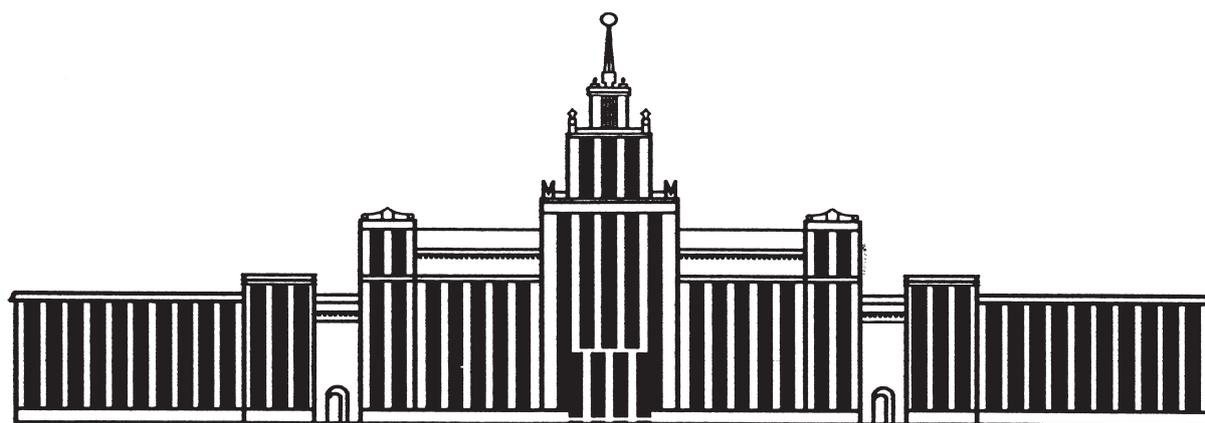

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

629.113(07)
К782

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

СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Часть 1

НАЗНАЧЕНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ

Учебное пособие

Челябинск
2017

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

629.113(07)
К782

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

СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Часть 1

НАЗНАЧЕНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ

Учебное пособие

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2017

УДК 629.113(076.5)+629.114.2(076.5)
К782

Одобрено
учебно-методической комиссией автотракторного факультета

Рецензенты:
Г.Н. Шитко, Е.Е. Баженов

Краснокутский В.В.

К782 Системы питания дизельных двигателей. Часть 1: Назначение и конструкция: учебное пособие / В.В. Краснокутский, М.А. Русанов, И.П. Трояновская. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. – 72 с.

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

УДК 629.113(076.5)+629.114.2(076.5)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2017

ВВЕДЕНИЕ

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

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

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

В данной публикации (часть 1) приведены основные сведения по критериям, оценочным показателям и требованиям к системам питания дизелей, а также рассмотрены основные элементы систем питания топливом или воздухом и перспективы их развития.

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

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

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП РАБОТЫ СИСТЕМ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЯ

Цель лабораторной работы

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

Оборудование

Картограммы, планшеты, натурные образцы и разрезы приборов систем питания двигателей *СМД, ЯМЗ, ЧТЗ, КамАЗ, Д-240* и *А-41*; топливные насосы, турбокомпрессоры и форсунки фирмы *BOSH*.

Последовательность выполнения работы

1. Запишите в отчет цель работы.

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

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

Начертите в отчете принципиальные схемы систем питания дизельного с наддувом и безнаддувного двигателей.

3. Уясните назначение, изучите классификацию, устройство и работу приборов систем питания.

1.1. Требования к топливным системам и их классификация

Функции топливных систем состоят, в основном, в следующем: хранение запаса топлива; подготовка (очистка от воды и механических примесей, подогрев или охлаждение) топлива; дозирование топлива в соответствии с режимом работы двигателя; подача цикловой порции топлива в цилиндры в соответствии с порядком их работы; подача топлива в цилиндр на определенном участке рабочего цикла по заданному закону; распределение топлива по камере сгорания в соответствии с принятым способом смесеобразования.

Требования к топливным системам

1) минимальные стоимость и масса, высокая технологичность (топливоподающая аппаратура (ТПА) составляет 25...40 % стоимости дизеля);

2) стабильность показателей подачи топлива в течение срока эксплуатации (регулировка и обслуживание автомобильной форсунки должно производиться не чаще, чем через 1000 ч, а топливного насоса высокого давления (ТВД) – 3000 ч);

3) удобство обслуживания, ремонта, регулирования (например, конструкция, требующая для выемки форсунки снятия крышки газораспределения или люка, является неудобной для обслуживания);

4) обеспечение максимального ресурса (ресурс ТПА высокооборотных дизелей должен быть не менее 4...10 тыс. ч, а малооборотных двигателей – 10...26 тыс. ч);

5) обеспечение заданного давления, характеристики впрыскивания и их управление в соответствии с режимами работы;

6) управление цикловой подачей и углом опережения впрыска топлива (УОВТ) в зависимости от частоты вращения и нагрузки дизеля, давления наддува, параметров окружающей среды, теплового состояния двигателя и другого. Например, точность установки УОВТ должна составить $\pm 0,5^\circ$, а подача топлива при пуске должен быть в 1,2...2 раза больше, чем при номинальном режиме;

7) недопустимость подвпрыскивания и подтекания топлива;

8) минимальная неравномерность подачи топлива по цилиндрам (на номинальном режиме менее 3–4 %, а по циклам до 1 %) или управляемая неравномерная подача индивидуально по каждому цилиндру;

9) минимальный собственный уровень шума (менее 80 дБ на расстоянии 1 м) и уменьшение уровня шума двигателя;

10) обеспечение устойчивой минимальной подачи на режиме малых нагрузок, холостого хода, при многофазном впрыскивании (менее, чем в 10–50 раз меньше, чем в номинальном режиме);

11) возможность прокачки системы для удаления воздушных пробок.

Классификацию ТПА ведут обычно на основе конструктивных отличий, обусловленных способами подачи и распыливания топлива. Существенность тех или иных требований, предъявляемых к топливным системам, предопределила многообразие их конструкций (рис. 1.1).

До начала XXI века основными были системы непосредственного действия, где процесс впрыскивания топлива определяется вытесняющим движением плунжера.

1.2. Направления совершенствования и перспективы развития топливоподающей аппаратуры

Критериями совершенства ТПА принято считать следующие: показатели экономичности ДВС, мощности и шумности работы, величины выбросов вредных веществ (ВВ) с отработанными газами (ОГ), динамичности транспортного средства, надежности пуска, коэффициента приспособляемости, соблюдение ограничений по давлению в цилиндре, жесткости сгорания, тепловым нагрузкам, температуры газов перед турбиной.

Даже для традиционных топлив решение экологических проблем дизелей всегда увязывается с совершенствованием ТПА. По данным фирмы *Bosch*, выполнение норм выбросов ВВ с ОГ автомобильных дизелей *Euro-2*, *Euro-3* обеспечивается десятью мероприятиями, шесть из которых относятся к ТПА. В этой связи можно выделить ряд направлений ее совершенствования.

1.2.1. Оптимизация рабочего процесса и топливной подачи

В качестве примера рассмотрим этапы эволюции процесса смесеобразования в дизелях грузовиков *Mercedes Benz*. Только центрально и вертикально расположенная форсунка обеспечивает равномерность коэффициентов расхода и характеристик топливных струй. Такое техническое решение становится типовым, несмотря на компоновочные и эксплуатационные неудобств (например, при использовании трех или четырех клапанов на цилиндр и одного распределительного вала). При использовании двух клапанов форсунку с точки зрения смесеобразования и удобства обслуживания приходится располагать наклонно (рис. 1.2).

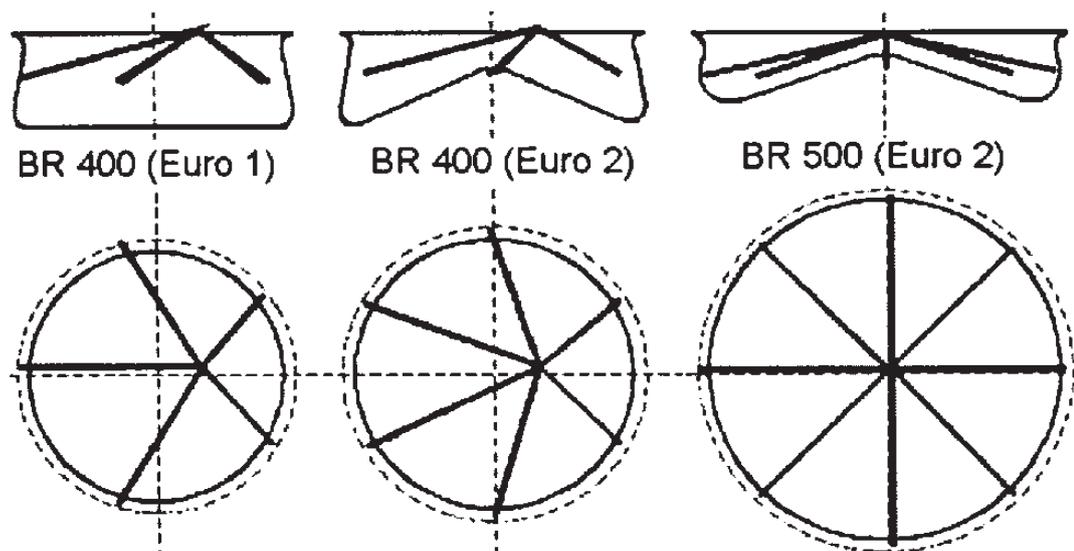


Рис. 1.2. Эволюция смесеобразования дизелей Mercedes Benz

1.2.2. Повышение давления впрыскивания

Оптимизируя рабочий процесс по критериям экономичности, выбросов частиц и окислов азота, конструктор приходит к ряду типовых решений.

Для быстроходного дизеля это – открытая камера сгорания, увеличение степени сжатия до 19...21, промежуточное охлаждение, вертикально расположенная форсунка с 6 – 8 соплами диаметром до 0,1 мм, минимальный УОВТ (вплоть до отрицательного) и т.д. Практически всегда при достаточно полной оптимизации рабочего процесса наилучшие показатели достигаются при давлениях впрыскивания, существенно превышающих типовые значения в дизелях предыдущих поколений. Если за полувековой период с 30-х до 80-х годов максимальное давление впрыска быстроходных дизелей медленно росло в рамках 25...50 МПа, то в последнее десятилетие его уровень поднялся до 80...200 МПа.

Этот фактор не только является определяющим в процессе смесеобразования, но и относится к числу редких факторов, с помощью которых возможно решение противоречивых задач снижения выбросов окислов азота, жесткости сгорания, механической нагруженности дизеля с одной стороны и расхода топлива, выбросов частиц и углекислого газа – с другой. Это наглядно иллюстрирует рис. 1.3.

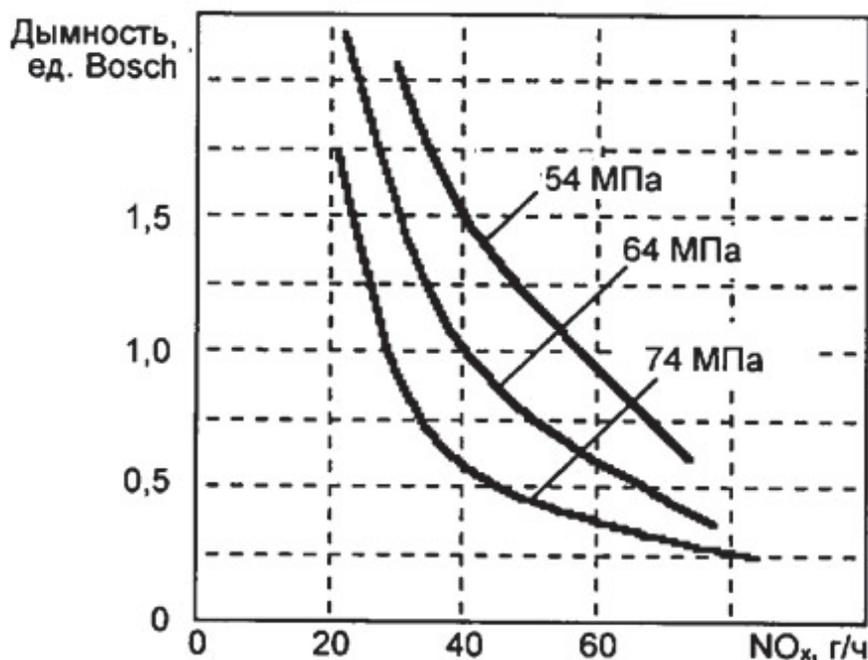


Рис. 1.3. Типовая диаграмма вредных выбросов давлениях впрыскивания (дизель Mercedes OM611 при $n=2000 \text{ мин}^{-1}$, $p_e=0,4 \text{ МПа}$)

1.2.3. Электронное управление топливоподачей

Системы с электронным управлением, по сравнению с системами питания традиционного типа, имеют новые достоинства:

1) гибкое регулирование цикловой подачи в функции частоты вращения двигателя и обеспечение, практически любой, заданной внешней скоростной характеристики ДВС;

2) минимальная неравномерность подачи по цилиндрам или, напротив, оптимальная неравномерность подачи и УОВТ для каждого цилиндра в соответствии с особенностями конструкции, изготовления и технического состояния;

3) оптимальное регулирование УОВТ в соответствии с режимом работы и другими факторами;

4) автоматизация пуска, обогащение подачи при пуске, ее выключение на принудительном холостом ходу, регулирование на переходных режимах;

5) отключение цилиндров и циклов работающих цилиндров на частичных режимах;

6) система автоматизированного управления (САУ) обеспечивает самодиагностику электрических цепей, компенсацию выбывших из строя элементов с помощью резервных программ. Ее функции могут сопрягаться с управлением двигателем или транспортным средством.

Помимо этих общих функций специальные системы имеют собственные достоинства.

Жесткие нормы выбросов ВВ все труднее выполнить без использования возможностей гибкого электронного управления. Например, при высоких нагрузках основным критерием регулирования угла опережения впрыска топлива имеет минимум окислов азота, а на малых нагрузках в целях сокращения расхода топлива и дымности он может быть увеличен.

Противоречивую задачу снижения расхода топлива, частиц с одной стороны, а шумности и окислов азота с другой, может также решить промежуточное охлаждение наддувочного воздуха, но и оно требует гибкого регулирования по режимам работы дизеля. То же можно отнести к регулированию давления наддува, рециркуляции ОГ.

С учетом того, что САУ подачей топлива все чаще становится составляющей САУ всего дизеля и даже автомобиля в целом, ее функции значительно расширяются: управлению подлежат свечи накаливания, фазы газораспределения, климатическая установка, антиблокировочная система и др.

Широкое внедрение электронного управления тормозится не только недостатком элементной базы (быстродействующих электрических клапанов, пьезопроводов, ТНВД), но и неготовностью к нему производите-

лей двигателей. Действительно, создание программы оптимального управления с большим числом параметров – это трудоемкий и дорогостоящий процесс.

1.2.4. Управление характеристикой впрыскивания

В быстроходном дизеле с обычной для разделенной ТПА характеристикой впрыскивания 75...80 % подачи осуществляется в первоначальный момент (время задержки воспламенения). Повышенная динамичность цикла приводит к перегрузке кривошипно-шатунного механизма, повышению шумности и вибраций, а также к увеличению выбросов оксида азота.

Наиболее простой, и эффективный путь преодоления жесткости работы двигателя - умеренная по продолжительности подача топлива под большим давлением через сопла малого диаметра.

Радикальным средством сокращения задержки воспламенения при подаче основной порции топлива является двухфазная подача. Эффективность двухфазной подачи для снижения выбросов окислов азота и шумности (рис. 1.4) вынуждает вести разработку средств ее реализации. Особую трудность представляет подача малых запальных порций. Сложные законы управления топливо подачей возможно реализовать только в аккумуляторной ТПА.

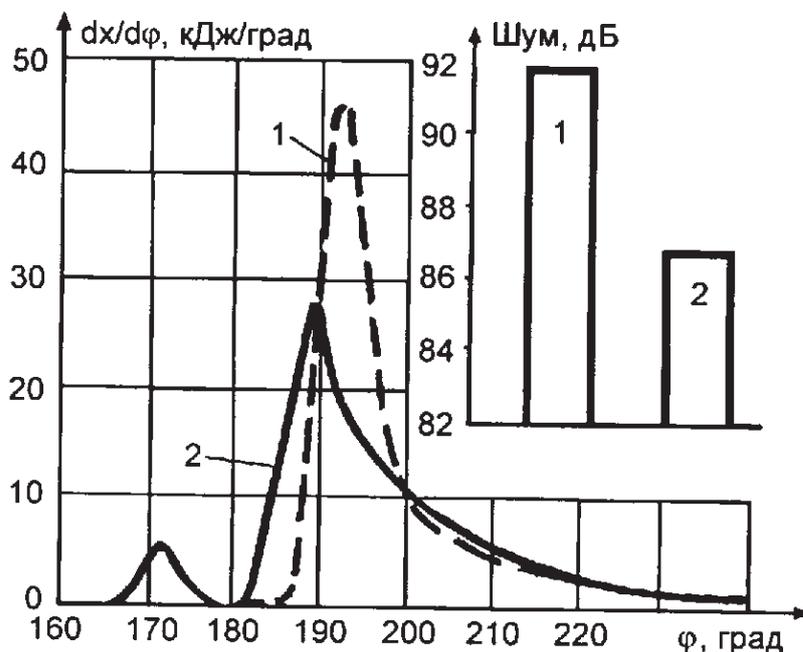


Рис. 1.4. Скорость тепловыделения и шумность дизеля Mercedes при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,2 \text{ МПа}$
1 – с однофазным впрыскиванием; 2 – с двухфазным впрыскиванием

1.2.5. Управление углом опережения впрыскивания

Управление углом опережения впрыскивания необходимо для оптимизации рабочего процесса в зависимости от 5–8 режимных параметров работы ДВС. Распределительные ТНВД с механическим регулятором обеспечивают управление УОВТ по 1–3 параметрам. Многие из выпускаемых сегодня дизелей не имеют такого регулирования. В этом случае наиболее важная характеристика управления – частота вращения (при увеличении частоты вращения УОВТ уменьшается). Сохранение таких топливных систем на автомобилях (ММЗ-245 для грузовика *Бычок*; ГАЗ с дизелем *Steyr*) – явление временное. Наиболее просто законы регулирования УОВТ могут быть реализованы в топливоподающей аппаратуре с электронным управлением.

1.2.6. Разработка аккумуляторных систем (*Common Rail*)

Common Rail может рассматриваться как самостоятельное направление или дальнейшее развитие ТПА с электронным управлением. По сравнению с ТПА непосредственного действия, аккумуляторные системы позволяют оптимально регулировать давление и характеристику впрыскивания, осуществлять многофазную подачу. Работы по их созданию начались примерно 30 лет назад, но только в 1997 году нашли промышленное применение. К 2001 году ими комплектовали уже более десяти моделей двигателей. В эту же группу можно отнести ТПА с мультипликаторами давления (насос-форсунками с гидроприводом плунжера), однако ввиду ряда проблем, перспективы таких систем вызывают споры.

К сожалению, опыт производства аккумуляторных систем с механическим управлением в 50-е годы прошлого века почти ничего не дает для создания *Common Rail*. На этом пути есть еще достаточное число проблем:

- 1) отработка электрогидравлической форсунки с высокими техническими, стоимостными, габаритными, технологическими показателями;
- 2) создание электроуправляемого клапана и его электропривода: гидравлически уравновешенного, экономичного по расходу топлива, технологичного и стабильного в эксплуатации;
- 3) создание простого, дешевого, надежного ТНВД (с давлением 200 МПа);
- 4) эффективный метод управления характеристикой впрыскивания;
- 5) эффективная, недорогая, многофункциональная САУ и программное обеспечение управления двигателем.

1.2.7. Подача альтернативных топлив

Это направление продиктовано требованиями экологии и структурой потенциальных моторных топлив, а также экономической целесообразностью. Нет сомнений в том, что использование альтернативных топлив будет расширяться. Достаточно вспомнить, что в недрах Земли только угля в 14 раз больше, чем нефти и газа, вместе взятых. Каждое из многочисленных новых топлив предъявляет свой набор специальных требований к ТПА. К важным проблемам можно отнести обеспечение управляемости и интенсификации ТП, включая переход с одного сорта топлива на другое:

- 1) разработка простой работоспособной линии низкого давления;
- 2) снижение износа прецизионных пар и утечек топлив, обеспечение долговечности деталей ТПА;
- 3) организация подачи топлив, минуя ТНВД.

Практически для всех альтернативных топлив требуется уточнение их физических свойств.

1.2.8. Обеспечение стабильности впрыскивания и малых цикловых подач

Одним из эффективных способов стабилизации впрыскивания в ТПА непосредственного действия является устранение газовой фазы и увеличение начального давления в линии высокого давления. Актуально отыскание простых и эффективных методов решения этой задачи. В аккумуляторной ТПА идет поиск способов повышения быстродействия электрогидравлических форсунок и технологической и программной идентификации впрыскивания. Над проблемой малых подач работают применительно к организации двухфазного (многофазного) впрыскивания, работе газового дизеля, снижению частоты вращения холостого хода.

1.2.9. Быстрое завершение впрыскивания

Быстрое завершение впрыскивания необходимо для исключения образования крупных капель, заброса газов в распылитель, т.е. для снижения расхода топлива, эмиссии СНХ, дыма, закоксовывания распылителей. Может быть обеспечено миниатюризацией форсунки, оптимизацией топливной подачи, дозированным или управляемым по времени цикла гидродогружением иглы и др. Все это представляет проблему и для аккумуляторных систем. Требование исключения подвпрыскивания становится еще более актуальным с повышением давления подачи и вынуждает усложнять ТПА, например, дополнительными клапанами в ТНВД.

1.3. Общие схемы систем питания дизелей топливом

Типовую схему топливной системы принято разделять на линию низкого давления (ЛНД) и линию высокого давления (ЛВД). В первую включены элементы, в которых топливо находится под давлением до 0,2...1,5 МПа, во вторую – до сотен МПа.

Простейшая автотракторная система представлена на рис. 1.4. На легковых зарубежных автомобилях в целях упрощения фильтры грубой очистки (ФГО) обычно отсутствуют. Напротив, на некоторых моделях для обеспечения работы в холодное время между ФГО и топливоподкачивающим насосом (ТПН) устанавливался водотопливный подогреватель.

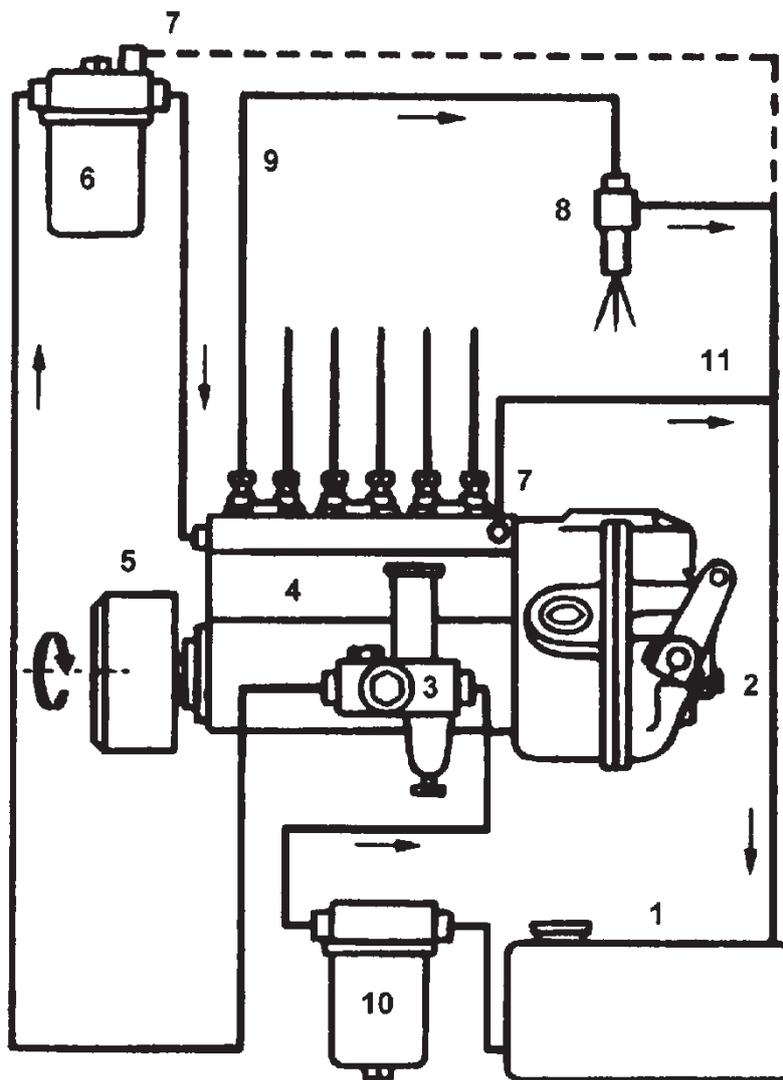


Рис. 1.4. Схема традиционной топливной системы ДВС:
1 – бак; 2 – автоматический регулятор; 3 – ТПН; 4 – ТНВД;
5 – муфта УОВТ; 6 – ФГО; 7 – перепускной клапан;
8 – форсунка; 9 – нагнетательный трубопровод; 10 – ФТО;
11 – сливная магистраль

тель 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). Рассмотрим более подробно элементы конструкции.

1.3.1. Топливный бак

Топливный бак должен быть защищен от коррозии и обязан выдерживать удвоенное рабочее давление системы подачи топлива, по меньшей мере 300 кПа. Избыточное давление автоматически должно стравливаться через специальные отверстия и предохранительные клапаны, расположенные в баке. При движении по пересеченной местности, наклонах бака или его вертикальных колебаниях, топливо не должно вытекать из заливной горловины или устройств для выравнивания давления. Бак должен быть расположен отдельно от двигателя, так, чтобы при любых неисправностях можно было предотвратить воспламенение топлива.

1.3.2. Топливные магистрали низкого давления

Для прокладки магистралей низкого давления наряду с металлическими трубками могут применяться гибкие шланги из негорючих материалов, армированные стальной сеткой. Они располагаются таким образом, чтобы исключить возможность воспламенения топлива, и механических повреждений. Магистрали должны:

- 1) успешно функционировать при перегрузках автомобиля, повышенных вибрациях двигателя и прочих нештатных режимах работы;
- 2) иметь теплоизоляцию;
- 3) их расположение должно по возможности облегчить подачу топлива к дизелю.

В автобусах их нельзя прокладывать через пассажирский салон или кабину.

1.3.3. Топливные фильтры

Топливные фильтры предназначены для очистки топлива от твердых частиц. Они также предохраняют топливо от компонентов, вызывающих износ агрегатов системы впрыска, поэтому должны быть достаточно емкими, чтобы собирать большое количество отсеиваемых частиц и обеспечивать длительные интервалы, между техническими обслуживаниями. Если фильтр забивается, подача топлива снижается и мощность двигателя падает.

Прецизионные детали системы впрыска очень чувствительны к мельчайшему загрязнению топлива. К их защите от износа предъявляются высокие требования, чтобы обеспечить надежность работы, мини-

мальный расход топлива и предписанный уровень выбросов вредных веществ с отработавшими газами.

При особо высоких требованиях к защите от износа и/или при увеличенном интервале обслуживания системы подачи топлива они снабжаются ФГО и ФТО.

ФГО топлива предназначается, главным образом, для фильтрации крупных частиц взвеси и чаще всего представляет собой сетку с шагом в 300 мкм. ФТО топлива расположен на топливной магистрали перед ТПН или ТНВД.

Фильтрация происходит за счет протекания топлива через сменные фильтрующие элементы 3 (рис. 1.5), выполненные из прессованных материалов или многослойных синтетических микроволокон. Возможны также конструкции, состоящие из двух фильтров, соединенных либо параллельно для увеличения емкости, либо последовательно, что позволяет проводить ступенчатую очистку топлива или соединять в единый агрегат фильтры грубой и тонкой очистки. Все больше используются конструкции фильтров, в которых меняется только фильтрующий элемент.

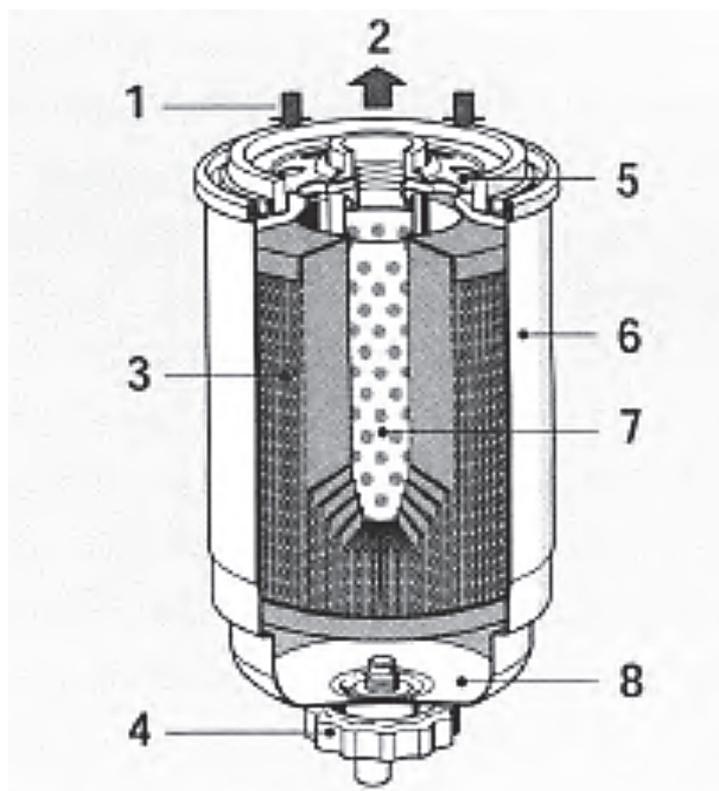


Рис. 1.5. Разрез ФТО топлива с влагоотделителем:

- 1 – подвод топлива, 2 – отвод очищенного топлива,*
- 3 – фильтрующий элемент, 4 – сливная пробка, 5 – крышка фильтра,*
- 6 – корпус фильтра, 7 – распорная трубка, 8 – водосборник*

1.3.4. Влагоотделители

Топливо может содержать влагу в виде капель воды или в виде эмульсии воды с топливом (например, конденсат, возникающий при перепадах температуры в топливном баке). Естественно, вода не должна попадать в систему впрыска топлива.

Из-за различного поверхностного натяжения воды и топлива на фильтрующих элементах образуются капельки воды. Они накапливаются в водосборнике 8 (рис. 1.5). Для удаления свободной влаги может применяться отдельный влагоотделитель-сепаратор, в котором капли воды отделяются от топлива под действием центробежной силы. Контролируют наличие воды специальные датчики.

1.3.5. Система предварительного нагрева топлива

Предварительный подогрев топлива позволяет предотвратить закупоривание пор фильтрующих элементов кристаллами парафина, образующимися в топливе при зимней эксплуатации. В большинстве случаев предварительный подогрев топлива осуществляется с помощью электронагревательных элементов, охлаждающей жидкости или топлива, поступающего из системы обратного слива.

1.3.6. Топливоподкачивающий насос

Ручной насос служит для прокачивания топлива через систему подачи топлива и удаления из нее воздуха после смены фильтрующих элементов. Чаще всего он встроен в крышку фильтра.

Топливоподкачивающий насос в ЛНД предназначен для подачи необходимого количества топлива к ТНВД:

- 1) на любом режиме эксплуатации;
- 2) с незначительным уровнем шума;
- 3) с необходимым давлением и производительности;
- 4) с максимальным сроком работы без поломок.

В распределительных ТНВД с аксиальным и радиальным движением плунжеров шиберный роликовый ТПН встроен в корпус ТНВД.

Топливоподкачивающий насос забирает горючее из топливного бака и непрерывно подает его к ТНВД с большой производительностью (60...200 л/ч) и под высоким давлением (300...700 кПа). Многие ТПН оснащены устройством для устранения воздушных пробок, так что запуск ДВС без прокачки системы питания возможен даже после заливки топлива в пустой бак.

Существует три типа конструкций ТПН:

- 1) электронасосы (для легковых автомобилей),
- 2) шестеренные насосы;

3) сдвоенные насосы (для систем насос-форсунок легковых автомобилей).

Электронасос

Топливоподкачивающий электронасос применяется только на легковых и легких грузовых автомобилях. Наряду с подачей топлива, он может при необходимости отсекал топливную магистраль от ТНВД.

Электронасос может быть встроен в магистраль или в топливный бак. В первом случае он находится между баком и фильтром тонкой очистки топлива, во втором – крепится на специальном держателе в топливном баке. Насос в топливном баке, как правило, имеет винтовой корпус для фильтрации топлива под действием центробежной силы во время закачки топлива, дополнительную сетку-фильтр на впуске, а также датчик заполнения бака.

С момента пуска двигателя электронасос работает в постоянном режиме независимо от частоты вращения коленчатого вала. Он непрерывно направляет топливо из бака через фильтр к системе впрыска. Система защиты предотвращает подачу топлива при включенной бортовой электросети автомобиля и неработающем двигателе.

Электронасос включает в себя три функциональных узла, размещенных в корпусе (рис. 1.6):

- А – непосредственно насос;
- В – электродвигатель;
- С – присоединительную крышку.

Электродвигатель состоит из системы постоянных магнитов и вращающегося якоря 2. Его параметры определяются величиной требуемого расхода топлива при заданном давлении в системе. Через электродвигатель постоянно протекает топливо, выполняя функцию охлаждающей жидкости. Благодаря этому можно реализовать высокую мощность электродвигателя без применения дорогостоящей системы уплотнений между узлами электронасоса.

В присоединительной крышке находятся электрические контакты электродвигателя, штуцер 1 подачи топлива к ТНВД и обратный клапан 6, который предотвращает отток топлива из магистрали после выключения насоса.

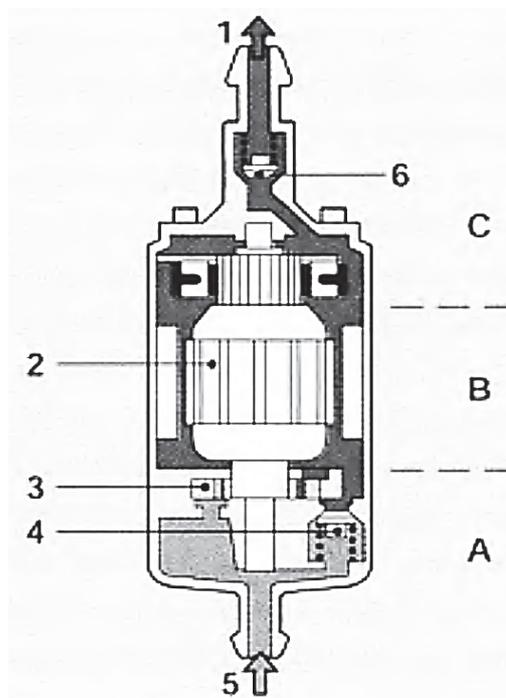


Рис. 1.6. Электронасос

Насосы в зависимости от области применения могут иметь различную конструкцию.

Шиберный роликовый насос

Шиберный роликовый насос (рис. 1.7) получил наиболее широкое распространение для дизелей. Состоит из корпуса 4, в котором эксцентрически размещена вращающаяся шайба 2 с канавками. В каждой из канавок шайбы находится свободно вращающийся ролик 3.

Под действием центробежной силы ролики при вращении ротора прижимаются к корпусу насоса, при этом они действуют как вращающиеся уплотнения. Таким образом, между двумя последовательно размещенными роликами и внутренней поверхностью корпуса образуется подвижная камера с топливом. Действие насоса основано на том, что по мере движения роликов от впускного канала 1 к выпускному каналу 5 они перемещают порцию топлива в направлении ТНВД. Дополнительно в крышку может быть вмонтировано устройство для устранения воздушных пробок.

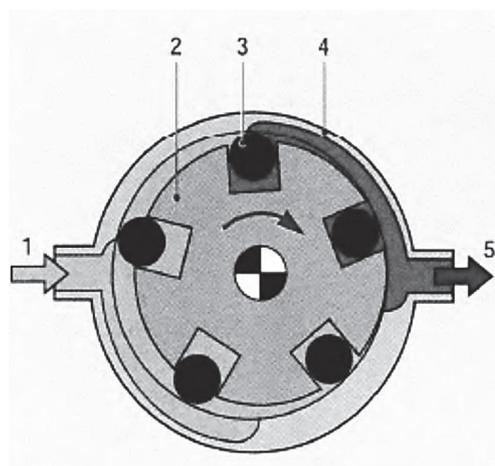


Рис. 1.7. Шиберный роликовый насос

Шестеренный насос

Шестеренный насос (рис. 1.8) применяется для подачи топлива к системам индивидуальных ТНВД (грузовые автомобили) и *Common Rail* (легковые, грузовые автомобили и вездеходы). Он закреплен на двигателе, а в системе *Common Rail* встроен непосредственно в ТНВД.

Насос может приводиться от коленчатого вала двигателя через блок шестерен или зубчатый ремень, а также иногда включает в себя отдельную муфту сцепления.

Основные конструктивные элементы насоса – две шестерни, находящиеся в постоянном зацеплении друг с другом. Они перемешивают топливо, попадающее в пазы между зубьями, из впускного канала 1 в выпускной 3. Минимальный зазор между внутренними поверхностями кор-

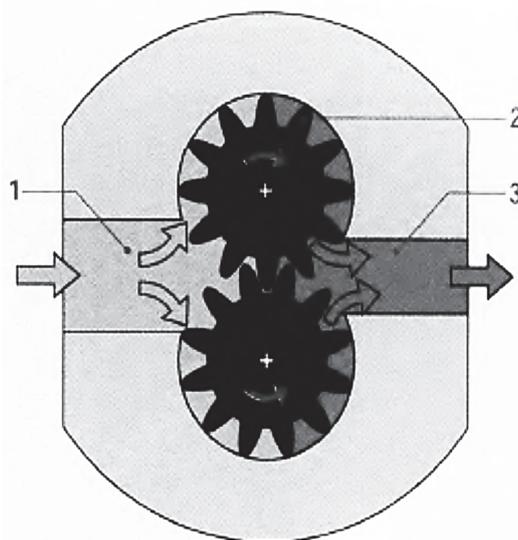


Рис. 1.8 Шестеренчатый насос

пуса насоса и зубьями шестерен предотвращает обратный перетёк топлива.

Производительность насоса приблизительно пропорциональна частоте вращения коленчатого вала двигателя. Регулирование производительности происходит либо дросселированием топливного потока на стороне впуска, либо перепуском на стороне нагнетания.

Шестеренный насос работает без обслуживания. Для устранения воздушных пробок в системе подами топлива используется дополнительный ручной насос, устанавливаемый либо непосредственно на шестеренном насосе, либо в магистрали низкого давления.

Роторный насос с запирающими клапанами

В роторном насосе (рис. 1.9) с запирающими клапанами, который используется для системы насос-форсунок легковых автомобилей, пружины 3 поджимают два запирающих клапана 4, опирающихся на ротор 1. Когда ротор вращается, его кулачки перемещают порции топлива от впускных каналов 2 к выпускным 5. Такой насос эффективно действует даже при минимальной частоте вращения коленчатого вала.

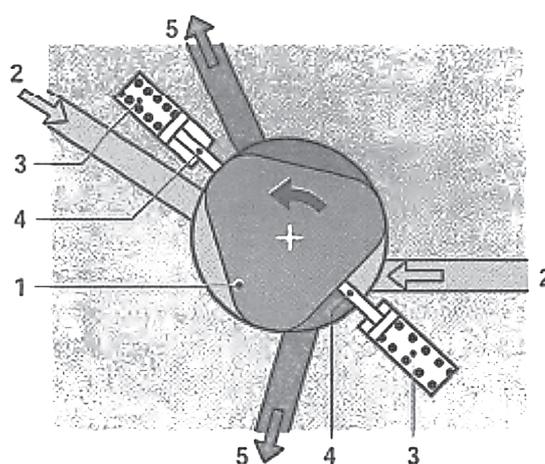


Рис. 1.9. Роторный насос с запирающими клапанами

Сдвоенный насос

Сдвоенный насос (рис. 1.10) для системы насос-форсунок легковых автомобилей – это сочетание ТПН и вакуумного нагнетателя для усилителя тормозов.

Он размещается в головке блока цилиндров и приводится в действие распределительным валом двигателя. Сам насос может быть роторным или шестеренным. Обе конструкции насоса уже при пуске дизеля, то есть при минимальной частоте вращения коленчатого вала, обеспечивают подачу достаточного количества топлива.

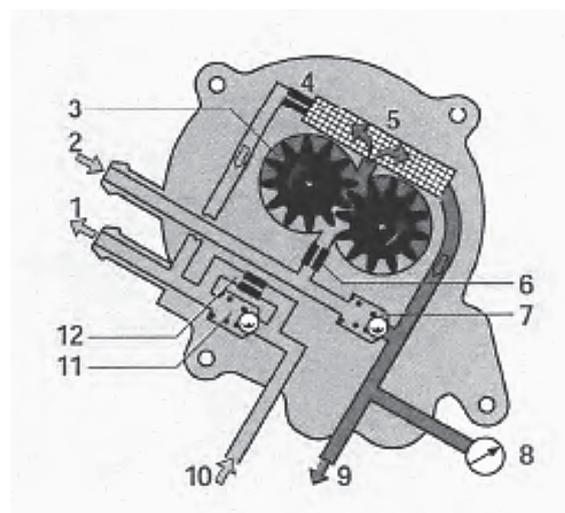


Рис. 1.10. Сдвоенный насос

В сдвоенный насос встроены следующие клапаны и дроссели. Дроссель 6 на впуске: подаваемое количество топлива пропорционально частоте вращения коленчатого вала. Этот дроссель ограничивает вели-

чину максимальной подачи, предотвращая избыточное нагнетание топлива. Перепускной клапан 7 при необходимости обеспечивает сброс избытка топлива из магистрали 9 подачи к насос-форсункам. Дроссель обратного слива 4 при необходимости обеспечивает сброс избытка топлива и воздушных пробок в магистраль 1 обратного слива топлива. Перепускной канал 12 требуется, если в системе подачи топлива появляется воздух (например, после полной выработки топлива из топливного бака), то при пониженном давлении в системе обратный клапан 11 низкого давления остается закрытым. При заполнении бака воздух через перепускной канал 12 выдавливается топливом из системы.

Рациональное расположение каналов в насосе позволяет в случае отсутствия топлива в баке избежать работы шестерен всухую. Благодаря этому при запуске дизеля после заправки бака топливо вновь поступает в систему.

Сдвоенный насос снабжен отводом 8 для подсоединения манометра для контроля давления топлива.

1.3.7. Распределительная рампа

Использование распределительной рампы в системе насос-форсунок легкового автомобиля позволяет направлять топливо к форсункам равномерно и с одинаковой температурой. При этом через специальные отверстия происходит смешивание топлива, идущего к насос-форсункам из бака, и избыточного, поступающего из системы обратного слива.

1.3.8. Редукционный клапан низкого давления

Редукционный клапан низкого давления (обратный клапан) (рис. 1.11) установлен в магистрали обратного слива топлива. Его задача – на всех режимах работы двигателя обеспечивать поддержание необходимой величины низкого давления в системах впрыска.

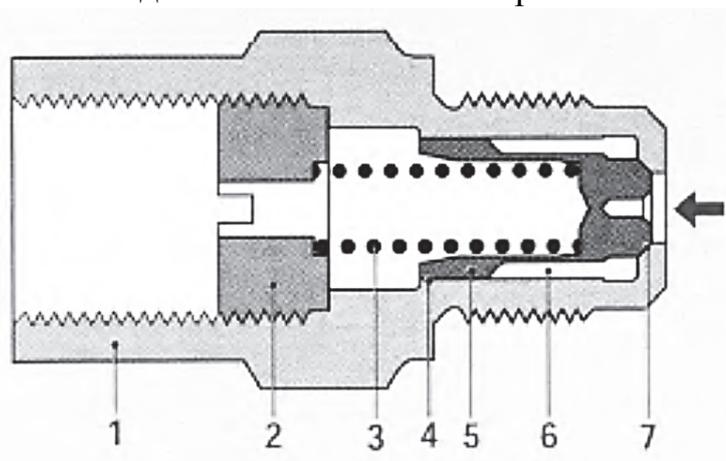


Рис. 1.11. Редукционный клапан низкого давления

Аккумулирующий клапан 5 открывается при давлении 300–350 кПа. Конусное седло 7 открывает аккумуляторную камеру 6. Через щелевое уплотнение 4 начинает проникать небольшое количество топлива. В зависимости от давления топливо – возвратная пружина 3 позволяет клапану 5 сдвинуться от исходной точки на большую или меньшую величину. Сообразно этому меняется пропускная способность редукционно-го клапана, и небольшие колебания давления могут выравниваться.

При давлении открытия от 400–450 кПа клапан сдвигается настолько, что щелевое уплотнение исчезает полностью, и пропускная способность редукционного клапана значительно возрастает.

Клапан закрывается при снижении давления топлива. Для предварительного подбора давления открытия клапана имеются два комплекта жиклеров 2 с пружинами 3 разной жесткости.

1.3.9. Радиатор системы охлаждения топлива

Из-за высокого давления в системах *Common Rail*, топливо нагревается так сильно, что перед обратным сливом его следует охладить для защиты топливного бака и датчика уровня топлива от перегрева.

Для этого сливаемое топливо протекает через радиатор 3 (рис. 1.12), где происходит теплообмен топлива с охлаждающей жидкостью. Последняя циркулирует по собственному контуру, отведенному от системы 6 охлаждения двигателя, поскольку температура охлаждающей жидкости в работающем двигателе слишком высока, чтобы охлаждать топли-

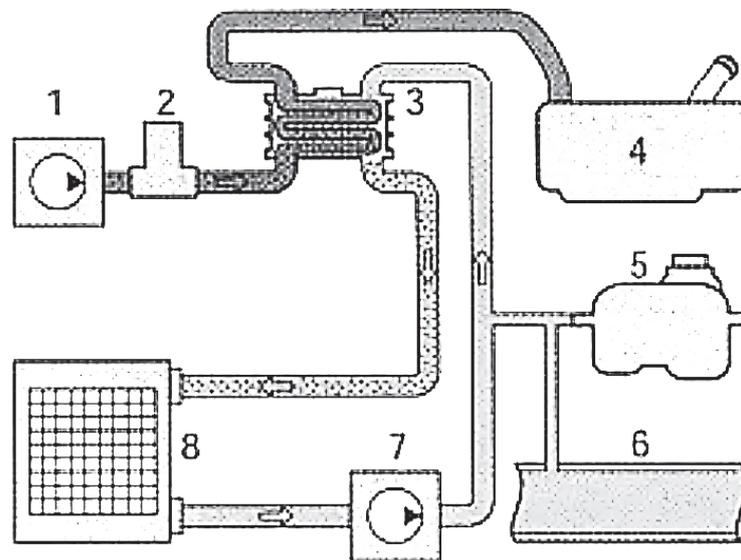


Рис. 1.12. Система охлаждения топлива

1 – ТНН, 2 – датчик температуры топлива, 3 – радиатор, 4 – топливный бак, 5 – расширительный бачок, 6 – система охлаждения двигателя, 7 – насос системы охлаждения топлива, 8 – радиатор

во. Системы охлаждения топлива и двигателя соединены вблизи расширительного бачка 5, чтобы обеспечить удаление воздушных пробок и компенсировать изменение объемов жидкости в зависимости от температурных колебаний. Точка соединения систем выбрана таким образом, чтобы оба контура не влияли на работу друг друга.

1.3.10. Гидроэлектрический переключатель аварийной остановки двигателя

Гидроэлектрический переключатель (рис. 1.13) служит для защиты системы подачи топлива при возникновении в ТНВД избыточного давления. Иногда бывает недостаточно одного запирающего клапана: при высоком давлении внутри ТНВД падение давления может продолжаться до 10 с, если не принять особых мер. Все это время впрыскивание топлива будет продолжаться. Для того чтобы этого не случилось, требуется использовать гидроэлектрический переключатель. При его срабатывании давление внутри ТНВД резко снижается и двигатель останавливается максимум в течение 2 с. Гидроэлектрический переключатель крепит-

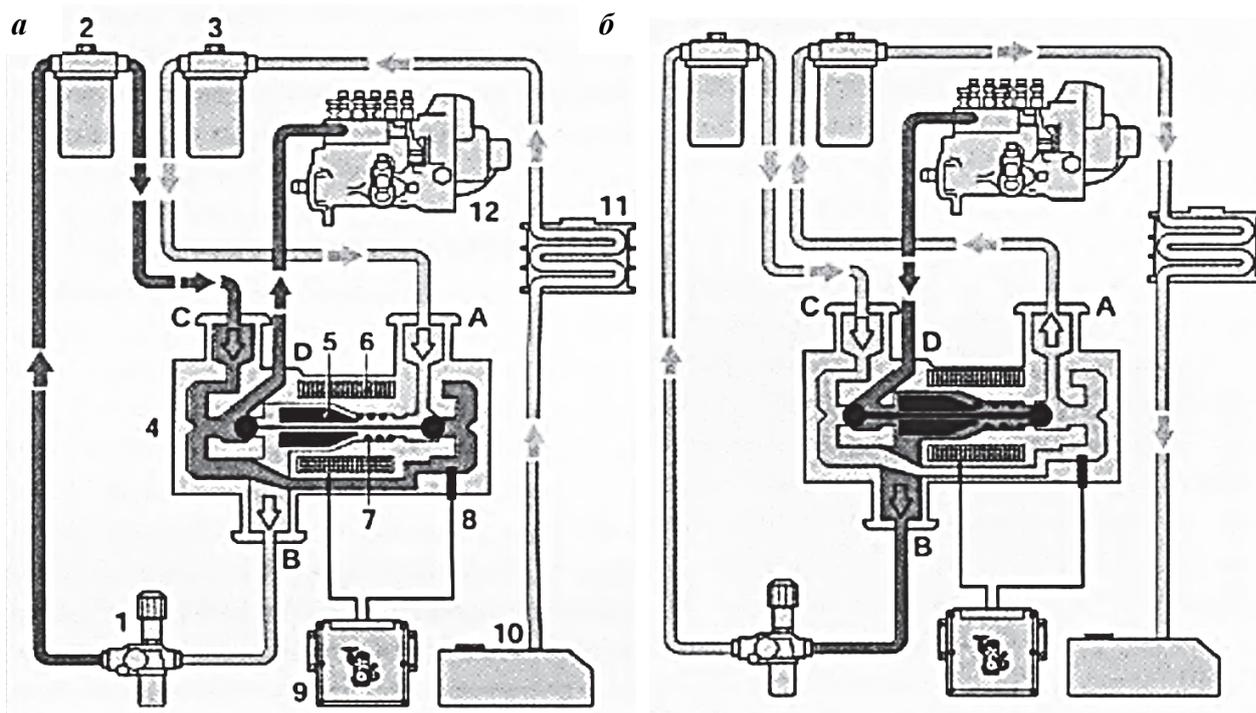


Рис. 1.13. Гидроэлектрический переключатель аварийной остановки ДВС
 1 – ТПН; 2 – ФТО; 3 – ФГО; 4 – гидроэлектрический переключатель;
 5 – якорь электромагнита; 6 – электромагнит; 7 – возвратная пружина;
 8 – датчик температуры; 9 – блок управления двигателем;
 10 – топливный бак; 11 – теплообменник; 12 – ТНВД;
 а – рабочее положение; б – выключенное положение

ся непосредственно на корпусе ТНВД. На переключателе установлен дополнительно датчик 8 температуры топлива для электронного регулирования работы дизеля.

Схема *a* – рабочее положение

При повороте ключа выключателя свечей накаливания и стартера в рабочее положение на гидроэлектрический переключатель подается напряжение. Электромагнит перемещает якорь 5 вправо. Горючее поступает из топливного бака 10 через теплообменник 11 и фильтр 3 грубой очистки в штуцер А, откуда через открытый правый клапан якоря электромагнита поступает к штуцеру В.

Последний ведет к ТПН 1, который направляет топливо через фильтр тонкой очистки (ФТО) 2 к штуцеру С. Затем через открытый левый клапан якоря электромагнита и штуцер D оно попадает в ТНВД 12.

Схема *b* – выключенное положение

При повороте ключа выключателя свечей накаливания и стартера в исходное положение электромагнит обесточивается и возвратная пружина 7 гидроэлектрического клапана отжимает якорь электромагнита влево. Теперь вход ТПН непосредственно соединяется с входом ТНВД, так что давление в магистрали подачи топлива резко падает. Правый клапан переключателя соединяет топливные фильтры грубой и тонкой очистки и топливо. В обход ТНВД направляется обратно в бак.

1.4. Общие схемы систем питания дизелей воздухом

У дизеля наряду с впрыскиваемой массой топлива определяющей величиной является поступающая масса воздуха, также необходимая для получения параметров крутящего момента, мощности и состава ОГ. Поэтому наряду с системой впрыска топлива большое значение придается также системам, влияющим на наполнение цилиндра воздухом.

Эти системы очищают подаваемый воздух и влияют на движение, плотность и состав (например, содержание кислорода).

Системы наполнения (рис. 1.14) состоит:

- 1) воздушного фильтра 1 очистки;
- 2) заслонки 5 регулирования завихрение;
- 3) контура 1 рециркуляции ОГ.

Наддув воздуха с помощью нагнетателей различной конструкции находит все большее применение. Рециркуляция ОГ применяется на всех наиболее распространенных дизелях легковых автомобилей и на некоторых грузовиках. Системы наполнения цилиндров воздухом для легковых автомобилей не могут применяться на грузовиках.

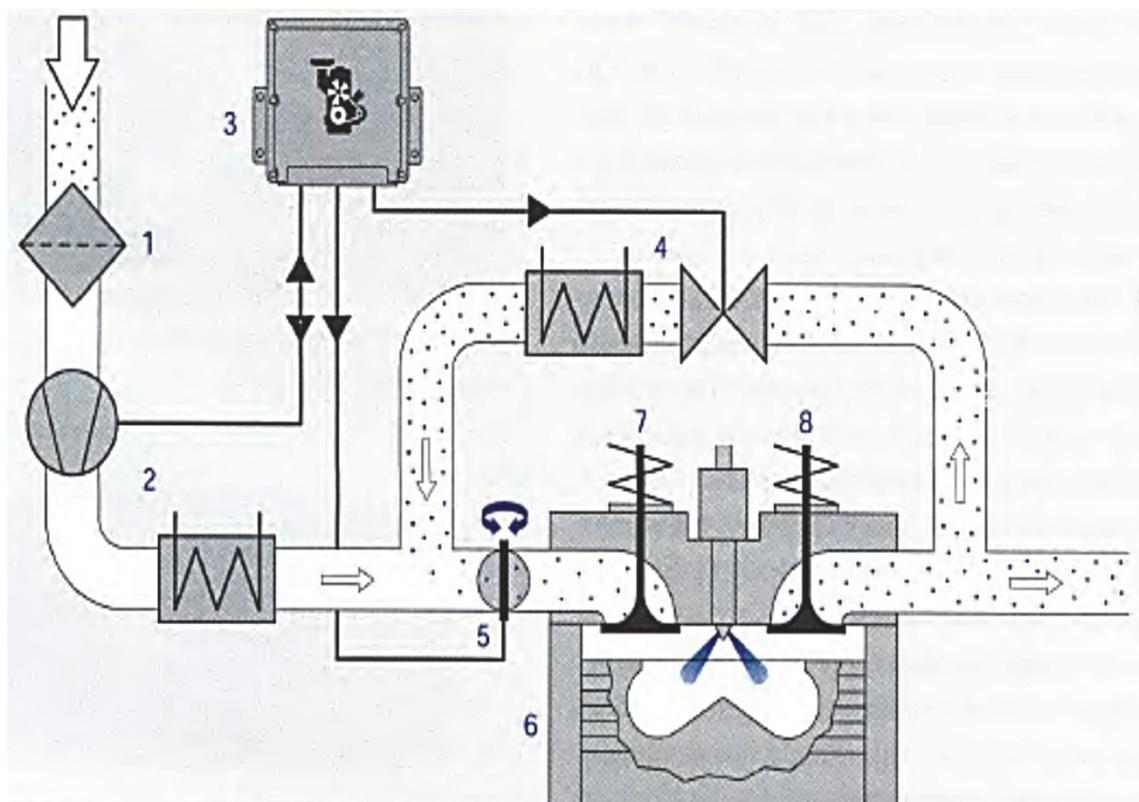


Рис. 1.14. Система наполнения цилиндра воздухом

1 – воздушный фильтр; 2 – нагнетатель воздуха с промежуточным охлаждением; 3 – блок управления работой дизеля; 4 – контур рециркуляции ОГ; 5 – заслонка воздушная; 6 – цилиндр ДВС; 7 – впускной клапан; 8 – выпускной клапан

На дизелях, в настоящее время используется только четырехтактный цикл, когда клапаны механизма газораспределения приводятся в действие кулачковым валом.

1.4.1. Воздушный фильтр

Воздушный фильтр уменьшает количество твердых частиц, содержащихся в подаваемом воздухе. Речь идет преимущественно об объемных фильтрах, которые, в отличие от поверхностных, задерживают частицы в структуре фильтрующего элемента. Объемные фильтры с высокой пылеемкостью имеют преимущество там, где нужно экономно фильтровать большие потоки воздуха с незначительными концентрациями частиц.

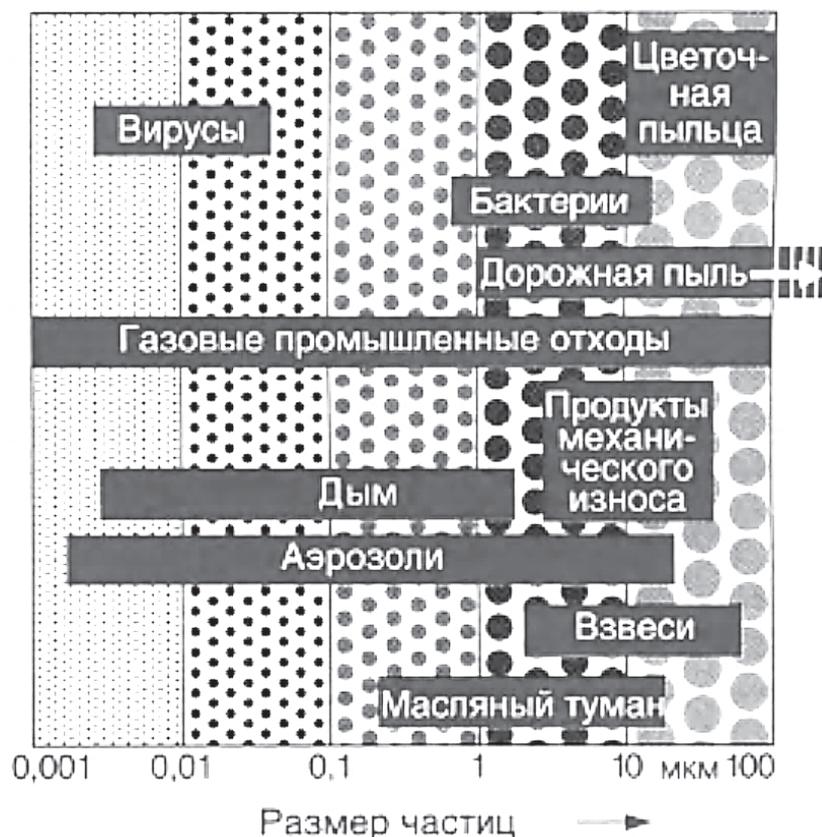


Рис. 1.15. Виды и размеры загрязнений атмосферного воздуха

Виды и размеры составляющих загрязнения атмосферного воздуха представлены на рис. 1.15. При этом речь идет о частицах естественных и искусственных источников, которые имеют сильно различающиеся размеры. Попадающие в двигатель вместе с воздухом частицы пыли имеют диаметр от 0,01 мкм (преимущественно частицы сажи) до 2 мм (песчинки). Около 75 % частиц имеют размер от 5 до 100 мкм. Массовая концентрация содержащихся во всасываемом воздухе частиц очень сильно зависит от покрытия, по которому движется транспортное средство (например, шоссе или песчаная дорога). За 10 лет эксплуатации через двигатель легкового автомобиля проходит от нескольких граммов до нескольких килограммов пыли.

Фильтр для очистки воздуха предотвращает проникновение минеральной пыли и частиц в двигатель и моторное масло, уменьшая износ, например, цилиндропоршневой группы. Он защищает также чувствительный измеритель массового расхода воздуха и предотвращает образование в нем пылевых отложений, которые могут привести к ошибкам в измерениях. Специальные исполнения высококачественных элементов воздушного фильтра в сочетании с соответствующим исполнением корпуса могут предотвращать попадание во впускной тракт воды при сильном дожде. Фильтры для очистки воздуха, которые соответствуют современному состоянию техники, имеют массовый коэффициент очистки

от 99,8 % (легковые автомобили) до 99,95 % (грузовые автомобили). Эти значения должны сохраниться при любых условиях, в том числе при переменной скорости (пульсации) потока воздуха, как это происходит во впускном тракте двигателя.

Определение параметров элементов фильтра осуществляется индивидуально для каждого типа двигателя. При этом, независимо от пропускной способности, падение давления во впускном трубопроводе должно быть минимальным, а коэффициент очистки высоким. Чтобы в малом объеме поместить фильтр с максимально полезной площадью, фильтрующей поверхности как плоского, так и цилиндрического фильтров придают гофрированную форму. Фильтрующие материалы, которые преимущественно получают из волокон целлюлозы, при помощи гофрирования и соответствующих пропиток получают необходимую механическую прочность, достаточную влагостойкость и устойчивость по отношению к химикатам.

Замена фильтрующих элементов производится через интервал времени или пробега, установленный фирмой-производителем транспортного средства (у легковых автомобилей между вторым и четвертым годом, а иногда и после шестого года эксплуатации, т.е. после 40, 60, а иногда даже после 90 тысяч км пробега или при повышении сопротивления воздуха выше 20 Мбар).

Потребность в небольших фильтрах, имеющих высокую очищающую способность при одновременном длительном сроке службы, требует создания новых материалов для фильтрации воздуха. Новые – улучшенные воздушные фильтры с наполнителями из синтетических волокон уже выпускаются серийно. Для оптимального использования все более компактного пространства моторного отсека разрабатываются фильтры конической, овальной, ступенчатой или трапециевидной формы.

Раньше корпуса фильтров очистки воздуха почти всегда изготавливались как фильтры-глушители. Большие объемы в таких корпусах использовались для акустических целей. Теперь же функции фильтрации и акустического снижения шума всасывания все больше разделяются, и резонаторы шума изготавливаются в отдельном корпусе. Таким образом, корпус фильтра очистки воздуха уменьшается в размерах. Получаются очень плоские фильтры, которые могут, например, встраиваться в крышку головки блока цилиндров, в то время как резонаторы могут размещаться в любых свободных местах моторного отсека.

Воздушный фильтр легкового автомобиля

Полный модуль очистки воздуха для легкового автомобиля показан на рис. 1.16. Он включает в себя корпус 3 и крышку 1 с цилиндрическим фильтрующим элементом 2 для очистки воздуха, подводящие патрубки

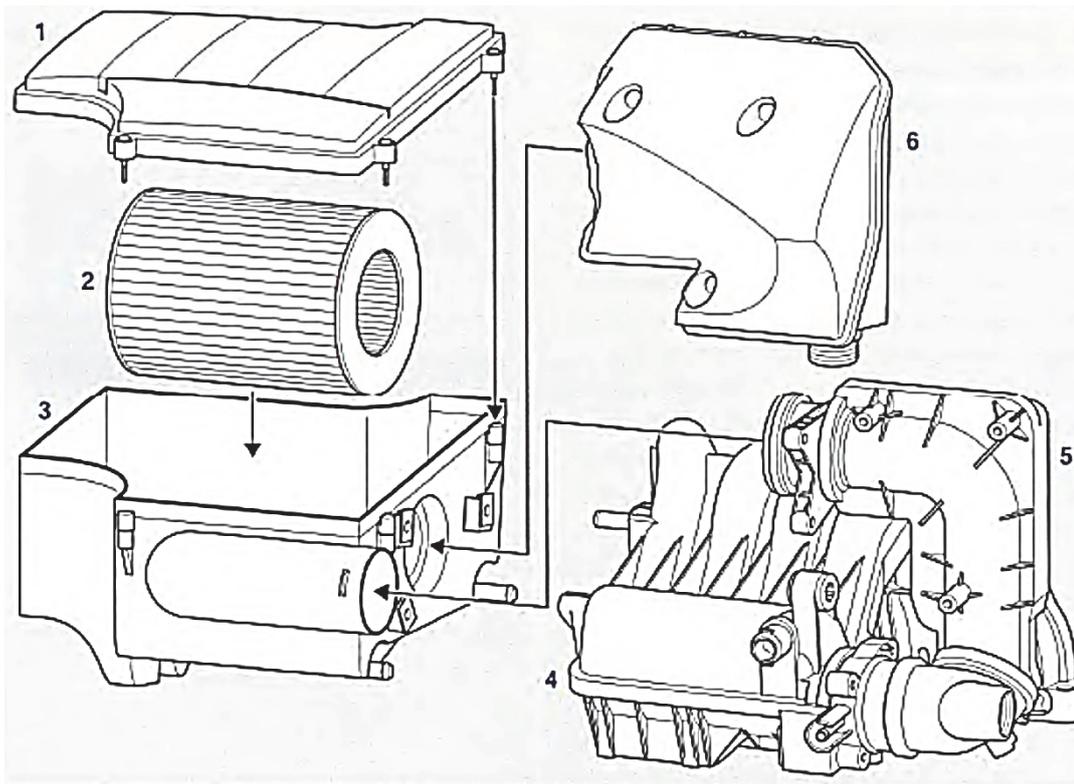
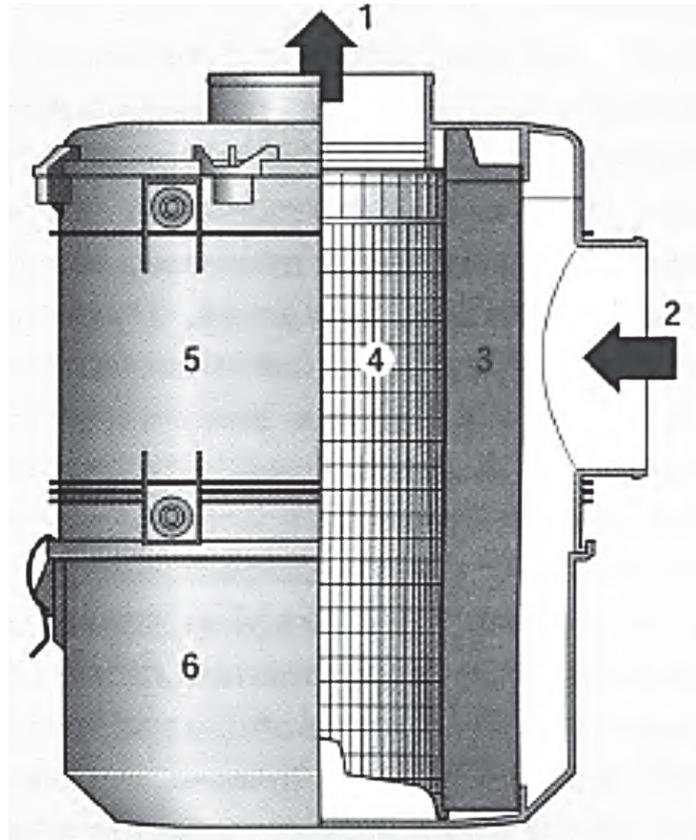


Рис. 1.16. Модуль очистки воздуха легкового автомобиля

5 и 6, а также модуль 4 впуска, между которыми располагаются резонатор Гельм-Гольца и четвертьволновая акустическая труба. С помощью этой комплексной системы можно успешно согласовывать друг с другом отдельные компоненты фильтра и выполнять все более строгие требования по уровню шума. В данном случае во впускной тракт интегрирован модуль управления двигателем. Это сделано для того, чтобы входящий воздух охлаждал конструктивные элементы электроники.

Воздушный фильтр грузового автомобиля:

На рис. 1.17 показан пригодный для обслуживания и оптимальный по весу пластмассовый фильтр очистки воздуха для грузовых автомобилей. Наряду с более высокой степенью фильтрации размеры фильтра определены исходя из интервала между сменами фильтрующего элемента порядка 100 000 и более км. В местностях с высокой пыленностью, а также при строительных работах и в сельском хозяйстве к фильтру подсоединяется предварительный сепаратор. Он отделяет грубую фракцию крупной пыли и таким образом значительно повышает долговечность фильтрующего элемента тонкой очистки. В самом простом случае используется так называемый фильтр-циклон



*Рис. 1.17. Воздушный фильтр грузового автомобиля
1 – канал выхода; 2 – канал входа; 3 – фильтрующий элемент,
4 – распорная труба, 5 – корпус фильтра, 6 – крышка пылесборник*

– свободно вращающийся многолопастный венец. Проходящий через него воздух благодаря специальной форме лопастей раскручивает венец и завихряется сам, а возникающая при этом центробежная сила отделяет грубые частицы пыли.

1.4.2. Заслонка регулирования завихрения свежего заряда

В процессе смесеобразования существенную роль играют условия перемещения компонентов топливовоздушной смеси в цилиндре двигателя. Под вихрем понимают вращательное движение воздуха, пошедшего в цилиндр двигателя. С помощью этого вращательного движения может быть достигнуто лучшее смешивание топлива с воздухом. Изменяя конструкции клапанов и каналов, можно изменить параметры вихревого движения воздуха согласно требованиям двигателя. Показанная для примера на рис. 1.18 заслонка 6 при низкой частоте вращения коленчатого вала закрыта. Благодаря этому при достаточном наполнении цилиндра возникает сильный вихрь, создаваемый специально направленным впускным каналом 2. На высоких частотах вращения заслонка открывается и делает свободным «спокойный» канал 5. Таким образом,

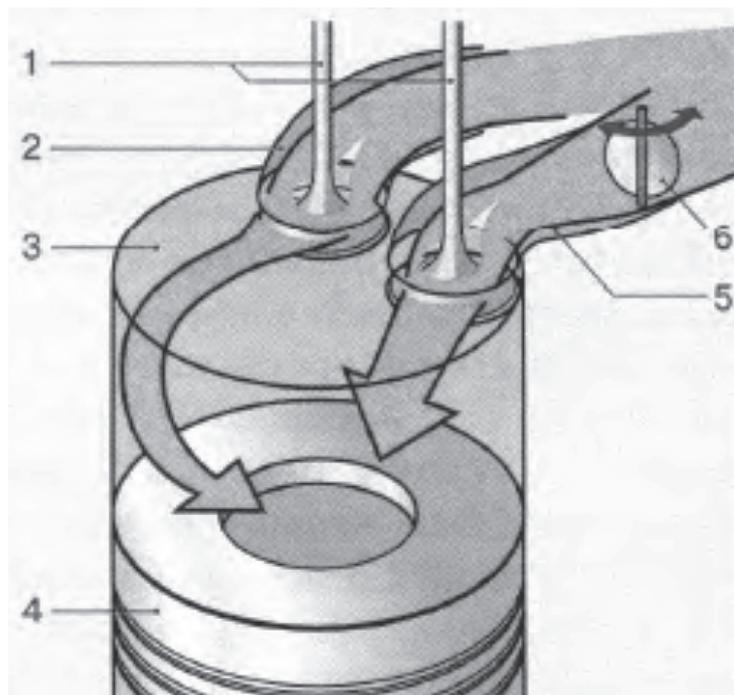


Рис. 1.18. Схема впускных каналов

повышается коэффициент наполнения цилиндра и мощность двигателя возрастает. Это отключение «спокойного» впускного канала применяют в настоящее время на некоторых двигателях легковых автомобилей.

1.4.3. Наддув воздуха

Наддув воздуха как средство повышения мощности давно используется на больших дизельных стационарных и судовых установках, а также на дизелях грузовиков. Сегодня он применяется и на быстроходных дизелях легковых автомобилей. В противоположность атмосферному впуску у двигателей с наддувом воздух подается в цилиндры под избыточным давлением. Этим увеличивается масса воздуха в цилиндре, что при большей массе топлива приводит к повышению выходной мощности двигателя при равном рабочем объеме.

Наддув воздуха осуществляется при помощи так называемых нагнетателей. Дизель особенно хорошо подходит для наддува, так как в его впускном тракте сжимается только воздух, а не топливо–воздушная смесь, и на основе качественного регулирования он может хорошо комбинироваться с наддувом.

У двигателей большой размерности для грузовых автомобилей при помощи наддува воздуха и снижения степени сжатия достигается повышение среднего эффективного давления и, таким образом, крутящего момента, однако при этом надо учитывать ограничения, связанные с возможностью холодного пуска.

В основном различают две разновидности нагнетателей:

- 1) турбонагнетатель, в котором требуемая на сжатие воздуха мощность отбирается от ОГ (газодинамическая связь двигатель/нагнетатель);
- 2) механический нагнетатель, в котором требуемая на сжатие воздуха мощность отбирается от коленчатого вала двигателя (механическая связь двигатель/нагнетатель).

Коэффициентом наполнения называется отношение количества воздуха, заключенного в цилиндре, к определенному рабочим объемом теоретическому заряду при нормальных условиях (атмосферное давление $p_0 = 1013$ кПа, температура $T_0 = 273$ К) без наддува. Вычисленный таким образом коэффициент наполнения дизелей с наддувом находится в пределах 0,85–3,0.

1.4.4. Турбонаддув

Наддув воздуха турбонагнетателем, который приводится в действие ОГ, находит наиболее широкое применение среди всех известных способов. Этот вариант даже на двигателях малого рабочего объема позволяет получить крутящий момент и мощность достаточной величины при высоком КПД. Турбонагнетатели используют на легковых и грузовых автомобилях, больших судовых двигателях и тепловозах.

Если раньше турбонаддув использовался прежде всего для повышения удельной мощности, то теперь он находит все большее применение для повышения величины максимального крутящего момента на низких и средних частотах вращения коленчатого вала. Это имеет значение, в частности, при использовании электронного регулирования давления наддува.

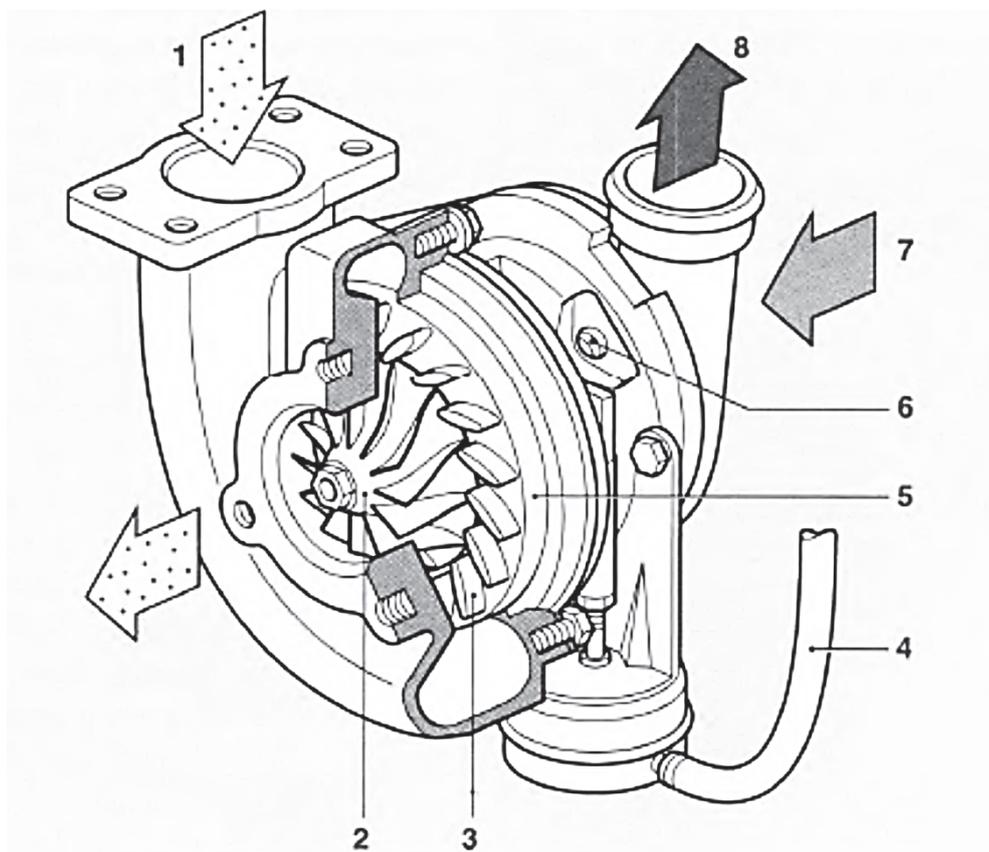
Турбонагнетатели

Энергия находящаяся под давлением горячих ОГ ДВС большей частью теряется, поэтому напрашивалось решение использовать часть этой энергии для повышения давления во впускном тракте.

Турбонагнетатель (рис. 1.19) состоит из двух газодинамических устройств:

- 1) газовой турбины, которая воспринимает энергию потока ОГ;
- 2) компрессора, который соединен валом с турбиной и сжимает подаваемый воздух.

Горячие ОГ поступают на турбину и раскручивают вал до высокой частоты вращения, которая у дизелей достигает $200\ 000$ мин⁻¹. Направленные лопатками турбинного колеса ОГ двигаются к оси турбины, откуда затем выходят через канал 8 во выпускной тракт (радиальная турбина). Вал приводит во вращение радиальный компрессор. Здесь противоположная картина: поток 3 подаваемого воздуха входит по оси



*Рис. 1.19. Турбокомпрессор с регулируемой геометрией турбины
1 – канал подачи ОГ, 2 – крыльчатка турбины, 3 – подвижная лопатка соплового аппарата, 4 – патрубок подачи разряжения, 5 – кольцо регулирования подвижных лопаток соплового аппарата, 6 – подвод смазки, 7 – подача воздуха, 8 – подача сжатого воздуха к двигателю*

компрессора, ускоряется лопатками при движении наружу и при этом превращается в поток 4 сжатого воздуха.

Для двигателей большого рабочего объема применяются также аксиальные турбины, где ОГ подаются на аксиальное колесо. Такие турбины имеют более высокую эффективность и в производстве обходятся дешевле, чем радиальные. Для двигателей легковых и грузовых автомобилей компоновочно лучше подходит радиальная турбина.

Сопротивление движению ОГ, возникающее перед турбиной, увеличивает работу выталкивания, производимую двигателем на такте выпуска. Несмотря на это, КПД дизеля в диапазоне частичных нагрузок повышается.

На стационарном режиме с постоянной частотой вращения коленчатого вала поле характеристик турбины и компрессора можно согласовать одновременно на высокий КПД и высокое давление наддува. Гораздо труднее определить параметры для нестационарных условий работы двигателя, от которого ожидают высокого крутящего момента, в ча-

стности при ускорении. В начале ускорения низкая температура ОГ и незначительное их количество, а также необходимость ускорения массы подвижных частей турбонагнетателя замедляют увеличение давления в компрессоре. Это явление у двигателей легковых автомобилей с турбонаддувом называется «провал».

Для обеспечения наддува для легковых и грузовых автомобилей созданы нагнетатели, которые из-за незначительной собственной массы подвижных деталей реагируют на изменение давления уже при небольшом усилении интенсивности потока ОГ. Используя подобные агрегаты, можно значительно улучшить характеристики работы дизеля, что особенно важно в нижней области частот вращения коленчатого вала.

При наддуве с постоянным давлением резервуар перед турбиной сглаживает пульсации давления в выпускном тракте. В следствии этого, турбина может пропускать при меньшем среднем давлении больше ОГ в области высоких нагрузок двигателя. Так как противодействие ОГ в этой рабочей точке становится меньше, расход топлива тоже сокращается. Наддув с постоянным давлением применяют для больших судовых двигателей, дизель – генераторов и стационарных установок.

Кинетическая энергия пульсаций давления при выходе ОГ из цилиндра используется при импульсном наддуве, который обеспечивает более высокий крутящий момент на более низких частотах вращения коленчатого вала. Этот принцип применяется на дизелях легковых и грузовых автомобилей. Чтобы отдельные цилиндры при газообмене не влияли на работу друг друга, у шестицилиндровых двигателей, например, выпускные магистрали объединяются по три на коллектор.

Турбокомпрессор с разделённым потоком ОГ

В турбинах с разделённым потоком (рис. 1.20), которые имеют два внешних канала, потоки ОГ также разделяются в зоне турбины.

Чтобы быстрее выходить на рабочий режим, турбонагнетатель устанавливается по возможности ближе к выпускным клапанам, поэтому он должен изготавливаться из термостойких материалов. На судах, где из-за опасности пожара запрещено наличие горячих поверхностей в машинном отделении, турбонагнетатель охлаждается водой или теплоизолируется. Нагнетатели для бензиновых двигателей, у которых температура ОГ выше, чем у дизелей, на 200...300 ° С, также могут быть включены в контур системы охлаждения.

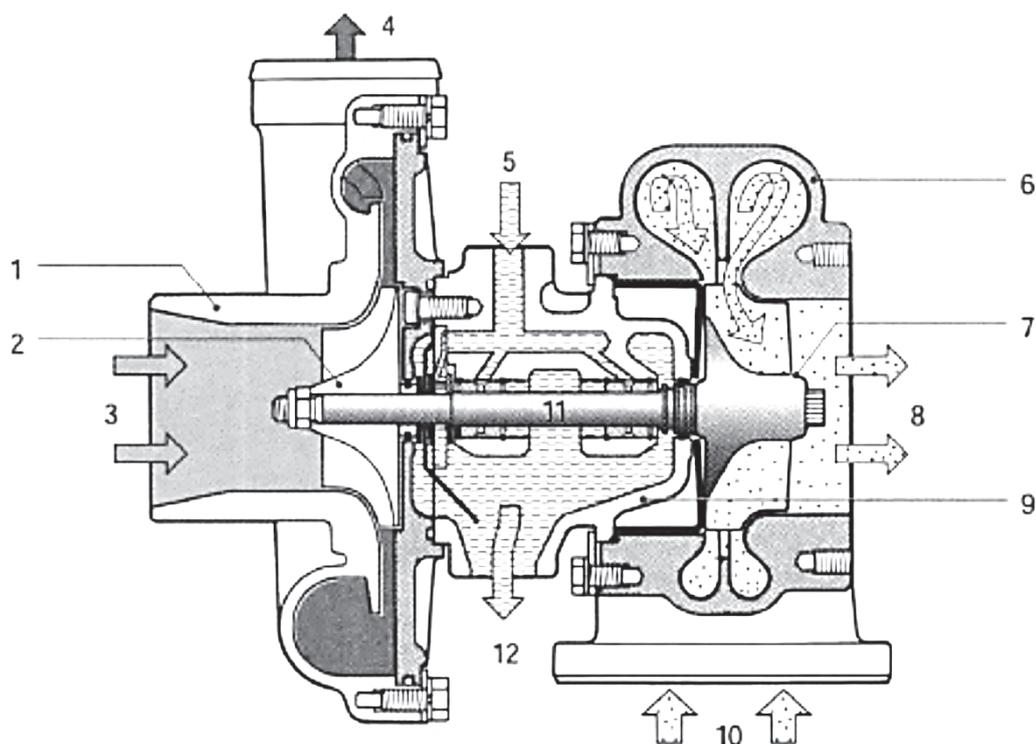


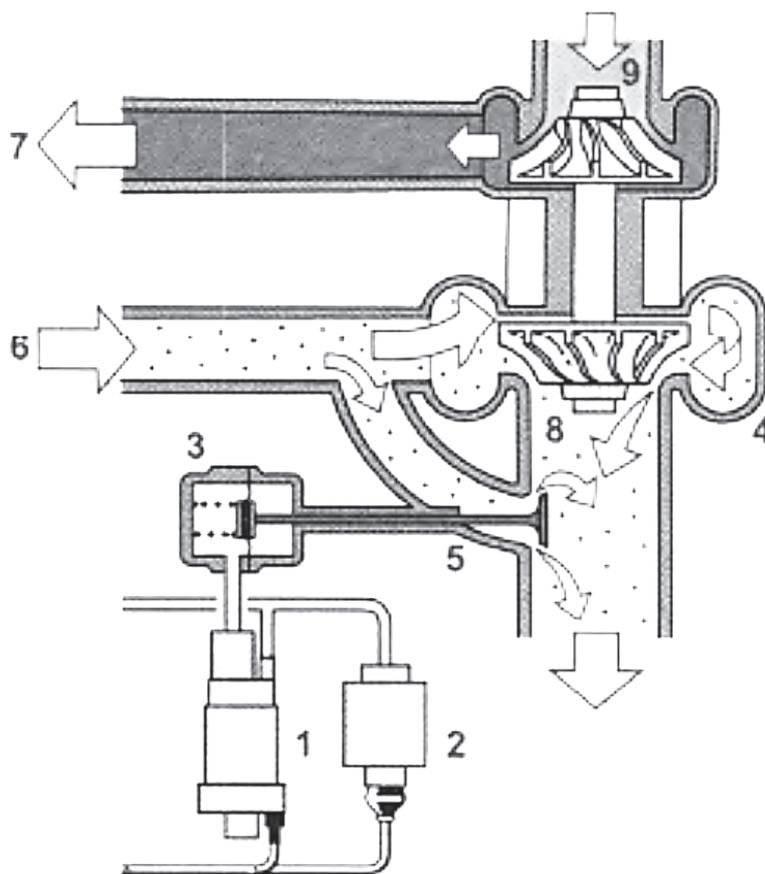
Рис. 1.20. Турбокомпрессор с разделённым потоком ОГ

Турбокомпрессор с перепускным клапаном

Двигатели должны развивать высокий крутящий момент уже при низкой частоте вращения коленчатого вала, поэтому турбонагнетатель конструируется из расчета небольшой скорости потока ОГ (например, полная нагрузка при частоте вращения $n < 1800 \text{ мин}^{-1}$). Для того, чтобы при больших скоростях потока ОГ нагнетатель не перегружал двигатель и сам не выходил из строя, давление наддува необходимо регулировать. Для этого используются три конструктивных варианта:

- 1) нагнетатель с перепуском ОГ;
- 2) нагнетатель с изменяемой геометрией турбины;
- 3) нагнетатель с дросселированием турбины.

Нагнетатель с перепуском ОГ представлен на рис. 1.21. При высоких нагрузках на двигатель часть потока ОГ через перепускной клапан 5 направляется мимо турбины в систему выпуска ОГ. Вследствие этого поток газов через турбину уменьшается, что снижает как степень сжатия воздуха компрессором, так и излишне высокую частоту вращения вала турбонагнетателя. При низких нагрузках на двигатель (поток ОГ не большой) клапан закрывается и весь поток ОГ направляется в турбину. Как правило, перепускной клапан интегрирован в корпус турбины. На первых турбонагнетателях тарельчатый клапан устанавливали в отдельном корпусе параллельно турбине. Электропневматический преобразо-



*Рис. 1.21. Турбокомпрессор с перепускным клапаном
1 – электропневматический преобразователь, 2 – вакуумный насос*

ватель 1 давления наддува приводит в действие 3/2-ходовой перепускной клапан с электроприводом, подсоединенный к вакуумному насосу 2. В положении покоя, когда преобразователь обесточен, запасный клапан 3 исполнительного механизма под действием пружины открыт. Таким образом, часть ОГ отводится через перепускной канал, снижая нагрузку на вал нагнетателя.

Если на электропневматический преобразователь подается напряжение, он соединяет камеру перепускного клапана с вакуумным насосом. Специальная мембрана под действием разрежения от насоса сжимает пружину закрывая перепускной клапан. В этом случае весь поток ОГ пойдет через турбонагнетатель, увеличивая частоту вращения вала нагнетателя.

Нагнетатель сконструирован таким образом, что перепуск при неисправности блока управления открывается автоматически. Благодаря этому при больших нагрузках не возникает высокое давление наддува, которое повредили бы нагнетатель или сам дизель.

У бензиновых двигателей во впускном трубопроводе образуется сильное разрежение, поэтому применение вакуумного насоса не требу-

ется. Управление при помощи электрического исполнительного механизма без помощи разрежения возможно для обоих вариантов двигателя.

Нагнетатель с изменяемой геометрией турбины

Нагнетатель с изменяемой геометрией турбины дает возможность ограничить поток ОГ через турбину при высокой частоте вращения коленчатого вала двигателя рис. 1.22.

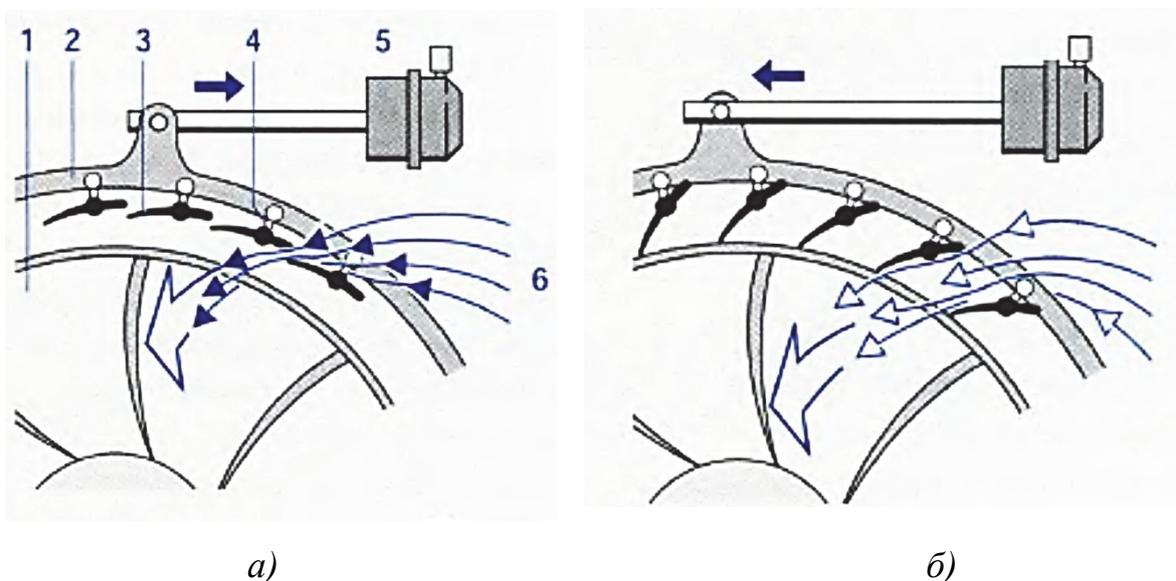


Рис. 1.22. Нагнетатель с изменяемой геометрией турбины
а – положение направляющих лопаток при высокой скорости ОГ,
б – положение направляющих лопаток при низкой скорости ОГ

Подвижные направляющие лопатки 3 соплового аппарата изменяют поперечное сечение каналов, через которые ОГ устремляются на крыльчатку турбины. Этим они согласовывают возникающее в турбине давление газа с требуемым давлением наддува. При низкой нагрузке на двигатель подвижные лопатки открывают небольшое поперечное сечение каналов так, что увеличивается противодействие ОГ. Поток газов развивает в турбине высокую скорость, обеспечивая высокую частоту вращения вала нагнетателя (а). При этом поток ОГ действует на более удаленную от оси вала область лопаток крыльчатки турбины. Таким образом, возникает большее плечо силы, которое дополнительно увеличивает крутящий момент. При высокой нагрузке направляющие лопатки открывают большее поперечное сечение каналов, что уменьшает скорость течения потока ОГ (б). Вследствие этого турбонагнетатель при равном количестве ОГ меньше ускоряется и работает с меньшей частотой при большем количестве газов. Этим способом ограничивается давление наддува.

Поворотом управляющего кольца 2 изменяется угол направления лопаток, которые устанавливаются на желаемый угол либо непосредст-

венно отдельным управляющим рычагом 4, укрепленным на лопатках, либо поворотными кулачками. Поворот кольца осуществляется при помощи управляющего пневматического цилиндра 5, под действием разрежения или давления воздуха либо, как вариант, при помощи электродвигателя с обратной связью по положению лопаток (датчик положения). Вместе с тем можно устанавливать давление наддува наилучшим образом в зависимости от различных входных величин. Нагнетатель с изменяемой геометрией в положении покоя открыт и поэтому безопасен, т.е. при отказе управления ни он сам, ни двигатель не повреждаются. Происходит лишь потеря производительности на низких частотах вращения коленчатого вала.

Эту конструкцию нагнетателя применяют сегодня преимущественно на дизелях. У бензиновых двигателей она еще не используется, прежде всего из-за высокой термической нагруженности и более горячих ОГ.

Нагнетатель с дросселированием турбины

Нагнетатель с дросселированием турбины (рис. 1.23) устанавливают на небольших двигателях легковых автомобилей. Регулирующая заслонка 4 постепенным открытием подводных каналов 2 и 3 изменяет в этой конструкции проходное сечение для потока ОГ к турбине.

При небольших частотах вращения коленчатого вала или малых нагрузках на двигатель открыт только канал 2. Меньшее поперечное сечение приводит к высокому противодавлению ОГ, высокой скорости течения газов и тем самым к высокой частоте вращения вала газовой турбины 1.

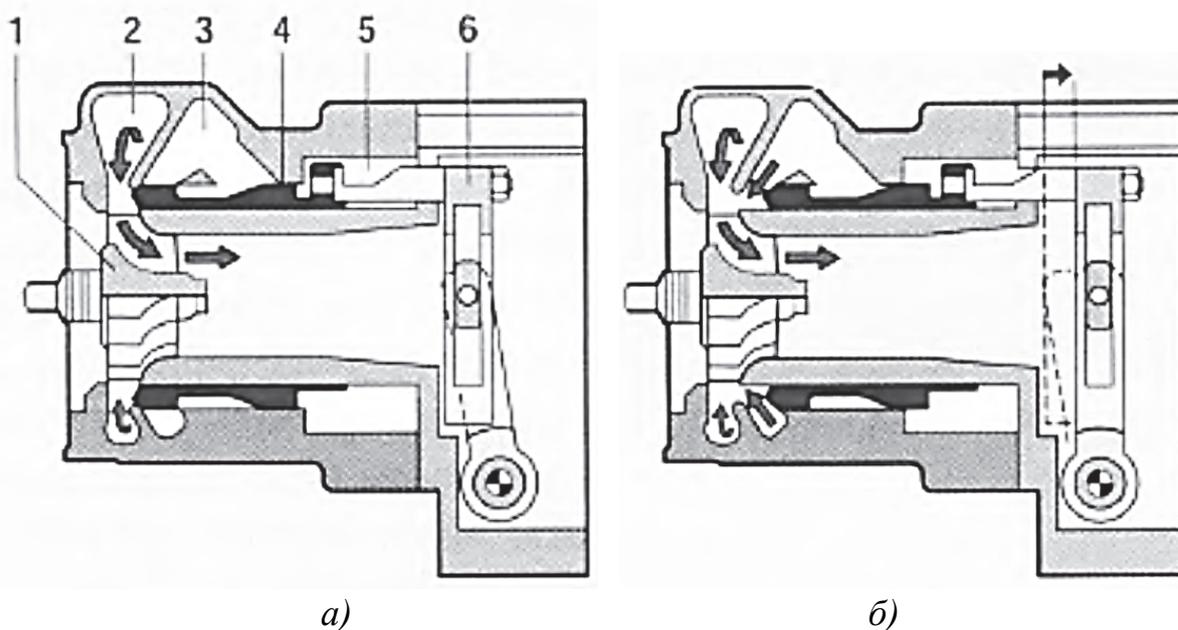


Рис. 1.23. Нагнетатель с дросселированием турбины
а – открыт 1 подводной канал, б – открыто 2 подводных канала

При достижении желаемого давления наддува регулирующая задвижка плавно открывает канал 3. Скорость течения ОГ, а вместе с тем частота вращения вала турбины и давление наддува уменьшаются. Регулятор двигателя задает положение указанной задвижки с помощью пневмомеханического цилиндра.

Через встроенный в корпус турбины перепускной канал 5 можно также отвести почти весь поток газов от турбины и таким образом получить очень небольшое давление наддува.

Преимущества и недостатки турбокомпрессоров

Уменьшение размеров по сравнению с вариантом атмосферного впуска при одинаковой мощности турбоагнетатель обеспечивает двигателю, прежде всего, меньшую массу и габариты. В диапазоне рабочих частот вращения на графике можно видеть лучшее протекание кривой крутящего момента (рис. 1.24). При этом на конкретной частоте вращения коленчатого вала при равном удельном расходе топлива обеспечивается более высокая мощность двигателя с наддувом (А–В).

Такое соотношение мощностей из-за более благоприятного протекания кривой крутящего момента двигателя с системой наддува имеет место уже в диапазоне низких частот вращения коленчатого вала (В–С). Рабочая точка двигателя по требуемой мощности перемещается, таким образом, в область меньших частот, с более низкими потерями на трение, из чего следует и меньший расход топлива (Е–D).

Характеристика крутящего момента при малой частоте вращения коленчатого вала крутящий момент двигателей с турбоагнетателем находится на уровне моторов без наддува. В этой области давление наддува не проявляется, поскольку энергии ОГ недостаточно для раскрутки турбины.

На нестационарных режимах величина крутящего момента при средних нагрузках находится на уровне двигателей с атмосферным впуском (С). Это связано с тем, что существует задержка в повышении интенсивности потока ОГ. При разгоне, таким образом, в работе двигателя отмечается «провал», который у бензиновых двигателей можно уменьшить, прежде всего, использованием динамического наддува, способного поддерживать высокое рабочее состояние нагнетателя. У дизелей есть возможность существенно уменьшить «провал» установкой турбоагнетателей с переменной геометрией турбины.

Другой вариант устранения «провала» – использование турбоагнетателя с дополнительным электродвигателем, который ускоряет вращение крыльчатки компрессора независимо от расхода ОГ. В настоящее время этот тип нагнетателя находится в разработке.

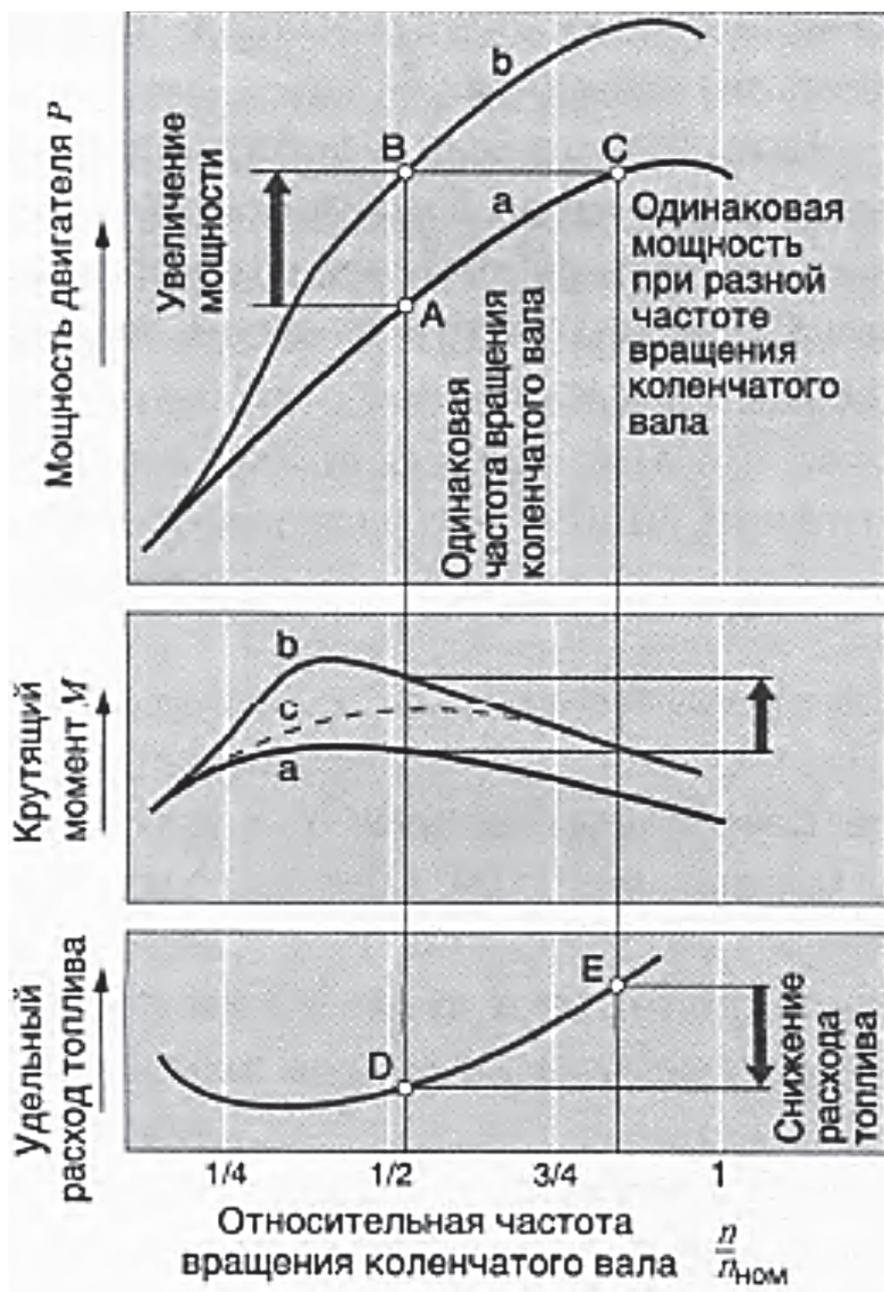


Рис. 1.24. Скоростная характеристика двигателя
a – двигатель без наддува, *b* – двигатель с наддувом,
c – двигатель с наддувом при нестационарном режиме нагружения

1.4.5. Механический наддув

При механическом наддуве нагнетатель приводится в действие непосредственно от коленчатого вала двигателя. Как правило, оба агрегата жестко связаны друг с другом, например через ременный привод. Механические нагнетатели для дизелей применяются реже, чем турбоагнетатели.

Механические нагнетатели

Наиболее распространенной конструкцией является механический нагнетатель. Он применяется преимущественно на двигателях малой и средней величины для легковых автомобилей. Для дизелей используются следующие виды механических нагнетателей:

Нагнетатели с внутренним сжатием

В таком нагнетателе воздух сжимается непосредственно внутри нагнетателя. Дизели оснащаются поршневым или винтовым нагнетателем. Механизмы этого типа оснащаются либо поршнем (рис. 1.25), либо мембраной (рис. 1.26).

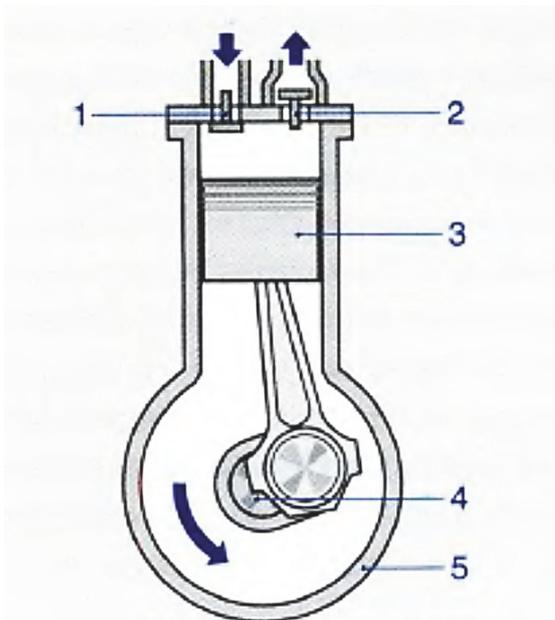


Рис. 1.25. Поршневой нагнетатель
1 – впускной клапан; 2 – выпускной клапан; 3 – поршень; 4 – приводной вал; 5 – картер

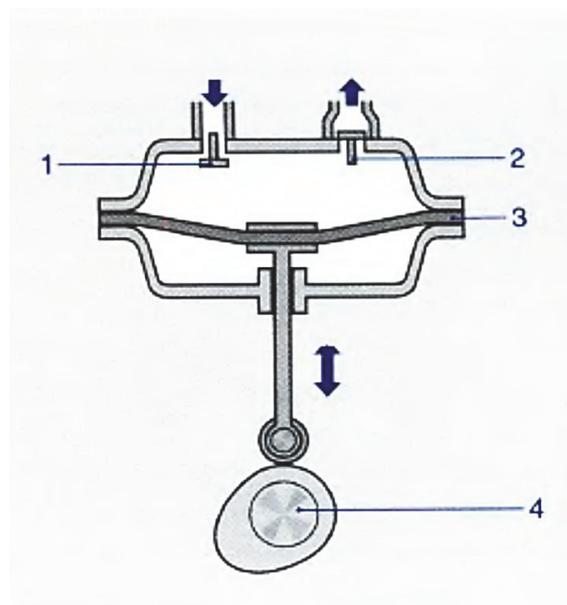


Рис. 1.26. Мембранный нагнетатель
1 – впускной клапан; 2 – выпускной клапан; 3 – мембрана; 4 – приводной вал кулачковый

Поршень (подобно поршню в двигателе) сжимает воздух, который затем подается через выпускной клапан к цилиндрам двигателя.

Винтовой нагнетатель

В винтовом нагнетателе (рис. 1.27) воздух сжимают две лопасти 4, имеющие форму винта и вращающиеся навстречу друг другу.

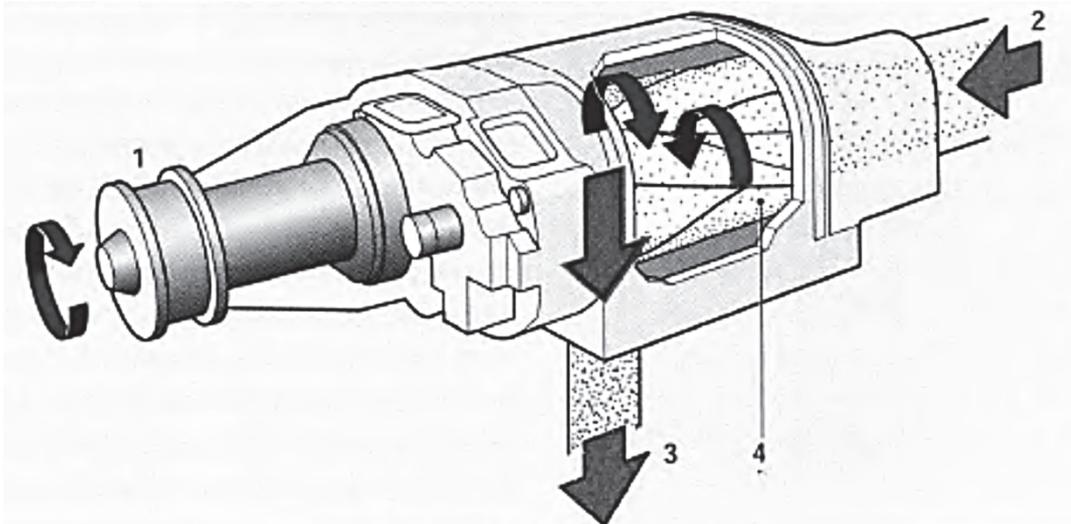


Рис. 1.27. Винтовой нагнетатель
 1 – приводной вал; 2 – впуск воздуха;
 3 – выход сжатого воздуха; 4 – винтообразные лопасти

Нагнетатель без внутреннего сжатия

В механических нагнетателях без внутреннего сжатия воздух сжимается направленным потоком за нагнетателем (во впускном трубопроводе). На двухтактных дизелях чаще всего устанавливается нагнетатель системы *Roots* (рис. 1.28).

Основу нагнетателя системы *Roots* составляют два вращающихся ротора 2, приводимых шестернями. Они движутся навстречу друг другу, как в шестеренном насосе, и нагнетают воздух во впускной тракт.

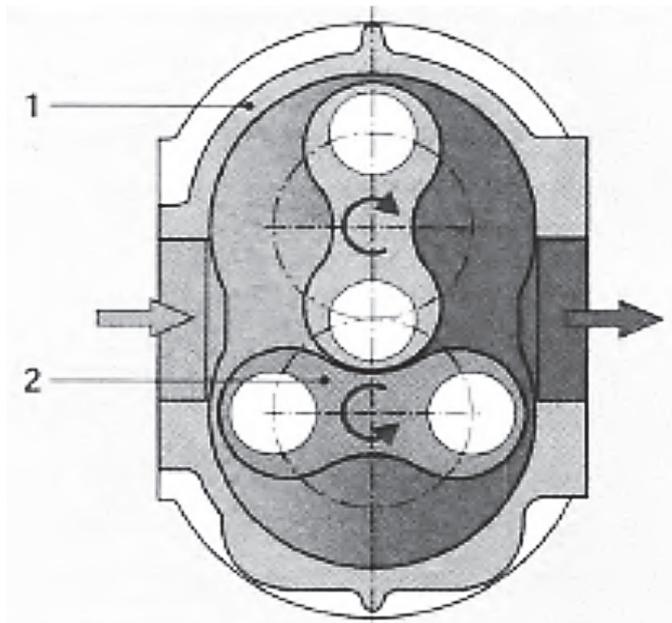


Рис. 1.28. Нагнетатель системы *Roots*

Центробежный приводной нагнетатель

Наряду с механическими объемными нагнетателями, повышающими давление воздуха, существует также центробежным нагнетатель, который сжимает воздух подобно турбонагнетателю. Для достижения требуемой высокой окружной скорости рабочая крыльчатка приводится во вращение через отдельный планетарный редуктор. Эти нагнетатели имеют высокий КПД в широком диапазоне частоты вращения коленчатого вала и могут рассматриваться как альтернатива турбо-наддуву, особенно для двигателей малых рабочих объёмов. На двигателях легковых автомобилей среднего и большого классов они применяются редко.

Регулирование давления наддува

Давление наддува на механическом нагнетателе может регулироваться через перепускной канал. Часть потока сжатого воздуха направляется в нагнетатель и определяет наполнение цилиндров двигателя. Другая часть направляется через канал, оборудованный перепускным клапаном, обратно в зону подачи. Управление перепускным клапаном происходит с помощью блока управления работой дизеля.

Преимущества и недостатки механического наддува.

Поскольку нагнетатель приводится непосредственно от коленвала двигателя, то при механическом наддуве повышение частоты вращения рабочего вала нагнетателя происходит одновременно с повышением частоты вращения коленчатого вала двигателя. Соответственно при динамичной езде механический нагнетатель обеспечивает больший крутящий момент и лучшую приемистость, чем турбонагнетатель. Используя в приводе нагнетателя вариатор, можно улучшить также приемистость дизеля на средних нагрузках.

Если отсутствует избыточная мощность (порядка 10–15 кВт для легкового автомобиля), необходимая для привода нагнетателя, то побочным аффектом указанных преимуществ может стать повышенный расход топлива. Этот недостаток компенсируется наличием в приводе нагнетателя специальной муфты, позволяющей отключать его при малых нагрузках. Другим недостатком нагнетателя являются его сравнительно большие размеры.

Многоступенчатый наддув

Многоступенчатый наддув позволяет существенно расширить пределы регулирования мощности по сравнению с одноступенчатым наддувом. При этом удается улучшить как подачу воздуха в цилиндры, так и

удельный расход топлива на стационарных и переходных режимах работы двигателя.

Многоступенчатый наддув может быть реализован следующими способами.

Переключаемый наддув. При увеличивающейся нагрузке к основной системе наддува можно параллельно подключать один или несколько турбоагнетателей. В результате возможно достижение двух или даже нескольких максимумов КПД, в отличие от случая использования одного большего нагнетателя, настроенного на номинальную мощность. Из-за дорогой системы переключения нагнетателей подобная система наддува используется преимущественно на судах или стационарных генераторах.

Двухступенчатый наддув

Двухступенчатый регулируемый наддув (рис. 1.29) представляет

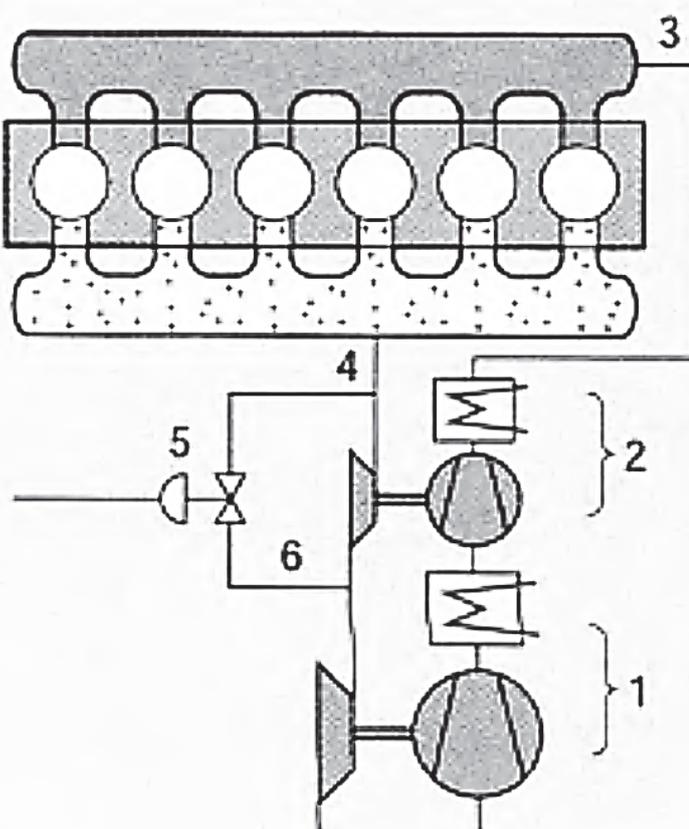


Рис. 1.29. Схема двухступенчатого наддува

1 – ступень низкого давления (турбокомпрессор с охладителем наддувочного воздуха), 2 – ступень высокого давления (турбокомпрессор с охладителем наддувочного воздуха), 3 – впускной коллектор, 4 – выпускной коллектор, 5 – перепускной клапан, 6 – перепускная магистраль

собой последовательное подключение двух турбонагнетателей различной мощности, оснащенных запасным регулированием и, в идеальном случае, охладителями наддувочного воздуха Свежий воздух сначала предварительно сжимается в нагнетателе 1 низкого давления. После этого начинает работать относительно меньший нагнетатель 2 высокого давления, сжимающий воздух до меньшего объема при большем давлении, что позволяет обеспечить требуемый расход воздуха. Использование двухступенчатого наддува может особенно благоприятно сказаться на КПД нагнетателя.

При низких частотах вращения коленчатого вала перепускной клапан 5 закрыт, поэтому работают оба турбокомпрессора. Таким образом, очень быстро достигается высокий уровень наддува. Если нагрузка на двигатель повышается, перепускной клапан открывается вплоть до перекрытия нагнетателя высокого давления, когда весь воздух идет из нагнетателя 1 непосредственно в двигатель. Благодаря этому система наддува плавно реагирует на потребности двигателя по воздуху. Этот вид наддува из-за простоты регулирования используется для автомобилей.

Автономный нагнетатель

Перед турбонагнетателем может устанавливаться дополнительный автономный нагнетатель. Он аналогичен по конструкции и приводится в действие от независимого электромотора. При ускорении движения автономный нагнетатель подает дополнительный объем воздуха, улучшая приемистость двигателя.

1.4.6. Охлаждение наддувочного воздуха

Во время сжатия воздух в нагнетателе может нагреваться почти до 180°C . Так как горячий воздух, при одинаковых окружающих условиях, имеет меньшую плотность, чем холодный, его дальнейший нагрев негативно сказывается на наполнении цилиндров. Установленный за нагнетателем охладитель наддувочного воздуха снижает температуру свежего заряда, увеличивая его плотность, тем самым наполнение цилиндра улучшается без изменения параметров нагнетателя. Тем самым увеличивается количество кислорода для сгорания, так что могут быть достигнуты более высокие крутящий момент и мощность при заданной частоте вращения коленчатого вала.

Более низкая температура поступающего в цилиндр воздуха позволяет снизить температуру в конце такта сжатия, что дает следующие преимущества:

- 1) лучший термический КПД и вместе с тем меньший расход топлива и сниженное дымление дизеля;
- 2) меньшая склонность к детонации бензинового двигателя;

3) меньшие термические нагрузки зеркала цилиндра и поверхности камеры сгорания;

4) несколько меньший уровень выделения оксида азота благодаря пониженной температуре сгорания смеси.

Сам охладитель наддувочного воздуха охлаждается внешним воздухом или подключается к системе жидкостного охлаждения двигателя.

1.4.7. Рециркуляция отработанных газов

После сгорания небольшое количество отработавших газов остается в цилиндре, а так же возвращается туда из системы выпуска. Этот эффект называется внутренней рециркуляцией ОГ. На ее величину влияют фазы газораспределения. Дополнительное количество ОГ из системы выпуска двигателя может быть возвращено во впускной тракт через обратный клапан ОГ, а при необходимости – через охладитель. Этот процесс составляет внешнюю рециркуляцию ОГ. Оба процесса рециркуляции являются эффективным способом сокращения оксида азота. Уменьшение количества оксида азота благодаря рециркуляции ОГ основывается на трех процессах:

- 1) сокращение концентрации кислорода в камере сгорания;
- 2) сокращение самого потока ОГ;
- 3) снижение температуры при более высокой теплоемкости воды и углерода, напрямую не участвующих в процессе сгорания.

Эффективность рециркуляции охлажденных ОГ

Степень рециркуляции для легковых автомобилей составляет примерно 50 %, для грузовых автомобилей 5–25 %.

Увеличение рециркуляции ОГ уменьшает содержание кислорода в цилиндре (коэффициент избытка воздуха α снижается). Если количество возвращаемых ОГ становится слишком большим, увеличивается содержание в ОГ вредных веществ, что происходит при недостатке воздуха при сгорании. При этом растет расход топлива, поэтому обязательно необходимы контроль и регулирование степени рециркуляции ОГ.

Степень рециркуляции ОГ регулируется клапаном подвода ОГ (клапан рециркуляции). В начальном положении он запирает канал, который связывает область выпускного тракта перед турбонагнетателем с областью после него. Клапан рециркуляции управляется регулятором в зависимости от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала. Для точной работы клапана должна быть конструктивно предусмотрена его нечувствительность к отложениям вредных примесей.

Рециркуляция ОГ на легковых автомобилях

Рециркуляцию ОГ на легковых автомобилях впервые применили в 70-е годы. Сегодня она используется на большинстве дизелей легковых автомобилей.

Для соответствия принятым нормам рециркуляция ОГ для легкового автомобиля применяется только при малых нагрузках. Для обеспечения движения ОГ всегда имеется перепад между противодавлением в выпускном коллекторе и давлением наддува (турбонагнетатель с перепускным каналом), поэтому ОГ могут быть всегда направлены через клапан.

Рециркуляция ОГ на грузовых автомобилях

Рециркуляцию ОГ для достижения низкой эмиссии NO_x планируется применять на грузовых автомобилях. Здесь она необходима почти на всех режимах работы дизеля. В стандартном случае при высокой нагрузке противодавление ОГ перед нагнетателем ниже, чем давление наддува после нагнетателя и охладителя наддувочного воздуха. Для возможного использования рециркуляции ОГ необходимо тщательно подбирать параметры турбонагнетателя или использовать нагнетатель с изменяемой геометрией турбины, который создает необходимый перепад давления. Возможно также использование предохранительного клапана, который открывается, когда давление ОГ в выпускном коллекторе оказывается выше, чем во впускном тракте. Это происходит при высокой нагрузке, а также в тот момент, когда на такте выпуска в цилиндре возникает импульс давления. В результате часть ОГ попадает в систему впуска (при перекрывании клапанов).

Рециркуляция ОГ может регулироваться с помощью дифференциального датчика расхода воздуха (легковые автомобили), лямбда-зонда или датчика перепада давления (грузовые автомобили).

1.5. Форсунки впрыска топлива в цилиндр ДВС

Корпус форсунки вместе с распылителем составляет форсунку. В головку блока над каждым цилиндром устанавливается по одной форсунке (рис. 1.30). Форсунки существенно влияют на мощность двигателя, параметры ОГ и уровень шума. Для оптимального выполнения своих функций форсунки должны быть максимально адаптированы к заданной марки дизеля.

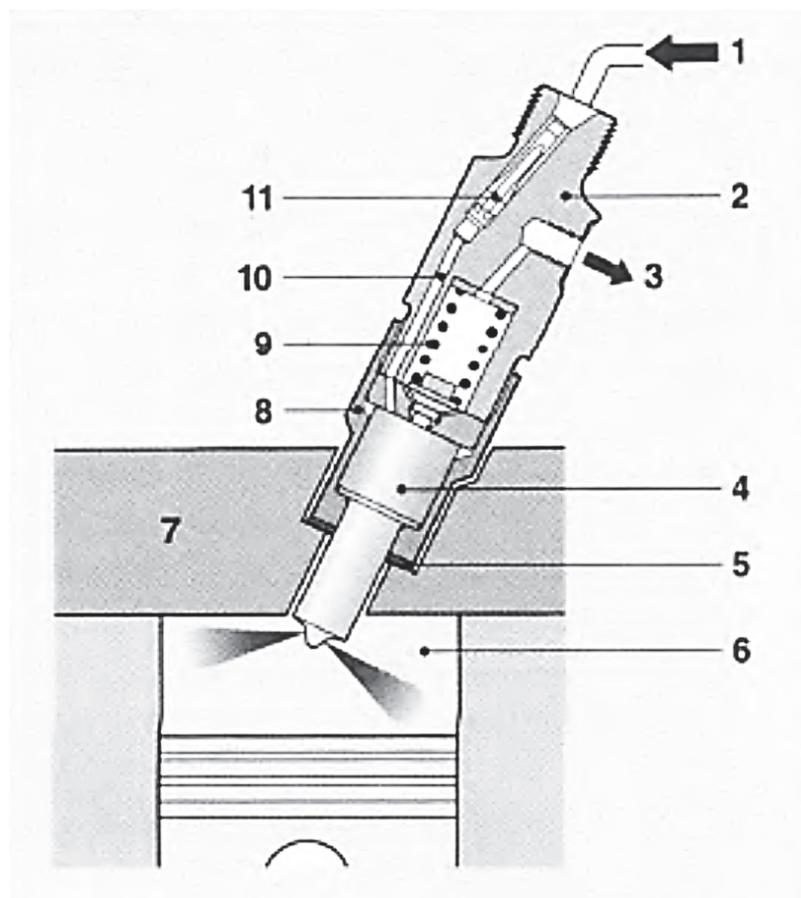


Рис. 1.30. Схема установки форсунки

Распылитель 4 в корпусе форсунки впрыскивает топливо в камеру 6 сгорания. Корпус форсунки в сборе содержит следующие важные элементы:

- 1) нажимная пружина 9 опирается на иглу распылителя и закрывает, таким образом, форсунку;
- 2) гайка 8 распылителя держит и центрирует распылитель;
- 3) фильтр 11 задерживает нерастворимые примеси;
- 4) сверления для подачи и отвода топлива через канал 10 давления соединяются с топливными магистралями.

Наряду с этим корпус форсунки, в зависимости от исполнения может комплектоваться уплотнениями и регулировочными шайбами. Стандартизированные размеры позволяют иметь необходимую гибкость в комплектации различных систем впрыска с минимумом вариантов отдельных частей.

Устройство корпуса форсунки принципиально одинаково для двигателей с непосредственным впрыском топлива и с разделенными камерами сгорания. Так как сегодня разрабатываются почти исключительно двигатели с непосредственным впрыском топлива, рассмотрим корпуса форсунок для таких дизелей. Однако описания годны также для дизелей

с разделенными камерами сгорания, в корпусах форсунок которых вместо бесштифтовых распылителей используются штифтовые.

Корпуса форсунок могут сочетаться с различными распылителями. В зависимости и от требований к процессу впрыскивания имеются:

- 1) стандартный корпус форсунки (корпус одно пружинной форсунки);
- 2) корпус двух пружинной форсунки (кроме систем индивидуальных ТНВД).

Вариантом может быть ступенчатый корпус, особенно удобный при минимальных размерах цилиндра двигателя.

Корпуса форсунок применяют в зависимости от системы впрыска – с датчиком хода иглы или без него. Датчик хода иглы передает блоку управления работой дизеля точный сигнал момента начала впрыскивания.

Корпус форсунки может быть укреплен на головке блока цилиндров фланцем, скобой, накидной гайкой или резьбой. Штуцер подсоединения магистрали высокого давления располагается по оси форсунки или сбоку.

Просачивающееся по направляющей иглы распылителя топливо служит для смазки. Во многих вариантах корпусов форсунок утекающее топливо возвращается через магистраль обратного слива в топливный бак.

Некоторые корпуса форсунок работают без утечки топлива и без соответствующего обратного слива. Топливо в пространстве нажимной пружины смягчает подъем иглы при больших величинах подачи топлива и высоких частотах вращения коленчатого вала, так что процесс впрыскивания топлива оказывается подобен процессу в двух пружинной форсунке.

При использовании насос-форсунок или системы *Common Rail* распылитель интегрирован в форсунку. Отдельный корпус форсунки в этом случае не требуется.

Для больших двигателей с цилиндровой мощностью более 75 кВт имеются специфичные по применению форсунки с охлаждением и без него.

1.5.1. Стандартный корпус форсунки

Стандартные корпуса форсунок имеют следующие особенности: внешняя цилиндрическая форма с максимальными диаметрами 17 мм, 21 мм, 25 мм и 26 мм; фиксированные от проворота в корпусе бесштифтовые распылители для двигателей с непосредственным впрыском топлива; стандартизованные отдельные детали (пружины, нажимные штифты, ганки распылителя), которые могут использоваться в разных комбинациях.

Форсунка состоит из распылителя и корпуса форсунки в сборе (рис. 1.31, пример с бесштифтовым распылителем).

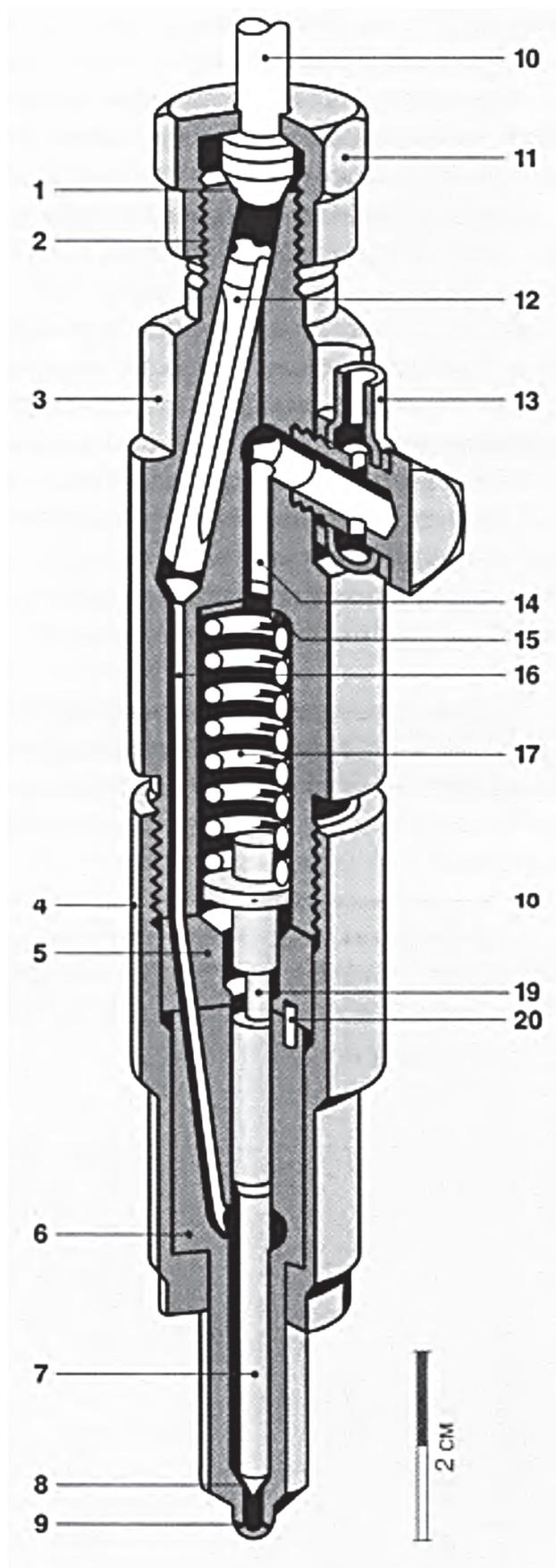


Рис. 1.31. Однопружинная форсунка

Корпус форсунки в сборе содержит следующие элементы: 3 – корпус форсунки, 4 – гайка распылителя, 5 – проставка, 15 – регулировочные шайбы, 17 – нажимная пружина, 18 – нажимной штифт, 20 – фиксирующий штифт.

Распылитель укрепляется гайкой. При наворачивании гайки распылителя на корпус форсунки проставка сжимается между уплотнительными поверхностями корпуса форсунки и распылителя. Проставка служит как упор подъема иглы распылителя и центрирует фиксирующими штифтами распылитель относительно корпуса форсунки.

Нажимной штифт с одной стороны центрирует нажимную пружину, а с противоположной стороны направляющая нажимного штифта соединена с нажимным шипом 19 иглы распылителя.

В корпусе форсунки канал 16 давления через проставку направляет топливо к подводящему отверстию в корпусе 6 распылителя и связывает, таким образом, распылитель с нагнетательной магистралью ТНВД. При необходимости в корпус форсунки устанавливается стержневой фильтр 12, отсекающий примеси из топлива.

Принцип действия

Нажимная пружина в корпусе форсунки давит через нажимной штифт на иглу распылителя. Предварительное сжатие этой пружины определяется регулировочной шайбой. Упругость пружины определяет, тягам образом, давление открытия форсунки.

Топливо проходит через стержневой фильтр 12, затем по каналу 16 давления в корпусе 3 форсунки к каналу проставки 5 и затем через корпус 6 распылителя к седлу 8 корпуса распылителя. В процессе впрыскивания игла 7 распылителя поднимается давлением впрыскивания (110...170 бар при штифтовых распылителях и 150...350 бар при бесштифтовых распылителях).

Топливо через отверстия 9 распылителя попадает в камеру сгорания. Впрыскивание заканчивается, когда давление впрыскивания снижается настолько, что нажимная пружина 17 иглы распылителя прижимает ее к седлу. Момент начала впрыскивания управляется давлением. Величина подачи топлива зависит по существу от продолжительности впрыскивания.

Чтобы ограничить ход иглы при предварительном впрыскивании, в некоторых исполнениях используется демпфирование хода иглы распылителя (рис. 1.32).

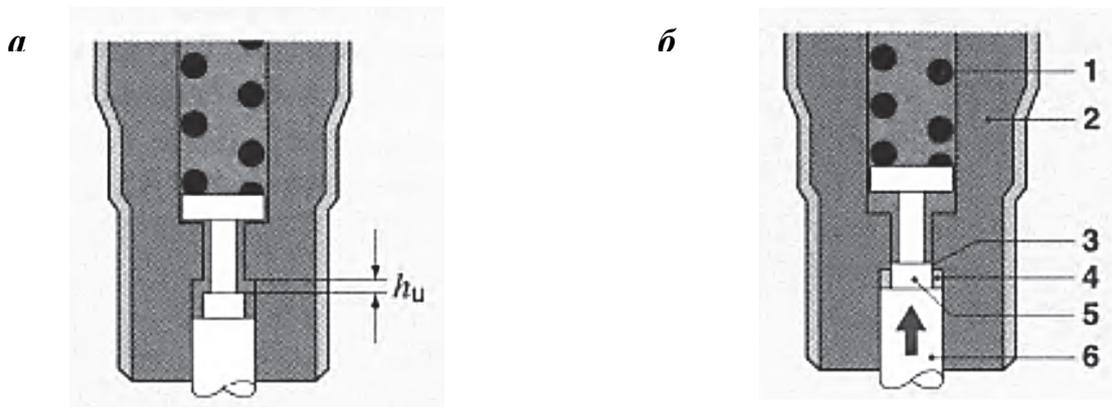


Рис. 1.32. Демпфирование хода иглы распылителя
 h_u – не демпфированный ход (около 1/3 полного хода поршня):
 а – распылитель закрыт, б – демпфирование хода

1.5.2. Ступенчатый корпус форсунки

Ступенчатые корпуса форсунок используются, в частности, на четырехклапанных дизелях грузовых автомобилей, у которых, например, из за недостатка места форсунка должна устанавливаться вертикально (рис. 1.33). Происхождение наименования «ступенчатый корпус» связано с наличием ступени 1.

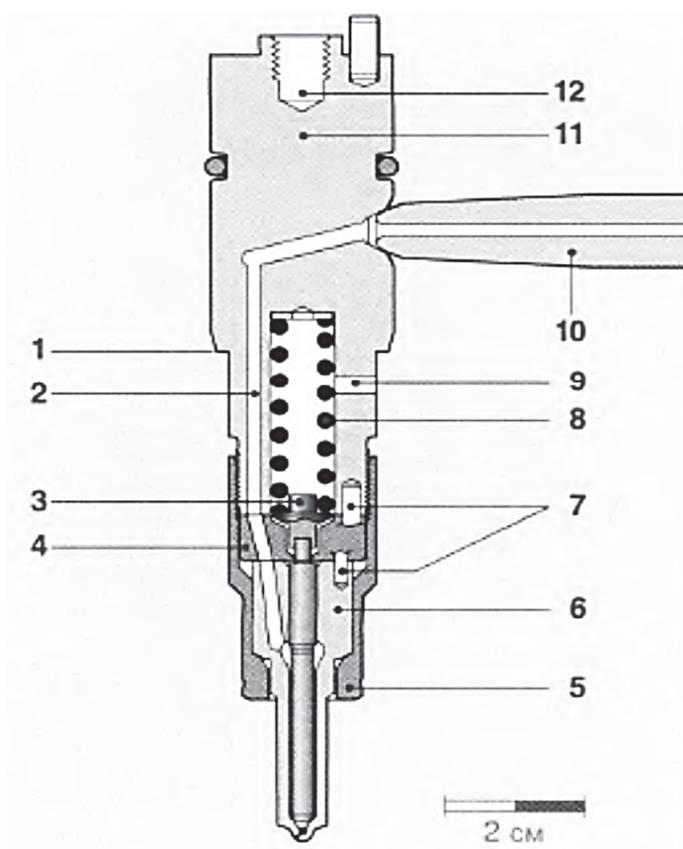


Рис. 1.33. Ступенчатая форсунка

Устройство и принцип действия соответствуют стандартному корпусу форсунки. Существенное различие состоит в способе подсоединения магистрали высокого давления: при стандартном корпусе она подсоединяется центрально на противоположном конце, при ступенчатом корпусе она связана с корпусом 11 форсунки посредством штуцера 10 магистрали высокого давления. При такой компоновке, как правило, используются очень короткие магистрали высокого давления, что выгодно отражается на уровне давления впрыскивания. Из-за сокращенного «мертвого» объема магистрали.

Ступенчатый корпус делают как с присоединением магистрали 9 обратного слива топлива, так и без него.

1.5.3. Двух пружинный корпус форсунки

Двух пружинный корпус форсунки – это усовершенствованный вариант стандартного корпуса форсунки. У него такие же наружные диаметры. Он используется преимущественно при непосредственном впрыске топлива. Разделенный на этапы процесс впрыскивания (рис.1.34) ведет к «более мягкому» сгоранию и, таким образом, к снижению уровня шума сгорания, особенно на холостом ходу и в режиме частичной нагрузки.

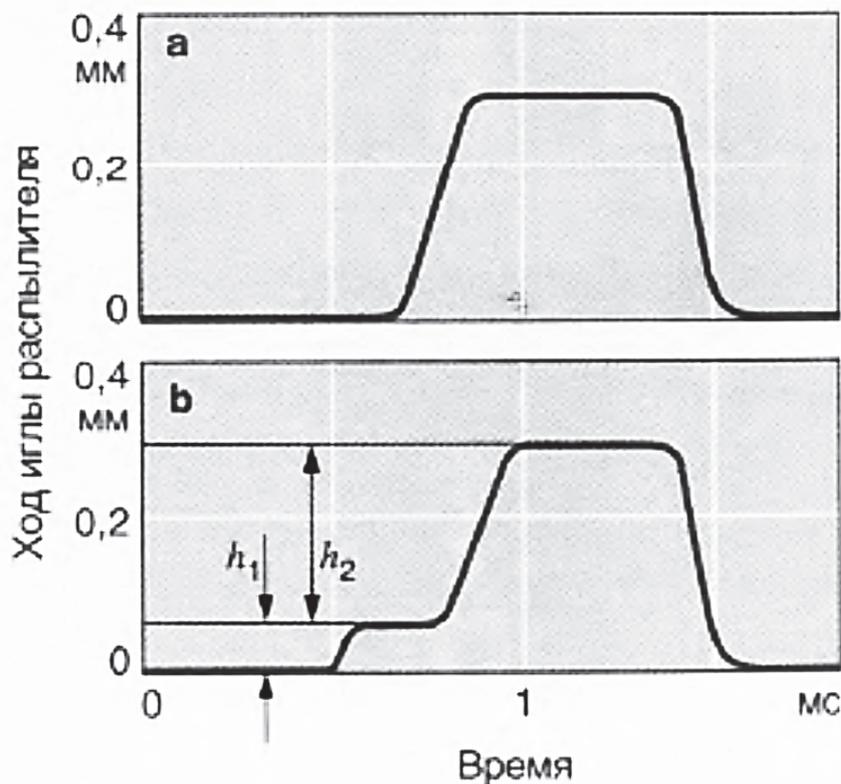


Рис. 1.34. Моно и разделённый впрыск
 h_1 и h_2 – предварительный и основной ход иглы

Устройство и принцип действия

В двухпружинном корпусе форсунки (рис. 1.35) две нажимные пружины расположены последовательно. Сначала первая нажимная пружина 3 действует на иглу 13 распылителя и определяет тем самым величину первого значения давления открытия. Вторая нажимная пружина 6 опирается на опорную втулку 10, которая ограничивает предварительный ход иглы. В процессе впрыскивания, игла распылителя поднимается сначала до уровня предварительного хода h_1 , (0,03...0,06 мм для двигателей с непосредственным впрыском топлива, 0,1 мм для двигателей с разделенными камерами сгорания).

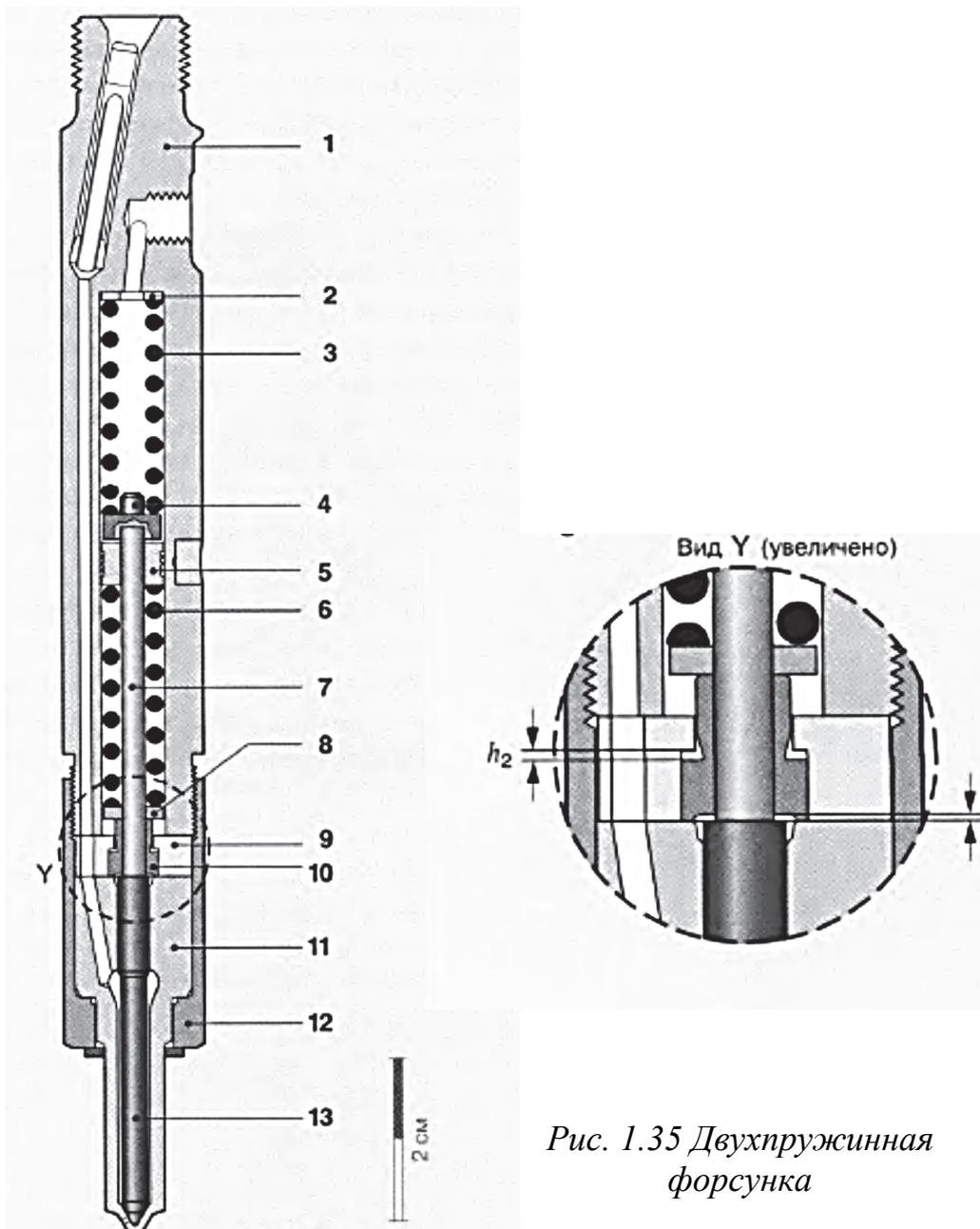


Рис. 1.35 Двухпружинная форсунка

Таким образом, только незначительное количество топлива попадет в камеру сгорания. Если давление в корпусе распылителя будет увеличиваться дальше, опорная втулка 10 поднимается, преодолевая упругость обеих нажимных пружин 3 и 6. Теперь игла распылителя перемещается на полный ход (h_1+h_2 , 0,2...0,4 мм) так, что впрыскивается основное количество топлива.

1.6. Распылители форсунок

Распылитель впрыскивает топливо в камеру сгорания дизеля, существенно влияя как на образование топливовоздушной смеси так и на процесс её сгорания, так и на мощность двигателя, состав ОГ и уровень шума. Распылитель играет важную роль:

1) в формировании процесса впрыскивания, т.е. точном протекании давления и распределении подачи по углу поворота коленчатого вала (закон подачи);

2) в оптимальном распыливании и распределении топлива в камере сгорания;

3) в герметичном разъединении системы питания и камеры сгорания при прекращении подачи.

Из-за своего положения в камере сгорания распылитель постоянно подвергается пульсирующим механическим и тепловым нагрузкам со стороны двигателя и системы впрыска. Проходящее через распылитель топливо одновременно охлаждает его, однако в режиме проворачивания, когда впрыскивание не производится, температура распылителя сильно повышается, поэтому его термостойкость должна соответствовать и этому рабочему режиму.

При использовании систем впрыска с рядными, распределительными и индивидуальными ТНВД распылители с корпусами насос-форсунок устанавливаются на двигателе. В системах насос-форсунок, а также в аккумуляторной системе *Common Rail* распылитель интегрирован в насос-форсунку. Отдельный корпус форсунки в этом случае не требуется.

Для двигателей с разделенными камерами сгорания применяют штифтовые, а при непосредственном впрыске топлива – бесштифтовые распылители. Современные дизели с большей мощностью и пониженным расходом топлива оснащаются только бесштифтовыми распылителями.

Момент открытия распылителя под действием давления топлива, продолжительность и характер процесса впрыскивания определяют, по существу, величину подачи топлива. Если давление снижается, распылитель должен быстро и надежно закрыться. Давление закрытия должно превышать максимальное давление сгорания смеси в камере сгорания

минимум на 40 бар, чтобы предотвратить нежелательные подвпрыски топлива или проникновение газообразных продуктов сгорания в магистраль высокого давления.

Распылитель должен быть согласован с различными параметрами двигателя, такими как:

- процесс сгорания;
- форма камеры сгорания;
- форма и направление факела топлива;
- «пробивная способность» и дисперсность распыливания факела топлива;
- продолжительность впрыскивания;
- величина подачи топлива по градусам угла поворота коленчатого вала.

Стандартизация размеров и параметров деталей систем впрыска при минимуме вариантов отдельных частей позволяет получить необходимую гибкость в их комплектации.

1.6.1. Штифтовые распылители

Штифтовые распылители применяются для двигателей, которые работают по предкамерному или вихрекамерному процессу, т.е. имеют разделенные камеры сгорания. В этих двигателях топливо – воздушная смесь образуется преимущественно за счет энергии воздушного вихря. Форма струи топлива также может влиять на этот процесс. Для двигателей с непосредственным впрыском топлива штифтовые распылители не подходят, так как пики давления не вовремя открыли бы топливу доступ через распылитель в камеру сгорания. Сегодня применяются следующие модификации штифтовых распылителей:

- стандартные;
- дросселирующие;
- с лыской.

Устройство и принцип действия

Устройство всех модификаций штифтовых распылителей практически одинаково. Различие составляет геометрия наконечника штифта 7 (рис. 1.36). В корпусе распылителя сидит игла 3 распылителя.

Она прижимается пружиной и штангой корпуса форсунки с силой F_F и перекрывает, таким образом, выход топлива в камеру сгорания. Поднимающееся давление в камере 5 давит на иглу распылителя через поясок 6 вверх (F_D). Штифт освобождает отверстие 8 распылителя, и топливо впрыскивается (распылитель открыт, давление открытия 110-170 бар). Когда давление падает, распылитель снова закрывается. От-

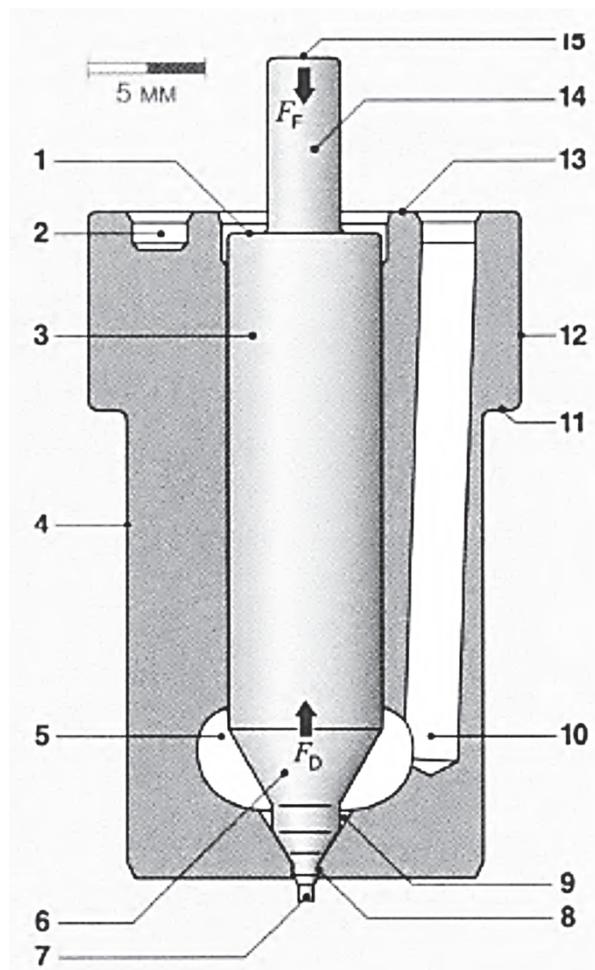


Рис. 1.36. Штифтовой распылитель

крытие и закрытие распылителя регулируются давлением в камере 5 распылителя.

Стандартный штифтовой распылитель Игла 3 распылителя (рис. 1.36) имеет на своем конце штифт 7, который с незначительным зазором движется в отверстии 8 корпуса распылителя. Подбирая размеры и форму штифта, можно изменять форму струи топлива в соответствии с потребностями двигателя.

1.6.2. Дросселирующий штифтовой распылитель

Штифтовой распылитель с особой фигурной формой штифта – это дросселирующий штифтовой распылитель. Контур штифта задает закон впрыскивания. Сначала при открытии игла распылителя освобождает лишь очень тесную кольцевую щель, которая пропускает небольшое количество топлива (действие дросселя).

Когда с увеличением давления топлива игла поднимается выше, поперечное сечение кольцевой щели увеличивается. Только к концу хо-

да иглы в камеру сгорания впрыскивается основная часть топлива. Формирование процесса впрыскивания позволяет реализовать более мягкий процесс сгорания, так как давление в камере сгорания поднимается медленнее. Таким образом, в области частичных нагрузок снижается уровень шума сгорания. Это означает, что форма штифта вместе с кольцевой щелью и характеристикой нажимной пружины в корпусе форсунки задают желаемый режим впрыскивания.

1.6.3. Распылитель с лыской

Штифтовой распылитель с лыской (рис. 1.37) получил свое название из-за плоской шлифованной лыски на штифте, которая при открытии (при незначительном подъеме иглы) освобождает канал для течения топлива, дополняющий кольцевую щель.

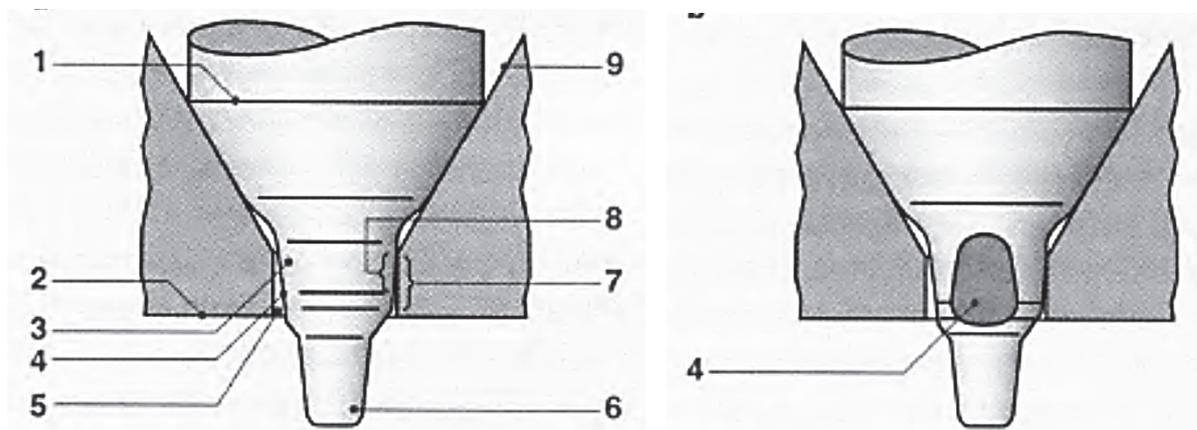


Рис. 1.37. Штифтовой распылитель с лыской (поз.4)

В этой области уменьшаются отложения Из-за повышенного объемного расхода, поэтому штифтовые распылители с лыской коксуются меньше и равномернее. Кольцевая щель между отверстием распылителя и штифтом очень маленькая (< 10 мкм). Шлифованная лыска часто расположена параллельно оси иглы распылителя. С ростом угла наклона шлифовки расход топлива может сильнее увеличиваться на начальной части кривых (рис. 1.38).

Таким образом, получается более мягкий переход расхода топлива до полного открытия форсунки. С помощью специальной формы как радиусной, так и плоской части профиля можно приспособить характеристику расхода под требования конкретного дизеля. Вследствие этого уменьшается уровень шума двигателя на режиме частичных нагрузок и улучшаются ходовые качества автомобиля.

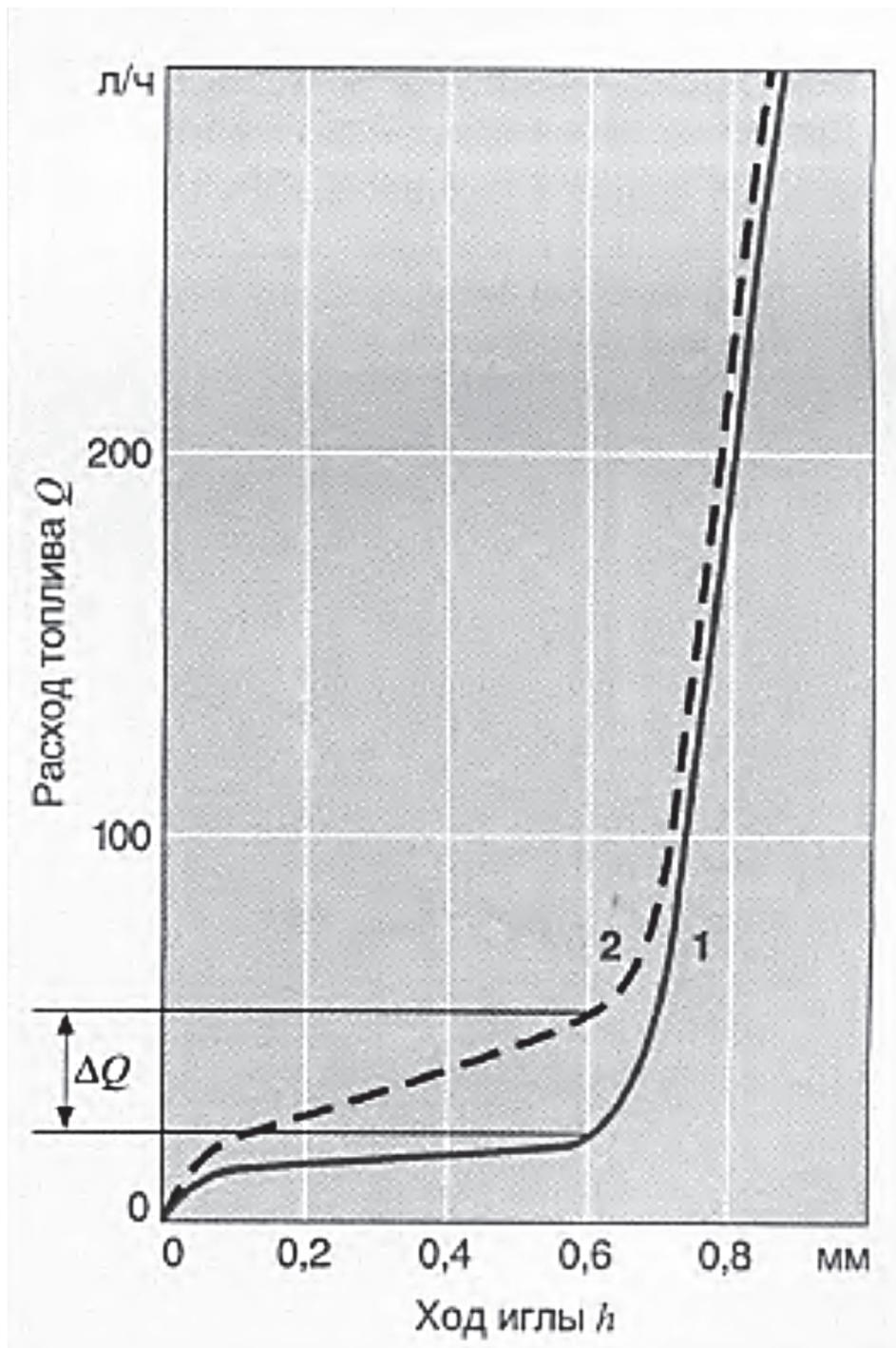


Рис. 1.38. Зависимость расхода топлива от хода иглы распылителя

Теплозащита

Температура более 220°C вызывает сильное закоксовывание форсунки. Борьба с этим помогают теплозащитные втулки 2 или защитные шайбы 3 (рис. 1.39), которые отводят поступающее из камеры сгорания тепло к головке блока цилиндров.

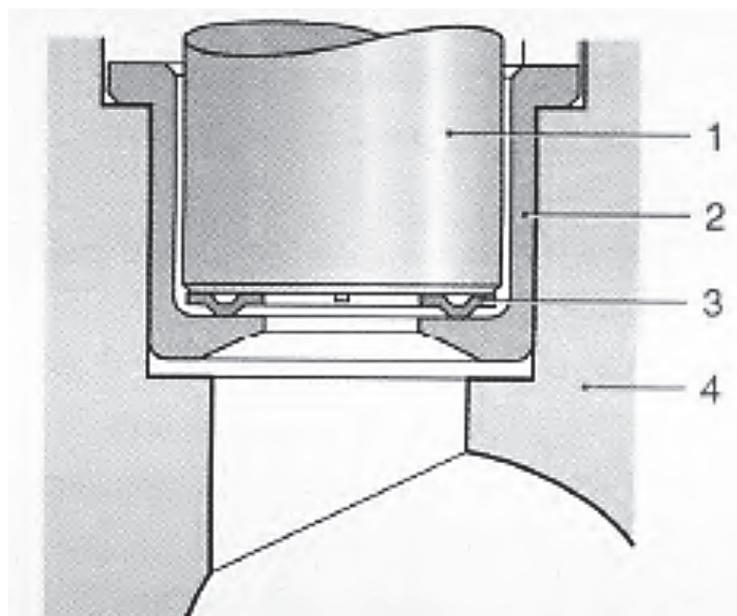
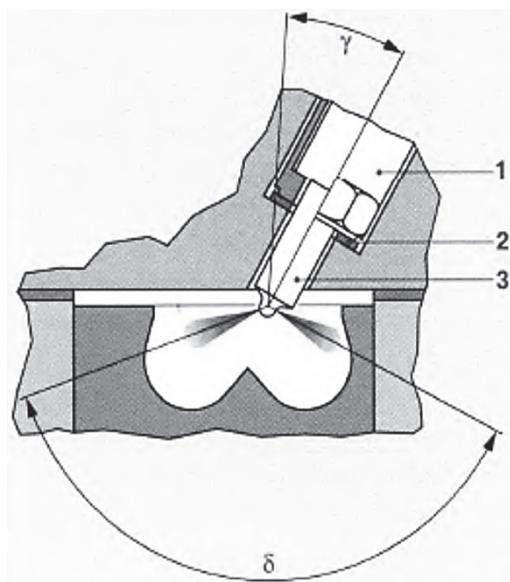


Рис. 1.39. Тепловая защита распылителя форсунки

1.6.4. Бесштифтовые распылители

Бесштифтовые распылители используются на дизелях с непосредственным впрыском топлива. Расположенные под различными углами отверстия распылителя должны быть направлены в камеру сгорания под оптимальными углами (рис. 1.40).



*Рис. 1.40. Расположение бесштифтовой форсунки в камере сгорания
1 – корпус, 2 – уплотнительное кольцо, 3 – распылитель, γ – угол наклона форсунки, δ – угол расположения отверстий распылителя*

Бесштифтовые распылители разделяются на:

- с под игольным объемом;
- с перекрытием отверстий.

Кроме того, бесштифтовые распылители фирмы *Bosch* делятся по величине на:

- 1) тип F с диаметром иглы 4 мм (бесштифтовые распылители с подигольным объемом и перекрытием отверстий);
- 2) тип S с диаметром иглы 5 и 6 мм (бесштифтовые распылители с подигольным объемом для больших двигателей).

В насос-форсунке, равно как и в агрегатах системы *Common Rail*, бесштифтовый распылитель интегрирован в форсунку, одновременно являясь частью ее корпуса.

Давление открытия бесштифтовых распылителей лежит в пределах 150–350 бар.

Устройство

Впрыскивающие отверстия 6 (рис. 1.41) выходят на поверхность вершины распылителя 7. Количество и диаметр отверстий зависят от:

- необходимой величины подачи;
- формы камеры сгорания;
- параметров воздушного вихря в камере сгорания.

Диаметр отверстий внутри распылителя несколько больше, чем снаружи. Это различие влияет на характер дымности. Входные кромки отверстий могут быть скруглены.

В местах с высокими скоростями течения топлива (входы отверстий) кромки скругляются гидроэрозионной обработкой в среде, содержащей абразивные частицы. Такая обработка может применяться для обоих видов бесштифтовых распылителей, при этом ее целью являются:

- 1) оптимизация коэффициента расхода топлива;
- 2) уменьшение износа кромок, который вызывают абразивные частицы в топливе;
- 3) сужение разбросов по производительности.

Параметры распылителя должны быть тщательно согласованы с характеристиками двигателя. При этом учитываются:

- 1) дозирование впрыскивания (продолжительность впрыскивания и закон подачи);
- 2) подготовка топлива (количество и форма факелов, а также распыливание факела топлива);
- 3) распределение топлива в камере сгорания;
- 4) герметизация соединения форсунки и камеры сгорания.

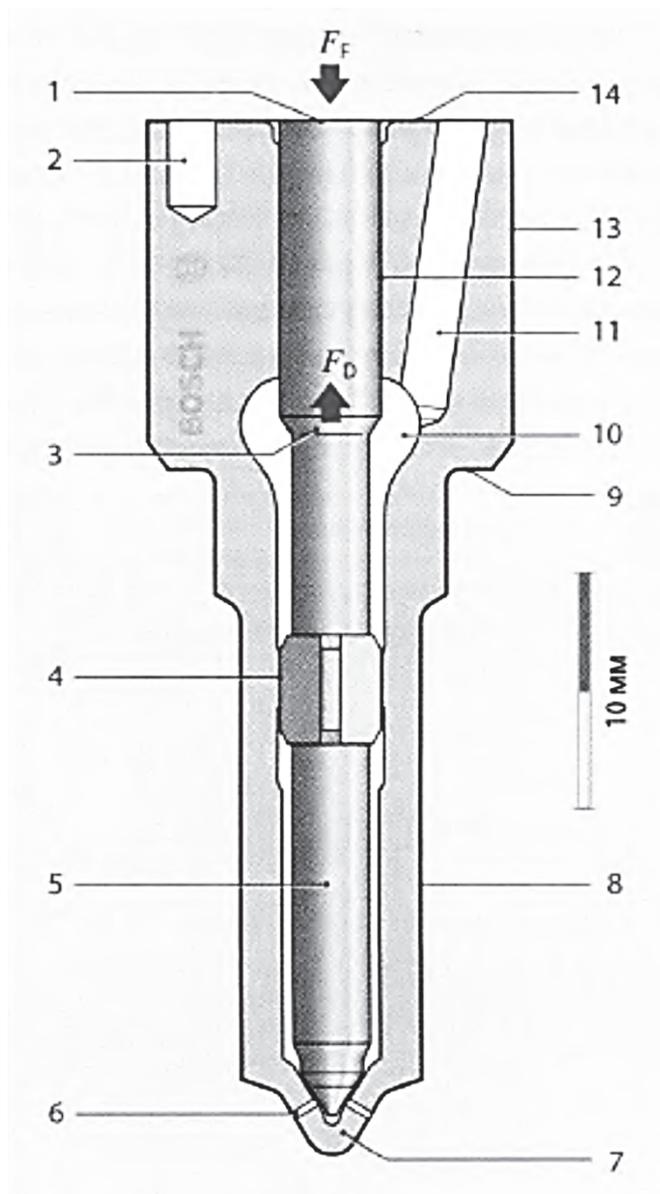


Рис. 1.41. Беситифтовый распылитель с подигольчатым объёмом

Камера 10 высокого давления изготавливается методом электрохимической обработки металла. В обрабатываемый корпус распылителя вводится электрод, который находится в растворе электролита. При этом частицы материала вырываются из электрически положительно заряженного корпуса распылителя (анодное растворение).

Топливо в подигольном объеме (ниже седла иглы распылителя) испаряется после завершения процесса сгорания заряда в камере сгорания и приводит тем самым к существенному повышению уровня выбросов углеводородов. Поэтому важно, чтобы эти объемы (остаточные или вредные) были как можно меньше. Кроме того, геометрия седла иглы и форма вершины распылителя имеют решающее влияние на характери-

стики открытия и закрытия распылителя, что сказывается на уровнях выбросов сажи и оксида азота.

С учетом этих факторов, в зависимости от параметров двигателя и системы впрыска, изготавливают различные модификации распылителей.

Как уже говорилось выше, существуют бесштифтовые распылители с подигольным объемом и перекрытием отверстий.

Бесштифтовый распылитель с подигольным объемом. Такие распылители изготавливаются в разных вариантах и разного размера. Отверстия 6 бесштифтового распылителя расположены по окружности подигольного объема.

Цилиндрические отверстия распылителя в зависимости от технологии обрабатываются механическим или электроэрозионным способом. Конические отверстия изготавливаются в основном электроэрозионной обработкой.

Бесштифтовый распылитель с цилиндрическим глухим отверстием подигольного объема и сферической вершиной (рис. 1.42), который состоит из цилиндрической и полусферической частей, дает большую свободу выбора таких параметров, как число и длина отверстий, а также угол конуса расположения осей отверстий. Вершина распылителя имеет форму полусферы, что вместе с формой глухого отверстия подигольного объема распылителя обеспечивает одинаковую длину отверстий распылителя.

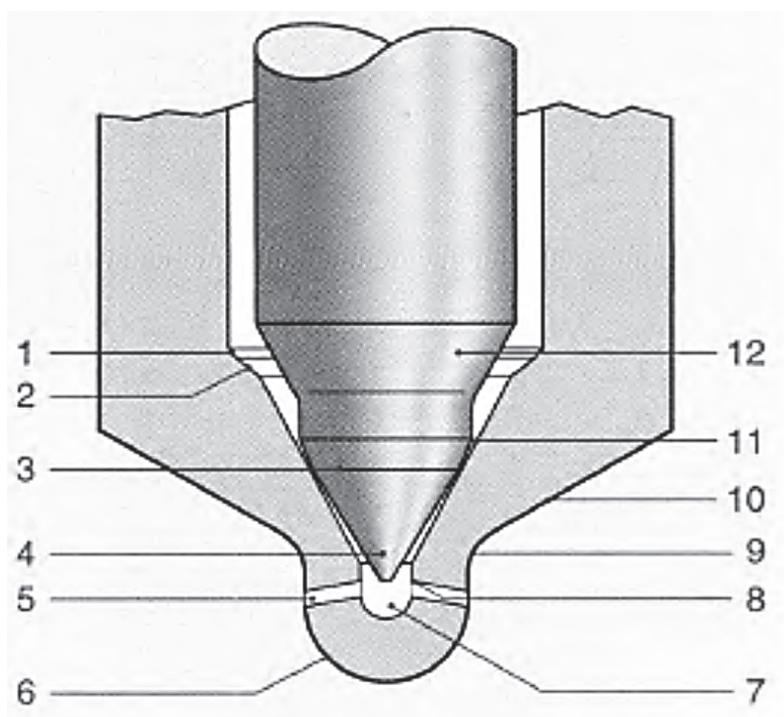


Рис. 1.42. Бесштифтовый распылитель с цилиндрическим подигольным объёмом и полусферической вершиной

Бесштифтовый распылитель с цилиндрическим глухим отверстием подигольного объема и конической вершиной (рис. 1.43 *а*) имеет длину соплового отверстия от 0,6 мм. Применение конической формы вершины повышает ее прочность из за увеличения толщины стенки между радиусом 3 галтели и седла 4 корпуса распылителя.

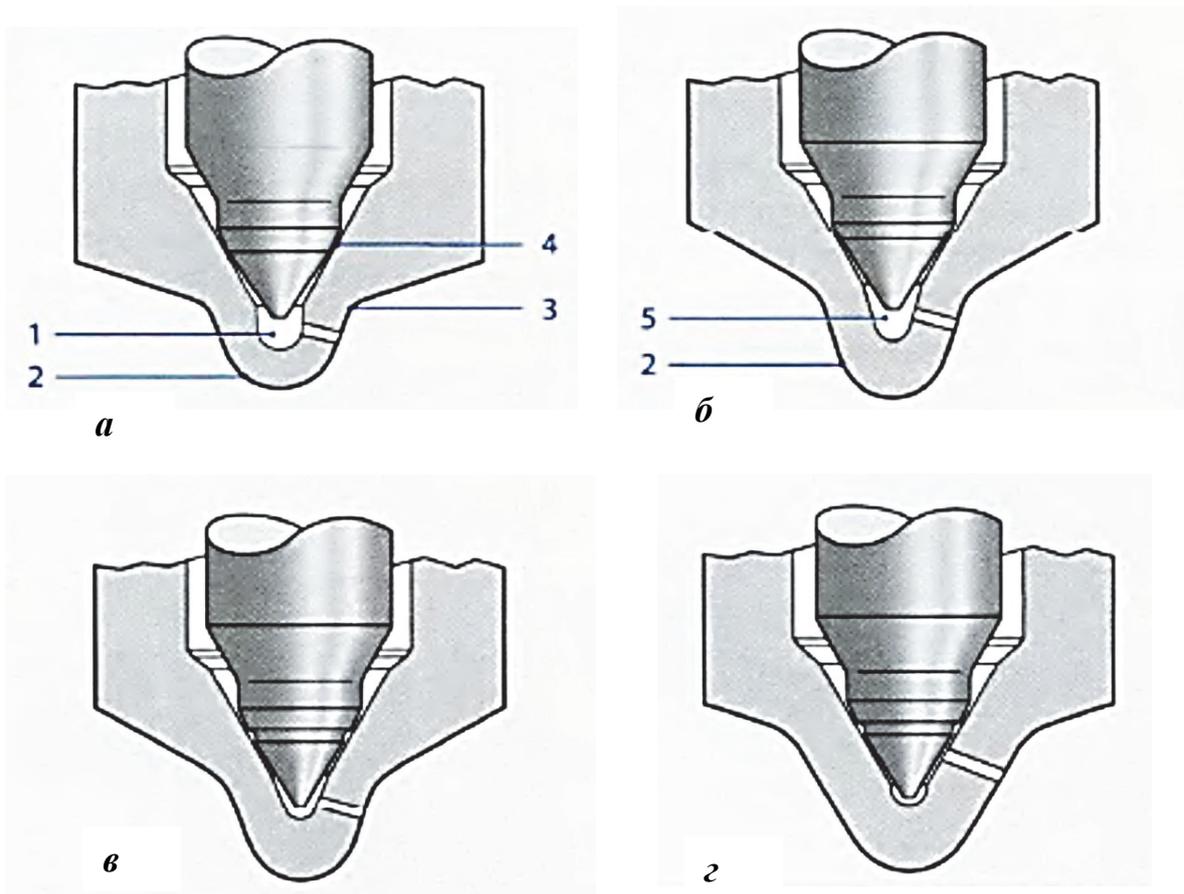


Рис.1.43. Виды бесштифтовых распылителей

Бесштифтовый распылитель с коническим глухим отверстием подигольного объема и конической вершиной (рис. 1.43 *б*) имеет меньший остаточный объем, чем распылитель с цилиндрическим отверстием. Этот остаточный объем по величине находится между объемами бесштифтового распылителя с отверстиями на посадочной поверхности и бесштифтового распылителя с цилиндрическим глухим отверстием подигольного объема. Для того чтобы получить равномерную толщину стенки вершины, последняя выполнена с эквидистантной коническому глухому отверстию подигольного объема наружной поверхностью.

Более совершенной с модификацией является бесштифтовый распылитель подигольным микрообъемом (рис. 1.43 *в*). Остаточный объем сокращен приблизительно на 30 % по отношению к обычному бесштиф-

товому распылителю. Распылитель с подигольным микрообъемом особенно хорошо сочетается с системой *Common Rail*, которая характеризуется относительно медленным подъемом иглы и вместе с тем сравнительно длительным дросселированием при открытии. Такой распылитель для системы *Common Rail* представляет собой самый хороший компромисс между незначительным остаточным объемом и равномерным распределением топливных факелов.

Бесштифтовый распылитель с перекрытием отверстий. Для того чтобы минимизировать остаточные объемы и вместе с ними уровень выбросов СН, входы отверстий распылителя располагаются на седле корпуса. При закрытом распылителе его игла перекрывает отверстия так, что непосредственная связь между подигольным объемом и камерой сгорания прекращается (рис. 1.43 з). Бесштифтовые распылители с отверстиями на седле имеют низкий предел нагрузки и поэтому изготавливаются с длиной отверстия распылителя от 1 мм. Форма вершины распылителя коническая. Отверстия распылителя обрабатываются в основном электроэрозионным способом.

Специальная форма отверстий распылителя, двойная направляющая иглы или сложная геометрия носка иглы дополнительно улучшают в распылителях с сопловыми отверстиями на седле распределение факелов топлива и образование смеси.

Теплозащита

У бесштифтовых распылителей верхняя граница температур лежит на уровне 300 °С (такова термостойкость материала). Для особенно тяжелых условий работы применяются защитные гильзы, а на крупных дизелях используются даже охлаждаемые форсунки.

1.6.5. Влияние геометрии распылителя на уровень выбросов вредных веществ

Геометрия распылителя оказывает влияние на уровень выбросов вредных веществ следующим образом:

- форма 1 отверстия распылителя (рис. 1.44) влияет на содержание твердых частиц и уровень эмиссии оксида азота;
- форма 2 седла влияет на уровень шума работы дизеля, поскольку от неё зависит количество топлива, подаваемого в начале впрыскивания.

При оптимизации формы отверстий распылителя и седла основной целью является создание надежной конструкции, технология изготовления которой обеспечивает наименьшие допуски размеров.

Форма 3 глухого отверстия подигольного объема влияет, как уже упоминалось, на уровень эмиссии СН. Из вариантов распылителей кон-

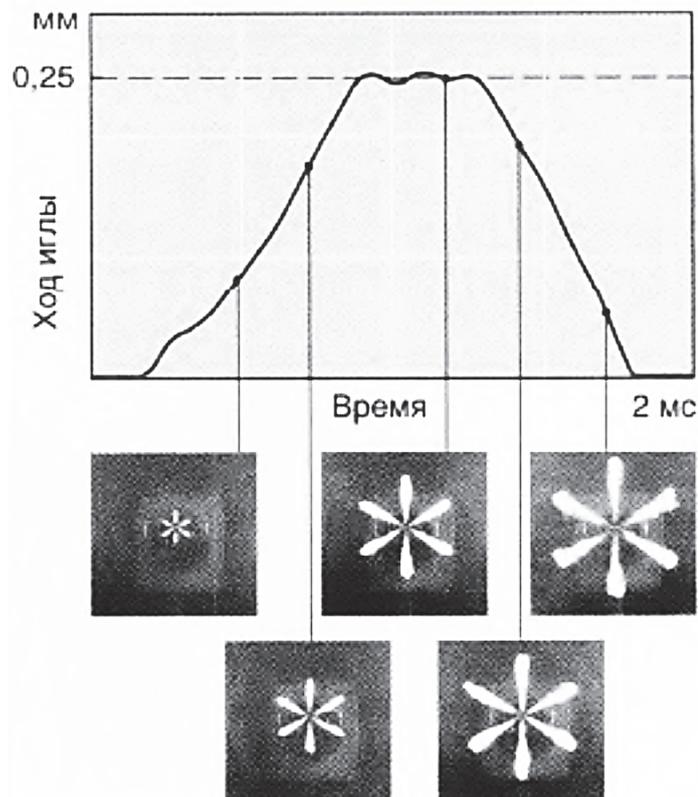


Рис. 1.44. Процесс впрыска топлива

структор может выбирать оптимальное сочетание параметров для конкретного автомобиля.

Очень важно, чтобы распылители точно соответствовали параметрам двигателя и системы впрыска. На станциях технического обслуживания, чтобы не ухудшать мощность дизеля и уровень эмиссии ОГ, должны использоваться только оригинальные запасные части.

Формы факелов топлива

Факел топлива, попадающего из распылителя в камеру сгорания, на дизелях легковых автомобилей имеет длинную и тонкую форму, поскольку в этих двигателях происходит сильное вихреобразование. На дизелях грузовых автомобилей, наоборот, вихрь в камере сгорания слабый, поэтому факел короткий и объемный. Факелы топлива при любых условиях не должны пересекаться, иначе смесеобразование будет происходить там, где сгорание уже произошло, и воздуха будет недостаточно. В результате, возможно образование излишнего количества сажи.

Бесштифтовые распылители для легковых автомобилей имеют до шести, а для грузовых – до десяти сопловых отверстий. Целью совершенствования конструкции распылителей является увеличение числа отверстий с одновременным уменьшением их диаметра ($< 0,12$ мм), чтобы обеспечить как можно более тонкое распыливание топлива (рис. 1.45).

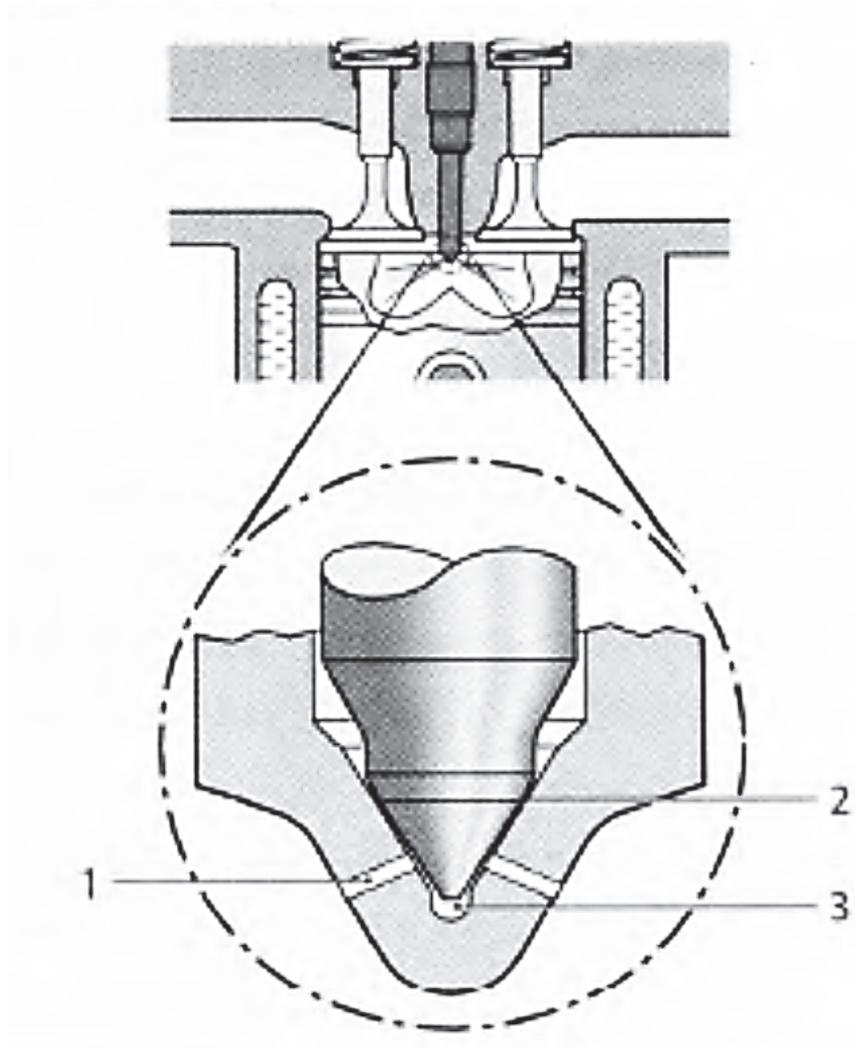


Рис. 1.45. Элементы геометрии распылителя

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите требования к топливным системам.
2. Классификация топливных систем дизелей.
3. Направления совершенствования и перспективы развития топливоподающей аппаратуры
4. Система питания дизелей топливом. Назначение, основных элементов.
5. Топливные баки, магистрали низкого давления дизелей. Требования, устройство и техническое обслуживание.
6. Фильтры грубой и тонкой очистки топлива. Устройство, принцип действия, возможность их промывки на двигателе.
7. Ручной топливный насос назначение устройство.
8. Топливные насосы низкого давления. Назначение, классификация.
9. Электронасос устройство, принцип действия, возможные неисправности.
10. Шестеренный насос, принцип действия, возможные неисправности.
11. Роторный и сдвоенный насос принцип действия.
12. Распределительная рампа, редукционный клапан низкого давления, радиатор системы охлаждения топлива.
13. Гидроэлектрический переключатель аварийной остановки двигателя.
14. Система питания дизелей воздухом. Назначение, основных элементов.
15. Виды загрязнений воздуха. Воздушные фильтры. Типы, устройство, принцип действия.
16. Наддув воздуха как средство повышения мощности. Принципы наддува. Виды нагнетателей.
17. Нагнетатель с изменяемой геометрией турбины.
18. Нагнетатель с дросселированием турбины.
19. Преимущества и недостатки турбокомпрессоров.
20. Уплотнения у турбинного и компрессорного колес ТКР. Устройство, причины отказов и возможные последствия.
21. Механические нагнетатели. Виды нагнетателей. Регулирование давления наддува.
22. Преимущества и недостатки механического наддува. Многоступенчатый наддув.
23. Охлаждение наддувочного воздуха. Рециркуляция отработавших газов.
24. Форсунки впрыска топлива в цилиндр ДВС. Типы, устройство.
25. Однопружинная форсунка. Принцип действия.
26. Ступенчатая форсунка. Принцип действия.

27. Двухпружинная форсунка. Принцип действия.
28. Виды распылителей форсунок, требования предъявляемые к ним.
29. Виды штифтовых распылителей, их теплозащита.
30. Бесштифтовые распылители. Типы, устройство, влияние на уровень выбросов вредных веществ.
31. Требования к формам факелов распыливания топлива.
32. Удаление воздуха из агрегатов системы питания топливом. Конструкция устройств и размещение в системах.
33. Как определить неисправную форсунку или секцию ТНВД на двигателе?
34. В чем заключается техническое обслуживание системы питания топливом ДВС?
35. В чем заключается техническое обслуживание системы питания воздухом ДВС?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белявцев, А.В. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: конструктивные особенности и эксплуатация / Белявцев А.В., Процеров А.С. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 223 с.

2. Бурлаев, Ю.В. Устройство, обслуживание и ремонт топливной аппаратуры автомобилей: учебник для средних ПТУ/ Бурлаев Ю.В., Мартиров О.А., Кленников Е.В. – М.: Высшая школа, 1987. – 288 с.

3. Двигатель TDI 2,0 л с системой впрыска *Common Rail*. Устройство и принцип работы: программа самообучения. – Service Training, 2010. – 67 с.

4. Голубков, Л.Н. Топливные насосы высокого давления распределительного типа: учебное пособие / Голубков Л.Н., Савистенко А.А., Эмиль М.В. – М.: Легион-Автодата, 2000. – 176 с.

5. Грехов, Л.В. Топливная аппаратура: Учебник для вузов / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с.

6. Дудкин, В.И. Пути совершенствования системы питания дизельного двигателя / Дудкин В.И., Янкин Е.М. // Известия Алтайского государственного университета. – 2002. – № 1. – С. 112–115.

7. Иванов, А.С. Система питания дизельного двигателя / А.С. Иванов // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2015. – № 3 (29). – С. 94–99.

8. Исследование тракторных дизелей при работе на дизельных смешанных топливах и разработка экспериментальных топливных систем // Инновационные разработки по агроинженерии: каталог / А.П. Уханов [и др.]. – М.: Росинформагротех. – 2012. – С. 92–95.

9. Крохотин, Ю.М. Системы питания дизелей: допущено УМО по образованию в области лесного дела в качестве учебного пособия для студентов вузов / Ю.М. Крохотин. – Воронеж, 1999. – 333 с.

10. Макушев, Ю.П. Системы питания дизельных двигателей: учебно-практическое пособие / Макушев, Ю.П., Кавыев А.М. – Омск: СИБАДИ, 2007. – 40 с.

11. Неговора, А.В. Специализированное устройство для исследования закона подачи топлива в системах питания дизелей / Неговора А.В., Низамутдинов А.И., Хакимов Р.Т. // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2014. – № 3 (29). – С. 11–13.

12. Неговора, А.В. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: учебно-практическое пособие / А.В. Неговора. – Уфа, 2006. – 150 с.

13. Паньчев, А.П. Устройство и принцип работы системы питания дизельного двигателя автомобиля «тойота corsa» / А.П. Паньчев, А.П. Пупышев, А.Н. Калимулин, Г.О. Монастырев. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. – 11 с.

14. Позин, Б.М. Тяговая характеристика трактора (основы теории и расчет): учебное пособие / Б.М. Позин, И.П. Трояновская. – Челябинск: ЮУрГУ, 2016. – 84 с.
15. Прокофьев, Д.В. Система питания дизеля со встроенной диагностикой / Прокофьев Д.В., Цурихин А.В. // Современная техника и технологии. – 2015. – № 4 (44). – С. 12–15.
16. Салова, Т.Ю. Разработка систем снижения вредных выбросов на неустановившихся режимах работы двигателей внутреннего сгорания / Салова Т.Ю., Усачев Н.А. // Известия Международной академии аграрного образования. – 2015. – № 21. – С. 28–31.
17. Свистула, А.Е. Метод гидродинамического расчёта комбинированной системы питания дизельного двигателя / А.Е. Свистула, М.И. Мыслик // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сборник статей Российская Академия транспорта. – Барнаул: АлГТУ, 2010. – С. 67–73.
18. Системы управления дизельными двигателями (перевод с немецкого). – М.: За рулем, 2004. – 480 с.
19. Уханов, А.П. Дизельное смесевое топливо: проблемы и инновационные разработки / Уханов А.П., Уханов Д.А., Адгамов И.Ф. // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – Т. 1. – № 2. – С. 46–51.
20. Файнлейб, Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: справочник / Б.Н. Файнлейб. – Л.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
21. Хорош, А.И. Дизельные двигатели транспортных и технологических машин / А.И. Хорош, И.А. Хорош – М.: Лань, 2012. – 704 с.
22. Хохлова, Е.А. Модернизация системы питания дизельного двигателя для работы на дизельном смесевом топливе / Хохлова Е.А., Хохлов А.А. // Молодежь и наука XXI века: материалы аграрного форума «Наука, инновации и международное сотрудничество молодых ученых». – 2014. – С. 208–213.
23. <http://www.zao-bmz.ru> (сайт Белгородского моторного завода).
24. <http://avtodizel.gazgroup.ru/> (Автодизель – сайт Ярославского моторного завода).

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ.....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП РАБОТЫ СИСТЕМ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЯ.....	5
1.1. Требования к топливным системам и их классификация.....	5
1.2. Направления совершенствования и перспективы развития топливоподающей аппаратуры.....	8
1.2.1. Оптимизация рабочего процесса и топливной подачи.....	8
1.2.2. Повышение давления впрыскивания.....	9
1.2.3. Электронное управление топливоподачей.....	10
1.2.4. Управление характеристикой впрыскивания.....	11
1.2.5. Управление углом опережения впрыскивания.....	12
1.2.6. Разработка аккумуляторных систем (<i>Common Rail</i>).....	12
1.2.7. Подача альтернативных топлив.....	13
1.2.8. Обеспечение стабильности впрыскивания и малых цикловых подач.....	13
1.2.9. Быстрое завершение впрыскивания.....	13
1.3. Общие схемы систем питания дизелей топливом.....	14
1.3.1. Топливный бак.....	15
1.3.2. Топливные магистрали низкого давления.....	15
1.3.3. Топливные фильтры.....	15
1.3.4. Влагоотделители.....	17
1.3.5. Система предварительного нагрева топлива.....	17
1.3.6. Топливоподкачивающий насос.....	17
1.3.7. Распределительная рампа.....	21
1.3.8. Редукционный клапан низкого давления.....	21
1.3.9. Радиатор системы охлаждения топлива.....	22
1.3.10. Гидроэлектрический переключатель аварийной остановки двигателя.....	23
1.4. Общие схемы систем питания дизелей воздухом.....	24
1.4.1. Воздушный фильтр.....	25
1.4.2. Заслонка регулирования завихрения свежего заряда.....	29
1.4.3. Наддув воздуха.....	30
1.4.4. Турбонаддув.....	31
1.4.5. Механический наддув.....	39

1.4.6. Охлаждение наддувочного воздуха.....	44
1.4.7. Рециркуляция отработанных газов.....	45
1.5. Форсунки впрыска топлива в цилиндр ДВС.....	46
1.5.1. Стандартный корпус форсунки.....	48
1.5.2. Ступенчатый корпус форсунки.....	51
1.5.3. Двух пружинный корпус форсунки.....	52
1.6. Распылители форсунок.....	54
1.6.1. Штифтовые распылители.....	55
1.6.2. Дросселирующий штифтовый распылитель.....	56
1.6.3. Распылитель с лыской.....	57
1.6.4. Бесштифтовые распылители.....	59
1.6.5. Влияние геометрии распылителя на уровень выбросов вредных веществ.....	64
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	67
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	69

Техн. редактор *А.В. Миних*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 06.02.2017. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 4,18. Тираж 50 экз. Заказ 23/67.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76