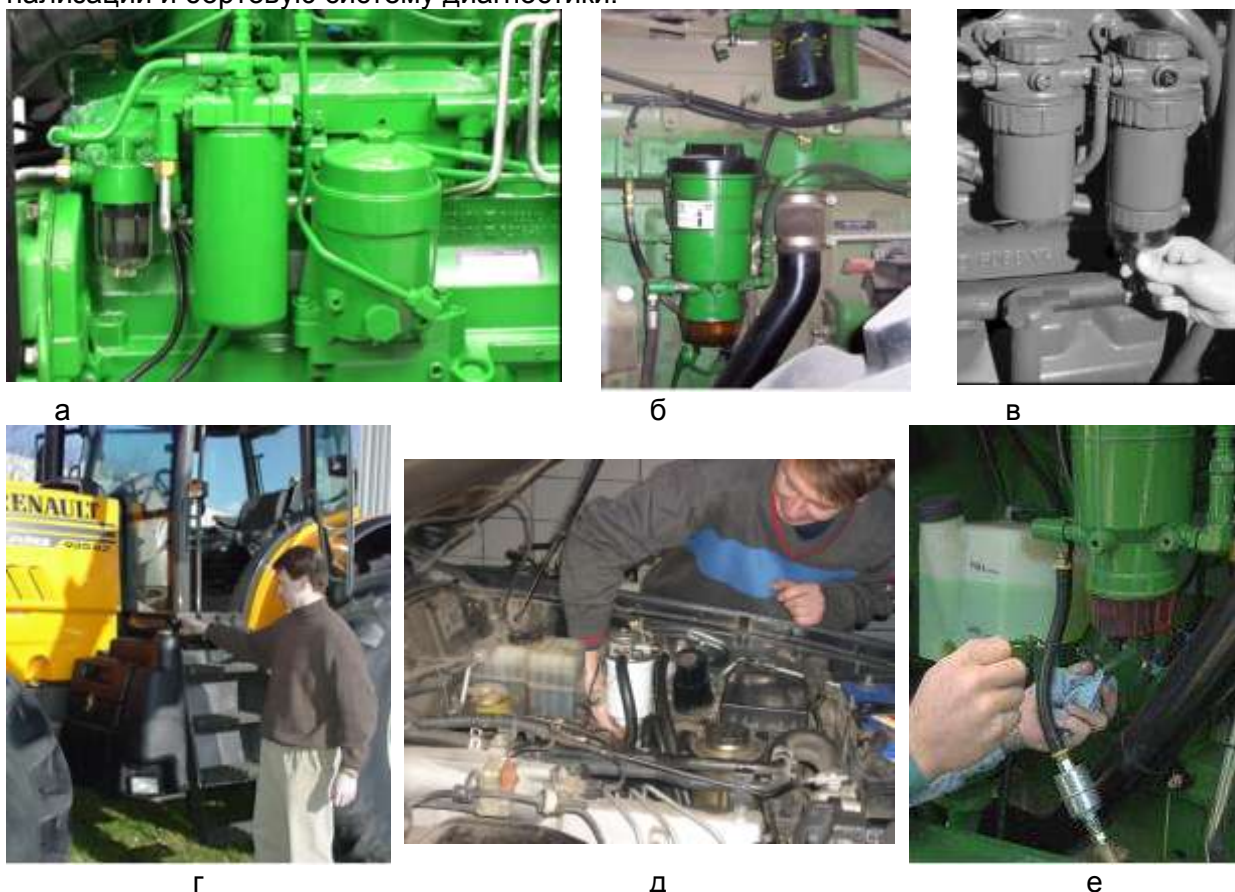


Рис.4.1. Техническое обслуживание систем питания импортных тракторов и автомобилей: фильтр тонкой и грубой очистки (а, б); заправка топливом (г); слив отстоя из прозрачного корпуса топливного фильтра (в, д, е).

В соответствии с ГОСТ 20793-86 **диагностирование** осуществляется в период проведения каждого ТО-3. Общие технические требования и правила диагностирования регламентируются ГОСТ 24925-81 и ГОСТ 20793-86.

При проверке работоспособности ТА используют **методы диагностирования**, выявляющие (без указания места и причины) определенную совокупность отказов и повреждений (снижение давления впрыскивания, нестабильность параметров топливоподачи и т.д.). При проверке правильности функционирования диагностирование направлено на определение совокупности дефектов технологических регулировок и настроек, вызывающих недопустимое снижение технико-экономических и экологических показателей дизеля (неравномерность топливоподачи, изменения настроек регулятора и т.д.). При поиске дефектов методы диагностирования позволяют выявить место, вид и причину дефекта (износ плунжерных пар, изменение давления впрыскивания форсунки, цикловой подачи, угла опережения впрыскивания и т.д.). Для оценки технического состояния топливной аппаратуры применяют различные методы диагностирования (виброакустический, спектрографический, магнитоэлектрический, тепловой, гидравлический, газоаналитический, кинематический и некоторые другие) [1,5,15].

Диагностирование **виброакустическим** методом основано на анализе виброакустических сигналов, вызываемых как перемещениями подвижных деталей ТА (иглы форсунки, нагнетательного клапана, муфты привода, деталей привода плунжера), так и волнами давления топлива в линиях низкого и высокого давлений. Безусловным достоинством виброакустического диагностирования является простейший способ закрепления первичных преобразователей на объекте. Вместе с тем обработка и интерпретация информации, распознавание параметров и дефектов весьма сложны, недостаточно стабильны, достоверны и информативны.

Кинематический метод диагностирования характеризуется изменением положения, движения деталей и их сопряжений с геометрической точки зрения. Этот метод включает в себя непосредственное измерение размеров, износов деталей, зазоров их сопряжений (установочные размеры рычагов регулятора, ход рейки и т.п.), применяется при проверке отдельных узлов и деталей ТА и, как правило, производится при неработающей ТА или разобранных ее узлах.

При **газоаналитическом** методе по содержанию в ОГ O_2 и CO_2 оценивается качество процессов смесеобразования и сгорания и на этой основе предлагается определять техническое состояние ТА. С введением нормативов на выбросы вредных веществ с отработавшими газами дизелей охват этим методом диагностирования существенно расширяется. Вместе с тем по результатам диагностирования сложно судить о конкретном дефекте в ТПС и количественных характеристиках параметров технического состояния ТА.

К числу наиболее популярных методов изучения и диагностирования работы ТПА относятся **гидравлические** методы и в первую очередь метод измерения давления в нагнетательном трубопроводе (у насоса или у форсунки). Его главное и несомненное достоинство - измерение параметра, непосредственно связанного с интенсивностью и особенностями впрыскивания.

Для выявления неисправностей и выполнения комплекса регулировочных работ дизельной топливной аппаратуры тракторов, дорожно-строительных и с.х. машин, а также дизельных автомобилей различными фирмами разработано множество **приборов и оборудования**. Наиболее универсальными из них являются модули КИ-28132 и КИ-28132.01 (разработка ГНУ «ГОСНИТИ») и КИ-1950 (разработка ФГОУ ВПО «Башкирский ГАУ»). Модуль переносной КИ-28132 может использоваться в составе передвижных, стационарных и переносных средствах диагностирования дизелей. Модуль средств контроля и регулировки КИ-28132.01 может использоваться при выявлении и устранении неисправностей дизельной топливной аппаратуры (ТНВД, форсунок, ТПН, степени загрязненности фильтров грубой и тонкой очистки и др.) в полевых или дорожных условиях при эксплуатации автотракторной техники, а также при ТО, текущем ремонте и оценке качества ремонта дизелей. Модуль КИ-1950 универсален и кроме вышесказанного может использоваться для диагностирования топливных систем с электронным управлением.

Проверка топливоподкачивающего насоса может производиться с использованием одного из приборов КИ-1950, КИ-4801, КИ-28132.01, КИ-28120М.03. Перебои или полный отказ в работе подкачивающего насоса происходят из-за нарушения герметичности клапанов или попадания посторонних частиц между гнездом и клапаном, подсоса воздуха, поломки пружины поршня, заклинивания поршня или стержня толкателя, а также при увеличении зазора в их сопряжении.

Подсоединив прибор к подкачивающему насосу, определяют максимально развиваемое давление при полностью перекрытом нагнетательном трубопроводе и номинальной частоте вращения. Дальнейшая эксплуатация ТПН, развивающих максимальное давление менее 0,1...0,11 МПа, нецелесообразна. Износ в прецизионном сопряжении штока и втулки определяется по течи топлива при ручном прокачивании в случае отсоединения подкачивающего насоса от насоса высокого давления. Состояние пружин клапанов можно проверить, отвернув корпус ручной подкачки и пробку или футорку. Пружина клапана должна выступать на 2-3 мм над верхним торцом грибового клапана.

При загрязнении топливных фильтров работа двигателя под нагрузкой сопровождается перебоями, без увеличения дымности выхлопных газов, кроме того наблюдается потеря мощности. Загрязнение фильтрующих элементов определяют по величине перепада давления на фильтре приборами КИ-1950, КИ-4801, КИ-28132.01, КИ-28120М.03. Для этого один топливопровод присоединяют к нагнетательной магистрали на выходе топлива из подкачивающего насоса, а другой — на выходе топлива из фильтра.

Проверке фильтров тонкой очистки должна предшествовать оценка технического состояния ТПН и перепускного клапана в головке ТНВД. Перепускной клапан контролируют теми же приборами, что и топливоподкачивающий насос. Открытие перепускного клапана должно происходить при определенном давлении, регламентированном для каждого дизеля.

Техническое состояние топливопроводов низкого и высокого давления проверяют визуально и оценивают герметичностью, наличием вмятин и резких изгибов. В эксплуатации может происходить увеличение неравномерности подачи топлива по цилиндрам дизеля вследствие зажима топливопроводных каналов трубок из-за резких перегибов, уменьшения проходного сечения трубок из-за деформации конусных наконечников.

Общие признаки неудовлетворительной работы топливного насоса высокого давления связаны с нарушением подачи топлива. Работоспособность плунжерной пары оценивают величиной максимального давления, развиваемого насосной секцией при пусковой частоте вращения коленчатого вала максиметром, прибором КИ-1950, КИ-28132.01 или контрольной форсункой, отрегулированной на допустимое давление начала впрыскивания топлива. По рекомендации ГОСНИТИ максимальное давление, развиваемое секцией ТНВД, должно составлять не менее 30 МПа, в противном случае необходима замена плунжерной пары. Для ТНВД топливных систем типа Common Rail максимальное давление, развиваемое им на режиме пуска, не должно быть менее 130 МПа.

Герметичность клапанной пары в эксплуатационных условиях может быть определена с помощью капиллярных стеклянных трубок (моментоскопа), устанавливаемых на штуцере головки топливного насоса. В питающую полость насоса подается топливо под давлением от ручного насоса. Клапан считается герметичным, если мениск в стеклянной трубке остается неподвижным, если мениск движется, то клапан негерметичен.

Работоспособность форсунки проверяют при ТО-2 без демонтажа с двигателя или на специальных стендах. Для определения неисправной форсунки на двигателе, устанавливают минимальную частоту вращения коленчатого вала и по очереди ослабляют трубопроводы высокого давления. Отключение неисправной форсунки не вызывает изменения частоты вращения коленчатого вала. Косвенным показателем исправности форсунки при работе на двигателе служит четкая пульсация топлива в трубопроводе высокого давления на ощупь руки. Отказ плунжерной пары, нагнетательного клапана, зависание иглы распылителя в верхнем положении приводят к снижению или полному прекращению пульсации. В случае отсутствия пульсации сначала нужно проверить состояние форсунки, затем плунжерной пары и нагнетательного клапана.

При диагностировании форсунки непосредственно на двигателе устройство КИ-9917 ГОСНИТИ соединяют с ней через топливопровод высокого давления, отсоединив его от секции топливного насоса. Нагнетают топливо в форсунку и по манометру определяют давление впрыскивания. Качество распыливания топлива форсункой определяют по характерному звуку. Если звук впрыскивания нечеткий и глухой, то необходимо снять форсунку и проверить ее состояние повторно, как указывалось. Если после 8—10 качающих движений рычагом приспособления стрелка манометра укажет давление не более 0,5—1 МПа, это также указывает на неисправность форсунки.

Для проверки форсунок применяют и другие простейшие приспособления и приборы — эталонную форсунку с тройником, максиметр. При параллельном подключении контроли-

руемой и эталонной форсунки или максиметра регулировкой рабочей форсунки добиваются одновременного впрыскивания топлива. При другом способе проверки форсунку снимают с головки блока и соединяют с трубопроводом высокого давления таким образом, чтобы впрыскивание топлива происходило в окружающий воздух.

Выявление неисправных форсунок по виброакустическим параметрам без снятия с двигателя может производиться вибротестером КИ-12343.

Нарушения установочного угла опережения впрыскивания и момента начала подачи топлива может привести к жесткой работе дизеля, перегреву и повышенному расходу топлива. Проверка угла и момента начала подачи топлива может производиться с помощью моментоскопа, стробоскопа, а также диагностических приборов, позволяющих определять характеристики топливоподачи по параметрам давления топлива в линии высокого давления.

4.2. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СОВРЕМЕННЫХ МАШИН

4.2.1. Электронные блоки управления и система диагностики

В настоящее время мобильные машины используют большое количество электронных систем, которые интенсивно обмениваются данными и информацией в процессе работы. Например, в современных автомобилях, тракторах и комбайнах задействовано до восьми-десяти независимых, но подстраивающихся друг под друга электронных систем, которые осуществляют также функции диагностирования. В качестве основных можно отметить следующие системы:

- управления работой дизеля;
- управления гидроприводом трансмиссии;
- управления рабочими органами (может быть несколько);
- комфорта и климат-контроля;
- навигации, связи и другие мультимедийные системы.

Сбор, обработка данных, подготовка алгоритмов и формирование управляющих сигналов для работы отдельных систем, агрегатов и всей машины в целом происходят в **электронных блоках управления (ЭБУ)**. Как правило, каждая электронная система имеет собственный ЭБУ, хотя нередко, особенно в автомобилях, несколько систем замыкаются в одном блоке. На рис.4.2 показаны основные блоки управления системами и агрегатами трактора John Deere серий 8000 и 9000.

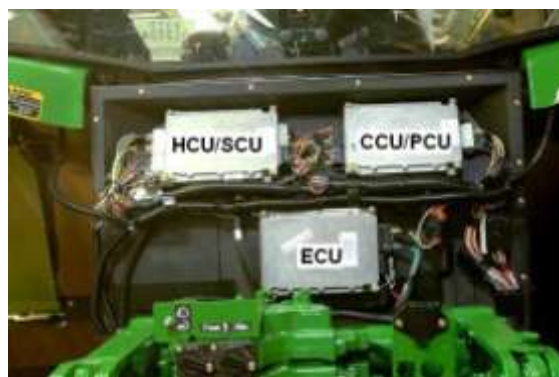
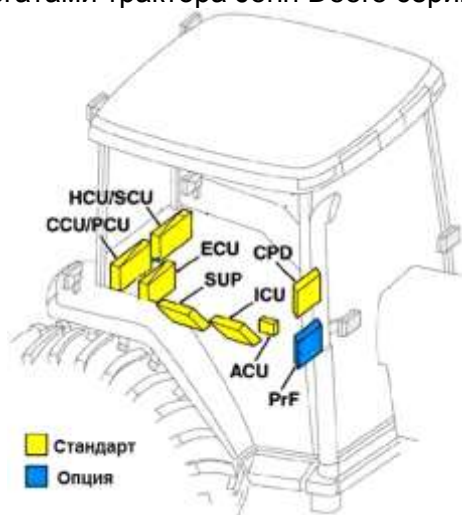


Рис.4.2. Электронные блоки управления (контроллеры) систем тракторов John Deere серии 8000 и 9000; ECU – управления двигателя;

CCU – формирования общей команды управления; PCU – переключения передач КП под нагрузкой; ACU – консоли CommandARM на подлокотнике сиденья; HCU – навеской (силовое и позиционное регулирование); SPD – панелью углового монитора; SUP – параметрами каждого контура гидросистемы рабочего оборудования; PrF – монитора слежения; ICU – связи с внешними приборами (для диагностирования).

Основные функции ЭБУ:

- постоянный контроль за входящими сигналами;
- преобразование аналоговых сигналов в цифровой вид;

- сравнение полученных данных с заданными;
- расчет необходимого сигнала управления в случае отклонения от заданного значения;
- управление электромагнитными клапанами;
- сохранение и обработка данных;
- обмен данными с пультом управления и диагностическим прибором;
- непрерывный контроль работы всех составляющих системы;
- контроль состояния загрузки (системы с датчиком давления);
- распознавание ошибок.

Современная система диагностирования может проводить оценку качества работы всех элементов системы, участвующих в общей схеме регулирования. На рис.4.3 приведена разработанная фирмой BOSCH схема функционирования системы управления дизеля грузовых автомобилей MS6.2 и линии подключения других систем, в том числе для диагностирования [27].

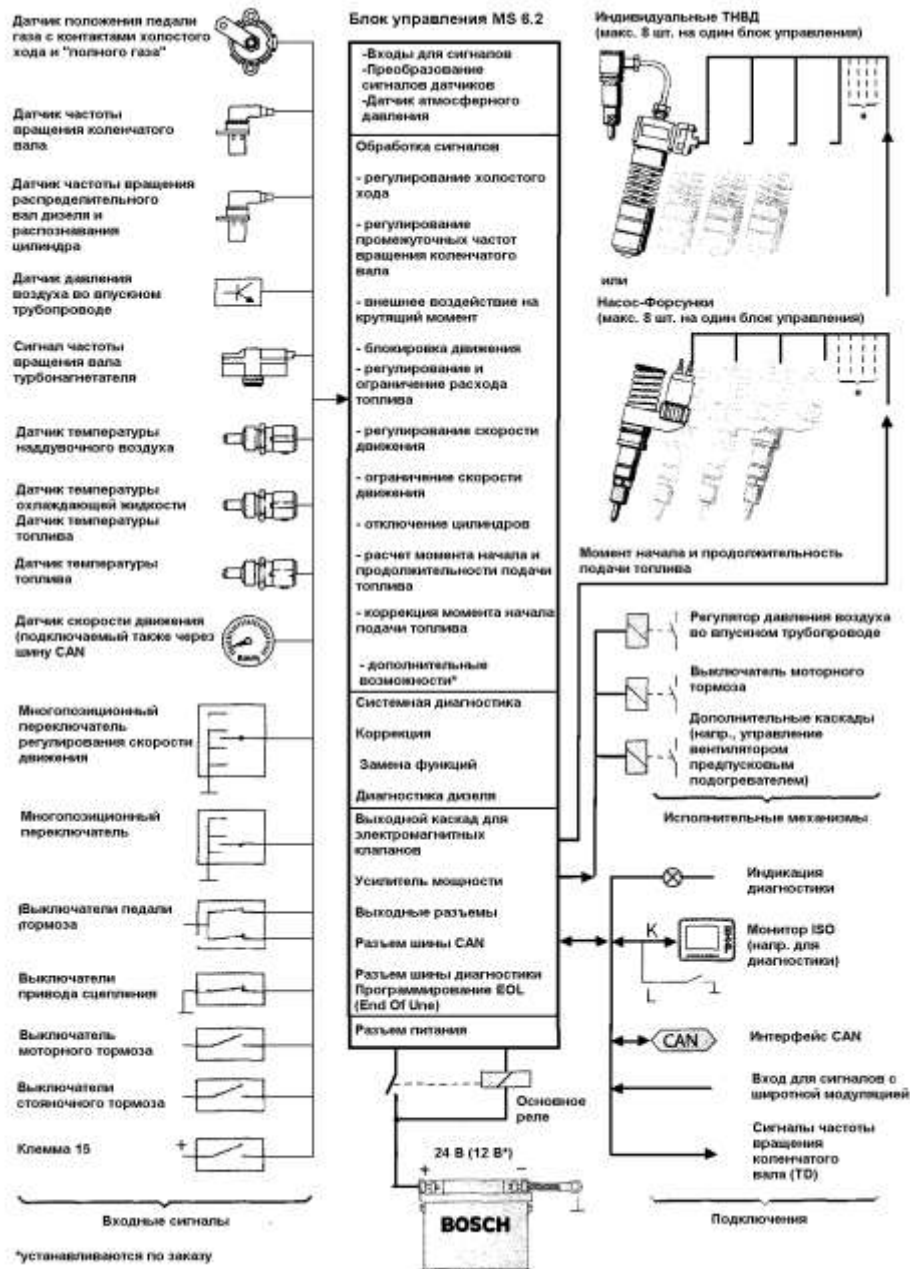


Рис.4.3. Схема функционирования электронной системы управления дизеля грузового автомобиля.

Здесь проведение непрерывного диагностирования множества датчиков, исполнительных механизмов и самого блока уже заложено в программу блока управления. Если же машина

снабжена дополнительными рабочими органами и системами, предназначенными для выполнения каких-либо технологических операций, то число датчиков и исполнительных элементов существенно увеличивается. Это объясняется стремлением производителей сельхозтехники, в первую очередь тракторов и комбайнов, обеспечивать оперативный контроль технологического процесса работы и технического состояния сложных агрегатов.

4.2.2. Стандарты интерфейса связи

Для обмена данными с «внешним» устройством диагностирования (тестером) бортовой системе требуется определенный интерфейс связи. Как правило, он устанавливается в соответствии со стандартом ISO 9141 и построен как однопроводной интерфейс с общим передающим и принимающим проводом или как двухжильный интерфейс с разделенными «линией передачи» (K- линия) и «линией приема данных» (L- линия). Эти последовательные интерфейсы работают со скоростью передачи от 10 бит/с до 10 кбит/с. В процессе диагностирования тестер посылает адресный сигнал всем блокам управления. Один из них распознает этот адрес и посылает назад код распознавания скорости передачи. Измеряя время между фронтами импульсов, тестер устанавливает скорость передачи сигналов, автоматически настраивается на эту скорость и устанавливает связь с блоками управления. Кроме вывода информации о неисправностях, почти все современные блоки управления позволяют в режиме реального времени выводить на диагностический разъем информацию о параметрах работы системы управления. В некоторых блоках управления с наиболее развитым самодиагностированием число выводимых параметров может достигать пятидесяти, на что затрачивается до 50% ресурсов микрокомпьютера. Большинство производителей машин для диагностирования разработанных электронных систем внедряют внутренние стандарты, в связи с чем предприятиям, эксплуатирующим технику, приходится приобретать дилерское оборудование к каждой конкретной марке машины.

Первая попытка ввести общий стандарт для диагностических устройств была принята в 1988 году в Калифорнии. Общество автомобильных инженеров (SAE) разработало и рекомендовало к применению на территории Калифорнии **стандарта CARB (California Air Resources Board) с диагностическим протоколом On Board Diagnostic (OBD-1)**. Данный стандарт был реализован только в отношении электрических элементов двигателя, влияющих на эмиссию отработавших газов, для проверки проводников на наличие обрыва или короткого замыкания. Сведения об ошибках передавались путем мигающей контрольной лампы на панели приборов или в виде циклически повторяющихся сигналов (блик-кодов) через устройства «внешнего» диагностирования.

В 1996 г. благодаря инициативе Службы обслуживания и ремонта транспортных средств и Агентства охраны окружающей среды был внедрен новый **стандарт для диагностических устройств OBD-II**, являющийся обязательным для всех транспортных средств, поставляемых на американский рынок. Основной целью введения единого стандарта для диагностических устройств является возможность посредством OBD-II сканеров получать данные, необходимые для оценки рабочего (экологически безопасного) состояния транспортных средств. Стандарт OBD-II распространяется только на основные системы транспортных средств - двигатель, автоматическую трансмиссию, антиблокировочную систему и воздушные подушки. Диагностирование систем, не влияющих на безопасность движения и экологию, в основном, возможно только дилерскими приборами, согласованными со стандартами заводов-изготовителей.

С 2000 года разработанный фирмой BOSCH **стандарт EURO OBD (EOBD)** становится обязательным и в Европе. Основным отличием данного стандарта от OBD-II является закрепление протокола CAN. Диагностический разъем EOBD аналогичен американскому, а для реализации связи по шине CAN использованы зарезервированные контакты [27].

В настоящее время совместно со EOBD стандартом в мобильных машинах используются и специализированные протоколы, посредством которых можно получить гораздо большее количество данных о состоянии силового агрегата и других систем, управляемых электронными блоками управления. **Внутренние стандарты заводов-производителей (OEM)** разработаны специально для дилерских приборов, которые должны выдавать максимум информации как о фактическом состоянии систем мобильных машин на момент диагностирования, так и о неисправностях, возникающих в процес-

се их эксплуатации. Как правило, несколько лет после выпуска новой модели производитель не открывает свободный доступ к информации о кодах ошибок при диагностировании электронных блоков и алгоритмах их исправления, предоставляя исключительное право диагностирования этих машин дилерским центрам.

Перспективы развития обмена данными между электронными системами мобильных машин связаны, прежде всего, с технологиями оптоволоконной связи, широко используемым пока только в мультимедийной области. Оптические системы позволяют передавать большие объемы информации с очень высокими скоростями, что существенно расширяет возможности взаимодействия независимых прежде электронных систем. Реализация таких намерений требует обязательных соглашений между различными производителями о единых интерфейсах и содержании функций. Фирма BOSCH одной из первых предложила **концепцию единого стандарта для всех систем управления и регулирования работы машины, реализованную в пакете программ CARTRONIC**. По замыслу производителей, отдельные функции управления выполняются разными блоками, а общее руководство осуществляет центральный координатор машины [27].

Таким образом, для обмена данными между машиной и устройством диагностирования в настоящее время используются различные стандарты (OBD-I, OBD-II, EOBD и OEM), реализующие следующие **протоколы обмена данными** между диагностическим тестером и ЭБУ:

- ISO 14230 (KWP keyword 2000);
- ISO 9141, SAE J 1850 PWM (широотно-импульсная модуляция) или VPW (переменная широкоотно-импульсная модуляция);
- ISO 15765 (протокол по CAN-шине применяемый в EOBD) и др.

Протоколы ISO 9141 и ISO 14230 совпадают по их аппаратной реализации, но различаются использованием линий обмена данными (ISO 9141- использует K и L, а ISO 14230 - только линию K). Протоколы SAE J 1850 PWM и SAE J 1850 VPW, несмотря на схожесть названий, аппаратно несовместимы и отличны от ISO 9141. Протокол CAN по ISO 15765-4 является наиболее перспективным, хотя несовместим с более ранними версиями по ISO 15031-1, ISO 11898-2 и пр.

4.2.3. Бортовая система диагностики

Неуклонное насыщение мобильных машин большим количеством электронных блоков, датчиков, исполнительных элементов существенно усложняет контроль их технического состояния, поиск и устранение неисправностей. В то же время у разработчиков техники появляется возможность, интегрировав в блок управления систему, которая бы анализировала проходящие через него управляющие и ответные сигналы, косвенно или напрямую оценивать работоспособность узлов мобильных машин. Это послужило предпосылкой появления в составе электронных блоков управления новой системы, получившей название **бортовая система диагностики**.

В большинстве электронных систем современных машин реализована бортовая система диагностирования, включающая в себя активное и пассивное диагностирование. **Активное** диагностирование предполагает проведение различных тестовых операций, **пассивное** - проводится путем сбора информации о состоянии блоков управления, датчиков и исполнительных механизмов систем с фиксацией распознанных ошибок.

Работа бортовой системы диагностирования основана на непрерывной проверке исправности основных электрических цепей, анализе откликов основных устройств на тестовые сигналы, измерении сигналов в определенных точках системы и сравнении их с эталонными. Многие проверки проводятся сразу после включения, а затем регулярно повторяются во время работы, чтобы оперативно выявлялся выход из строя любого конструктивного элемента.

Бортовая система диагностики осуществляет:

- идентификацию системы и блоков управления;
- контроль входных и выходных сигналов;
- контроль передачи данных и внутренних функций блока управления;
- считывание, распознавание и хранение статических и спорадических ошибок;
- считывание текущих реальных данных;

- программирование параметров и моделирование функций системы;
- согласование работы между ЭБУ разных систем.

Современные тенденции развития бортовой системы диагностирования характеризуются увеличением количества сигнальных указателей за счет введения новых датчиков и алгоритмов диагностирования и развитием диагностического контроля через **систему предупредительной сигнализации**.

Широкое использование системы предупредительной сигнализации с достаточно развитыми информационными возможностями уже фактически наблюдается в практике сельхозмашиностроения. К примеру, на многих моделях комбайнов механизатор имеет возможность постоянно контролировать состояние элементов привода и рабочих механизмов жатки, молотильного аппарата, двигателя, трансмиссии, расход топлива, потери и влажность обмолачиваемого зерна и др. и, в соответствии с полученной информацией, задавать наиболее рациональные режимы работы того или иного агрегата. Информация о работе наиболее важных систем выводится на **сигнальное табло**, установленное на панели кабины. На рис.4.4 приведена комбинация части табло с указателями предупредительной сигнализации трактора Claas Ares 836.



Рис.4.4. Комбинация части табло с указателями предупредительной сигнализации трактора Claas Ares 836.

- | | |
|---|---|
| 1- Контрольная лампа STOP (экстренная остановка) | 10- Контрольная лампа температуры масла трансмиссии |
| 2- Контрольная лампа давления моторного масла | 11- Контрольная лампа температуры охлаждающей жидкости мотора |
| 3- Контрольная лампа давления масла, низкого давления в гидравлической системе и заднем мосту | 12- Неиспользованная контрольная лампа |
| 4- Контрольная лампа, указывающая на забивание фильтра сухого воздуха | 13- Контрольная лампа уровня тормозной жидкости |
| 5- Контрольная лампа, указывающая на забивание фильтрующих элементов в гидравлической системе | 14- Контрольная лампа фарного освещения |
| 6- Контрольная лампа тревоги, связанной с обслуживанием машины | 15- Контрольная лампа заднего отбора мощности |
| 7- Контрольная лампа тревоги, связанной с уровнем топлива | 16- Контрольная лампа переднего вала отбора мощности |
| 8- Контрольная лампа состояния аккумулятора и индикатор диагностики трансмиссии | 17- Контрольная лампа мигающих огней трактора |
| 9- Контрольная лампа подогрева | 18- Контрольная лампа мигающих огней 1-го прицепа |
| | 19- Контрольная лампа мигающих огней 2-го прицепа |
| | 20- Контрольная лампа ручного тормоза |
| | 21- Контрольная лампа зарядки аккумулятора |

Помимо системы предупредительной сигнализации, современные мобильные машины оснащаются встроенной бортовой системой диагностирования. Такая система позволяет проводить непрерывный мониторинг узлов и агрегатов, с помощью специальных алгоритмов выявлять отклонения в их работе, фиксировать эти ошибки в памяти системы в виде определенных диагностических кодов неисправности (ДКН) и выводить на монитор при необходимости.

Доступ к диагностическим кодам неисправности производится в определенной для каждой модели машины последовательности и определяется возможностями бортовой системы диагностирования.

Одной из особенностей бортовой системы диагностики является максимальное использование ею информации, получаемой от датчиков. Если необходимо ввести дополнительные датчики, то они так же могут быть адаптированы в систему управления.

4.2.4. Технические средства диагностирования топливной аппаратуры машин, оборудованных бортовой системой диагностики

Встроенные (бортовые) системы технической диагностики (СТД) включают в себя входящие в конструкцию машины датчики, устройства измерения, микропроцессоры и устройства отображения диагностической информации. **Внешние СТД**, не входящие в конструкцию машины, в зависимости от их устройства и технологического назначения могут быть стационарными или переносными. Существует множество фирм-производителей технических средств диагностирования машин, оборудованных бортовой системой диагностики: MATCO, BEAR, ALLEN, SUN ELECTRIC, AVL, BOSCH, SNAP-ON, VETRONIX и др.

Технические средства диагностирования могут включать в себя в различных комбинациях следующие основные элементы:

- датчики, воспринимающие диагностические параметры и преобразующие их в сигнал, удобный для обработки или непосредственного использования;
- измерительные устройства и модули;
- устройства, позволяющие считывать данные с блоков управления машиной, двигателем, рабочими органами и агрегатами;
- устройства, задающие контрольные тесты или тестовый режим;
- кабели-адаптеры и переходники;
- компьютеры с соответствующим программным обеспечением;
- устройства отображения результатов (стрелочные и цифровые индикаторы, дисплей, монитор или экран осциллографа, принтер).

Как правило, одной диагностической установкой диагностируется и определяется работоспособность сразу нескольких систем машины. Внешние диагностические устройства по функциональным возможностям можно условно разделить на три группы (табл.4.1).

Сканер является современным многофункциональным диагностическим прибором, который используется для выявления и устранения неисправностей электронной системы управления (ЭСУ), исполнительных механизмов и датчиков. Сканер работает только в комплекте со сменным картриджем, который должен соответствовать модели проверяемого БУ. Прибор снабжается многофункциональным дисплеем для вывода данных. Сканер через специальный диагностический разъем (колодку) по линии K-line или CAN-шине подключается и обменивается информацией с электронным блоком управления (контроллером) и имеет возможность получать информацию от датчиков. Методика проведения диагностических воздействий и номенклатура определяемых параметров может быть различной в зависимости от модели БУ и соответствующего ему картриджа. Наиболее широко эти приборы применяются при диагностировании двигателей с электронным управлением.

В более развернутом виде **основные функции сканера** можно определить следующим образом:

- считывание памяти неисправностей и сброс ошибок: можно считывать, сбрасывать и выводить на дисплее обычным текстом неисправности, выявленные во время работы собственной системой диагностики машины и зафиксированные в памяти неисправностей;
- считывание фактических значений: можно считывать как физические величины действительные значения, которые рассчитывает блок управления работой дизеля (угол опережения впрыска, цикловая подача, частота вращения коленчатого вала двигателя в мин⁻¹ и др.);
- диагностирование исполнительного механизма: можно управлять электрическим актюатором для проверки функционирования (запуск сигналов-имитаторов с памяти БУ на исполнительный механизм);
- тест двигателя: можно запускать запрограммированные в БУ двигателя проверочные прогоны для испытания системы управления работой дизеля или самого дизеля (пуск-прогрев двигателя, разгонной динамики, прокрутки двигателя, режим отключения цилиндров и др.);
- корректировка параметров и программирование: можно заново перепрограммировать блок управления регулятором частоты вращения коленчатого вала (внесение коррекций в параметры опережения впрыска и топливоподачи для их соответствия с реальными условиями эксплуатации, модернизация версии программного обеспечения и др.).

Таблица 4.1. Классификация технических средств диагностирования машин, оборудованных бортовой системой диагностики

Наименование, составные элементы	Основные функции и возможности
Сканер (сканер, кабель-адаптер, набор картриджей по вариантам ЭСУ)	<ul style="list-style-type: none"> - считывание из памяти БУ системных данных и кодов неисправностей; - сброс кодов неисправностей; - считывание фактических значений с БУ и датчиков; - диагностика исполнительных механизмов; - тест системы по плану программы БУ; - корректировка параметров и перепрограммирование БУ.
Системный тестер (блок системного тестера, набор кабелей-адаптеров, компьютер, программное обеспечение)	<ul style="list-style-type: none"> - все функции сканера тестера; - функция мультиметра; - развертка по времени текущих измеряемых величин на экране; - дополнительные сведения по базе данных компьютера; - сохранение и вывод данных.
Мотор тестер (блок мотор тестера, набор кабелей-адаптеров, блок системного тестера, измерительные модули, компьютер, программное обеспечение)	<ul style="list-style-type: none"> - все функции системного тестера; - функции осциллографа; - проведение тестовых испытаний по собственной программе с последующим расчетом; - измерение неэлектрических сигналов с последующим цифрованием и обработкой; - анализ состава отработавших газов

Диагностический прибор позволяет осуществить считывание кодов неисправностей в контроллере, а также стирание их без отключения аккумуляторной батареи от бортовой сети автомобиля. После считывания кодов неисправностей можно просмотреть их описания в инструкции по эксплуатации или другой технической документации. В случае наличия неисправности контроллера или повреждения в соединительных диагностических кабелях проведение диагностирования сканером становится невозможным. Прибор имеет ограничения. В частности, если сканер отображает команду контроллера, то это не означает, что требуемое действие произошло, так как команда выполняется соответствующим исполнительным устройством, которое может в этот момент неисправно. На каждую модель ЭБУ требуется наличие оригинального картриджа. Сканер выполняется в портативном виде, наиболее доступен по стоимости для индивидуальных пользователей машин, применяется на станциях техобслуживания однотипных моделей машин.

На рис.4.5 показан сканер отечественного производства ДСТ-2М.



Рис.4.5. Сканер ДСТ-2М со сменными картриджами и адаптером



Рис.4.6. Блоки системных тестеров серии KTS фирмы BOSCH

Системный тестер (или системный сканер) - это стационарный или портативный компьютерный тестер, предназначенный для диагностирования различных электронных систем управления посредством считывания цифровой информации по линии последовательного интерфейса диагностического разъема.

В системном тестере предусмотрены все функции сканера, расширенные следующими возможностями (см. табл.4.5):

- функция мультиметра: можно измерять силу тока, напряжение и сопротивление в режиме обычного мультиметра;
- развертка по времени: можно представить текущие измеряемые величины графически на экране монитора;
- дополнительные сведения: можно приложить к показанным неисправностям и соответствующим компонентам особые дополнительные сведения (инструкции, расположение и поверочные параметры агрегатов, электрические схемы и др.);
- сохранение и вывод данных: можно сохранить и выводить на печать все данные на стандартных принтерах персональных компьютеров (карта диагностирования, список фактических значений различных тестовых параметров и др.).

В отличие от сканера в системном тестере используется на несколько порядков большая информация и данные по процессу диагностирования различных машин. При этом эта информация может периодически обновляться через инсталляцию на CD.

Диагностирование блока управления может начинаться персональным компьютером с вызова руководства по поиску неисправностей системы информации сервиса и считывания из памяти неисправностей в блоке управления работой дизеля. Результаты диагностирования могут восприниматься непосредственно системой электронной обработки в отделении ремонта сервисной станции для формирования базы данных.

Широкое применение в предприятиях автосервиса нашли системные тестеры фирмы BOSCH серии KTS (рис.4.6), которые позволяют провести качественное диагностирование двигателей большинства и тракторов и комбайнов. Провести диагностирование других специализированных узлов (гидросистемы, трансмиссии, рабочего оборудования) удается редко из-за отсутствия доступа к данным завода-изготовителя. Для предприятий технического сервиса зарубежных машин сельскохозяйственного назначения фирмы-производители практически всегда используют дилерскую систему.



Рис.4.7. Специализированный системный тестер ADVEISER для диагностирования мобильной техники фирмы John Deere.

Наиболее широкими возможностями обладают **специализированные системные сканеры**, используемые сервисной сетью того или иного производителя. Как правило, именно такие приборы используются дилерами зарубежных фирм производителей тракторов и сельскохозяйственной техники. Главные недостатки их - специализация на моделях одного производителя, высокая цена и возможность покупки только на дилерских условиях. На рис.4.7 показан прибор Service ADVISOR™ для диагностирования мобильной сельскохозяйственной техники фирмы John Deere. Аналогичный прибор для строительных машин Service EXPERT™.

Мотор-тестер (МТ) - универсальный прибор, относящийся к "фундаментальным" средствам диагностирования, используется для комплексной диагностики машины, двигателя и его систем. Класс сложности и уровень комплектации определяют его возможности по быстрому и эффективному обнаружению неисправности. В **мотор-тестере** возможности системного сканера существенно дополнены (см. табл.4.1):

- наличие возможности одновременного измерения большого количества электрических сигналов в любых электрических цепях, включая высоковольтные и отображения формы и характера изменения этих сигналов во времени в режиме осциллографа;
- проведение тестовых испытаний и расчетные функции. МТ может производить тестовые испытания двигателя или системы по собственной программе (сканер и системный тестер запускают «защитые» в БУ тесты). Т.е. МТ способен оказывать на систему испытательные воздействия и на основании анализа ее реакции делать вывод о состоянии исполнительных механизмов. Примером такого расчета может быть баланс мощности, эффективность по цилиндрам;

- измерение незлектрических сигналов, к которым следует отнести в первую очередь давление топлива, масла, воздуха и др. с преобразованием их с аналогового на цифровой вид;
- анализ состава отработавших газов.

Мотор-тестер выполняется, как правило, на базе персонального компьютера и может быть **стационарным, консольным или портативным**. В стойку МТ встраивается многокомпонентный газоанализатор, специальный модуль-анализатор двигателя, собирающий и обрабатывающий информацию с помощью целой группы тест-кабелей и датчиков, соединенных с поворотной консолью. При тестировании МТ производит сбор, обработку и вывод информации по результатам испытаний на ряде режимов: прокрутка стартером, работа на нескольких скоростных режимах, режим резкого ускорения, режим баланса мощности (отключения цилиндров). По результатам тестирования можно получить информацию об относительной компрессии в цилиндрах, параметрах системы зажигания, стартерном токе, составе отработавших газов и др. В памяти ЭВМ имеются значения измеряемых параметров для большого числа машин различных производителей. Поэтому выход параметра за пределы фиксируется и выводится оператору для анализа. Наиболее востребованной функцией МТ является возможность имитировать сигналы различных датчиков (лямбда-зонд, расходомер воздуха, датчик температуры и т.д.) и, за счет этого, фактически выключать из работы в процессе диагностирования подозрительные элементы системы. Это позволяет проверять работоспособность датчиков и качество электрических соединений без отключения их от машины и диагностировать неисправности, которые раньше приходилось локализовать лишь методом пробной замены деталей.

Программное обеспечение МТ позволяет фиксировать сигналы в электронных и электрических автомобильных системах как функции тока или напряжения, проводить прямое сравнение измеренных сигналов с базами эталонных значений. В числе одной из последних разработанных функций мотор-тестера - физический тест прохождения сигнала по шине CAN. Принцип гибкого построения позволяет легко адаптировать МТ под вновь выпускаемую технику. Это осуществляется записью необходимой информации в память системного блока, при этом аппаратная часть остается практически неизменной.

Современной отечественной компьютерной диагностической системой является «Автомастер АМ1» (рис.4.8, а). Для диагностирования ТА комплекс оборудован газоанализатором (дымомером), стробоскопом, накладным пьезопленочным датчиком фирмы AVL. Характеристика давления топлива в линии нагнетания, получаемая при диагностировании и выведенная на экран монитора, может сравниваться с эталонными кривыми. В связи с конструктивными особенностями диагностируемых зарубежных ТПС иногда не удается подсоединиться к требуемой точке диагностирования.



Рис.4.8. Мотор-тестеры «Автомастер АМ1» (а), FSA 740 (б), FSA 560 (в).

Из зарубежных разработок можно отметить диагностические приборы BOSCH FSA740 и FSA 560 с однотипными функциями (рис.4.8,б и в).

Стационарный компьютерный стенд анализа систем автомобилей имеет встроенный сканер кодов ошибок электронного блока управления, базу данных по автомобилям для сравнения показаний с заводскими параметрами, программу пошагового диагностирования двигателей с указанием порядка действий, генератор сигналов, позволяющий проверять датчики и соединения не отключая их от автомобиля, осциллограф с частотой развертки до 50 МГц. Встроенная информационная система на жестких носителях содержит схемы, информацию об установке, диагностировании узлов и систем для более 160 автомобильных систем и более 15 000 вариаций типов автомобилей. В процессе работы предусмотрено тестирование двигателя, включая анализ отработавших газов, сравнение измеренных значений с заводскими параметрами, считывание кодов ошибок и диагностирование электронных систем по симптомам ошибок.

FSA 740 позволяет диагностировать:

- бензиновые и дизельные двигатели до 12 цилиндров;
- контактную и бесконтактную системы зажигания, а так же системы зажигания с электронным управлением и с одно- и двухискровыми катушками зажигания;
- карбюратор, механические и электронные системы впрыска, лямбда-регулировка систем питания;
- электронную систему управления автоматической КП;
- электронную систему дизельного впрыска;
- электронные системы безопасности (ABS/ASR);
- прохождение сигнала по шине CAN;

Как и «Автомастер AM-1», FSA 740 может быть оборудован дополнительным накладным пьезопленочным датчиком для диагностирования топливopодающих систем дизелей, но в отличие от первого не содержит эталонных кривых для сравнения.

Мотор - тестеры относятся к наиболее дорогим средствам технического диагностирования и их применение наиболее эффективно на станциях технического сервиса, ориентированных на широкий спектр обслуживания машин и техники.

4.3 ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МАШИН

4.3.1 Подключение диагностических средств к диагностической колодке или адаптеру

Подключение диагностического тестера к электронной системе машины производится через предусмотренную разработчиками диагностическую колодку (рис.4.9, а) или путем введения универсальных адаптеров между элементами штепсельного разъема ЭБУ (рис.4.9, б). Если производится проверка только конкретного устройства (блока управления ТНВД), тестер подсоединяется непосредственно к штепсельному разъему через специальные адаптеры.



Рис.4.9. Подключение диагностического прибора через диагностический разъем (а) и адаптер (б).

В мобильных машинах имеющих несколько электронных блоков управления, диагностические разъемы могут быть установлены в различных местах, как правило, в кабине на панели приборов или под щитком и снабжаются защитным колпачком. Вполне допус-

тимо, что в транспортных средствах одного типа могут быть установлены блоки управления различных изготовителей, для которых требуются разные диагностические программы. На рис.4.10 приведены диагностические разъемы трактора и комбайна.

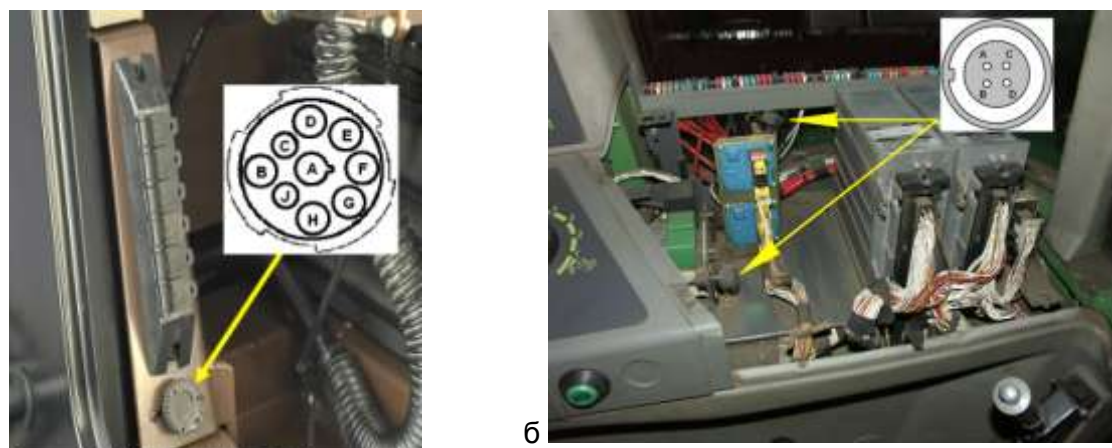


Рис.4.10. Диагностические колодки комбайна John Deere (а) (на панели) и Fendt Favorit Vario (б) (открыт боковой щиток) : А – масса; В – +12 В; С – CAN -N; D – CAN –L.

Стандартный диагностический разъем для всех машин представляет собой трапециевидный штекер с 16-тью контактами (рис.4.11). Определенные контакты зарезервированы под диагностирование по различным протоколам: выводы 7 и 15 для диагностирования по протоколу ISO, выводы 2 и 10 для диагностирования по протоколу SAE, выводы 6 и 14 для диагностирования по протоколу CAN, выводы 4, 5 и 16 для подачи питания.

Зарезервированные контакты, как правило, замкнуты на систему управления двигателем, хотя иногда здесь же могут быть подключены и другие системы.

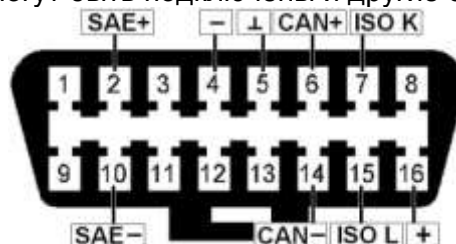


Рис.4.11. Стандартные выводы диагностического разъема OBD-II: 2 – положительный сигнал для диагностики SAE; 4 – масса автомобиля; 5 – масса сигналов; 6 – высокоскоростная CAN; 7 – K- линия для диагностики ISO; 10 – отрицательный сигнал для диагностики SAE; 14 – низкоскоростная CAN; 15 – L- линия для диагностики ISO; 16 – +12 V аккумуляторная батарея.

Связь с каким-либо блоком управления в машине - это сложный процесс. Только при безупречном и правильном соединении контактов будет обеспечено установление связи. Прерывание контакта даже на кратчайшее время или неплотный контакт, а также слишком большие переходные сопротивления препятствуют установлению надежной связи. Поэтому адаптации придается особенное значение. Наиболее надежная и простая адаптация обеспечивается, как правило, при использовании специальных адаптерных проводов изготовленных производителями машины, например, мультиплексора CARB для автомобилей.

Мультиплексор CARB - это адаптерный провод для диагностических тестеров, используемый только в том случае, если в автомобиле имеется стандартный диагностический разъем. С помощью мультиплексора CARB можно проводить диагностирование на различных выводах диагностического разъема с использованием K-провода, интерфейса SAE или интерфейса CAN без дополнительного переключения, причем после подсоединения провода к тестеру можно сразу же начинать работу, не проводя предварительных настроек. Стандартная настройка мультиплексора обеспечивает проведение диагностирования с использованием K-провода на выводе 7 и L-провода на выводе 15, диагности-

рование по SAE через вывод 2 и вывод 10, а также диагностирование с использованием интерфейса CAN на выводе 6 и выводе 14.

При использовании мультиплексора CARB необходимо, чтобы для соответствующей марки машины блоки управления одной группы во всех автомобилях выходили на один и тот же вывод. Диагностирование систем, которые выходят не на стандартизованные выходы диагностического разъема, должна проводиться с помощью адаптерного блока OBD и универсального адаптерного провода.

4.3.2. Диагностические коды неисправностей

Процесс диагностирования машины, в том числе оборудованной электронными системами, начинается, как правило, с анализа кода неисправности и визуального осмотра датчиков, исполнительных механизмов, соединительной проводки и самих электронных блоков, оценки их температурного состояния или заключения о неисправности на основе логического мышления: двигатель не развивает полной мощности, плохой запуск, нарушение функционирования рабочих органов, системы климат-контроля и т.д.

При поиске неисправностей и диагностировании сервисные мастера должны хорошо знать устройство машины. Например, в тракторах Favorit 824 фирмы Fendt в систему CAN-BUS объединены система управления двигателем EDC, система управления передней подвеской K-BUS, система управления КПП G-BUS и система управления BOM M-BUS (рис.4.12).

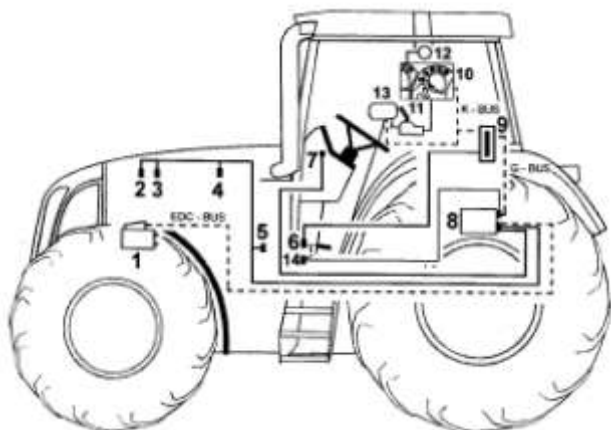


Рис.4.12. Расположение элементов систем управления двигателем на тракторе Fendt Favorit 824: 1 – ТНВД; 2, 3, 4, 5, 6, 14 – датчики наддува, хода иглы, температуры охлаждающей жидкости, частоты вращения, положения педали подачи топлива, педали газа; 7 – замок зажигания; 8 – блок управления двигателем; 9 – электронный блок комфорта; 10 – панель управления; 11 – рычаг положения передачи; 12 – ручной газ; 13 – дисплей.

Оценка **бортовой системой диагностики** качества работы топливоподающей системы с ТНВД VP44 с электронным управлением трактора Claas Ares 836 производится на основе анализа работы датчиков, исполнительных элементов ТНВД и двух ЭБУ – двигателя и ТНВД. ЭБУ двигателя контролирует все рабочие параметры двигателя при помощи различных датчиков (датчик скорости вращения, температуры и др.). После сравнения их величин с значениями базовых характеристик, управляющие сигналы по цикловой подаче и углу опережения впрыскивания поступают через шину CAN в ЭБУ насоса, который управляет непосредственно ЭМК высокого давления ТНВД и ЭМК автомата опережения впрыскивания.

При входе в режим диагностирования контрольная лампа на панели приборов в виде батареи, перечеркнутой молнией, (или светодиод) на щитке приборов мигает с определенной последовательностью и по которой определяется диагностический код неисправности (ДКН) (рис.4.13).



Рис. 4.13. Алгоритм считывания кода неисправности по частоте мигания светового диода.

Например, длинная пауза - одно мигание – короткая пауза – шесть миганий соответствует ДКН 16. Далее по руководству поиска неисправностей трактора Claas Ares 836 находится: ДКН 16 – значение напряжения от датчика акселератора ниже допустимой величины (0,5V). Резюме - датчик неисправен, короткое замыкание или обрыв в цепи

датчика. Один из других неисправностей по коду ДКН 95 – Нет соответствия между моментом впрыска полученного с ЭБУ насоса и моментом впрыска с ЭБУ двигателя. Резюме – не функционирует датчик положения вала насоса, следует заменить насос. Аналогично анализируются и другие ДКН.

Одна из наиболее совершенных систем бортовой диагностики применяется в комбайнах John Deer 9000-серии. При этом используется угловая панель Commandtouch расположенная на передней правой стойке кабины (рис.4.14).

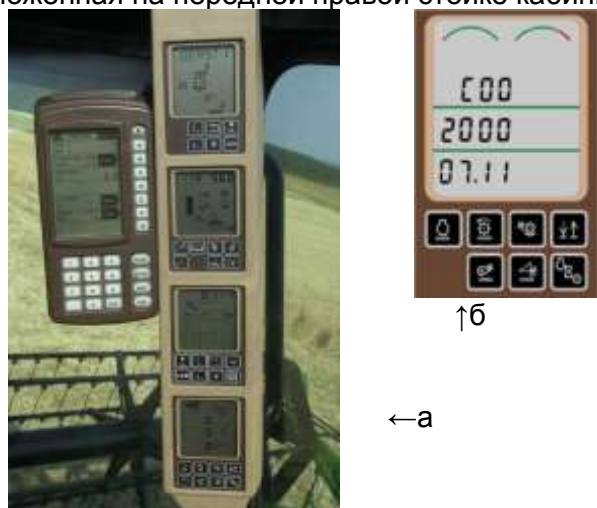


Рис.4.14. Угловая панель Commandtouch с дисплеем Green Star комбайна John Deer 9000-серии: а - общий вид; б - дисплей встроенной бортовой системы диагностики: С00 – адрес блока управления, установленного в подлокотнике, 2000 и 07 – номер подозрительного параметра, 11 – идентификатор режима неисправности.

При активировании системы вывода информации бортовой системы диагностики на дисплее появляется соответствующая надпись с предложением выбрать электронный блок для опроса его памяти. Тип выбранного блока фиксируется во второй строчке информационного дисплея (рис.4.14, б).

На данных моделях комбайна установлено семь электронных блоков управления и каждый имеет свой адрес:

- A00 – управление двигателем;
- C00 – блок управления в подлокотнике;
- C03 – угловая панель управления;
- E00 – блок контроля и управления недомолота;
- E01 – блок управления жаткой;
- E02 – правый блок управления;
- E03 – левый блок управления;
- ALL – все блоки управления.

После выбора блока путем нажатия на клавиши со стрелками «вверх» и «вниз» осуществляется доступ к диагностическим кодам неисправности. Если ошибка в опрашиваемом блоке не была зафиксирована, на дисплее выводится надпись «non Code»; если неисправность имела место – высвечивается ДКН. Расшифровка основных ДКН приведена в руководстве по эксплуатации машины, более подробная информация, включающая алгоритмы устранения неисправности, как правило, предоставляется исключительно дилерам фирмы-изготовителя.

После чтения кодов неисправности память бортовой диагностики должна быть очищена, для чего предусмотрена специальная функция. Если неисправность не устранена – соответствующий ей ДКН стираться не будет. Для полной проверки всех систем рекомендуется завести двигатель комбайна, после чего еще раз провести чтение ДКН.

Каждый диагностический код неисправности имеет свой статус приоритета, который позволяет бортовой системе диагностики в процессе работы комбайна анализировать об ошибке или, при необходимости, вообще заблокировать работу агрегата или машины в целом.

При возникновении ошибки, имеющей **статус приоритета 1**, дисплей угловой приборной панели переходит в режим постоянного отображения ДКН, подается звуковая и световая сигнализация. Это указывает на наличие неисправности, требующей остановки машины, немедленного включения двигателя и устранения возникшей неисправности. Соответствующий ДКН будет оставаться на панели до устранения неисправности. Для исключения работы машины с вышеуказанной неисправностью многие автомобили, тракторы и комбайны снабжаются автоматической системой выключения двигателя. Например, при достижении предельных величин давления масла и температуры двигателя и трансмиссии и пр. блок управления отключает подачу питания на соленоид – выключа-

тель подачи топлива ТНВД. Система останова двигателя приводится одновременно с указателем **Stop engine**. Двигатель остановится спустя тридцать секунд после приведения в действие указателя останова двигателя.

Если у ДКН **статус приоритета 2**, то на дисплее загорается индикаторная лампочка. Это указывает на наличие неисправности, требующей немедленной проверки.

При **статусе приоритета 3** ДКН будут сохранены в памяти ЭБУ, но оператор не получает никакого сигнала.

Приоритет «тяжелой» неисправности присваивается отказу, при котором невозможно обеспечить надежную работу двигателя. При этом работа двигателя блокируется. При инициализации «средней» неисправности двигатель работает только на повышенной частоте холостого хода, обеспечивая тем самым функционирование наиболее важных систем. При обнаружении «легкой» неисправности система диагностики ограничивает мощность двигателя и информирует оператора об ошибке. «Очень легкая» неисправность не вызывает отклонений в работе, т.к. при этом сигналы с неисправных датчиков снимаются с дублирующих или принимаются блоком управления по умолчанию согласно заложенной программе.

Для ДКН протоколов OBD II и OEM существует общая для всех автопроизводителей система обозначений – буква и четыре цифры (рис.4.15).

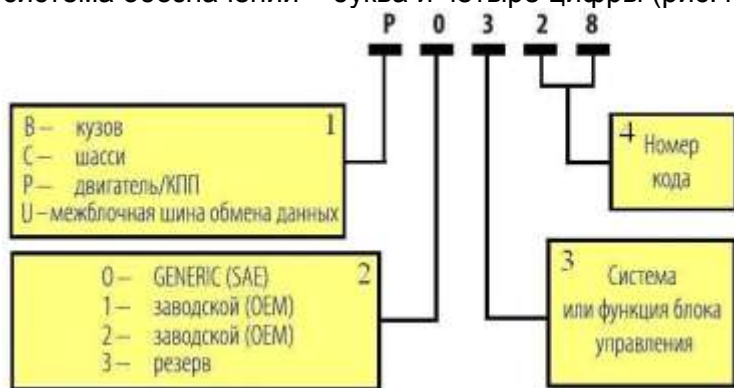


Рис.4.15. Система обозначения ДКН автопроизводителей.

Первая позиция ДКН (то есть буква) указывает на тот механизм машины в которой зафиксирована ошибка – P (Powertrain - двигатель и трансмиссия), C (Chassis - шасси), B (Body - кузов) и U (Network – шина обмена данных CAN).

Вторая позиция определяет уровень доступа к описанию ДКН. Нулевое обозначение указывает на то, что данный ДКН является базовым (Generic), то есть одинаково описывает неисправность, вне зависимости от модели и марки машины. Например, код P0335 означает одну и ту же проблему для любого автомобиля, поддерживающего требования OBD II / EOBD – неисправность датчика положения коленчатого вала. Это позволяет универсальным сканерам разных производителей расшифровывать ДКН.

Цифры 1 или 2 на второй позиции ДКН показывают, что данные коды являются расширенными, то есть имеют разную расшифровку для разных производителей согласно их заводских OEM протоколов.

Третья позиция (или вторая цифра) в обозначении кода более узко идентифицирует неисправность, указывая на подсистему блока либо на определенную функцию, выполняемую блоком управления:

- 1 – измерение нагрузки и дозирование топлива;
- 2 – подача топлива, система наддува;
- 3 – система зажигания и регистрация пропусков воспламенения смеси;
- 4 – системы уменьшения токсичности;
- 5 – система холостого хода, круиз-контроль, система кондиционирования;
- 6 – внутренние цепи и выходные каскады блока управления;
- 7 и 8 – механизмы трансмиссии (АКП, сцепление и т.п.).

Составляющие четвертую позицию цифры – это собственно номер ДКН, идентифицирующий неисправную цепь или компонент.

Несмотря на положительные стороны встроенной бортовой системы диагностики ее информации недостаточно для квалифицированного поиска неисправностей и их устранения. В процессе наладки сложных электронных систем требуется не только информация об ошибках, но и фактические значения сигналов поступающих с различных датчиков, следящих и исполнительных механизмов. Для активного общения с электронными системами управления мобильных машин необходимо подключение внешнего диагностического

прибора: сканера, системного тестера или мотор тестера. Как правило, процесс диагностирования начинается с выбора и изучения информации по обслуживаемой машине.

4.3.3. Установка информационного обеспечения, подключение приборов и диагностирование

Рассмотрим использование **информационного обеспечения** машины на примере универсальной программы ESItronic, разработанной фирмой BOSCH для собственной сервисной сети во всем мире.

После запуска программы и появления информационного окна (рис.4.16) производится выбор модели машины из общей базы данных по ее классификационным признакам: виду, марки, серии, типу и характеристике двигателя. Можно задать и дополнительные критерии поиска, например, год выпуска, рабочий объем, мощность силовой установки.

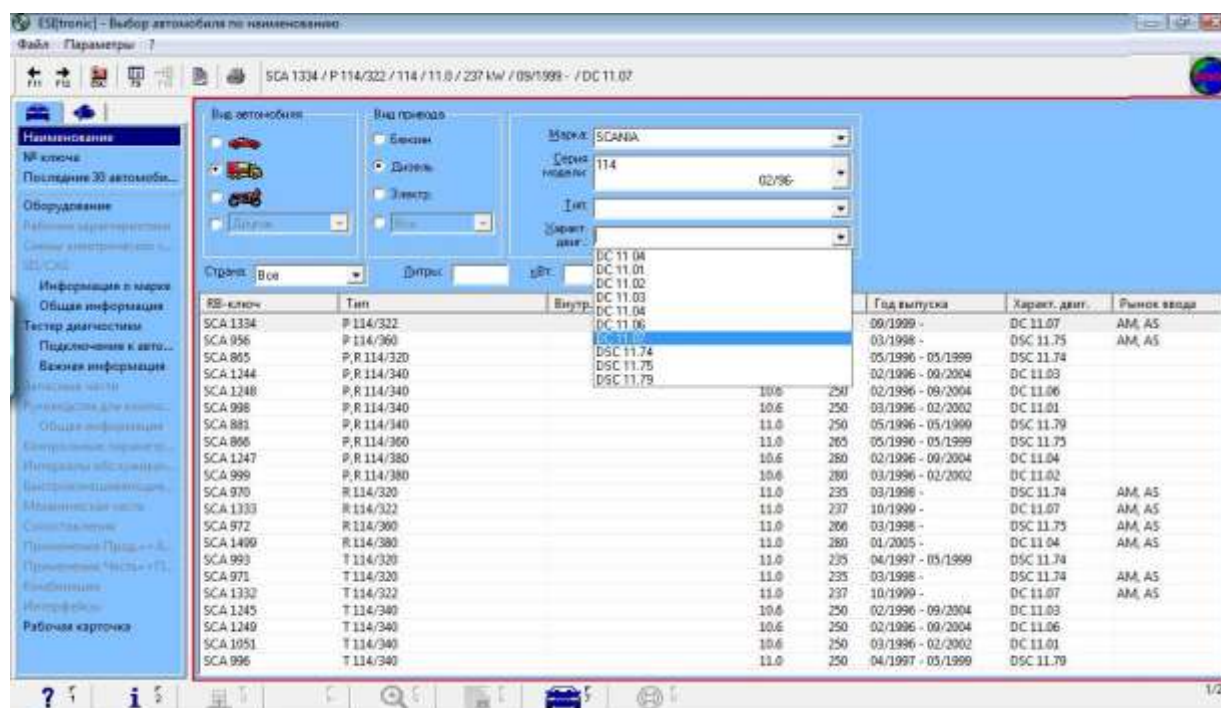


Рис.4.16. Выбор машины из общей базы данных по наименованию.

После идентификации модели можно, (в зависимости от допуска, предоставленного производителем) перейти непосредственно к интересующему разделу: каталогу запчастей, диагностической программе, библиотеке электрических схем, норм времени на ремонт и т.д.

Допуск к разделам программы предоставляется путем ввода пароля соответствующего идентификационному коду предприятия или путем установки защищенного от перезаписи DVD – диска. Существуют варианты сервисных программ, где DVD – диски оформлены по виду или модели техники, может быть оформление по тематике разделов сервисной информации и др.

Информация для проведения диагностирования системы излагается в документации по техобслуживанию или указаниях для конкретной модели диагностируемой машины. Эти сведения можно получить также из электронной сервисной информации (рис.4.17).

После изучения инструкции следует произвести работы по **подключению диагностического прибора к обслуживаемой машине** с помощью адаптерного блока OBD, универсального адаптерного провода или мультиплексора CARB.

В случае отсутствия специального адаптерного провода допускается воспользоваться для адаптации подходящим испытательным проводом. Если при этом адаптируется неправильный вывод, связь просто не будет установлена. В виду сложности функционирования системы и взаимосвязи различных систем между собой, диагностирование некоторых систем может быть проведено только при выполнении определенных условий. Условия определяют-

ся соответствующей системой. Так, например, для одной системы управления двигателем необходимо, чтобы двигатель работал, а для другой, наоборот, условием для установления связи является нерабочее состояние двигателя. При запуске диагностической программы для тормозных систем (ABS, ABS/ASR, ABS/ABD, ESP) нередко частота вращения колес не должна превышать определенный предел, обычно 10 км/ч, а в некоторых случаях даже 0 км/ч. В то же время, после установления связи, машину можно перемещать и вращать колеса от руки или на тормозном стенде, при этом связь не будет разрываться.

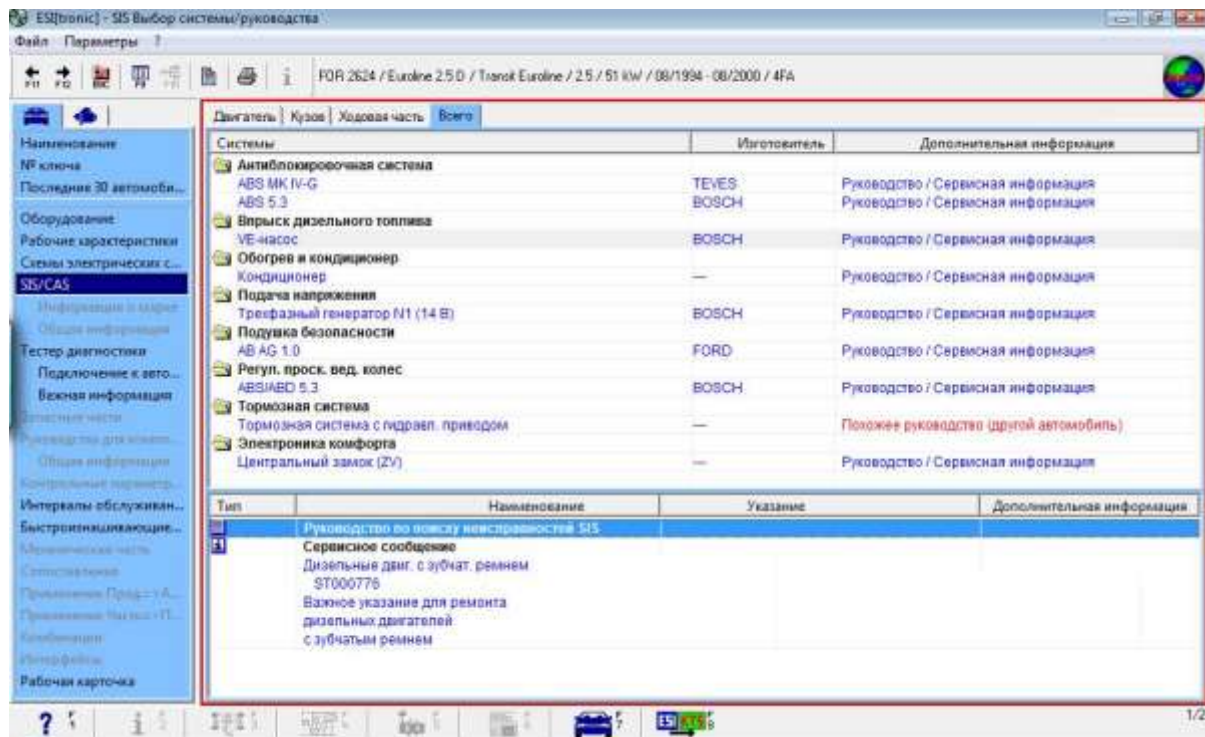


Рис.4.17. Список разделов сервисной информации и места ее расположения для указанной модели техники.

В ряде случаев при установке неоригинального дополнительного оборудования (например, магнитолы) тестер не распознает никаких электронных систем. Естественно диагностирование в этом случае невозможно, поэтому для устранения этой проблемы приходится временно отключать конфликтующее оборудование.

После выбора конкретной модели машины и входа в диагностическую программу предлагается **выбрать необходимые для сканирования электронные блоки из имеющихся систем управления на данной модели** (рис.4.18).

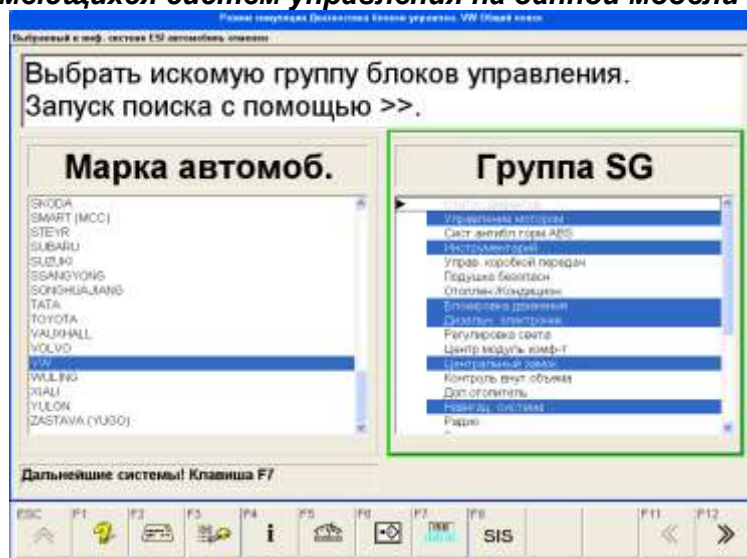


Рис.4.18. Выбор блока управления.

По умолчанию программа определяет все доступные для обмена информацией блоки. На данном этапе предусмотрены различные подпрограммы облегчающие диагностику. Например, выбор диагностического протокола связи (ISO, CAN, SAE) (F7), просмотр информации об особенностях модели и расположению диагностиче-

ской

колодки (F4), пошаговый переход непосредственно к конкретному электронному блоку (F3).

Диагностирование с помощью внешних систем технической диагностики.

После установки связи выбирается необходимый тип блока и производится работа с выбранным блоком. **Каждый блок сканируется отдельно.** Возможности диагностирования ограничиваются функциями блока, но обязательно содержат идентификацию, опрос памяти и стирание ошибок (рис.4.19). Причем стирание памяти невозможно без предварительного ее опроса.

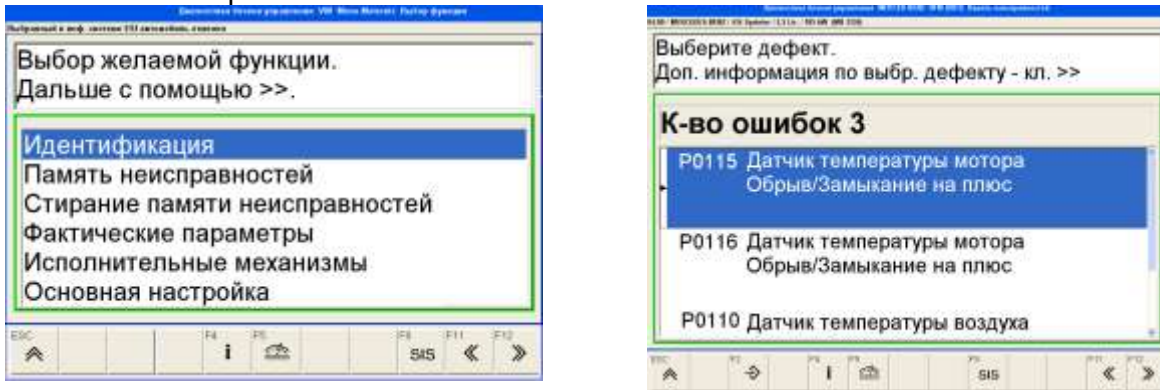


Рис.4.19. Процесс идентификации блоков.

При наличии ошибок в памяти выводится информация, которая содержит код ошибки, элемент конструкции и причину ошибки. После определения кодов ошибки можно перейти в программу сервисной информации для подробного ознакомления с алгоритмами устранения данной неисправности. Для этого в программе имеются таблицы с расшифровкой ДКН для каждой модели техники (рис.4.20).

Code	Ошибка	Тип ошибки
P0654	Выход сигнала числа оборотов мотора	
P0817	цепь разрыва стартера	
P1213	Ключ противоугонной блокировки	Ошибка установления св ази
P1246	Нагрузка генератора	активно
P1288	Контроль температ. блока цилиндров	вне диапазона
P1342	Датчик параметров педали (Датчик 1)	Нарушение функции
P1343	Датчик параметров педали (Датчик 2)	Нарушение функции
P1344	Датчик параметров педали (Датчик 3)	Нарушение функции
P1474	Вентилятор 1	Нарушение функции
P1479	Вентилятор 2	Нарушение функции
P1543	Дополнительный обгорев 1	Электр. ошибка , выход из диапазона
P1544	Дополнительный обгорев 2	Электр. ошибка , выход из диапазона
P1563	Блок управления насосом	Выключение мотора
P1564	Блок управления насосом	Количество впрыскиваемого топлива
P1576	Сигнал датчика положения педали	ошибка не имеется
P1608	Блок управления насосом	Ошибочный сигнал
P1630	Опорное напряжение	выявлен дефект
P1631	Главное реле	Напряжение питания
P1632	Генератор. Цепь управления	неисправно
P1634	Соединение CAN	Ошибка сигнала
P1658	Блок управления насосом	Напряжение питания
P1659	Блок управления насосом	Напряжение питания
P1664	Блок управления насосом	Нарушение функции
P1665	Блок управления насосом	Ошибка установления св ази
P1669	Блок управления насосом	Ошибка сигнала
P1681	Блокировка движения	Ошибка установления св ази

Рис.4.20. Таблица расшифровки кодов неисправностей автомобиля Ford.

Существует целый ряд неисправностей, при фиксировании которых ЭБУ блокирует работу определенных систем автомобиля. В этом случае, если не провести ремонт и не

стереть ДКН, эти системы не будут работать никогда. В этой связи после чтения информации об ошибках память блока управления очищают, стирая зафиксированные ошибки. Необходимо отметить, что удаление из памяти информации об ошибке не устраняет саму неисправность, поэтому **очистку памяти рекомендуется производить после выявления и устранения всех отказов.**

При выполнении процедуры стирания ДКН из памяти блока управления исчезает так же вся информация, накопленная при работе системы самодиагностики. Т.е. происходит обнуление и новая инициализация опрошенного электронного блока.

4.3.4. Алгоритмы проверки систем и исполнительных механизмов

Алгоритм проверки – это структурное изображение рациональной последовательности диагностических, регулировочных и ремонтных операций.

На рис.4.21 приведен алгоритм диагностирования топливной системы типа Common Rail современного дизеля.

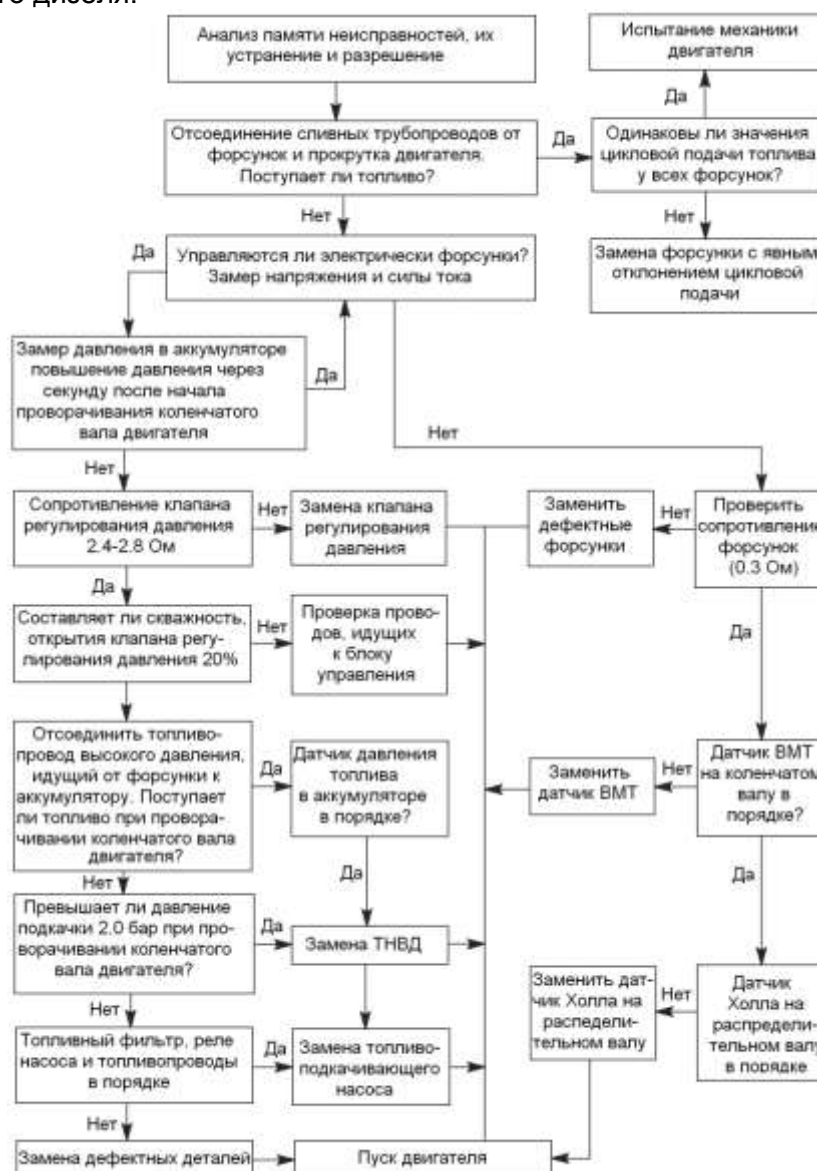


Рис.4.21. Алгоритм проверки топливной системы типа Common Rail современного дизеля.

Пошаговое выполнение разработанных алгоритмов позволяет существенно снизить трудоемкость поиска неисправности даже для диагноста с низкой квалификацией. Выполнение каждого конкретного шага подразумевает наличие специализированного инструмента



и оборудования. К примеру, диагностирование электрогидравлических форсунок достаточно просто может осуществляться по неравномерности обратного сброса топлива с использованием специального приспособления (рис.4.22).

Рис.4.22. Приспособление для диагностирования ЭГФ по расходу топлива на управление: 1 - измерительные мензурки; 2 – подставка; 3 - подвесные ремни; 4 - соединительный штуцер со встроенным клапаном.

Устройство подвешивается на ремнях к капоту автомобиля в горизонтальном положении. С форсунок демонтируется трубка обратного слива и подключаются соединительные штуцеры. Двигатель запускается или вращается при помощи стартера определенный промежуток времени. Дефектовка форсунок производится исходя из количества топлива, поступившего в измерительные мензурки устройства. Причем критичен выход из диапазона как в большую, так и в меньшую сторону.

Функционирование исполнительных механизмов чаще всего производится акустическим (щелчки, звуки перемещения) или визуальным (перемещение) контролем. Если при запуске подпрограммы исполнительные механизмы не активируются – используют алгоритмы пошаговой проверки электрических цепей и поиска неисправности с использованием мотор-тестера (рис.4.23).

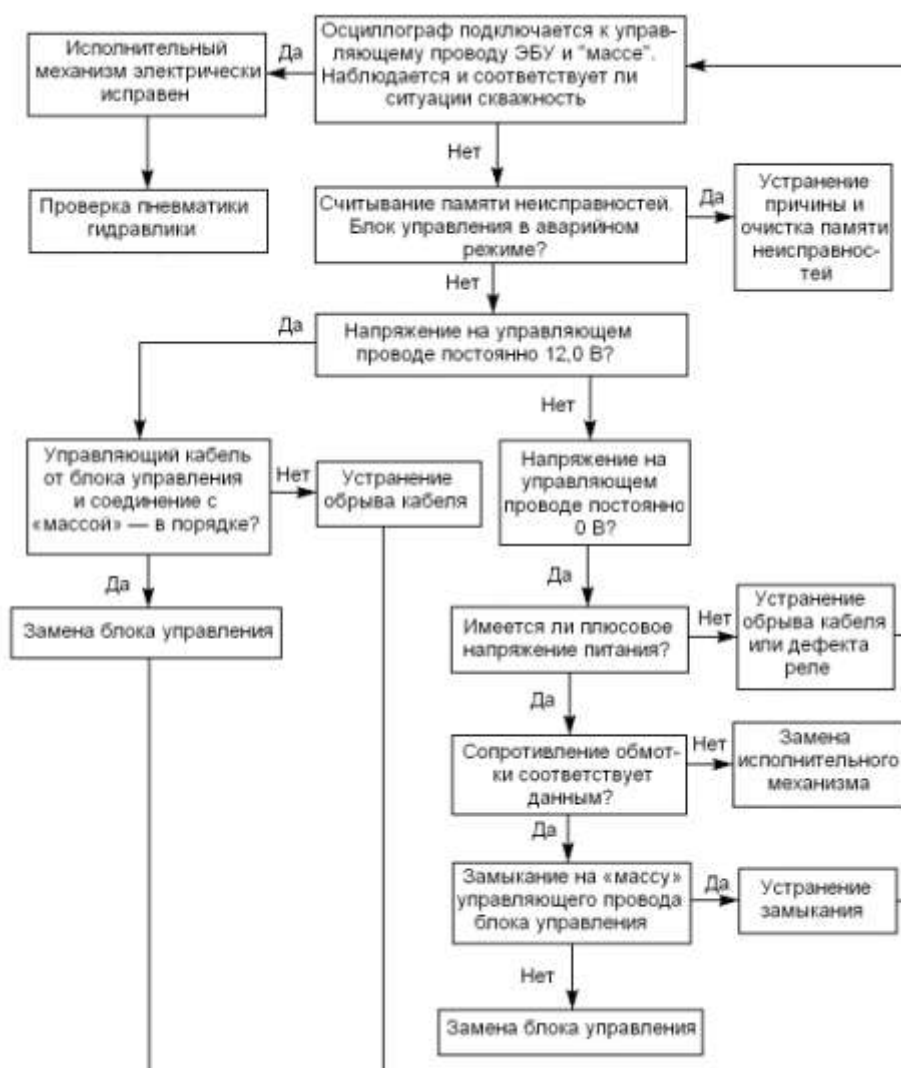


Рис.4.23. Типовой алгоритм пошаговой проверки исполнительных механизмов.

Проверка функционирования электромагнитных клапанов подачи топлива может проводиться простейшим методом. При работающем двигателе необходимо коснуться отверткой соответствующей катушки (например, по схеме рис.4.23), чтобы проверить, подается ли на нее питание (наличие намагниченности). Если соответствующая катушка не запитывается (не намагничена), то следует перейти к соответствующему алгоритму по устранению данного отказа или связаться с дилером для проведения дальнейших диагностических работ.

Сложные и трудоемкие диагностические работы производятся в сервисной станции техобслуживания непосредственно дилером или специализированных мастерских высококлассными специалистами.

4.4. ПРИЗНАКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТПА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ

Таблица 4.2. Признаки неисправностей ТА по показателям работы дизеля и способы устранения

Характеристика неисправности / причина	Проверка	Способ устранения
1	2	3
Двигатель не заводится после стоянки («на холодную»)		
Отсутствие топлива в ТНВД вследствие подсоса воздуха	Долгая прокачка системы ручным насосом, при ослаблении болта выпуска воздуха топливо не вытекает	Найти и устранить негерметичность
Рейка ТНВД потеряла подвижность или неисправен пусковой обогатитель ТНВД	При наличии топлива в головке ТНВД отсутствие или слабая подача топлива через отсоединенный трубопровод высокого давления. При перемещении рычага управления рейка ТНВД остается неподвижной.	Снять и отремонтировать ТНВД
Неправильная работа свечей накала	Контрольной лампой проверить соответствующий предохранитель, наличие напряжения на свечах и продолжительность их нагрева. Проверить исправность свечей накала.	Заменить неисправные предохранители, свечи или блок управления
Недостаточная компрессия в цилиндрах дизеля	Снять форсунки или свечи накала и проверить компрессию	Отремонтировать ГРМ и ЦПГ
Двигатель не заводится «на горячую». Холодный двигатель запускается		
Износ плунжерных пар ТНВД	Проверить максимальное давление впрыска топлива у холодного и горячего дизеля	Снять и отремонтировать ТНВД
Неправильная регулировка клапанов	Проверить зазор в ГРМ	При необходимости отрегулировать
Двигатель заводится и сразу останавливается		
Перепутаны местами подводящий и сливной трубопроводы ТНВД или перепускной клапан и болт-штуцер.	Визуально	Соединить трубопроводы в соответствии с инструкцией
Неправильно установлены рычаги управления регулятором ТНВД	Визуально	Установить рычаги в соответствии с инструкцией
После запуска двигатель работает неустойчиво, с белым дымом, глохнет на режиме холостого хода		
Подсос воздуха между топливным баком и подкачивающим насосом или через ручную подкачку	Визуально, установив прозрачный трубопровод или по подтекам топлива, подав давление воздуха в топливный бак.	Устранить подсос воздуха

1	2	3
Недостаточная производительность подкачивающего насоса.	При подкачке топлива вручную работа нормализуется. Проверить износ эксцентрика привода подкачки исправность пружины поршня, герметичность грибковых клапанов.	Заменить или отрегулировать ТННД
Перепускной клапан не поддерживает заданного давления в ТНВД	При прокачке системы вручную не создается давление.	Отрегулировать или заменить перепускной клапан.
Присутствие моторного масла в топливе		
Износ прецизионной пары привода подкачивающего насоса	Визуально проверить зазор и повреждения в сопряжении «шток-втулка»	Заменить прецизионную пару или ТННД в сборе
Износ подшипников скольжения кулачкового вала ТНВД (насосы типа VE)	Проверить люфт кулачкового вала в подшипниках скольжения	Отремонтировать ТНВД
Нарушение уплотнения привода кулачковой шайбы и корпуса ТНВД	Проверяется на стенде при увеличении давления в полости низкого давления	Заменить сальник
Присутствие топлива в моторном масле. Повышение уровня масла в двигателе		
Износ прецизионной пары привода подкачивающего насоса	Визуально проверить зазор и повреждения в сопряжении «шток-втулка»	Заменить прецизионную пару или ТННД в сборе
Нарушение уплотнения между плунжером (подвесной секцией) и корпусом ТНВД	Проверяется на стенде при раздельной работе ТНВД и ТННД.	Заменить уплотнения и отрегулировать ТНВД
Отсутствие воспламенения в одном из цилиндров	Проверить компрессию в цилиндрах. Проверить работу ГРМ и ЦПГ	Отрегулировать ГРМ, ремонт ЦПГ
Одна или более форсунок не распыливают топливо	Проверить работу форсунок	Отремонтировать форсунку
При установке форсунок под клапанной крышкой: подтекание топлива в местах соединения трубопроводов ВД или «обратки»	Визуально при работе двигателя	Устранить подтекание
Ослабла (не затянута) прижимная гайка распылителя форсунки		Заменить гайку
Большой расход топлива. Черный дым при работе двигателя на режиме максимальной мощности		
Недостаточное поступление воздуха вследствие засоренности воздушного фильтра.	Кратковременно проверить работу двигателя без воздушного фильтра	Заменить фильтр
Недостаточное поступление воздуха вследствие неправильной работы ГРМ	Проверить зазоры в клапанах и соответствие меток коленвала и распредвала	Отрегулировать ГРМ
Недостаточное поступление воздуха вследствие неисправности турбокомпрессора	Замерить давление наддува	Заменить турбокомпрессор
Неправильная регулировка ТНВД или не соответствие ее типу двигателя	Проверить соответствие.	Отрегулировать ТНВД

1	2	3
Двигатель плохо запускается, не развивает обороты, работает неустойчиво, возможен густой белый дым		
Неправильно установлен угол опережения впрыска топлива	Проверить в соответствии с инструкцией	Отрегулировать угол опережения впрыска
Нарушен порядок работы цилиндров	Проверить соединение трубопроводов высокого давления	Подключить в соответствии с инструкцией
Засорен фильтр очистки топлива или топливopриемник в баке	При подаче топлива минуя фильтр признаки пропадают	Заменить фильтр, промыть топливный бак
Вследствие деформации уменьшилось проходное сечение трубопровода низкого давления	Проверить пропускную способность	Заменить трубопровод
Двигатель запускается, но не развивает полную мощность		
Засорен фильтр очистки топлива или топливopриемник в баке, деформация топливopровода от бака	При подаче топлива, минуя фильтр, признаки пропадают	Заменить фильтр, промыть топливный бак, восстановить форму топливopровода
Полностью не нажимается педаль газа или вытянулся трос управления рычагом регулятора	При полном нажатии на педаль газа рычаг управления не упирается в ограничительный винт	Отрегулировать привод рычага управления или заменить трос
Устройство останова двигателя неисправно и ограничивает перемещение рейки ТНВД	При повороте рычага управления вручную чувствуется ограничение его хода	Отрегулировать устройство останова двигателя
Неустойчивая работа дизеля (частота вращения «плавает»)		
Неисправность или износ деталей регулятора и механизма управления подачей топлива	Определяется при разборке ТНВД	Отремонтировать ТНВД
Заедание рейки, привода плунжеров	Определяется при разборке ТНВД	Отремонтировать ТНВД
Перебои в подаче топлива по линии низкого давления	При подкачке топлива ручным насосом двигатель работает нормально	Заменить или отрегулировать ТНВД или перепускной клапан
Неисправность муфты опережения впрыска топлива	Нарушена регулировка холостого хода	Отрегулировать ТНВД
Сизый дым при работе на режиме холостого хода.		
Позднее зажигание	Проверить в соответствии с инструкцией	Отрегулировать угол опережения впрыска
Плохое распыливание топлива форсункой или неправильная ее установка	При отключении одной из форсунок дым пропадает	Отремонтировать форсунку
Несоответствие распылителя форсунки данному типу двигателя	При отключении одной из форсунок дым пропадает	Проверить соответствие деталей данному типу двигателя
Износ профиля кулачка привода плунжера	Визуально после разборки ТНВД	Отремонтировать ТНВД
Жесткая работа двигателя, возможен белый дым.		
Раннее зажигание	Проверить в соответствии с инструкцией	Отрегулировать угол опережения впрыска
Распылитель форсунки заклинил в открытом положении	По очереди отключать форсунки для выявления неисправной	Отремонтировать форсунку

1	2	3
Густой серо-белый дым при работе, при перегазовке «жесткий» стук, тепловой режим дизеля завышен.		
Открыт клапан рециркуляции	Проверить подвижность клапана и работу системы рециркуляции	Устранить дефект
Двигатель не глохнет		
Не подключена или отсоединилась тяга рычага останова	Проверить работу системы	Восстановить работу привода
Заклинивание рейки ТНВД или одного из плунжеров	Двигатель не реагирует на перемещение рычага управления ТНВД	Отремонтировать ТНВД
Подача масла через вентиляцию картера	Визуально при отсоединении патрубка вентиляции	Отремонтировать ЦПГ двигателя
Большая подача масла во впускной коллектор из-за неисправности турбокомпрессора или высокого уровня масла в двигателе	Визуально при отсоединении впускного коллектора от турбокомпрессора. Проверить уровень масла, отсоединить патрубок вентиляции картера	Заменить турбокомпрессор
Двигатель «троит»		
Не работает одна из форсунок	Замена форсунок местами изменяет номер неработающего цилиндра	Отремонтировать форсунку
Большая неравномерность подачи топлива или компрессии	Замена форсунок местами не изменяет номер неработающего цилиндра	Проверить исправность ГРМ и ЦПГ, отрегулировать ТНВД

Заключение

Техническое обслуживание и диагностирование современной топливной аппаратуры с электронным управлением отличаются в основном особенностями технологий, которые определяются:

- широким использованием различных электронных систем, блоков управления и датчиков, электро и гидроуправляемых исполнительных механизмов. Электронные системы управления двигателем, трансмиссией, рабочими органами и другими агрегатами, как правило, осуществляют также функции диагностирования путем анализа проходящих через блоки управления управляющих и ответных сигналов, что в итоге позволяет косвенно или напрямую оценивать работоспособность узлов и агрегатов;

- применением современных диагностических технических средств (сканеров, системных тестеров и мотор-тестеров) и электронной сервисной информации при выполнении работ по ТО и диагностированию.

Контрольные вопросы

6. Укажите признаки неисправностей топливной аппаратуры при неустойчивой работе дизеля?

7. Укажите признаки неисправностей топливной аппаратуры и способы их устранения при большом расходе топлива и черном дыме выхлопа.

8. Как взаимосвязаны электронные системы управления машины с системой диагностирования?

9. Для чего определены стандарты интерфейса связи в конструкциях современных автомобилей, тракторов и комбайнов?

10. Назовите основные принципы работы бортовой системы диагностики.

11. Укажите различия в функциях сканера, системного тестера и мотор-тестера.

12. Каковы общие принципы расшифровки диагностических кодов неисправностей?

13. В чем заключаются особенности технологий ТО современной ТА?

5. ИСПЫТАНИЕ И РЕГУЛИРОВКА ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

5.1. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЕЙ

Стенды для проверки и регулировки форсунок. В настоящее время в связи с повышением требований к качеству работы элементов топливной аппаратуры существенно жестче стали критерии оценки качества работы дизельных форсунок. Если ранее для проверки форсунок рекомендовали использовать простейшие приспособления и приборы типа эталонной форсунки с тройником или максиметр, то теперь необходимо применять специальные приборы отечественного или зарубежного производства (рис.5.1).



Рис.5.1. Стенды для испытания форсунок:

а - EPS 100 с ванной (б) для сбора топливного тумана EPS738 фирмы BOSCH (Германия); в - НН-701 с приставкой НН-720 фирмы Hartridge (Англия); г - DSS100 фирмы Rabotti (Италия); д- М-106Э ООО «Бонус» (Россия); е - ДД-2110 ОАО «Мопаз» (Россия).

Стенды для испытания форсунок могут быть оборудованы манометром (рис. 5.1 а,г) или электронной индикацией давления (рис. 5.1 в,д) и включать в себя колбу для сбора распыленного топлива с пневмоотсосом (рис. 5.1в,д) или отдельное приспособление для этого (рис. 5.1 б). Для проверки и регулировки двухпружинных форсунок используется приставка, создающая продолжительный импульс повышенного давления (рис. 5.1 б). Для испытания электроуправляемых форсунок аккумуляторных топливных систем типа Common Rail применяется специальное оборудование, которое будет рассмотрено ниже.

Особенности современных испытательных стендов для форсунок дизелей, в основном, состоят в цифровой регистрации результатов испытаний, возможности сопряжения с РС (ЭВМ) и соответствующей технологией протоколирования, хранения и вывода результатов, а также в возможности испытаний двухпружинных форсунок или иных форсунок, реализующих ступенчатое впрыскивание. Кроме того, большинство электронных стендов позволяют оценивать гидроплотность направляющей части распылителя по времени падения давления.

Универсальный стенд НН-701 фирмы Hartridge (рис. 5.1,в) применим для упомянутых работ с любыми гидромеханическими форсунками (контроль визуальный, герметичности, гидроплотности, давления начала впрыскивания и др.). Максимальное давление, созда-

ваемое прибором около 50 МПа. Возможна установка форсунок диаметром 17,8...33 мм. Предусмотрен принтер и связь с РС.

Для проверки и регулировки форсунок со ступенчатой подачей используется приставка НН720, создающая продолжительный импульс повышенного давления (рис. 5.1,в). Электронная система регистрации расшифровывает записанную кривую и выводит на дисплей два уровня давлений срабатывания (например, по первой и по второй пружине).

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.

В нашей стране стенды для испытания и регулировки топливной аппаратуры производят ОАО «Мопаз», ООО «Бонус» и Красноуфимский ОЭЗ. Общий вид некоторых стендов представлен на рис. 5.2. Так же существуют несколько фирм (ООО НПП «ЭДС», ООО ИТЦ «Ремтехсервис», Рязанский ЦОПКТБ и др.), которые профессионально занимаются капитальным ремонтом или модернизацией данного оборудования.

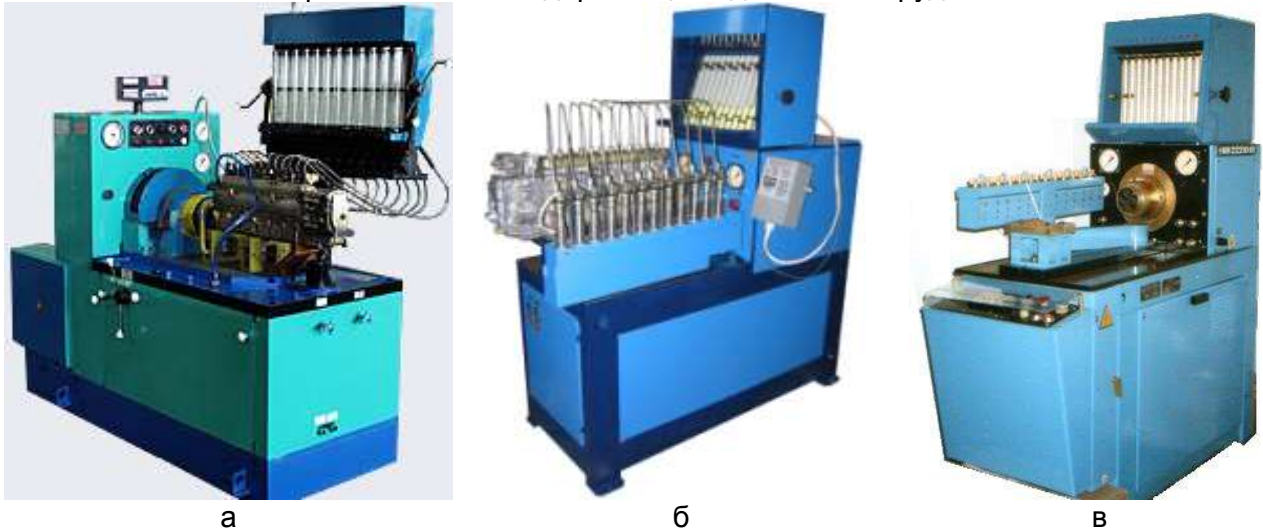


Рис. 5.2. Общий вид стендов для регулировки топливной аппаратуры: а - ДД10-05 ОАО «Мопаз»; б - СДМ-12 ООО «Бонус»; в - КИ-22210 Красноуфимского опытно-экспериментального завода.

Как основные составляющие стенда можно обозначить систему, управляющую частотой вращения привода ТНВД, узел измерения объемной подачи топлива насосом и линию низкого давления, организующую подачу топлива к ТНВД. Как вспомогательные, могут присутствовать системы термостабилизации топлива и устройства, фиксирующие момент начала подачи топлива нагнетательной секцией.

В качестве привода стенда используются различные приводы с необходимым диапазоном регулирования частоты вращения, в том числе механический, гидравлический, электрический или их комбинации.

В практике универсальных стендов для испытания и регулировки дизельной топливной аппаратуры используют три типа измерительных систем, отличающихся способом наполнения и слива топлива из сосуда. Для измерения величины подачи отдельных секций насоса в составе стендов наибольшее применение нашли системы, выполненные на основе мерных емкостей, так называемые мензурочные системы измерения подачи.

Мензурочные системы позволяют собирать топливо, впрыснутое каждой форсункой в мерный сосуд (как правило, стеклянный) в течение заданного количества циклов и измерять собранное в сосуды топливо по наружной шкале емкости.

В первых системах, которые называют системами с верхним наполнением, топливо поступает в сосуд (мензурку) сверху и после измерения сливается из сосуда переверотом. Система наиболее проста, однако ограничивает производительность регулировочных работ и точность измерений.

В системах второго типа топливо поступает в сосуд и сливается оттуда снизу через клапанное устройство (без поворота). В этих системах повышены точность (отсутствует осаждение топлива в сосуде) и производительность измерения, исключены затраты времени на поворот сосуда, практически не образуется пена на поверхности раздела двух сред. Однако возможная негерметичность сливного клапана может затруднить эксплуатацию стенда.

Третий тип системы измерения подачи представляет собой электронное устройство, оборудованное точными расходомерами топлива. В этих системах информация о цикловой подаче выводится в числовом виде непосредственно на монитор стенда, а программное обеспечение позволяет проводить тестирование топливного насоса в автоматическом режиме.

На большинстве стендов кроме основных типов топливных насосов высокого давления предусмотрена возможность испытания отдельных автономных составных узлов топливной аппаратуры: топливоподкачивающих насосов, муфт опережения впрыскивания, пневмокоректоров и топливных фильтры.

При контроле топливоподкачивающих насосов проверяют производительность при различной величине противодавления, максимальное давление на выходе и максимальное разрежение на входе. При проверке топливных фильтров контролируют герметичность, пропускную способность. Муфту опережения впрыскивания можно контролировать по смещению ведомой муфты относительно ведущей, в том числе в момент впрыскивания каждой из секций.

Анализ конструкций отечественных стендов и установок для регулировки и проверки ТА показывает, что они не в полной мере удовлетворяют современным требованиям по автоматизации. Например, регламенты техпроцессов на регулировку ТНВД отводят на ее выполнение в среднем 30 мин., из которых до 50% приходится на измерение параметров. Требования к узлам автоматизированного стенда для испытаний ТНВД наиболее полно сформулированы в [31]:

Рис. 5.3. Мобильный стенд для испытания топливной аппаратуры дизелей КИ-345 (ГОСНИТИ и БГАУ).



привод вала ТНВД должен обеспечивать автоматическое поддержание заданной частоты вращения с погрешностью не более $\pm 1 \text{ мин}^{-1}$;

устройство измерения цикловой подачи должно обеспечивать погрешность не выше 1%, а также автоматизацию вспомогательных операций, выдачу результата на табло в цифровой форме и в форме электрического сигнала;

стенд должен обеспечивать автоматическое поддержание заданной температуры топлива с погрешностью не более $\pm 2 \text{ C}^{\circ}$;

стенд должен содержать устройство для механизации и автоматизации крепления ТНВД, соединения его вала с валом стенда и монтажа топливных магистралей.

Разработанный Рязанским ЦОПКТБ (филиал ГОСНИТИ) и модернизированный затем Башкирским ГАУ одноканальный стенд для проверки и настройки топливных насосов высокого давления имеет конструкцию отличную от традиционных компоновочных решений (рис. 5.3). Стенд может использоваться для испытания ТНВД типа VE с электронным управлением. В стенде применена одноканальная схема измерения параметров ТНВД, позволяющая:

- использовать маломощный привод для испытания ТНВД с любым количеством секций;

- устранить относительную погрешность, т.к. измерение параметров всех секций проводится одним измерительным каналом;

- значительно уменьшить массу, габариты и стоимость по сравнению со стендом, имеющим аналогичные характеристики по точности измерений, но проводящим измерения параметров всех секций одновременно.

Стенд позволяет контролировать величину и равномерность подачи топлива секциями; угол начала нагнетания и конца подачи топлива, чередование подачи секциями; частоту вращения вала в момент прекращения подачи топлива; частоту вращения вала в момент начала действия регулятора; выводить на экран графики изменения давления в нагнетательной магистрали в зависимости от угла поворота вала для каждой секции ТНВД.

Задание режимов работы, параметров диагностирования, регистрация результатов, их обработка и отображение информации осуществляется с помощью ЭВМ. Разработанное программное обеспечение имеет достаточно простой и понятный интерфейс (рис. 5.4), который позволяет анализировать результаты испытаний.

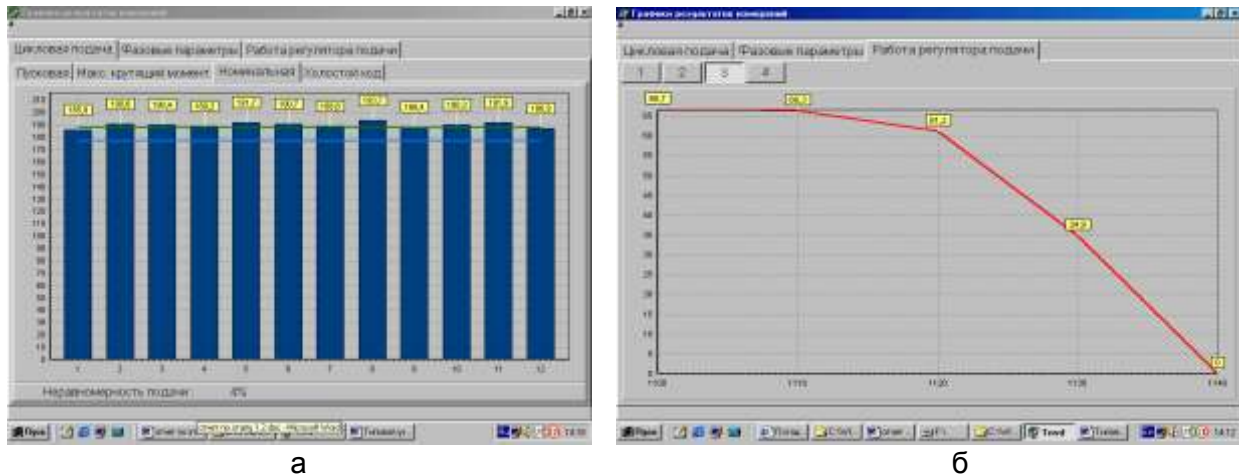


Рис. 5.4 Изображения на мониторе ЭВМ при проведении испытаний ТНВД (а) и анализе полученных данных (б)

Приложенное программное обеспечение содержит встроенную базу данных с регулировочными тест-планами и описанием технологий дефектовки и ремонта топливной аппаратуры. В процессе эксплуатации стенда возможно видоизменение и дальнейшее наращивание базы данных.

Параметры электропитания (220 В, 2 кВт) позволяют подключать стенд на месте работы к бытовой однофазной сети или запитывать его от небольшого автономного генератора, что особенно актуально в полевых условиях. Небольшие габариты и вес, в совокупности с малым потреблением энергии, позволяют оснащать этим стендом существующие мобильные мастерские на базе различных автомобилей.

Наибольший интерес данный стенд представляет для малых универсальных ремонтных мастерских с небольшой годовой программой ремонта.

За рубежом достаточно много производителей оборудования для испытания дизельной топливной аппаратуры. Из фирм, активно работающих на российском рынке можно отметить следующие: BOSCH (Германия), Hartridge (Англия), Rabotti (Италия), EFS (Франция), Maktest (Турция), Sanwei (Китай), Motorpal (Чехия), Star (Венгрия) и др.

Анализируя предлагаемое ими оборудование для испытания современной топливной аппаратуры дизелей, в том числе с электронным управлением, можно отметить, что концепция, в основном, всех производителей заключается в разработке одного-двух базовых стендов, дооснащаемых различными устройствами и приспособлениями.

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 KMA 822 (рис. 3.7,б). Менее мощный стенд с мензурочной системой позиционируется к продаже только в ряде развивающихся стран Азии и Африки.

Функциональные возможности стенда позволяют испытывать высокопроизводительные ТНВД с повышенной интенсивностью впрыскивания топлива и электронным управлением с гарантированной точностью результатов измерений. Несомненными положительными качествами являются: точная центровка и устойчивость частоты вращения

приводного вала, непосредственный привод вала, большая масса маховика, продолжительный срок службы, простота обслуживания.

Стенды 8-ой серии оснащены бесступенчатым, регулируемым по частоте вращения электронным приводом. Управление специально спроектированного трехфазного электродвигателя осуществляется с помощью 4-х квадрантного преобразователя частоты с регулируемым возбуждением и векторным контуром управления.

Используемая компьютерная система измерения, выполненная на основе прецизионных электронных расходомеров, обладает высокой воспроизводимостью результатов измерений и быстрым отображением результатов в режиме реального времени. Измерение производится по двум каналам, что позволяет снизить продолжительность испытаний.

В качестве дооснащения к стенду предлагается целый ряд комплектов, позволяющих сформировать специализированный набор для испытания различных типов топливоподающих систем (рис. 5.5).

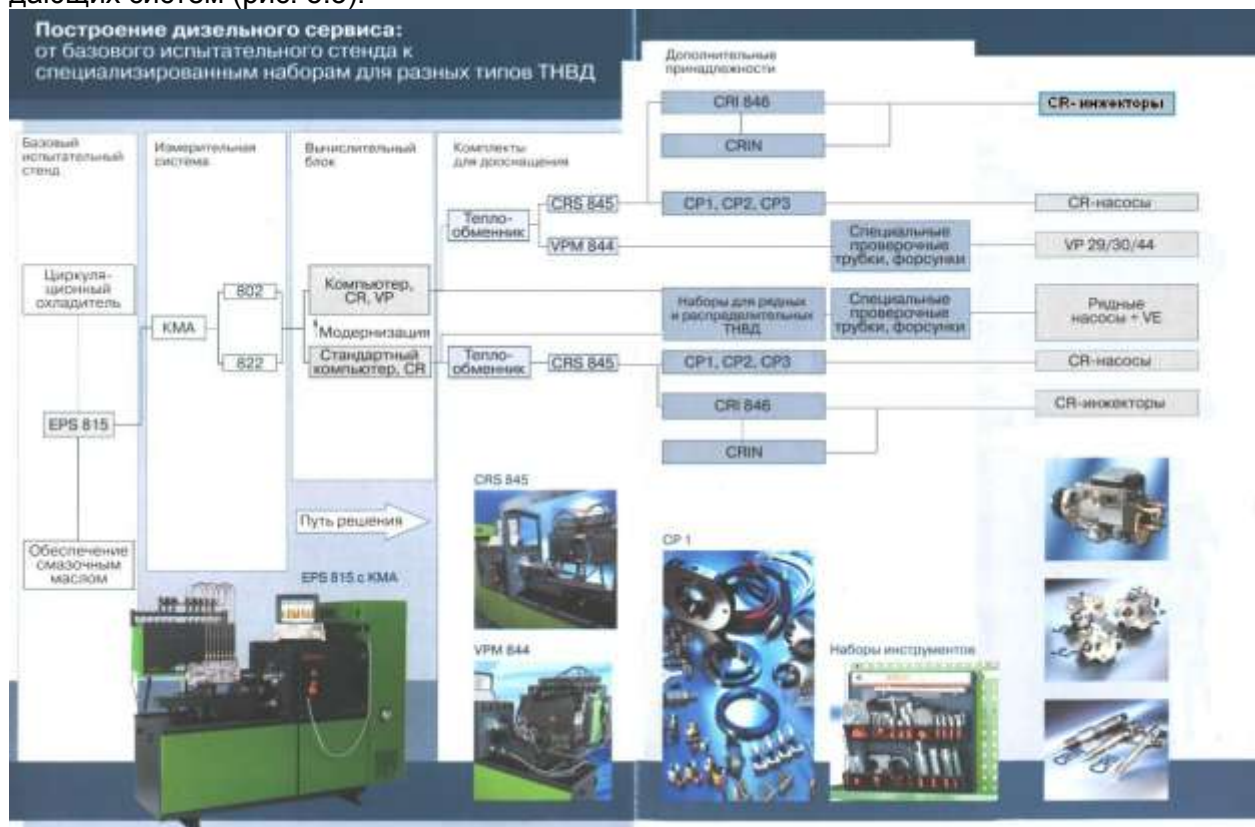


Рис.5.5. Комплекты дооснащения стенда EPS815 фирмы BOSCH.

Фирма Hartridge (Великобритания) несколько десятилетий выпускала безмоторные испытательные стенды, отличавшиеся простой, надежностью, небольшими габаритами. Последнее время для испытания ТА с электронным управлением базовым стендом является модель AVM2-PC (рис.5.6,а).

Стенд может использоваться для работы со всеми типовыми автотракторными образцами ТА с числом форсунок до 12, в том числе с Common Rail, насос-форсунками, распределительными и индивидуальными ТНВД (при соответствующей дополнительной комплектации стенда). Встроенный персональный компьютер позволяет использовать специальные программы и архивы данных, соединяться с локальными сетями или интернетом. Испытательный стенд управляется с клавиатуры, может комплектоваться принтером.

На экран выводится необходимая информация по условиям испытаний и результатам, например, полная информация о подаче насоса по всем секциям (рис.5.7). На экране также отображаются манометры, температуры топлива, частота вращения и другие контрольные параметры.

Программа управления позволяет выбрать план испытаний, сохранять и реализовать его в автоматическом или полуавтоматическом режиме. В план испытаний может быть включены режимы разгона-торможения с шагом от 10 до 400 мин⁻¹.



Рис.5.6. Стенды для испытания топливной аппаратуры с электронным управлением фирмы Hartridge.

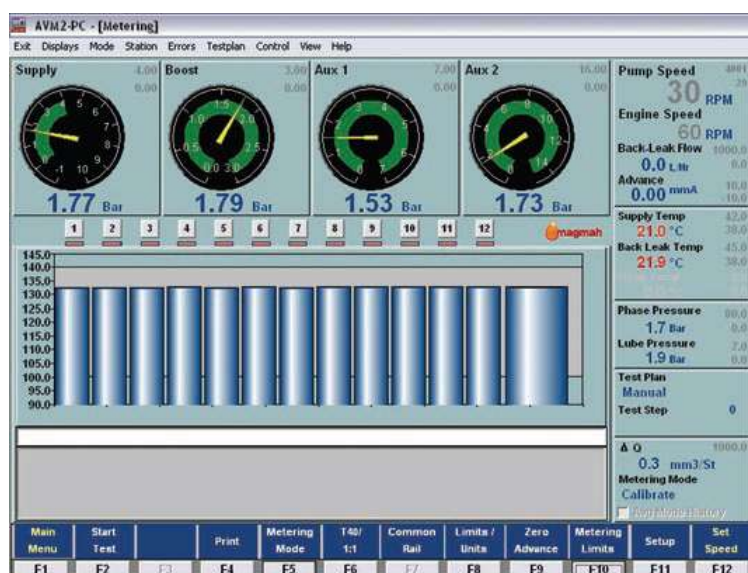


Рис.5.7. Экран с информацией о цикловой подаче топлива 12-ти секционным ТНВД.

Интеллектуальная схема определения порядка работы секций облегчает оценку опережения впрыскивания. Динамический дисплей опережения подачи может использоваться для выдачи результатов сразу по всем секциям. Фаза подачи определяется по моменту достижения давления 8,0 МПа. Привод станда обеспечивает повышенный момент при низких частотах

вращения. В конструкции станда применяется усовершенствованная система охлаждения топливного бака, беззазорная муфта привода. Кронштейны позволяют устанавливать все типы ТНВД, благодаря равному удалению оси вала от плиты, они унифицированы с предыдущими стандами Hartridge.

Выключатели аварийной остановки доступны от обеих сторон машины. Для аварийной остановки включается пневматический фрикционный тормоз. Запуск привода блокируется независимым коммутатором на случай сбоя PC. Пульт управления доступен с любой стороны станда. Имеется функция самодиагностики электрических цепей.

Дополнительное оборудование к станду AVM2-PC фирмы Hartridge. В соответствии с требованиями ISO4010 поставляются эталонные форсунки с диаметром сопла 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 мм.

Несмотря на широкое использование возможностей базового станда AVM2-PC для испытаний индивидуальных ТНВД и насос-форсунок требуется много дополнительного оборудования, что обусловлено отсутствием у такой ТА собственного кулачкового вала, а у насос-форсунок – еще и специфическим способом сбора топлива. Эти трудности были известны давно и традиционно сдерживали применение такой ТА. Лишь недавно, с расширением ее применения в быстроходных двигателях появился широкий выбор необхо-

димого дополнительного оборудования, что сделало испытание этой ТА таким же рядовым процессом, как и традиционных насосов.

Все сказанное выше относительно возможностей стенда AVM2-PC и автоматизации испытаний относится к условиям работы с насос-форсунками и индивидуальными насосами с использованием комплекта НК870 (рис.5.8).



Рис.5.8. Комплект дополнительного оборудования НК870: стойка с корпусом кулачкового вала, контроллер, кабели, кулачок, толкатель, камера впрыскивания, адаптер в сборе.

Фирма Rabotti (Италия) под маркой Vanco Prova выпускает ряд относительно простых безмоторных топливных стендов, в том числе имеющих электронное управление.

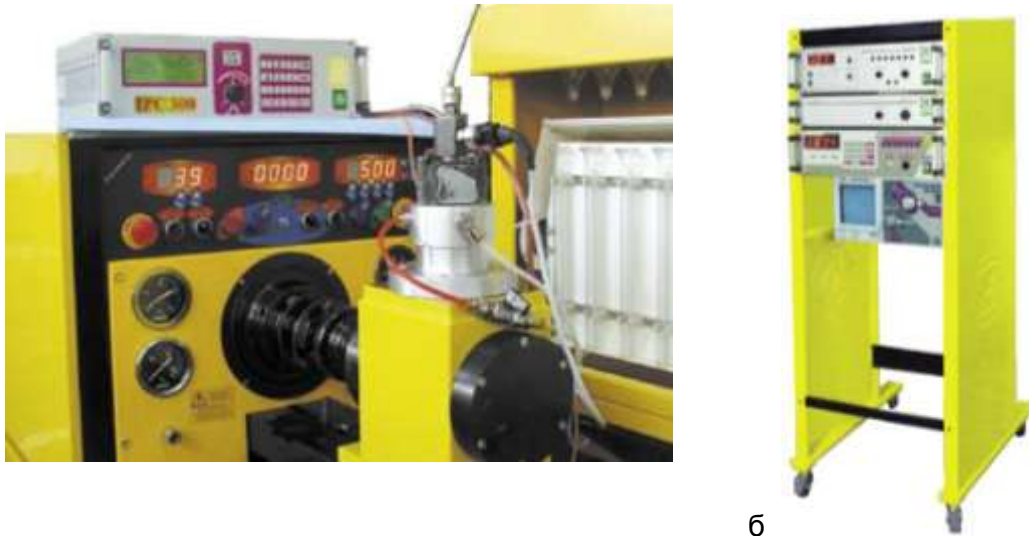
Наиболее оснащенный стенд BD1060 имеет управляющий PC и высокие функциональные параметры (рис.5.9,а). Измерение впрыскиваемого через форсунки топлива производится датчиками объема электрически связанными с управляющим PC (ЭВМ), что позволяет контролировать процесс в режиме реального времени. Все результаты высвечиваются на мониторе, а сами тесты поддаются автоматизации. Полученные результаты можно сохранить для более позднего анализа или сразу распечатать.



а б
Рис.5.9. Стенды фирмы Rabotti: BD1060 с электронным управлением (а); BD960 с полуавтоматическим управлением (б).

Два других стенда – BD960 и BD860 – имеют более простое электронно-механическое управление. На стенде BD960 (рис.5.10,б) результаты измерения собранного по секциям топлива и некоторые давления и температуры высвечиваются на пульте в цифровой форме. Все стенды снабжены системой терморегулирования.

Фирма предлагает широкий спектр дополнительного оборудования для тестирования, например, индивидуальных столбиковых ТНВД (IPC100, IPC200), насос-форсунок (IPC300) (рис. 5.10,а), рядных и распределительных ТНВД с EDC-регуляторами (EDC-SI) (рис. 5.10,б) и агрегатов системы Common Rail (TEC100, TEC200, TEC300, TEC500 и CR960).

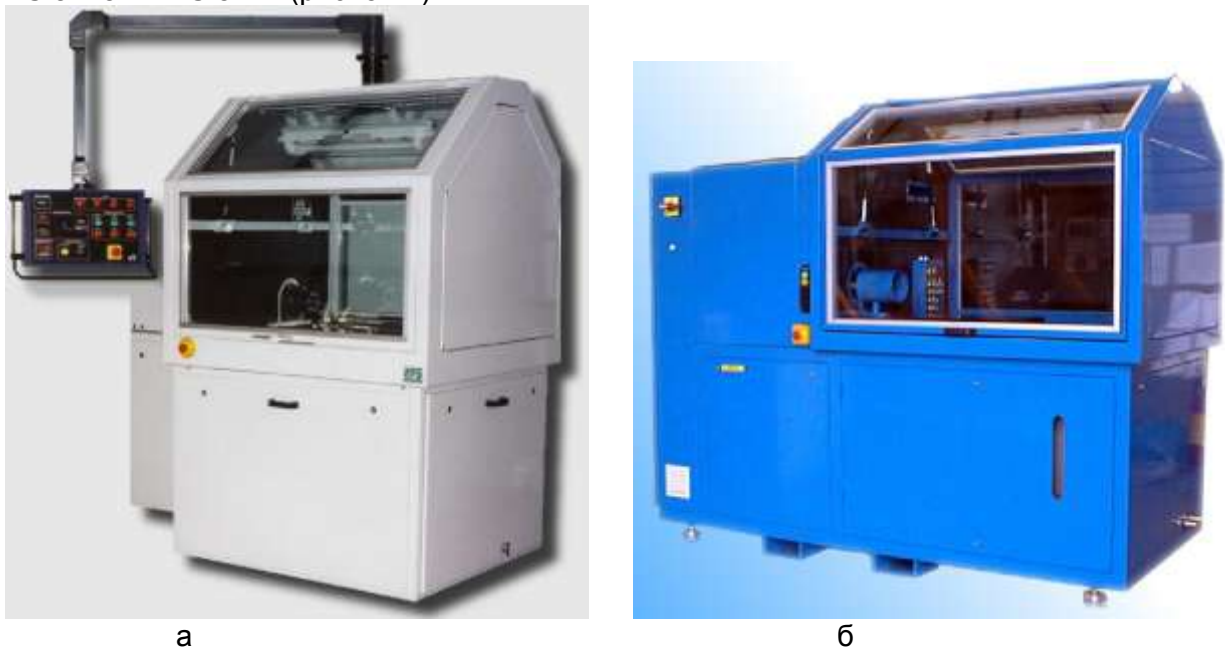


а б
Рис. 5.10. Дооснащение к топливному стенду BD1060 для тестирования насос-форсунок IPC300 (а), рядных и распределительных ТНВД с EDC-регуляторами EDC-SI (б).

Комплекс испытательного оборудования для дизельной ТА с электронным управлением фирмы EFS.

Фирма EFS (Франция), имеющая более чем 20-летний опыт в этой области, выпускает широкий спектр современного эффективного испытательного оборудования. Оно представляет интерес не только ввиду своего высокого технического уровня, но и потому, что реализует нетрадиционную для испытаний ТА концепцию модульности и индивидуального комплектования испытательного участка из универсальных функциональных блоков.

Для испытания ТА с электронным управлением базовыми стендами являются модели EFS 8178 и EFS 8241 (рис. 5.11).



а б
Рис.5.11. Стенды для испытаний топливной аппаратуры EFS 8178 (а) и EFS 8241(б).

Стенд EFS 8178 предназначен для калибровки или испытаний дизельной и бензиновой ТА, в первую очередь типа CR. Стенд мало похож на традиционные, отличается ком-

пактностью, мощностью и функциональностью. Приведенные ниже технические характеристики подтверждают это:

- универсальность (возможно испытание и традиционных систем),
- возможность испытания одновременно от 1 до 12 ЭГФ;
- высокая мощность привода 8...28 кВт, крутящий момент до 140 Н·м при частоте 0...1940 мин⁻¹;
- высокая частота вращения вала - до 6000 мин⁻¹ - и ее точная электронная стабилизация без применения маховика;
- технологическая жидкость нагнетается в аккумулятор под давлением до 200 МПа;
- большой объем рабочей зоны 1090x1130x900 мм;
- рабочая зона экранирована, имеет подсветку, хорошо наблюдаема, имеет легкий доступ благодаря двум прозрачным дверям;
- модульность оборудования, применяемого в составе стенда и без него;
- простота команд через выносной регулируемый пульт управления и простота обслуживания;
- быстрая температурная стабилизация благодаря не только водяному охлаждению мощностью 600 Вт, но и электронагревателю мощностью 3 кВт;
- тонкость отсева ФТО 3 мкм;
- давление подкачки до 1 МПа, расход до 8 л/мин;
- объем бака 70 литров.

Безопасность работы обусловлена защитным экраном и блокировкой его открытого состояния, тремя точками стоп-устройства, датчиками минимального и максимального уровня и температуры топлива, замкнутой системой термостабилизации, применением технологической жидкости.

Стенд EFS 8241 имеет те же размеры рабочей зоны и энергетические параметры, но отличается несколько большими габаритами (2400x1200x2000 мм) и предназначен для испытаний до 8 форсунок вместо 12. Встроенная стойка EFS 8241-6 снабжена необходимыми для измерений компонентами, рассматриваемыми ниже.

Нетрадиционная концепция фирмы EFS: агрегатирование испытательного оборудования - модульность и универсальность функциональных блоков, применяемых в различных сочетаниях для различных условий испытаний и различных потребителей. Частным случаем такого подхода является отказ от традиционных больших и дорогих топливных стендов. Это оказалось возможным в новых условиях благодаря появлению систем CR, для которых становится необязательным совместное испытание насоса и форсунок. Ниже рассматриваются производимые фирмой функциональные блоки, применяемые как в стендах, так и вне их, в иных комплектациях, в том числе на дизеле, а также характерные испытательные схемы.

Стойка **EFS 8330 с источником питания высокого давления** дает возможность проводить испытания с давлением подачи до 300 МПа (рис.5.12,а). Она может использоваться в научно-исследовательской лаборатории или мастерской, компактна, мобильна, может быть быстро установлена. Может использоваться для проверки герметичности, испытаний форсунок, испытаний развернутых систем CR, экспериментов с видеонаблюдением топливных струй (с камерой EFS 8212). Доступ к источнику осуществляется через прозрачную дверь. Если в более ранней модели ТНВД приводился электродвигателем, то ныне используется привод от сжатого воздуха.

MIQ (Mono Injector Qualifier) с измерителем **EMI2** (Injection flow measurement system, Flowmeter) – **измеритель цикловой подачи** (рис. 5.12, б) служит для непосредственного измерения каждой (мгновенной) цикловой подачи через испытываемую форсунку (независимо от ее типа). Фирма EFS выпустила несколько измерителей: - более ранние версии EPS 0800 (для однофазного впрыскивания).

Расходомер EMI2 фиксирует объем топлива, поданного за каждое впрыскивание. Он был разработан EFS для продукции BOSCH. Измеритель состоит из механической и электронной частей. В механической части закрепляется форсунка и датчик.

Испытания ведутся с впрыскиванием не в атмосферу, а в цилиндр с измерительным поршнем с противодавлением от 0 до 10 МПа. Как только впрыскивание закончено, фиксируется ход поршня, по которому оценивается объем цикловой подачи. Цикловая подача может изменяться 0...600±0,6 мм³. Измеритель фиксирует характеристику предвпры-

скивания, основного и завершающего впрыскиваний. Каждое из этих значений может вычисляться путем осреднения за заданное количество циклов. Также фиксируются фазы (время) каждого впрыскивания.



а



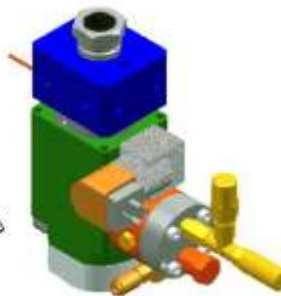
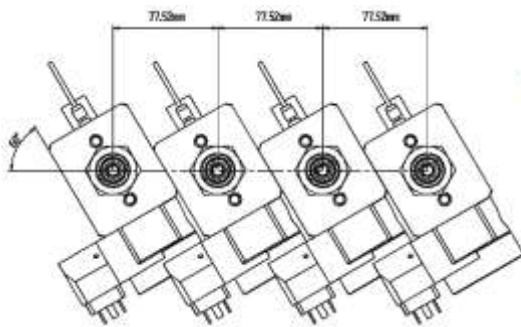
б

Рис.5.12. Дооснащение к топливным стендам фирмы EFS: а - стойка EFS 8330 с источником высокого давления; б - MIQ - измеритель мгновенной цикловой подачи.

Все измерения выводятся в аналоговой форме на встроенный экран, для установки параметров измерений используется клавиатура. Также возможно управлять устройством посредством внешнего компьютера или устройства автоматического управления.

Измеритель мгновенной цикловой подачи MIQ 3000 с периферийным устройством EMI2 3000, в отличие от рассмотренных выше, имеет диапазон измерения цикловой подачи до 3000 мм³.

EFS 8272 – измерительная головка форсунки имеет ту же функцию и технические



характеристики, что и измеритель EMI2, но отличается большей компактностью, что позволяет применять ее для диагностирования ТА непосредственно на дизеле (рис. 22). Ее габариты 205x290x110, масса 9 кг.

Рис.5.13. EFS 8272 – измерительная головка.

Собранный на базе измерителя цикловой подачи EMI 2, устройство позволяет откалибровать измеритель цикловой подачи путем сбора топлива за множество циклов (1...10 000) и ее измерение безусловными методами – объемным способом мензуркой и весовым - электронными весами. Схема работы изображена на рис.5.14 Точность калибровки 0,1 % от полного объема. Используются весы с интервалом замера топлива 0...1510 г с точностью ±0,02 г. Калибровка возможна без рассоединения форсунки и EMI 2, используемых при испытаниях ТА.

EFS 8111 – калибратор (тарировочное устройство

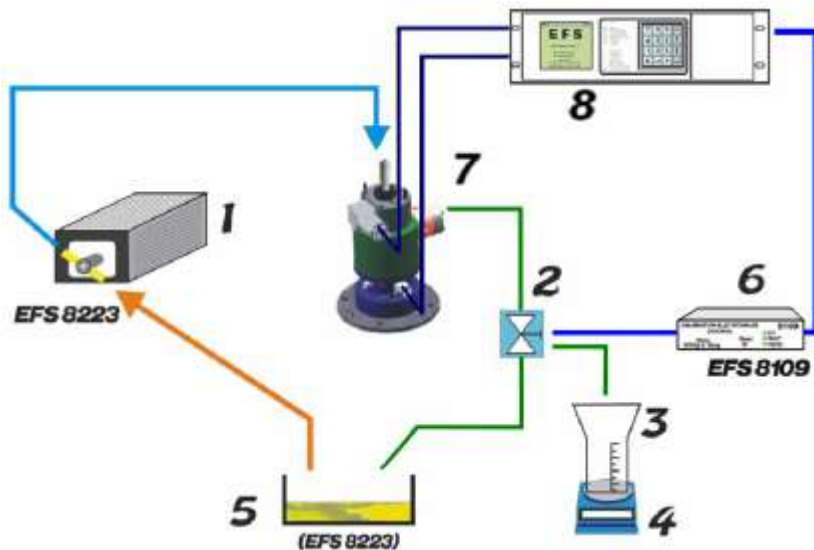


Рис. 5.14. Схема тарировки с использованием калибратора EFS 8111:

1 - источник топлива высокого давления; 2 - электроклапан; 3 - мензурка; 4 - электронные весы; 5 - бак; 6 - электронный блок тарировки EFS8109; 7, 8 - измеритель цикловой подачи MIQ.

Injetvision – стойка для видеосъемки топливных струй. Это оборудование используется в исследовательской работе и для контроля технологического процесса изготовления ТА (рис.5.15). В сопряжении с другими устройствами фирмы позволяет регистрировать параметры макрогеометрии топливных струй, включая их неидентичность. Достоинствами системы является изучение распыливания в условиях высокого противодавления, параметры которого отличаются от распыливания в атмосфере.

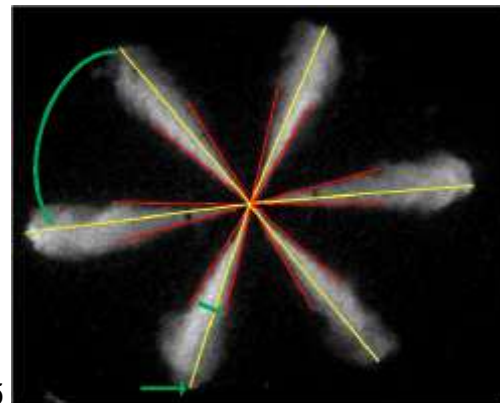
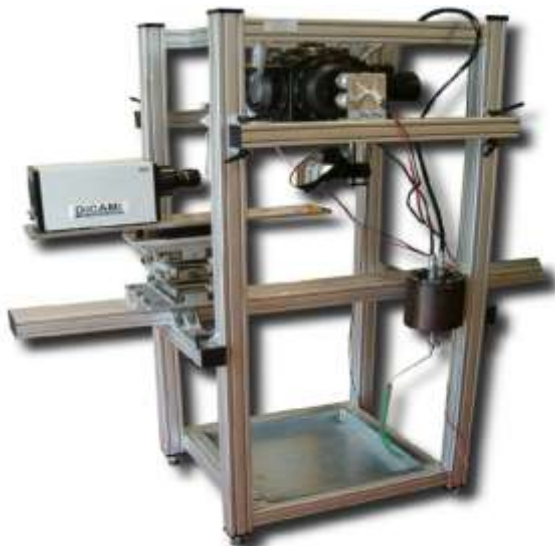


Рис. 5.15. Внешний вид стойки Injetvision EFS (а) и схема автоматизированной обработки параметров макрогеометрии струй (б).

а

Определяются: для каждой струи – длина, угол конуса, объем, а также угол между струями. Модуль электронного управления синхронизирует впрыскивание с видеосъемкой. Обработка изображения автоматическое с применением собственного программного обеспечения. Результаты измерений представляются в графическом или табличной форме. Откачивающая система гарантирует прозрачность пяти окон. Подсветка осуществляется непрерывным белым светом.

Типовые схемы агрегатирования оборудования и проведения испытаний. Ниже рассмотрено использование описанного оборудования, которое возможно в том числе и без дорогих полноразмерных стендов типа EFS 8178 или EFS 8241.

Для испытаний насос-форсунок с электронным управлением применяется схема по рис.5.16. РС через генераторы силовых импульсов (IPOD) управляет насос-форсунками и получает информацию о впрыскивании от измерителей подачи (MIQ) с механической частью.

Однако, испытания ТА непосредственного действия уже наиболее удобно вести на полноценных безмоторных топливных стендах с дооборудованием их кулачковым механизмом.

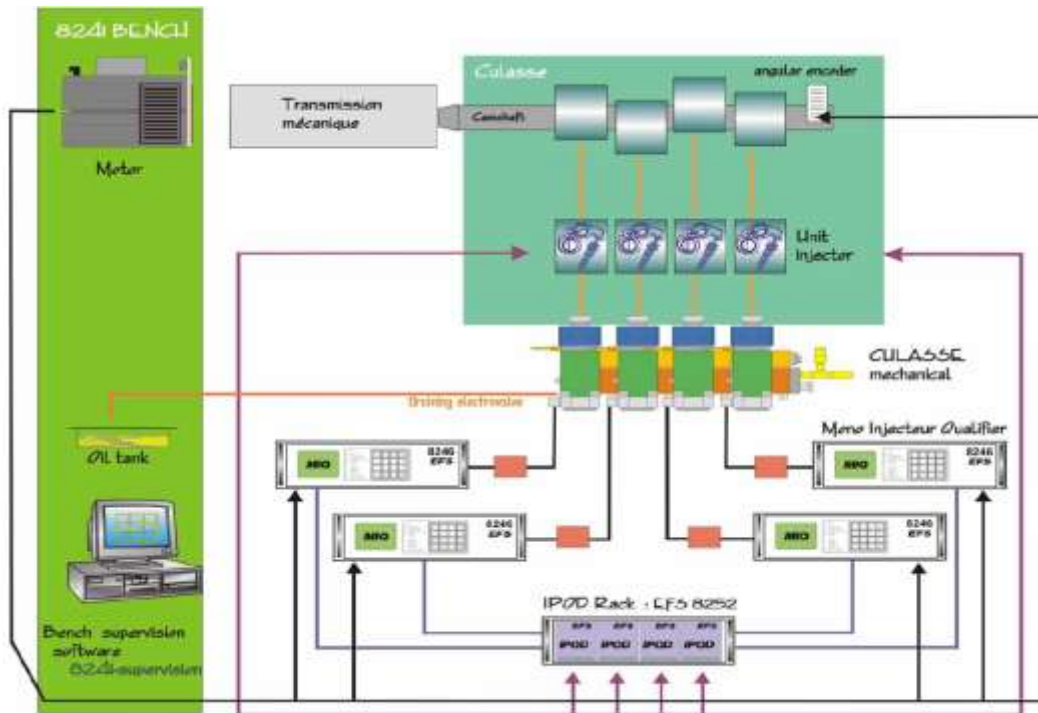


Рис. 5.16. Схема испытательного оборудования для насос-форсунок.

Оборудование для испытания агрегатов топливоподающих систем типа Common Rail.

Фирма BOSCH. Одним из наиболее распространенных устройств для испытаний как ТНВД, так и форсунок ТПС CR является стационарный стенд для испытания и регулировки топливных систем, укомплектованный электронной измерительной системой KMA 802 с комплектом дооснащения CRS 845, CRS 846 и теплообменником (рис.5.17).



Рис.5.17. Комплекты CRS 845 и CRS 846 дооснащения стенда EPS815 для тестирования агрегатов ТПС типа CR.

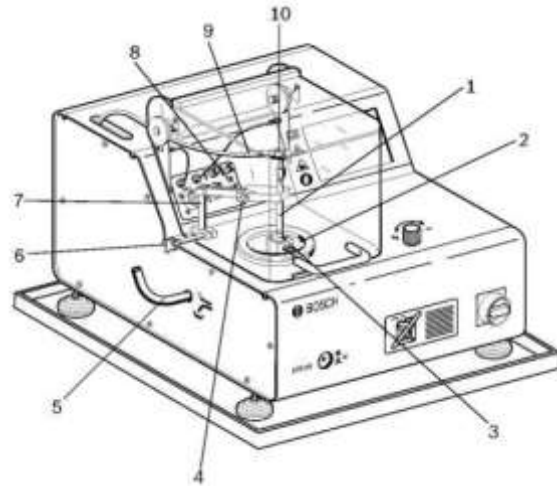
Набор предназначен для одновременного тестирования до 6 форсунок дизелей с системой питания Common Rail первого и второго поколения. В набор входят: насос высокого давления CP3, блок управления с зажимным устройством для 6 инжекторов, проворачиваемые камеры, соединительные кабели и трубки. Рейка высокого давления с датчиком

служит как аккумулятор давления со встроенным регулятором. Распределитель разделяет объемный расход перед охлаждением и качественным измерением. Блок управления командует датчиками и клапанами рейки и насоса. Регулирующий клапан служит для регулировки давления рециркуляции проверяемого насоса и стимулирует различные режимы работы двигателя. Для охлаждения проверочного масла (технологической жидкости) применяется теплообменник. В качестве дополнительных принадлежностей предлагаются крепежные адаптеры для фиксации различных насосов.

Кроме того, фирма BOSCH выпускает менее габаритный и компактный стенд для испытаний электрогидроуправляемых форсунок CR марки EPS200 (рис.5.18,а). Он предназначен для проверки форсунок типа Common Rail для легковых и грузовых дизелей при диагностировании или после ремонта.



а



б

Рис. 5.18. Общий вид (а) и компоненты устройства для проведения проверки форсунок CR (б): 1 – форсунка системы CR, 2 – камера для струи, 3 – камера впрыска, 4 – натяжной болт для крепления форсунки, 5 – промывной отвод, 6 – натяжной болт для регулирования по высоте крепление, 7 – крепление, 8 – панель для подключение компонентов, 9 – соединительная магистраль высокого давления для подачи проверочного масла, 10 – адаптер для подключения форсунки системы CR.

Устройство EPS200 содержит такие компоненты как: насос и рампа высокого давления, резервуар для проверочного масла, расходомер, измерительный блок, микропроцессор и жидкокристаллический дисплей с сенсорным экраном. На данном стенде проводятся испытания на герметичность при полной нагрузке, на холостом режиме можно измерить количество впрыскиваемого топлива и количество обратного слива.

Фирма Hartridge также имеет аналогичное комплекту EPS845 и EPS846 фирмы BOSCH дооснащение к стенду AVM-2PC для проверки ТНВД, топливной рейки и электрогидроуправляемых форсунок топливоподающих систем типа Common Rail.

Однако данный комплект не включает в себя необходимое для испытаний ТПС CR следующее оборудование:

НВ378 - базовый комплект для системы CR, который представляет из себя закрываемое защитный «короб», гарантирующий предохранение оператора от высокого давления. Комплект включает в себя: дополнительную фильтрацию калибровочной (технологической) жидкости (до 2мкм); клапан регулировки давления, позволяющий проверять подачу насоса через измерительный блок стенда AVM2-2P; предохранительный клапан давления, сбрасывающий давление из топливной рейки, если возникает угроза безопасности.



генераторы управляющих сигналов для испытаний форсунок Common Rail с частотой 0...10 кГц продолжительностью 0,2...3 мс:

НК850 для форсунок CR фирмы Bosch;
 НК851 для форсунок CR фирмы Delphi;
 НК852 для форсунок CR фирмы Denso;
 НК853 для форсунок CR фирмы Siemens;

комплект для установки насосов, включая трубки кабели, полумуфту и установочный фланец
 HF1131 - для ТНВД Bosch CP1 и CP3;
 HF1132 - для ТНВД Delphi DFP1;
 HF1133 - для ТНВД Denso;
 HF1134 - для ТНВД Siemens.

HF1130 – комплект для испытаний ТНВД систем CR. Предназначен для насосов всех изготовителей. Проверяет производительность насосов CR во всем рабочем диапазоне; а также позволяет проверять сопротивления соленоида насоса; обеспечивает точную установку тока и напряжения соленоида насоса; позволяет независимо устанавливать ток и напряжение для двух соленоидов насоса, что удовлетворяет техническим условиям существующих и перспективных насосов. Комплект также позволяет регулировать частота модуляции питания соленоидов.

НК900 – базовый комплект для форсунок всех изготовителей. Включает в себя блок крепления форсунок и главный управляющий блок.

НК901 - комплект для измерения обратного слива топлива через форсунки, используемого на их управление и температуры топлива.

Прибор измеряет одновременно четыре линии, и выдает результаты в соответствии с предъявляемыми требованиями.

В дополнение к вышеперечисленному, также разработаны комплекты кронштейнов, нагнетательных топливопроводов, адаптеров, кабелей, аккумулятор для форсунок BOSCH, Delphi, Denso и Siemens.

Использование данной оснастки позволяет проводить следующие типовые тесты:

- управление давлением в аккумуляторе с помощью технологического ТНВД;
- контроль управляющего тока, напряжения, управление длительностью импульса для ЭГФ BOSCH, Delphi, Denso, и Siemens;
- измерение сопротивления катушки электромагнита;
- проверка герметичности, установочных параметров;
- оценка быстродействия;
- опрессовка;
- измерение температуры и расхода топлива на управление.

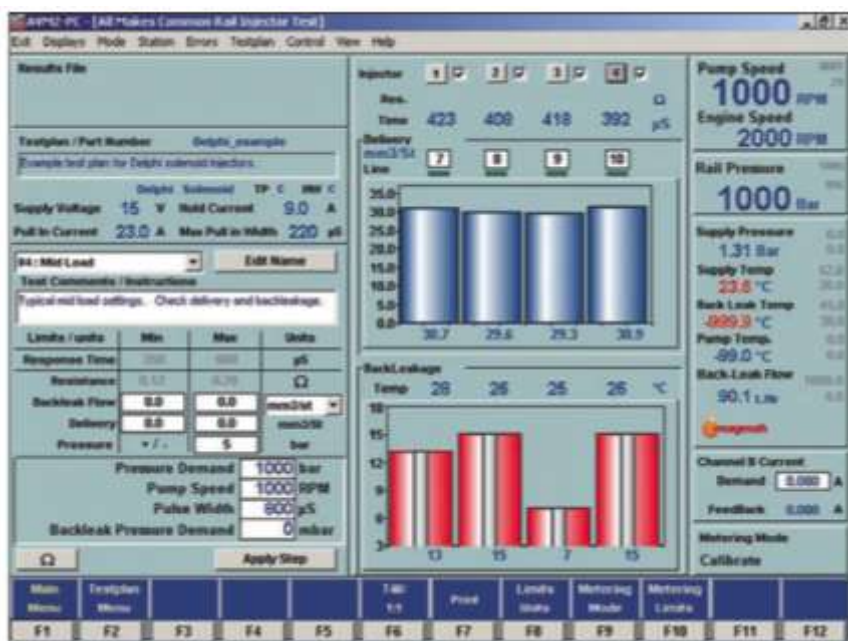
Кроме основных комплектов, для испытания различных форсунок потребуются дополнительные компоненты, такие как: адаптеры для распылителей; прижимные блоки форсунок; трубки высокого давления (от топливной рейки до форсунок); адаптеры для



обратного слива. Кроме того, для испытаний форсунок CR дополнительно требуется ТНВД системы CR с топливной рейкой (если осуществляются лишь испытания форсунок). Прижимы форсунок очень важны для получения точных результатов и безопасности. Неправильный зажим может вызвать неустойчивые результаты и неполную повторяемость при больших давлениях.

Наборы для установки насосов CR предусматривают установку наиболее популярных насосов разных конфигураций от ведущих фирм-производителей, для установки же менее популярных марок ТНВД необходимо дополнительная оснастка.

Все испытания форсунок базируются на тест-планах, которые могут быть созданы и записаны на PC с указанием изготовителя и каталожного номера. Фирма Hartridge предлагает универсальные тест-планы для каждого изготовителя; в них даются типовые установки для регулировки, но не конкретные результаты. Можно использовать эти типовые схемы испытаний, чтобы создать тест-планы на конкретные форсунки. Испытывать можно до 4 форсунок одновременно.



Испытания включают в себя измерения: сопротивления катушки; времени срабатывания форсунки; количества впрыскиваемого топлива и его расход на управление. При испытаниях форсунок CR программное обеспечение станда AVM2-PC автоматически определяет комплект НК900 и заменяет стандартный экран на экран испытаний форсунок CR, разделенный на три зоны (рис.5.19):

Рис. 5.19. Вид экрана компьютера при испытаниях форсунок CR.

- данные испытаний по тест плану (с

- результаты испытаний форсунки (в центре экрана).
- другие данные испытательного станда и измерений (с правой стороны).



Рис. 5.20. Общий вид станда CRi-PC.

Также фирмой Hartridge разработан испытательный станд CRi-PC как эффективная и гибкая платформа для испытаний форсунок ТПС CR всех фирм-производителей (рис.5.20).

Станд оборудован стендовыми ТНВД и топливной рампой, обеспечивает возможность проверки от одной до четырех форсунок одновременно и позволяет измерять: количество впрыскиваемого топлива; сопротивление катушки электромагнита форсунки; время его срабатывания; величину и температуру обратного топлива. Форсунки крепятся к станду с помощью специального пневматического приспособления, что снижает трудоемкость их снятия-установки. Управление станда осуществляется с помощью встроенного PC и может осуществляться как в ручном, так и полуавтоматическом режиме.

Однако, как и в случае со стандом AVM-

2РС, для качественного процесса испытания требуется дополнительное комплектование, к примеру, следующими приспособлениями: НК901 – измерительное устройство обратного слива; кабели для форсунок; адаптеры для распылителей; прижимные блоки; трубки высокого давления (от топливной рейки до форсунок).

Фирма EFS для испытания агрегатов CR предлагает выше описанные модульные блоки в сочетании с дополнительным оборудованием. Так, при испытании развернутой системы CR источник высокого давления топлива заменяют технологическим ТНВД, применяемым в CR, но снабженным автономным электроприводом. Число генераторов силовых импульсов (IPOD), измерителей подачи (MIQ) с механической частью увеличивается до числа ЭГФ.

Регулятор давления EFS 8244 управляет высоким давлением подачи при испытании систем или отдельных форсунок Common Rail. Питание возможно как от сети переменного тока (220В 50-60 Гц), так и от источника постоянного тока (10...36 В).

Одновременно он может управлять 4-мя каналами (внешними или встроенными) по два потребителя на каждом. Ими могут быть: регулятор давления в аккумуляторе, регулятор высокого давления ТНВД (“клапан давления”), регулятор дросселирования на всасывании ТНВД (“клапан расхода”) или др. Регулятор может использоваться для непрерывного измерения давления, обеспечения заданного, контроля времени его изменения, диагностики неисправностей, связи с другими датчиками, измерения входных сигналов, согласования их в стандарте TTL, аналогового выхода по давлению, использоваться как источник питания 230 В и 10...36 В. Точность регулирования $\pm 1\%$ от полного диапазона. Управление – цифровое PID.

ICU (Injector Control Unit) блок управления (рис.5.21,а) в состоянии управлять 18 форсунками CR с осуществлением в каждой форсунке до 8 впрыскиваний за один оборот вала. Сигналы выдаются в TTL-стандарте (усиливаются для ЭГФ блоком IPOD). Угловое разрешение $0,1^\circ$, временное - 1 мкс. Блок снабжен цветным монитором 3,5” и 16-клавишной клавиатурой.



а



б

Рис.5.21. Блоки управления элементами CR: а - ICU - блок управления; б - IPOD - генератор силовых управляющих импульсов.

Входные сигналы: углового положения и частоты вала двигателя (для этого принимается от 120 до 3600 импульсов за цикл двигателя). Задаваемые команды: число форсунок и момент начала (опережение) впрыскивания.

IPOD (Injector Power Driver) - генератор силовых управляющих импульсов (рис.5.21,б) служит для формирования импульсов для непосредственного управления ЭГФ по команде блока управления ICU. Состоит из блока питания, блока управления сигналами, блока высокого напряжения с импульсными конденсаторами, блока силовых ключей (усилителей). Для формирования форсирующего импульса электронным способом подключаются до 6 конденсаторов емкостью $(10...20)\pm 0,01$ мкФ. Блок управления сигналами снабжен собственным программным обеспечением WINIPOD. Возможно управление от 1 до 20 форсунками с 1...16 впрыскиваниями за один цикл в каждой.

Программное обеспечение позволяет формировать каждый силовой импульс в 5 этапов (рис.5.22): 1- форсаж (разряд конденсаторов), 2,4 – удержание якоря, 3,5 - размагничивание. Испытатель задает форму импульса путем задания характерных периодов времени, величин тока, напряжения.

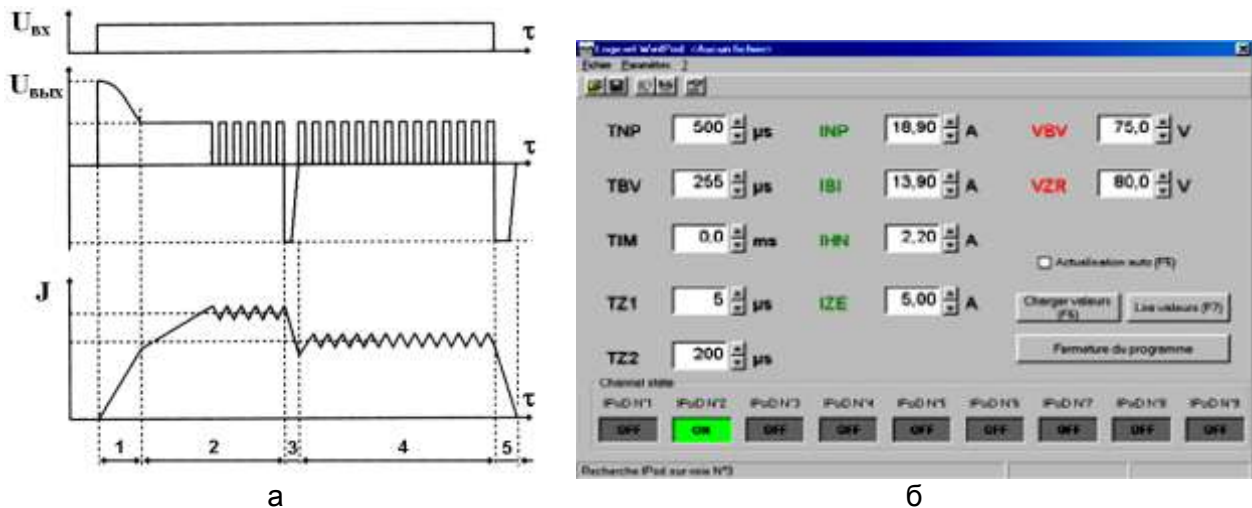


Рис.5.22. Работа генератора силовых управляющих сигналов:

а - формирование управляющего форсункой электрического импульса: $U_{вх}$, $U_{ввых}$ – напряжение входа и выхода генератора силовых импульсов, J – ток через электромагнит ЭГФ; б - экран монитора с окном программы WINIPOD с заданием периодов времени, величин тока, напряжения по пяти характерным этапам импульса.

IPOD PIEZO EFS 8370 - генератор силовых управляющих импульсов для ЭГФ, имеющих пьезопривод управляющего клапана (вместо электромагнитного). Генератор имеет то же назначение и те же возможности, но отличается формированием силового импульса, более соответствующего управлению пьезоприводом, в частности к достоинствам генератора относят:

- большее напряжение – от -200 до +200 В;
- большая частота – до 250 впрыскиваний в секунду;
- регулирование фронтов импульсов в диапазоне от 0.1А/мкс до 10А/мкс.



Рис.5.23. IPOD PIEZO EFS 8370 – генератор управляющих импульсов пьезофорсунок.

Управление работой генератора осуществляется PC с использованием специального программного обеспечения WinIPODpiezo или пользовательской программой MODBUS-протокол. Запуск ЭГФ может осуществляться внешним сигналом или внутренним генератором (два импульса на конфигурируемой частоте).

Форма управляющего импульса может быть трех типов (рис.5.24): с одним импульсом; с несколькими импульсами; с одним импульсом с регулируемым передним и задним фронтами тока. Все другие методы могут быть синтезированы из этих простейших.

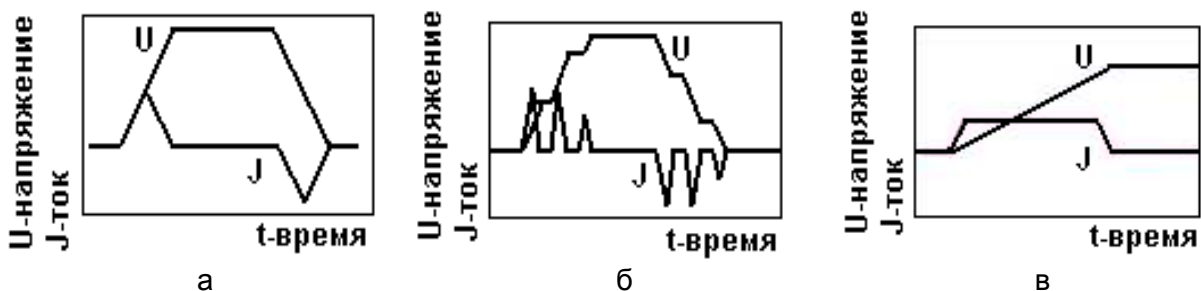


Рис. 5.24. Формы модуляции управляющего ЭГФ импульса с помощью IPOD PIEZO EFS 8370.

Предусматривается возможность испытаний всей системы CR без демонтажа ее с дизеля. В этом случае используется штатный ТНВД, но технологическая система управления,

собранный из РС, генераторов силовых импульсов (IPOD), блока управления (ICU), регулятора давления (EFS8244). В этом случае испытания лишены получения информации о величинах цикловых подач. Если же форсунки поместить в измерители подачи (демонтировать с двигателя), то испытания уже проще проводить по предыдущей схеме в безмоторных условиях.

Фирма Rabotti производит целую гамму, как специализированных стандов для испытания компонентов системы CR, так и приставок к базовым универсальным стандам.



Рис.5.25. Оборудование фирмы Rabotti для проверки систем CR: а, б - стационарные станды TEC500 и TEC100; в - приставка TEC200.

Все станды оснащены автоматическим управлением, соответствующим программным обеспечением и позволяют проводить комплексную проверку ТНВД и ЭГФ согласно требованиям заводов-изготовителей ТА.

Фирма DETEQ предоставляет станд ТС38 для проверки форсунок (рис.5.26,а), который при добавлении к нему устройства возбуждения DIT31 (рис.5.26,б) позволяет проверять работоспособность форсунок последних моделей Common Rail. Сигнал, задаваемый электронной системой управления, влияет на продолжительность впрыска.

DIT31 может быть использован также для проверки потери давления в аккумуляторе и функционирования ограничителей потока. Кроме того, устройство позволяет калибровать клапан регулятора давления.



Рис.5.26. Общий вид станда ТС38 (а) и устройства DIT31 (б).



Рис.5.27. Электронный имитатор TR22 и установка FL200.

Электронный имитатор TR22 фирмы DETEQ (рис.5.27) позволяет проверить функционирование регулировочного клапана высокого давления и датчика давления топливного аккумулятора.

Эти испытания осуществляются посредством регулирования уровня требуемого давления с последующим контролем результатов, полученных от насоса, при работе клапана регулировки давления. С помощью команды ACCEL возможно имитировать функцию педа-

ли акселератора, для того, чтобы проверить реактивность системы. Потребление тока клапаном регулировки давления постоянно измеряется с целью определения возможной неисправности. Некоторые прикладные программы могут потребовать отключение одного из плунжеров ТНВД. Эту функцию можно имитировать и контролировать благодаря дополнительному устройству FL200.

FL200 является измерительным прибором потока (в литрах/час), который должен быть включен в гидравлическую схему, между насосом Common Rail и восстановительным резервуаром испытательного стенда.

Фирма NEXTECH разработала установку NIT-6000 для диагностирования агрегатов систем Common Rail (рис.5.28). Данный стенд выполняет следующие функции: возможность имитирования работы снятых с двигателя форсунок на холостом ходу, низкой, средней и высокой нагрузке; их промывку на стенде; проведение сравнительных тестов.

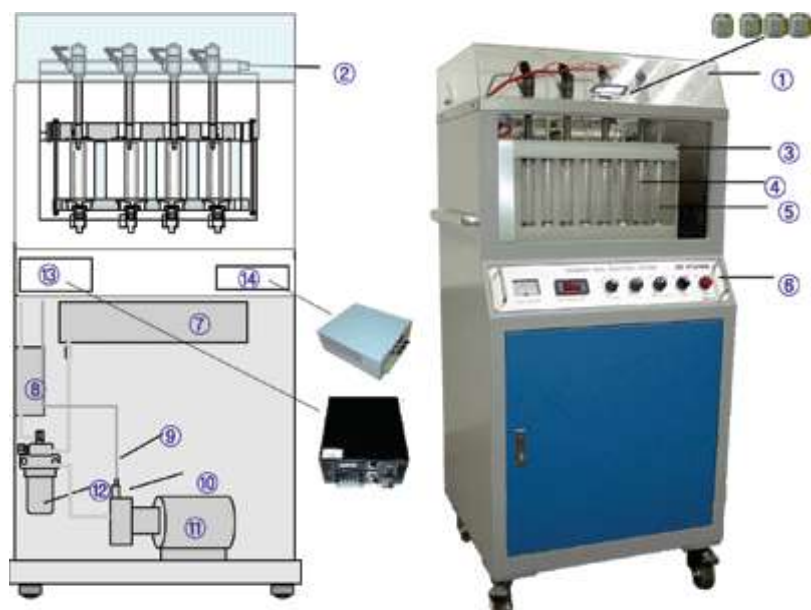


Рис.5.28. Стенд NIT-6000 для диагностики агрегатов CRI: 1 - крышка; 2 - топливная рампа; 3 - рампа для крепления инжекторов; 4 - мензурки прямой подачи; 5 - мензурки обратной подачи; 6 - контрольная панель; 7 - топливный бак; 8 - перепускной резервуар; 9 - трубка высокого давления; 10, 12 - фильтр; 11 - насос высокого давления; 13 - электрический адаптер; 14 - контроллер.

Многие фирмы предлагают для проверки ЭГФ использовать, так называемые, имитаторы сигнала (рис.5.29).



Рис.5.29. Имитаторы сигналов для ЭГФ систем CR различных фирм: а - Nova Ditec; б - Monea; в - ДиаМед.

Приборы предназначены для подачи программируемых пользователем сигналов управления ЭГФ для проверки их работоспособности. Устройство конструктивно выполнено в виде приставки, подключаемой к форсункам, датчику и регулятору давления в рейке при помощи специальных кабелей-переходников.

В практике широко применяется тестирование систем Common Rail на машине с помощью различных диагностических модулей (рис.5.30) Как правило, они состоят из упаковочного чемодана, измерительных сосудов обратного потока, топливопроводов высокого давления, переходников для различных систем ТПС, тестера давления подачи ТНВД.



Рис.5.30. Диагностические модули для диагностирования топливной системы типа CR фирм Delphi (а) и NEXTECH (б).

Функциональные возможности компактного набора: проведение тестов линии низкого давления систем с электрическим погружным первичным топливным насосом; проведение тестов линии низкого давления систем с вакуумным первичным топливным насосом на ТНВД; проведение тестов линии высокого давления; проведение статического теста обратного потока инжекторов; проведение динамического теста обратного потока; проведение тестирования клапана контроля давления; тест-промыть топливных трубок рампы.

Основным недостатком диагностических комплексов является их дороговизна и недостаточно широкие возможности для работы с топливными системами производства различных фирм разработки.

Кафедрой «Тракторы и автомобили» Башкирского ГАУ разработан простой и недорогой диагностический модуль CR для машинно-технологических станции или ремонтно-технических центров КИ-1950 (рис.5.31).

Область применения модуля – диагностирование аккумуляторных систем типа Common Rail фирм BOSCH, Denso, Delphi, Siemens современных автотракторных и комбайновых дизелей. С использованием диагностического модуля производится проверка:

- качества функционирования линии низкого давления (топливной насос низкого давления, состояние фильтров очистки топлива);
- регуляторов и датчиков давления в топливной рампе и (или) на насосе высокого давления;
- объемной производительности и максимального давления впрыскивания топливного насоса высокого давления;
- работоспособности электрогидравлических форсунок по расходу топлива на управление (производительность обратного потока) и др.

В комплект модуля КИ-1950 входят следующие элементы:

- пять измерительных емкостей для измерения расхода топлива на управление (тест обратного потока);
- соединительные трубки высокого давления;
- адаптеры для подключения к линии обратного слива форсунок различных производителей;

- соединительные кабели для регулятора давления, датчика и форсунок с клейменной коробкой;
- мановакуумметр с трубкой высокого давления;
- соединительные трубки низкого давления, переходники и коннекторы для топливных фильтров;
- цифровой датчик давления;
- инструкция с подробным описанием процедуры тестов и эталонными значениями.



а



б

Рис.5.31. Общий вид диагностического модуля KI-1950 (а) и компакт-диск с инструкции ее диагностирования (б).

Мановакуумметр предназначен для проверки линии низкого давления, и позволяет определять перепад давления на топливоприемнике (засоренность), пропускную способность топливного фильтра, давление топливоподкачивающего насоса и герметичность системы питания топливом.

Для проверки работоспособности электрогидроуправляемых форсунок мерные сосуды поэлементно соединяются со штуцерами обратки форсунок, двигатель запускается и проводится измерение объема топлива, идущего на слив по каждой форсунке. Режимы работы двигателя и количество топлива, поступающего в мензурки при этом нормируются для каждой конкретной модели дизеля.

Работоспособность ТНВД косвенно определяется по показаниям цифрового датчика давления (определяется максимальное давление, которое может создать ТНВД) подключенного к его нагнетательной линии. При этом коленчатый вал двигателя должен вращаться при помощи стартера, а вместо управляющего клапана (при его наличии) необходимо установить специальную заглушку.

Для качественного проведения диагностирования разработана соответствующая технология, изложенная в подробной инструкции по эксплуатации модуля на CD с мультимедийным сопровождением.

Контрольные вопросы

1. Выделите основные элементы современных стендов для испытания топливной аппаратуры.
2. Каковы основные требования к стендам проверки и испытания топливной аппаратуры?
3. Каковы особенности стендов для испытания систем CR?
4. Определите основные принципы проверки ЭГФ с помощью имитаторов.
5. Каковы основные возможности модулей для диагностирования CR?
6. Определите основные перспективы совершенствования стендов и оборудования для испытания топливной аппаратуры.

5.2. Контрольно-регулирующие показатели дизельной топливной аппаратуры

Регулировка и дефектовка ТНВД представляют собой набор операций, требующих высокой квалификации слесаря, специализированного дорогостоящего оборудования, наличия технической информации и большой номенклатуры запасных частей.

Решение о необходимости регулировки ТНВД принимают в соответствии с результатами диагностирования дизельного двигателя при очередном техническом обслуживании, а так же при его капитальном ремонте или в случае отказа ТНВД в процессе эксплуатации.

При испытании ТНВД на стенде оцениваются его параметры (объемная подача топлива, угол начала подачи топлива, равномерность и т.д.) на предмет соответствия техническим условиям для заданного дизеля на определенных скоростных режимах.

Перед началом регулировки масляную полость насоса и регулятора промывают чистым дизельным топливом и заполняют свежим маслом, применяемым для двигателя, до уровня сливного отверстия. На время испытаний штуцер слива масла глушат. При установке ТНВД на стенд особое внимание уделяют надежной его фиксации на подставке и соосности кулачкового вала с валом привода стенда.

Испытания насосов должны проводиться на технологической жидкости, к примеру, Calibration Fluid S.9365 фирмы Shell, обеспечивающей стабильность вязкостных параметров в широком диапазоне температур. Возможно использование технологической жидкости, состоящей из смеси профильтрованного дизельного топлива с индустриальным маслом по ГОСТ 20799-88, авиационным маслом по ГОСТ 21743-76 или осветительным керосином по ТУ 38.401-58-10-90, имеющей вязкость $5\div 6 \text{ мм}^2/\text{с}$ (сСт) при температуре $20\pm 5^\circ\text{C}$. Допускается применение смеси рабочих жидкостей, имеющей вязкость $5-6 \text{ мм}^2/\text{с}$ (сСт) при температуре $20\pm 5^\circ\text{C}$ и состоящих из 40% РЖ-3 ТУ 38.101.964 и 60% РЖ-8 ТУ 38.101.883.

После капитального ремонта топливные насосы необходимо обкатать по следующему режиму: без форсунок при полной подаче топлива и номинальной частоте вращения в течение 15 мин, с форсунками, отрегулированными на рабочее давление при номинальной частоте вращения и полной подаче топлива в течение 30 мин. После обкатки заменяют масло в корпусах насоса и регулятора.

При проведении испытаний не допускаются местные нагревы до температуры выше 80°C , ненормальные шумы, заедания или единичные прихваты дозатора и плунжера при любых угловых положениях, защемление рейки насоса, подтекание топлива или масла.

При проверке рядных топливных насосов сначала выполняют предварительные операции (контролируют отсутствие заеданий при вращении кулачкового вала, плавность перемещения рейки, герметичность топливных магистралей головки насоса). Далее проверяют:

- герметичность и величину давления открытия нагнетательных клапанов;
- давление в головке насоса;
- геометрические углы начала подачи топлива секциями насоса;
- предварительную установку деталей регулятора (ход штока и усилие пружины корректора и антикорректора, ход рейки и т.д.);
- начало действия регулятора;
- номинальную подачу топлива и межсекционную неравномерность;
- величину и неравномерность топливоподачи при минимальной частоте вращения холостого хода;
- полное выключение подачи топлива;
- подачу топлива на режимах работы корректора, антикорректора и пневмокоректора;
- пусковую подачу.
- заключительные регулировочные операции (установка винтов упора рычагов, слив масла из корпуса насоса, пломбирование).

Последовательность проверки распределительных ТНВД существенно отличается и зависит от их конструкции. К примеру, для ТНВД типа НД она начинается с выполнения первичных подготовительных операций. Далее выполняют контроль:

- давления топлива в головке насоса;
- пусковой подачи;
- настройки начала действия регулятора;
- частоты вращения полного выключения подачи топлива (для насосов НД-22/6), макси-

мальной частоты вращения (для насосов НД-21);

- номинальной подачи топлива и межсекционной неравномерности топливоподачи;
- подачи топлива на режимах работы корректора и пневмокорректора;
- заключительные операции.

Испытание и регулировку ТНВД на стенде проводят в сборе с форсунками и топливопроводами высокого давления, присоединенными к насосным секциям, измеряя количество топлива, поступающего в измерительные емкости (мензурки) на различных скоростных режимах работы.

Одной из основных операций при этом является регулировка номинальной подачи топлива с обеспечением ее равномерности по нагнетательным секциям ТНВД (контроль **межсекционной неравномерности топливоподачи** δ_c). Допустимая величина δ_c (см. табл.2.3 и табл.2.4) с достаточной точностью оценивается по формуле:

$$\delta_c (\delta) = 2 \cdot \frac{g_{\max} - g_{\min}}{g_{\max} + g_{\min}} \cdot 100\%,$$

где g_{\max} и g_{\min} - максимальное и минимальное значения средних цикловых подач секций насоса.

Основной причиной ее увеличения в процессе эксплуатации является изменение давления начала подачи топлива форсункой, 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.

Кроме того, различие в техническом состоянии 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.

Таким образом, для обеспечения необходимой точности дозирования топлива в процессе работы на дизеле, кроме погрешности регулировочного стенда, необходимо учитывать погрешность вызываемую, с одной стороны, нестабильностью параметров стеновых 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, например, по ГОСТ 25708-83 отклонение одной только пропускной способности распылителей по эффективному проходному сечению 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 стеновых форсунок и топливопроводов высокого давления.

Методика регулирования ТНВД должна строго соответствовать инструкции завода изготовителя, причем для конкретно заданного дизеля, вследствие конструктивных особенностей различных ТНВД и эксплуатационных условий их работы.

5.3. Регулирование ТНВД Ногинского завода ТА (серия УТН)

После установки ТНВД на стенд в первую очередь проверяют состояние нагнетательных клапанов. Для этого в головку ТНВД подают топливо под давлением $0,17 \div 0,2$ МПа при положении рычага **7** (рис.5.32), соответствующем выключенной подаче. Течь топлива из штуцеров ВД в течении 2 минут с момента подачи топлива не допускается. В противном случае, при исправной пружине нагнетательного клапана, заменяют нагнетательный клапан в сборе с корпусом. Постепенно увеличивая давление, наблюдают, при каком давлении начинается истечение топлива из сливных трубок. Давление открытия нагнетательных клапанов должно находиться в пределах $1,2 \div 1,6$ МПа. В случае несоответствия меняют пружину нагнетательного клапана.

Угол начала подачи топлива ТНВД определяют по моменту начала движения топлива в моментоскопе, присоединенном к нагнетательной секции насоса. При этом необходимо, чтобы в головке ТНВД поддерживалось избыточное давление в пределах $0,04 \div 0,1$ МПа.

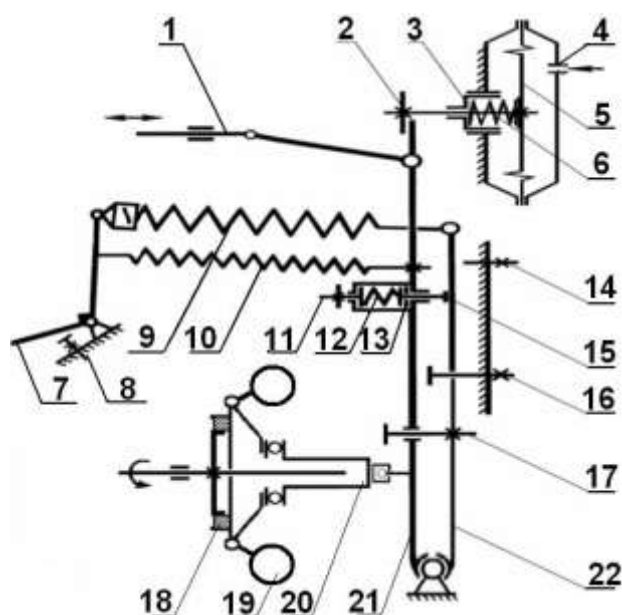


Рис.5.32. Схема регулятора частоты вращения ТНВД 4УТНИ:

1 - рейка ТНВД; 2 - регулировочный упор штока пневмокорректора; 3 - регулировочный стакан пружины; 4 - штуцер подачи воздуха; 5 - мембрана; 6 - пружина; 7 - рычаг управления; 8 - болт регулировки скоростного режима; 9 - пружина регулятора; 10 - пружина пускового обогатителя; 11 - винт регулировки предварительного натяжения пружины корректора; 12 - пружина корректора; 13 - регулировочная шайба хода штока корректора; 14 - винт буферной пружины холостого хода; 15 - шток корректора; 16 - болт номинальной подачи; 17 - болт ограничения пусковой подачи; 18 - демпфер; 19 - груз регулятора; 20 - муфта грузов регулятора; 21 - основной рычаг; 22 - промежуточный рычаг.

С 2003 года ТНВД производства Ногинского ЗТА (серии 4УТНИ, 4УТНМ-Т и 4УТНИ-Т) оснащаются кулачковым валом с несимметричным (эксцентриковым) профилем кулачка приводного вала. Для данных ТНВД при регулировке геометрического угла начала подачи топлива необходимо оценить величину хода плунжера от начала его подъема до начала нагнетания топлива.

Для этого выворачивают нажимной штуцер подвода топлива первой секции ТНВД, вместо нагнетательного клапана ставят специальное приспособление, представляющее собой индикаторную головку часового типа.

Поворачивая привод станда, определяют нижнее положение плунжера, затем, вращая «по ходу» кулачковый вал, по показаниям шкалы индикаторной головки установите ход плунжера $4,0 \pm 0,05$ мм (для всех серий при использовании плунжерной пары диаметром 10 мм). Фиксируют соответствующее этому положению кулачкового вала значение угла на градуировочном диске станда.

Снимают специальное приспособление и монтируют нагнетательный клапан, пружину и нажимной штуцер. Крепят на проверяемую секцию моментоскоп. Для двухрычажных ТНВД 4УТНИ-Т при проверке начала подачи топлива совмещают рычаг останова с меткой на корпусе регулятора. Вращая привод станда по часовой стрелке заполняют его топливом и находят положение кулачкового вала при котором начинается подача топлива. Соответствующее ему значение угла по градуировочному диску должно совпадать с зафиксированным ранее. При необходимости регулируют угол начала подачи топлива, заворачивая или выворачивая регулировочный болт толкателя ТНВД.

Начало подачи топлива следующей секции (согласно порядку работы секций) должно происходить через 90° поворота кулачкового вала ТНВД относительно первой секции. Регулировочные болты толкателей фиксируют контргайками.

Для проверки угла у ТНВД с симметричным профилем кулачка определяют начало подачи топлива по моментоскопу при вращении кулачкового вала «по ходу» и «против хода». В момент начала движения топлива фиксируют показания на градуированном диске станда. Число градусов, заключенное между полученными двумя делениями на градуированном диске станда, при делении пополам должно совпадать с табличным значением геометрического угла начала подачи топлива (для серии 4УТНМ угол равен 57°).

В случае несоответствия полученного значения с табличным, производят регулировку заворачивая или выворачивая болт толкателя. Выворачивание болта приводит к увеличению угла геометрического начала подачи топлива.

Для правильной работы регулятора необходимо до его регулировки выставить определенные конструктивные размеры. В случае ТНВД серии УТН таким размером является вылет рейки (расстояние от торца рейки 1 до привалочной плоскости насоса). При этом рычаги 21 и 22 должны быть сжаты до утопания штока 15 и упираться в болт 16. Вылет рейки должен быть $24 \pm 0,5$ мм. При несоответствии положение рейки регулируют болтом 16.

Так же проверяют и регулируют ход штока **15** корректора и затяжку его пружины **12**. Ход штока **15** ($1,3^{+0,2}$ мм) устанавливают шайбами **13**, число которых допускается не более 3 шт. Усилие затяжки пружины **12** регулируют винтом **11** в пределах 55÷85 Н. Конструкция корректора топливных насосов производства НЗТА изменялась в процессе их модернизации и может отличаться от представленной на схеме.

Если регулятор топливного насоса оборудован пневмокорректором, то перед началом регулировки его отключают или демонтируют.

После установки заданных кинематических размеров проверяют начало действия регулятора ТНВД. Включают стенд и постепенно увеличивая частоту вращения кулачкового вала фиксируют значение, при котором происходит начало отрыва рычага **22** от плоскости головки болта **16**. При этом рычаг **7** управления находится на упоре в болт **8**.

При несовпадении частоты начала действия регулятора с регулировочными таблицами, изменяют положение болта **8** или число рабочих витков пружины **9** регулятора, наворачивая или выворачивая серьгу ее крепления.

Следующей и основной регулировкой является регулировка номинальной подачи топлива и ее равномерности. Для этого устанавливают номинальную частоту вращения, рычаг **7** поворачивают до упора в болт **8** и при давлении топлива в головке ТНВД в пределах 0,07÷0,12 МПа измеряют подачу топлива секциями насоса. В случае несоответствия цикловой подачи табличным значениям расслабляют стяжной винт и поворачивают втулку плунжера относительно зубчатого сектора. Неравномерность подачи топлива по секциям не должна превышать допустимые 3%.

Что бы проверить плунжерные пары на идентичность по группам гидроплотности проверяют неравномерность подачи топлива по секциям при частоте вращения вала привода 300 мин⁻¹. При этом рычаг **7** управления регулятором ставят в такое положение, при котором цикловая подача будет равна 20÷30 мм³/цикл. Неравномерность подачи топлива по секциям не должна быть более 30 %. В противном случае меняют плунжерную пару или нагнетательный клапан у секции с наименьшей подачей.

Для проверки точки полного выключения подачи топлива выкручивают винт **14** на два оборота и при положении рычага **7** управления на упоре в болт **8** увеличивают частоту вращения вала привода до полного прекращения подачи топлива через форсунки. Если частота вращения не соответствует табличному значению - меняют пружину **9** регулятора. В этом же положении рычага **7** заворачивают винт **14** до касания рычага **22**, после чего выворачивают винт **14** на четверть оборота и контрят. Если на упорном винте **14** установлена буферная пружина, то указанную регулировку следует проводить на режиме минимального холостого хода при опущенном рычаге **7** управления.

Для проверки усилия затяжки пружины **12** корректора рычаг **7** поворачивают до упора в болт **8** и устанавливают частоту вращения соответствующую режиму максимального крутящего момента. При этом шток **15** корректора должен выступать на установленную величину. Если шток **15** выступает недостаточно - заворачивают винт **11**, увеличивая затяжку пружины.

Увеличивают частоту вращения до номинальной. Проверяют положение штока **15**, нажимая рычаг **21** к рычагу **22**. Отсутствие хода говорит о полном утопании штока **15**. В случае если шток **15** утопает не полностью, снижают усилие пружины **12**, выворачивая винт **11**.

Устанавливают пневмокорректор на регулятор ТНВД и регулируют положение упора **2** на штоке **3** пневмокорректора таким образом, чтобы при частоте вращения привода 500 мин⁻¹ и давлении воздуха, равном 0 МПа, цикловая подача соответствовала табличному значению. Проверяют, что бы при давлении воздуха в пневмокорректоре около 0,5 МПа упор полностью отходил от рычага **21**. В противном случае изменяют затяжку пружины **6** пневмокорректора путем поворота стакана **3** и фиксируют штифтом, прижимаемым крышкой регулятора.

Проверяют пусковую подачу топлива. При 150 мин⁻¹ вала привода насоса она должна быть не менее 145 мм³/цикл. Если подача меньше допустимой, проверяют состояние пусковой пружины **10**, легкость перемещения рейки **1**, зазор между рычагами **21** и головкой болта **22**. Расхождение центров их верхних головок должно быть в пределах 16÷16,5 мм., что регулируется винтом **17**.

Пломбы в количестве 2-х штук ставят: на два болта крепления корпуса регулятора к ТНВД, два болта бокового лючка насоса и два болта верхней крышки регулятора (или корпус пневмокорректора); на болт номинальной подачи топлива и болт максимального скоростного режима.

5.4. Регулирование ТНВД Алтайского завода ТА (серия ТН)

Регулировка ТНВД начинается с проверки и обеспечения установочных размеров. Для относительно ровной подачи топлива по секциям хомуты первого насосного элемента, при положении рычага **12** (рис.5.33) управления на упоре в болт **10**, располагают на расстоянии 50 мм от привалочной к регулятору плоскости насоса. Остальные хомуты выставляют через 40 мм друг от друга.

Нормальный ход рейки должен быть в пределах 10÷15 мм. Величину хода рейки изменяют болтом **2**, предварительно устанавливая его так, чтобы упирающаяся в призму часть болта выступала из рычага **3** регулятора на 10,5÷11 мм. При регулировке ТНВД пневмокорректор должен быть отключен или демонтирован.

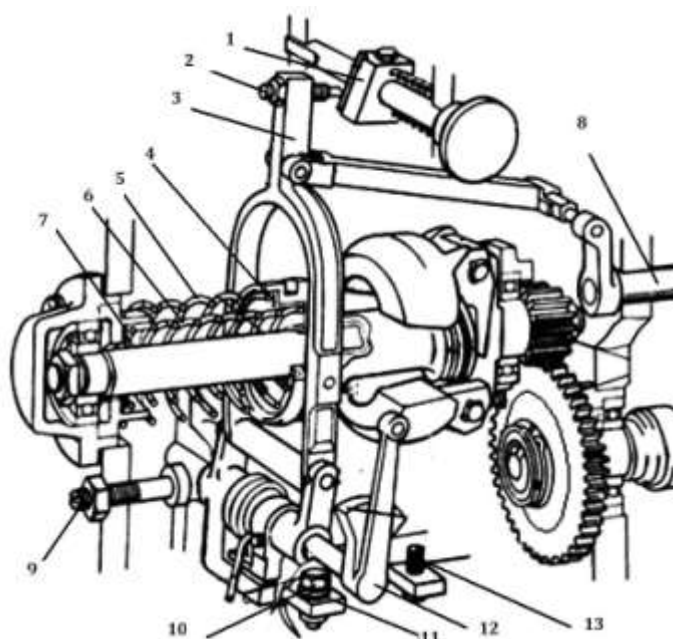


Рис. 5.33. Регулятор ТНВД серии ТН: 1 - призма; 2 - болт номинала; регулировочные шайбы; 3 - основной рычаг; 4, 7, 11 - регулировочная шайба; 5, 6 - пружина регулятора; 8 - рейка топливного насоса; 9 - болт-ограничитель; 10 - болт максимального скоростного режима; 12 - рычаг управления регулятором; 13 - винт останова.

Для проверки герметичности и давления открытия нагнетательных клапанов топливо подают в головку ТНВД под давлением 0,17÷0,2 МПа при положении рычага **12**, соответствующем выключенной подаче (на упоре в болт **13**). Течь топлива из штуцеров ВД в течении 2 минут с момента подачи топлива не допускается. В противном случае, при исправной пружине нагнетательного клапана, меняют нагнетательный клапан в сборе с корпусом. Постепенно увеличивая давление, наблюдают, при каком давлении начинается истечение топлива из сливных трубок. Давление открытия нагнетательных клапанов должно находиться в пределах 1,2÷1,6 МПа. В случае несоответствия ставят регулировочные шайбы между пружиной нагнетательного клапана и вытеснителем или меняют пружину нагнетательного клапана.

Угол начала подачи топлива ТНВД определяют по моменту начала движения топлива в моментоскопе, присоединенном к нажимному штуцеру насоса. При этом необходимо, чтобы в головке ТНВД поддерживалось избыточное давление в пределах 0,04÷0,1 МПа.

Для регулировки угла начала подачи топлива ТНВД с симметричным профилем рычаг **12** устанавливают на упор в болт **10**. На штуцер первой секции крепят моментоскоп, и, поворачивая привод вала «по ходу» и «против хода», фиксируют показания на градуированном диске стенда в момент начала движения топлива в трубке моментоскопа. Число градусов, заключенное между полученными двумя делениями на градуированном диске стенда, делят пополам. Полученное значение должно совпадать с табличным значением геометрического угла начала подачи топлива (для ТНВД серии ТН - 36°, ЛСТН - 54°). В

случае несоответствия полученного значения с табличным, угол регулируют, заворачивая или выворачивая болт толкателя.

Начало подачи топлива следующей секции (согласно порядку работы) должно происходить для 4-х секционного насоса – через 90° поворота кулачкового вала ТНВД, для 6-ти секционного насоса – через 60° поворота кулачкового вала ТНВД. Регулировочные болты толкателей фиксируют контргайками.

В ТНВД с несимметричным профилем кулачка (размерностью 10x12 мм) геометрический угол начала подачи топлива первой секцией оценивается величиной хода плунжера от начала его подъема до начала нагнетания топлива.

Для регулировки угла начала подачи топлива вместо нажимного штуцера подвода топлива первой секцией ТНВД и нагнетательного клапана устанавливают специальное приспособление, представляющее собой индикаторную головку часового типа.

Поворачивают привод стенда для определения нижнего положения плунжера и выставляют шкалу индикаторной головки на "0", затем, вращая кулачковый вал по «ходу» вращения при работе, по показаниям шкалы индикаторной головки определяют ход плунжера соответствующий табличному значению (для ТНВД Алтайского ЗТА ход плунжера равен $5,0 \pm 0,05$ мм.). Фиксируют соответствующее этому положению кулачкового вала значение угла на градуировочном диске стенда.

Снимают специальное приспособление и монтируют нагнетательный клапан, пружину, нажимной штуцер и моментоскоп. Вращают привод стенда по «ходу» и находят положение кулачкового вала при котором начинается подача топлива. Соответствующее ему значение угла по градуировочному диску должно совпадать с зафиксированным ранее.

При необходимости регулируют угол начала подачи топлива, заворачивая или выворачивая регулировочный болт толкателя. Регулировка угла начала подачи топлива остальными секциями ТНВД с несимметричным профилем не отличается от регулировки угла начала подачи топлива ТНВД с симметричным профилем.

Для регулировки начала действия регулятора поворачивают рычаг **12** до упора в болт **10**. Постепенно увеличивают частоту вращения вала стенда до момента начала отрыва болта **2** от плоскости призмы **1**.

При несовпадении частоты начала действия регулятора с регулировочными данными, изменяют количество регулировочных шайб **11** под болтом **10**. Допускается установка от 4 до 12 шайб. Если начало действия регулятора шайбами **6** отрегулировать не удалось, то изменяют число шайб **4** и **7** под пружинами **5** и **6** регулятора. Допускается установка не более 4-х шайб **4** или **7**.

Регулирование подачи топлива в каждой секции ТНВД проводят, изменяя положение хомутиков относительно рейки **8**, предварительно ослабив затяжку стяжного винта хомутка. При этом устанавливают номинальную частоту вращения, а рычаг **12** поворачивают до упора в болт **10**. Давление топлива в головке ТНВД должно соответствовать заводским рекомендациям. Допускаемая неравномерность между секциями согласно табл.2.3.

Далее проверяют неравномерность подачи топлива по секциям при 300 мин^{-1} согласно табл. 2.3. Для этого рычаг **12** управления регулятором устанавливают в такое положение, при котором цикловая подача будет соответствовать величине $20 \pm 30 \text{ мм}^3/\text{цикл}$. В противном случае замените нагнетательный клапан или плунжерную пару у секции с наименьшей подачей.

Проверку работы корректора производят при упоре рычага **12** в болт **10** и соответствующей режиму коррекции частоте вращения привода. Количество топлива, подаваемого каждой секцией, должно соответствовать табличным значениям.

Регулируют подачу топлива поворотом призмы **1**. После поворота призмы **1** проверяют и при необходимости регулируют начало действия регулятора и цикловую подачу топлива на номинальном режиме, после чего вновь производят проверку работы корректора.

Пневмокорректор устанавливают на ТНВД таким образом, чтобы на заданном скоростном режиме цикловая подача соответствовала табличному значению без давления воздуха в полости мембраны. В случае необходимости регулируют подачу топлива поворотом корпуса пневмокорректора и фиксируют корпус контрольной гайкой.

Проверяют цикловую подачу на режиме максимального крутящего момента при давлении воздуха в пневмокорректоре $0,02^{+0,004} \text{ МПа}$ ($0,2^{+0,04} \text{ кг/см}^2$). Она должна соответ-

вывать табличному значению, в противном случае ослабляют затяжку пружины пневмокорректора.

Для регулировки винтов упора и ограничения выключения подачи устанавливают номинальную частоту вращения. Выворачивают винт **9** заподлицо с приливом корпуса. Рычаг **12** поворачивают до упора в болт **10**, после чего заворачивают винт **9**, пока он не коснется рычага **3** (в момент касания винт **2** отойдет от призмы **1**). Затем выворачивают винт **9** на один оборот и фиксируют контргайкой.

Поворачивают рычаг **12** управления до упора в винт **9** ограничения выключения подачи, и заворачивают винт **9** до начала заметного движения рейки **8** в сторону увеличения подачи. После этого проверяют отсутствие подачи топлива насосом через форсунки на всех скоростных режимах и контрят винт контргайкой.

При проверке пусковой подачи валик обогатителя необходимо выдвинуть так, чтобы винт **2** вошел в паз призмы **1**. Цикловая подача топлива должна соответствовать табличному значению при 150 мин^{-1} вала привода насоса. При опущенном рычаге **3** винт **2** должен выйти из паза призмы **1** с увеличением частоты вращения до $350 \div 550 \text{ мин}^{-1}$.

Пломбы в количестве 3-х штук ставят: на два болта крепления корпуса регулятора к ТНВД и два болта бокового лючка насоса; на два болта верхней крышки регулятора и корпус пневмокорректора; на шпильку защитной крышки рычага управления и крышку подшипника вала регулятора.

5.5 Регулирование ТНВД Чугуевского завода ТА (серия НД)

а) сборку ТНВД НД-21 производят в следующей последовательности:

Секцию высокого давления в сборе устанавливают в корпус ТНВД, зубчатую втулку фиксируют скобой. Кулачковый вал ставят в положение, при котором риска на торце вала регулятора находится против деления "0" на лимбе, а шпонка кулачкового вала – вверху и в одной плоскости с риской лимба. Затем кулачковый вал поворачивают по ходу часовой стрелки так, что бы риска на торце вала регулятора остановилась против деления 350° на лимбе.

В этом положении устанавливают кронштейн промежуточной шестерни в отверстие корпуса насоса, шестерню вводят в зацепление и досылают до упора, при одновременном вращении кулачкового вала в обратном (против часовой стрелки) направлении.

При правильной сборке, в положении, когда кронштейн промежуточной шестерни входит в гнездо до упора, риска на торце вала регулятора должна находиться против деления $210 \pm 4^\circ$. После этого убирают стопор с зубчатой втулки и затягивают гайкой хвостовик кронштейна промежуточной шестерни.

б) сборку ТНВД НД-22/6 производят в следующей последовательности:

Секции высокого давления в сборе устанавливают в корпус ТНВД, зубчатые втулки фиксируют скобой. В начале необходимо закатывать промежуточную шестерню второй секции (ближней к регулятору). Для этого ставят кулачковый вал в нулевое положение: при этом шпонка кулачкового вала направлена вверх, а риска на торце вала регулятора находится против деления "0" лимба. Поворачивают кулачковый вал по ходу часовой стрелки так, чтобы риска на лимбе указала 290° (для ТНВД, устанавливаемых на рядные дизели СМД-31 и Д-260 риска должна указывать на 320°).

Ближнюю к регулятору промежуточную шестерню вводят в зацепление и, с одновременным вращением кулачкового вала против хода часовой стрелки, досылают до упора в корпус ТНВД. При правильной сборке риска на валу регулятора должна указывать на $150^\circ \pm 4^\circ$ по лимбу (для ТНВД, устанавливаемых на рядные дизели СМД-31 и Д-260 - $180^\circ \pm 4^\circ$). На хвостовик кронштейна промежуточной шестерни наворачивают гайку и затягивают с моментом 20 Нм.

Далее устанавливают промежуточную шестерню первой секции. Для этого вновь ставят кулачковый вал в нулевое положение и затем поворачивают его по ходу часовой стрелки до тех пор, пока риска на валу регулятора не остановится против деления 320° на лимбе (для всех ТНВД). Промежуточную шестерню вводят в зацепление и досылают, с одновременным вращением кулачкового вала против хода часовой стрелки, до упора кронштейна в корпус. После поворота вала, на лимбе должно быть $180^\circ \pm 4^\circ$. На хвостовик кронштейна промежуточной шестерни наворачивают гайку и затягивают с моментом 20 Нм.

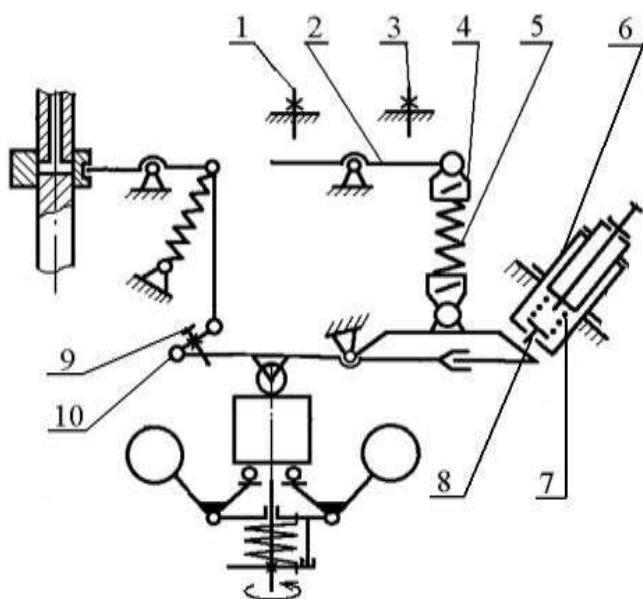


Рис.5.34. Схема всережимного регулятора ТНВД типа НД:

1 - винт «Стоп»; 2 - рычаг управления регулятором; 3 - винт максимальной частоты вращения; 4 - серьга пружины; 5 - пружина регулятора; 6 - корпус корректора; 7 - пружина корректора; 8 - шток корректора; 9 - фиксирующий болт; 10 - эксцентриковый палец.

Угол начала подачи топлива определяют по моменту начала движения топлива в моментоскопе, присоединенном к штуцеру секции насоса. При этом в головке ТНВД поддерживают избыточное давление в пределах $0,04 \div 0,1$ МПа, а рычаг **2** (рис 5.34) ставят на упор в болт **3**.

Привод вала поворачивают «по ходу» и «против хода», фиксируя при этом показания на градуированном диске в момент начала движения топлива в трубке моментоскопа. Число градусов, заключенное между полученными двумя делениями на градуированном диске стенда, делят пополам. Полученное значение должно совпадать с табличным значением геометрического угла начала подачи топлива (для серии НД-21 угол равен 57° , для НД-22/6 - 37°). В случае несоответствия полученного значения с табличным, производят регулировку. Для настройки угла начала подачи топлива используют 11 размерных групп тарелок толщиной $2,8 \div 3,9$ мм устанавливаемых под пружину секции.

Чередование подач по штуцерам должно происходить для ТНВД серии НД-22/6 через 45° и 75° (для ТНВД, устанавливаемые на рядные дизели СМД-31 и Д-260 - через 60°). У ТНВД серии НД-21 чередование углов заложено конструктивно.

Регулировка регулятора ТНВД начинают с проверки и регулировки пусковой подачи. Рычаг **2** поворачивают до упора в болт **3**. Пусковая подача топлива при частоте вращения привода 150 мин^{-1} должна быть в пределах $18 \div 22 \text{ см}^3$ за 100 циклов. В случае необходимости подачу регулируют поворотом эксцентрикового пальца **10**, предварительно ослабив болт **9**.

Для настройки полного отключения подачи топлива регулятором выворачивают на несколько оборотов болт **3** максимальной частоты вращения и корпус корректора **6**. Частоту вращения полного выключения подачи устанавливают согласно регулировочным данным и заворачивают болт **3** до полного прекращения подачи топлива из форсунок. Допускается изменять число рабочих витков пружины **5** регулятора путем поворота серьги **4**.

Регулирование номинальной подачи топлива и ее равномерности проводят при отключенном пневмокорректоре. Величину цикловой подачи топлива (у насосов НД-22/6 2-ой секции, ближней к регулятору) регулируют, изменяя положение корпуса корректора **6**. Величину подачи топлива первой секцией для насосов НД-22/6 регулируют путем изменения длины тяги, соединяющей поводки дозаторов секций.

Неравномерность подачи топлива между всеми штуцерами ТНВД не должна превышать 6% от значения номинальной цикловой подачи. Снизить неравномерность топливоподачи можно заменив одну из пружин или тарелку нагнетательного клапана. Проверьте неравномерность подачи топлива по секциям при 300 мин^{-1} . Для этого установите рычаг **2** управления регулятором в такое положение, при котором цикловая подача будет соответствовать $20 \div 30 \text{ мм}^3/\text{цикл}$. Неравномерность подачи топлива по секциям не должна быть более 40%. В противном случае меняют плунжерную пару на подходящую по группе гидроплотности.

Регулировку корректора производят при частоте, соответствующей режиму максимального крутящего момента и упоре рычага **2** в винт **3**. Количество топлива, подаваемого каждой секцией, должно соответствовать табличным значениям.

Величина подачи топлива зависит от хода штока **8** корректора и предварительного натяга пружины **7** корректора. Ход штока корректора должен быть в пределах $0,45 \div 0,55$ мм; предварительное натяжение пружины корректора для СМД-64 – $5^{+0,3}$ Н; СМД-60, СМД-62Т – $6^{+0,3}$ Н и СМД-72 – $7^{+0,3}$ Н. Для насосов НД-21 ход штока должен быть в пределах $0,38 \div 0,55$ мм, предварительный натяг пружины – 5,5 Н.

При установке пневмокорректора проверяют, что бы на заданном скоростном режиме цикловая подача соответствовала табличному значению при отсутствии давления воздуха. В случае необходимости регулируют ее поворотом корпуса пневмокорректора и фиксируют контрвочной гайкой.

Затем проверяют цикловую подачу на режиме максимального крутящего момента при давлении воздуха в пневмокорректоре согласно табличным данным. При несоответствии меняют затяжку пружины пневмокорректора.

Пломбы в количестве 2-х штук ставят: на два болта бокового лючка насоса; на болт защитного колпачка болтов скоростного режима, два болта крышки регулятора, корпус корректора и корпус пневмокорректора.

5.6. Регулирование ТНВД Ярославского завода ТА (серия 43 ЯМЗ)

Регулировку ТНВД начинают с проверки и обеспечения установочных размеров. Для правильного кинематического положения рычагов при сборке регулятора винты необходимо установить следующим образом:

- болт **4** (рис.5.35) регулировки минимальной и болт **2** максимальной частоты вращения холостого хода должны выступать из корпуса на $7 \div 8$ мм;
- выступание головки регулировочного болта **8** номинальной подачи из рычага **9** регулятора должно быть в пределах $12,7 \div 13,3$ мм;
- торец регулировочного винта **6** должен выступать из двуплечего рычага **5** на $1 \div 1,5$ мм;
- торец регулировочного винта-ограничителя подачи в крышке должен быть совмещен с торцом внутренней поверхности бобышки крышки регулятора;
- регулировочный винт **14** кулисы должен быть вывернут заподлицо с поверхностью фланца крышки регулятора.

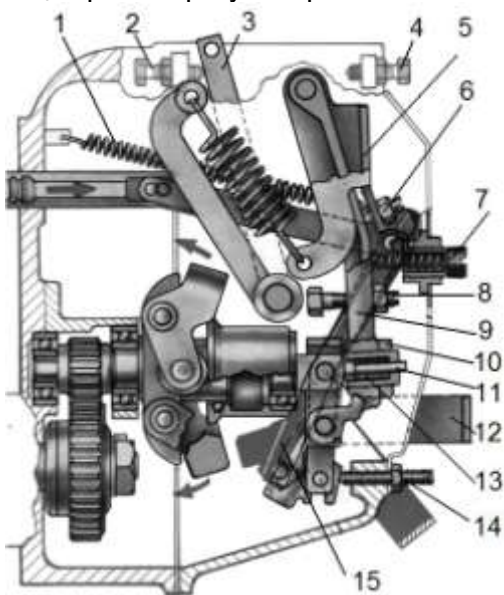


Рис.5.35. Схема всережимного регулятора ТНВД 43 серии:

- 1 - пружина пускового обогатителя; 2 - болт максимальной частоты вращения; 3 - рычаг управления регулятором; 4 - болт ограничения минимальных оборотов; 5 - двуплечий рычаг; 6 - винт двуплечего рычага; 7 - буферная пружина; 8 - болт номинальной подачи; 9 - рычаг регулятора; 10 - корпус корректора; 11 - гайка регулировки хода штока корректора; 12 - скоба останова двигателя; 13 - пружина корректора; 14 - винт кулисы (винт регулировки мощности); 15 - рычаг тяги.

После установки ТНВД на стенд проверяют состояние нагнетательных клапанов. Для этого топливо подают в головку ТНВД под давлением $0,17 \div 0,2$ МПа при положении рычага **3**, соответствующем выключенной подаче. Течь топлива из штуцеров ВД в течении 2 минут с момента подачи топлива не допускается. В противном случае, при исправной пружине нагнетательного клапана, меняют нагнетательный клапан в сборе с корпусом. Постепенно увеличивая давление, наблюдают, при каком давлении начинается истече-

ние топлива из сливных трубок. Давление открытия нагнетательных клапанов должно находиться в пределах $0,9 \div 1,1$ МПа. В случае несоответствия меняют пружину нагнетательного клапана.

Угол начала подачи топлива ТНВД определяют по моменту начала движения топлива в моментоскопе, присоединенном к нажимному штуцеру насоса. При этом необходимо поддерживать в головке ТНВД избыточное давление в пределах $0,04 \div 0,1$ МПа.

Для проверки угла у ТНВД с симметричным профилем кулачка определяют начало подачи топлива по моментоскопу при вращении кулачкового вала «по ходу» и «против хода». Рычаг **3** поворачивают до упора в болт **2**. В момент начала движения топлива фиксируют показания на градуированном диске стенда. Число градусов, заключенное между полученными двумя делениями на градуированном диске стенда, при делении пополам должно совпадать с табличным значением геометрического угла начала подачи топлива (для серии ЯМЗ угол равен 38°).

В случае несоответствия полученного значения с табличным, производят регулировку заворачивая или выворачивая болт толкателя. Выворачивание болта приводит к увеличению угла геометрического начала подачи топлива.

Начало подачи топлива следующей секции (согласно порядку работы секций) должно происходить в соответствии с порядком работы двигателя. Регулировочные болты толкателей фиксируют контргайками.

В ТНВД с несимметричным профилем кулачка геометрический угол начала подачи топлива первой секцией оценивается величиной хода плунжера от начала его подъема до начала нагнетания топлива.

Для регулировки угла начала подачи топлива выворачивают нажимной штуцер подвода топлива первой секции ТНВД, убирают из седла нагнетательный клапан. Вместо штуцера устанавливают специальное приспособление, представляющее собой индикаторную головку часового типа.

Поворачивая привод стенда, определяют нижнее положение плунжера и ставят шкалу индикаторной головки на "0", затем, вращая кулачковый вал по часовой стрелке (если смотреть со стороны привода ТНВД), по показаниям шкалы индикаторной головки выставляют ход плунжера соответствующий табличному значению. Фиксируют соответствующее этому положению кулачкового вала значение угла на градуировочном диске стенда.

Снимают специальное приспособление и устанавливают нагнетательный клапан, пружину, нажимной штуцер и моментоскоп. Вращая привод стенда по часовой стрелке находят положение кулачкового вала при котором начинается подача топлива. Соответствующее ему значение угла по градуировочному диску должно совпадать с зафиксированным ранее.

При необходимости регулируют угол начала подачи топлива, заворачивая или выворачивая регулировочный болт толкателя. Регулировка угла начала подачи топлива остальными секциями ТНВД с несимметричным профилем не отличается от регулировки угла начала подачи топлива ТНВД с симметричным профилем.

В момент начала нагнетания топлива первой секцией наносят риску на указателе начала нагнетания топлива напротив метки на муфте опережения впрыскивания топлива.

Для регулировки начала действия регулятора рычаг **3** установите на упор в болт **2**. Постепенно увеличивайте частоту вращения вала стенда до момента начала отрыва головки болта **8** от оси рычага **3**. При несовпадении частоты начала действия регулятора с табличными данными измените положение болта **2**.

Поворачивают рычаг **3** управления регулятором до упора в болт **4** минимальной частоты вращения холостого хода и при частоте $450 \div 500$ мин⁻¹ винтом **14** кулисы устанавливают запас хода рейки, равный $0,5 \div 1$ мм после полного выключения подачи.

Проверяют ход рейки при номинальной частоте вращения кулачкового вала насоса от «нулевой» подачи до «полной». У большинства ТНВД 43 серии он равен $13 \pm 0,2$ мм. При необходимости его корректируют регулировочным болтом **8**.

Регулирование подачи топлива и ее равномерность по секциям осуществляется на номинальном скоростном режиме при упоре рычага **3** в болт **2**. Давление топлива на впуске в ТНВД должно лежать в пределах $0,07 \div 0,12$ МПа.

Замеряют подачу топлива при номинальной частоте вращения и положении рычага **3** на упоре в болт **2**. В случае несоответствия цикловой подачи табличным значениям расслабляют стяжной винт и поворачивают втулку плунжера относительно зубчатого сектора. Равномерность подачи по секциям не должна превышать допустимые $3 \div 7\%$ в зависимости от числа секций ТНВД.

Проверяют неравномерность подачи топлива по секциям при 300 мин^{-1} . Для этого рычаг **3** управления регулятором ставят в такое положение, при котором цикловая подача будет равна $20 \div 30 \text{ мм}^3/\text{цикл}$. Неравномерность подачи топлива по секциям не должна превышать величину от 30% до 50% в зависимости от количества секций. В противном случае меняют плунжерную пару или нагнетательный клапан у секции с минимальной подачей.

При положении рычага **3** управления на упоре в болт **2** проверяют соответствие частоты вращения полного выключения подачи топлива табличному значению. Регулировку производят регулировочным винтом **6** двуплечего рычага **5**, после чего вновь проверяют частоту начала действия регулятора.

Далее проверяют цикловую подачу топлива на режиме перегрузки. Предварительно вращением корпуса корректора устанавливают выступание его штока на величину $0,6 \div 0,8 \text{ мм}$. При соответствующей максимальному крутящему моменту частоте вращения выступание не должно измениться. Усилие затяжки пружины **13** корректора регулируют шайбами.

При проверке пусковой подачи рычаг **3** ставят на упор в болт **2**. При частоте вращения вала привода насоса 150 мин^{-1} подача топлива должна составлять не менее $220 \text{ мм}^3/\text{цикл}$. Если подача меньше допустимой, проверяют состояние пусковой пружины **1**, легкость перемещения рейки и величину ее хода в сторону привода. Пусковую подачу регулируют поворотом регулировочного болта на колпачке рейки, расположенного со стороны привода ТНВД. Выворачивание болта увеличивает пусковую подачу.

Далее монтируют крышку регулятора, поворачивают рычаг **3** управления до упора в болт **4** минимального скоростного режима и, заворачивая корпус **7** буферной пружины, устанавливают подачу топлива в пределах $15 \div 20 \text{ мм}^3/\text{цикл}$. Заворачивают болт **4** до момента перемещения рейки, после чего выворачивают болт на пол-оборота и контрят. Проверяют выключение подачи поворотом скобы **12** регулятора. Полное выключение подачи топлива должно происходить при частоте вращения привода стенда около 400 мин^{-1} .

Для регулировки пневмокоректора устанавливают частоту вращения 550 мин^{-1} и удерживая рычаг **3** управления на упоре в болт **2** поворачивают скобу кулисы выключая подачу топлива, после чего поворачивают в исходное положение.

При подаче к пневмокоректору масла под давлением $0,25 \div 0,3 \text{ МПа}$ и воздуха на мембране под давлением $0,45 \text{ МПа}$ подача топлива не должна измениться. При отсутствии воздуха подача топлива должна уменьшиться в соответствии с регулировочными данными. Регулировку величины цикловой подачи топлива выполняют регулировочным болтом.

Величину цикловых подач топлива при промежуточных давлениях воздуха на мембране в соответствии с табличными данными регулируют корпусом пружины. При вворачивании корпуса пружины величина топливоподачи уменьшается. После регулировки корпус пружины контрят гайкой.

Пломбы в количестве 3-х штук ставят: на два болта бокового лючка насоса; болт на колпачке рейки; два болта крышки регулятора, болт **2** максимального скоростного режима и корпус пневмокоректора.

5.7. Регулирование ТНВД Ярославского завода ДА (серия 33 КАМАЗ)

Регулировка ТНВД начинается с проверки и обеспечения установочных размеров. Для правильного кинематического положения рычагов при сборке регулятора необходимо установить следующие исходные размеры (рис.5.36):

Размер **А** - расстояние от привалочной плоскости корпуса насоса до головки болта **29** номинальной подачи; $A = 55,5 \pm 0,2 \text{ мм}$.

Размер **В** - расстояние между точкой приложения пружины **11** регулятора и образующей оси **6** рычагов, $B = 52 \pm 0,5 \text{ мм}$. Для правильной установки размера необходимо извлечь ось **6** за шляпку из корпуса насоса и вынуть рычаги **27** и **28** в сборе.

Размер **С** - зазор между ограничивающей гайкой **32** и корпусом насоса, $C = 0,8 \div 1,0 \text{ мм}$.

Размер **D** - хода штока **10** антикорректора; $D = 0,5 \div 0,6$ мм. Усилие затяжки пружины контролируют при регулировке.

Размер **E** - хода штока **18** корректора; $E = 0,6 \div 0,8$ мм. Усилие затяжки пружины контролируют при регулировке.

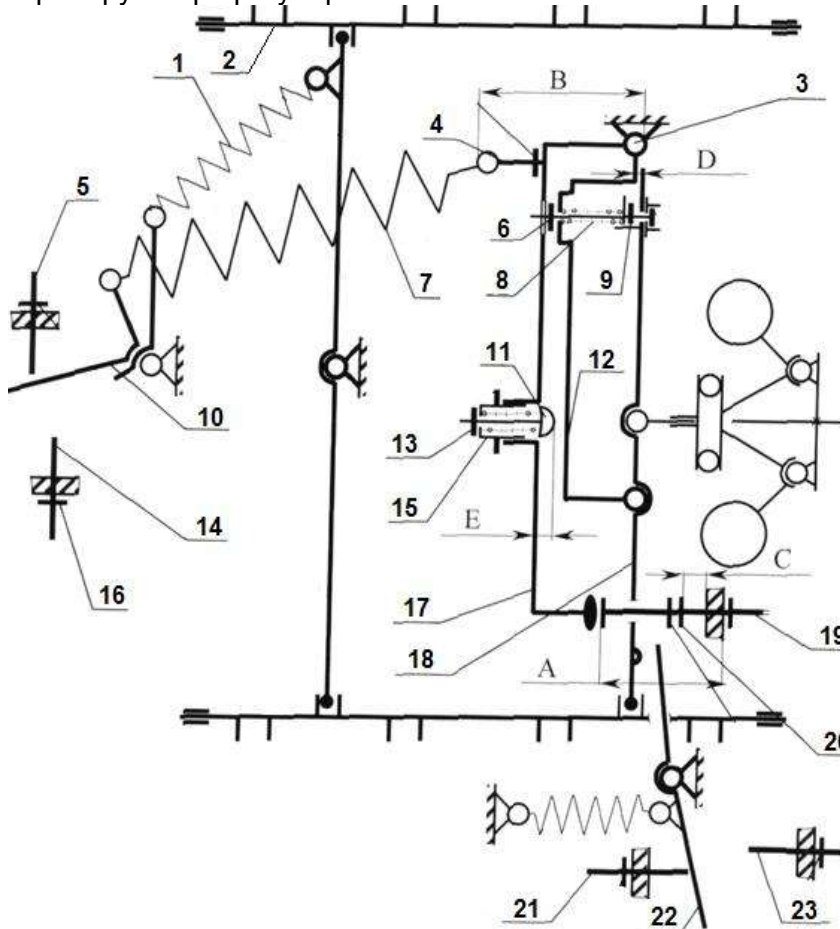


Рис.5.36.Схема регулятора частоты вращения КАМАЗ:

1 - пружина пускового обогатителя; 2 - рейка ТНВД; 3 - ось рычагов; 4 - регулировочный болт пружины; 5 - болт минимальной частоты вращения; 6,9,13,16,20 - гайки; 7 - пружина регулятора; 8 - пружина антикорректора; 10 - рычаг управления регулятором; 11 - шток корректора; 12 - рычаг антикорректора; 14 - болт максимальной частоты вращения; 15 - корпус корректора; 17 - основной рычаг; 18 - промежуточный рычаг; 19 - болт номинальной подачи; 21 - болт регулировки пусковой подачи; 22 - рычаг останова; 23 - болт ограничения хода рычага останова.

Для проверки герметичности и давления открытия нагнетательных клапанов топливо подают в головку ТНВД под давлением $0,17 \div 0,2$ МПа при положении рычага **22**, соответствующем выключенной подаче. Течь топлива из сливных трубок ТНВД не допускается. В противном случае, при исправной пружине нагнетательного клапана, меняют нагнетательный клапан в сборе.

Постепенно увеличивая давление, наблюдают, при каком давлении начинается истечение топлива из сливных трубок. Если это значение не укладывается в пределы $0,9 \div 1,1$ МПа меняют пружину нагнетательного клапана.

Регулировку геометрического угла начала подачи топлива начинают с определения формы профиля кулачка. Угол начала подачи топлива ТНВД с симметричным профилем определяют по моменту начала движения топлива в моментоскопе, присоединенном к штуцеру насоса. При этом необходимо, чтобы в головке ТНВД поддерживалось избыточное давление в пределах $0,04 \div 0,1$ МПа.

Для проверки угла рычаг **10** поворачивают до упора в болт **14**. На штуцер восьмой секции устанавливают моментоскоп, наполняют его топливом на $\frac{1}{2}$ высоты и поворачивают привод вала в направлении вращения часовой стрелки. В момент начала движения топлива фиксируют показания на градуированном диске. Затем поворачивают привод вала против хода часовой стрелки и вновь фиксируют показания на градуированном диске в момент начала движения топлива в трубке моментоскопа.

Число градусов, заключенное между полученными двумя делениями на градуированном диске станда, разделяют пополам и находят среднее значение. Оно должно совпадать с точностью $\pm 0,35^\circ$ с табличным значением геометрического угла начала подачи топлива (для серии 33 угол равен $42,5^\circ$ за исключением 33-02, 335 и 335-10 – $40,5^\circ$; 33-10 – $41,5^\circ$). В случае несоответствия полученного значения с табличным, производят регулировку, изменяя толщину пяты толкателя плунжера.

В ТНВД с несимметричным профилем кулачка (для ТНВД моделей 332, 337) геометрический угол начала подачи топлива первой секцией оценивают величиной хода плунжера от начала его подъема до начала нагнетания топлива.

Для регулировки угла начала подачи топлива данных ТНВД необходимо вывернуть штуцер нагнетательного клапана, вынуть его из седла и установить специальное приспособление. Поворачивая привод станда определяют нижнее положение плунжера, затем, вращая кулачковый вал в соответствии с направлением вращения, устанавливают ход плунжера, соответствующий табличному значению (для моделей 332 ход плунжера равен $4,85 \pm 0,05$ мм.; 337- $5,65 \pm 0,05$ мм.). Фиксируют соответствующее этому положению кулачкового вала значение угла на градуировочном диске станда.

Снимают специальное приспособление и монтируют нагнетательный клапан, пружину, нажимной штуцер и моментоскоп. Вращая привод станда по часовой стрелке заполняют трубку моментоскопа топливом и находят положение кулачкового вала, при котором начинается подача топлива. Соответствующее ему значение угла по градуировочному диску должно совпадать с зафиксированным ранее. При необходимости регулируют угол начала подачи топлива, изменяя толщину пяты толкателя плунжера.

В момент начала нагнетания топлива восьмой секцией несоответствие рисок на корпусе ТНВД и на муфте опережения впрыскивания топлива не должно превышать $0,5^\circ$. В противном случае старую метку зачеканить и нанести новую.

Рычаг **10** установите на упор в болт **14** и постепенно увеличивайте частоту вращения вала станда. Через отверстие для демонтажа рейки зафиксируйте момент начала перемещения рейки **2**, соответствующий началу действия регулятора. При несопадении частоты начала действия регулятора с табличными данными измените положение болта **14**.

Установите номинальную частоту вращения, рычаг **10** поверните до упора в болт **14**. Измерьте цикловую подачу топлива и ее равномерность между секциями. В случае несоответствия цикловой подачи табличным значениям регулирование подачи топлива проводите поворотом фланца насосной секции, предварительно ослабив затяжку гайки топливопровода высокого давления и гаек крепления фланца. Допускаемая неравномерность подачи между секциями равна 5% от значения номинальной цикловой подачи.

Проверьте неравномерность подачи топлива по секциям при 300 мин^{-1} . Для этого установите рычаг **10** управлением регулятором в такое положение, при котором цикловая подача будет соответствовать $20\text{-}30 \text{ мм}^3/\text{цикл}$. Неравномерность подачи топлива по секциям не должна превышать 35 %. В противном случае замените нагнетательный клапан и плунжерную пару.

Плавно увеличьте частоту вращения при упоре рычага **10** в болт **14**. Полное отключение подачи топлива должно происходить при частоте $1490\div 1550 \text{ мин}^{-1}$. В противном случае замените пружину **7** регулятора и регулировку начните с настройки начала действия регулятора.

Регулировку корректора и антикорректора проводите при снятой крышке регулятора. Для этого установите частоту вращения привода станда равную 600 мин^{-1} , а рычаг **17** прижмите до упора в болт **19**. Проверьте щупом установленные зазоры **D** = $0,5\div 0,6$ мм. (между промежуточным рычагом **18** и рычагом **12** антикорректора) и **E** = $0,6\div 0,8$ мм. (между основным рычагом **17** и рычагом **29** антикорректора). Плавно поднимите частоту вращения до 900 мин^{-1} при этом зазор **D** должен исчезнуть, а зазор **E** изменяться не должен. При частоте вращения 1250 мин^{-1} рычаги **19**, **27** и **28** должны соприкоснуться. В противном случае измените усилие соответствующей пружины. Усилие затяжки пружины корректора **15** изменяйте гайкой **13**, пружины **8** антикорректора – гайкой **9**. После регулировки гайки зашплинтуйте.

Замерьте цикловую подачу топлива на режимах работы корректора и антикорректора. В случае несоответствия табличным данным отрегулируйте ход, соответственно, корректора (поворотом корпуса **15**) или антикорректора (гайкой **6**). После регулировки проверьте номинальную цикловую подачу топлива.

При частоте вращения вала привода 100 мин^{-1} поверните рычаг **10** до упора в болт **14**. При этом подача топлива должна составлять $19,5\div 21 \text{ см}^3$ за 100 циклов. Регулировку пусковой подачи производят болтом **21**, выворачивая его для увеличения подачи. Если подача меньше допустимой, проверяют состояние пусковой пружины **1**, легкость перемещения рейки **4**. Не меняя положение рычага **10** поверните рычаг **22** до упора в болт **23**.

При частоте вращения привода стенда равной $100 \div 150 \text{ мин}^{-1}$ заворачивайте болт **23** до появления подачи топлива, после чего выверните на 1 оборот и законтрите. Проверьте отсутствие подачи топлива во всем скоростном диапазоне работы ТНВД.

Отпустите рычаг **10** до упора в болт **5**. При частоте вращения вала привода 300 мин^{-1} подача топлива должна быть около $20 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, при этом полное выключение подачи топлива должно происходить при частоте $380 \div 400 \text{ мин}^{-1}$. Регулировку проводят болтом **5**.

Пломбы в количестве 3-х штук установите: на винт защитной крышки секций ТНВД, болт крышки регулятора и на болт **16** максимального скоростного режима (болт **23** ограничения хода рычага останова).

5.8. Регулирование ТНВД Ярославского завода ДА (серия КОМПАКТ 40)

Для проверки герметичности и давления открытия нагнетательных клапанов подайте в головку ТНВД топливо под давлением $0,17 \div 0,2 \text{ МПа}$ при положении рычага останова, соответствующем выключенной подаче. Течь топлива из сливных трубок ТНВД не допускается. В противном случае, при исправной пружине нагнетательного клапана, замените нагнетательный клапан в сборе с корпусом.

Постепенно увеличивая давление, наблюдайте, при каком давлении начинается истечение топлива из сливных трубок. Если это значение не укладывается в пределы $0,83 \div 1,32 \text{ МПа}$, измените количество регулировочных прокладок под пружиной нагнетательного клапана.

Для регулировки угла начала подачи топлива данных ТНВД необходимо вывернуть штуцер нагнетательного клапана, вынуть его из седла и установить специальное приспособление. Поворачивая привод стенда определите нижнее положение плунжера, затем, вращая кулачковый вал в соответствии с направлением вращения, установите ход плунжера соответствующий табличному значению ($5,0 \pm 0,15 \text{ мм.}$). Зафиксируйте соответствующее этому положению кулачкового вала значение угла на градуировочном диске стенда.

Снимите специальное приспособление и установите нагнетательный клапан, пружину, нажимной штуцер и моментоскоп. Вращая привод стенда по часовой стрелке заполните его топливом и найдите положение кулачкового вала при котором начинается подача топлива, определяемое по началу движения топлива в прозрачной трубке моментоскопа. Соответствующее ему значение угла по градуировочному диску должно совпадать с зафиксированным ранее. При необходимости отрегулируйте угол начала подачи топлива, изменяя толщину пакета регулировочных прокладок, устанавливаемых под фланец нагнетательной секции.

В момент начала нагнетания топлива десятой секцией (для 12-секционных насосов) или шестой (для 8-секционных насосов) несовпадение рисок на корпусе ТНВД и на муфте опережения впрыскивания топлива не должно превышать $0,5^\circ$. В противном случае старую метку зачеканьте и нанесите новую.

При упоре рычага управления регулятором в болт ограничения максимального скоростного режима проведите предварительную регулировку начала выключения подачи топлива. Момент начала движения рейки ТНВД в сторону выключения подачи топлива должен соответствовать табличному значению. В ином случае регулируйте болтом ограничения максимального скоростного режима.

Проверьте величину подачи топлива секциями ТНВД на номинальном режиме при отсутствии давления воздуха и масла в корректоре по наддуву. Равномерность подачи по секциям не должна превышать допустимые $3 \div 7\%$ в зависимости от числа секций ТНВД. При необходимости отрегулируйте путем разворота корпусов секций ТНВД.

При положении рычага управления на упоре в болт ограничения максимального скоростного режима проверьте соответствие частоты вращения полного выключения подачи топлива табличному значению. Регулировка производится вращением винта двуплечего рычага, после чего проверьте выключение подачи топлива рычагом останова.

При отклонении рычага останова на $40 \div 45^\circ$ от исходного положения подача топлива из всех форсунок при любой частоте вращения кулачкового вала и при любом положении рычага управления регулятором должна полностью выключаться. Далее проверьте цикловую подачу топлива на режиме перегрузки. При соответствующей максимальному кру-

тящему моменту частоте вращения подача топлива регулируется корпусом корректора. Усилие затяжки пружины корректора ограничивается гайкой корректора.

При проверке пусковой подачи, независимо от положения рычага управления регулятором, подача топлива должна составлять не менее $190 \text{ мм}^3/\text{цикл}$ при частоте вращения вала привода насоса 100 мин^{-1} . Если подача меньше допустимой, проверьте состояние пусковой пружины, легкость перемещения рейки и величину ее хода в сторону привода.

Отрегулируйте положение болта ограничения минимального скоростного режима таким образом, что бы при частоте вращения кулачкового вала 300 мин^{-1} подача топлива секциями насоса составляла $20 \div 25 \text{ мм}^3/\text{цикл}$. Неравномерность подачи топлива по секциям не должна превышать величину от 60 % до 90 % в зависимости от количества секций. В противном случае замените плунжерную пару или нагнетательный клапан. У 12-секционных ТНВД отдельных моделей подача топлива секциями 3, 4, 7, 8, 11, 12 на данном режиме работы ТНВД не допускается.

Проверьте и отрегулируйте величину средней цикловой подачи топлива секциями насоса в зависимости от давления воздуха в корректоре по наддуву в соответствии с табличными данными. Давление масла на входе в корректор должно быть $0,25\text{-}0,30 \text{ МПа}$. При отсутствии давления воздуха в полости мембраны корректора, регулировка цикловой подачи топлива обеспечивается болтом в рычаге корректора, расположенном в проставке. Регулировка при промежуточном давлении воздуха обеспечивается изменением преднатяга пружины корректора за счет изменения положения корпуса пружины.

Гистерезис характеристики корректора по наддуву при изменении давления воздуха на входе от максимального до минимального и обратно, не должен превышать $8 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, а величина изменения фактической средней цикловой подачи при понижении давления масла до $0,15 \text{ МПа}$ - $3 \text{ мм}^3/\text{цикл}$.

5.9. Регулирование ТНВД Ярославского завода ТА (серия КОМПАКТ 32)

Для проверки давления открытия нагнетательных клапанов подайте в головку ТНВД топливо и, постепенно увеличивая давление, наблюдайте, при каком давлении начинается истечение топлива из сливных трубок. Если это значение не укладывается в пределы $0,04\text{...}0,08 \text{ МПа}$, замените нагнетательный клапан или его пружину.

Для регулировки угла начала подачи топлива данных ТНВД необходимо вывернуть штуцер нагнетательного клапана, вынуть его из седла и установить специальное приспособление. Поворачивая привод станда определите нижнее положение плунжера, затем, вращая кулачковый вал в соответствии с направлением вращения, установите ход плунжера соответствующий табличному значению ($5,45 \pm 0,05 \text{ мм}$). Зафиксируйте соответствующее этому положению кулачкового вала значение угла на градуировочном диске станда.

Снимите специальное приспособление и установите нагнетательный клапан, пружину, нажимной штуцер и моментоскоп. Вращая привод станда по часовой стрелке заполните его топливом и найдите положение кулачкового вала при котором начинается подача топлива, определяемое по началу движения топлива в прозрачной трубке моментоскопа. Соответствующее ему значение угла по градуировочному диску должно совпадать с зафиксированным ранее. При необходимости отрегулируйте угол начала подачи топлива, изменяя толщину пакета регулировочных прокладок, устанавливаемых под фланец нагнетательной секции.

При упоре рычага управления регулятором в болт ограничения максимального скоростного режима проведите предварительную регулировку начала выключения подачи топлива. Момент начала движения рейки ТНВД в сторону выключения подачи топлива должен соответствовать табличному значению. В ином случае регулировку осуществляйте болтом ограничения максимального скоростного режима.

Проверьте величину подачи топлива секциями ТНВД на номинальном режиме при давлении воздуха $0,8 \div 1 \text{ МПа}$ в полости мембраны корректора по наддуву. Неравномерность подачи по секциям не должна превышать допустимые 3%. При необходимости отрегулируйте путем разворота корпусов секций ТНВД или изменением числа регулировочных прокладок под корпусом корректора.

При положении рычага управления на упоре в болт ограничения максимального скоростного режима проверьте соответствие частоты вращения полного выключения подачи топлива табличному значению. Регулировка производится изменением предварительной затяжки пружины регулятора, после чего проверьте выключение подачи топлива рычагом останова.

При отклонении рычага останова на 40-45° от исходного положения подача топлива из всех форсунок при любой частоте вращения кулачкового вала и при любом положении рычага управления регулятором должна полностью выключаться.

При соответствующей максимальному крутящему моменту частоте вращения подача топлива и давлении воздуха $P_k = 0,8 \div 1$ МПа проверьте цикловую подачу топлива на режиме перегрузки. Регулировку хода штока корректора проводите корончатой гайкой корректора. Усилие затяжки пружины корректора ограничивается внутренней гайкой прямого корректора.

Регулировку антикорректора в соответствии с табличными данными произведите изменением преднатяга пружины обратного корректора гайкой **22** и ограничением его хода винтом **23**.

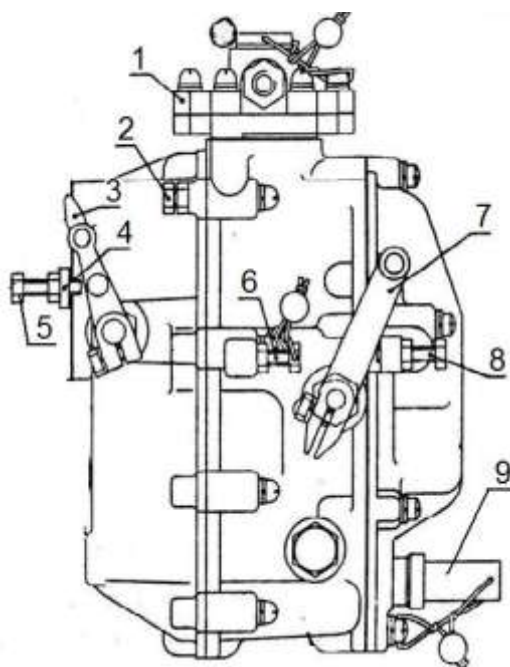
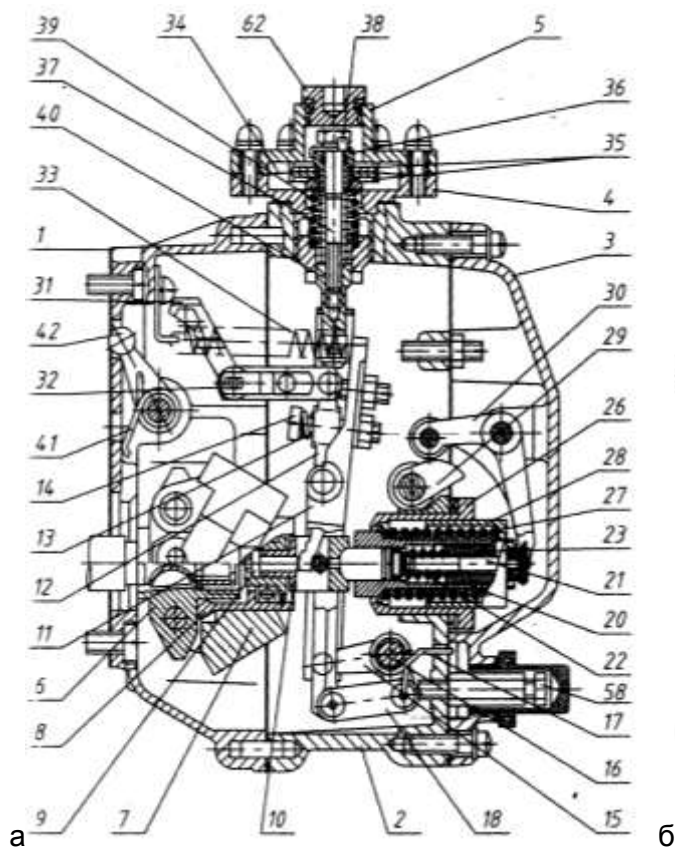


Рис.5.37 Регулятор ТНВД серии 773:

Рис.5.38. Общий вид.

а - в разрезе: 1 - корпус регулятора; 2 - крышка регулятора; 3 - крышка смотрового люка; 4 - корпус мембраны; 5 - крышка мембраны; 6 - державка грузов; 7 - груз регулятора; 8 - муфта; 9 - толкатель обратного корректора; 10 - ползун; 11 - главный рычаг регулятора; 12 - рычаг обратного корректора; 13 - пружина обратного корректора; 14 - винт обратного корректора; 15 - рычаг кривошипа; 16 - кривошип; 17 - пружина кривошипа; 18 - серьга; 20 - корпус корректора; 21 - корректор; 22 - пружина прямого корректора; 23 - гайка прямого корректора; 26 - гильза главной пружины; 27 - главная пружина; 28 - стакан главной пружины; 29 - ось рычага управления с кулачком; 30 - двуплечий рычаг; 31 - поводок рейки; 32 - тяга рейки; 33 - стартовая пружина; 34 - мембрана; 35 - тарелка мембраны; 36 - втулка штока; 37 - шток; 38 - стопорная шайба; 39 - пружина корректора по наддуву; 40 - наконечник штока; 41 - пружина возвратная; 42 - рычаг выключения подачи; 58 - болт; 62 - пробка.

общий вид: 1 - корректор по наддуву; 2 - болт останова; 3 - рычаг останова; 4 - кронштейн; 5 - болт; 6 - болт регулировки максимальной частоты вращения; 7 - рычаг управления; 8 - болт регулировки минимальной частоты вращения; 9 - защитный колпак.

Цикловую подачу при частоте вращения кулачкового вала 500 мин^{-1} и промежуточных значениях давления в полости мембраны корректора по наддуву регулируйте изменением предварительного натяга пружины **39** корректора или вращением корпуса пружины. После окончания регулировки необходимо завернуть стопорный винт **63**. Регулировку цикловой подачи при отсутствии давления воздуха производите вращением штока **37** при открученной пробке **62** и отогнутой стопорной шайбе **38**.

Регулировку величины цикловой подачи на минимальном скоростном режиме холостого хода ($18...23 \text{ мм}^3/\text{цикл}$) производите болтом **27** при частоте вращения 400 мин^{-1} . Неравномерность подачи топлива по секциям насоса не должна быть более 35% для четырехсекционных ТНВД и 40% для шестисекционных.

Пусковая подача топлива при 100 мин^{-1} не должна быть менее $160-180 \text{ мм}^3/\text{цикл}$. Если пусковая подача не достаточна, то можно вывернуть болт **20** ограничения пусковой подачи топлива.

Начало выключения пусковой подачи должно быть при частоте вращения кулачкового вала $225 \pm 25 \text{ мин}^{-1}$ и полное выключение пусковой подачи - не более чем 280 мин^{-1} . Регулировку производите отгибанием упорной планки.

Пломбируется ТНВД тремя пломбами, которые устанавливаются на:

- болт **6** (рис.5.38) регулировки максимального скоростного режима.
- футорку штуцера подвода воздуха к корректору **1** по наддуву.
- колпак **9** регулировочного болта ограничения мощности.

5.10. Регулирование ТНВД Челябинского ТЗ (серия КДМ)

Регулировку ТНВД начинайте с проверки и обеспечения установочных размеров. (рис.5.39). Максимальный вылет тяги **5** рейки (расстояние **A** от торца регулировочной муфты **2** до задней плоскости корпуса насоса) измеряйте при положении рычага **11**, соответствующем выключенной подаче. Кольцо **6** тяги при этом должно упираться в корпус насоса. Вылет тяги **5** рейки равен $30,8 \pm 0,2 \text{ мм}$. для ТНВД дизеля Д-108 и $26,5 \pm 0,2 \text{ мм}$. для дизеля Д-130 и Д-160 и регулируется перемещением муфты **2**, после чего фиксируется контргайкой **1**.

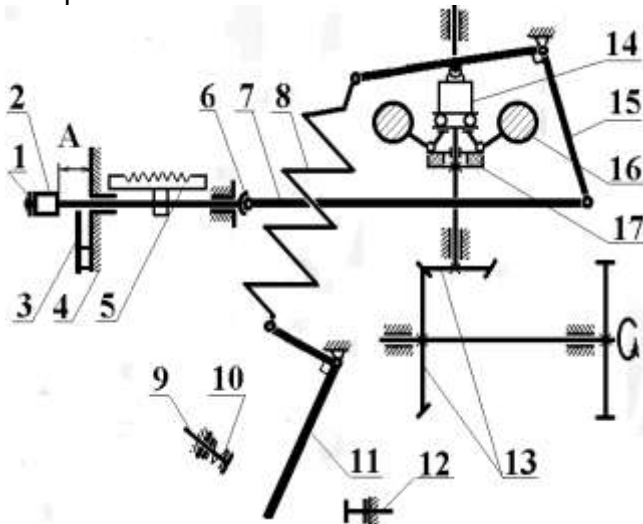


Рис.5.39.Схема регулятора ЧТЗ.

- 1 - гайка; 2 - муфта регулировочная; 3 - пружина корректора; 4 - корпус ТНВД; 5 - рейка ТНВД; 6 - кольцо тяги рейки; 7 - тяга; 8 - пружина регулятора; 9 - болт минимального скоростного режима; 10 - пружина упора; 11 - рычаг управления; 12 - болт максимального скоростного режима; 13 - шестерни привода регулятора; 14 - муфта грузиков; 15 - двуплечий рычаг; 16 - грузики; 17 - демпферы.

Для проверки герметичности и давления открытия нагнетательных клапанов подайте топливо в головку ТНВД под давлением $0,17 \pm 0,2 \text{ МПа}$ при положении рычага **11**, соответствующем выключенной подаче. Течь топлива из штуцеров нагнетательных секций в течении 2 минут с момента подачи топлива не допускается. В противном случае, при исправной пружине нагнетательного клапана, замените нагнетательный клапан в сборе с корпусом. Постепенно увеличивая давление, наблюдайте, при каком давлении начинается истечение топлива из сливных трубок. Давление открытия нагнетательных клапанов должно находиться в пределах $0,9 \div 1,4 \text{ МПа}$. В случае несоответствия замените нагнетательный клапан или его пружину.

Угол начала подачи топлива ТНВД определяется по моменту начала движения топлива в моментоскопе, присоединенном к нажимному штуцеру насоса. При этом необходимо, чтобы в головке ТНВД поддерживалось избыточное давление в пределах $0,04 \div 0,1$ МПа.

Для проверки угла ТНВД с симметричным профилем кулачка (для двигателя Д-108) рычаг **11** установите на упор в болт **12**. На штуцер первой секции закрепите моментоскоп, наполните его топливом на $\frac{1}{2}$ высоты и, наблюдая за уровнем топлива в трубке, поверните привод вала в направлении вращения часовой стрелки. В момент начала движения топлива зафиксируйте показания на градуированном диске. Затем поверните привод вала против хода часовой стрелки и вновь зафиксируйте показания на градуированном диске в момент начала движения топлива в трубке моментоскопа.

Число градусов, заключенное между полученными двумя делениями на градуированном диске стенда, разделите пополам и найдите среднее значение. Оно должно совпадать с точностью $\pm 1^\circ$ с табличным значением геометрического угла начала подачи топлива (для ТНВД двигателя Д-108 угол равен 32°). В случае несоответствия полученного значения с табличным, произведите регулировку заворачивая или выворачивая болт толкателя. Регулировочный болт толкателя законтрите контргайкой. Начало подачи топлива следующей секции (согласно порядку работы секций) должно происходить через 90° поворота кулачкового вала ТНВД.

В ТНВД с несимметричным профилем кулачка (для дизелей Д-130, Д-160) геометрический угол начала подачи топлива первой секцией оценивается расстоянием от торца плунжера до верхней привалочной плоскости насоса перед установкой его на стенд.

Для регулировки угла начала подачи топлива необходимо установить шестерню привода ТНВД так, чтобы расстояние от середины впадины зубьев, отмеченных кернером и цифрой 1, до боковой (левой, если смотреть со стороны привода) привалочной плоскости корпуса регулятора было равно $74 \pm 0,4$ мм. При этом расстояние от верхней привалочной плоскости насоса до опорного хвостовика толкателя 1 секции должен быть равен $45,5 \pm 0,05$ мм. При необходимости отрегулируйте положение хвостовика, заворачивая его или выворачивая.

При регулировке начала действия регулятора рычаг **11** установите на упор в болт **12** и постепенно увеличивайте частоту вращения вала стенда. Зафиксируйте частоту вращения вала в момент начала отхода муфты **2** от пружины **3** корректора. При несовпадении с табличными данными измените положение болта **12**.

Для регулирования подачи топлива и ее равномерности на номинальном скоростном режиме подложите под пружину **3** щуп (толщиной $2,8_{-0,025}$ мм. для ТНВД дизеля Д-108, Д-160 и $3,6_{-0,03}$ мм. для дизеля Д-160Б). Установите номинальную частоту вращения, рычаг **11** поверните до упора в болт **12**. Давление топлива на впуске в ТНВД должно лежать в пределах $0,07 \div 0,12$ МПа.

В случае несоответствия цикловой подачи табличным значениям, регулирование подачи топлива проводите изменяя положение плунжера относительно зубчатого сектора, предварительно ослабив затяжку стяжного винта зубчатого сектора. Плунжер поворачивают, используя специальные плоские лыски, выполненные «под ключ». При этом допускаемая неравномерность подачи между секциями – не более 3%.

При положении рычага **11** управления на упоре в болт **12** проверьте соответствие частоты вращения полного выключения подачи топлива табличному значению. В противном случае замените пружину **8** регулятора и регулировку начните с настройки начала действия регулятора.

Установите частоту вращения вала привода равной 250 ± 20 мин⁻¹ и освободите рычаг **11** управления. Вращением регулировочного болта **9** установите расстояние **A** вылета тяги **5** рейки равным $18,6 \pm 0,5$ мм. для ТНВД дизеля Д-108 и $13,8 \pm 0,5$ мм. для дизеля Д-130 и Д-160.

Установите частоту вращения вала привода 500 ± 20 мин⁻¹. Подача топлива второй и третьей секциями насоса должна прекратиться при вылете рейки равном $9 \pm 0,5$ мм. При повороте рычага **11** управления до упора в болт **9** (пружина **10** минимальной частоты вращения сжата) подача всеми секциями должна прекратиться.

Пломбы в количестве 2-х штук установите: на два болта бокового лючка насоса и на болт задней крышки насоса; на два болта бокового лючка регулятора насоса и на болт максимального скоростного режима.

5.11. Регулирование зарубежных ТНВД распределительного типа (серия VE)

Регулировка предварительного хода (для ТНВД, плунжер которых имеет радиальную канавку в торцевой части). Выверните болт для удаления воздуха **1** (рис.5.40).

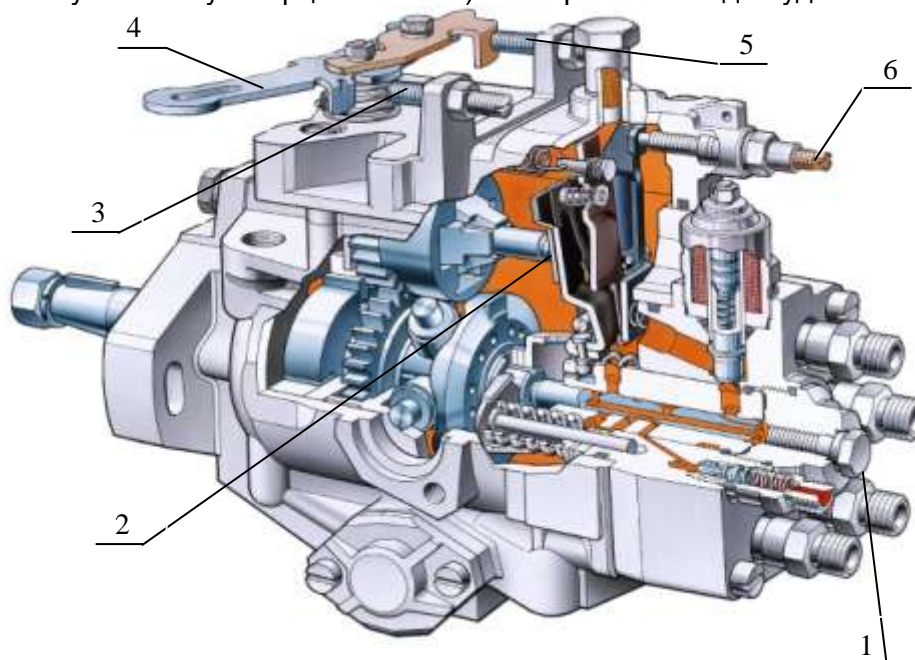


Рис.5.40. Распределительный ТНВД типа VE. 1 - центральный болт для удаления воздуха; 2 - регулировочная пробка втулки оси регулятора; 3 - винт минимального холостого хода; 4 - рычаг управления; 5 - винт максимальной подачи (максимального холостого хода); 6 - винт полной нагрузки.

Установите в отверстие для выпуска воздуха приспособление для измерения предварительного хода плунжера как показано на рис.5.41. Подайте напряжение на электромагнитный клапан останова.

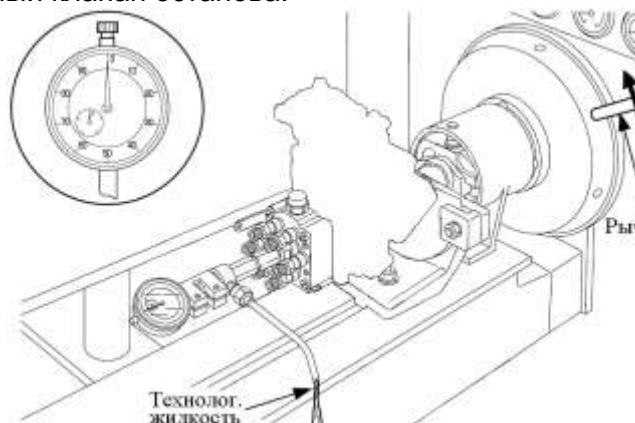


Рис.5.41. Регулировка предварительного хода плунжера на ТНВД VE с радиальной канавкой в торцевой части.

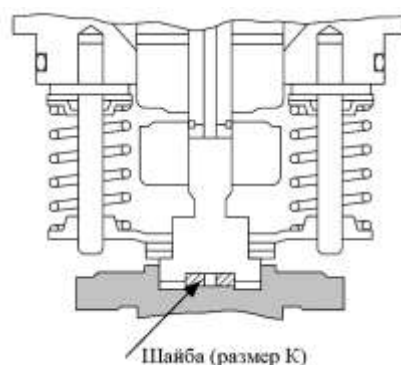


Рис.5.42. Схема плунжерной пары ТНВД типа VE в сборе с регулировочными шайбами и кулачковой шайбой.

Подайте на вход насоса технологическую жидкость под давлением 0,02 МПа. Сделайте 1-2 оборота маховика стенда с помощью рычага в направлении вращения приводного вала насоса. Убедитесь, что стрелка индикатора двигается без заеданий. Поворачивая маховик стенда, найдите нижнюю мертвую точку плунжера, установите индикатор на «ноль». Убедитесь, что из трубки приспособления для измерения предварительного хода плунжера течет технологическая жидкость в виде тонкой струйки, рычаг управления **4** при этом находится на упоре в винт **5** (рис. 5.41).

Медленно вращайте за рычаг маховик стенда в направлении вращения приводного вала до тех пор, пока не прекратится вытекание технологической жидкости из трубки (допускается не более одной капли в секунду). Считайте показания индикатора (предварительный ход). Если предварительный ход не соответствует заданному (по тест-плану), то измените толщину шайбы под плунжером регулирующую размер «К».

Присоедините к ТНВД топливопроводы высокого давления согласно инструкциям стенда. Установите температуру и давление технологической жидкости на входе насоса согласно тест-плану. Если в ТНВД имеется корректор по наддуву, то подайте на него воздух под давлением согласно тест-плану.

Запустите стенд, установите частоту вращения вала ТНВД примерно 300 мин^{-1} , подождите 1-2 мин. до полного удаления воздуха из насоса. Установите частоту вращения 1000 мин^{-1} , зафиксируйте рычаг управления подачей топлива в положении максимума (рычаг управления **4** упирается в винт **5**). Убедитесь в наличии впрыскивания и отсутствии подтеков. Дайте поработать насосу в течении 15...30 мин.

Регулировка давления во внутренней полости ТНВД. С помощью манометра измерьте внутреннее давление в полости ТНВД для различных частот вращения (по тест-плану). Регулировка проводится при упоре рычага управления в винт максимальной подачи. Для того чтобы увеличить давление во внутренней полости насоса, необходимо переместить заглушку редукционного клапана в направлении, указанном стрелкой по рис.5.43.

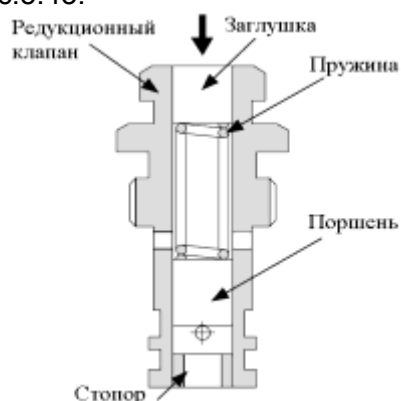


Рис.5.43. Редукционный клапан топливонасоса ТНВД VE.

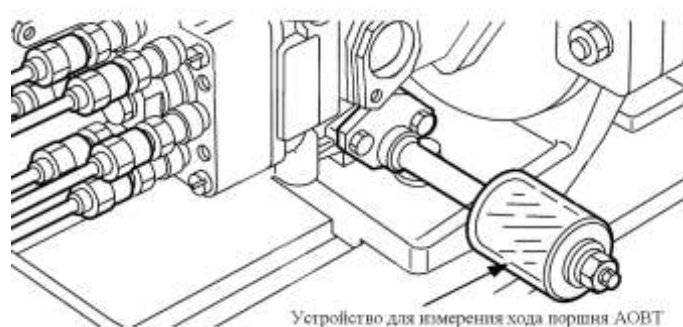


Рис.5.44. Определения хода поршня АОВТ в ТНВД типа VE.

Если давление выше заданного, то остановите стенд. Выкрутите редукционный клапан из ТНВД, разберите его и переместите заглушку в конец клапана. Затем соберите клапан, для этого вставьте пружину, поршень и стопор. Установите редукционный клапан в ТНВД. Отрегулируйте внутреннее давление как описано выше.

Регулировка полной подачи топлива и межсекционной неравномерности топливоподачи. Установите частоту вращения, соответствующую режиму максимальной нагрузки (по тест-плану), отрегулируйте подачу топлива на данном режиме с помощью регулировочного винта полной нагрузки **6** (рис.5.40), предварительно ослабив контргайку.

Неравномерность подачи по секциям не должна превышать допустимые значения. При необходимости поменяйте нагнетательные клапана местами (в штуцерах с наибольшей и наименьшей подачей); если это не помогло, то замените их новыми.

Регулировка хода поршня автомата опережения впрыскивания топлива. Закрепите на ТНВД устройство для определения хода поршня АОВТ (рис.5.44). Установите заданные частоту вращения и положение рычага управления и определите перемещение поршня автомата. Регулировка осуществляется путем установки или изъятия шайб из под пружины поршня.

При регулировке цикловой подачи топлива на режиме холостого хода необходимо установить на ТНВД угломер для определения угла поворота рычага управления подачей. Отрегулируйте цикловую подачу топлива винтом **3** регулировки холостого хода (рис.5.40) согласно тест-плану. После регулировки холостого хода убедитесь, что угол α рычага управления соответствует заданному в тест-плане. Если угол α не соответствует заданному, измените положение рычага управления относительно оси рычага управления (рис.5.45). Затем снова отрегулируйте подачу топлива на холостом ходу.

Зафиксируйте рычаг управления подачей топлива в положении соответствующей максимальной подаче топлива. Проверьте пусковую подачу топлива согласно данным тест-плана. Если пусковая подача не соответствует заданной, проверьте MS-размер, зависящий от толщины пробки **2** (рис.5.40) втулки оси регулятора, и отрегулируйте его.

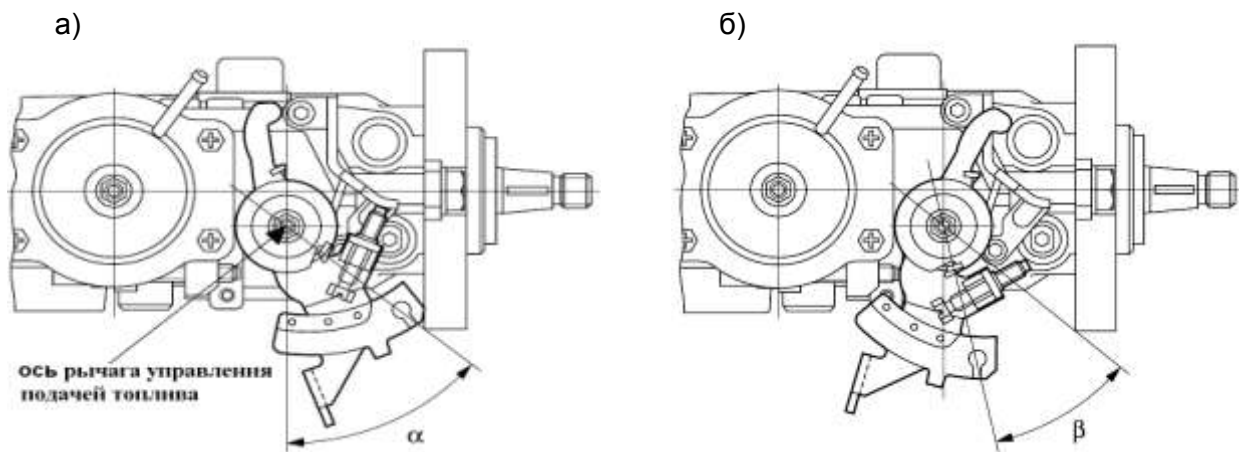


Рис. 5.45. Определение угла α и угла β рычага управления с помощью угломера.

Плавно поднимите частоту вращения привода до значения начала действия регулятора. Болтом ограничения максимальной подачи топлива отрегулируйте цикловую подачу топлива согласно тест-плану. Убедитесь, что угол β рычага управления соответствует заданному в тест-плане (рис. 5.45,б)

Измерьте объем топлива, перепускаемого через клапан обратной подачи на заданных режимах работы ТНВД. В случае несоответствия замените штуцер обратной подачи или подкачивающий насос.

5.12. Регулирование ТНВД фирмы BOSCH с электронным управлением (серия VP)

Для регулирования ТНВД VP44 фирмы Bosch, Zexel и др. необходимо специальное оборудование и программное обеспечение. Выполнение непосредственно регулировки, или обновление управляющей программы в ПЗУ электронного блока ТНВД, происходит без участия мастера-регулировщика. Работы по регулировке сводятся к установке ТНВД на стенд и подключения соответствующего оснащения.

Для идентификации ТНВД в программе необходимо ввести его оригинальный номер. После того как программа выдаст список ТНВД выбираем из него требуемый.

Необходимо проверить соответствие дополнительных приборов и эталонов требуемым. Для этого в разделе «предпосылки для проверки» приводятся:

- данные по стендовым форсункам (номер, давление начала открытия и т.д.);
- данные по топливопроводам высокого давления;
- данные по обратному клапану;
- давление технологической жидкости на входе в насос;
- напряжение питания блока управления.

После подключения всех приборов происходит их инициализация. При этом осуществляется распознавание всех электронных устройств подключенных к стенду для испытания топливной аппаратуры. Далее необходимо считать все данные блока управления ТНВД куда входят: тип ТНВД; программное обеспечение; количество свободных полей для программирования блока; серийный номер и др.

Также здесь можно просмотреть детальную информацию о блоке управления (заказной номер, дату изготовления, начало подачи насоса и т.д.) и считать ошибки.

Важным и обязательным шагом является идентификация ремонтного предприятия, для чего вводится индивидуальный идентификационный номер и пароль. Эти данные затем программируются в электронный блок.

После выполнения указанных действий программа переходит в меню проведения испытаний. В данном меню можно выбрать одно из действий: регулировка ТНВД; проверка ТНВД; блокировка начала подачи; стирание ошибок; распечатка протокола.

Алгоритм осуществления испытания ТНВД типа VP приведен на рис.5.46.

Регулировка ТНВД. При выборе данного пункта происходит настройка ТНВД с занесением полученных данных в электронный блок управления ТНВД (программирование блока).

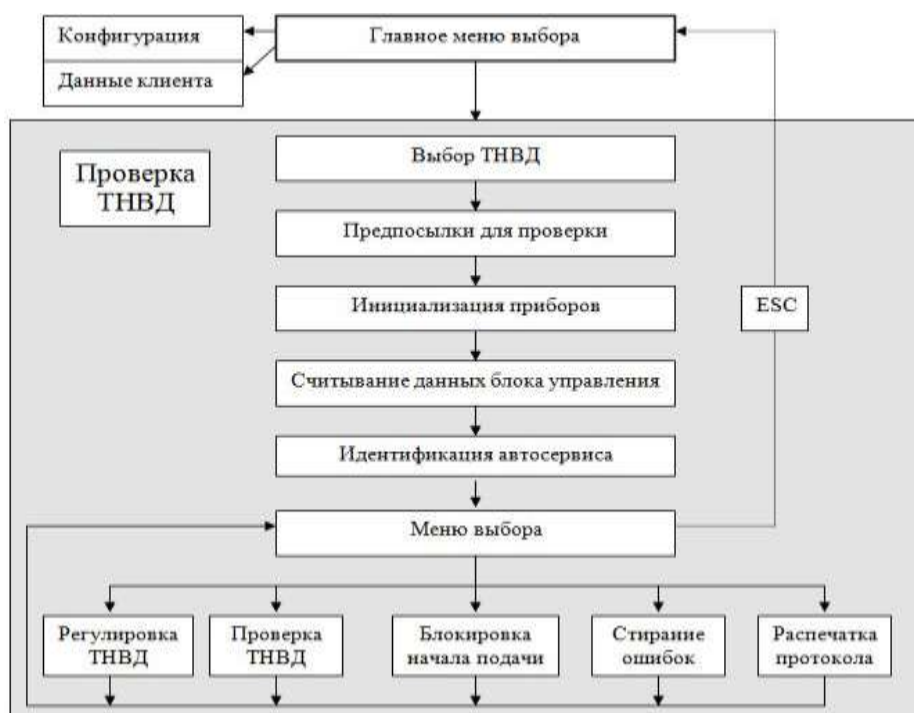


Рис.5.46. Алгоритм проверки ТНВД с электронным управлением типа VP.

При этом в задачи регулировщика входит:

- измерить углы Delta Phi и занести их в программу;
- измерить давление внутри насоса (с помощью цифрового манометра) и занести значение давления в программу;
- следить за процессом настройки.

Проверка ТНВД. Данный пункт отличается от пункта «Регулировка ТНВД» тем, что после проверки насоса данные в электронный блок управления не записываются.

При этом в задачи регулировщика входит:

- измерить давление внутри насоса (с помощью цифрового манометра) и занести значение давления в программу;
- следить за процессом настройки.

Блокировка начала подачи. Для согласования работы ТНВД – Двигатель необходимо правильно установить приводной шкив насоса. При выборе данного пункта стенд с помощью ЭБУ и пьезодатчика определяет необходимое положение приводного вала, который затем фиксируется в данном положении и после демонтажа ТНВД со стенда на вал устанавливается приводной шкив (безшпоночное конусное соединение).

Стирание ошибок. Удаляются ошибки записанные в памяти электронного блока управления ТНВД.

Распечатка протокола. Можно вывести на печать протокол испытаний.

5.13. Регулирование агрегатов топливных систем типа COMMON RAIL

В силу конструктивных особенностей ТНВД топливных систем типа Common Rail (отсутствие регулятора, электронное управление величиной и началом подачи топлива и др.) их регулировка значительно упрощена. В то же время в силу того, что данные топливные системы начали выпускаться сравнительно недавно, на данный момент даже заводы-изготовители не дают полной технологии регулировки ТНВД и форсунок указанных топливных систем. Для проверки должно использоваться специализированные электронные блоки и тест-планы.

Согласно технологии фирмы Bosch на первом этапе испытания ТНВД CR оценивается его работа на режиме пуска: критерием оценки является период времени, за который ТНВД накачает в аккумулятор топливо с момента закрытия его регулятора до определенного давления (обычно 15,0÷20,0 МПа) при частоте вращения 100 мин⁻¹. Как правило, это время не должно превышать 5 секунд.

Далее для проверки производительности ТНВД выполняется замер объема впрыскиваемого им топлива на сливе из регулятора давления. При этом давление топлива в аккумуляторе должно быть в пределах $10,0 \div 12,5$ МПа. Производительность ТНВД должна линейно возрастать с ростом частоты вращения приводного вала в соответствии с рис 5.47.

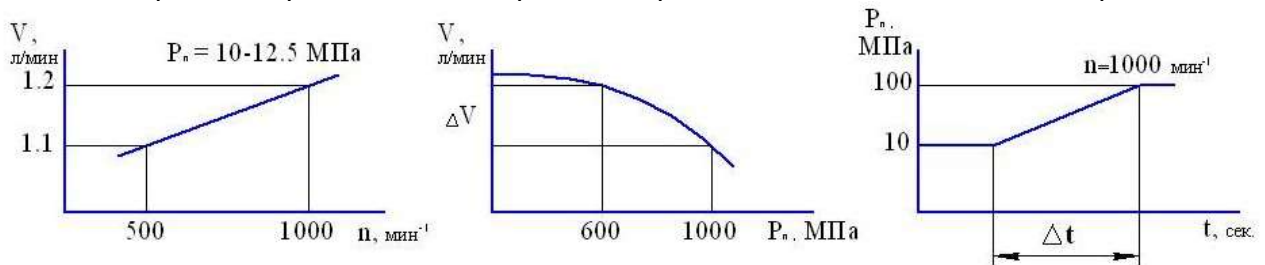


Рис. 5.47. Диаграммы изменения параметров ТНВД CR при испытании.

Для некоторых видов ТНВД (СР3, СР3.4 и др.) производительность ТНВД проверяется по объему переливаемого топлива на выходе из регулятора давления при постоянной частоте вращения вала привода равной 100 мин^{-1} и различном давлении в аккумуляторе (скоростная характеристика). Падение производительности с ростом давления в аккумуляторе должно иметь плавный характер и не превышать 25% во всем диапазоне возможных давлений (рис 5.47).

Важным этапом проверки ТНВД является оценка времени его реакции на изменение давления в сторону увеличения. Измеряется время достижения заданного давления при фиксированной частоте вращения ($n = 100 \text{ мин}^{-1}$) от полностью открытого регулятора ($P_{ак} = 10,0$ МПа) до установленного на требуемое давление. Если за период времени равный 5 секундам требуемое значение давления не достигается - тест прекращается.

Отличие этого теста от «Пусковой проверки» - в том, что в первом тесте на регулятор давления подаётся сигнал на его полное закрытие, а при тесте на время реакции - модулированный сигнал, зависящий от частоты вращения вала привода. Такой порядок испытания ТНВД необходим для обеспечения безопасности мастера-регулировщика, так как полное закрытие регулятора давления при высокой частоте вращения привода стенда может привести к повреждению ТНВД и трубопроводов высокого давления.

Последовательность первичной проверки электрогидроуправляемых форсунок топливopодающих систем типа Common Rail может выглядеть следующим образом:

1. Проверка давления начала срабатывания ЭГФ. Подается сигнал на ЭГФ и плавно увеличивают давление в аккумуляторе с $10,0$ МПа. Визуально фиксируют начало подачи. Обычно впрыскивание начинается при давлении $12,0 \div 17,0$ МПа в аккумуляторе. Разница для ЭГФ, устанавливаемых на один двигатель не должна быть более $3,0$ МПа.

2. Проверка герметичности запорного клапана (объем топлива расходуемого на управление). Замеряется количество топлива перепускаемого через штуцер обратки ЭГФ на режимах минимального холостого хода и соответствующего средним нагрузкам за 1 или 2 минуты. Объем топлива не должен превышать указанного в тест-планах значения.

3. Проверка производительности ЭГФ при давлении в аккумуляторе, частоте впрыскивания и форме управляющего сигнала, соответствующих работе двигателя на определенных режимах: пуска; номинальном; максимального крутящего момента и др. (до 8 контрольных точек).

Начиная с 2007 года, на основании полученных в результате испытания характеристик работы, ЭГФ должны маркироваться по категориям и потом идентифицироваться при установке на двигатель. Таким образом достигается идентичная и согласованная работа ЭГФ с разными характеристиками на многоцилиндровом двигателе.

Необходимо отметить, что указанный алгоритм может не соответствовать методикам испытания производителей ЭГФ вследствие необходимости использования специализированного оборудования и не может являться однозначным критерием исправности проверяемой ЭГФ.

В силу конструктивных особенностей ЭГФ при ее сборке после замены распылителя необходимо придерживаться определенной технологии. Затяжка гайки распылителя должна проводиться в три этапа с промежуточным отпуском согласно значениям, указанным в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Порядок затяжки гайки распылителя ЭГФ CR.

Тип ЭГФ и вид сопрягаемой с распылителем поверхности		Момент первой затяжки, Нм	Поворот ключа для отпуска, град.	Момент второй затяжки, Нм	Поворот ключа для дозатяжки, град	Диапазон значения, Нм
CRI 1	Плоская поверхность: M15×0,5 M17×0,75	60±2	120	5	66° +5, -1 46°±3	33...50 36...54
	Мальтийский крест: M15×0,5 M17×0,75	60±2	120	5	53° ±3 40°±3	26...38 32...50
CRI 2	Плоскость – бабочка: M15×0,5 M17×0,75	40±2 45±4	120	5	60° ±3 44°±3	26...45 36...53
	Плоскость – бабочка для BMW M15×0,5	40±2	120 90	5 5	73° ±3 60° ±3	25...60 26...42
CR IN	DSM1 (гайка) M19×0,75	50...60	85...95	5	43...47	max. 70
	DSM2 (гайка) M19×0,75	50...60	85...95	5	43...47	max. 80
Шты- цеп	CR1	40...44	–	–	–	–
	CRIN (трубка 6 мм)	45...55	85...95	–	13...17	max. 70
	CRIN (трубка 8 мм)	65...75	85...95	–	18...22	max. 90

5.14. Оценка качества работы и регулировка форсунок

Основные показатели качества работы форсунок и распылителей (подвижность иглы, гидроплотность, герметичность, качество распыливания, пропускная способность) и методы их проверки регламентируются ГОСТ 10579-88, ГОСТ 15059-88.

Давление начала впрыскивания, подвижность иглы, качество распыливания топлива, герметичность по запирающему конусу распылителей форсунок (также в местах уплотнений, соединений и по наружным поверхностям полости высокого давления) проверяют на стенде с ручным (механическим) приводом или аккумуляторной установке, оборудованными приспособлениями для крепления форсунки или распылителя, манометром по ГОСТ 2405 и прибором отсчета времени.

Подвижность иглы характеризует наличие необходимого зазора между направляющей поверхностью иглы и корпусом распылителя, а также отсутствие механических частиц в этом зазоре. Оценивается способностью иглы свободно двигаться под действием собственной массы в корпусе распылителя.

Гидравлическая плотность характеризует величину зазора между направляющей поверхностью иглы и корпусом распылителя оценивается временем снижения давления топлива в определенном интервале внутри системы «прибор – форсунка».

Форсунка и распылитель должны быть герметичны по запирающему конусу, форсунка, кроме того, - в местах уплотнений, соединений и по наружным поверхностям. **Герметичность по запирающему конусу иглы** характеризует состояние запирающих конусов распылителя. Она оценивается визуально наличием или отсутствием подтеканий топлива с носка распылителя в течение определенного времени при поддержании в системе «прибор – форсунка» постоянного давления, близко к давлению начала впрыскивания.

Качество распыливания оценивается тонкостью и равномерностью распыливания (туманообразное состояние), четкостью начала и конца впрыскивания, правильностью топливного факела. Оно определяется визуально, впрыскивая топливо с определенной частотой при номинальном значении давления начала впрыскивания.

Давлением начала впрыскивания называется такое давление топлива в системе «прибор – форсунка», при котором происходит открытие иглы форсунки и осуществляется впрыскивание топлива. Оно является регулировочным показателем, устанавливаемым в зависимости от марки двигателя.

Пропускная способность форсунки характеризует общее эффективное проходное сечение распыливающих отверстий и оценивается временем истечения определенного

количества топлива через форсунки под постоянным давлением. По этому показателю форсунки разбивают на группы и на двигатель устанавливают форсунки одной группы.

Показатели качества работы испытуемой форсунки сравниваются с техническими условиями и, в случае не соответствия форсунки бракуется (в условиях эксплуатации) или ремонтируется. Испытания форсунок и распылителей проводятся на профильтрованном дизельном топливе по ГОСТ 305 или технологической жидкости, вязкостью $9,9 \div 10,9 \text{ мм}^2/\text{с}$

Температура окружающей среды при испытаниях форсунок и распылителей автотракторных дизелей должна быть $20^{+5}_{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$. В случае проведения испытаний в температурных условиях, отличающихся от указанных, результаты испытаний следует сравнивать с результатами испытаний контрольных форсунок и распылителей, получаемых в тех же температурных условиях испытаний.

Форсунки, бывшие в эксплуатации, очистить, разобрать, промыть и провести визуальную оценку ее технического состояния.

Проверить подвижность иглы распылителя:

- предварительно смочить распылитель в дизельном топливе;
- выдвинуть иглу из корпуса распылителя на $1/3$ длины направляющей части и наклонить вместе с корпусом примерно на 45 град. к горизонтали. При этом игла, имеющая нормальную подвижность, должна свободно опускаться в направляющую распылителя под действием собственной массы.

Проверить торцовую поверхность распылителя и корпуса форсунки (на форсунках дизеля КАМАЗ также проверяется торцевые поверхности проставки). На обеих поверхностях не должно быть вмятин и выработок. В случае необходимости вытащить установочные штифты и восстановить плоскостность на шлифплите. Установочные штифты заменить.

При сборке форсунок подбирают распылители в соответствии с маркой двигателя. Многодырчатые распылители устанавливаются в строго определенном положении, которое фиксируется штифтами. Гайки штифтовых распылителей затягивают с усилием $100 \div 120 \text{ Н}\cdot\text{м}$, бесштифтовых – $70 \div 80 \text{ Н}\cdot\text{м}$, контргайку регулировочного болта пружины – $100 \div 200 \text{ Н}\cdot\text{м}$, колпак форсунки – $80 \div 100 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Собрать форсунку и установить на прибор КИ-562 (рис.5.48) или КИ-3333 (рис.5.49).

Проверка подвижности иглы. Подвижность иглы проверяют прокачиванием топлива или технологической жидкости через форсунку или распылитель на стенде при движении рычага при частоте впрыскиваний $30\text{-}40$ в минуту. Впрыскивание должно сопровождаться звуком, характерным для соответствующего конструктивного исполнения распылителя.

Допускается подвижность иглы проверять одновременно с проверкой качества распыливания.

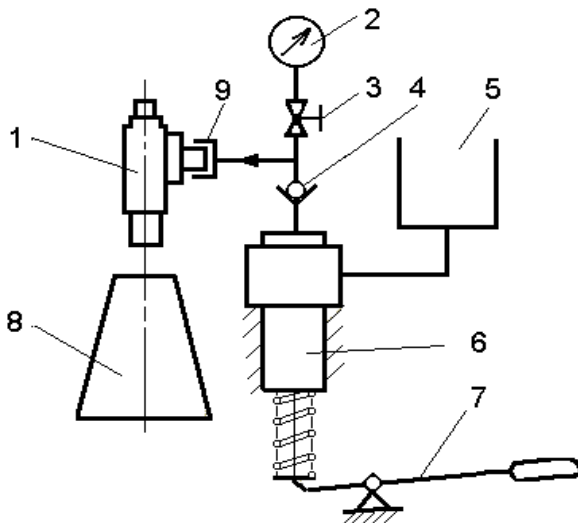


Рис.5.48. Схема прибора EPS100:

- 1 – испытуемая форсунка; 2 – манометр; 3 – кран; 4 – обратный клапан; 5 – топливный бачок; 6 – насосный элемент; 7 – рычаг; 8 – топливоуловитель; 9 – гайка.

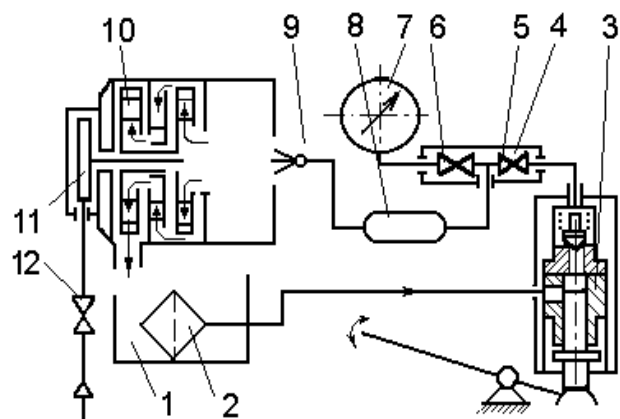


Рис.5.49. Схема прибора КИ-3333:

- 1 – бак; 2 – фильтр; 3 – плунжерный насос; 4 – клапанная коробка; 5, 6 – краны; 7 – манометр; 8 – гидроаккумулятор; 9 – форсунка; 10 – вентилятор; 11 – воздушная турбина; 12 – кран подвода воздуха.

Проверка гидроплотности по направляющей поверхности иглы. При проверке гидроплотности распылителей объем системы от нагнетательного клапана насоса до распылителя должен быть $65+5 \text{ см}^3$. Перед каждым измерением гидроплотности распылителя должно быть произведено одно впрыскивание.

При проверке гидроплотности распылителей путем сравнения их с контрольными образцами, вязкость топлива или технологической жидкости, а также значение давления опрессовки должны быть указаны в рабочих чертежах, утвержденных в установленном порядке.

Гидроплотность распылителей штифтовых и бесштифтовых форсунок с небольшим диаметром корпуса 17 мм должна быть не менее 5 с. при снижении давления от 19,6 до 17,6 МПа. Определение гидроплотности распылителя по направляющей иглы проводите в следующей последовательности:

- установите давление начала впрыскивания $23\div 24$ МПа, прокачивая топливо рычагом с частотой 60-80 качаний в минуту;
- произведите одно впрыскивание;
- медленно нажимая на рычаг прибора, поднимите давление топлива до $21,5\div 22,2$ МПа и прекратите нагнетание;
- следя за показателями манометра, включите секундомер при давлении 19,6 МПа и при 17,6 МПа его выключите. Зафиксируйте полученный результат.

Распылители делятся на группы гидроплотности с шагом в $5\div 6$ с., при гидроплотности менее 5 с. распылители отбраковываются.

Проверка давления начала впрыскивания. Произведите впрыскивание топлива, действуя рычагом прибора с частотой 60-80 качаний в минуту.

Вращением регулировочного винта или заменой регулировочных прокладок под пружиной отрегулируйте давление начала впрыскивания топлива в соответствии с табличными данными согласно модели двигателя.

Отклонение давления начала впрыскивания при регулировке у форсунок автотракторных дизелей допускается с допуском только в сторону увеличения не более +0,8 МПа для форсунок с регулировочным винтом; не более +1,2 МПа для форсунок с регулировочными шайбами.

Проверка герметичности по запирающему конусу. Герметичность по запирающему конусу форсунки или распылителя проверяют созданием давления топлива, технологической жидкости или газа. Начальное давление топлива или технологической жидкости должно быть на $1\div 1,5$ МПа меньше давления начала впрыскивания. Герметичность зависит от неплотности запорной части распылителя, зазора вдоль направляющей поверхности иглы и неплотности в сопряжении верхнего торца корпуса распылителя с нижним торцом корпуса форсунки.

При использовании распылителей, у которых угол запирающего конуса иглы меньше угла запирающего конуса распылителя, герметичность по запирающему конусу проверяют при давлении топлива или технологической жидкости в форсунке на $3\div 3,5$ МПа меньше давления начала впрыскивания.

При хорошей герметичности запирающих конусов топливо в течение указанного времени не должно просачиваться из сопла распылителя.

Герметичность уплотнений, соединений и наружных поверхностей полости высокого давления форсунок проверяют одновременно с вышеприведенными испытаниями. Течи и увлажнения не допускаются.

Герметичность уплотнений, соединений и наружных поверхностей полости низкого давления форсунок автотракторных дизелей проверяют опрессовкой воздухом давлением не менее 0,4 МПа. Пропуск воздуха в течение 10 с. не допускается.

Проверка герметичности сопряжения запирающих конусов иглы и корпуса распылителя проводите в следующей последовательности:

- нагнетая топливо рукояткой прибора, создайте в системе «прибор – форсунка» давление, на $1,5\div 2,5$ МПа меньше установленного давления начала впрыскивания;
- поддерживайте такое давление в течение 20 с.

При этом на носике или торце распылителя допускается появление топлива (технологической жидкости), не отрывающегося под действием собственной массы в течение 15с.

В отдельных случаях допускается восстановление герметичности сопряжения запирающих конусов иглы и корпуса распылителя используя специальные притиры и притирочные пасты. Притир непосредственно иглы и корпуса распылителя недопустим вследствие увеличения ширины фаски и ухудшения качества распыла.

Проверка качества распыливания. Качество распыливания проверяют прокачиванием топлива или технологической жидкости через форсунку или распылитель на стенде при частоте впрыскиваний 60÷80 в минуту или на аккумуляторной установке при повышении давления не менее 2,5 МПа в секунду (одно впрыскивание в секунду).

Качество распыливания форсункой считается нормальным, если топливный факел не содержит заметные на глаз отдельные вылетающие капли и струи топлива (т.е. топливо должно впрыскиваться в туманообразном состоянии без сплошных струек и легко различимых местных сгущений). Для штифтовых распылителей допускается видимость стержня струи топлива.

У форсунок с многодырчатым распылителем топливо должно впрыскиваться равномерно из всех сопловых отверстий. Отклонение струй топлива из распыливающих отверстий бесштифтовых распылителей от заданных направлений не должно быть более $\pm 3^\circ$.

В начале и в конце впрыскивания не должно наблюдаться подтекания топлива в виде отдельных капель (допускается незначительное увлажнение торца распылителя непосредственно после окончания впрыскивания), начало и конец сопровождаться резким звуком. Для малогабаритных распылителей (диаметром направляющей части иглы 5 мм. и менее) отсутствие звука при проверке не является нарушением работоспособности. Кроме того, некоторые фирмы-производители топливной аппаратуры (фирма Bosch) делят распылители на 3 группы дребезжания. Распылители 1 группы характеризуются четким звуком при распыливании топлива, 2-й группы - отсутствием резкого звука на некоторых режимах проверки, у распылителей 3-й группы допускается наличие отдельных струй при впрыскивании топлива. Связано это с конструктивными особенностями распылителей, прежде всего для современных топливных систем типа Common Rail.

Определение угла конуса распыла топлива штифтовой форсункой проводите в следующей последовательности:

- произведите единичное впрыскивание топлива на экран из плотной бумаги, размещенный перпендикулярно оси испытуемой форсунки на расстоянии 140÷250 мм.;
- измерьте диаметр отпечатка топливного факела на плотной бумаге и расстояние от носка распылителя до экрана;
- по измеренным параметрам вычислите угол конуса топливного факела.

Пропускную способность форсунок и распылителей проверяют на стенде по ГОСТ 10578 или на стенде постоянного давления (расхода), прокачкой топлива или технологической жидкости через форсунку (распылитель) от секции топливного насоса высокого давления при частоте вращения и подачи, установленных в технических условиях и (или) рабочих чертежах на форсунки (распылители) конкретных типов. Пропускную способность оценивают по значению цикловой подачи.

Отклонение значения эффективного проходного сечения или пропускной способности распылителей или сопловых наконечников от номинального значения не должно быть более $\pm 6\%$ при проверке на стенде постоянного давления или $\pm 1,5\%$ при прокачке от секции топливного насоса высокого давления.

5.15. Установка ТНВД на двигатель и проверка угла опережения впрыскивания топлива

Для эффективного использования теплоты, выделяющейся в процессе сгорания топлива, необходимо, чтобы период наиболее интенсивного ее выделения приходился на начало такта расширения. Только тогда максимальное давление рабочих газов на поршень не будет, с одной стороны, препятствовать вращению коленчатого вала («раннее впрыскивание»), с другой – рассеиваться в резко увеличивающемся объеме цилиндра («позднее впрыскивание»).

В этой связи начало подачи топлива в цилиндр необходимо осуществлять в конце такта сжатия, но до прихода поршня в верхнюю мертвую точку, на определенную величину,

называемую **углом опережения впрыскивания топлива** (УОВТ). Значение УОВТ строго индивидуально как для разных типов двигателей, так и для разных режимов его работы.

Нужно отметить, что при определении оптимального УОВТ производители современных дизелей вынуждены ориентироваться не только на максимум мощности или минимум расхода топлива, но и на ограничения по максимальному давлению и скорости нарастания давления при сгорании. В последнее время значительно более жесткие ограничения накладывает проблема выполнения норм по токсичности отработавших газов (выбросов NO_x и CO).

С увеличением УОВТ растут выбросы NO_x , максимальное давление в цилиндре, жесткость сгорания, шум, но уменьшаются выбросы сазого дыма (частиц), расход топлива, неустойчивость работы. В отличие от вихрекамерных, более современные дизели с непосредственным впрыскиванием (открытой камерой сгорания) чрезвычайно чувствительны к точному выдерживанию УОВТ.

Поскольку в процессе эксплуатации установочный УОВТ самопроизвольно практически не меняется, его контроль не входит в плановое техническое обслуживание. В то же время чрезвычайно важна исходная правильная установка ТНВД на двигатель. Даже ТПА непосредственного действия с электронным управлением не может скорректировать его в широких пределах, только в ТПА типа Common Rail такая проблема отсутствует.

Статический и динамический УОВ. Под УОВТ понимают угол поворота коленчатого вала от начала подачи топлива до ВМТ соответствующего цилиндра. При его проверке на двигателе различают статический и динамический УОВТ. Статическим (или геометрическим, или установочным) УОВТ называют такой, который соответствует ожидаемому началу подачи, исходя из геометрических соображений: закрытию впускного окна втулки верхним торцом плунжера или иному положению плунжера при котором начинается сжатие топлива.

Динамический (или действительный) УОВТ соответствует действительному началу впрыскивания топлива при функционировании ТНВД и определяется либо непосредственно по факту появления струи топлива из распылителя, либо по началу подъема иглы форсунки.

Как правило, при установке ТНВД на дизель оперируют статическим УОВТ, выраженным в углах поворота коленчатого вала. При диагностировании же дизеля обычно имеют дело с динамическим УОВТ. Это позволяет интегрально оценить правильность функционирования ТПА и проверить работу муфт или автоматов регулирования УОВТ.

Определение положения ВМТ первого цилиндра необходимо при любом ниже описанном способе установки УОВ. В четырехтактном двигателе можно перепутать ВМТ конца сжатия и конца выпуска. В связи с затрудненным прокручиванием дизельного двигателя контроль проводят при снятой крышке ГРМ по положению распредвала – в конце такта сжатия оба клапана закрыты, имеет место тепловой зазор, а кулачки распредвала максимально удалены от толкателей.

Точное положение поршня в ВМТ или, соответственно, статического УОВТ определяют по меткам на маховике (приводном шкиве) и блоке дизеля, с помощью специальных прикладываемых шаблонов или линейек, стрелочного индикатора положения поршня. Момент начала подачи топлива ТНВД так же может быть определен у большинства насосов по меткам на муфте ОВТ (ступице грузов регулятора) и его корпусе. Некоторые виды ТНВД меток не имеют и для их правильной установки используют специальные технологии и приспособления.

Наиболее распространен **метод проверки УОВТ при помощи моментоскопа**. Для этого снимают со штуцера первой нагнетательной секции топливопровод высокого давления и устанавливают моментоскоп (рис.5.50). Ослабляют затяжку гаек топливопроводов на остальных штуцерах топливного насоса. В случае необходимости при помощи магнита крепят на картер двигателя около цилиндрической поверхности шкива коленчатого вала указатель.

Топливопрокачивающим насосом поднимают давление топлива в системе питания. Включают подачу топлива и прокручивают коленчатый вал до заполнения стеклянной трубки моментоскопа топливом и исчезновения пузырьков воздуха, после чего выливают часть топлива из трубки, встряхнув ее пальцем.

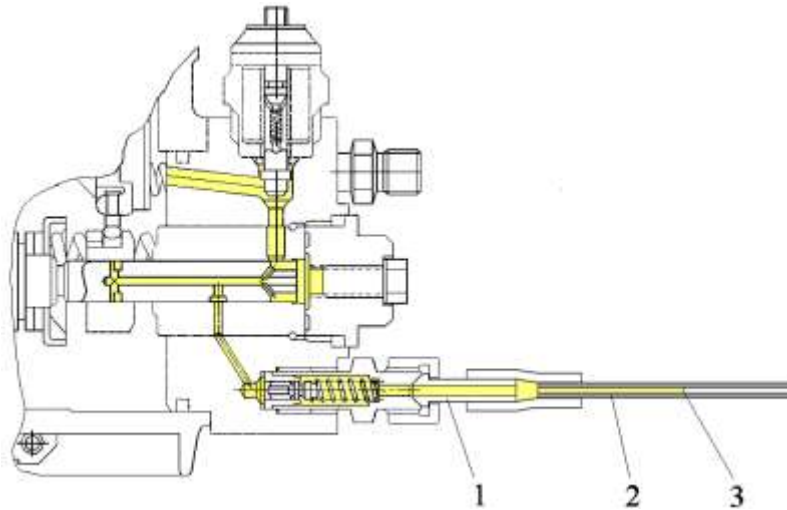


Рис.5.50. Установка статического УОВ с помощью моментоскопа:

- 1 - обрезок трубопровода;
- 2 - стеклянный капилляр;
- 3 - мениск топлива.

Наблюдая за уровнем топлива в трубке моментоскопа, прокручивают коленчатый вал по направлению вращения до момента начала подъема уровня топлива в трубке моментоскопа. Положение коленчатого вала в этот момент должно соответствовать указанному значению в заводской инструкции.

В случае отсутствия видимых меток на шкиве коленчатого вала или маховике наносят на шкиве риску, соответствующую началу подачи топлива. Затем медленно прокручивают коленчатый вал по направлению вращения до прихода поршня первого цилиндра в ВМТ, контролируя через отверстие в головке блока под форсунку. Наносят на цилиндрической поверхности шкива коленчатого вала вторую риску, после чего измеряют с помощью шаблона угол или расстояние между рисками.

Установка УОВ с помощью стрелочного индикатора в распределительных ТНВД типа VE. В наиболее массово распространенном ТНВД статический УОВТ контролируется по величине подъема плунжера, измеряемым часовым индикатором, до достижения поршнем ВМТ (рис. 5.51).

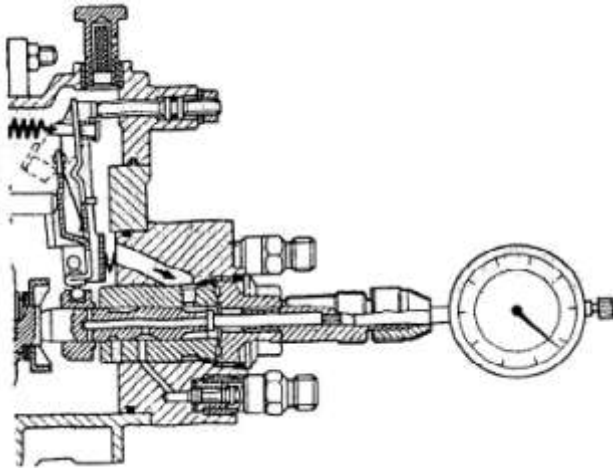


Рис. 5.51. Схема контроля статического УОВТ на ТНВД типа VE: 1 - плунжер; 2 - резьбовая головка; 3 - индикатор перемещений.

Для этого: выворачивают пробку-болт плунжерной полости, расположенную между нагнетательными штуцерами; устанавливают в отверстие индикатор, уперев его ножку в плунжер; вращая коленчатый вал двигателя «назад» и наблюдая за индикатором, опускают плунжер, пока он полностью не сойдет с кулачка; ставят индикатор на «0»; вращая коленвал в направлении его вращения, фиксируют момент достижения указанного в инструкции значения хода плунжера; при этом поршень должен оказаться в положении ВМТ или другом, указанном в инструкции по установке.

Если значение не совпадает, необходимо повернуть ТНВД относительно двигателя или сдвинуть шкив ТНВД и повторить контроль.

Установка УОВ с применением стрелочного индикатора в ТНВД Lucas. Порядок работы схож с описанным для ТНВД VE. Контрольная пробка находится на боковой стороне ТНВД (рис. 5.52). Иногда контролируют не показания индикатора 1, а наиболее глубокое положение в фазовой канавке 2 ротора. Для этого применяется контрольный штифт вместо индикатора.

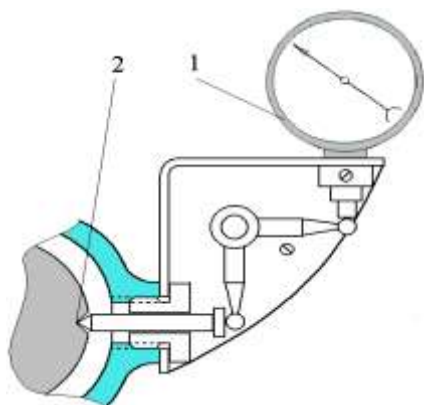


Рис. 5.52. Схема контроля УОВ в ТНВД Lucas.

Установка УОВ с помощью статической проливки. Идея метода заключается в нахождении момента закрытия впускного окна по прекращению протока топлива через него (рис. 5.53). При этом, из штуцера первого цилиндра удаляют нагнетательный клапан и устанавливают моментоскоп; во впускной полости создают давление топлива путем ручной прокачки ТПН; подают питание на ELAB (клапан «останова»); непрерывно подкачивая ручным насосом топливо медленно вращают коленчатый вал до завершения истечения топлива из трубки моментоскопа. Искомым положением вала считают такой, при котором при проливке вытекает приблизительно 1 капля за 10 с. В данном положении сравнивают установочные метки на предмет соответствия требуемым.

Можно, напротив, подавать в ТНВД сжатый воздух, и наблюдать не за вытеканием топлива, а выпуском воздуха из трубки 3, погруженной в сосуд с топливом.

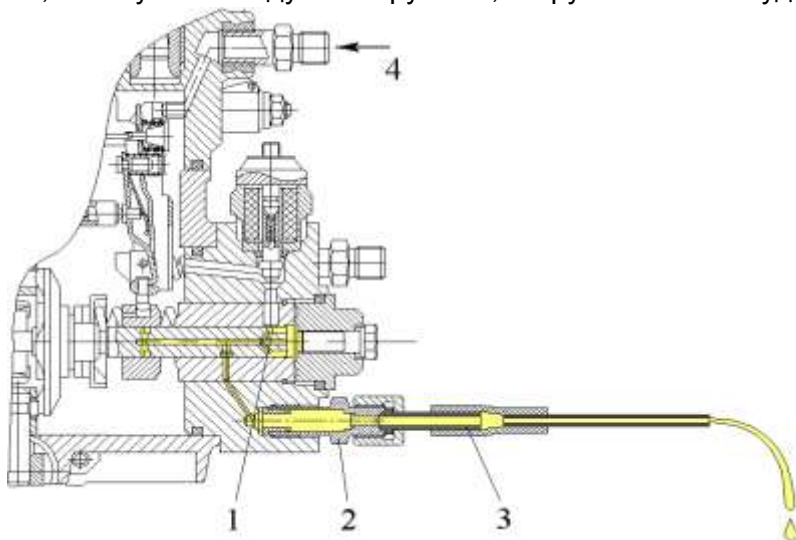


Рис.5.53. Установка статического УОВТ с помощью проливки:

1 - впускное окно втулки плунжера; 2 - штуцер 1-го цилиндра с удаленным клапаном; 3 - обрезок трубопровода; 4 - подача сжатой среды в ТНВД.

Контроль действительного (динамического) УОВ. Достоинство метода – контроль подачи, как конечного результата работы механизма регулирования УОВ, датчиков, СУ – изменение УОВ по частоте, нагрузке, температуре дизеля и т.д. Для этой работы используется стробоскоп с внешним запуском. Лампа стробоскопа направляется на шкив (маховик) в месте контрольных меток, а запуск стробоскопа осуществляется началом впрыскивания топлива форсункой.

Сигнал для стробоскопа снимается чаще всего накидным пьезодатчиком, закрепленным на трубопроводе высокого давления или тензодатчиком, подключенным через тройник к штуцеру первой форсунки. Более точный результат получается при использовании штатного датчика подъема иглы 1-го цилиндра, в ТПА непосредственного действия с электронным управлением. Однако он требует своего предусилителя для работы с индукционным датчиком. Другие методы требуют демонтажа форсунки с дизеля.

Установка топливных насосов типа ЯМЗ, КАМАЗ, 6ТН-10х10. Топливные насосы типа 6ТН-10х10, ЯМЗ, КАМАЗ устанавливаются на специальные приливы-кронштейны и жестко крепятся к двигателю без возможности осевой или продольной регулировки. Рассмотрим установку данных насосов на примере ТНВД типа 6ТН-10х10 двигателя А-01М.

Топливный насос 6ТН-10х10 крепится к двигателю А-01М четырьмя болтами через кронштейн, зафиксированный штифтами и привернутый к боковой стенке блок-картера.

Ложе кронштейна представляет собой часть цилиндрической поверхности, которую, для более точной соосности кулачкового вала насоса и вала его привода, обрабатывают одновременно с расточкой блока под подшипники коленчатого и распределительного валов.

В нижней части корпуса насоса выполнены два пояска, также представляющие собой части цилиндрической поверхности, которыми насос устанавливают на ложе кронштейна. Такое крепление на цилиндрических поверхностях позволяет точно зафиксировать положение оси кулачкового вала насоса и одновременно допускает некоторую самоустановку насоса путем его поворота относительно оси кулачкового вала.

Вал привода насоса соединен с кулачковым валом насоса при помощи пластинчатой карданной муфты, обладающей большой крутильной жесткостью и гибкостью вдоль оси вращения. Благодаря гибкости при монтаже насоса и его привода на двигателе может быть допущена некоторая несоосность валов насоса и привода насоса (до 0,5 мм).

Соединительная муфта состоит из вилки 2 (рис.5.54) и фланца 7, установленных на хвостовиках кулачкового и приводного валов. Вилка укреплена на конусе со шпонкой, с затяжкой гайкой вдоль оси валика, а фланец - на цилиндрическом конце со шпонкой и с клеммным зажимом при помощи болта 5 и шайбы 4. Полумуфта 3 состоит из стальных тонколистовых колец, соединенных при помощи болтов 11 с крестовиной 13. Крепления выполнены крест накрест. Благодаря поперечному перегибу тонколистовых колец достигается гибкость муфты.

Отверстия под болты во фланце 7, устанавливаемом на вале привода насоса, соединяющие фланец с пакетом колец, выполнены овальными, благодаря чему можно регулировать угол опережения подачи топлива насосом. Для облегчения этой регулировки на наружной поверхности фланца нанесены деления в градусах. Необходимо отметить, что «нулевое» деление не обязательно должно соответствовать правильной регулировке угла опережения впрыскивания топлива, и обычно представляет собой лишь условную градуировку в обе стороны от центра овальной прорези.

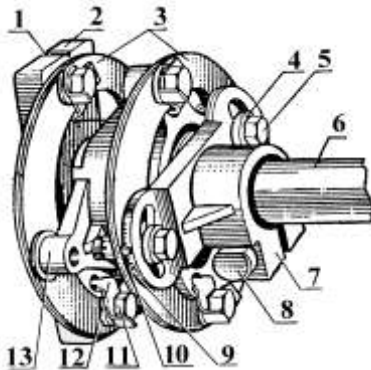


Рис.5.54. Соединительная муфта привода топливного насоса 6ТН-10х10:

1 - риска; 2 - вилка; 3 - полумуфта; 4 - шайба; 5, 8 и 11 - болт; 6 - вал привода; 7 - фланец; 9 - градуированная шкала; 10 - стрелка; 12 - стопорная шайба; 13 - крестовина.

На пластине привода ТНВД (6ТН) или на муфте ОВТ (ЯМЗ и КАМАЗ) имеется риска 1, момент совмещения которой с меткой на корпусе ТНВД соответствует моменту начала впрыска топлива. Данная метка чеканится в процессе регулировки топливной аппаратуры на стенде и в случае неквалифицированного ремонта может не соответствовать заданному параметру, в связи с чем рекомендуется проводить контрольную проверку с помощью моментоскопа (как описано выше).

Коленчатый вал устанавливают в положение начала впрыскивания топлива - обычно 32...16 градусов пкв до ВМТ первого цилиндра (см. справочные данные) на такте сжатия в соответствии с заводской инструкцией. Иногда позицию, соответствующую номинальному углу опережения впрыскивания, определяют по величине угла или длине дуги на цилиндрической поверхности шкива коленчатого вала между рисккой и указателем ВМТ (дизель А-01М). В других случаях значение угла контролируют по шкале на переднем шкиве коленчатого вала (ЯМЗ) или по моменту фиксации маховика солдатиком (КАМАЗ).

Совмещают установочные метки на корпусе ТНВД и муфте ОВТ (пластине привода) и, удерживая вал насоса от самопроизвольного проворачивания, фиксируют фланец на приводе болтами. В случае ограниченного доступа сначала фиксируют верхний болт затем, повернув коленчатый вал на один оборот, затягивают другой болт.

Если отверстия во фланце не совпадают с отверстиями в пластине привода, необходимо проверить правильность установки шестерни 3 (рис.5.54) относительно коленчатого вала двигателя или радиальный люфт в приводе.

После регулировки угла опережения впрыскивания топлива делают контрольную проверку, для чего вновь устанавливают коленчатый вал в положение начала впрыскивания топлива по заводским меткам и проверяют совпадение меток на ТНВД.

Установка топливных насосов типа 4ТН, УТН, НД-21. Топливные насосы данных типов имеют фланцевое крепление и крепятся на двигатель при помощи плиты через прилив на тыльной стороне картера шестерен.

Шестерня привода насоса соединена с кулачковым валом при помощи шлицевой втулки, насаженной на конусный хвостовик кулачкового вала, и регулировочного шлицевого фланца 3 (рис.5.55), прикрепленного болтами 4 к торцу шестерни привода насоса и соединяющего внутренними шлицами со шлицами втулки, выполненными на наружной поверхности бурта втулки.

Шаг отверстий на торце приводной шестерни и в регулировочном шлицевом фланце 3 не одинаков. Это позволяет с большой точностью регулировать угол опережения поворота диска на величину разности шагов. Точность регулировки составляет 3 градуса по углу поворота коленчатого вала.

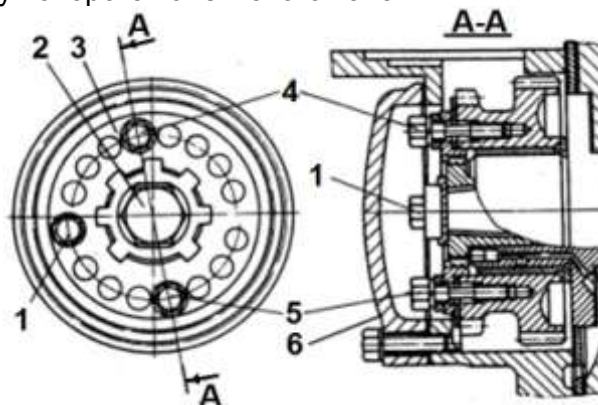


Рис.5.55. Привод ТНВД.
1,4, 5 - болты; 2 - гайка вала ТНВД; 3 - шлицевой фланец; 6 - крышка.

После установки ТНВД на двигатель проверяют точность установки, как правило, используя моментоскоп, определяя соответствие УОВТ заданному по величине угла или длине дуги на цилиндрической поверхности шкива коленчатого вала между риской и указателем (А-41) или по фиксации маховика солдатиком (Д-243).

Установка топливных насосов типа НД22/6. ТНВД типа НД22/6 также имеют фланцевое крепление, но отличаются способом регулировки угла опережения впрыскивания топлива. Привод топливного насоса двигателей серии СМД-60 (-72) выполнен в двух вариантах. Они отличаются только наличием автоматической муфты изменения УОВТ в тракторных модификациях.

Топливный насос приводится в действие от шестерни, которая находится в зацеплении с промежуточной шестерней блока шестерен, установленного на распределительном валу. На торце ступицы шестерни привода топливного насоса имеется два диаметрально расположенных кулачка, которые входят в прямоугольные пазы текстолитовой шайбы. Двумя другими пазами, расположенными под углом 90°, текстолитовая шайба соединяется с кулачками автоматической муфты или кулачковой полумуфты. Такое сопряжение обеспечивает надежную работу даже при некоторой несоосности шестерни привода и вала насоса или небольшого перекоса их осей.

ТНВД через установочный фланец крепят к проставке четырьмя шпильками. Отверстия в установочном фланце овальные, что позволяет регулировать угол опережения впрыскивания топлива поворотом топливного насоса вокруг своей оси.

Положение установочного фланца относительно насоса фиксируют по метке, совпадающей с меткой на фланце. Совпадение меток соответствует моменту перекрытия впускного отверстия во втулке плунжера его кромкой, т.е. установочному углу геометрического начала подачи топлива равному $37 \pm 1^\circ$ от оси симметрии кулачка или $24^\circ \dots 26^\circ$ от н.м.т. плунжера.

Для правильного соединения топливного насоса с шестерней привода его устанавливают по меткам (без учета меток возможна ошибка в угловом направлении на 180°). Метки нанесены на одном из кулачков автоматической муфты (кулачковой полумуфты) и на шестерне привода топливного насоса. На шестерне набита буква «Т», совпадающая с тем из пазов текстолитовой шайбы, с которым должен соединяться помеченный кулачок.

При проверке соответствия угла опережения впрыскивания топлива заданному закрепляют моментоскоп на штуцер ТНВД первого цилиндра и указатель на картере маховика против люка (предварительно сняв с него крышку). На лимбе маховика имеются деления, нанесенные через 1° .

Включив подачу топлива проворачивают коленчатый вал до заполнения трубки моментоскопа, после чего медленно покручивают коленчатый вал сначала против, затем по направлению вращения до начала подъема топлива в трубке моментоскопа. По делениям на маховике определяют угол опережения впрыскивания топлива.

Чтобы изменить угол начала подачи топлива, ослабляют гайки крепления топливного насоса к приставке, отмечают, с каким делением на лимбе приставки совпадает риска на фланце насоса. После этого топливный насос поворачивают на соответствующее количество делений по часовой стрелке (для увеличения угла начала подачи) или против. После поворота насоса затягивают гайки и проверяют угол начала подачи топлива.

Установка агрегатов топливной аппаратуры на двигатель. Форсунки устанавливают на двигатель по меткам (согласно порядку работы цилиндров), которые наносятся на наружной поверхности гайки-колпака при их испытании на безмоторном стенде с рабочим топливным насосом.

При установке форсунки на двигатель следует пользоваться новыми уплотнительными прокладками. Во избежание перекосов форсунки гайки шпилек необходимо затягивать поочередно, поворачивая каждую за один прием не более чем на одну-две грани.

После установки топливного насоса и проверки угла опережения подачи топлива на двигатель монтируют комплект трубопроводов высокого давления, соединяя форсунки в определенной последовательности со штуцерами нагнетательных секций насоса (рис.5.56).

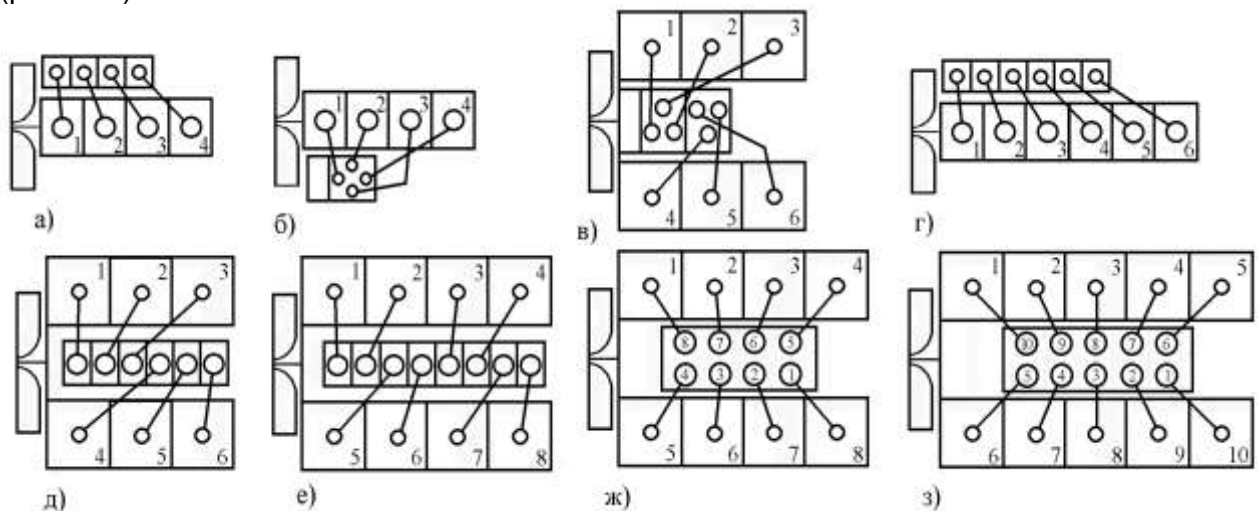


Рис.5.56. Схема соединения трубопроводов высокого давления двигателей:

а) Д-65Н; б) Д-144; в) СМД-60; г) А-01М; д) ЯМЗ-236; е) ЯМЗ-238Н; ж) КАМАЗ-740; з) КАМАЗ-741.

Контрольные вопросы.

1. Обоснуйте необходимость использования эталонных форсунок при регулировке ТНВД?
2. Как оценивается величина межсекционной неравномерности топливоподачи?
3. Какие требования предъявляются к технологической жидкости при испытании ТНВД?
4. Какова последовательность регулировки рядных ТНВД?
5. В чем заключаются особенности регулировки ТНВД с электронным управлением типа VP?
6. Почему топливная аппаратура типа Common Rail не может быть испытана без специального оборудования?
7. Перечислите основные показатели качества работы форсунок дизелей.
8. Назовите последовательность операций при установке ТНВД на двигатель.
9. Какие методы проверки установочного угла начала подачи топлива вы знаете?

ЛИТЕРАТУРА

1. Аллилуев В.А., Ананьин А.Д., Михлин В.М. Техническая эксплуатация машинно-тракторного парка. М.: Агропромиздат, 1991. - 367 с.
2. Астахов И.В., Голубков Л.Н., Трусов В.И., Хачиян А.С., Рябкин Л.А. Топливные системы и экономичность дизелей. М.: Машиностроение, 1990. – 288с.
3. Бахтияров Н.И., Логинов В.Е., Лихачев И.И. Повышение надежности работы прецизионных пар топливной аппаратуры дизелей. М.: Машиностроение, 1972. – 200 с.
4. Баширов Р.М., Кислов В.Г., Павлов В.А., Попов В.Л. Надежность топливной аппаратуры тракторных и комбайновых дизелей. М.: Машиностроение, 1987. – 184 с.
5. Белявцев А.В., Процеров А.С. Топливная аппаратура автотракторных дизелей. М.: Росагропромиздат, 1988. – 223 с.
6. Вихерт М.М., Мазинг М.В. Топливная аппаратура автомобильных дизелей: конструкция и параметры. - М.: Машиностроение, 1978. - 176 с.
7. Габитов И.И., Неговора А.В. Топливная аппаратура автотракторных дизелей. – Уфа: БГАУ, 2004, - 216с.
8. Голубков Л.Н., Савастенко А.А., Эммиль М.В. Топливные насосы высокого давления распределительного типа. - М.: Изд-во “Легион-Автодата”, 2000. - 176 с.
9. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для Вузов. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
10. Грехов Л.В. Топливная аппаратура с электронным управлением дизелей и двигателей с непосредственным впрыском бензина. М.; Изд-во Легион-Автодата, 2001. -176 с.
11. Губертус Г. Диагностика дизельных двигателей. Пер. с нем. Первое русское издание.- М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004.- 176 с.
12. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей / С.И.Ефимов, Н.А.Иващенко, В.И.Ивин и др. Под ред. А.С.Орлина, М.Г.Круглова.- М.:Машиностроение,1985.– 456 с.
13. Дизельные аккумуляторные топливные системы Common Rail. Пер. с англ.: Учебное пособие. – М.: ЗАО Легион-Автодата, 2005. – 48 с.
14. Загородских Б.П., Хатько В.В. Ремонт и регулирование топливной аппаратуры автотракторных двигателей. М.: Россельхозиздат, 1986.- 140 с.
15. Загородских Б.П., Лялякин В.П., Плотников П.А. Ремонт и регулирование топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей / Ремонт М.: ФГНУ Росиформротех, 2006.- 212 с.
16. Кривенко П.М., Федосов И.М. Ремонт и техническое обслуживание системы питания автотракторного двигателя. М.: Колос, 1990. – 288 с.
17. Крутов В.И. Автоматическое регулирование и управление двигателями внутреннего сгорания. - М.: Машиностроение, 1989. - 416 с.
18. Кулешов А.С., Грехов Л.В. Расчетное формирование оптимальных законов управления дизелями на традиционных и альтернативных топливах // Безопасность в технике. – 2007, №5. – С. 30-32.
19. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И..Токсичность отработавших газов дизелей. 2-е изд., перераб. и доп. - М: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. - 376 с.
20. Марков В.А., Козлов С.И. Топлива и топливоподача многотопливных и газодизельных двигателей. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2000.- 296 с.
21. Николаенко А.В. Улучшение топливно-энергетических и экологических показателей автотракторных двигателей. Л.: ЛСХИ, 1990. - 46 с.
22. Повреждения насосов распределительного типа при применении топлива ненадлежащего качества. Сервисная телеграмма. Robert Bosch GmbH, Отдел оборудования: Автосервис: EP. 04.2001. ST 0532 De.
23. Проверка и регулировка систем впрыска. Сервисная телеграмма. Robert Bosch GmbH, Отдел автооборудования: СТОА: P. 04.2002. ST 0756 Ru.
24. Пинский Ф.И., Давтян Р.И., Черняк Б.Я. Микропроцессорные системы управления автомобильными двигателями внутреннего сгорания. - М.: Изд-во "Легион-Автодата", 2001. - 136 с.
25. Руководство по испытанию и регулировке топливной аппаратуры тракторных, комбайновых и автомобильных дизелей. – М.: ГОСНИТИ, 1990. – с.186

26. Свиридов Ю.Б., Малявинский П.В., Вихерт М.М. Топливо и топливоподача авто-тракторных дизелей. Л.:Машиностроение,1979. – 248 с.
27. Системы управления дизельными двигателями. Перевод с немецкого. Первое русское издание. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 480 с.
28. Трусов В.И., Дмитриенко В.П., Масляный Г.Д. Форсунки автотракторных дизелей. - М.: Машиностроение, 1977. - 166 с.
29. Топливные системы дизелей с насос-форсунками и индивидуальными ТНВД. Пер. с англ.: Учебное пособие. – М.: ЗАО Легион-Автодата, 2005. – 73 с.
30. Черноиванов В.И., Северный А.Э., Халфин М.А., Сидыганов Ю.Н. и др. Ресурсосбережение при технической эксплуатации сельскохозяйственной техники. М.: ФНГТУ «Росинформагротех».–Ч.1,2 –2001.–420с.
31. Файнлейб Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей.. Л.: Машиностроение, 1990. - 352 с.
32. Фомин Ю.Я., Никонов Г.В., Ивановский В.Г. Топливная аппаратура дизелей: Справочник. - М.: Машиностроение, 1982. - 168 с.
33. Фирма Caterpillar ускоряет разработки топливных систем HEUI-B и MEUI-B следующего поколения // Анализ технического уровня и тенденций развития двигателей внутреннего сгорания / Под ред. Р. И. Давтяна. – М.: Информцентр НИИД, 1999. – Вып. 30. – С. 54-62.
34. Эммиль М.В. Автоматические регуляторы частоты вращения автомобильных и тракторных дизелей: учебное пособие. – М.: РУДН, 2007. – 156 с.
35. Электронное управление дизельными двигателями. Пер. с англ.: Учебное пособие. – М.: ЗАО Легион-Автодата, 2006. – 96 с.
36. Bosch Dianostics Soft. ESI [tronic] Automotive. Diagnosis and Technics: A, C, D, E, F, K, M, P, W. – Robert Bosch GmbH. Bosch Automotive Aftermarket. D-76225 Karlsruhe, 2005/1.
37. Denso. Electronical Technical Service Information, 2002.
38. Fuel injection pump model Covtec-F. Pub. № EE14E-11190. Service Manual: Adjustment and Inspection. Printing: July 2003. Published by: Bosch K.K.: Sales Automotive Aftermarket Division. Printed in Japan.
39. Fuel injection pump model Covtec-T (for Nissan Diesel). Pub. № EE14E-11200. Service Manual: Repair Service and Maintenance. Printing: March 2003. Published by: Bosch Automotive Systems Corporation: Service Department. Printed in Japan.
40. Fuel injection pump model Covtec-T (for Nissan Diesel). Pub. № EE14E-11210. Service Manual: Construction and Operation. Printing: June 2003. Published by: Bosch Automotive Systems Corporation: Service Department. Printed in Japan.
41. Fuel injection pump model VRZ. Pub. № EE14E-11161. Service Manual: Repair Service and Maintenance. Printing: July 2003. Published by: Bosch K.K.: Sales Automotive Aftermarket Division. Printed in Japan.
42. Operating Instructions. Injection pump test bench EPS 807/815. Robert Bosch GmbH. Automotive Aftermarket. Test Equipment. 1 689 979 672 UBF 851/1 De,En,Fr,Sp,It (03.12.2003). Printed in Germany.
43. Operating Instructions. KMA 802/822. Description of unit. Robert Bosch GmbH. Automotive Aftermarket. Test Equipment. 1 689 979 674 UBF 851/3 De,En,Fr,Sp,It,Sv (2005-02-28). Printed in Germany.
44. Service Information S.I. 442 1/6. PFR-KX and PFR-MD type injection pump: part number and production stamping. Printing: July 2003. Published by: Bosch Group.
45. Technical Service Training. Diesel Injection and Engine Management 23/E. Diesel Injection Systems. Delegate Information 2. CG 7662/s en 9/96.
46. Technical Service Training. New Product Introduction 00/284. Transit Diesel Injection Systems. Delegate Information 2. CG 7653/s en 9/96.