

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

УСТРОЙСТВО И РАБОТА ПОРШНЕВЫХ ДВС

Учебное пособие



Владимир 2020

УДК 621.432
ББК 31.365
У82

Авторы-составители: В. М. Басуров, В. С. Клевцов

Рецензенты:

Доктор технических наук
специалист по сертификации АО «Камешковский механический завод»
А. Р. Кульчицкий

Кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры машиностроения Ковровской государственной
технологической академии имени В. А. Дегтярева
С. И. Потапов

Устройство и работа поршневых ДВС : учеб. пособие /
У82 авт.-сост.: В. М. Басуров, В. С. Клевцов ; Владим. гос. ун-т им.
А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2020. – 131 с.
ISBN 978-5-9984-0947-9

Даны необходимые теоретические понятия о работе бензиновых и дизельных двигателей, рассмотрены конструкция блоков, цилиндров, поршней в сборе, коленчатых валов, конструкции механизма газораспределения, системы охлаждения, смазки, а также элементы систем топливоподачи дизелей и бензиновых двигателей. Издание способствует более глубокому закреплению теоретического материала, приобретению практических навыков и самостоятельному решению инженерно-конструкторских вопросов при работе с современными двигателями.

Предназначено для студентов направлений 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов; 13.03.03 – Энергетическое машиностроение.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Ил. 73. Библиогр.: 7 назв.

ISBN 978-5-9984-0947-9

УДК 621.432
ББК 31.365

© ВлГУ, 2020

© Басуров В. М., Клевцов В. С., 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Краткая история двигателестроения	5
1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДВС	9
1.1. Основные понятия и определения	9
1.2. Индикаторная работа и индикаторная мощность	14
1.3. Среднее эффективное давление и эффективная мощность	16
1.4. Силы, действующие в КШМ	16
2. КОРПУСНЫЕ ДЕТАЛИ. ЦИЛИНДРОПОРШНЕВАЯ ГРУППА... ..	18
2.1. Блоки цилиндров	18
2.2. Головки цилиндров	22
2.3. Поршень.....	26
2.4. Поршневые кольца	31
2.5. Поршневой палец	34
3. КРИВОШИПНО-ШАТУННЫЙ МЕХАНИЗМ (КШМ)	36
3.1. Шатун.....	36
4. КОЛЕНЧАТЫЙ ВАЛ.....	41
5. МАХОВИК.....	46
6. МЕХАНИЗМ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ (МГР).....	48
6.1. Классификация механизмов газораспределения	48
6.2. Особенности конструкции МГР	51
6.3. Приводы распределительных валов	57
6.4. Диаграмма фаз газораспределения	60
6.5. Регулировка тепловых зазоров.....	61

7. СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ.....	64
7.1. Назначение и принцип действия систем охлаждения	64
7.2. Конструкция приборов системы жидкостного охлаждения.....	70
7.3. Интеллектуальная система охлаждения.....	76
8. СИСТЕМА СМАЗКИ.....	78
8.1. Назначение и принцип работы системы смазки	78
8.2. Конструкция приборов системы смазки	80
8.3. Система вентиляции картера.....	87
9. Система питания дизеля	92
9.1. Особенности смесеобразования в дизелях	92
9.2. Приборы и механизмы системы питания дизеля.....	96
10. СИСТЕМЫ ВПРЫСКИВАНИЯ ЛЁГКОГО ТОПЛИВА	111
10.1. Впрыск лёгкого топлива во впускной трубопровод.....	111
10.2. Электромагнитные форсунки.....	114
10.3. Виды впрыскивания лёгкого топлива	116
10.4. Дополнительная обработка ОГ	119
10.5. Аккумулятор топлива	120
10.6. Насосы высокого давления для впрыска лёгкого топлива	120
10.7. Форсунки для непосредственного впрыска лёгкого топлива... ..	122
10.8. Управление форсункой высокого давления	123
11. СИСТЕМА ВПРЫСКИВАНИЯ В ДИЗЕЛЬ COMMONRAIL	123
11.1. Электромагнитная форсунка с пьезоэлементом	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	129
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	130

ВВЕДЕНИЕ

Краткая история двигателестроения

Тепловой двигатель следует рассматривать, прежде всего, как термодинамическую систему, предназначенную для преобразования некоторой части тепловой энергии в механическую работу. Степень совершенства двигателя оценивается величиной этой “некоторой части”. История двигателестроения – это постоянное стремление к увеличению доли теплоты, превращаемой в полезную работу путем совершенствования термодинамических циклов тепловых двигателей.

Первый тепловой паровой двигатель был создан в 1765 г. гениальным русским самоучкой Ильёй Ползуновым, а в 1785 г. его изобретение повторил англичанин Джеймс Уатт. Паровые двигатели революционно изменили жизнь людей, впервые появилась возможность массового производства с применением энергии машин вместо мускульной силы человека, началось бурное развитие механического транспорта. В 1803 г. Роберт Фултон построил первый пароход. Первые автомобили также были с паровыми двигателями, оставив, как историческую метку слово «lechauffeure – шофёр», что в переводе с французского означает «шофёр, кочегар».

Однако, паровые двигатели вследствие неэффективности самого процесса преобразования теплоты в механическую работу (7...10%) позволяли полезно использовать примерно мешок угля из тонны. Низкая эффективность паровых машин побудила творческие умы того времени искать более совершенные устройства.

В 1816 г. шотландский пастор Роберт Стирлинг построил поршневой газовый двигатель с внешним подводом теплоты. Согласно каталогу немецких фирм за 1885 г., один из двигателей Стирлинга развивал мощность 2 л.с., имел массу 1400 кг (с фундаментом) и объем 21м³. Двигатель напоминал комбинацию русской печи и механизма для превращения возвратно-поступательного движения поршней во вращательное движение вала. К сожалению, основные положительные свойства двигателя такого типа были выявлены лишь в середине двадцатого века. Как оказалось, двигатель отличается потенциально

высокой экономичностью, малым уровнем выброса токсичных компонентов с отработавшими газами, бесшумностью, универсальностью источников теплоты и другими положительными свойствами.

Тем не менее, продолжался поиск способов превращения теплоты в работу более эффективных, чем в паровых двигателях, а изобретение Р.Стирлинга было забыто более, чем на 100 лет.

Человечество отдало предпочтение двигателям внутреннего сгорания (ДВС), где топливо сжигается непосредственно в цилиндрах. Создание ДВС стало возможным благодаря важнейшим открытиям в области математики, механики, теплотехники, химии и др. наук в середине девятнадцатого века. Коши и Лагранж заложили основы дифференциального и интегрального исчисления; Клаузиус, Кельвин, Карно обосновали кинетическую теорию теплоты; Ломоносов, Майер, Гельмгольц открыли закон сохранения энергии; самоучка Фарадей и давший его открытиям математическое обобщение Максвелл, создали основу развития электротехники, Менделеев построил периодическую систему химических элементов.

Эра ДВС началась в 1860 г., когда французский инженер (Le-noire) Лемуар построил первый газовый двухтактный ДВС, работавший на светильном газе с воспламенением от электрической искры. В 1867 г. немецкие инженеры Ланген и Отто создали четырехтактный ДВС, а в 1876 г. Н. Отто сконструировал четырехтактный ДВС, также работавший на газе, который и стал прототипом современных ДВС с принудительным воспламенением горючей смеси. Этот двигатель расходовал газа в два раза меньше, чем двигатель Лемуара. Изобретатели первых ДВС и не предполагали, что в дальнейшем ДВС будут работать на драгоценных продуктах переработки нефти. В свое время Д. И. Менделеев заметил, что топить нефтью, это все равно, что топить ассигнациями.

Следует отметить, что первые ДВС по массово-габаритным показателям мало отличались от первых двигателей Стирлинга: в 1886 г. ДВС Бенца развивал мощность 0,65 кВт, имея рабочий объем цилиндра около 1л; в 1889 г. ДВС Даймлера мощностью 1,2 кВт имел рабочий объем цилиндра 0,57 л.

Получившие широкое распространение, в основном за счет автомобилизации, двигатели, работающие по циклу Н. Отто, до сих пор отличаются низкой экономичностью, в них лишь 28...30% теплоты,

полученной от сгорания бензина, превращается в полезную работу (используется стакан от литра бензина), что соответствует расходу топлива 200...290 г/(кВт·ч) и выше.

Важным этапом в развитии ДВС стало изобретение немецким инженером Рудольфом Дизелем в 1893 г. двигателя внутреннего сгорания с воспламенением горючей смеси от сжатия. Такой двигатель, работавший на керосине, Р. Дизель построил в 1897 г. В сравнении с современным уровнем этот двигатель, как и первые двигатели Стирлинга и Н. Отто по массово-габаритным показателям был далек от совершенства - масса двигателя мощностью 1кВт составляла 330 кг. Главное преимущество предложенного Р.Дизелем термодинамического цикла - его высокая экономичность. В дальнейшем, цикл Р. Дизеля был усовершенствован русским инженером Тринклером, по которому работают все современные дизели. Двигатели с самовоспламенением топлива вследствие высокой температуры, получаемой в процессе сжатия воздуха, называют дизелями. Преимущества таких двигателей стали видны сразу же после изготовления первых образцов. В 1899 г. в С.-Петербурге построен первый русский дизель. Он расходовал 300 г/(кВт·ч) сырой нефти, то есть почти столько же, сколько и сейчас (через 100 лет) расходуют дорогостоящего бензина ДВС с искровым зажиганием. На современных дизелях в полезную работу превращается до 46% теплоты, полученной от сгорания дизельного топлива.

Существенно увеличивается эффективность ДВС с применением систем газотурбинного наддува, в которых энергия отработавших газов используется для привода газотурбинного нагнетателя, подающего в цилиндры двигате-

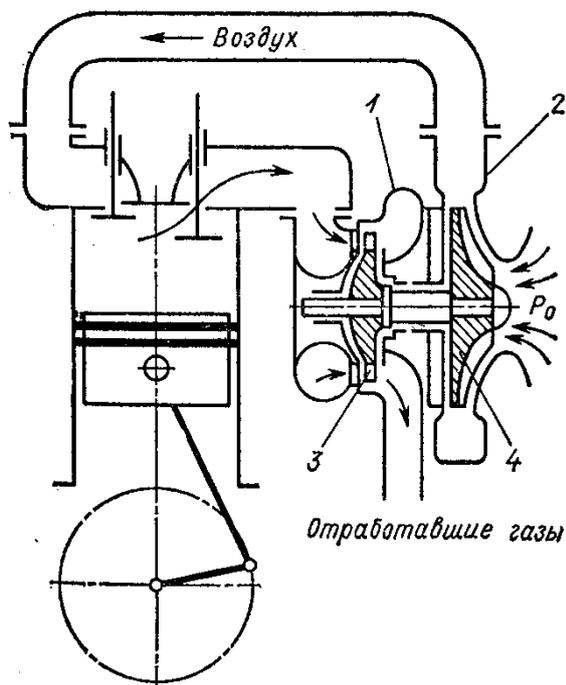


Рис. 1. Схема газотурбинного наддува:
1 – газовая турбина; 2 – центробежный компрессор; 3 – ротор турбины; 4 – ротор компрессора

ля воздух под повышенным давлением, что позволяет сжечь топлива в большем количестве и тем самым увеличить мощность без изменения размеров цилиндров (рис. 1). Самое совершенное использование энергии отработавших газов достигается в так называемых турбокомпаундных дизелях, где газы после турбины газотурбинного нагнетателя направляются на силовую турбину, которая через редуктор передает энергию на вал двигателя. Именно такие конструкции позволили довести использование теплоты до 46%.

К недостаткам ДВС следует отнести повышенный расход топлива (бензиновые двигатели), шум и вибрации; токсичность отработавших газов (тоже бензиновых двигателей), по разным источникам от 60 до 80% отравляющих веществ поступает в атмосферу от ДВС. Серьезным недостатком является неудачная характеристика крутящего момента. Все типы ДВС развивают наибольший крутящий момент раньше, чем наибольшую мощность (по частоте вращения коленчатого вала), а для транспортных средств необходимо располагать наибольшим моментом в начале движения, а наименьшим - при максимальной скорости. Таких типов двигателей пока три: паровой, электрический постоянного тока и газотурбинный с отдельными валами газовой и силовой турбин. Крутящий момент ДВС преобразуется в трансмиссии, дорогостоящей и имеющей большую массу.

Серьезные научные исследования рабочих процессов, протекающих в ДВС, начатые профессором МВТУ В.И. Гриневецким в 1906 году, продолжающиеся непрерывно почти сто лет, позволили существенно увеличить эффективность двигателей и улучшить их экологические свойства - уменьшить токсичность нейтрализацией отработавших газов, снизить уровень шума и вибраций. Одним из важнейших направлений совершенствования ДВС стало электронное управление современными двигателями. Достигнутый уровень совершенства ДВС позволяет утверждать, что они останутся основой мобильной энергетики на ближайшие десятилетия.

1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДВС

1.1. Основные понятия и определения

Принцип действия практически всех тепловых двигателей (за исключением паровых) одинаков: в цилиндре сжимается холодное рабочее тело (бензо-воздушная смесь или воздух); в результате чего температура его резко повышается, сгорает принудительно (бензиновые ДВС) или за счёт самовоспламенения (дизели), расширяется, совершая полезную работу, а затем следует отвод теплоты в окружающую среду. Процессы, происходящие в цилиндре, наглядно описываются так называемой индикаторной диаграммой, представляющей графическую зависимость изменения давления над поршнем в зависимости от объема цилиндра или хода поршня (рис.2). Название диаграммы происходит от наименования прибора - индикатора, регистрирующего указанную зависимость при испытаниях двигателя на испытательных стендах. (Если она получена расчётным путём, то её правильнее называть расчётно-теоретической). Характерные точки диаграммы принято обозначать строго определенными буквами латинского алфавита: а, с, z, б, г. Реализация рабочего цикла, изображенного на индикаторной диаграмме, осуществляется при перемещении поршня в цилиндре из одного крайнего положения в другое (рис.2).

Крайние положения поршня называют, соответственно, верхней мертвой точкой (ВМТ) и нижней мертвой точкой (НМТ); ход поршня от одной мертвой точки к другой - рабочим ходом поршня (S); процесс, происходящий в цилиндре за рабочий ход - тактом. Важным показателем рабочего цикла является геометрическая степень сжатия ϵ - отношение полного объема цилиндра V_a к объему камеры сгорания V_c .

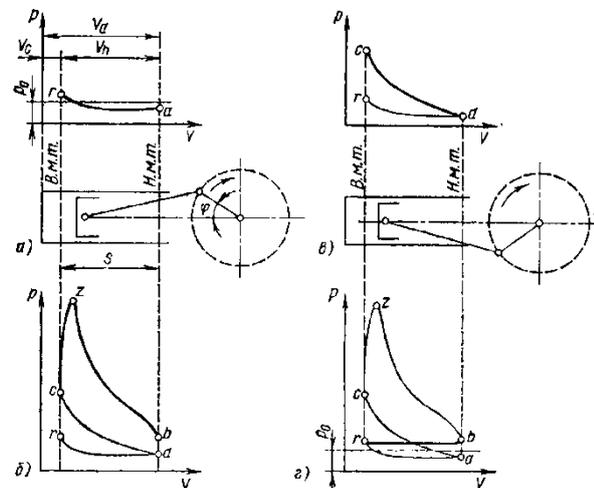


Рис. 2. Индикаторная диаграмма:
а – впуск; б – сжатие; в – сгорание и расширение; г – выпуск

Рабочий цикл представляет собой совокупность тактов, происходящих в цилиндре в определенной последовательности. Работа двигателя осуществляется путем непрерывного повторения рабочих циклов в каждом цилиндре.

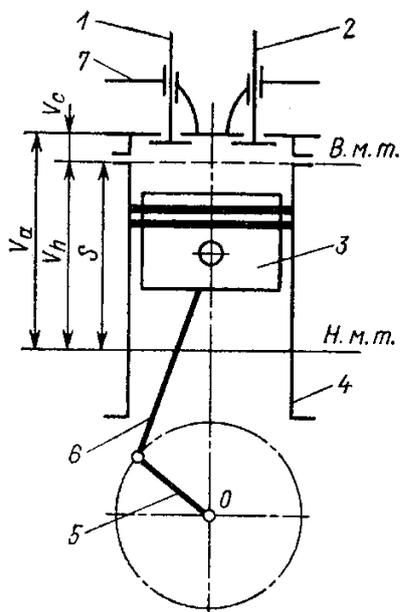


Рис. 3. Схема ДВС и его основные геометрические параметры:

1 – впускной клапан; 2 – выпускной клапан; 3 – поршень; 4 – цилиндр; 5 – кривошип; 6 – шатун; 7 – головка цилиндра

В каждом рабочем цикле в цилиндре сжигается определённая порция горючей смеси. В бензиновых двигателях горючая смесь необходимого состава приготавливается вне цилиндра, в карбюраторе, а так же при впрыске во впускном трубопроводе или в камере сгорания; в дизелях - внутри цилиндра. Состав смеси характеризуется коэффициентом избытка воздуха α , определяемым как отношение действительного количества воздуха в горючей смеси, приходящегося на 1 кг топлива, к теоретически необходимому для обеспечения стехиометрического состава. Для сжигания 1 кг бензина требуется около 14,5... 15,0 кг воздуха, примерно такое же соотношение и для дизельного топлива. Если фактическое и теоретически необходимое количество воздуха одинаковы,

коэффициент избытка воздуха принимается равным $\alpha=1$, такая смесь называется **смесью стехиометрического состава**. Бензиновые двигатели развивают максимальную мощность на обогащенных смесях ($\alpha=0,85...0,99$), дизели - на обедненных ($\alpha=1,4...1,8$).

В двигателях с принудительным воспламенением горючей смеси в зазоре между электродами свечи зажигания при прохождении искры возникает температура около $10\ 000^{\circ}\text{C}$, смесь воспламеняется и фронт пламени распространяется по камере сгорания. При использовании обогащенной смеси скорость фронта пламени достигает около 200 м/с, это и обуславливает получение максимальной мощности. Бедные смеси горят со скоростью примерно 20 м/с, процесс горения растягивается до начала такта впуска очередного цикла, что может приводить к появлению “хлопков” в системе выпуска.

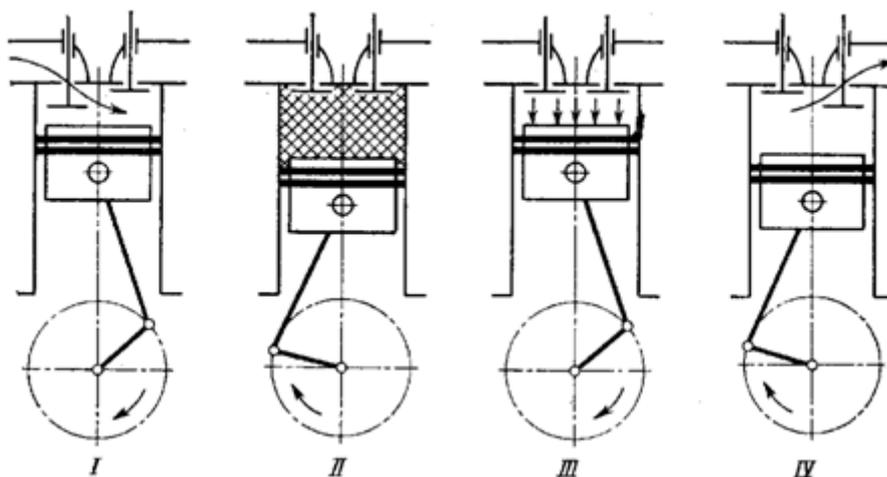


Рис. 4. Рабочий цикл четырёхтактного ДВС: I – впуск свежего заряда; II – сжатие; III – сгорание - рабочий ход; IV – выпуск отработавших газов.

В дизелях процесс горения принципиально отличается, он имеет многостадийный цепной характер.

Свойства бензо-воздушной смеси и характер процесса ее горения вызывают опасность детонации (взрыва), что ограничивает величину степени сжатия. В современных бензиновых двигателях с электронным управлением топливоподачей степень сжатия доведена до 11...12, в карбюраторных - 7,5...10. При детонации скорость фронта пламени превышает 2000 м/с, в несколько раз возрастают давление и температура газов, нагрузки на детали двигателя, что приводит к их разрушению. Причиной детонации может быть несоответствие бензина детонационной стойкости, характеризующейся октановым числом (О.Ч.), величиной степени сжатия (ϵ), а также перегрузкой и перегревом двигателя, слишком поздним зажиганием.

Двигатели, в которых рабочий цикл совершается за четыре хода поршня (такта), относят к четырехтактным, в двухтактных - рабочий цикл состоит из двух тактов. Оба типа двигателей выпускаются как с принудительным воспламенением рабочей смеси (цикл Н. Отто), так и с воспламенением от сжатия (цикл Р. Дизеля). Рассмотрим работу четырехтактного двигателя, работающего по циклу Н. Отто (рис.4): рабочий цикл состоит из четырех тактов: впуск, сжатие, сгорание-расширение, выпуск.

Впуск воздуха(в ДВС с непосредственным впрыском) илигорючей смеси, приготовленной в карбюраторе или во впускном трубопроводе в процессе впрыска лёгкого топлива электромагнитной фор-

сункой, осуществляется за счет разрежения, образующегося при перемещении поршня от ВМТ к НМТ и увеличения объема надпоршневого пространства. На индикаторной диаграмме (рис.2) такту впуска соответствует линия г-а. Давление в конце впуска $P_a \cong 0,9P_o$, где P_o - давление окружающей среды, температура свежего заряда T_a возрастает за счет контакта с нагретыми деталями и остаточными газами в цилиндре. Обратим внимание на обозначение термодинамических параметров: индекс «а» обозначает теоретический конец впуска, аналогично «с»- конец теоретического сжатия и т.п. За такт впуска коленчатый вал поворачивается на угол от 0 до 180°, а ход поршня будет равен двум радиусам кривошипа коленчатого вала

$$S = 2r,$$

где: S – ход поршня, мм,

r – радиус кривошипа коленчатого вала, мм.

Сжатие - второй такт, при этом поршень перемещается из НМТ в ВМТ, объем уменьшается, давление и температура заряда возрастают (линия а – с, см.рис.2). Такт сжатия в тепловых двигателях необходим для увеличения величины работы цикла. Заметим, что рабочим телом при сжатии является не горючая смесь, а рабочая смесь, которая содержит дополнительно некоторый процент остаточных газов. Коленчатый вал за такт сжатия поворачивается (теоретически) от 180 до 360°. Температура в конце такта сжатия T_c (600...750К) и давление P_c (1,5...2,0МПа – для бензинового ДВС, для дизеля 3...4 МПа) рабочего тела в конце сжатия зависят в основном от T_a и P_a , а также от величины степени сжатия.

Сгорание-рабочий ход осуществляется за счет резкого возрастания температуры и давления продуктов сгорания, так как в конце такта сжатия рабочая смесь воспламеняется с помощью электрической искры. Максимальное давление цикла P_z в современных двигателях достигает 8,0...8,5 МПа, что соответствует максимальному значению газовой силы 20...25 кН даже в двигателях легковых автомобилей. Температура T_z часто превышает 2800 К. В этом такте совершается полезная работа цикла при перемещении поршня от ВМТ к НМТ, что соответствует повороту коленчатого вала (теоретически) от 360 до 540°, линия с – z – b на индикаторной диаграмме (см.рис.2).

Выпуск (линия b – r) осуществляется при перемещении поршня (теоретически) от НМТ к ВМТ, коленчатый вал поворачивается от

540 до 720°. В начале открытия выпускного клапана температура отработавших газов T_b составляет 1300...1500 К, давление P_b - 0,35...0,50 МПа. Отработавшие газы покидают цилиндр со скоростью, близкой к сверхзвуковой (400...600 м/с), чем и объясняется высокая интенсивность шума выпуска и необходимость его глушения.

Таким образом, рабочий цикл четырехтактного двигателя совершается за два оборота коленчатого вала (720°). Следует обратить внимание на быстродействие каждого цикла, включающего четыре такта. Например, при частоте вращения коленчатого вала 6000 мин⁻¹ совершается 3000 циклов в минуту, в секунду - 50 циклов, то есть продолжительность цикла - 0,02 с, время такта - 0,005 с.

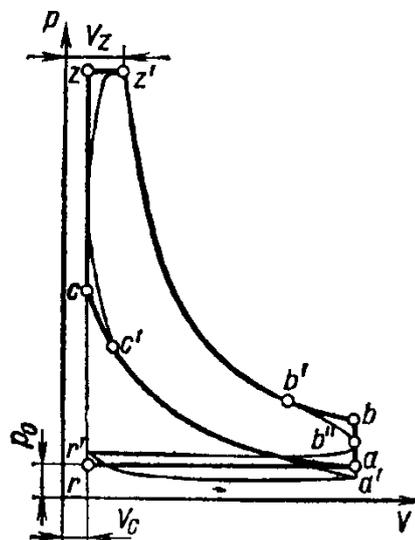


Рис. 5. Индикаторная диаграмма дизеля

Рабочий цикл двигателя с воспламенением от сжатия (цикл Р. Дизеля) состоит из таких же тактов, как и в двигателе цикла Н. Отто, но это только внешняя схожесть. Основная разница начинается с такта впуска. В цикле Р. Дизеля цилиндр заполняется чистым воздухом, а не горючей смесью. Потери давления на впуске меньше, чем в бензиновом двигателе из-за отсутствия дроссельной заслонки во впускном тракте. Дизели отличаются высокими значениями степени сжатия $\epsilon=14...23$. В них, в отличие от бензинового двигателя, применяется внутреннее смесеобразование: в конце такта сжатия в раскаленный воздух впрыскивается тонкораспыленное дизельное топливо под высоким давлением, частицы топлива тщательно перемешиваются с воздухом, прогреваются, частично испаряются и воспламеняются в объеме, причем впрыскивание топлива продолжается в образовавшееся пламя, благодаря чему в начале рабочего хода некоторое время поддерживается постоянное давление в цилиндре ($z - z'$ на рис.5).

Максимальное давление цикла P_z в дизелях достигает 8...13 МПа и максимальное значение газовой силы 60...100 кН. Однако, максимальная температура $T_z=1800...1900$ К в дизелях ниже, чем в

бензиновых двигателях, вследствие их работы на обедненной горючей смеси ($\alpha > 1$) и с топливом, имеющего меньшую теплотворную способность. Процесс горения более продолжительный, чем в бензиновых двигателях. Такт выпуска осуществляется практически так же, как в двигателях с принудительным зажиганием.

1.2. Индикаторная работа и индикаторная мощность

Индикаторной работой двигателя называется механическая работа, совершаемая газами в цилиндрах в результате осуществления рабочих циклов.

Площадь индикаторной диаграммы, ограниченная кривой $a-c-z-b-a$ (рис.6) или $a-c-z-z'-b-a$ см.рис.5) эквивалентна полезной индикаторной работе цикла L_i , а площадь между кривыми $b-r$ и $r-a$ затратам работы на выпуск и впуск.

Условное постоянное давление газов P_i , получаемого за один ход поршня, равно работе газов за цикл по отношению к ходу поршня V_h , называют средним индикаторным давлением:

$$P_i = L_i / V_h$$

Графически P_i выражается высотой прямоугольника с основанием V_h , площадь которого равна площади индикаторной диаграммы (рис.6).

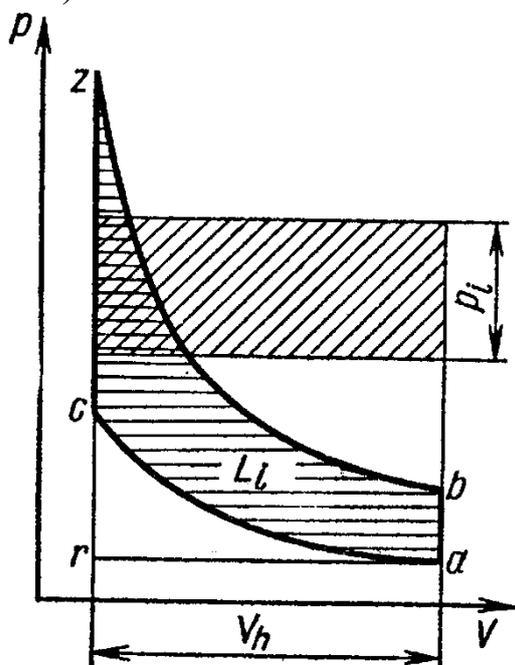


Рис. 6. Индикаторная диаграмма и среднее индикаторное давления цикла бензинового двигателя

Индикаторная мощность двигателя определяется как индикаторная работа за единицу времени:

$$N_i = (P_i \cdot i \cdot V_h \cdot n) / (30 \cdot \tau),$$

где i - число цилиндров;

n - частота вращения коленчатого вала;

τ - тактность: для четырехтактных двигателей $\tau=4$, для двухтактных $\tau=2$.

Опыт двигателестроения свидетельствует о стремлении постоянного форсирования двигателей, то есть повышения их максимальной мощности без увеличения числа цилиндров и

рабочего объема. Из выражения индикаторной мощности легко установить, что есть только два пути форсирования - увеличение среднего индикаторного давления или частоты вращения. Главным аргументом в выборе путей форсирования является назначения двигателя. Для автомобильных двигателей, особенно легковых, жестко лимитируются массово -габаритные показатели, поэтому их форсируют путем увеличения частоты вращения до 7000...7500 мин⁻¹, и путем повышения среднего индикаторного давления до 1,2...1,5 МПа в основном за счет применения наддува. На большинстве форсированных двигателей используют газотурбинные нагнетатели, находят место также нагнетатели, приводимые от коленчатого вала, или газотурбинные совместно с приводными. Требования к массе и габаритам тракторных двигателей не столь жесткие, поэтому требуемая мощность обычно достигается путем увеличения суммарного рабочего объема цилиндров при ограниченной частоте вращения 1600...2000 мин⁻¹, а форсирование обеспечивается повышением P_i за счет наддува. Сравним для примера показатели двигателя легкового автомобиля и тракторного двигателя такой же мощности (50кВт):

Назначение двигателя	Частота вращения n , мин ⁻¹	Рабочий объем, л
Легковой автомобиль	6 000	1,3
Трактор	2 000	4,1

Заметим, что необходимая мощность двигателя легкового автомобиля получена увеличением частоты вращения в 3 раза при почти таком же уменьшении суммарного рабочего объема цилиндров, а, соответственно, и массы, и габаритов двигателя. Пониженная частота вращения тракторных двигателей, кроме того, способствует возрастанию их ресурса до 12000...15000 мотор -часов, тем более с учетом того, что тракторный двигатель большую часть времени работает с полной нагрузкой. По этой же причине детали тракторных двигателей имеют большие запасы прочности и массу.

Автомобильные дизели по сравнению с тракторными имеют повышенную частоту вращения 2400...2600 мин⁻¹, однако, ради обеспечения высокого ресурса, до 1млн. километров пробега и выше, их часто дефорсируют до тракторного уровня - 2000 мин⁻¹.

1.3. Среднее эффективное давление и эффективная мощность

Индикаторная работа, совершаемая газами в цилиндрах двигателя, не может быть использована полностью вследствие неизбежных механических потерь на трение, на привод агрегатов двигателя, на совершение тактов впуска и выпуска.

Полезную мощность, снимаемую с маховика двигателя называют **эффективной мощностью**, она меньше индикаторной на величину мощности механических потерь:

$$N_e = N_i - N_M.$$

Механические потери оцениваются средним **условным давлением механических потерь P_M** , величина которого определяется при испытаниях ДВС.

Среднее эффективного давления P_e равно:

$$P_e = P_i - P_M$$

Тогда по аналогии с выражением для индикаторной мощности эффективная мощность определится как:

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

Значение этой мощности указывается в технической документации двигателя как номинальная. Удельные показатели двигателя характеризуют уровень его форсирования и качество конструкции, основные из них - литровая мощность $N_l = \frac{N_e}{i \cdot V_h}$, кВт/л и удельная масса $m_{уд} = \frac{G}{N_e}$, кг/кВт, где G - масса двигателя.

1.4. Силы, действующие в КШМ

В камере сгорания на днище поршня действуют силы давления газов и инерции, изменяющиеся по углу поворота коленчатого вала. Сумма сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс и газовой силы условно прикладывается к центру поршневого пальца (сила P на рис. 7).

Чтобы определить действие суммарной силы P на детали двигателя ее раскладывают с помощью построения параллелограмма на две составляющие: нормальную силу N , действующую перпендикулярно оси цилиндра, и силу S , направленную по оси шатуна. Затем силу S переносят вдоль направления ее действия в центр шатунной шейки коленчатого вала и раскладывают также построением параллелограмма на составляющие: силу K , действующую вдоль оси кривошипа, и тангенциальную силу T , создающую крутящий момент на плече, равном радиусу кривошипа r .

Нормальная сила N является источником значительной работы трения между деталями цилиндра-поршневой группы, вызывает износ цилиндра, способствует овализации поршня. Направление силы N изменяется 5...7 раз за рабочий цикл, это явление называется перекалкой поршня.

В современных ДВС силу N уменьшают за счет увеличения длины шатуна.

Сила K также оказывает отрицательное действие на детали двигателя, нарушая шатунные и коренные подшипники коленчатого вала. Сила $R_{шии}$

действует на шатунные шейки, вызывая их износ.

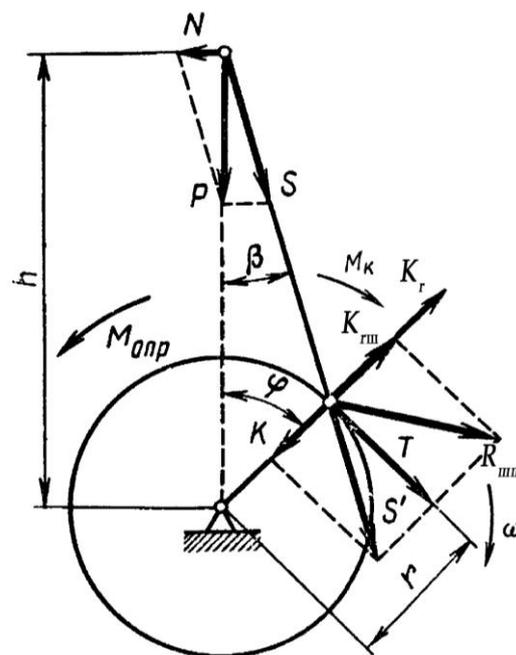


Рис.7. Схема сил действующих в КШМ

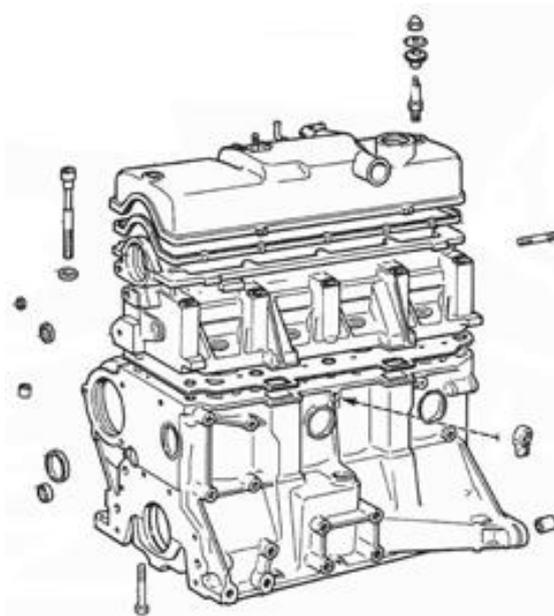


Рис. 8. Схема блока цилиндров двигателя.

На опоры двигателя передается опрокидывающий момент M_{opr} , равный по величине крутящему моменту M_k , но направленный в противоположную сторону.

2. КОРПУСНЫЕ ДЕТАЛИ. ЦИЛИНДРОПОРШНЕВАЯ ГРУППА

2.1. Блоки цилиндров

Блок цилиндров и головка цилиндров - базовые детали, на них размещаются все механизмы и системы двигателя (рис.8). В виде блока выполняются цилиндры двигателей жидкостного охлаждения, а при воздушном охлаждении обычно цилиндры отдельные, не в блоке, но они имеют общий картер. Блок цилиндров на большинстве авто-тракторных двигателей изготавливают вместе с верхней половиной картера. Внутри картера размещены массивные оребренные межцилиндровые перегородки, в них находятся опоры коленчатого вала - коренные подшипники. Нижняя часть картера - масляный поддон изготавливается из листовой стали толщиной 1-2 мм. Для увеличения жесткости поддон отливается из чугуна или алюминиевых сплавов. Цилиндры могут быть выполнены различными способами:

расточной в блоке, в виде мокрых или сухих гильз или как отдельные цилиндры. **Мокрыми** называются гильзы, наружная поверхность которых непосредственно омывается охлаждающей жидкостью. Наиболее жесткая конструкция получается при расточке в блоке, однако, большей ремонтпригодностью обладают двигатели с мокрыми гильзами, которые при износе могут быть заменены без снятия двигателя с рамы. Центрирование гильз обеспечивает строгую перпендикулярность оси цилиндра и оси коленчатого вала и осуществляется с помощью двух тщательно обработанных центрирующих поясов верхнего 2 и нижнего 3 (рис.9) или одного нижнего увеличенной высоты. Для уплотнения гильзы применяют два - три резиновых кольца, установленных в кольцевых канавках 4 нижнего пояса гильзы или в межцилиндровых перегородках блока цилиндров. В случае применения одного нижнего пояса

гильза уплотняется обычно медным кольцом на опорном поясе блока цилиндров. Чтобы уменьшить монтажные деформации верхний поясок 5 гильзы вставляется в блок с зазором. Отдельные цилиндры, как уже было отмечено, применяют на двигателях воздушного охлаждения.

Верхняя часть цилиндра находится в непосредственном контакте с горячими газами (около 2000°С в дизелях и свыше 2500°С в бензиновых двигателях), поэтому на ряде двигателей в верхнюю часть цилиндра запрессовывают короткие вставки из аустенитного износостойкого чугуна – (нирезисторные вставки).

Блоки цилиндров отливают из перлитного серого чугуна, легированного хромом и никелем.

Для уменьшения массы блоки цилиндров часто отливают под давлением из алюминиевых сплавов с последующей пропиткой специальной синтетической смолой для герметизации стенок. Соотношение масс чугунных и алюминиевых блок-картеров, изготовленных литьем под давлением составляет примерно 4:1.

Одно из самых совершенных технических решений продемонстрировала фирма Mercedes - Benz: на двенадцатицилиндровом двигателе автомобиля высшего класса 600 SE(L) блок - картер изготовляется из легирован

ного алюминиевого сплава литьем под низким давлением в стальной кокиль с песчаными стержнями. Содержащийся в сплаве кремний обнажается методом специального травления и образует износостойкие рабочие поверхности цилиндров. Масса обработанного блок - картера этого двенадцатицилиндрового двигателя составляет всего 41 кг.

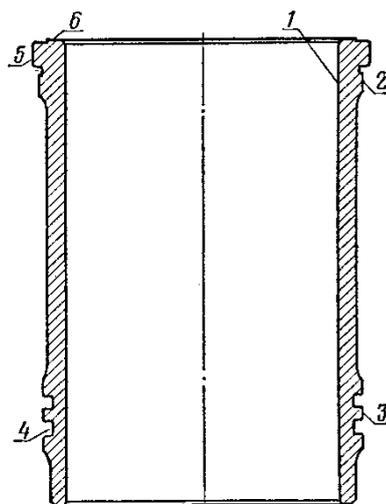


Рис. 9. Мокрая гильза:

1 – рабочая поверхность; 2 – верхний центрирующий поясок; 3 – нижний центрирующий поясок; 4 – канавки для размещения резиновых уплотнительных колец; 5 – разгрузочный поясок, предотвращает коробление; 6 – верхний торец гильзы, уплотняемый прокладкой головки цилиндров

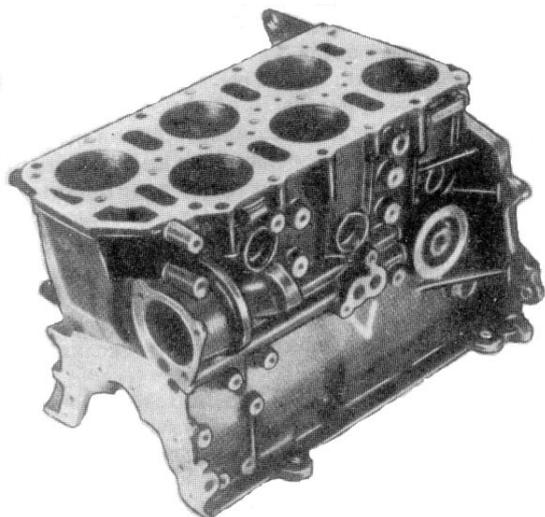


Рис. 10. Блок цилиндров двигателя VR6

Японские фирмы разработали специальные литейные технологии для производства блоков цилиндров из алюминиевых сплавов, но для создания рабочих поверхностей цилиндров часто применяют вставные тонкостенные чугунные гильзы с толщиной стенки 1,5...2,0 мм.

Чем выше жесткость блока цилиндров (блок - картера), тем лучше условия работы деталей цилиндрико - поршневой группы и кривошипно - шатунного механизма, тем больше ресурс двигателя. На рис.10 показан блок цилиндров двигателя VR6 с углом развала цилиндров 15° , обладающий повышенной жесткостью.

Основные способы увеличения жесткости:

1. Применение мощных оребренных межцилиндровых перегородок,
2. Снижение плоскости разъема блок - картера и масляного поддона относительно оси коленчатого вала,

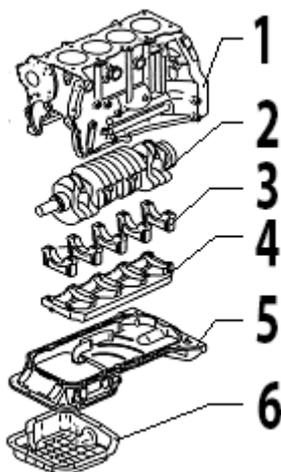


Рис.11. Корпусные детали двигателя Nissan:

1 – блок цилиндров; 2 – коленчатый вал; 3 – крышка коренных подшипников; 4 – стяжная плита коренных подшипников; 5 – верхняя часть поддона; 6 – нижняя, штампованная часть масляного поддона

3. Использование стяжной платы 4 коренных подшипников (рис.11),

4. Применение V - образной компоновки,

5. Применение безгильзовой конструкции,

6. Использование картера туннельного типа. Блоки различают по их силовым схемам:

несущий блок, несущие силовые шпильки, несущая рубашка, т. е. по наименованиям деталей, воспринимающих газовую нагрузку. Если цилиндры расточены непосредственно в блоке, то сам блок воспринимает растягивающие усилия от давления газов, если применены

мокрые гильзы, то усилия воспринимаются рубашкой, образованной стенками блока и его перегородками. В случае крепления цилиндра к блок-картеру несущими силовыми шпильками они растягиваются газовыми силами (рис. 12).

Цилиндры двигателей воздушного охлаждения в виде блочных конструкций из-за технологии и обработки охлаждающих ребер.

За счет оребрения цилиндров относительно внутренней поверхностей находится в охлаждающей поверхности цилиндра составляет суммарной поверхности охлаждения и в зависимости от числа ребер. Наиболее эффективные сечения трапецеидальное, имеет значение также ширина ребер и их высота. Установлено, что свыше 60...65 мм не улучшает охлаждение выполненные с малым шагом, дают наибольший эффект с одновременным уменьшением затрат воздуха в меж

реберные каналы. Для равномерного его периметру ребра цилиндров делают асимметричными: на входе

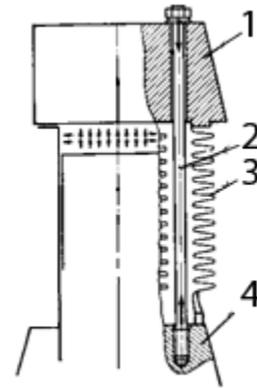


Рис. 12. Несущая силовая шпилька:

1 – головка цилиндра; 2 – силовая (анкерная) шпилька; 3 – цилиндр; 4 – блок-картер

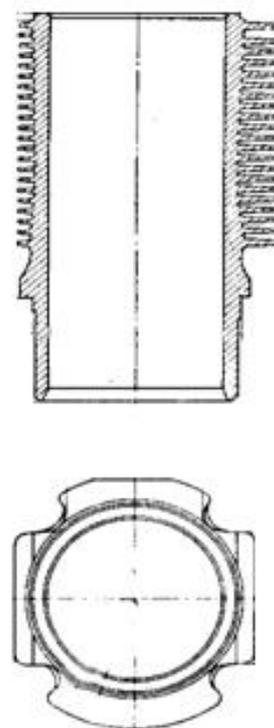


Рис.13. Цилиндр тракторного двигателя воздушного охлаждения

охлаждающего воздуха - короче, а на выходе подогретого воздуха - длиннее, вследствие чего повышается площадь поверхности теплоотдачи. Для исключения коробления цилиндра из-за неравномерного охлаждения применяют также ребра с вырезами, достигающими до стенок цилиндра.

2.2. Головки цилиндров

Конструкция головки цилиндров определяет степень совершенства двигателя, так как расположение и форма камеры сгорания, впускных и выпускных каналов, размещение свечи или форсунки, число клапанов и их привод формируют качество рабочего процесса в цилиндрах двигателя.

В настоящее время наибольшее распространение получили головки с верхним расположением клапанов, позволяющие организовать качественное наполнение цилиндров свежим зарядом, смесеобразование и сгорание топлива. На быстроходных двигателях распределительный вал устанавливается в головке с целью уменьшения числа деталей привода клапанов и их массы.

Головки с нижним расположением клапанов практически не применяются, так как обладают серьезными недостатками, снижающими эффективность и экономичность двигателя: большие потери давления при впуске из-за неоднократного изменения направления движения заряда, повышенная склонность к детонации, увеличенный отвод теплоты в окружающую среду, невозможность организации дизельного процесса. Преимуществом таких головок является их весьма малая высота.

Головки бывают моноблочные (одна на все цилиндры), отдельные на каждый цилиндр или на группу цилиндров. Преимущество моноблочных головок - в создании повышенной жесткости конструкции всего двигателя. Наиболее показательным примером такого решения может служить шестицилиндровый двигатель *VR6* фирмы *Volkswagen* с углом развала цилиндров 15° и общей головкой на все цилиндры. Отдельные головки позволяют уменьшить тепловые нагрузки в них за счет исключения взаимовлияния тепловых потоков соседних цилиндров, однако, в производстве они дороже. Одна головка на группу цилиндров обычно применяется в *V* - образных двигателях.

Головки цилиндров отливают из алюминиевых сплавов, а для форсированных дизелей - из чугуна.

На современных двигателях применяются в основном головки с четырьмя клапанами на цилиндр и центральным расположением свечи или форсунки, что существенно улучшает наполнение цилиндров и, кроме того, конструкция головки становится симметричной, вследствие чего повышается ее прочность. К недостаткам четырехклапанных головок следует отнести повышенную на 20...30% стоимость, большую трудоемкость обслуживания, повышенную шумность работы. Применяются также трех- и пятиклапанные конструкции. Головки с двумя клапанами на цилиндр сохраняются на двигателях ранних выпусков.

Важными элементами головок являются впускные и выпускные каналы. В дизелях целесообразно располагать впускные и выпускные каналы с разных сторон головки, чтобы исключить подогрев свежего заряда. Впускные каналы выполняют тангенциальными или винтовыми для закручивания потока заряда с целью улучшения смесеобразования. Выпускные каналы нагреваются до высокой температуры, поэтому они выполняются короткими, чтобы оказывать меньшее влияние на тепловую напряжённость всей головки.

Камера сгорания в двигателях с принудительным зажиганием обычно располагается в головке цилиндров (рис.14). Компактная камера сгорания обладает преимуществами: сокращается время сгорания, уменьшается опасность детонации, снижается отвод теплоты в ру-

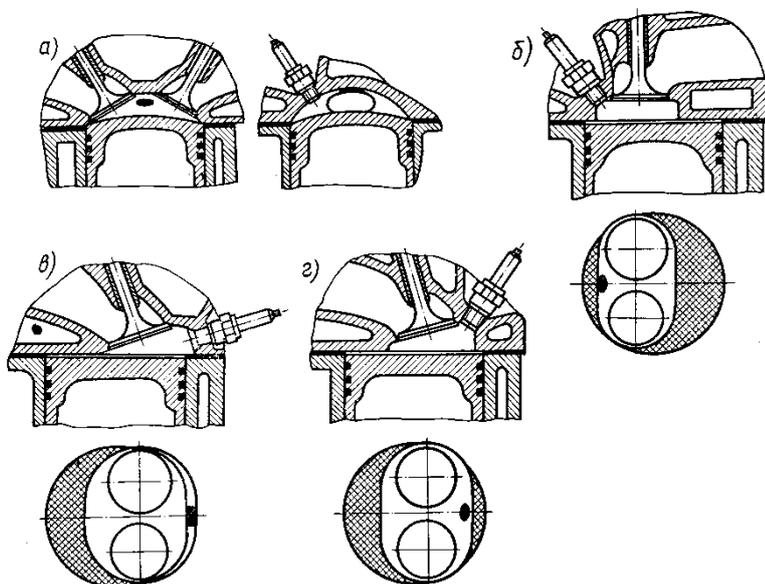


Рис. 14. Схемы камер сгорания двигателей с принудительным воспламенением горючей смеси:
а – полу-сферическая; б – плоскоовальная; в - клиновая; г – полу – клиновая.

башку охлаждения головки. Шатровая камера сгорания, образованная четырьмя попарно наклонными клапанами, получается особо компактной.

Крепление головки осуществляется болтами, вворачиваемыми в резьбовые отверстия блока цилиндров, из расчета 4...6 болтов на цилиндр или шпильками - в двигателях ранних конструкций. Если применена силовая схема с несущими шпильками, то головка вместе с цилиндром притягивается к блоку цилиндров анкерными связями (см. рис.12).

В двигателях жидкостного охлаждения отвод теплоты от головки производится жидкостью, циркулирующей в рубашке охлаждения, причем наибольший теплоотвод предусматривается от наиболее нагретых участков: межклапанной перемычки, мест размещения свечи или форсунки, выпускного канала. Водосборная труба размещается в самой верхней части двигателя, что снижает образование паровых пробок.

Для уплотнения газового стыка между головкой и блоком применяют сталеасбестовые, медно-асбестовые, стальные, алюминиевые и медные прокладки. На высокофорсированных двигателях прокладки головок цилиндров изготавливают из набора тонких стальных пластин толщиной 0,1...0,15 мм, а на дизелях - из толстого стального листа. В цилиндрах с несущими шпильками иногда невозможно использование прокладок. В этом случае стык уплотняется за счет упруго - пластической деформации опорного пояса головки.

Следует заметить, что большинство мировых производителей двигателей отказались от применения асбестосодержащих материалов для прокладок вследствие выделения из них канцерогенных веществ.

Контрольные вопросы

1. Чем оценивается степень совершенства теплового двигателя?
2. Когда и кем был создан первый тепловой паровой двигатель?
3. Какая доля теплоты преобразовывалась в механическую работу в паровых двигателях?
4. Основные преимущества двигателя Стирлинга, когда он был создан?
5. Чем объясняется название двигателя “внутреннего сгорания”?
6. Когда и кем был построен первый ДВС?

7. Когда и кем создан первый ДВС, ставший прототипом современных двигателей с принудительным зажиганием горючей смеси?
8. На каком топливе работал первый ДВС?
9. Какой процент теплоты, полученной от сгорания топлива, преобразуется в полезную работу в современных ДВС?
10. Когда и кем был построен первый ДВС с воспламенением горючей смеси от сжатия?
11. На каком топливе работал первый дизель?
12. Назовите достигнутый уровень эффективности дизелей и каким образом он получается?
13. Основные недостатки ДВС.
14. Почему ДВС для транспортных средств требуют применения дорогостоящей трансмиссии?
15. Назовите важнейшие направления совершенствования современных ДВС.
16. Преимущества головок цилиндров с верхним расположением клапанов.
17. Недостатки головок цилиндров с нижним расположением клапанов.
18. С какой целью применяют отдельные головки на каждый цилиндр?
19. Почему в дизелях предпочтительнее располагать впускные и выпускные каналы в противоположных сторонах головки?
20. Как отличить впускной и выпускной каналы по размерам?
21. Наиболее горячие участки головки цилиндров.
22. Каковы преимущества компактной камеры сгорания?
23. Почему выпускной канал должен быть максимально коротким?
24. Преимущества головок с четырьмя клапанами на цилиндр.
25. Преимущества моноблочных головок цилиндров.
26. С какой целью водосборная труба размещается в самой верхней части головки?
27. Почему гильзы называют мокрыми? Их преимущества.
28. Способы увеличения жесткости блоков цилиндров.
29. С какой целью применяют нирезисторные вставки в верхнюю часть цилиндра?
30. Перечислите типы конструкций цилиндров.

31. Как получить износостойкую рабочую поверхность цилиндров в блок - картерах, изготовленных из алюминиевых сплавов?

32. Силовые схемы блоков цилиндров (блок - картеров).

33. Как уплотняется газовый стык в цилиндрах с несущими силовыми шпильками?

2.3. Поршень

Поршневая группа включает в себя поршень с кольцами, пальцем и деталями его крепления. Назначение поршневой группы: воспринимать газовую силу и передавать ее через шатун на коленчатый вал; воспринимать нормальную силу и передавать ее стенкам цилиндра; уплотнять надпоршневое пространство, препятствуя прорыву газов в картер и масла - в камеру сгорания; отводить теплоту; выполнять роль золотника в двухтактных двигателях.

Детали поршневой группы работают в условиях высоких механических и тепловых нагрузок, причем механические нагрузки имеют ударный характер. Например, в дизелях ЯМЗ-740 максимальная величина газовой силы в начале рабочего хода достигает 100 кН, следовательно, при номинальной частоте вращения 2600 мин^{-1} , поршень и поршневой палец 1300 раз в минуту испытывают удар усилием 100 кН. Даже на двигателях современных легковых автомобилей этот удар достигает 20...25 кН. Детали поршневой группы нагружены также значительными силами инерции. Скорость поршня при его возвратно - поступательном движении переменна, а максимальная ее величина в двигателях легковых автомобилей достигает 80...100 км/ч. При этом, как было указано ранее, максимальное значение нормальной силы N , например, на двигателях ЯМЗ-740, составляет 6 кН. Все эти факторы с учетом несовершенства смазки вызывают механический износ деталей.

Поршень подвергается воздействию высокой температуры продуктов сгорания, которая в бензиновых двигателях превышает 2500°C , а в высокофорсированных - 2800°C . В дизелях эта температура меньше ($1800...1900^\circ\text{C}$) вследствие их работы с высокими значениями коэффициента избытка воздуха. Избыточный воздух в некоторой степени охлаждает детали и уменьшает среднюю и максимальную температуру рабочего цикла дизеля.

Однако, общая напряженность поршней дизелей выше, чем у бензиновых двигателей. Одной из главных причин является особенность процесса сгорания: впрыскиваемое в раскаленный воздух топливо воспламеняется в объеме камеры сгорания, но впрыск его продолжается в пламя, что вызывает интенсивное теплоизлучение при сгорании жидких углеводородов. Кроме того, увеличение тепловой нагрузки связано с большей скоростью нарастания давления в дизелях и неравномерностью распределения температур в верхней части поршня, а так же увеличенной площадью тепловоспринимающей поверхности при размещении камеры сгорания в поршне. Заметим также, что процесс сгорания в дизеле отличается большей длительностью.

Нагревание поршня до высоких температур уменьшает его прочность и даже может привести к оплавлению некоторых его участков. Поэтому при проектировании двигателя предусматриваются как способы уменьшения подвода теплоты к поршню, так и способы теплоотвода. Снижению теплоотдачи от газов к поршню способствует уменьшение диаметра цилиндра, а также теплоизоляционное покрытие его поверхности, например, оксидами циркония или алюминия. Улучшение отвода теплоты от поршня достигается применением материалов с высокой теплопроводностью и масляным охлаждением. Практически на всех форсированных автомобильных двигателях поршни охлаждаются струями масла, подаваемого из неподвижных форсунок, устанавливаемых на межцилиндровых перегородках блок-картера. Расход масла от 6 до 10 л/мин на каждый поршень обеспечивает уменьшение температуры поршня на 30...40°.

Основная доля теплоты отводится от поршня в стенки цилиндра через компрессионные кольца, но тенденция уменьшения высоты колец и их числа вызывает необходимость использования масляного охлаждения.

Днище и боковые стенки - основные элементы поршня (рис.15). Боковые стенки на высоте от верхнего торца поршня до нижней кромки канавки маслосъемного кольца образуют уплотняющую часть, которая вместе с днищем относится к головке поршня I. Направляющая часть II - от нижней кромки канавки маслосъемного кольца до нижнего торца поршня называется юбкой поршня. В при-

ливах юбки – бобышках 9 выполнены отверстия 3 для поршневого пальца.

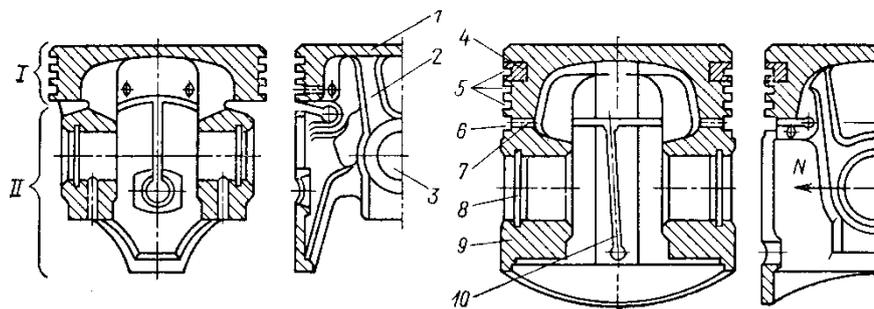


Рис.15. Поршни бензиновых двигателей грузовых автомобилей:

I – головка поршня; II – юбка; 1 – днище; 2 – ребро жесткости; 3 – отверстие для установки пальца; 4 – нирезисторная вставка; 5 – канавки для компрессионных колец; 6 – канавка для маслосъёмного кольца; 7 – дренажное отверстие; 8 – канавка для стопорного кольца; 9 – бобышка; 10 – Т образный разрез.

Особенность конструкции поршней современных двигателей - минимальная масса (с целью уменьшения сил инерции), а, следовательно, и высота поршня при сохранении жесткости и прочности. Высоту головки поршня уменьшают за счет сокращения высоты жарового пояса (от верхнего торца поршня до верхнего торца канавки первого кольца); уменьшения числа колец и их высоты; минимизации высоты кольцевых перемычек. На двигателях легковых автомобилей высота жарового пояса снижена до 6...7 мм, высота первого кольца - до 1,2...1,5 мм. Отметим, что чем меньше высота жарового пояса, тем лучше происходит процесс сгорания топлива, тем выше экономичность двигателя и меньше его токсичность. На современных бензиновых двигателях высота головки поршня доведена до 24 мм.

Днища поршней бензиновых двигателей, как правило, плоские, что упрощает их обработку, уменьшается площадь контакта с горячими газами. При непосредственном впрыске топлива в камеру сгорания (рис.16) днище



Рис.16. Конструктивные изменения при непосредственном впрыске бензина.

поршня кардинально изменяется: на его поверхности выполняется специальная выемка, обеспечивающая образование вихревого движения свежего заряда.

В дизельных поршнях камера сгорания располагается в днище поршня, что и определяет их форму (рис.16-а). В местах перехода днища

в стенку увеличивают массу металла, так как в этой зоне действуют наибольшие изгибающие моменты, а также при этом выравниваются температуры кольцевого пояса, улучшая условия работы колец.

Высота юбки поршня определяется максимальным значением нормальной силы N и допускаемой удельной нагрузкой, которая, в свою очередь, зависит от вида покрытия юбки. Например, в практике зарубежных фирм применяются поршни из алюминиевого сплава, покрытые слоем железа и подвергнутые пятикратному покрытию цинком. Большой эффект в уменьшении трения и износа дает покрытие юбки коллоидным графитом. Подобные меры позволяют увеличить допускаемую нагрузку на юбку и уменьшить ее высоту.

С целью уменьшения массы поршня удаляют металл на нерабочей поверхности юбки. Применяют вырезы на юбке также для прохождения противовесов коленчатого вала при нахождении поршня в НМТ.

На юбках поршней бензиновых двигателей старых конструкций выполняли Т и П-образные температурные разрезы 10 (см.рис.15) для повышения упругости юбки и создания возможности их работы с малыми зазорами без угрозы заклинивания. Горизонтальная часть разрезов служила тепловым барьером на пути теплового потока от головки к юбке поршня, способствуя уменьшению температуры последней. В

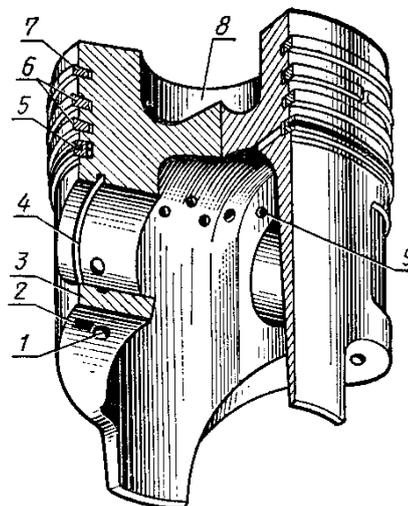


Рис.16-а. Поршень дизеля: 1 – отверстие для смазки поршневого пальца; 2 – метка размерной группы; 3 – бобышка поршня; 4 – канавка для стопорного кольца; 5 – маслосъемное кольцо; 6 и 7 – компрессионные кольца; 8 – камера сгорания; 9 – отверстия для отвода масла

настоящее время в связи с высоким уровнем форсирования бензиновых двигателей, когда максимальное давление рабочего цикла превышает 8 и даже 10 МПа, разрезy на поршнях не делают. К ним предъявляются требования по жесткости и прочности такие же, как и к поршням дизелей. Для ограничения теплового расширения поршня практически на всех современных бензиновых двигателях в верхней части юбки заливают стальные вставки или стальные кольца прямоугольного или круглого сечения, что также увеличивает жесткость поршня.

В головках поршней форсированных двигателей в канавке верхнего кольца применяют вставки из жаростойкого чугуна - нирезиста или более дешевого материала - ферритового переplава.

При работе двигателя происходит овализация юбки поршня с увеличением оси овала вдоль оси поршневого пальца вследствие нормальной силы N (рис. 17) и увеличенного линейного расширения в зоне бобышек. Чтобы компенсировать указанную овализацию, юбку поршня заранее выполняют овальной, но с расположением большей оси овала в плоскости, перпендикулярной оси пальца (рис.17).

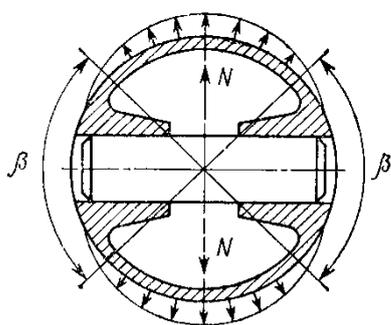


Рис.17.Распределение нормальной силы N по поверхности юбки поршня: N – нормальная сила
двигателя подбирают по массе с допустимой разницей не более 0,2... 0,5% от массы поршня.

Ось пальца смещают относительно оси поршня на $(0,02...0,03)D$ в сторону наиболее нагруженной части юбки, чтобы исключить совпадение во времени моментов переключки поршня при изменении направления действия силы N и нарастания максимального давления цикла.

Комплект поршней для каждого двигателя подбирают по массе с допустимой разницей не более 0,2... 0,5% от массы поршня.

Для автотракторных двигателей поршни изготавливают из алюминиевых сплавов с присадкой кремния, литьем или горячей штамповкой. Кремний придает сплаву термостойкость. Штампованные поршни отличаются повышенной прочностью. На высокофорсированных дизелях применяют также составные поршни: головка - из чугуна, юбка - из алюминиевого сплава. Поршни из алюминиевого сплава на

25...30% легче чугунных, их теплопроводность в 3...4 раза выше, чем у чугунных.

Для улучшения приработки поршней к зеркалу цилиндров юбки поршней покрывают тонким слоем олова или его заменителя толщиной до 0,01 мм.

2.4. Поршневые кольца

Поршневые кольца (рис.18) подразделяются на компрессионные и маслосъемные. Компрессионные кольца служат для ограничения прорыва газов в картер и вместе с маслосъемными препятствуют проникновению масла в камеру сгорания. Плотное прилегание колец к стенкам цилиндра обеспечивается их упругостью а также давлением газов, проникающим в радиальную полость между кольцом и канавкой в поршне. Упругость кольца определяется отношением разницы давлений в замке в свободном и смонтированном состоянии к радиальной толщине кольца. Радиус кривизны кольца в свободном состоянии должен быть переменным.

Среднее радиальное давление кольца на стенки цилиндра составляет 0,2...0,25 МПа, однако фактическое давление значительно различается по периметру кольца. Обычно в бензиновых ДВС применяется грушевидная эпюра давлений, а в дизелях – каплевидная. В зоне замка давление в несколько раз превышает среднюю величину, а против замка оно меньше среднего. Изготовление колец по специальной технологии с такой эпюрой давлений оправдано экономически,

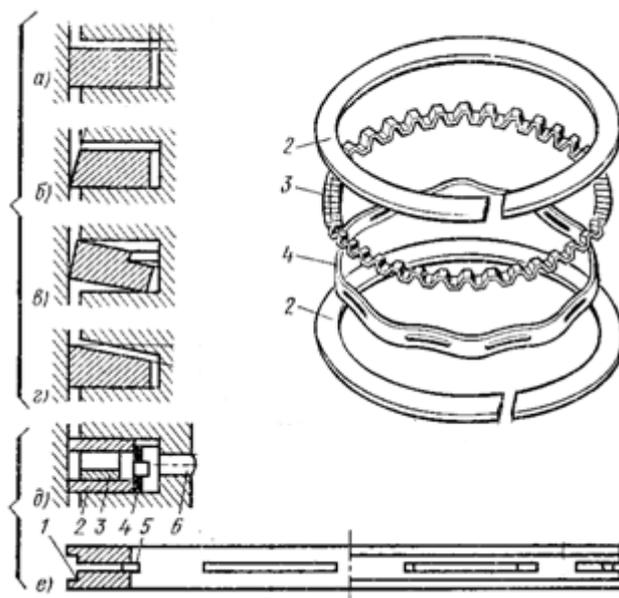


Рис.18. Поршневые кольца:
а – прямоугольного сечения; **б** – минутного типа; **в** – с внутренней фаской; **г** – трапециевидальное; **д** – составное; **е** – маслосъемное кольцо скребкового типа; 1 – маслосборная канавка; 2 – плоское кольцо; 3 – осевой расширитель; 4 – радиальный расширитель; 5 – дренажная прорезь; 6 – дренажное отверстие в поршне; h_k - высота кольца

так как срок службы колец возрастает в несколько раз за счет создания запаса радиального давления в зоне замка.

Кроме того, неравномерное распределение радиального давления уменьшает амплитуду радиальных колебаний кольца в канавке, вызванных неоднократным изменением направления нормальной силы N за рабочий цикл.

Компрессионные кольца изготавливают из специального серого чугуна с повышенным содержанием фосфора и с присадками хрома, никеля, молибдена. При этом обеспечивается их высокая износостойкость, прочность и необходимые антифрикционные свойства.

При выборе числа компрессионных колец учитывают следующие факторы:

- быстроходность двигателя - чем ниже частота вращения, тем больше число колец;
- тип двигателя, для дизеля необходимо получить в конце такта сжатия температуру воздуха T_c , обеспечивающую надежное воспламенение горючей смеси;
- отвод теплоты от поршня при уменьшении числа колец следует компенсировать увеличением теплоотвода другими средствами охлаждения, например, подачей масла;
- потери на трение - чем больше число колец и их высота, тем больше работа сил трения.

На современных двигателях, в том числе на сравнительно тихоходных дизелях для грузовых автомобилей, устанавливают по два компрессионных и одному маслосъемному кольцу, а также, учитывая, что высота кольца не влияет на его прочность, высоту колец уменьшают.

Компрессионные кольца, особенно первое, работают в тяжелых условиях: контактируют с раскаленными газами, испытывают большие скорости скольжения при недостаточной смазке, нагреваются до высоких температур от газовой среды и от трения. Работа трения колец достигает 40...50% потерь на трение в двигателе. Первое компрессионное кольцо обычно покрывается пористым хромом толщиной 0,05 мм на подоснове твердого хрома 0,1...0,2 мм для повышения износостойкости в условиях высоких температур и улучшения смазки за счет аккумулялирования частиц масла в порах покрытия. Твердым хромом покрывают торцовые поверхности колец. Для нормальной рабо-

ты первого кольца температура в канавке поршня не должна превышать 240°C при использовании минеральных масел. В случае перегрева масло коксуеться в осевых и радиальных зазорах между кольцом и канавкой, кольцо теряет подвижность и перестает уплотнять надпоршневое пространство.

Обычно первое компрессионное кольцо имеет прямоугольное сечение, но для форсированных двигателей применяют кольца трапециевидального сечения (см. рис. 18г). В этом случае при радиальных колебаниях кольца в канавке зазор между его торцовыми поверхностями и канавкой изменяется от 0 до расчетной величины и кольцо самоочищается от коксующегося масла. Применяют также сечение в виде односторонней или двухсторонней трапеций с рабочей поверхностью, имеющей асимметричную бочкообразность, покрытой твердым хромом. Второе кольцо, как правило, минутного типа. Такое название объясняется тем, что величина конусности поверхности измеряется в минутах - $20...30'$, иногда до $1,5...3,0^{\circ}$. Такая малая конусность способствует быстрой приработке кольца. Иногда применяют второе кольцо прямоугольного сечения, но с внутренней фаской в верхней части (см. рис.18в). Кольцо изменяет свое положение в канавке за счет торсионного момента и его рабочая поверхность оказывается под небольшим углом к образующей цилиндра, создается эффект минутного кольца. Второе кольцо на форсированных двигателях покрывают ванадием или молибденом.

Замок кольца может быть прямым, косым и ступенчатым. Чаще всего применяется прямой замок, это дешевле в изготовлении. Уменьшение прорыва газов достигается малым зазором в замке на прогревом двигателе - $0,06...0,08$ мм и смещением замков колец на $90...120^{\circ}$.

Компрессионные кольца обладают насосным действием: при перемещении поршня вверх - вниз кольца в канавках перемещаются соответственно вниз - вверх и масло со стенок цилиндра, попадая поочередно в осевой и радиальный зазор между нижним кольцом и канавкой, оказывается в нижнем осевом, затем в радиальном и в верхнем осевом зазоре верхнего кольца и далее - в камере сгорания. Насосное действие компрессионных колец вызывает необходимость применения маслосъемных.

Маслосъемные кольца удаляют излишки масла со стенок цилиндра. Однако, это упрощенное понятие их назначения. На самом деле эти кольца служат для регулирования толщины несущего масляного слоя между поршнем и цилиндром. Количество масла, снимаемого со стенок цилиндра и отводимого через дренажные прорези маслосъемного кольца и дренажные отверстия в поршне, зависит от числа и проходных сечений этих отверстий. При доводке вновь созданных двигателей установлено, что чрезмерное увеличение суммарного проходного сечения отверстий приводит к уменьшению толщины масляной пленки до величины, ниже критической (5...12 мкм) и приводит к задирам поршня.

На большинстве двигателей применяют чугунные кольца коробчатого типа с тангенциальным пружинным расширителем и хромированными рабочими поверхностями скребков, их радиальное давление на стенки цилиндра достигает 0,3...0,5 МПа. Продолжается также применение стальных составных колец (см. рис. 18д), выполненных в виде двух рабочих тонких стальных дисков с двумя пластинчатыми расширителями - радиальным и осевым, их радиальное давление достигает 0,6...0,9 МПа. При движении маслосъемного кольца вверх, оно «всплывает» на масляном слое, при движении вниз острая кромка скребка соскабливает масло и оно проталкивается через прорези кольца, дренажные отверстия в канавке поршня и стекает в картер.

2.5. Поршневой палец

Предназначен для передачи усилий от поршня шатуну. Как и поршень он испытывает значительные ударные нагрузки от газовой силы и сил инерции, нагревается от поршня, условия смазки затруднены. К материалу пальца предъявляются противоречивые требования - высокая износостойкость, предполагающая высокое содержание углерода в стали, и способность работы в условиях ударных нагрузок, когда содержание углерода в стали должно быть небольшим. Поэтому пальцы изготавливают из углеродистых легированных сталей и подвергают цементации - насыщению наружной поверхности углеродом - и закалке для получения высокой твердости наружной поверхности.

Различают пальцы плавающего типа и запрессованные в поршневую головку шатуна. Плавающие пальцы устанавливаются в бобышках поршня и во втулке шатуна с небольшим зазором, поэтому

палец имеет возможность проворачивания в этих сопряжениях, что способствует более равномерному его износу, а так же бобышек и втулки. Плавающие пальцы требуют осевой фиксации с помощью пружинных стопорных колец, вставляемых в канавки бобышек поршня. Одним из недостатков плавающих пальцев является их овализация - увеличение горизонтального диаметра на среднем участке пальца, что вызывает дополнительные напряжения и снижает его прочность. Отметим, что палец становится плавающим только при прогреве двигателя до рабочей температуры, поэтому плавающий палец вставляется в бобышки поршня только при нагреве последнего в масляной ванне до температуры 120...150°С.

На многих современных двигателях применяют пальцы, запрессованные в поршневую головку шатуна. Такая конструкция имеют ряд преимуществ: уменьшается возможность перекоса поршня и нарушения соосности пальца и шатунной шейки коленчатого вала; исключается овализация пальца и необходимость применения бронзовой втулки в поршневой головке шатуна, а, следовательно, уменьшается нагрузка на головку шатуна, вызванная увеличенным линейным расширением втулки по отношению к материалу шатуна.

Поршневые пальцы, как правило, полые. Однако на высокофорсированных двигателях применяют пальцы без внутренней полости.

Смазка сопряжения палец - втулка шатуна осуществляется за счет поступления масла из «масляного кармана» головки шатуна - отверстия в ее верхней части. Широко применяется также смазка этого сопряжения под давлением - масло подается от шатунного подшипника по сверлению в стержне шатуна. Этот способ используется также для охлаждения поршня маслом, выходящим из поршневой головки шатуна через одну или две форсунки. Сопряжение палец - бобышки поршня обычно смазывается разбрызгиванием масла, которое поступает через специальные отверстия в теле бобышек.

Контрольные вопросы

1. Почему средняя и максимальная температура цикла у дизеля меньше, чем у бензинового двигателя?
2. Почему поршни дизелей отличаются повышенной тепловой нагрузкой?

3. Через какие детали отводится от поршня основная доля теплоты?
4. На каких участках днища поршня действуют наибольшие изгибающие моменты?
5. С какой целью на юбках поршней применялись разрезы?
6. Почему на поршнях современных двигателей не применяют разрезы?
7. Причины овализации юбки поршня при работе двигателя.
8. С какой целью смещают ось пальца относительно оси поршня?
9. Чем обеспечивается упругость компрессионного кольца?
10. Какие положительные свойства придает компрессионному кольцу грушевидная или каплевидная эпюра радиального давления?
11. Назовите основные факторы, учитываемые при выборе числа компрессионных и маслосъемных колец.
12. Почему температура поршня в зоне первого компрессионного кольца не должна превышать 240°C ?
13. Преимущества колец с трапецеидальным сечением.
14. Что означает определение колец – «минутного» типа?
15. Величина зазора в замке кольца работающего двигателя.
16. Объясните насосное действие компрессионных колец.
17. Назначение маслосъемных колец.
18. Какие кольца - маслосъемные или компрессионные имеют большее радиальное давление?
19. Чем обеспечивается возможность работы поршневого пальца в условиях ударных нагрузок?
20. Чем обеспечивается износостойкость наружной поверхности поршневого пальца?
21. Преимущества пальца запрессованного в поршневую головку шатуна.

3. КРИВОШИПНО-ШАТУННЫЙ МЕХАНИЗМ (КШМ)

3.1. Шатун

Назначение КШМ – преобразовывать возвратно-поступательное движение поршня во вращательное движение коленчатого вала. КШМ состоит из шатунов, коленчатого вала, маховика и соединительных

деталей, связывающих их между собой, а также с поршневой группой и блок-картером.

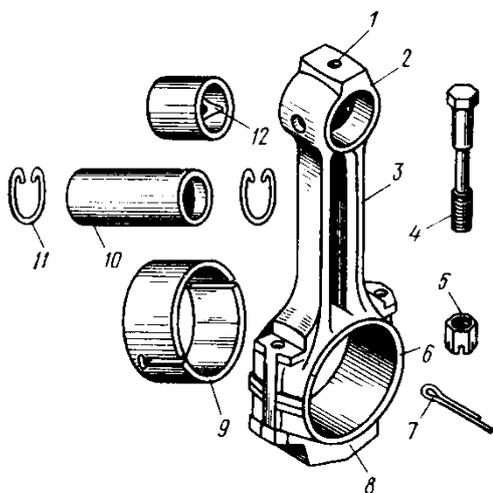


Рис. 19. Шатун:

1 – масляное отверстие; 2 – поршневая головка шатуна; 3 – стержень; 4 – шатунный болт; 5 – гайка; 6 – кривошипная головка; 7 – шплинт; 8 – крышка шатуна; 9 – шатунные вкладыши; 10 – поршневой палец; 11 – стопорное кольцо пальца; 12 – втулка поршневой головки шатуна

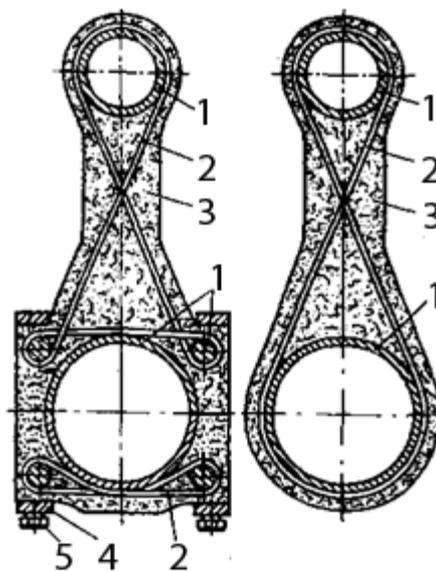


Рис. 19-а. 1- металлические вкладыши; 2 - силовое волокно; 3 хомуты под шатунные болты-полимерный материал; 4 – хомуты под шатунные болты; 5 – шатунные гайки.

Назначение шатуна (рис.19) - передача усилия от поршневого пальца на шатунную шейку коленчатого вала. Значительные по величине и переменные по направлению силы создают в элементах шатуна сложные напряжения сжатия, растяжения, продольного и поперечного изгиба. Наибольшие напряжения возникают на наружной поверхности шатуна, ослабленной, кроме того, выжиганием углерода в процессековки в штампах. Шатуны обычно изготавливают из углеродистых и легированных сталей. Для малофорсированных двигателей применяют шатуны из алюминиевых сплавов.

Шатун состоит из поршневой головки, стержня, кривошипной головки и специальных шатунных болтов. Шатуны разных цилиндров должны иметь не только одинаковую массу, но и одинаковое положение центра масс, поэтому для подгонки масс предусматриваются два участка, с которых удаляется «лишний» металл - в верхней и нижней

части шатуна. На дизеле ЯМЗ-740, например, допускается разность масс шатунов в разных цилиндрах не более 10г.

В поршневую головку шатуна запрессовывают бронзовую втулку, служащую подшипником скольжения, если поршневой палец плавающий. На прочность поршневой головки влияют угол ее заделки и радиус перехода от головки к стержню. Чем меньше угол заделки (в идеале - 90°) и чем больше радиус перехода r , тем выше прочность головки. Заделкой называется сечение перехода от поршневой головки к стержню шатуна.

В некоторых ДВС шатуны могут быть изготовлены из композиционных материалов (рис.19-а). Основой таких шатунов служат металлические вкладыши 1 с антифрикционным покрытием или керамики, обмотанные предварительно натянутым, очень прочным волокном 2 и залитые полимерным материалом – матрицей. Соединение разъемной нижней головки шатуна осуществляется с помощью хомутов 4 и стяжных болтов 5, не нарушающих структуру материала.

Стержень шатуна подвергается продольному изгибу в плоскости качания и в перпендикулярной ей плоскости по-разному, так как в плоскости качания он закреплен шарнирно, а в перпендикулярной – жестко. Этим обстоятельством объясняется несимметричность сечения стержня - в плоскости качания его жесткость должна быть выше. Наилучшими показателями обладает двутавровое сечение стержня: высокая жесткость при минимальной массе. Кроме того, полки двутавра образуют с поршневой головкой замкнутый силовой пояс. Конструкция кривошипной головки шатуна определяет условия работы шатунных подшипников (вкладышей). Следует иметь в виду, что именно от шатунных подшипников часто зависит ресурс двигателя, они нагружены в несколько раз больше, чем коренные. Поэтому кривошипная головка должна быть жесткой, это обеспечивается ее массивностью и наличием ребер жесткости.

На автотракторных двигателях обычно используют разъемную кривошипную головку с плоскостью разъема, перпендикулярной оси шатуна (рис.20а). Косой разъем применяется для уменьшения горизонтального размера головки, чтобы можно было демонтировать шатун с поршнем через цилиндр. Обычно необходимость косого разъема возникает, когда диаметр шатунной шейки превышает 0,67 диаметра цилиндра. В двигателях воздушного охлаждения необходимости ко-

сого разъема нет, так как имеется возможность снятия и установки отдельного цилиндра с поршня.

Крышка кривошипной головки обрабатывается совместно с шатуном, поэтому крышки нельзя менять местами.

Крышка шатуна тщательно фиксируется относительно шатуна. Самые простые способы - призонным поясом шатунного болта, буртиками на крышке с соответствующими проточками на теле шатуна, применяют также треугольные шлицы.

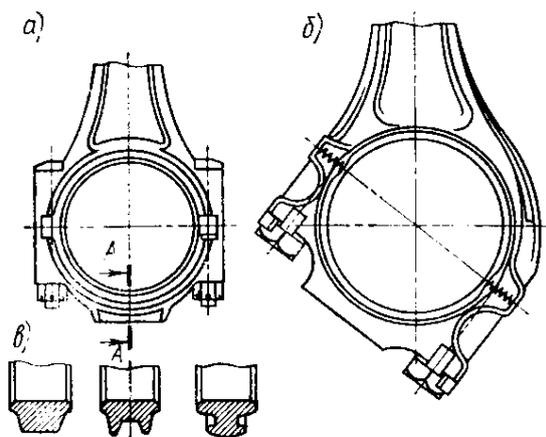


Рис. 20. Кривошипная головка шатуна: а – с прямым разъемом; б – с косым разъемом; в – конструкции крышек шатуна

В кривошипную головку шатуна устанавливаются вкладыши. Вкладыши изготавливаются из стальной ленты толщиной 1,7...4 мм, покрытой тонким слоем (0,3...0,5 мм) антифрикционного сплава - алюминиево-оловянистого, свинцовой бронзы и др. Выемка под вкладыш называется постелью. Преимущество тонкостенных вкладышей в том, что они в точности повторяют геометрию постели. Для создания благоприятных условий работы шатунных вкладышей, они устанавливаются в постель с натягом, для чего высоту вкладыша делают несколько большей радиуса постели. Натяг же создается при затяжке шатунных болтов. Окончательно обработанные вкладыши перед сборкой проверяют на плотность прилегания наружной поверхности вкладыша к гнезду контрольного приспособления с помощью краски. Минимальная площадь пятна при соответствующей нагрузке в стыке должна быть не менее 90%.

Для предотвращения осевых перемещений вкладышей в постелях на их краях выдавлены усы, которые входят в соответствующие пазы, выполненные в постелях.

Обычно верхние и нижние шатунные вкладыши взаимозаменяемы, но некоторые заводы применяют для более нагруженных верхних вкладышей антифрикционный сплав с большей несущей способностью, а для нижних - более дешевый.

Для возможности ремонта коленчатого вала применяют вкладыши нескольких ремонтных размеров с уменьшением внутреннего диаметра каждого из последующих размеров, например, на 0,25 мм, клеймо ремонтного размера наносится на тыльной стороне вкладыша. Крышка кривошипной головки крепится к шатуну шатунными болтами, затягиваемыми строго регламентированным моментом. В конструкцию шатунного болта заложены особенности, обеспечивающие его высокую усталостную прочность: плавные переходы сечений, мелкая резьба с закруглением впадин витков. Обычно призонная часть болта, находящаяся в зоне стыка крышки и шатуна, обработанная особо тщательно, и способствует точной фиксации крышки относительно шатуна, головка болта выполняется со скосом с наружной стороны, что уменьшает габариты блок-картера. Расстояние от скоса головки до стенки блок-картера при предельном отклонении шатуна от оси цилиндра составляет примерно 10 мм.

С целью увеличения прочности болта необходимо исключить возможность его изгиба, для чего уменьшают площадь опорной поверхности головки болта и увеличивают жесткость кривошипной головки.

Сила предварительной затяжки шатунных болтов для обеспечения плотности стыка в несколько раз превышает величину сил инерции, стремящихся раскрыть стык.

Предотвращение отворачивания шатунных болтов в современных двигателях осуществляется строго определенным моментом затяжки, шплинты и корончатые гайки применялись в двигателях ранних конструкций.

На некоторых двигателях (Мерседес-Бенц 500) вместо шатунных болтов применяют шпильки, ввернутые в тело шатуна, и гайки.

Контрольные вопросы

1. Почему стержень шатуна, как правило, имеет двутавровое сечение?
2. Всегда ли в поршневую головку шатуна надо запрессовывать втулку?
3. Как смазывается сопряжение втулка шатуна - поршневой палец?

4. С какой целью уменьшают площадь опоры шатунного болта и его гайки?
5. С какой целью на наружной стороне головки шатунного болта выполняется скос?
6. В каких случаях разъем кривошипной головки делают косым?
7. Почему на двигателях воздушного охлаждения нет необходимости применять косой разъем?
8. Почему на шатуне предусматривают два участка подгонки по массе?
9. Что называется участком заделки поршневой головки?
10. Как влияет на прочность поршневой головки угол заделки?
11. Преимущества тонкостенных вкладышей.

4. КОЛЕНЧАТЫЙ ВАЛ

Коленчатый вал предназначен для восприятия усилий, передаваемых от поршней шатунами, и преобразования их в крутящий момент, который затем обычно через маховик передается потребителю. Масса коленчатого вала достигает 10...15% массы двигателя и составляет до 25% его стоимости.

Коленчатый вал нагружен знакопеременными усилиями и моментами, вызванными действием газовых сил, сил инерции возвратно-поступательно движущихся и неуравновешенных вращающихся масс.

Под действием указанных сил в элементах вала возникают значительные напряжения. Кроме того, вал подвергается крутильным колебаниям: шейки вала закручиваются и раскручиваются на некоторый угол из-за неравномерности крутящего момента двигателя и нагрузки. Чем длиннее вал, тем больше амплитуда колебаний.

Коленчатый вал воспринимает также усилия, направленные вдоль его оси: силы инерции при разгоне и торможении транспортного средства; сила нажимных пружин сцепления при его выключении; осевая составляющая от косозубых шестерен привода распределительного вала и других агрегатов.

Из условий работы вала вытекают требования к его конструкции: высокая жесткость (минимальные деформации при значительных усилиях); прочность, в том числе усталостная; износостойкость; необходимый ресурс; динамическая уравновешенность; высокая точность и чистота обработки шеек вала.

Коленчатые валы изготавливают ковкой или горячей штамповкой из качественных углеродистых или легированных сталей, а также отливают из высокопрочного чугуна. Упрочняют валы механическими, термическими и термохимическими способами. Литые чугунные валы обладают преимуществами: высокое внутреннее трение при крутильных колебаниях, возможность получения наиболее оптимальных форм полостей в шатунных шейках, наличие большего содержания графита как смазывающего материала, уменьшение стоимости обработки. Однако, производство литых валов сдерживается технологическими трудностями.

Коленчатые валы состоят из коренных и шатунных шеек, соединенных щеками. Для уравнивания двигателей, а также для разгрузки коренных шеек от местных центробежных сил коленчатые валы снабжаются противовесами, расположенными на продолжении щёк вала (рис.21 и 22).

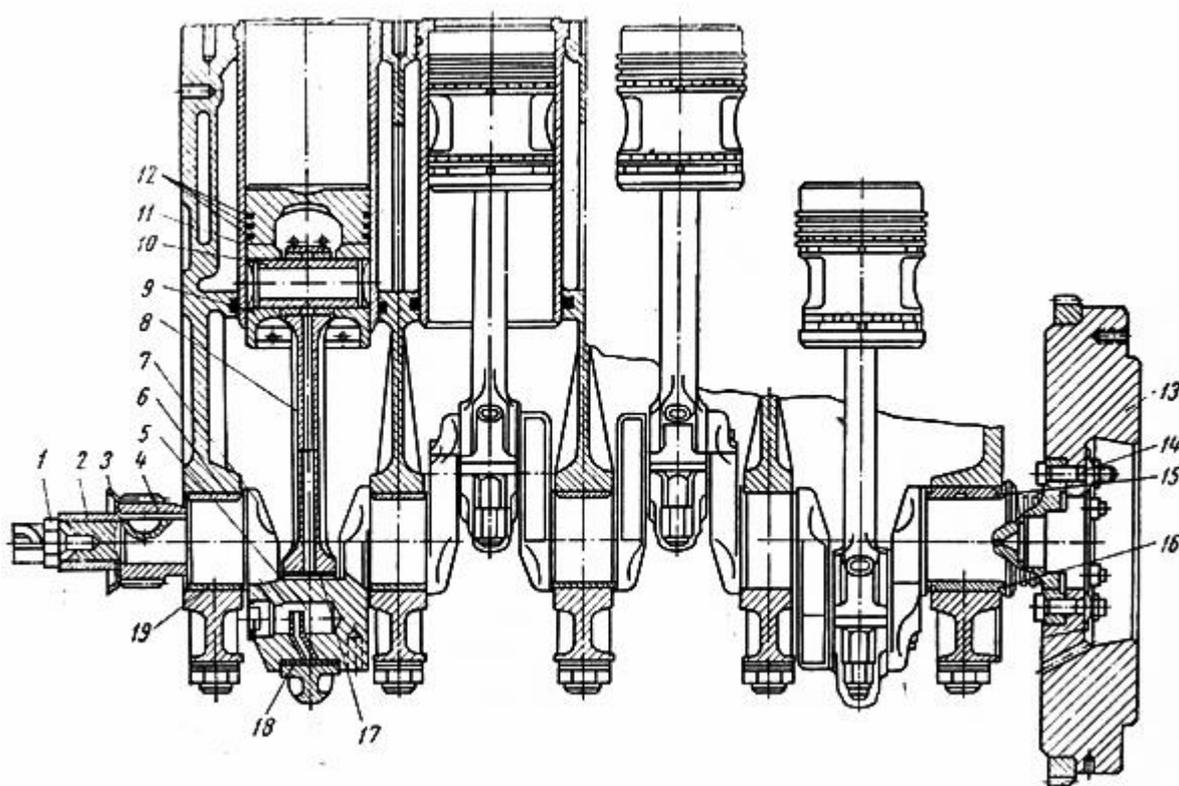


Рис.21. Кривошипно-шатунный механизм четырехцилиндрового дизеля:
 1 – шкив ведущий вентилятора и генератора; 2 – носок; 3, 15 – маслоотражатели; 4 – шестерня привода масляного насоса; 5 – шатунная шейка; 6, 19 – вкладыши; 7 – блок цилиндров; 8 – шатун; 9 – прокладка гильзы; 10 – гильза; 11 – рубашка охлаждения; 12 – поршневые кольца; 13 – маховик; 14 – болт маховика; 16 – упорные полукольца; 17, 18 – вкладыши шатуна

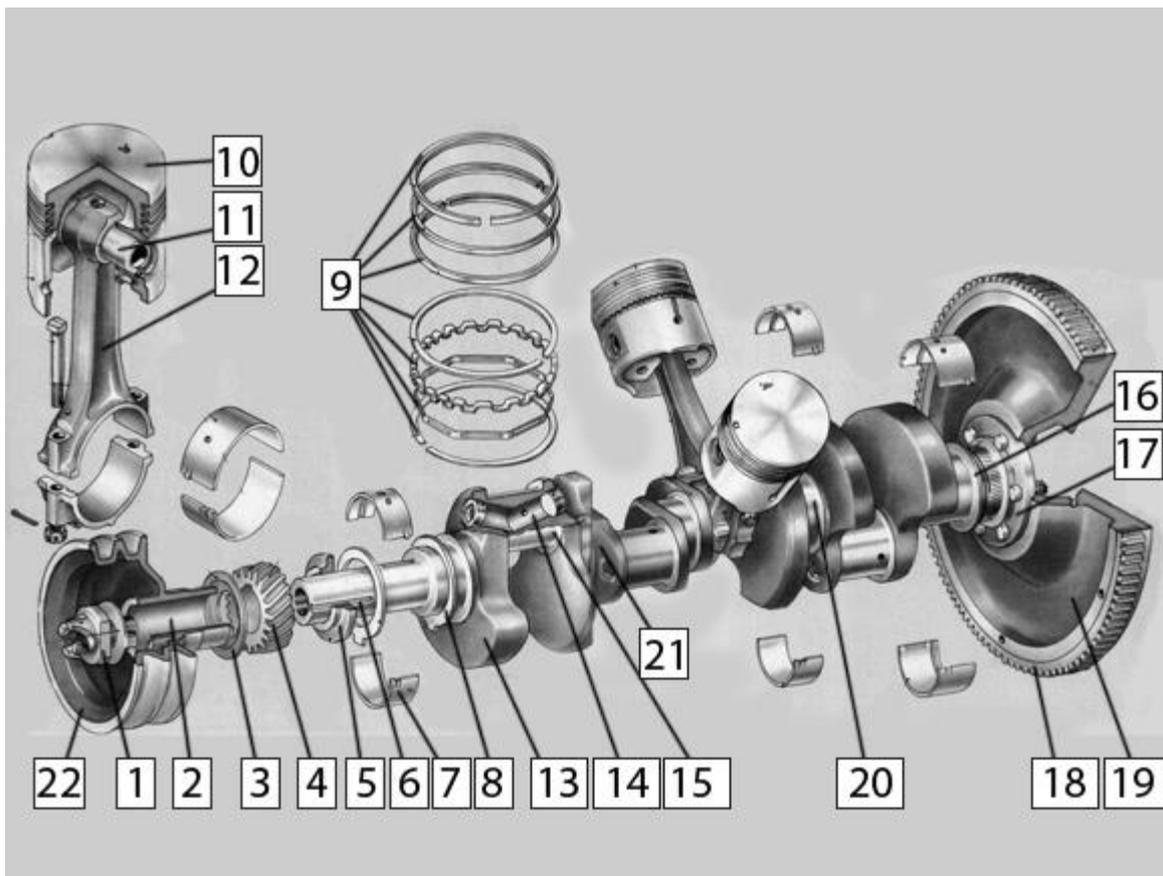


Рис.22. Кривошипно-шатунный механизм бензинового двигателя:

1 – храповик; 2 – передний конец (носок) коленчатого вала; 3 – манжетное уплотнение; 4 – шестерня привода распределительного вала; 5 – упорная шайба; 6 – стопорный штифт; 7 – вкладыш коленчатого вала; 8, 23 – стале-бabbitовые упорные подшипники осевой фиксации коленчатого вала; 9 – поршневые кольца; 10 – поршень; 11 – поршневой палец; 12 – шатун; 13 – противовес; 14 – полость в шатунной шейке; 15 – шатунная шейка; 16 – масло отражательный бурт; 17 – фланец коленчатого вала; 18 – зубчатый венец; 19 – маховик; 20 – коренная шейка; 21 – щека коленчатого вала; 22 – шкив привода генератора, водяного насоса и вентилятора

Кривошип вала состоит из коренных и шатунной шеек, соединенных щекой. Важнейшей особенностью коленчатого вала является угловое смещение кривошипов очередных по порядку работы цилиндров. Для четырехтактных двигателей угловое смещение $\varphi_k = \frac{720}{i}$, где i - число цилиндров рядных двигателей или число шатунных шеек - образных двигателей. Например, кривошипы очередных по порядку работы цилиндров четырехцилиндрового четырехтактного двигателя смещены на $720:4=180$ градусов, что и определяет возможные порядки работы цилиндров этого двигателя, т.е. очередность совершения одноименных тактов в цилиндрах. Очевидно, что после первого ци-

линдра могут работать второй или третий, т.к. их кривошипы расположены под углом 180° к

первому, а после второго и третьего - только четвертый (180°). Таким образом, четырехцилиндровый четырехтактный двигатель может иметь только два порядка работы цилиндров: 1-2-4-3 и 1-3-4-2 (рис.23). Порядок работы

Ц и л и н д р ы				
1	2	3	4	
Рабочий ход	Выпуск	Сжатие	Впуск	180°
Выпуск	Впуск	Рабочий ход	Сжатие	360°
Впуск	Сжатие	Выпуск	Рабочий ход	540°
Сжатие	Рабочий ход	Впуск	выпуск	720°

Порядок работы 1-3-4-2

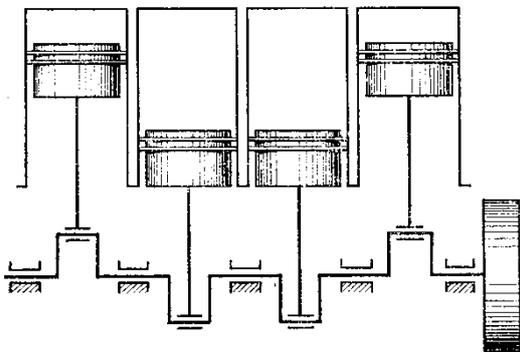


Рис.23. Схема и порядок работы четырехцилиндрового четырехтактного рядного двигателя

обеспечивается конструкцией коленчатого вала, синхронной работой механизмов газораспределения, кривошипно-шатунного и системой зажигания (системой питания дизеля). Определенный порядок работы цилиндров назначается исходя из создания условий уравнивания двигателя; разгрузки коленчатого вала путем разнесения очередных рабочих ходов по наиболее удаленным цилиндрам; обеспечения одинаковых угловых интервалов между одноименными тактами в очередных цилиндрах для улучшения равномерности хода двигателя. Наиболее наглядный пример - шестицилиндровый рядный двигатель с порядком работы 1-5-3-6-2-4: здесь очередные рабочие ходы разнесены достаточно удачно, двигатель полностью уравновешен благодаря симметричной схеме коленчатого вала, очередные такты в цилиндрах равномерно повторяются через $720/6=120^\circ$ угла поворота коленчатого вала. Сложнее решается задача обеспечения равномерности чередования одноименных тактов в V-образных двигателях, например шестицилиндровых, с углом развала 90° с последовательным расположением двух шатунов на каждой шатунной шейке, обычно их порядок работы 1-4-2-5-3-6 (рис.24).

обеспечивается конструкцией коленчатого вала, синхронной работой механизмов газораспределения, кривошипно-шатунного и системой зажигания (системой питания

дизеля). Определенный порядок работы цилиндров назначается исходя из создания условий уравнивания двигателя; разгрузки коленчатого вала путем разнесения очередных рабочих ходов по наиболее удаленным цилиндрам; обеспечения одинаковых угловых интервалов между одноименными тактами в очередных цилиндрах для улучшения

В таких двигателях одноименные процессы в правых цилиндрах отстают от процессов левых на угол развала цилиндров и вместо равномерной последовательности $720/3=240^\circ$ получается последовательность неравномерная: 90° , 150° , 90° и т.д.

В современных конструкциях эта проблема решается путем сдвига каждой шатунной шейки, состоящей из двух участков - для шатунов, каждого ряда на угол 30° . Коленчатый вал устанавливается в расточках блок-картера и крышках коренных опор. На большей части ДВС применяются полно-опорные валы: число коренных шеек на единицу больше числа шатунных, что способствует увеличению жесткости и коленчатого вала и блок-картера. Однако, стремление уменьшить длину двигателя и его массу приводит к применению и неполно-опорных валов, у которых число коренных опор на единицу меньше числа шатунных шеек.

Жесткость вала повышается также за счет перекрытия шеек (рис.25). Шейки вала и щеки сопрягаются галтелями - плавными закруглениями, для повышения усталостной прочности, галтели упрочняют обкаткой роликами или закалкой токами высокой частоты.

Осевая фиксация вала осуществляется упорными кольцами 8 и 23 (см. рис.22) или полукольцами 15 (см. рис.21), устанавливаемыми на передней коренной шейке или в выточках блок-картера и крышки задней или средней коренной опоры. Эти упорные подшипники воспринимают значительные осевые усилия, поэтому стальные кольца или полукольца покрывают слоем антифрикционного сплава или изготавливают из бронзы, подшипники фиксируют от проворачивания. Осевые зазоры в подшипниках составляют $0,1...0,2\text{мм}$, что обеспечивает свободное линей-

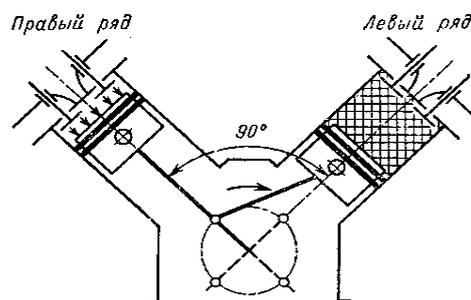


Рис.24. Схема кривошипно-шатунного механизма V-образного двигателя

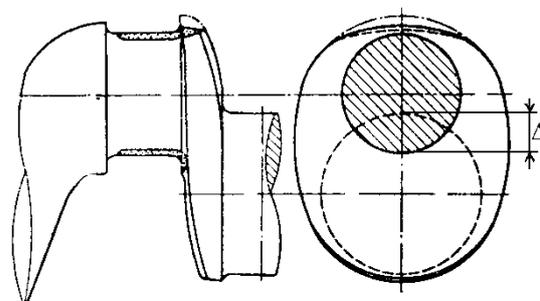


Рис.25. Перекрытие шеек коленчатого вала

ное расширение коленчатого вала при нагревании его до рабочей температуры.

Подвод масла от коренных подшипников к шатунным осуществляется посредством каналов, просверленных в щеках вала. Часто в шатунных шейках выполняют полости 14 (см. рис.22), используемые для дополнительной центробежной очистки масла, они также уменьшают массу вала.

Привод к механизмам газораспределения на большинстве двигателей располагается с передней стороны (носки) вала. Однако, следует иметь в виду, что амплитуда крутильных колебаний максимальна именно на носке вала, поэтому более целесообразно привод располагать на задней части вала (хвостовике), а на носке вала размещается гаситель крутильных колебаний, который превращает энергию колебаний в работу внутреннего трения и далее - в теплоту. Обычно гасителями оснащаются длинные коленчатые валы, когда в ряд располагается более четырех цилиндров. Тем не менее, даже при отсутствии гасителя на валу крутильные колебания гасят в механизме сцепления, который обычно монтируется на маховике. В настоящее время используют гасители и на валах четырехцилиндровых двигателей с целью улучшения их акустических свойств.

5. МАХОВИК

Маховик крепится к валу с помощью болтов. Штифты запрессовывают в задний торец вала, они обеспечивают строгую угловую фиксацию маховика относительно вала. Болты прижимают маховик к торцу или фланцу вала, создавая в опорной плоскости момент трения, превышающий максимальный крутящий момент двигателя. Таким образом, болты не подвергаются усилиям среза, так как крутящий момент с коленчатого вала на маховик передается моментом от сил трения.

При изготовлении коленчатого вала и маховика, как правило, образуется неравномерное распределение масс металла относительно оси вращения, поэтому, чтобы исключить биение при вращении этих деталей, их подвергают динамической балансировке совместно путем удаления масс металла, вызывающих дисбаланс. Маховик изготавливается из специального чугуна, на его обработанную цилиндрическую поверхность напрессовывается зубчатый венец, предназначенный для пуска двигателя стартером. На дизелях повышенной мощности зубча-

тый венец дополнительно прижимается к маховику болтами 2 (рис.26).

Уплотнения носка и хвостовика вала достигаются применением резиновых самоподжимных манжет (сальников), изготовленных из специальной маслостойкой резины. Сальники оснащены внутренней арматурой из штампованного стального листа для повышения жесткости и в большинстве случаев помещаются в каркас из листовой стали. Чтобы предотвратить разрушение сальников от воздействия струй масла и картерных газов перед сальниками на валу устанавливаются масло-отражательные кольца, буртики 16, 24 (рис.22), маслогонную резьбу, направление которой противоположно направлению вращения коленчатого вала.

Контрольные вопросы

1. Доказать, что четырехтактный четырехцилиндровый двигатель может иметь только два порядка работы цилиндров.

2. Как определить угол смещения кривошипов очередных по порядку работы цилиндров рядных двигателей?

3. Какие силы действуют вдоль оси коленчатого вала?

4. Способы осевой фиксации коленчатого вала.

5. Каким образом смазка подводится к шатунным подшипникам?

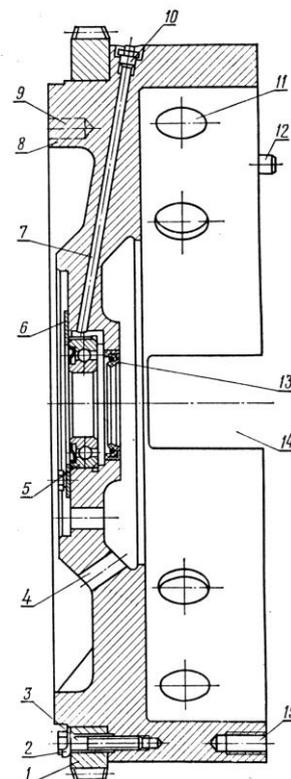


Рис. 26. Маховик тракторного дизеля повышенной мощности:

1 – зубчатый венец; 2 – болт крепления венца; 3 – стопорная шайба; 4 – отверстие для отвода продуктов изнашивания накладок сцепления; 5 – подшипник первичного вала коробки передач; 6 – стопорное кольцо; 7 – канал подвода смазки к подшипнику; 8 – маховик; 9 – сверление для балансировки маховика; 10 – заглушка; 11 – отверстие для удаления смазки и продуктов изнашивания; 12 – штифт для установки муфты сцепления; 13 – манжетное уплотнение; 14 – паз для нажимных дисков сцепления; 15 – резьбовое отверстие для крепления корпуса сцепления

6. Где целесообразнее размещать привод распределительного вала?
7. Назначение полостей в шатунных шейках коленчатого вала.
8. С какой целью предусматривается перекрытие шеек коленчатого вала?
9. Назначение противовесов.
10. Преимущества и недостатки полно-опорных коленчатых валов.
11. Каким образом передается крутящий момент от коленчатого вала к маховику?
12. Почему гаситель крутильных колебаний располагают на носке вала?
13. С какой целью предусматривается балансировка коленчатого вала в сборе с маховиком?
14. Какой процент от стоимости двигателя составляет стоимость коленчатого вала?
15. Какой процент массы двигателя составляет масса коленчатого вала?
16. Как определить угол смещения кривошипов очередных по порядку работы цилиндров V-образных двигателей?
17. Чем обеспечивается порядок работы цилиндров?
18. Преимущества чугуновых коленчатых валов.
19. Назовите причину среза болтов маховика.
20. Почему в V-образных шестицилиндровых двигателях имеет место неравномерная последовательность одноименных тактов в очередных по порядку работы цилиндрах?
21. С какой целью применяют гасители крутильных колебаний на четырёх-цилиндровых двигателях?

6. МЕХАНИЗМ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ (МГР)

6.1. Классификация механизмов газораспределения

Назначение механизма газораспределения (МГР) - обеспечить своевременное открытие и закрытие клапанов для максимально возможного наполнения цилиндров свежим зарядом и очистки их от отработавших газов в строго определенные фазы рабочего цикла с минимальной затратой энергии.

Различают клапанные и золотниковые МГР, наибольшее распространение получили клапанные.

Клапанные МГР бывают с нижним (рис.27) и верхним (рис.28) расположением клапанов. Ранее применялось в быстроходных двигателях легковых автомобилей Виллис смешанное расположение клапанов (рис.29).

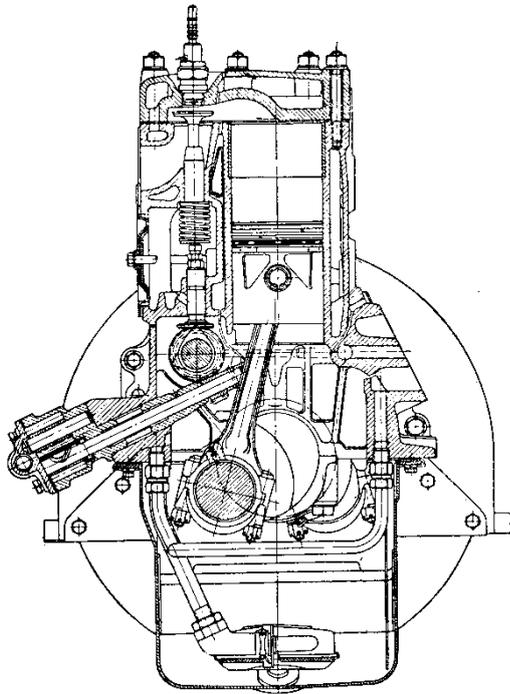


Рис. 27. Механизм газораспределения с нижним расположением клапанов

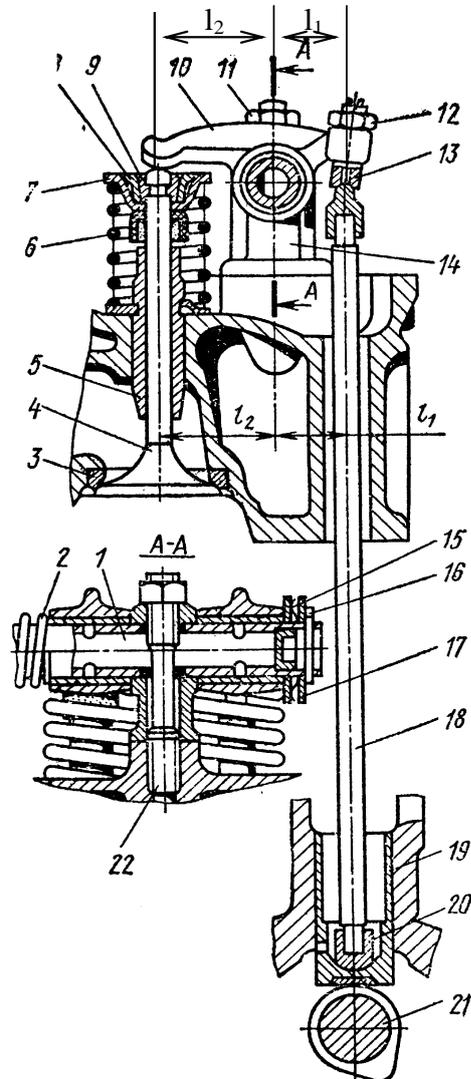


Рис. 28. Механизм газораспределения с верхним расположением клапанов и нижним распределительным валом: 1 – ось коромысла; 2 – распорная пружина; 3 – седло клапана; 4 – клапан; 5 – направляющая втулка клапана; 6 – пружина клапана; 7 – тарелка пружины; 8 – втулка; 9 – сухарь; 10 – коромысло; 11 – шпилька; 12 – контргайка; 13 – регулировочный винт; 14 – стойка оси коромысла; 15 – распорная шайба; 16 – шплинт; 17 – упорная шайба; 18 – штанга; 19 – толкатель; 20 – наконечник штанги; 21 – распределительный вал; 22 – шпилька крепления стойки

К недостаткам МГР с нижним расположением клапанов относятся:

1. Повышенные потери давления свежего заряда на впуске вследствие неоднократного изменения направления движения заряда.

2. Большая площадь теплоотдающей поверхности камеры сгорания, через которую увеличивается отвод теплоты в рубашку охлаждения головки.

3. Опасность возникновения детонации из-за увеличенного расстояния фронта пламени от свечи до наиболее удаленной точки камеры сгорания.

4. Невозможность применения в дизелях, так как при степени сжатия более 7,5 возникают трудности компоновки камеры сгорания.

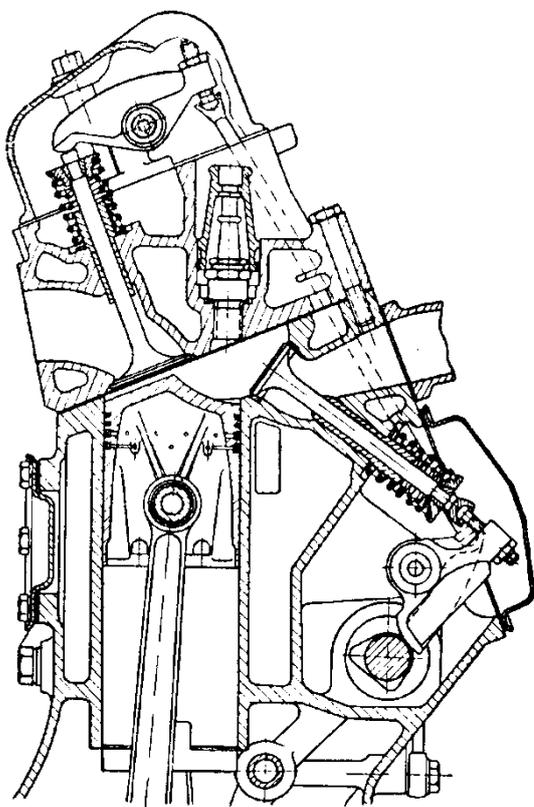


Рис. 29. Смешанное расположение клапанов

ние цилиндров и их очистку, так как появляется возможность существенного расширения круга конструкторских решений. Применение компактной камеры сгорания уменьшает потери теплоты и опасность детонации, позволяет увеличить степень сжатия.

Вследствие указанных недостатков подобные двигатели отличаются повышенным расходом топлива и низкими удельными показателями. Однако, благодаря таким преимуществам, как весьма малая высота головки цилиндров и простота конструкции, нижнеклапанные механизмы продолжают широко использоваться в малофорсированных двигателях средств малой механизации.

Современные автомобильные и тракторные двигатели выпускаются с верхним расположением клапанов, позволяющим значительно улучшить наполне-

В головках цилиндров с верхними клапанами впускные каналы имеют специальную форму - тангенциальные или винтовые, в них свежий заряд получает необходимую для лучшего смесеобразования закрутку; выпускные каналы - короткие, для уменьшения их теплового воздействия на головку цилиндров. Верхние клапаны в бензиновых двигателях часто устанавливаются под углом к оси цилиндра, при этом увеличивается располагаемая площадь головки для увеличения диаметров клапанов. С целью улучшения наполнения широко применяют по четыре клапана на цилиндр - два впускных и два выпускных, свеча зажигания при этом располагается в центре камеры сгорания. Встречаются также трех- и пятиклапанные конструкции.

6.2. Особенности конструкции МГР

Распределительный вал (рис.30) устанавливается в расточках межцилиндровых перегородок блок-картера в бронзовых втулках или в стальных биметаллических.

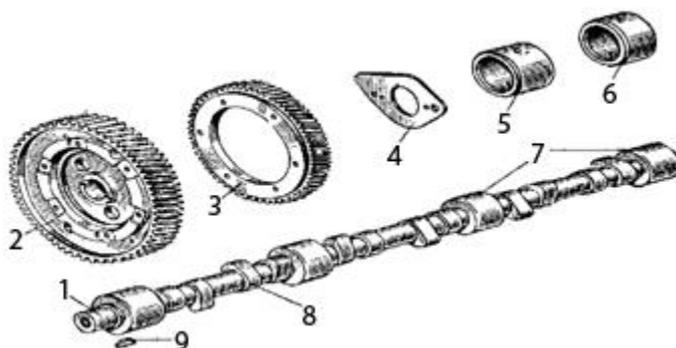


Рис.30. Распределительный вал V-образного дизеля, детали его привода и установки: 1 – распределительный вал; 2 – шестерня привода распределительного вала; 3 – шестерня привода топливного насоса высокого давления; 4 – упорный фланец; 5 – передняя втулка распределительного вала; 6 – втулки; 7 – шейки распределительного вала; 8 – кулачки; 9 - шпонка

Чтобы выдержать заданные зазоры между опорными шейками вала и втулками, диаметры шеек ступенчато увеличиваются от передней до задней. Кулачки вала являются управляющим элементом МГР – в их рабочий профиль заложена информация о моментах начала открытия и конца закрытия впускных и выпускных клапанов. На бензиновых двигателях от винтовой шестерни, выполненной заодно целое с распределительным валом, приводится вал прерывателя-распределителя системы зажигания и масляного насоса, а от эксцентрика распредвала – бензонасос. На распределительный вал действу-

ют осевые усилия: силы инерции при разгоне и торможении транспортного средства, осевая составляющая в косозубом шестеренном зацеплении. Осевая фиксация обычно осуществляется

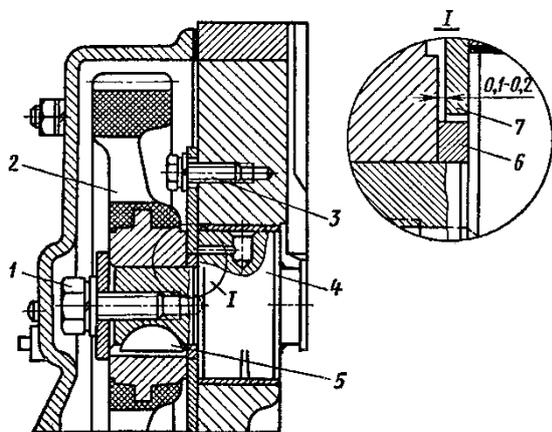


Рис.31. Привод распределительного вала и его осевая фиксация:

1 – болт крепления шестерни распределительного вала; 2 – шестерня; 3 – болт крепления упорного фланца; 4 – распределительный вал; 5 – шпонка; 6 – распорное кольцо; 7 - упорный фланец

действуют кулачки распределительного вала, чаще бывают цилиндрическими (рис. 32а) и перемещаются в направляющих втулках, установленных в блок-картере. Применяются также роликовые толкатели, качающиеся на общей оси

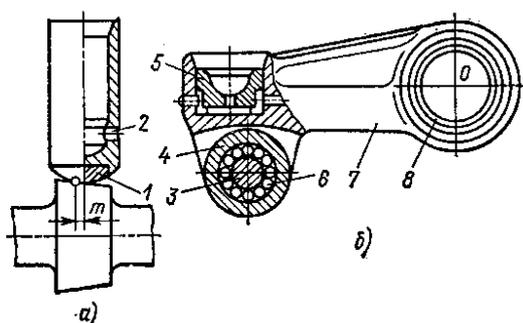


Рис. 32. Типы толкателей:

а – цилиндрический; б – рычажно-роликовый; 1 – наплавка; 2 – дренажное отверстие; 3 – ось ролика; 4 – ролик; 5 – пята; 6 – игольчатый подшипник; 7 – рычаг; 8 – втулка рычага

Толкатели, на которые воздействуют кулачки распределительного вала, чаще бывают цилиндрическими (рис. 32а) и перемещаются в направляющих втулках, установленных в блок-картере. Применяются также роликовые толкатели, качающиеся на общей оси

ется упорным фланцем 4 (рис.30) и 7 (рис.31), закрепленным в блок-картере или головке цилиндров, а при разъемном корпусе распредвала - буртиком на его поверхности и соответствующей выточкой в корпусе вала.

На современных двигателях применяются безударные кулачки, при этом закон изменения ускорений толкателя не имеет скачков, а, следовательно, исключаются соударения деталей привода клапана.

Толкатели, на которые воздействуют кулачки распределительного вала, чаще бывают цилиндрическими (рис. 32а) и перемещаются в направляющих втулках, установленных в блок-картере. Применяются также роликовые толкатели, качающиеся на общей оси (рис. 32б).

В связи с тем, что штанга под действием толкателя перемещается не только вертикально, но и наклоняется в сторону клапана из-за качания коромысла, сопряжение наконечника штанги и толкателя выполняется в виде сфер разных радиусов. Это исключает продольный изгиб штанги.

Проворачивание цилиндрического толкателя вокруг оси обеспечивается сочетанием трех факторов: смещением осей толкателя и кулачка, сферической поверхностью

рабочей поверхности толкателя и небольшой (около 0,5 градуса) конусностью кулачка. Все эти факторы способствуют внецентренному контакту кулачка и толкателя и проворачиванию последнего при каждом вертикальном перемещении.

В сопряжении кулачок-толкатель действуют большие напряжения смятия, поэтому рабочая поверхность толкателя должна иметь повышенную твердость (наплавка 1, см.рис.32а).

Штанги, как правило, полые изготавливаются из легких сплавов и оснащаются наконечниками, обработанными до высокой твердости. Вероятность изгиба штанги пропорциональна квадрату ее длины, поэтому при компоновке МГР стремятся уменьшить ее длину.

Коромысла устанавливают на осях в бронзовых втулках на кронштейнах, размещаемых на головках цилиндров. Сопряжение ось коромысла-втулка смазывается маслом под давлением пульсирующей струей, чтобы уровень масла в головке не стал выше верхней части направляющих втулок клапанов. Важной особенностью коромысел является их асимметричность: плечо коромысла l_0 , обращенное к клапану в 1,4...1,8 раза больше плеча l_1 , обращенного к толкателю (см.рис.28). Это объясняется стремлением уменьшить ход толкателя при достаточном ходе клапана и способствует уменьшению сил инерции, действующих в МГР.

Следует обратить внимание на одну из главных проблем конструирования МГР: решению задачи максимально возможного наполнения цилиндров препятствует рост сил инерции. Чем быстрее открывается клапан, тем больше величина ускорений и сил инерции. Именно с этой проблемой связано **важное назначение пружины клапана** - препятствовать отрыву клапана от коромысла, коромысла от штанги, штанги от толкателя и толкателя от кулачка. **Усилие пружины клапана в момент его полного открытия** должно быть больше силы инерции, действующей на клапан в этот момент. При форсировании двигателя по частоте вращения силы инерции становятся чрезвычайно высокими и требуют применения пружин, обладающих слишком большим усилием и габаритами. Так как сила инерции пропорциональна массе деталей привода клапана и ускорению, то остается лишь один путь ее снижения – уменьшение массы деталей привода клапана.

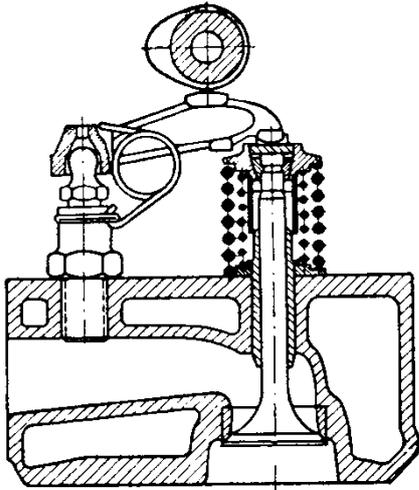


Рис.33. Привод клапана одноплечим рычагом

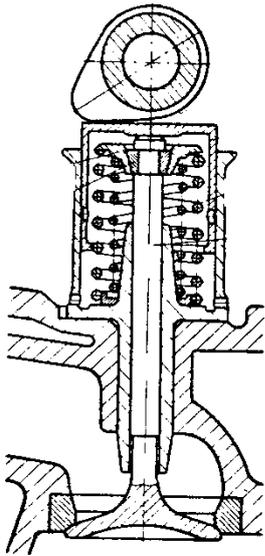


Рис.34. Непосредственный привод клапана

Внутренняя коническая поверхность тарелки под действием усилия пружины зажимает сухари, образуя надежное соединение пружины и клапана. Тарелка также обеспечивает центрирование пружины, которая внутренней поверхностью витков опирается на кольцевой выступ тарелки. Если соединение пружины и клапана несколько модернизировать, то можно обеспечить проворачивание клапана вокруг оси при каждом его открывании, для этого необходимо скручивающий момент передать от пружины на клапан.

Так появилось конструкторское решение – перенести распределительный вал из блок-картера на головку цилиндров, убрав промежуточные детали привода клапана. Такие конструкции имеют ряд разновидностей: передача усилия от кулачка к клапану через коромысло, через одноплечий рычаг (рис.33) или непосредственно толкателем клапана (рис. 34). Схема с применением коромысла занимает промежуточное положение между приводом от нижнего распредвала и непосредственным приводом, так как коромысло все-таки увеличивает силу инерции, приведенную к клапану.

Идеальный вариант - непосредственный привод, однако ряд фирм, особенно японских, предпочитает вариант с одноплечим рычагом, имеющий преимущество в уменьшении ускорения клапана за счет соотношения плеч рычага. Разборное соединение пружины и клапана осуществляется с помощью сухарей и тарелки (рис.35). Сухари представляют собой усеченный конус, разрезанный на две части в вертикальной плоскости. Каждый сухарь имеет внутри кольцевой выступ, вставляемый в канавку стержня клапана.

При одинаковой конусности сухарей и тарелки ($10...15^\circ$) скручивающий момент от пружины вызывает проскальзывание тарелки относительно сухарей. Поэтому самый простой способ проворачивания клапана - установить дополнительную втулку между сухарями и тарелкой (рис. 36а), причем конусность втулки должна отличаться от конусности сухарей, что и обеспечит защемление этого сопряжения. Применяют также специальные механизмы для вращения выпускных клапанов (рис.36б).

Впускные и выпускные клапаны отличаются по условиям работы, по размерам, по форме головки и по материалам. Выпускные клапаны омываются горячими и агрессивными газами с температурой $1100...1200^\circ\text{C}$ в карбюраторных двигателях и $700...900^\circ\text{C}$ в дизелях. Скорость истечения газов достигает $400...600$ м/с. Клапаны нагреваются до $500...600^\circ\text{C}$ в дизелях и $800...850^\circ\text{C}$ в бензиновых двигателях. Отвод теплоты от клапана осуществляется в основном через направляющую втулку. Чтобы интенсифицировать теплоотвод выпускные клапаны форсированных двигателей делают полыми и примерно 60% полости заполняют натрием. Натрий плавится при температуре 97°C и кипит при 885°C . При

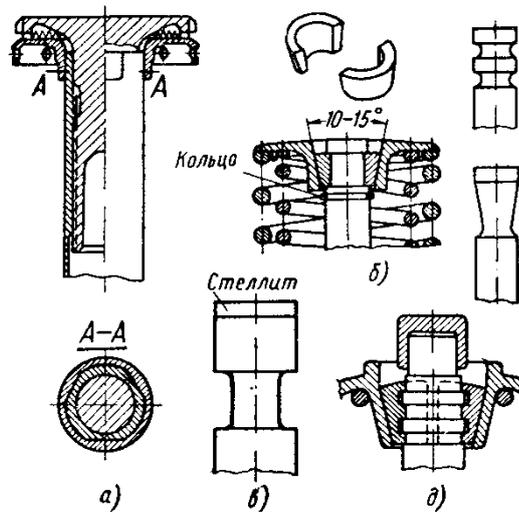


Рис.35. Крепление тарелки пружины клапана и упрочнение торца стержня: а – тарелка ввернута в стержень клапана; б, в, г – с помощью конических сухарей; в – упрочнение торца стержня наплавкой стеллита; г – применение колпачка

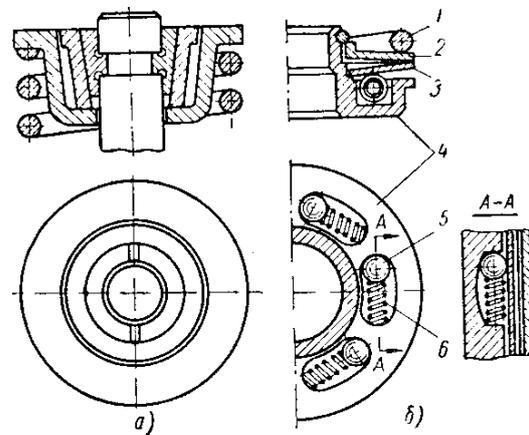


Рис.36. Устройства для вращения клапана: а – с помощью дополнительной втулки между сухарями и тарелкой; б – посредством специального механизма вращения

движении клапана жидкий натрий всплескивается в полости и улучшает передачу теплоты от головки к стержню клапана (рис.37в).

Диаметр головки у впускного клапана всегда больше, чем у выпускного, для улучшения наполнения цилиндров.

Головка клапана содержит рабочую фаску конусностью 45° или 30° , переходный конус $12...15^\circ$ и плавный переход к стержню.

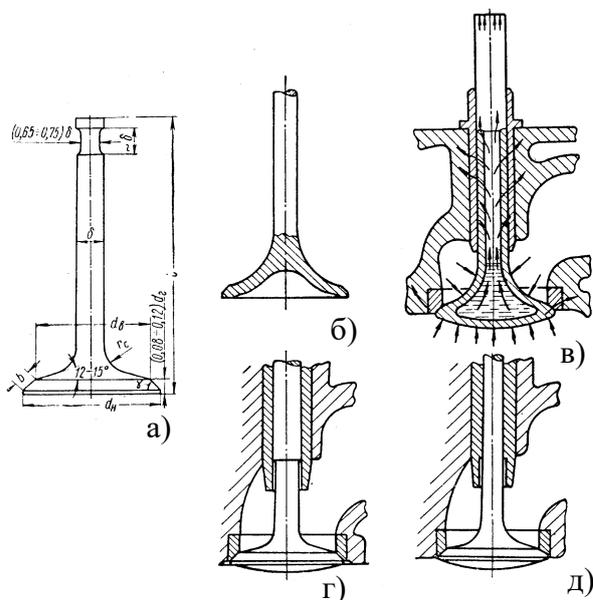


Рис.37. Клапаны:

а – с плоской головкой; **б** – с тюльпанообразной головкой; **в** – выпускной клапан с полостью, заполненной натрием; **г** – выпускной клапан с выпуклой головкой и скребком на стержне; **д** – выпускной клапан с увеличенным внутренним диаметром втулки в нижней части

с фаской 45° оправдано их хорошей обтекаемостью. На ряде двигателей с целью уменьшения массы впускных клапанов их головки делают тюльпанообразными, с выемкой на нижней поверхности головки (см. рис.37б). Снижению массы также способствует минимизация диаметра стержня клапана, что также увеличивает площадь эффективного проходного сечения горловины клапана. Выпускные клапаны изготавливают из специальных жаропрочных сталей. Из экономических соображений для головки клапана применяют специальную сталь, а для стержня более дешевую, затем головку и стержень сваривают встык. Впускные клапаны имеют меньшую тепловую напряженность, для их изготовления используют стали, легированные хромом и никелем, а на форсированных двигателях - хромом и кремнием. Седла клапанов бывают чугунные или стальные - в зависимости

Конусность рабочей фаски клапана на $1...1,5^\circ$ меньше фаски седла. При выборе угла рабочей фаски учитывается зависимость: чем меньше угол фаски, тем на меньшую величину надо открыть клапан, чтобы получить необходимое проходное сечение. Уменьшение хода клапана снижает его скорость, ускорение и, следовательно, силу инерции. Для уменьшения хода клапана часто применяют впускные клапаны с фаской 30° , для выпускных клапанов это неприемлемо, так как в условиях высоких температур острая кромка фаски будет обгорать. Применение впускных клапанов

от скорости клапана в момент посадки на седло. Рабочие фаски клапанов и седел покрывают специальным термостойким сплавом - стеллитом.

Направляющие втулки серийно выпускаемых двигателей чугунные, повышенное содержание графита в чугуне способствует уменьшению трения в паре стержень клапана - втулка. Применяют также металлокерамические направляющие втулки. Втулки запрессовываются в головку цилиндров.

Пружины клапанов содержат 6...10 витков, навитых из пружинной стальной проволоки. Крайние витки пружины сжаты между собой и сошлифованы для обеспечения строгой перпендикулярности оси пружины и ее опорных поверхностей. Таким образом, число рабочих витков пружины на 2...3 меньше полного числа витков. Для уменьшения габаритов пружины ее расчетное усилие распределяют на две пружины - наружную и внутреннюю. Чтобы витки одной пружины при поломке не оказались между витками другой пружины, направление навивки у них противоположное. Для увеличения усталостной прочности пружины подвергают дробеструйной обработке, а для повышения коррозионной стойкости применяют различные покрытия.

6.3. Приводы распределительных валов

В зависимости от расположения валов их привод осуществляется с помощью шестерен (см. рис.30, 31), стальных втулочно-роликовых цепных передач (см. рис.38, 39, 40) или зубчатых ремней. Наиболее простой привод нижних распределительных валов - парой шестерен. С целью уменьшения шумности работы шестерни - косозубые, с этой же целью применяют текстолитовые шестерни со стальной ступицей (см. рис.32). В четырехтактных двигателях рабочий цикл совершается за два оборота коленчатого вала и за цикл надо только по одному разу открыть каждый клапан, поэтому распределительный вал должен вращаться ровно в два раза медленнее коленчатого вала. Передаточное число, равное двум, обеспечивается тем, что число зубьев шестерни распредвала в два раза больше числа зубьев коленчатого вала. Для синхронной работы кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов при сборке двигателя шестерни

или звездочки привода устанавливаются строго по меткам, нанесенным на их зубьях и впадинах между зубьями, применяются также метки на передней крышке двигателя, на головке цилиндров и др.

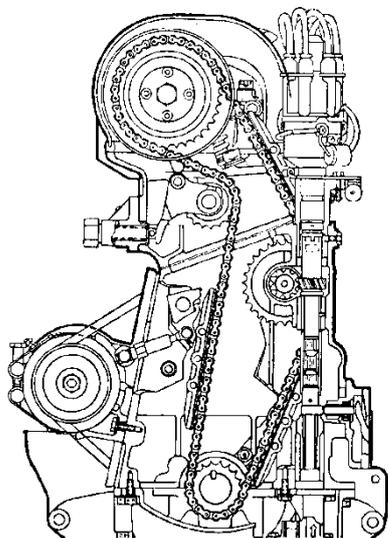


Рис.38. Привод верхнего распределительного вала цепью

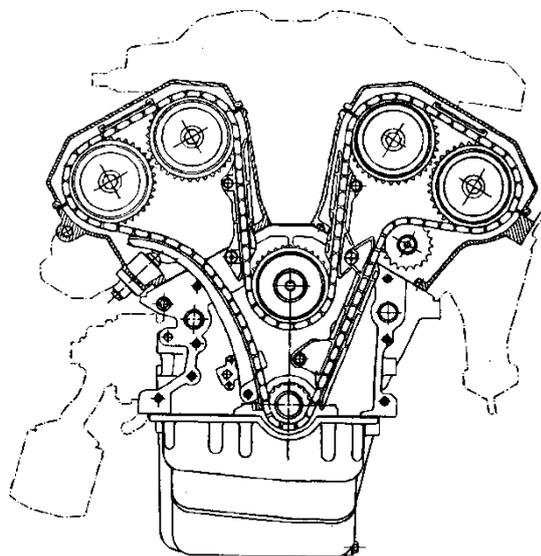


Рис.39. Привод верхних распределительных валов двигателей Ford

С целью повышения точности работы МГР привод распредвала следует осуществлять от хвостовика коленчатого вала, где амплитуда крутильных колебаний минимальна. В некоторых двигателях из **компоновочных** соображений или для уменьшения длины штанги распределительный вал удаляют от коленчатого, тогда приходится применять промежуточную шестерню, которую называют паразитной, так как она не изменяет передаточное число.

Шестеренный привод применяется иногда и для привода верхнего распределительного вала. При этом промежуточные шестерни используются для привода насоса высокого давления, водяного насоса, вентилятора и других узлов. В таких конструкциях обязательно применение устройства для автоматической регулировки межосевого расстояния шестерен.

Цепной привод требует применения натяжного устройства и успокоителя, воспринимающего колебания цепи. Рабочие поверхности обоих устройств покрываются полиамидом, обладающим малым коэффициентом трения и высокой износостойкостью. Промежуточная звездочка используется для привода масляного насоса, бензонасоса и прерывателя-распределителя системы зажигания (см. рис.38). Направляющий ролик увеличивает угол обхвата цепью ведущей звездочки. Основные недостатки цепного привода - вытягивание цепи, что приводит к искажению фаз газораспределения, и повышенная шумность работы. Кроме того, большая ведомая звездочка распределителя увеличивает габариты двигателя. Последняя проблема успешно решена посредством применения двухступенчатого привода верхних распределительных валов. При этом заданное передаточное число обеспечивается большой звездочкой первой ступени, а ведомые звездочки распределительных валов имеют те же размеры, что и ведущая звездочка коленчатого вала (рис.40). К недостаткам двухступенчатого привода можно отнести необходимость применения натяжных устройств в каждой ступени.

Привод верхних валов зубчатым ремнем в настоящее время распространен примерно так же, как и цепными передачами, он обладает меньшей шумностью. Современные технологии обеспечивают достаточную надежность ремней, однако при их использовании обычно на днищах поршней выполняют выемки, чтобы исключить столкновение клапана с поршнем в случае обрыва или перескакивания ремня.

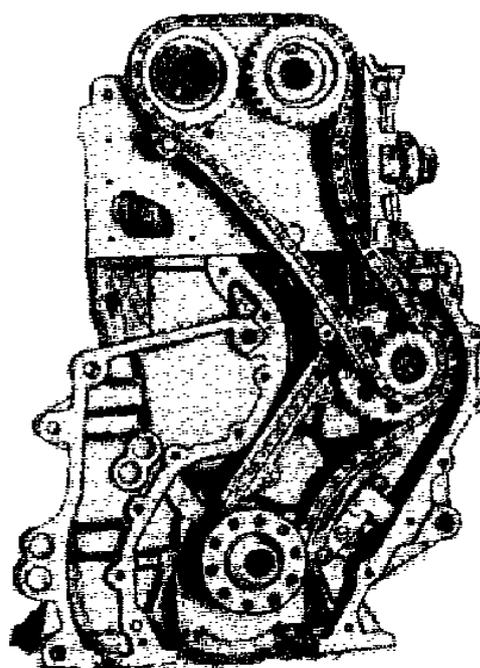


Рис.40. Схема двухступенчатого привода верхних распределительных валов двигателя VR-6 Volkswagen.

6.4. Диаграмма фаз газораспределения

Впускные и выпускные клапаны открываются с опережением начала соответствующего такта и закрываются с запаздыванием. Диаграмма фаз газораспределения (рис.41) представляет собой круговую схему с указанием выраженных в углах поворота коленчатого вала моментов начала открытия и конца закрытия клапанов.

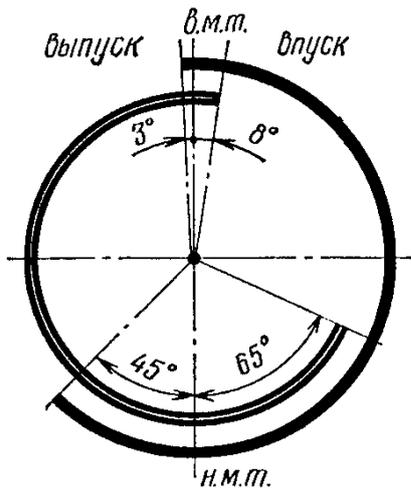


Рис.41. Диаграмма фаз газораспределения тракторного дизеля

Выпускной клапан открывается, когда поршень не доходит до НМТ (α_4) и давление в цилиндре - 0,4...0,6 МПа. Отработавшие газы за счет перепада давлений покидают цилиндр со скоростью, близкой к сверхзвуковой. В процессе такта выпуска поршень лишь “подчищает” цилиндр, не встречая заметного сопротивления, снижается работа, затрачиваемая на выпуск. В конце выпуска (α_3) и в начале впуска (α_1) оба клапана открыты одновременно. Перекрытие фаз увеличивает продолжительность процессов впуска и выпуска.

Следует отметить, что фазы рассчитываются и экспериментально уточняются обычно для одного из рабочих режимов двигателя, например, для средних нагрузок. Для других режимов фазы не оптимальны. Особенно это заметно для режима холостого хода, на котором содержание остаточных газов в цилиндрах повышено, сгорание рабочей смеси затруднено, поэтому для устойчивой работы двигателя на холостом ходу в его цилиндры подается обогащенная горючая смесь. По этой же причине двигатель гоночного автомобиля работает

на холостом ходу с перебоями, так как фазы газораспределения в этом случае подбираются для режима максимальной мощности. На современных двигателях применяется регулирование фаз газораспределения путем осевого смещения распределительного вала или его поворота вокруг оси или же изменением величины хода клапана.

6.5. Регулировка тепловых зазоров

При работе двигателя клапаны, особенно выпускные, нагреваются до высоких температур, поэтому между носком коромысла и стержнем клапана необходимо поддерживать тепловой зазор, позволяющий свободное удлинение клапана в процессе линейного расширения. В двигателях легковых автомобилей зазор составляет 0,15...0,2мм, грузовых автомобилей и тракторов - 0,25...0,35мм.

При отсутствии зазора клапан невозможно плотно закрыть, это обстоятельство затрудняет отвод теплоты от фаски и произойдет ее обгорание. Если же зазор окажется больше расчетного, возрастут ударные нагрузки на торец стержня клапана и другие детали клапана, а также будут нарушены фазы газораспределения.

Регулировка зазоров производится последовательно для каждого цилиндра с учетом порядка работы и углового смещения одноименных тактов. Например, для четырехцилиндрового четырехтактного рядного двигателя с порядком работы 1-3-4-2 и угловым смещением $\varphi=720/4=180^\circ$ после регулировки зазоров в первом цилиндре коленчатый вал поворачивают на 180° , регулируют зазоры в третьем цилиндре, затем вал опять поворачивают на 180° , регулируют зазоры в четвертом цилиндре и т.д. На V-образном шестицилиндровом двигателе с углом развала цилиндров 90° и порядком работы цилиндров 1-4-2-5-3-6 имеет место неравномерное чередование одноименных тактов: $90^\circ-150^\circ-90^\circ-150^\circ-90^\circ$, поэтому после регулировки зазоров в первом цилиндре вал поворачивают на 90° , а после регулировки в четвертом - на 150° и т. д.

Тепловой зазор регулируют при закрытом клапане, когда затылок кулачка обращен к толкателю. Этому положению соответствует конец такта сжатия, определяемый по меткам на шкиве коленчатого вала и деталях привода распределительного вала.

Необходимость регулировки теплового зазора устанавливается с помощью калиброванного щупа, который должен с небольшим заземлением входить в зазор между торцом стержня клапана и носком коромысла. Регулировочный винт с контргайкой обычно размещается на коротком плече коромысла. Отпуская контргайку, винт заворачивают для увеличения зазора или выворачивают - для его уменьшения. После регулировки затягивают контргайку, удерживая винт в требуемом положении.

В случае применения одноплечего рычага регулировку осуществляют регулировочным болтом, расположенным в опоре рычага, а необходимый зазор устанавливают в сопряжении затылок кулачка - опорная поверхность рычага.

При непосредственном приводе клапана тепловой зазор между затылком кулачка и толкателем устанавливается изменением толщины пакета регулировочных прокладок, расположенных в днище толкателя.

На современных двигателях применяют гидрокомпенсаторы, исключающие необходимость регулировки зазоров.

Контрольные вопросы

1. Недостатки и преимущества нижнего расположения клапанов.
2. Почему невозможно применение нижнего расположения клапанов в дизелях?
3. Почему в двигателях с нижним расположением клапанов повышенный расход топлива?
4. Преимущества компактной камеры сгорания.
5. С какой целью верхние клапаны размещают под углом к оси цилиндра?
6. Какой положительный эффект достигается применением четырех клапанов на цилиндр?
7. Способ сопряжения опорной поверхности толкателя и наконечника штанги.
8. Чем обеспечивается проворачивание цилиндрического толкателя вокруг оси?
9. Почему штанга выполняется полой?
10. Почему оси коромысел смазываются пульсирующей струей масла?

11. С какой целью плечо коромысла, обращенное к клапану, делают большим, чем обращенное к толкателю?
12. Основное назначение пружины клапана.
13. Как определить необходимое усилие пружины клапана?
14. В каких случаях распределительный вал устанавливают на головке цилиндров?
15. Какие детали обеспечивают разборное соединение пружины и клапана?
16. Самый простой способ проворачивания клапана вокруг оси?
17. Почему клапаны в бензиновых двигателях нагреваются больше, чем в дизелях?
18. Диаметр головки какого клапана больше - впускного или выпускного?
19. Преимущества впускных клапанов с конусностью фаски 30° .
20. Почему нельзя на выпускных клапанах применять конусность фаски 30° ?
21. Зачем стремятся уменьшить диаметр стержня клапана?
22. Чем объясняется различие понятий “рабочее число” витков и “полное число” витков пружины клапана?
23. С какой целью применяют по две пружины на одном клапане?
24. Каким образом исключить попадание витков сломанной пружины в зазор между витками рабочей?
25. За счет чего уменьшается шумность работы шестерен привода распредвала?
26. Почему распределительный вал четырехтактного двигателя должен вращаться в два раза медленнее коленчатого?
27. Чем обеспечивается синхронность работы газораспределительного и кривошипно-шатунного механизма?
28. Где целесообразнее устанавливать шестерни (звездочки) привода МГР – на носке или на хвостовике коленчатого вала?
29. Чем объясняется название шестерни - “паразитная”?
30. Какие агрегаты двигателя приводятся в действие от нижнего распределительного вала?
31. Основные недостатки цепного привода верхнего распределительного вала?

32. С какой целью применяют двухступенчатый цепной привод распредвала?

33. Что называется диаграммой фаз газораспределения?

34. Какое давление газов в цилиндре в момент открытия выпускного клапана?

35. Какие последствия для двигателя могут наступить при отсутствии теплового зазора?

36. В чем заключается опасность повышенного теплового зазора?

37. Каким образом определяется необходимость регулировки теплового зазора?

38. При каком положении клапанов (кулачков) надо регулировать тепловой зазор, как определить это положение?

39. На какой угол необходимо повернуть коленчатый вал для регулировки теплового зазора в очередном по порядку работы цилиндре четырехцилиндрового рядного двигателя и V-образного шестицилиндрового двигателя с углом развала цилиндров 90° ?

40. Каким образом регулируется тепловой зазор при использовании одноплечего рычага при верхнем расположении распределительного вала?

41. Как регулируется тепловой зазор при непосредственном приводе клапана?

42. В каком случае не требуется регулировка теплового зазора?

43. Какие силы действуют вдоль оси распределительного вала?

44. Как осуществляется осевая фиксация распределительного вала?

45. Преимущество косозубых шестерен в приводе распределительного вала?

46. Как отразится на работе двигателя поломка одной из пружин клапана?

7. СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ

7.1. Назначение и принцип действия систем охлаждения

Было бы неправильным считать, что система охлаждения предназначена только для охлаждения двигателя. Назначение системы -

поддержание оптимального теплового состояния двигателя. Для двигателей жидкостного охлаждения эта оптимальность соответствует температуре охлаждающей жидкости 85...90°С. Отклонения от оптимального теплового состояния - перегрев или переохлаждение двигателя. Наиболее опасны последствия перегрева: коксование поршневых колец в канавках поршня, потеря их подвижности и способности уплотнять надпоршневое пространство; коробление опорной поверхности головки цилиндров, разрушение прокладки головки цилиндров и проникновение охлаждающей жидкости в масло и наоборот - масла в жидкость; прогорание днища поршней; обгорание рабочих фасок клапанов; детонационное сгорание в бензиновых двигателях; нарушение расчетных зазоров в сопряжениях деталей.

Переохлаждение двигателя, даже работа с температурой охлаждающей жидкости 40...60°С, способствует увеличенному отводу теплоты в систему охлаждения вследствие повышенного температурного перепада между деталями двигателя и охлаждающей жидкостью; смыванию масляной пленки на деталях цилиндропоршневой группы из-за конденсации топлива; повышению износов; ухудшению смесиобразования.

Основные требования к системам охлаждения:

1. Недопущение перегрева или переохлаждения двигателя на всех его рабочих режимах.
2. Минимальные затраты мощности на привод агрегатов системы.
3. Надежность.
4. Поддержание невысоких разностей температур в охлаждаемых деталях.
5. Простота и удобство технического обслуживания.
6. Минимальные габариты моторной установки.
7. Минимальный уровень звукового излучения.

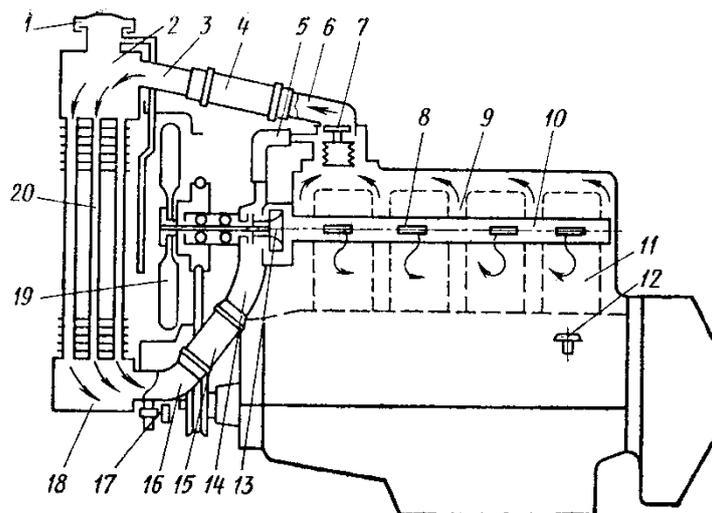


Рис.42. Схема системы жидкостного охлаждения:

1 – крышка радиатора; 2 – верхний бачок радиатора; 3 – верхний патрубок радиатора; 4 и 15 – соединительные шланги; 5 – перепускной канал; 6 и 14 – патрубки; 7 – термостат; 8 – отверстие; 9 – рубашка охлаждения; 10 – распределительная трубка; 11 – блок цилиндров; 12 и 17 – сливные краники; 13 – водяной насос; 16 – нижний патрубок радиатора; 18 – нижний бачок радиатора; 19 – вентилятор; 20 – радиатор

Применяемые в настоящее время системы жидкостного и воздушного охлаждения оцениваются по соответствию указанным требованиям. Наибольшее распространение в автотракторных двигателях получили системы жидкостного охлаждения (рис.42), их преимущества:

- более эффективное охлаждение наиболее теплонапряженных деталей, что особенно важно для форсированных двигателей;
- возможность объединения цилиндров в блоки;
- большая равномерность температурных полей и их стабильность при изменении режимов работы двигателя;
- меньшие затраты мощности на привод агрегатов системы;
- уменьшенная шумность двигателя из-за звукоизолирующего действия рубашки охлаждения и меньшее излучение звука самой системы благодаря более низким скоростям воздуха в воздушном тракте охлаждения;
- возможность отопления кабины водителя или салона с использованием теплоты охлаждающей жидкости.

Технический уровень современных двигателей позволил исключить ряд недостатков систем жидкостного охлаждения, присущих

двигателям старых выпусков: опасность замерзания и подтекания жидкости; необходимость периодического удаления накипи; сравнительно длительный прогрев и т.п., благодаря повсеместному применению низкозамерзающих жидкостей, высокой надежности уплотнений в соединениях жидкостного тракта, уменьшению объема рубашки охлаждения для сокращения времени прогрева.

К преимуществам систем воздушного охлаждения (рис.43) следует отнести: простоту конструкции, меньшие габариты и массу моторной установки, сокращение трудоемкости технического обслуживания и ремонта. Эти свойства двигателей определяют их применение для мототранспортных средств, силовых агрегатов малой механизации, тракторов с ограниченным уровнем форсирования. Имеет место также использование воздушного охлаждения для двигателей грузовых автомобилей. Однако, повышенная шумность, неравномерность температурных полей охлаждаемых деталей, меньшая жесткость конструкции, а, следовательно, и ресурс уменьшают сферу их применения.

Современные двигатели отличаются высокими значениями литровой мощности и повышенными тепловыми нагрузками деталей, поэтому подавляющее большинство автотракторных двигателей имеют жидкостное охлаждение.

Следует отметить, что в систему охлаждения отводится примерно такая же доля теплоты, какая используется для совершения полезной работы, то есть количество теплоты, отведенное системой охлаждения в единицу времени сопоставимо с эффективной мощностью двигателя.

В настоящее время применяются системы жидкостного охлаждения, как правило, закрытого типа с принудительной циркуляцией охлаждающей жидкости, то есть они разобщены с атмосферой и в них поддерживается избыточное давление с целью повышения темпера-

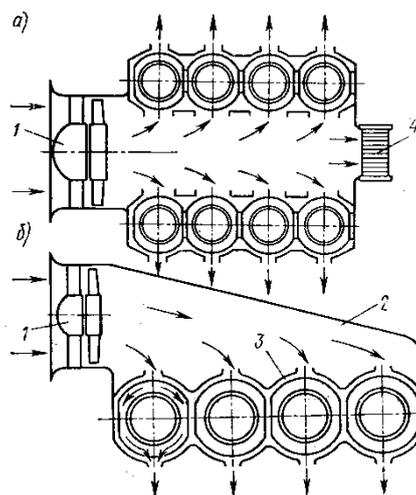


Рис. 43. Схемы воздушного охлаждения двигателей:

а – V-образного; б – рядного; 1 – вентилляторы; 2 – кожух; 3 – дефлектор; 4 – масляный радиатор

туры кипения жидкости. Принудительная циркуляция жидкости осуществляется водяным насосом.

Еще недавно в качестве охлаждающей жидкости широко использовалась вода благодаря ее большой теплоемкости (4,186 кДж/(кг·°С)) и достаточно высокой температуре кипения, при нормальных условиях равной 100°С, а в закрытых системах охлаждения - в зависимости от давления жидкости: $t_{\text{кип}}=100\sqrt[4]{P_{\text{ж}}}$, °С, где $P_{\text{ж}}$ - давление жидкости в барах. Однако, на современных двигателях вместо воды применяют низкотемпературные жидкости на основе этиленгликоля – антифризы и их аналоги – тосолы, которые были разработаны специально для автомобилей Волжского автозавода, так как существующие охлаждающие жидкости (ОЖ) не отвечали требованиям этих автомобилей. Тос (технология органического синтеза) - это название институтского отдела, в котором работали создатели этой охлаждающей жидкости, а окончание ол - обозначение химической номенклатуры веществ, которое показывает, что жидкость включает в себя спирт (этиленгликоль - это двухосновной спирт). ОЖ обладают большей температурой кипения, чем вода (в закрытой системе тосол кипит при 105°С, а антифриз – около 115°С), поэтому их применение сокращает отвод теплоты в систему охлаждения. Однако, необходимо помнить, что тосол надо менять после пробега автомобиля около 40000 км, в то время как антифриз выдерживает пробег до 240 000 км и заливать эти жидкости надо в строгой рекомендации с заводом-изготовителем автомобиля во избежание разрушения цветных металлов системы охлаждения. Температура замерзания этих жидкостей зависит от процентного соотношения в них этиленгликоля (пропиленгликоля) и дистиллированной воды. Это обстоятельство обуславливает всесезонное применение ОЖ. К их недостаткам можно отнести высокую токсичность и низкую температуру вспышки (122°С), что может привести к возгоранию при возможном подтекании. ОЖ окрашивают добавлением красных, голубых, зеленых красителей, для предупреждения пользователя о токсичности.

В системе жидкостного охлаждения (см. рис.42) теплота от нагретых деталей передается ОЖ, циркулирующей в рубашках охлаждения блока цилиндров и головке цилиндров. Горячая жидкость направляется в верхний бачок радиатора, затем, отдавая теплоту трубкам и пластинам радиатора охлажденная на $6...12^{\circ}\text{C}$ направляется от нижнего бачка радиатора 18 на вход водяного насоса и далее - в рубашки охлаждения блока и головки. Отбор теплоты от трубок радиатора осуществляется набегающим потоком воздуха и интенсифицируется вентилятором 19. Эффективность системы охлаждения повышается, если охлажденную жидкость подавать сначала к наиболее нагретым поверхностям головки и блока, с этой целью на ряде двигателей жидкость подается в рубашки по водораспределительным трубам 10.

В двигателях воздушного охлаждения (см. рис.43) воздух нагнетается вентилятором 1 в пространство между кожухом 2 и цилиндром 3. Затем он проходит по межрёберным каналам цилиндра и головки, отбирая теплоту, и через окна между дефлекторами выходит из системы охлаждения. Масляный радиатор обычно устанавливают под кожухом и поток воздуха от вентилятора охлаждает его поверхность и масло, циркулирующее в трубках. В V-образных двигателях радиатор 4 (см.рис.43а) помещают в параллельном потоке воздуха.

Величина окон в дефлекторах рассчитана из условия обеспечения необходимой скорости, а, следовательно и циркуляционного расхода воздуха, проходящего между ребрами цилиндра и головки.

В системах охлаждения автомобильных и тракторных двигателей применяют вентиляторы осевого типа, в которых воздух не изменяет своего направления. Для увеличения КПД вентилятор оснащают направляющим аппаратом, состоящим из неподвижных лопаток, расположенных под углом к оси вентилятора по направлению вращения.

Вентиляторы центробежного типа, используют в системах охлаждения одноцилиндровых двигателей по соображениям удобства компоновки.

7.2. Конструкция приборов системы жидкостного охлаждения

Водяной насос центробежного типа отличается малыми габаритами, простотой конструкции и надежностью (рис.44). Принципиальная особенность насоса, как всякого центробежного устройства, в том, что вход жидкости представляет кольцевое пространство между ступицей и внутренним диаметром лопастей крыльчатки, а выход - в

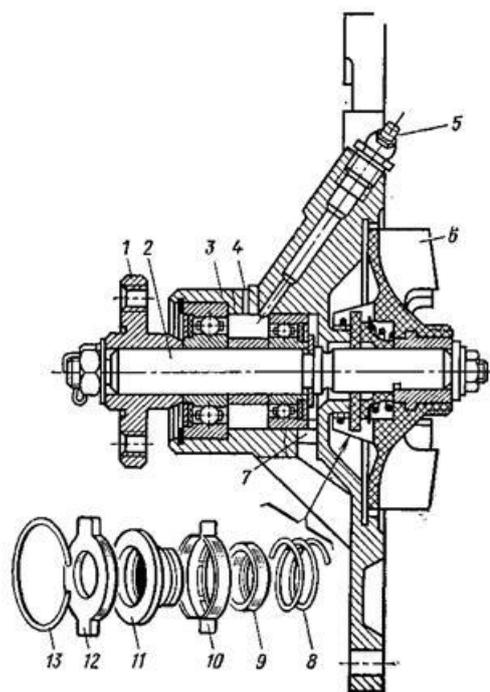


Рис. 44. Водяной насос:

1 – ступица шкива привода водяного насоса; 2 – вал; 3 – корпус; 4 – контрольное отверстие смазки; 5 – масленка (на современных двигателях не применяется); 6 – крыльчатка; 7 – контрольное отверстие; 8 – пружина; 9 и 10 – обоймы; 11 – манжета; 12 – текстолитовая шайба; 13 – стопорное кольцо

клиноременной передачи привода. Подшипники - закрытого типа, то есть не требуют замены смазки в течение всего срока службы. Между крыльчаткой и ближайшим подшипником на всех насосах монтируется уплотнительное устройство состоящее из набора деталей. Между этим устройством и подшипником на всех насосах предусматривают контрольное отверстие, подтекание жидкости из которого свидетельствует о повреждении деталей уплотнения и требует его немедленно-

перпендикулярной плоскости. Лопастные части насосов изготавливают из чугуна, текстолита, легких сплавов, а ступицы - из стали. Ступицу крыльчатки 6 напрессовывают на задний конец вала насоса и закрепляют гайкой. На передний конец вала напрессована ступица 1 шкива привода насоса.

На многих конструкциях здесь же располагается ступица вентилятора, так что водяной насос и вентилятор часто имеют общий привод. Вал насоса устанавливается в корпусе в двух шариковых подшипниках, передний из которых обычно больше, так как воспринимает нагрузку и от

го ремонта. Иначе, горячая ОЖ, проникая в подшипники, быстро выведет их из строя, что потребует полной замены насоса.

Кратность прокачивания емкости систем охлаждения современных двигателей составляет 15...30 раз в минуту, то есть, к примеру, при емкости системы охлаждения 10 л, насос имеет производительностью 150... 300 л/мин.

Лопастей крыльчаток бывают радиальными или специального профиля - как правило, загнутые назад. Профилированные лопасти рассчитывают на получение оптимального угла входа жидкости на лопасть и угла выхода, что повышает к.п.д. насоса.

Радиаторы применяют трубчато-ленточные и трубчато-пластинчатые. Исследования показали, что наилучшей теплоотдачей обладают трубчато-пластинчатые радиаторы с плоско-овальным сечением трубок и их шахматным расположением. Радиатор состоит из верхнего 2 (см.рис.42) и нижнего 18 бачков, штампованных из латуни или алюминия толщиной 0,8...1,0 мм, соединенных латунными трубками с толщиной стенки 0,15...0,20 мм; к трубкам припаяны латунные или медные охлаждающие пластины толщиной 0,08...0,20 мм. Вследствие дороговизны меди и ее сплавов, современные радиаторы оснащены пластмассовыми бачками, трубками и пластинами из рафинированного алюминия. Для увеличения прочности и жесткости радиатора к его верхнему и нижнему бачкам прикрепляют стальные пластины толщиной 1,2...2,5 мм и соединяют их горизонтальной пластиной под нижним бачком. Этот каркас радиатора и служит для его крепления на автомобиле.

Крышка радиатора (рис.45) играет важную роль в поддержании теплового состояния двигателя, благодаря наличию парового (рис.45а) и воздушного (рис.45б) клапанов. Паровой клапан разобщает систему охлаждения с атмосферой и поддерживает в системе избыточное давление 0,045...0,065 МПа, увеличивая температуру кипения охлаждающей жидкости. Воздушный клапан сообщает систему с атмосферой при разрежении 0,01 МПа. Следует заметить, что часто неисправность воздушного клапана (накипь, коррозия) служит причиной течи радиатора без всяких видимых причин его разрушения. При каждом прогреве двигателя трубки расширяются, при охлаждении - сжимаются за счет перепада между атмосферным давлением и разрежением внутри трубки при неисправности клапана. Эти переменные

усилия и вызывают появление микротрещин трубок, особенно в местах их соединения с бачками.

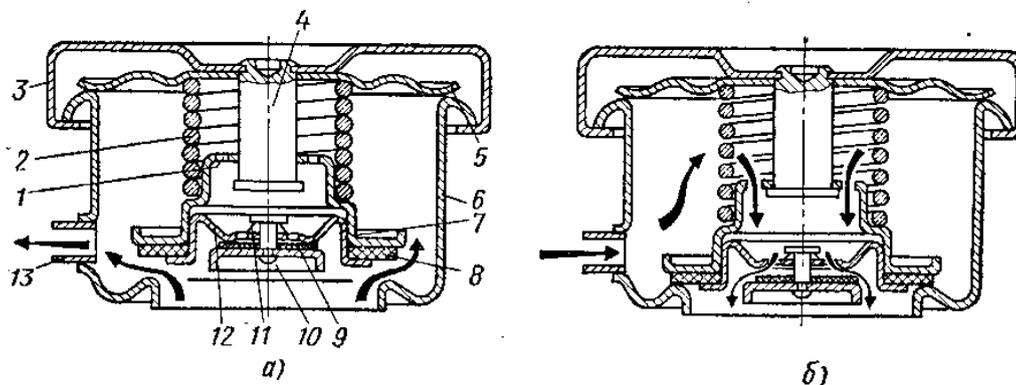


Рис.45. Крышка радиатора:

а – паровой клапан открыт; б – воздушный клапан открыт; 1 – отверстие; 2 – пружина парового клапана; 3 – корпус крышки; 4 – стойка; 5 – запорная пружина; 6 – горловина радиатора; 7 – паровой клапан; 8 – прокладка парового клапана; 9 – прокладка воздушного клапана; 10 – воздушный клапан; 11 – пружина воздушного клапана; 12 – седло воздушного клапана; 13 – пароотводная трубка

Жалюзи служат для регулирования интенсивности обдува радиатора встречным потоком воздуха, устанавливаются впереди радиатора и состоят из рамы, в которой шарнирно закреплены вертикальные или горизонтальные пластины-шторки, которые управляются из кабины водителя с помощью троса в гибкой оболочке. Обычно жалюзи закрывают при снижении температуры охлаждающей жидкости ниже 70°C .

Вентилятор, как правило, осевого типа, то есть поток воздуха направлен вдоль оси вентилятора. Число лопастей определяется необходимой его производительностью в зависимости от уровня форсирования двигателя. Применяют вентиляторы с числом лопастей от двух до восьми, лопатки могут быть стальными штампованными, приклепанными к крестовине, или литыми из пластмасс и легких сплавов. Вентиляторы с литыми лопастями имеют почти в два раза больший к.п.д. по сравнению со штампованными. Для уменьшения шума лопасти четырехлопастных вентиляторов располагают Х-образно, попарно под углом 70° и 110° .

Мощность, затрачиваемая на привод вентилятора, пропорциональна кубу частоты вращения, поэтому целесообразно при одинако-

вой производительности применение вентиляторов большего диаметра при меньшей частоте вращения.

Ступица вентилятора, как было отмечено выше, закрепляется на валу водяного насоса непосредственно или с помощью муфты - электромагнитной, вязкостной, гидравлической и т.п. Применяется также шестеренный привод вентилятора от коленчатого вала. В этом случае обязательно применение упругой муфты. Постоянный привод вентилятора порождает, как минимум, следующие отрицательные последствия: переохладение двигателя; увеличенный расхода топлива на привод вентилятора; повышенная шумность работы. Здесь уместно заметить, что все параметры системы охлаждения, в том числе производительность вентилятора, рассчитываются на работу двигателя при температуре окружающей среды $+40^{\circ}\text{C}$ на режиме максимальной мощности. Поэтому постоянный привод вентилятора нецелесообразен. Наиболее распространены следующие виды приводов вентиляторов: автономный, через вязкостную муфту, с помощью гидравлической муфты. Каждый вид привода применим при определенных условиях, например, автономный электрический привод не требует использования электродвигателя большой мощности и соответствующих массы и габаритов, он удачно вписывается в подкапотное пространство легкового автомобиля малого класса. Однако, для вентилятора трактора или грузового автомобиля потребовался бы электродвигатель большой мощности, в этом случае наиболее оправдано применение гидромуфты. На рис.46 приведена принципиальная схема **гидромуфты переменного наполнения двигателя ЯМЗ-740**, обеспечивающая автоматическое **плавное регулирование** теплового состояния двигателя. Основные элементы гидромуфты - ведущее (насосное) лопаточное колесо 9, жестко соединенное с корпусом муфты; ведомое (турбинное) колесо 7, связанное с валом привода вентилятора; включатель гидромуфты, регулирующий количество масла, подаваемого из системы смазки в корпус муфты; шкив привода водяного насоса и генератора 13, прикрепленный к корпусу гидромуфты. В зависимости от температуры охлаждающей жидкости, включатель гидромуфты пропускает в ее корпус определенное количество масла; на холодном двигателе масла в корпусе нет, так как через дренажное отверстие масло из муфты постоянно сливается в масляный поддон, а включатель закрыт; на прогретом до $80^{\circ}\text{C} \dots 95^{\circ}\text{C}$ двигателе включатель

тель полностью открыт и корпус гидромуфты заполняется маслом. При работе двигателя на частичных нагрузках уровень

масла в корпусе муфты промежуточный. Так как корпус с

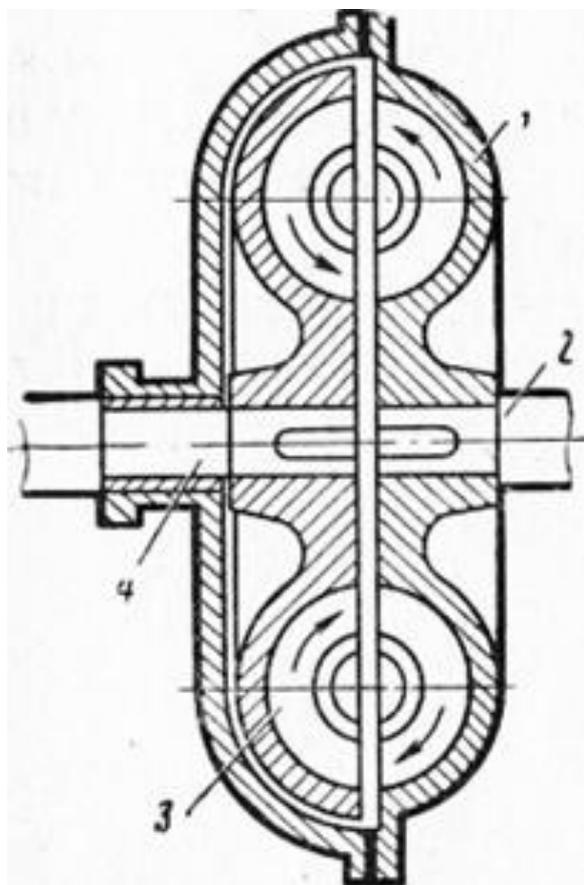


Рис.46. Схема гидромуфты:

1 – ведущее колесо; 2 – ведущий вал; 3 – проточная часть; 4 – вал привода вентилятора.

насосным колесом жестко связан с коленчатым валом, то скорость его вращения такая же, как скорость коленвала, а скорость вращения турбинного колеса равна скорости вращения вентилятора. Передача крутящего момента от насосного к турбинному колесу осуществляется за счет кинетической энергии потоков масла, перебрасываемых с лопаток насосного на лопатки турбинного колеса. При отсутствии масла в корпусе вентилятор практически не вращается, а когда корпус заполнен маслом полностью, скорость вентилятора близка к скорости коленчатого вала. Поскольку шкив привода водяного насоса и генератора жестко связан с корпусом гидромуфты, то частота вращения валов этих агрегатов равна частоте вращения коленчатого вала. Это обстоятельство используется для аварийного принудительного вращения лопастей вентилятора в случае неисправности муфты или ее включателя. В этом случае освобождают контргайки двух специальных болтов крепления крыльчатки вентилятора и вворачивают болты в резьбовые отверстия на шкиве привода вентилятора.

Длительная работа вентилятора в принудительном режиме приводит к поломке крыльчатки.

Термостаты (рис.47 и 48) служат для ускорения прогрева двигателя после пуска и поддержания оптимальной температуры охлажда-

ющей жидкости. При работе двигателя на частичных нагрузках уровень масла в корпусе муфты промежуточный. Так как корпус с насосным колесом жестко связан с коленчатым валом, то скорость его вращения такая же, как скорость коленвала, а скорость вращения турбинного колеса равна скорости вращения вентилятора. Передача крутящего момента от насосного к турбинному колесу осуществляется за счет кинетической энергии потоков масла, перебрасываемых с лопаток насосного на лопатки турбинного колеса. При отсутствии масла в корпусе вентилятор практически не вращается, а когда корпус заполнен маслом полностью, скорость вентилятора близка к скорости коленчатого вала.

ющей жидкости путем автоматического регулирования интенсивности циркуляции жидкости через радиатор. Различают термостаты с жидким и твердым наполнителями.

Чувствительным элементом термостата с жидким наполнителем (рис.47) является тонкостенный латунный гофрированный баллон (сильфон), частично заполненный легкоиспаряющейся жидкостью (1/3 объема - этиловый спирт и 2/3 - дистиллированная вода). При повышении температуры рабочая жидкость внутри баллона испаряется, давление ее паров увеличивается, сильфон расширяется и открывает клапан термостата, через который жидкость направляется для циркуляции по большому кругу: насос - рубашка - радиатор - насос. Когда двигатель еще не прогрет, клапан термостата закрыт и циркуляция осуществляется по малому кругу: насос - рубашка - насос.

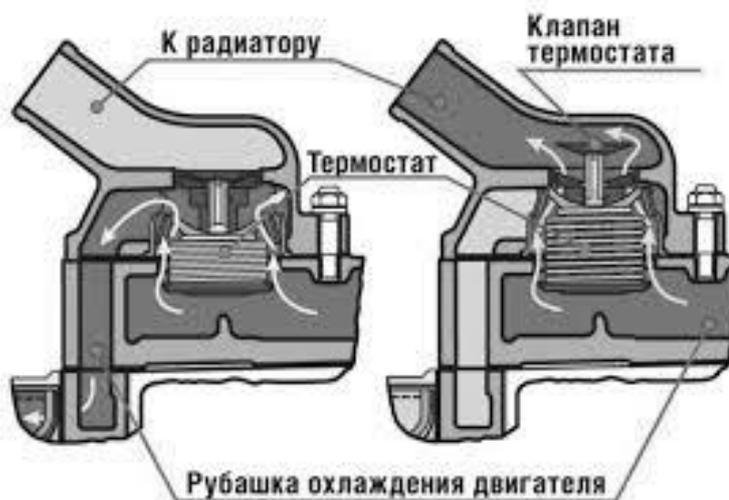


Рис.47. Схема термостата с жидким наполнителем.

Рис.48. Схема термостата с твердым наполнителем. На рисунке показан термостат с твердым наполнителем. Элементы: Фланец, Термомеханический элемент, Пылезащитное уплотнение, Пружинка, Байпасная пружинка, Байпасное уплотнение, Рамка.

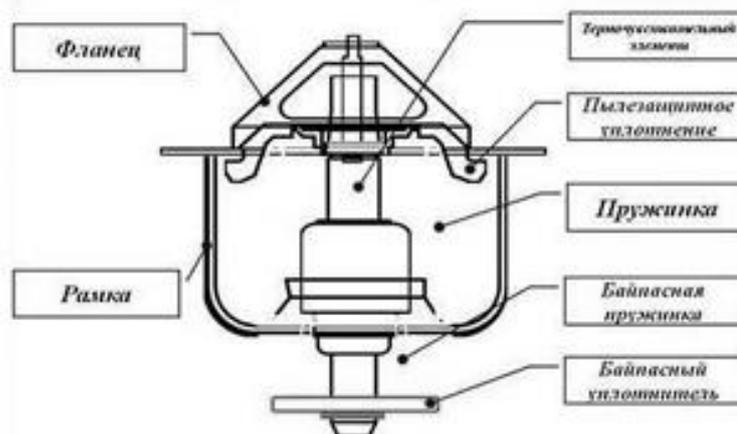


Рис.48. Схема термостата с твердым наполнителем

На ответственных двигателях применяются в основном термостаты с твердым наполнителем (рис.48), как наиболее надежные. Такие термостаты содержат тонкостенный медный баллон, заполненный церезином с графитовым порошком и закрытый резино-

вой диафрагмой. На диафрагму через резиновый буфер опирается шток, который посредством коромысла шарнирно связан с клапаном термостата.

Наибольшее распространение нашли двухклапанные термостаты, имеющие, кроме основного клапана, также клапан, регулирующий циркуляцию жидкости по малому кругу. Оптимальное тепловое состояние двигателя поддерживается совместной работой обоих клапанов.

На V-образных двигателях обычно устанавливают два термостата - по одному на выходе из водосборных труб в верхней части головок цилиндров каждого ряда, применяют также спаренные термостаты, устанавливаемые в соединении водосборных труб (ЯМЗ-740).

7.3. Интеллектуальная система охлаждения

Ужесточения экологических требований привело к разработке системы охлаждения, позволившей не только отказаться от малого круга движения ОЖ и термостата, повысить её надёжность, но и ускорить прогрев холодного ДВС приблизительно в 2 раза.

Основными элементами этой системы охлаждения являются: ДВС, система автоматического управления климатической установкой, автономный подогреватель, электронный водяной насос, электронный вентилятор, радиатор охлаждения ДВС, электронные жалюзи, электронная педаль газа, контроллер ДВС, большой контур охлаждения.

Контрольные вопросы

1. Назначение системы охлаждения двигателя.
2. По какому признаку оценивается оптимальность теплового состояния двигателя жидкостного охлаждения?
3. Назовите последствия перегрева двигателя.
4. Почему не следует переохлаждать двигатель?
5. Перечислите основные требования к системам охлаждения.
6. Преимущества и недостатки систем жидкостного охлаждения.
7. Преимущества и недостатки систем воздушного охлаждения.
8. Какая доля теплоты, полученной от сгорания топлива, отводится системой охлаждения?

Почему системы жидкостного охлаждения называются «закрытого типа»?

10. В чем заключаются преимущества тосолов, кроме их низкой температуры замерзания?
11. Недостатки тосолов.
12. С какой целью применяются водораспределительные трубы?
13. Покажите расположение входа жидкости в центробежный насос.
14. Назначение и расположение контрольного отверстия в корпусе насоса.
15. Преимущества профилированных лопастей крыльчатки насоса.
16. Каким образом обеспечивается увеличение прочности и жесткости радиатора?
17. Назначение парового клапана крышки радиатора.
18. Каким образом неисправность воздушного клапана крышки радиатора может вызвать повреждение его трубок?
19. Назначение жалюзи радиатора.
20. Преимущества вентиляторов с литыми лопастями.
21. Какое дополнительное устройство надо применять в случае шестеренного привода вентилятора?
22. Назовите отрицательные факторы, вызванные постоянным приводом вентилятора.
23. Как частота вращения вентилятора влияет на потребляемую им мощность?
24. С какой целью применяют X-образное расположение лопастей вентилятора?
25. Для каких условий работы двигателя рассчитываются параметры системы охлаждения?
26. За счет чего передается крутящий момент от насосного к турбинному колесу гидромфты?
27. Назначение термостата.
28. С какой целью к твердому наполнителю термостата (церезину) добавляют медный порошок?
29. Преимущества термостатов с твердым наполнителем.
30. Чем заполняются сильфоны в термостатах с жидким наполнителем?

8. СИСТЕМА СМАЗКИ

8.1. Назначение и принцип работы системы смазки

Система предназначена для уменьшения износа трущихся поверхностей и снижения потерь на трение и выноса продуктов износа из сопряжений. Тем не менее, **одной из важнейших задач системы смазки является отвод теплоты от подшипников коленчатого вала, поршней и других деталей.**

Производительность масляного насоса рассчитывается исходя из отбора определенного количества теплоты от указанных деталей.

В современных двигателях применяются комбинированные системы смазки: под давлением, разбрызгиванием, самотеком.

Под давлением смазываются детали, от которых необходимо отводить наибольшее количество теплоты: коренные и шатунные подшипники, втулки распределительного вала, оси коромысел и др.

Самотеком, как правило, смазываются шестерни привода распределительного вала и других агрегатов, сопряжение штанга - толкатель – кулачок нижнего распредвала.

Зеркало цилиндра и другие детали смазываются масляным туманом, образующимся при движении деталей кривошипно-шатунного механизма с высокими скоростями.

В некоторых двигателях, в том числе зарубежных, сопряжение поршневой палец - втулка шатуна смазываются под давлением путем подачи масла через канал в стержне шатуна от шатунного подшипника коленчатого вала. Часть масла при этом используется для охлаждения поршня через форсунки в поршневой головке шатуна.

Смазка осей коромысел привода клапанов, обычно, производится пульсирующей струей масла с тем, чтобы уровень масла в головке цилиндров не стал выше верхнего среза направляющих втулок клапанов для исключения попадания масла в камеры сгорания. Пульсирующая подача масла обеспечивается его прохождением через выточки в опорах распределительного вала: подача масла происходит только при совпадении выточек с масляным каналом. В некоторых двигателях пульсирующий поток масла подается к коромыслам через полость штанги от осей рычажных толкателей. Смазка осей коромысел клапанов предусматривает также подачу масла под давлением к сопряжению регулировочный винт - наконечник штанги, где имеют место высокие напряжения смятия. Системы смазки выполняют как с мокрым, так и с сухим картером – в зависимости от того, где находится основ-

ное количество масла, в картере или масляном баке. Для машин, работающих длительное время в условиях больших кренов, подъемов и спусков применяют системы с сухим картером. В таких системах предусматривают обычно две секции масляного насоса, откачивающие масло из картера в бак, а также насос, нагнетающий масло из бака в систему смазки. Системы с сухим картером используются также в двигателях, расположенных горизонтально, например дизели автобуса “Икарус”.

Принципиальная схема системы смазки дизеля ЯМЗ-740 приведена на рис.49. Система смазки состоит из маслозаборника 1, масляного насоса с двумя секциями – нагнетающей 3 и радиаторной 8, двумя предохранительными 2, 9 и одним дифференциальным 7 клапанами, системы масляных каналов, масляного фильтра 4 с перепускным клапаном 11, фильтра центробежной очистки масла с перепускным клапаном и предохранительным клапаном 12 масляного радиатора 13, масляного поддона, указателя уровня масла, маслостановочного патрубка, закрываемого крышкой, сапуна лабиринтного типа и масляного радиатора, установленного перед радиатором системы охлаждения.

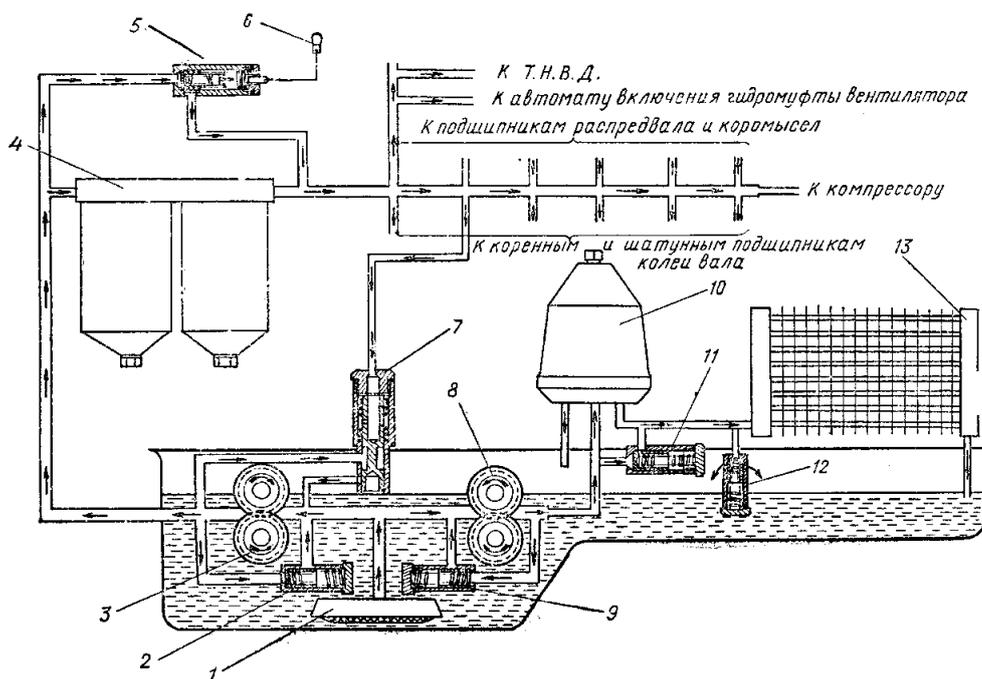


Рис.49. Схема системы смазки автомобильного дизеля:

1 – маслозаборник; 2 – предохранительный клапан нагнетающей секции; 3 – нагнетающая секция масляного насоса; 4 – масляный полнопоточный фильтр; 5 – перепускной клапан фильтра; 6 – сигнальная лампочка; 7 – дифференциальный клапан; 8 – радиаторная секция масляного насоса; 9 – предохранительный клапан; 10 – центрифуга; 11 – перепускной клапан центрифуги; 12 – предохранительный клапан радиатора; 13 – масляный радиатор

8.2. Конструкция приборов системы смазки

Масляный насос служит для обеспечения необходимого циркуляционного расхода масла (л/мин) через наиболее нагруженные сопряжения - подшипники коленчатого и распределительного валов и др., **с целью отбора от них расчетного количества теплоты.** Именно

такое назначение насоса хорошо иллюстрируется величиной циркуляционного расхода масла нагнетающей секции насоса - 87 л/мин при давлении 8...8,5 атм. Отметим, что **только при заданном давлении масла осуществляется его расчетный циркуляционный расход.**

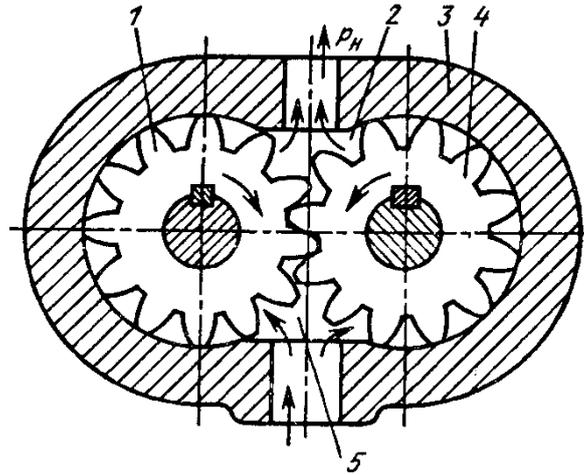


Рис.50. Схема шестеренного масляного насоса:
1 и 4 – шестерни; 2 – нагнетающая полость; 3 – корпус; 5 – всасывающая полость

При малом давлении расход масла в рассматриваемом примере составит не 87 л/мин, а, скажем, 20...30 л/мин, и этого будет недостаточно для отвода теплоты от подшипников, их температура повысится и несущая способность их антифрикционного слоя снизится до величины, ведущей к разрушению подшипников. В этом заключается опасность работы двигателя с недостаточным давлением масла.

На дизеле ЯМЗ-740 применен двухсекционный насос шестеренного типа, наиболее распространенного на современных двигателях благодаря высокой надежности, малой массе и габаритам. Он установлен в масляном поддоне и имеет привод от коленчатого вала с помощью шестерни. Крепится насос к передней опоре коленчатого вала, как и на большинстве дизелей.

Насос состоит из чугунных корпусов нагнетающей и радиаторной секций и проставки, установленной между ними. Каждая секция состоит из пары цилиндрических прямозубых шестерен. Шестерни изготовлены из стали 40Х и термически обработаны. При вращении шестерен в расточках корпуса 3 (рис.50), во всасывающей полости насоса зубья шестерни 4 выходят из впадин шестерни 1, объем впа-

дин увеличивается, создается разрежение, масло всасывается в полость 5. На противоположной стороне расположена нагнетающая полость 2, где зубья шестерни 4 входят во впадины между зубьями шестерни 1, объем впадин уменьшается, давление увеличивается. Масло, поступившее во всасывающую полость 5 и находящееся во впадинах между зубьями, проходит в нагнетающую полость 2. Масло, оставшееся во впадине между зубьями, закрытой входящим в нее зубом другой шестерни, может вызвать повреждение зуба вследствие малой сжимаемости масла. Чтобы исключить это явление, на торцевой поверхности корпуса нагнетающей полости предусматривают разгрузочную канавку.

Ведущая шестерня секции насоса обычно напрессовывается на валик и фиксируется сегментной шпонкой, а ведомая шестерня свободно вращается на стальной оси, установленной в корпусе насоса в бронзовых втулках.

Производительность насоса и давление масла на выходе зависит не только от конструктивных параметров шестерен, но также от частоты вращения и от вязкости масла. При пуске двигателя давление масла резко увеличивается вследствие повышения вязкости холодного масла. Давление также возрастает при увеличении частоты вращения. С целью поддержания рабочего давления масла насосы оснащаются предохранительными клапанами, состоящими из запорного элемента, нагруженного пружиной с расчетным усилием. Используются клапаны со сферическим запорным элементом, на ЯМЗ-740 применены плунжерные элементы, в масляных насосах двигателей ВАЗ запорные элементы тарельчатого типа. В отличие от большинства двигателей на ЯМЗ-740 рабочее давление в системе смазки поддерживается не предохранительным клапаном секции, а дифференциальным.

Усилие пружин клапанов, а, следовательно, и давление масла обычно регулируется изменением толщины регулировочных прокладок между пружиной и гайкой.

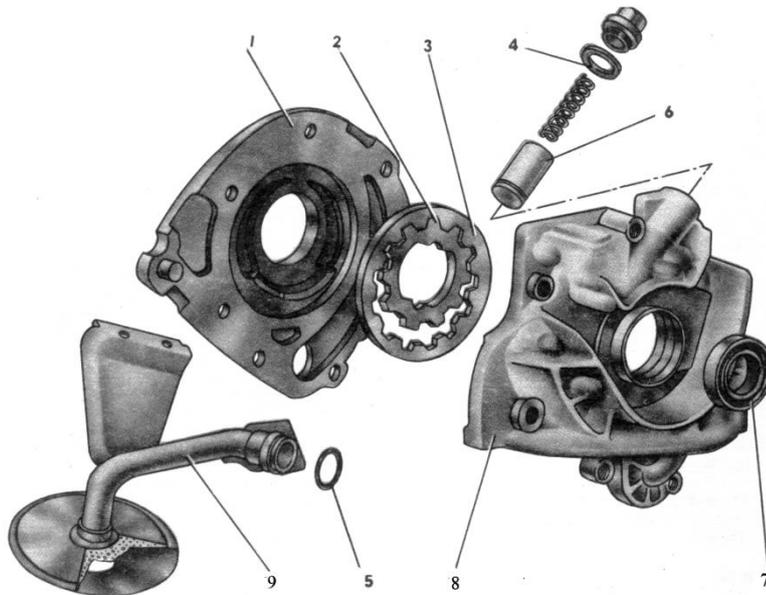


Рис.51. Героторный (с эпициклоидальным зацеплением) масляный насос:

1- корпус насоса; 2 – ведущее зубчатое колесо; 3 – ведомое зубчатое колесо; 4, 5 – уплотнительные кольца; 6 – предохранительный клапан; 7 – передний сальник коленчатого вала; 8 – крышка насоса; маслоприемник

Кроме масляных насосов шестеренного типа в последнее время получили распространение насосы героторного типа (с эпициклоидальным зацеплением), обладающие такими преимуществами, как меньшая пульсация давления, устойчивая работа при высокой частоте вращения, отсутствие необходимости промежуточных деталей привода, так как ротор насоса устанавливается непосредственно на шейке коленчатого вала (рис.51).

Отличительной особенностью шестеренного насоса с внутренним зацеплением является отсутствие разделительного элемента между сцепляющимися шестернями(роторами), чем достигается его компактность и малый вес. Внешний ротор помещен в расточке корпуса насоса, а ось вращения смещена по отношению к оси вращения внутреннего ротора на величину эксцентриситета e . Зубья внешнего ротора имеют профиль, составленных из дуг окружностей; профиль зубьев внутреннего ротора является эквидистантой эпициклоиды, то есть в насосе используется внецентроидное эпициклоидальное зацепление, позволяющее обеспечить его нормальную работу при разности внешнего и внутреннего роторов в один зуб. Вращающийся вместе с ко-

лен- валом насоса внутренний ротор приводит во вращение внешний ротор. При этом по одну сторону плоскости, проведенной через оси вращения обоих роторов, происходит увеличение объемов, заключенных между их зубьями, сопровождающееся всасыванием рабочей жидкости. Эти насосы обладают большей всасывающей способностью, чем насосы с внешним зацеплением и могут работать на высоких оборотах (5000 об/мин и выше), что позволяет обеспечить при заданных расходах большую компактность конструкции.

Маслозаборник является первичным фильтром, задерживающим наиболее крупные частицы загрязнений, которые при попадании в насос, могут вызвать его повреждение. В современных двигателях применяют неподвижно закрепленный маслозаборник и размещают его в самой низкой части масляного поддона, чтобы предотвратить подсос воздуха в систему смазки при больших продольных и поперечных кренах транспортного средства.

Маслозаборник (рис.52) состоит из всасывающей трубки с кронштейном, фланцем и чашкой в сборе, металлической сетки и крючка ее крепления. Фланец трубы крепится к корпусу масляного насоса, а кронштейн трубы - к крышке коренного подшипника коленчатого вала.

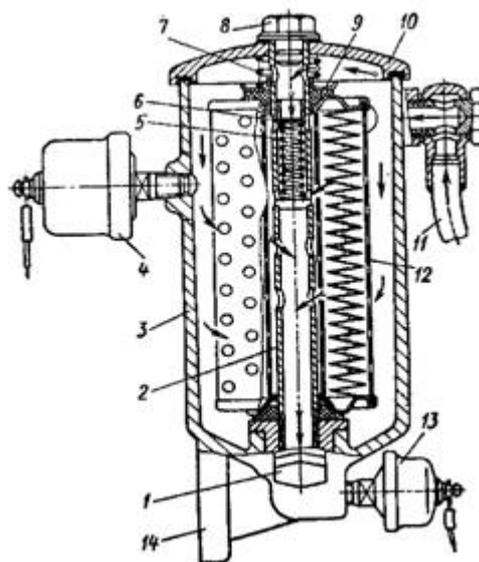


Рис.52. Одна из конструкций маслозаборника:

- 1 – крючок крепления сетки заборника; 2 – сетка с ободом; 3 – корпус заборника; 4 – всасывающая трубка; 5 – кронштейн; 6 – фланец

В двигателях легковых автомобилей обычно корпус маслозаборника отливают заодно с корпусом насоса.

Масляный фильтр предназначен для очистки масла, подаваемого в главную масляную магистраль.

В современных системах смазки применяют полнопоточные фильтры. Преимущество их состоит в том, что они обеспечивают полную очистку масла, циркулирующего в двигателе. Недостатком их является то, что фильтрующий элемент, вследствие его загрязнения,

приходится заменять, а эта операция может занести грязь в масляную магистраль. Кроме того, возникают некоторые неудобства при их утилизации.

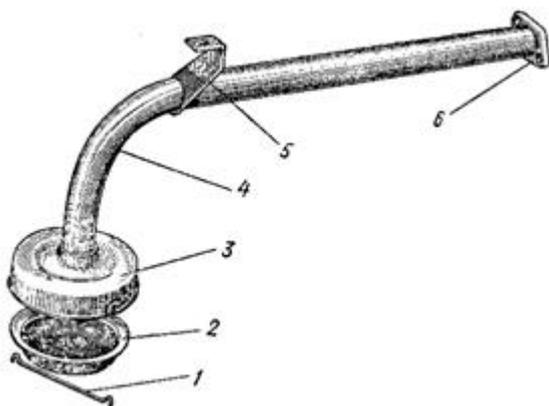


Рис.53. Масляный фильтр со сменным фильтрующим элементом:

1 – пробка сливного отверстия; 2 – сливная трубка; 3 – корпус фильтра; 4 – датчик давления масла; 5 – пружина перепускного клапана; 6 – затвор перепускного клапана; 7 – пружина; 8 – наконечник сливной трубки; 9 – уплотняющее кольцо; 10 – крышка; 11 – маслопровод; 12 – фильтрующий элемент; 13 – датчик лампы аварийной сигнализации; 14 – привалочная плоскость корпуса фильтра

ограниченном объеме фильтра разместить возможно большую площадь картона (рис.53).

На всех полнопоточных фильтрах обязательно применение перепускного клапана, осуществляющего перепуск неочищенного масла в главную магистраль при засорении фильтра.

На рис.54 корпус фильтра оснащен плунжерным перепускным клапаном, который открывается при перепаде давления до и после фильтра 2,5...3 атм., вызванного загрязнением фильтра или повышенной вязкостью масла. Встроенный в перепускной клапан сигнализатор замыкает контакты при перемещении плунжера клапана и на щитке приборов появляется сигнал, информирующий водителя о необходимости замены фильтрующего элемента.

В дизеле ЯМЗ-740 фильтр состоит из корпуса, соединенного с двумя колпаками, в которых размещены сменные фильтрующие элементы. Каркас фильтрующего элемента сверху упирается в выступ корпуса, а снизу поджимается пружиной колпака. Материал элемента - древесная мука со связующим материалом - пульвербакелитом, применяют также элементы из специального фильтровального картона, сложенного гармошкой, чтобы в

В двигателях легковых машин применяют полнопоточные фильтры со сменным фильтрующим элементом или неразборные, которые при засорении заменяются новым. В обоих случаях в фильтры встраивается перепускной клапан и противодренажный, препятствующий сливу масла из системы при остановке двигателя. Это способствует быстрому нарастанию давления масла после пуска двигателя.

Фильтр центробежной очистки масла (центрифуга) предназначен для очистки масла от мелких механических примесей размером до 1 мкм. Основным элементом центрифуги

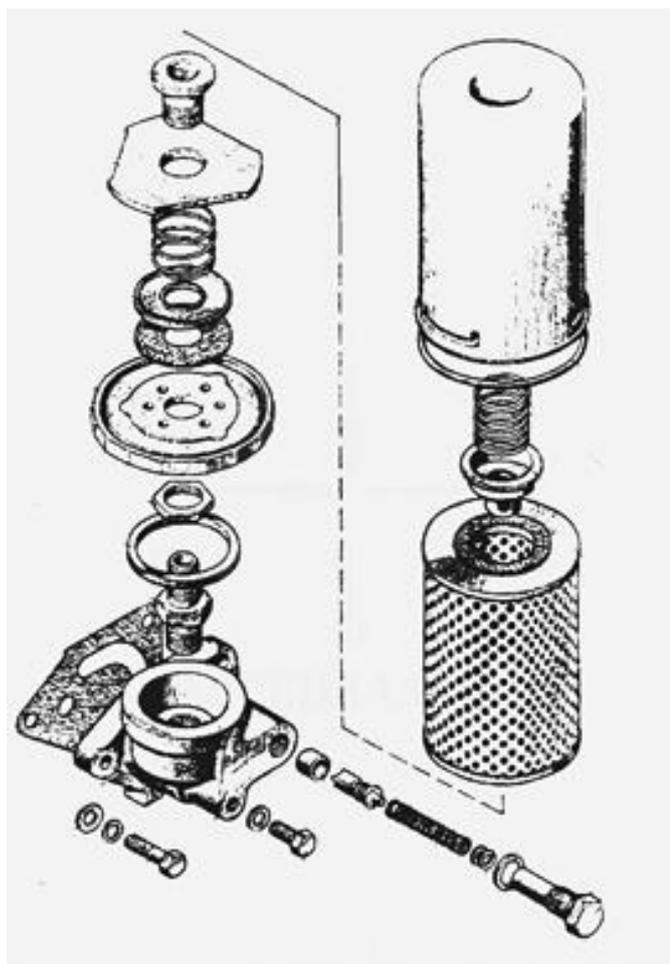


Рис.54. Масляный фильтр дизеля

(рис.55) является ротор, состоящий из корпуса, колпака, стакана, сетчатого фильтра, гайки крепления колпака и двух жиклеров. Выходные отверстия жиклеров направлены в противоположные стороны, а их оси расположены в горизонтальной плоскости. Ротор свободно вращается на оси. Для уменьшения сопротивления вращению ротора в нижнюю и верхнюю части его корпуса запрессованы бронзовые втулки и в качестве опоры ротора применен упорный шарикоподшипник.

Центрифуга работает следующим образом. Масло из радиаторной секции масляного насоса подается в нижнюю часть корпуса, затем через полулю

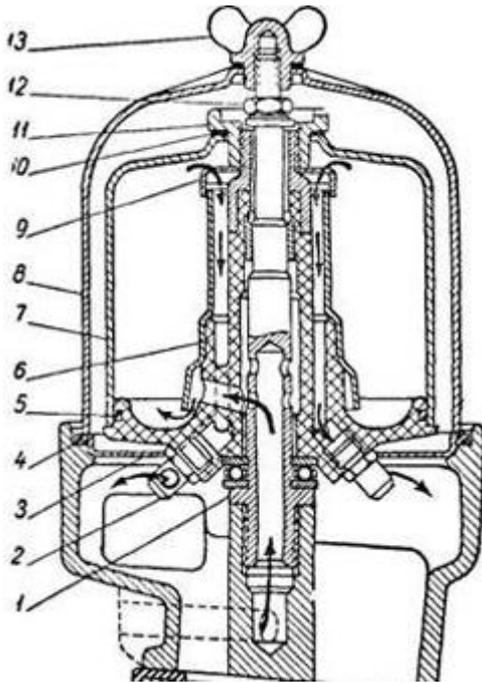


Рис.55. Центрифуга:

1 – Ось ротора; 2 – жиклер; 3 – отражатель; 4 – прокладка; 5 – уплотнитель; 6 – ротор; 7 – кожух корпуса; 8 – кожух; 9 – фильтрующая сетка; 10 – прокладка; 11 – гайка крепления колпака; 12 – гайка крепления ротора; 13 – барашек крепления кожуха.

нижнюю часть оси ротора - внутрь колпака, проходит через сетчатый фильтр в кольцевую щель между корпусом ротора и стаканом и выбрасывается из ротора через жиклеры. При истечении масла из жиклеров возникают две реактивные силы, которые на плече, равном радиусу расположения жиклеров, создают реактивный момент, приводящий ротор во вращение с частотой 5000...6000 мин⁻¹. Вместе с ротором вращается масло, находящееся под колпаком. Под действием центробежных сил частицы загрязне-

ний отбрасываются на внутреннюю цилиндрическую поверхность колпака и оседают на ней, а очищенное масло поступает далее к масляному радиатору. В дизелях ЯМЗ-740 в центрифуге применен перепускной клапан, обеспечивающий подачу масла в масляный радиатор при повышении давления на входе до 6,0...6,5 атм. вследствие засорения центрифуги. В корпус центрифуги также встроен предохранительный клапан масляного радиатора. Начало открытия этого клапана осуществляется при давлении масла 0,5...0,7 бар, что предохраняет трубки радиатора от разрушения.

Производительность радиаторной секции масляного насоса при давлении 7,0...7,5 бар позволяет очищать в центрифуге и охлаждать в радиаторе 31 литр масла в минуту.

Высокая надежность и эффективность центрифуг объясняют широкое распространение их на автотракторных двигателях в радиаторных контурах систем смазки. Однако, применение центрифуг в качестве полнопоточного фильтра нецелесообразно по двум основным причинам. Центрифуга начинает очищать масло, когда частота вра-

щения ротора достигнет 5000...6000 мин⁻¹, а до этого в двигатель поступает неочищенное масло, что повышает износ деталей. Кроме этого, центрифуга не очищает масло от частиц, плотность которых равна плотности масла, а таких частиц в масле накапливается значительное количество.

Масляный радиатор применяется для охлаждения масла, нагретого в двигателе. Ранее масляными радиаторами оснащались лишь двигатели грузовых автомобилей и тракторов, а вследствие высокого уровня форсирования возникла необходимость охлаждения масла и в двигателях легковых автомобилей.

На автомобилях КамАЗ в систему смазки включен трубчато-пластинчатый радиатор с горизонтальным расположением трубок. Он устанавливается перед радиатором системы охлаждения.

При низкой температуре окружающей среды, радиатор можно отключить с помощью крана.

8.3. Система вентиляции картера

Вентиляция картера служит для удаления из него газов, проравшихся туда из надпоршневого пространства, и поддержания в картере давления, близкого к атмосферному. В качестве примера, на рис. 56 представлена схема вентиляции картера автомобильного двигателя ВАЗ 2111, включающая: картер двигателя 1, сапун 2, шланг от сапуна к патрубку крышки головки цилиндров 3, маслоотделитель 4, шланг от клапанной крышки к штуцеру с жиклером блока дроссельной заслонки 5, штуцер с жиклером 6, шланг от клапанной крышки к впускной трубе 7.

Необходимость вентиляции

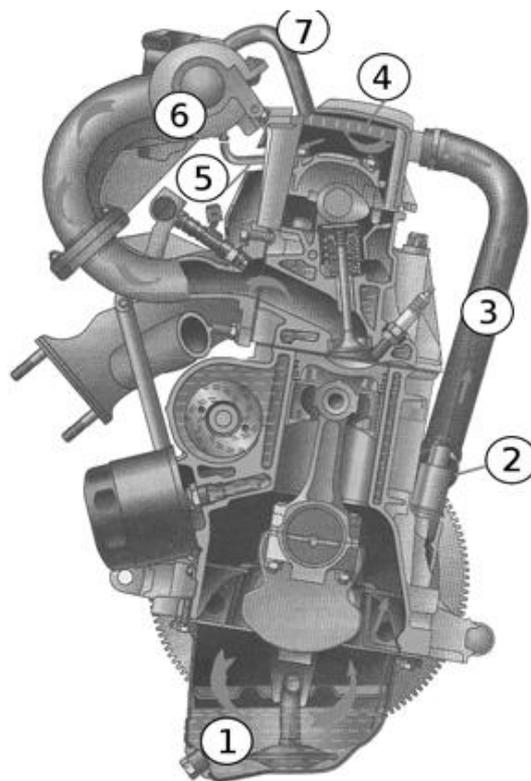


Рис.56 Схема вентиляции картера двигателя ВАЗ 2111:

1 —картер двигателя; 2 — сапун; 3 — толстый шланг; 4 – маслоотделитель; 5 — тонкий шланг; 6 — штуцер; 7 — шланг.

картера вызвана тем, что картерные газы, состоящие из почти равных частей горючей смеси и продуктов сгорания, уменьшают срок службы масла. Под воздействием активных кислот, образующих с маслом эмульсию, возникает коррозия смазываемых поверхностей. Кроме того, картерные газы повышают давление в картере, что приводит к утечкам масла через уплотняющие устройства.

Ранее применялись как открытые, так и закрытые системы вентиляции. В открытых системах картерные газы через вытяжную трубу отводились в атмосферу. Однако, ужесточение норм токсичности привело к преимущественному использованию закрытых систем вентиляции. В этих системах картерные газы отсасываются во впускной трубопровод двигателя, откуда, смешиваясь со свежим зарядом, поступают в цилиндры двигателя.

В закрытых системах вентиляции обязательно применение маслоуловителя. Как правило, используются маслоуловители с сапуном лабиринтного типа, в котором картерные газы неоднократно изменяют направление движения, вследствие чего под действием сил инерции капельки масла отделяются от картерных газов и стекают в картер.

Например, в двигателе автомобиля ЗИЛ-130 картерные газы отсасываются через маслоуловитель и клапан во впускной трубопровод. Положение клапана в корпусе зависит от степени открытия дроссельной заслонки карбюратора. Если двигатель работает с прикрытой дроссельной заслонкой, то во впускном трубопроводе создается сильное разрежение. Клапан поднимается вверх, частично перекрывает проходное отверстие, уменьшая количество отсасываемых из картера газов. При работе двигателя с полностью открытой дроссельной заслонкой разрежение во впускном трубопроводе значительно уменьшается. Клапан под действием силы тяжести опускается вниз и открывает проходное отверстие, увеличивая количество картерных газов, проходящих через это отверстие в трубку. Газы увлекаются потоком горючей смеси в цилиндр двигателя через открытый впускной клапан. Таким образом, клапан регулирует количество газов, отсасываемых из картера, и предотвращает сильное загрязнение горючей смеси при работе двигателя с малыми нагрузками. Нарушение состава смеси может вызвать перебои в работе двигателя. Для очистки картерных газов от масла применяют маслоуловитель. Воздух в

картер двигателя поступает через фильтр, установленный на маслозаливной горловине. На двигателе автомобиля ГАЗ-24 «Волга» применяется закрытая принудительная вентиляция картера. В ней используется разрежение во впускном трубопроводе и в воздушном фильтре. При работе двигателя на частичных нагрузках (дроссельная заслонка открыта не полностью) за заслонкой создается высокое разрежение. Оно передается в картер двигателя по шлангу и в воздушный фильтр по шлангу. Картерные газы отсасываются через маслоуловитель, сетчатые элементы, расположенные в крышке коромысел, и по шлангу малого диаметра через щелевое отверстие поступают за дроссельную заслонку во впускной трубопровод. К картерным газам, идущим по шлангу, добавляется чистый воздух, поступающий по шлангу большого диаметра. Все эти газы и воздух смешиваются с горючей смесью, поступают через открытый впускной клапан в цилиндр двигателя и там сгорают.

На полных нагрузках (дроссельная заслонка открыта почти полностью) возрастает разрежение в воздушном фильтре, и отсос картерных газов в цилиндры происходит через два шланга и. Причем большая часть газов по более широкому шлангу и через воздушный фильтр попадает в карбюратор и впускной трубопровод. Меньшая часть — по шлангу через щелевое отверстие под дроссельную заслонку и во впускной трубопровод. При эксплуатации автомобиля нельзя нарушать герметичность закрытой системы вентиляции картера. Не следует допускать работу двигателя при открытой маслозаливной горловине, так как это приводит к повышенному износу двигателя. Работу системы вентиляции картера можно проверить следующим образом: при работающем с малой частотой вращения на режиме холостого хода двигателе нужно пережать шланг малого диаметра. Если частота вращения коленчатого вала двигателя резко уменьшается или двигатель останавливается, то система вентиляции работает нормально.

Известно, что автомобиль выделяет много токсических веществ. Если принять все токсические вещества, выделяемые автомобилем, за 100%, то 65% составят отработавшие газы, 20% картерные газы и 15% пары топлива. Несомненно, что тип системы вентиляции картера отражается на количестве выделяемых токсических веществ, т. е. на загрязнении окружающей среды. В настоящее время на автомобилях

получает широкое распространение закрытая система вентиляции картера, позволяющая уменьшить выброс токсических веществ с отработавшими газами в атмосферу.

Дифференциальный клапан 7 (см. рис.49) управляется давлением масла в главной масляной магистрали и поддерживает в ней рабочее давление 4,0...4,5 атм. В моменты превышения этой величины поршень клапана перемещается, сжимая пружину, и сообщает нагнетающую полость масляного насоса со сливным отверстием в корпусе клапана, при этом часть масла сливается в поддон, и давление выравнивается.

Применение дифференциального клапана способствует увеличению срока службы фильтрующего элемента, так как излишки масла, сбрасываемые клапаном, через фильтр не проходят.

Следует оценить кратность циркуляции масла в системе смазки на примере дизеля ЯМЗ-740: емкость масляного поддона составляет 21 л, нагнетающая секция насоса имеет производительность 87 л/мин, радиаторная - 31 л/мин, таким образом, **в минуту через двигатель прокачивается почти 120 литров масла, кратность циркуляции $k=120:21 \cong 6 \text{ мин}^{-1}$.**

Контрольные вопросы

1. Назначение системы смазки.
2. К каким сопряжениям масло подается под давлением?
3. Почему к осям коромысел МГР масло подается пульсирующей струей, каким образом?
4. Какой клапан служит для ограничения давления масла в системе?
5. Исходя из чего рассчитывается производительность масляного насоса?
6. Почему система смазки называется комбинированной?
7. Назначение масляного насоса.
8. В чем заключается опасность эксплуатации двигателя с недостаточным давлением масла?
9. За счет чего создается разрежение во всасывающей полости насоса?
10. Каким образом создается давление масла в нагнетающей полости?

11. Назначение разгрузочной канавки на торцевой поверхности нагнетающей полости насоса?
12. С какой целью применяются предохранительные клапаны насосов?
13. Какой клапан в дизеле ЯМЗ-740 поддерживает рабочее давление масла в системе?
14. Каким образом можно отрегулировать давление срабатывания клапана?
15. Преимущества героторных масляных насосов.
16. Почему маслозаборник размещают в самой низкой части масляного поддона?
17. С какой целью фильтровальный картон складывают гармошкой при изготовлении фильтрующего элемента?
18. Применение какого клапана обязательно в конструкции полнопоточного фильтра?
19. Какие два клапана содержатся в неразборном полнопоточном фильтре?
20. За счет чего вращается ротор центрифуги?
21. Что предусматривается для уменьшения сопротивления вращению ротора центрифуги?
22. Два основных недостатка центрифуги, как полнопоточного фильтра.
23. Назначение вентиляции картера.
24. Почему необходимо применение маслоуловителей в закрытых системах вентиляции картера?
25. Оцените кратность циркуляции масла.
26. Покажите путь масла в корпусе шестеренного масляного насоса.
27. Какой клапан предотвращает повреждение масляного радиатора?

9. СИСТЕМА ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЯ

9.1. Особенности смесеобразования в дизелях

В отличие от двигателей с принудительным зажиганием горючей смеси в дизелях применяется внутреннее смесеобразование - топливо с воздухом смешивается непосредственно в цилиндрах двигателя. В конце такта сжатия в раскаленный до $600...700^{\circ}$ воздух, находящийся в камере сгорания, впрыскивается тонкораспыленное дизельное топливо, прогревается, испаряется и воспламеняется во всем объеме. Давление в цилиндре в момент начала впрыскивания достигает $5...6$ МПа. Время смесеобразования в дизелях более чем в 10 раз меньше, чем в бензиновых двигателях. Сложность и кратковременность процесса смесеобразования в дизеле требует значительного избытка воздуха в горючей смеси, поэтому дизели работают на обед-

ненных и бедных горючих смесях.

Качество внутреннего смесеобразования зависит от конструкции камеры сгорания: разделенной или неразделенной. К разделенным относятся вихревые и предкамеры (рис.65), которые позволяют за счет повышения интенсивности смесеобразования снизить токсичность продуктов сгорания и уменьшить скорость нарастания давления в цилиндрах, однако из-за увеличения площади поверхно-

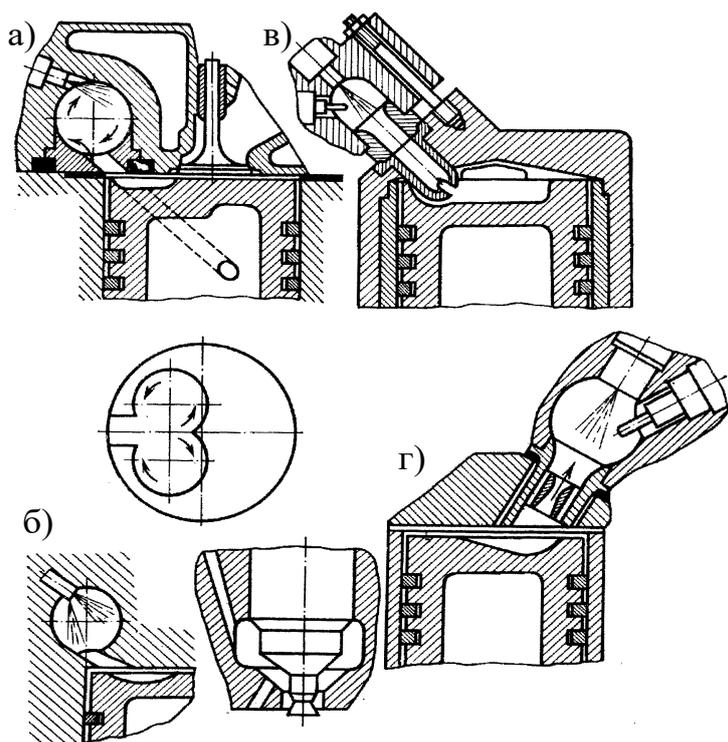


Рис.57. Разделенные камеры сгорания:

а – вихревая (на верхней проекции показано направление перетекания заряда из основной полости в вихревую камеру при сжатии, на нижней - из вихревой камеры в основную при расширении); б – вихревая и распылитель типа «Пинтакс» со вспомогательным пусковым распыляющим отверстием; в – предкамера; г- предкамера малого перепада давления дизеля ВММ

сти теплоотдачи и затрат работы на перетекание заряда, дизели с разделенными камерами отличаются повышенным расходом топлива. В настоящее время положительный эффект разделенных камер достигается и при применении неразделенных камер путем оптимального сочетания, как минимум, трех факторов: формы камеры сгорания, вихревого движения свежего заряда (воздуха) и характеристик топливной аппаратуры. Благодаря получению реальных положительных результатов неразделенные камеры сгорания (рис.58) получили наибольшее распространение.

Виды смесеобразования зависят от типа и размеров камеры сгорания: объемное, когда топливо распыливается в объеме камеры сгорания; комбинация объемного и пристеночного, при котором часть топлива достигает стенки камеры сгорания; пристеночное, когда почти все топливо направляется в пристеночную зону.

При объемном смесеобразовании отношение диаметра камеры сгорания к диаметру цилиндра $0,75...0,85$, при комбинированном – $0,5...0,6$, а в случае пристеночного – $0,4...0,5$.

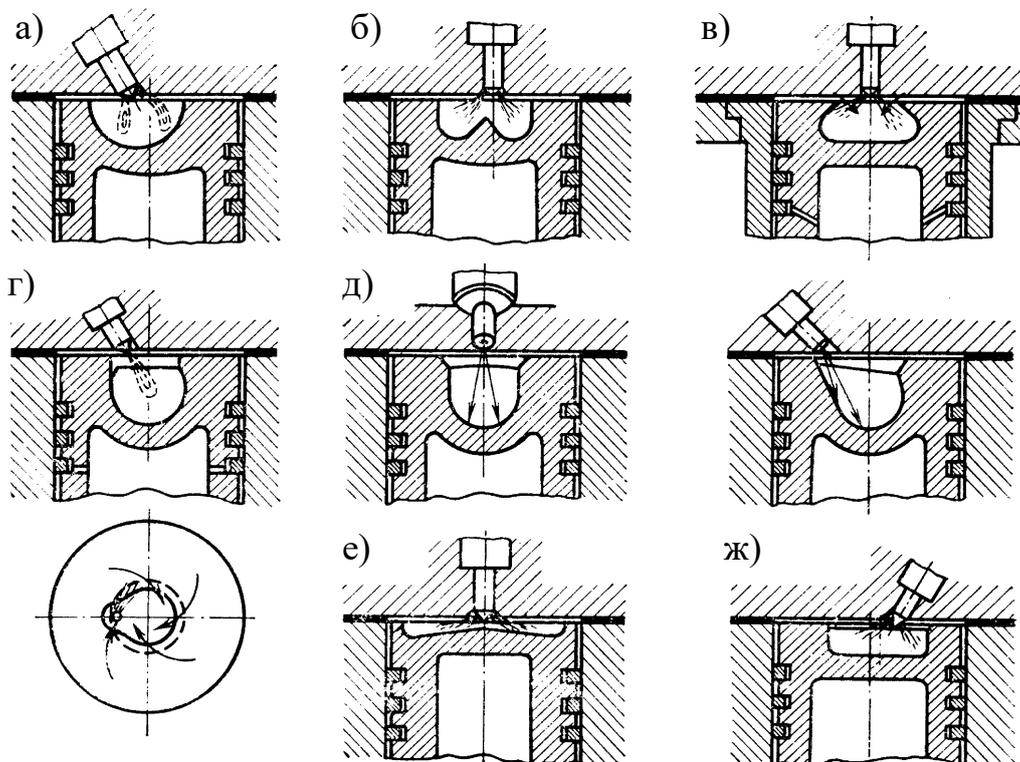


Рис.58. Неразделенные камеры сгорания:

а – полусферическая дизелей ВТЗ; **б** – четырехтактных дизелей ЯМЗ и АМЗ; **в** – ЦНИДИ; **г** - дизелей МАН; **д** – дизелей «Дойтц»; **е** – «Гессельман»; **ж** –дизелей «Даймлер-Бенц»

В топливной аппаратуре дизелей применяются прецизионные (сверхточные) сопряжения деталей - плунжер и гильза насоса высокого давления, игла и распылитель форсунки, зазоры между которыми составляют 1,0...1,5 мкм. Эти детали смазываются и охлаждаются дизельным топливом, которое должно обладать оптимальной вязкостью.

Важнейшим свойством дизельных топлив является воспламеняемость, характеризующаяся периодом задержки воспламенения. Воспламеняемость дизельных топлив оценивается цетановым числом (ЦЧ), чем оно больше, тем меньше период задержки воспламенения. ЦЧ называется смесь цетана и альфа-метилнафталина, которая по периоду задержки самовоспламенения равноценна исследуемому топливу. При большом запаздывании воспламенения к началу видимого горения основная доза топлива оказывается уже введенной в цилиндр и, воспламеняясь, приводит к резкому увеличению давления газов, что недопустимо.

ЦЧ дизельного топлива определяют путем сравнения его свойств с опытной смесью - цетана, обладающего минимальной задержкой воспламенения, и альфа-метилнафталина, который трудно воспламеняется. Если, например, период задержки воспламенения дизельного топлива такой же, как у смеси 40% цетана и 60% альфа-метилнафталина, то цетановое число топлива - 40. Отечественная промышленность выпускает дизельные топлива с цетановым числом 40...45.

Дизельные топлива различаются также по температуре кристаллизации, при которой образуются кристаллы парафиновых углеводородов, затрудняющие подачу топлива через фильтры, и температуре застывания, когда кристаллы заполняют весь объем топлива и движение жидких углеводородов становится невозможным. По указанным признакам дизельные топлива подразделяются на группы: ДА - арктическое - для использования при температурах воздуха ниже минус 30°C, зимнее З - при температуре от 0° до -30°C и летнее Л - при температуре выше 0°.

Принципиальная схема системы питания дизеля приведена на рис.59, она состоит из топливного бака 13; фильтра грубой очистки топлива 12; топливного насоса высокого давления (ТНВД) 8; который обычно агрегатизируется с подкачивающим 10 и ручным 9 насосами, всережимным регулятором частоты вращения и муфтой опережения

впрыскивания; фильтра тонкой очистки топлива 2, трубок высокого давления 7 и форсунок 5.

Подкачивающий насос 10 через фильтр грубой очистки 12 забирает топливо из бака и нагнетает его через фильтр тонкой очистки 2 в насос высокого давления 8. Отметим, что на указанном участке (после подкачивающего насоса) давление топлива низкое, однако выше атмосферного (например 0,16 МПа). Избыточное давление предотвращает попадание воздуха в систему и обеспечивает необходимую скорость заполнения секций насоса высокого давления топливом. Следует обратить внимание на важную особенность системы питания дизеля: наличие устройств и средств **удаления** из системы **воздуха** и **воды**, так как наличие даже незначительного количества пузырьков воздуха не дает возможности поднять давление топлива до величины, обеспечивающей подъем иглы форсунки, а присутствие частиц воды приводит к повреждению прецизионных пар ТНВД и форсунки, к разрушению распылителей.

Рассмотрим путь топлива от ТНВД до камеры сгорания. При перемещении плунжера в гильзе секции давление топлива повышается и открывается нагнетательный клапан при давлении

1,8...2,0 МПа, дальнейшее нарастание давления происходит в трубках высокого давления и в каналах форсунки. При давлении 16..18 МПа (на серийных отечественных дизелях) поднимается игла форсунки,

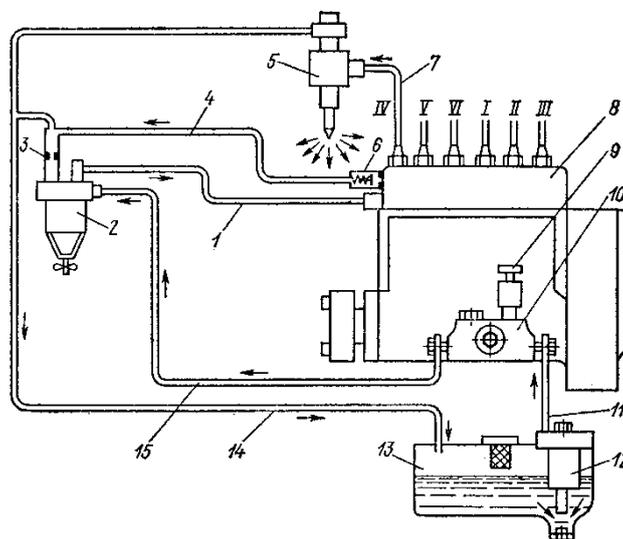


Рис.59. Схема системы питания дизеля:

I-IV – номера цилиндров; 1, 11 и 15 подводящие топливopроводы; 2 – фильтр тонкой очистки; 3 – сливное калиброванное отверстие; 4 и 14 – сливные топливopроводы; 5 – форсунки; 6 – сливной клапан; 7 – топливopровод высокого давления; 8 – топливный насос высокого давления; 9 – ручной топливopодкачивающий насос; 10 – топливopодкачивающий насос; 12 – фильтр грубой очистки; 13 – топливный бак

открывая отверстия распылителя, и топливо впрыскивается в камеру сгорания.

Однако, кроме указанного направления движения топлива, в системе питания дизеля предусматривается также три круга обратной циркуляции топлива. Первый круг: часть топлива отводится в бак от фильтра тонкой очистки через калиброванное отверстие 3 (жиклер). Задача первого круга состоит в автоматическом удалении из системы частиц воздуха, случайно проникнувшего в систему через негерметичные соединения (прокачка системы); поддержании постоянства давления топлива на входе в ТНВД; увеличении количества отфильтрованного топлива, так как сливаемое в бак топливо прошло через оба фильтра. Второй круг обратной циркуляции: часть топлива отводится в бак из отсечного канала ТНВД через клапан 6 по трубопроводам 4 и 14. Второй круг выполняет те же функции, что и первый, и, кроме того, обеспечивает циркуляцию топлива в ТНВД, необходимую для смазки и охлаждения плунжерных пар секций насоса. Третий круг обратной циркуляции - отвод топлива, неизбежно просочившегося в зазорах между иглой и корпусом форсунки. Этот круг также способствует своеобразной циркуляции топлива в форсунке, необходимой для отвода теплоты и смазки деталей форсунки и, кроме того, исключает подтекание топлива из отверстий распылителей и их закоксовывание.

9.2. Приборы и механизмы системы питания дизеля

Топливный бак в отличие от бензиновых двигателей оснащен углублением и сливным краном. Поскольку вода тяжелее дизельного топлива, она отстаивается в нижней части бака и после каждого межсменного отстоя ее необходимо сливать до запуска двигателя. С этой же целью на корпусах фильтров предусмотрены сливные пробки. Внутри топливного бака устанавливаются перегородки, с целью уменьшения колебания топлива во время движения автомобиля.

Подкачивающий насос служит для подачи топлива из бака через фильтр грубой очистки топлива в фильтр тонкой очистки и в ТНВД, а также для прокачки системы с целью удаления воздуха. Применяются насосы шестерённые и плунжерного типа; последние получили наибольшее распространение.

Насос имеет два привода: ручной и механический. Ручным приводом пользуются для заполнения топливом фильтров, топливопроводов и удаления из топливной системы воздуха и паров топлива, особенно перед пуском после длительной остановки. При работе двигателя действует механический привод топливоподкачивающего насоса. Насос подаёт топлива больше, чем его необходимо для работы двигателя. Это лишнее топливо служит для охлаждения деталей ТНВД и для удаления из системы воздуха и паров топлива, выделяющихся в процессе работы.

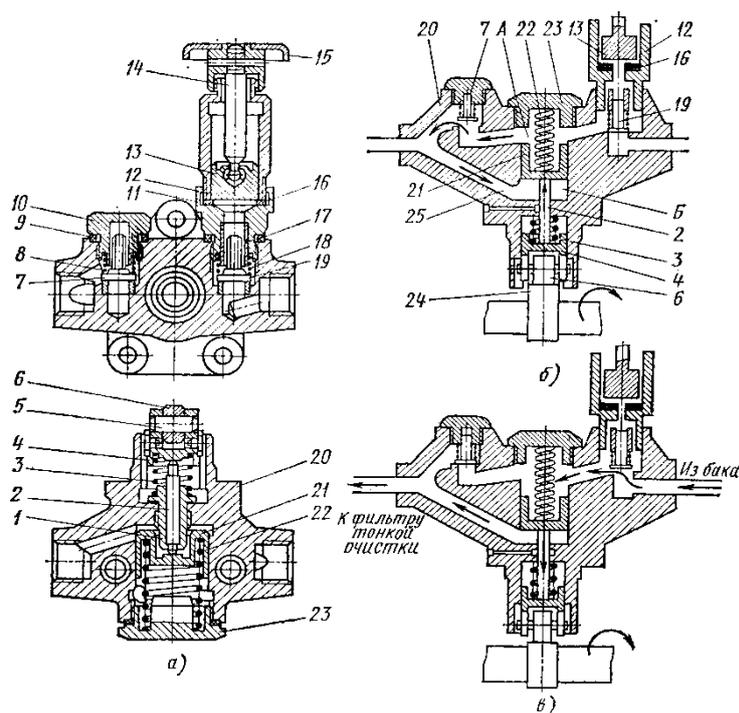


Рис.60. Плунжерный топливоподкачивающий насос:

а – конструкция насоса; **б** и **в** – схемы работы соответственно при всасывании и нагнетании; **А** – полость над поршнем; **Б** – полость под поршнем; **1** – втулка штока; **2** – шток толкателя; **3**, **8**, **18** и **22** – пружины; **4** – толкатель поршня; **5** – ось ролика; **6** – ролик толкателя; **7** – затвор выпускного клапана; **9** и **16** – прокладки; **10** и **23** – резьбовые пробки; **11** – штуцер цилиндра насоса ручной подкачки; **12** – цилиндр насоса ручной подкачки; **13** – поршень; **14** – шток поршня; **15** – рукоятка насоса ручной подкачки; **17** – шайба; **19** – затвор впускного клапана; **20** – корпус насоса; **21** – поршень; **24** – эксцентрик кулачкового вала; **25** – перепускной канал

Как уже было отмечено, подкачивающий насос обычно монтируется на корпусе ТНВД и приводится в действие от эксцентрика, расположенного на кулачковом валу ТНВД. Насос состоит из чугунного корпуса **20** (рис.60б), в котором помещен стальной поршень **21**. Внутри поршня установлена пружина **22**, нижним торцом опирающа-

яся в днище поршня, а верхним - в резьбовую пробку 23. Эксцентрик 6 кулачкового вала ТНВД воздействует на роликовый толкатель 4 и через шток 2 перемещает поршень в верхнее положение, сжимая пружину, находящуюся внутри поршня. Следует обратить внимание на то, что при этом объем полости А уменьшается, следовательно, давление топлива возрастает, а в полости Б - под поршнем - объем увеличивается и давление понижается, поэтому топливо, находящееся над поршнем, поступает не к фильтру тонкой очистки, а через открытый давлением топлива выпускной клапан 7 - в полость Б, где давление пониженное. При сбегании эксцентрика с толкателя 6 поршень 13 **под действием силы упругости пружины** перемещается в нижнее положение, вытесняя топливо из полости Б по перепускному каналу 25 к фильтру тонкой очистки топлива. При этом объем полости А увеличивается и под воздействием разрежения открывается впускной клапан 19, а выпускной клапан 7 закрывается, в полость А засасывается топливо.

Пружина 3 служит для обеспечения постоянного контакта толкателя 6 с эксцентриком 24 кулачкового вала. Впускные 19 и выпускные 7 клапаны состоят из капроновых затворов, пружин 8 и 18 и седел, запрессованных в корпус 20.

Подкачивающий насос обладает очень важной особенностью – он обеспечивает постоянство давления топлива (например 0,16 МПа на дизеле ЯМЗ-236) независимо от режима работы дизеля, так как в **каждом цикле работы насоса нагнетание топлива производится под действием пружины**. Постоянство давления топлива на линии низкого давления системы питания необходимо для точного дозирования цикловой подачи топлива ТНВД, например, для дизеля ЯМЗ-740 разброс цикловых подач каждой секцией ТНВД допускается в пределах 0,5...1,5 мм³/цикл.

При малых расходах топлива его давление в полости Б препятствует распрямлению пружины 22, и поршень заводится в промежуточном положении, при котором обеспечивается равновесие сил от давления топлива, с одной стороны, и усилия пружины, с другой стороны.

Насос ручной подкачки топлива размещен на корпусе подкачивающего насоса. Цилиндр 12 насоса ввернут в штуцер 11 корпуса подкачивающего насоса, внутри цилиндра находится поршень 13 со

штоком 14 и рукояткой 15. В нерабочем состоянии рукоятка 15, снабженная внутренней резьбой, накручена на резьбовой наконечник цилиндра 12. Насос ручной подкачки, в отличие от ручного привода бензонасоса, служит не только для заполнения системы топливом из бака, но и для удаления воздуха из системы. Для этого отворачивается пробка фильтра тонкой очистки и насосом прокачивается топливо до тех пор, пока в сливаемом топливе не прекратятся пузырьки воздуха.

Фильтр грубой очистки отделяет от топлива относительно крупные механические частицы и примеси воды, он может быть выполнен в виде фильтра-отстойника или механического фильтра со сменным фильтрующим элементом.

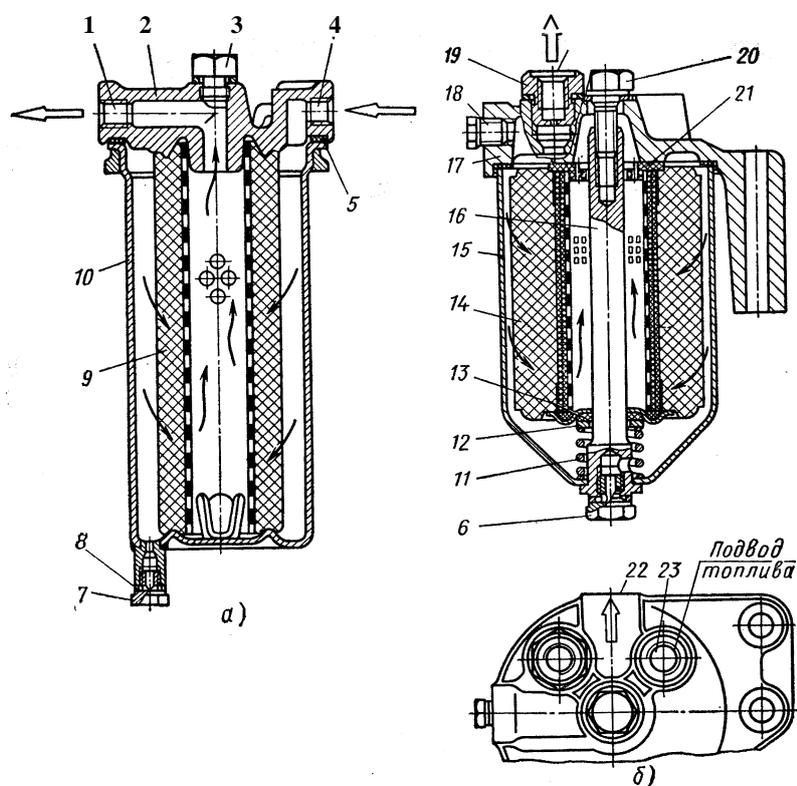


Рис.61. Топливные фильтры:

а – фильтр грубой очистки; **б** – фильтр тонкой очистки; 1 – отверстие для отвода топлива; 2 и 17 – крышки; 3 и 18 – пробки; 4 и 23 – отверстия для подвода топлива; 5,8,13 и 21 – прокладки; 6 и 7 – пробки сливных отверстий; 9 и 14 – фильтрующие элементы; 10 и 15 – корпуса; 11 – пружина; 12 – шайба; 16 – стержень; 19 – штуцер с калиброванным отверстием; 20 - болт

Фильтр грубой очистки топлива со сменным фильтрующим элементом приведен на рис.69а. В корпусе 10 враспор между днищем корпуса и крышкой 2 установлен фильтрующий элемент, представ-

ляющий собой перфорированный латунный каркас, на который наматано несколько слоев ворсистого хлопчатобумажного шнура.

Топливо поступает в фильтр через отверстие 4, попадает в кольцевое пространство между корпусом и фильтрующим элементом, проходит через слой шнура и, очистившись, поступает через перфорированный каркас во внутреннюю полость фильтрующего элемента. Через канал в крышке и отверстие 1 топливо направляется к подкачивающему насосу.

Фильтр грубой очистки топлива может быть установлен непосредственно в топливном баке.

Фильтр тонкой очистки топлива (рис.61) служит для задержки мелких механических загрязнений и частиц воды. Фильтрующий элемент состоит из перфорированного каркаса, обернутого слоем ситца, на котором формуется пористый брикет из древесной муки, пропитанной связующим веществом - пульвербакелитом.

Топливо под давлением поступает в фильтр через вертикальное отверстие 23, заполняет кольцевое пространство между корпусом и фильтрующим элементом, продавливается через пористую массу элемента в перфорированный каркас и очищенное, через канал в крышке и отверстие 22, отводится в ТНВД.

В крышке предусмотрено калиброванное отверстие 19 (жиклер) для отвода части топлива в бак (круг обратной циркуляции).

Отстой воды удаляется из фильтра через отверстие, закрываемое резьбовой пробкой 6.

Топливный насос высокого давления предназначен для подачи к форсункам дизеля в строго определенные фазы каждого рабочего цикла точно дозированного количества топлива под давлением, достаточным для качественного смесеобразования.

Рассмотрим работу ТНВД на примере насоса секционного типа автомобильного дизеля. Такие насосы обычно имеют рядное расположение секций, число которых равно числу цилиндров, однако применяются и V-образные конструкции (ЯМЗ-740). Используются также насосы распределительного типа, в которых одна секция обслуживает 2...4 цилиндра.

Основным элементом ТНВД секционного типа является секция с прецизионной парой плунжер-гильза. Поперечный разрез секции приведен на рис.70. Корпус 4 насоса обычно отливается из алюминии-

евого сплава и состоит из картера, заполненного моторным маслом, в нем размещается кулачковый вал, опирающийся на радиально-упорные подшипники. В верхней части ТНВД, разделенной с картером горизонтальной перегородкой, находятся плунжерные пары, устройство для регулирования цикловой подачи, нагнетательный клапан и два канала - для подвода топлива в надплунжерные пространства 27 и для отвода топлива 15.

Плунжерная пара состоит из плунжера 33 и гильзы 28, изготовленных с высокой точностью, так, чтобы диаметральный зазор между ними не превышал 0,0010...0,0015 мм, что и обеспечивает при высоких

давлениях впрыскивания (30...40 МПа) отсутствие утечек топлива без применения дополнительных уплотнений.

Положение гильзы 28 в корпусе 4 фиксируется винтом 14, она имеет в верхней части два отверстия - впускное, через которое топливо из канала 27 заполняет надплунжерное пространство, и выпускное (отсечное), расположенное ниже, сообщенное с каналом 15, через который отводится топливо из секции в топливный бак.

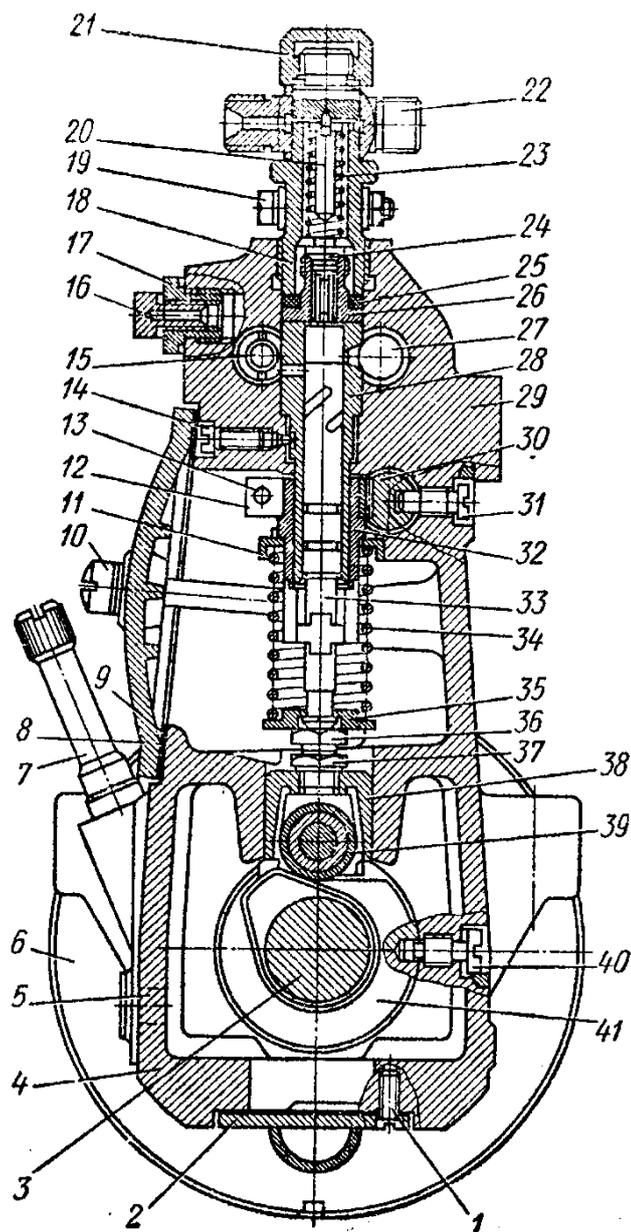


Рис. 62. Секция насоса высокого давления

Плунжер 33 имеет винтовую канавку, соединенную вертикальным и горизонтальным каналами с надплунжерным пространством гильзы. Характерной особенностью винтовой канавки является изменение расстояния от ее кромки до кромки отсечного отверстия при повороте плунжера вокруг оси. Это расстояние и определяет величину цикловой подачи топлива. На нижней части плунжера имеются два прямоугольных выступа, связанные с пазами поворотной втулки 32, которая является звеном регулирования цикловой подачи. Нижний торец плунжера плотно прижимается к головке регулировочного болта 36 силой упругости пружины 34.

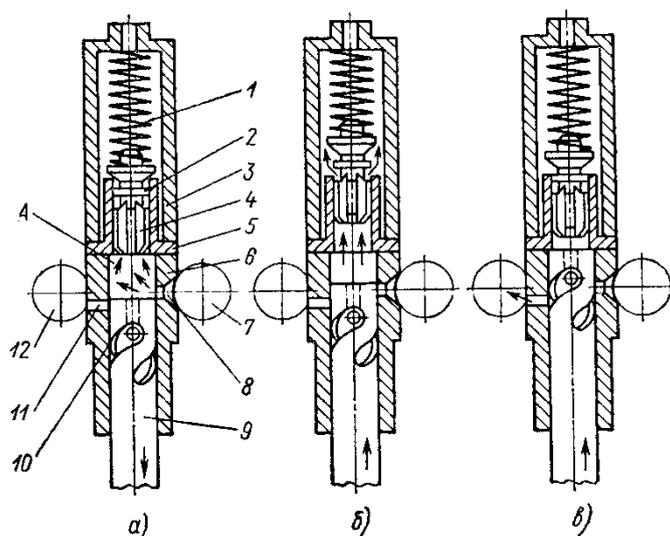


Рис.63. Схема работы секции насоса высокого давления рядного типа:

а – впуск топлива; б – начало подачи; в – конец подачи; А – надплунжерное пространство; 1 – пружина нагнетательного клапана; 2 – разгрузочный пояс; 3 – штуцер; 4 – затвор нагнетательного клапана; 5 – седло нагнетательного клапана; 6 – гильза; 7 – подводящий канал; 8 – впускное отверстие гильзы; 9 – плунжер; 10 – рабочая винтовая канавка плунжера; 11 – выпускное отверстие гильзы; 12 – отводящий канал

растает давление топлива. При достижении расчетного значения, например 1,8 МПа, открывается нагнетательный клапан и при дальнейшем ходе плунжера давление топлива продолжает увеличиваться в трубке высокого давления, соединяющей секцию насоса с форсункой, и в каналах форсунки. Когда давление под иглой форсунки достигает величины, достаточной для подъема иглы, например 18 МПа, она поднимается, открывая отверстие распылителя, и начинается

Схема работы секции ТНВД приведена на рис.71. Когда плунжер 9 движется вниз, его боковая поверхность открывает впускное отверстие 8 в гильзе и надплунжерное пространство А заполняется топливом из подводящего канала 7. Под действием кулачка плунжер перемещается вверх, перекрывает впускное отверстие и в объеме полости А возрастает давление топлива.

впрыск топлива в камеру сгорания. При перемешивании топлива с раскаленным воздухом образуется горючая смесь, которая воспламеняется, и дальнейший впрыск топлива осуществляется в пламя. Окончание впрыска произойдет, когда кромка винтовой канавки 10 плунжера совместится с кромкой выпускного отверстия гильзы 11 и линия высокого давления через отверстия в плунжере соединится с линией низкого давления - отводящим каналом 12. За счет резкого уменьшения давления игла форсунки опустится и закроет отверстия распылителя, нагнетательный клапан секции под действием пружины 1 также закроется. Важное значение в обеспечении четкой отсечки подачи топлива имеет такая конструктивная особенность клапана, как наличие цилиндрического разгрузочного пояска 2. При опускании затвора клапана 4 в седло 5 цилиндрический поясок вместе с расточкой в седле образуют своего рода обратный насос, резко понижающий давление в трубках и в каналах форсунки, что устраняет подтекание топлива из форсунки и способствует соблюдению закона подачи топлива в следующем цикле.

Таким образом, изменение цикловой подачи и мощности дизеля осуществляется путем изменения расстояния между кромкой винтовой канавки плунжера и кромкой выпускного отверстия гильзы. Ход нагнетания изменяется при перемещении зубчатой рейки, находящейся в зацеплении с зубчатыми секторами плунжеров, и их поворачивании вокруг оси. Для регулирования величины цикловых подач каждой секцией, зубчатые секторы имеют клеммовое соединение с плунжером, позволяющее устанавливать одинаковый ход нагнетания в каждой секции путем поворота плунжера вокруг оси при ослаблении винта этого соединения. Регулирование цикловых подач производится на специальном стенде.

Важной регулировкой секций является обеспечение строго определенного для каждой секции момента начала подачи, а, следовательно, и установочного угла опережения впрыскивания топлива в каждом цилиндре. С этой целью на верхнем торце толкателя секции размещается регулировочный болт с контргайкой. На насосах, например дизеля ЯМЗ-740, указанная регулировка осуществляется изменением толщины пакета регулировочных прокладок, закрепленного на толкателе. Такой способ регулировки имеет большую стабильность. Идентичность углов опережения впрыскивания топлива в каждом ци-

линдре достигается также строго одинаковой длиной трубок высокого давления от секции насоса до форсунки.

Форсунка предназначена для впрыскивания топлива в цилиндр двигателя под давлением, обеспечивающим тонкость распыливания и распределение топлива по камере сгорания. На автотракторных двигателях применяют форсунки закрытого типа, в которых каналы, подводящие топливо, разобщены с камерой сгорания.

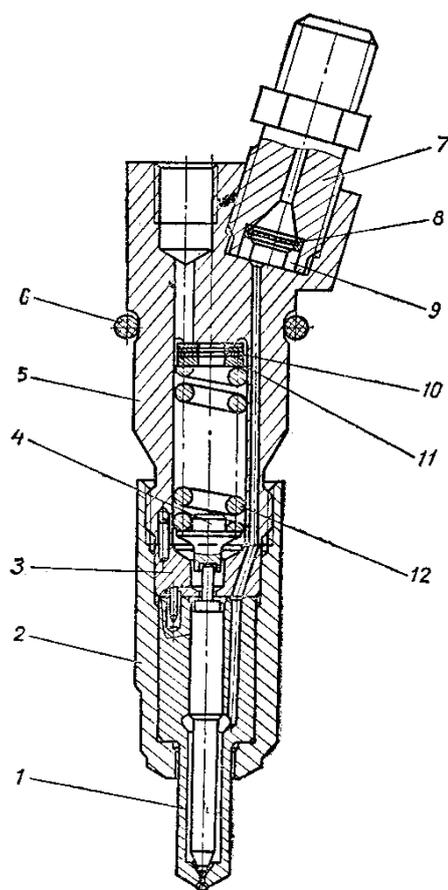


Рис.64. Форсунка:

1 – распылитель; 2 – гайка распылителя; 3 – проставка; 4 – штанга; 5 – корпус форсунки; 6 – уплотнительное кольцо; 7 – штуцер; 8 – фильтр; 9 – втулка фильтра; 10 – пакет регулировочных прокладок; 11 – опорная шайба; 12 – пружина форсунки

В верхней части корпуса форсунки установлен штуцер для соединения с трубкой высокого давления и размещения фильтра.

Топливо к штуцеру форсунки подводится от насоса высокого давления, проходит через фильтр, вертикальный канал корпуса форсунки в кольцевую полость на торце распылителя, а затем в кольцевое

Форсунка (рис.64) состоит из стального корпуса, выполненного из конструкционной стали, и соединенного с распылителем колпачковой гайкой. Между корпусом и распылителем установлена проставка, фиксируемая с корпусом и распылителем стальными штифтами. Корпус распылителя изготовлен из хромо-никеле-ванадиевой стали, специально обработанной для получения высокой твердости и износостойкости. Запорная игла распылителя выполнена из инструментальной стали и также обработана до высокой твердости. На верхний конец иглы передается через штангу усилие пружины форсунки, регулируемое изменением толщины пакета прокладок.

пространство, образованное переходом сечения иглы от большого к малому диаметрам. Усилие подъема иглы создается действием давления топлива на площадь поверхности указанного кольцевого пространства. Когда это усилие становится больше усилия пружины форсунки, запорная игла распылителя поднимается, открывая отверстия распылителя, через которые осуществляется впрыск топлива в камеру сгорания. Применяют трех-, четырех- и пяти-дырчатые распылители с диаметром отверстий 0,15...0,30 мм.

При отсечке подачи топлива насосом высокого давления игла распылителя резко опускается вниз под действием пружины и закрывает доступ топлива к сопловым отверстиям распылителя. Просочившееся топливо через зазор между корпусом распылителя и запорной иглой отводится через вертикальный канал корпуса форсунки к сливному трубопроводу и далее - в топливный бак.

Давление подъема иглы на дизеле ЯМЗ-740 составляет $18+0,5$ МПа, а давление впрыска повышается до 30...40 МПа за счет проталкивания топлива через тонкие сопловые отверстия. Наблюдается тенденция увеличения давления впрыска, например на дизелях Volkswagen его величина достигла 205 МПа. Однако, в этом случае применение трубок, соединяющих секции насоса высокого давления с форсунками невозможно из-за деформации трубок и искажения закона впрыскивания, поэтому впрыск осуществляется насос-форсунками, объединяющими секцию насоса и форсунку в одном узле.

В отличие от описанной конструкции применяют также двухпружинные форсунки, снижающие скорость нарастания давления в цилиндре в процессе сгорания.

Автоматическая муфта опережения впрыска предназначена для обеспечения наиболее выгодного угла опережения впрыска на различных режимах работы дизеля. Например, для надежного пуска угол опережения относительно ВМТ должен быть небольшим и его необходимо увеличивать при возрастании частоты вращения. Муфта устанавливается на конце кулачкового вала насоса высокого давления и соединяет его с валом привода насоса, который вращается с той

же частотой, что и распределительный вал, то есть в два раза медленнее, чем коленчатый вал.

Центробежный механизм опережения впрыска состоит из двух полумуфт - ведомой и ведущей. Когда частота вращения увеличивается, то под действием центробежных сил, действующих на грузы, расположенные между полумуфтами, происходит угловое смещение ведомой полумуфты в сторону вращения кулачкового вала насоса - угол опережения впрыска увеличивается.

На некоторых дизелях, например ВТЗ, муфты опережения впрыска не применяются, чтобы упростить конструкцию и уменьшить стоимость. В этом случае угол опережения впрыска постоянный, выбранный с учетом обеспечения и требуемых пусковых качеств дизеля, и его эффективности на рабочих режимах.

Регулятор частоты вращения коленчатого вала предназначен для поддержания заданного установившегося режима работы дизеля, когда крутящий момент двигателя равен моменту сопротивления потребителя (автомобиля, трактора и т.п.).

Различают двухрежимные и всережимные регуляторы, двухрежимные автоматически поддерживают устойчивую частоту вращения на режиме холостого хода и на максимальной частоте вращения, а всережимный, кроме того, обеспечивает устойчивую работу дизеля на всех скоростных режимах, задаваемых водителем (оператором). На автотракторных двигателях чаще применяют всережимные регуляторы.

Регуляторы обычно устанавливаются на корпусе насоса высокого давления и приводятся в действие от его кулачкового вала.

Схема работы регулятора двигателя ЯМЗ-740 приведена на рис.65. Он состоит из держателя грузов, муфты грузов, упорного подшипника, рычагов управления регулятором, пружины регулятора и деталей привода регулятора. Привод регулятора осуществляется от вала насоса с помощью ведущей, промежуточной и ведомой шестерен.

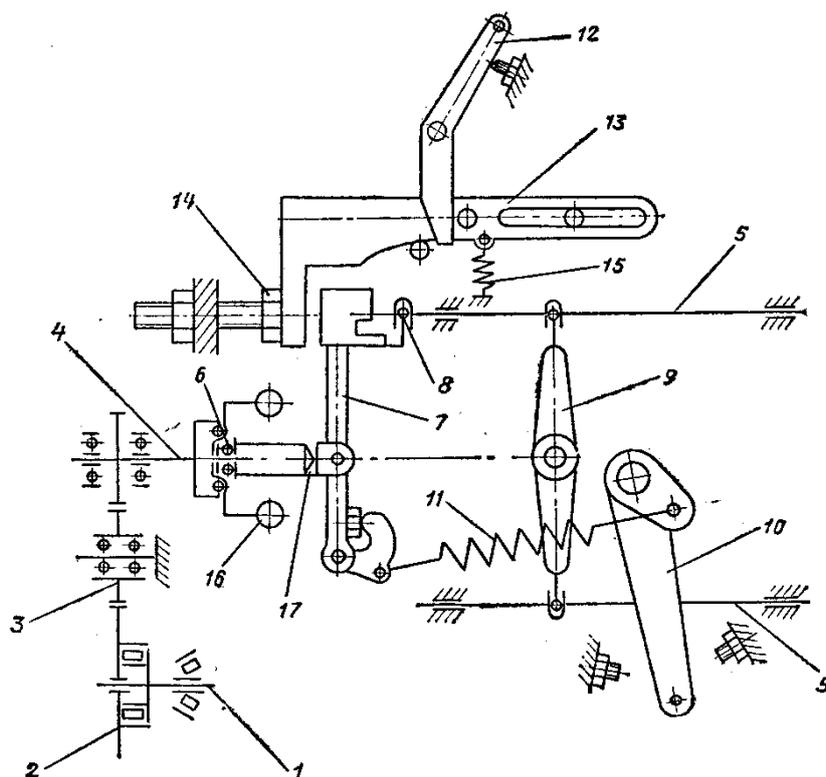


Рис.65. Схема работы регулятора:

1 – ось ведущей шестерни; 2 – ведущая шестерня; 3 – промежуточная шестерня; 4 – держатель грузов; 5 – рейки подачи топлива; 6 – подшипник; 7 – рычаг регулятора; 8 – палец; 9 – рычаг реек; 10 – рычаг управления регулятором; 11 – пружина рычага; 12 – рычаг останова; 13 – рычаг выключения подачи; 14 – регулировочный болт; 15 – пружина; 16 – груз; 17 – муфта грузов

Ведомая шестерня регулятора выполнена заодно с державкой грузов, вращающихся на двух шариковых подшипниках. Грузы на держателе установлены шарнирно. Внутри держателя выполнена ступица муфты грузов, передающая усилие грузов рычагу регулятора.

На верхней крышке регулятора расположены рычаг управления регулятором, рычаг останова, болт ограничения мощности на обкаточный период, болт ограничения минимальной частоты вращения и болт ограничения максимальной частоты вращения.

Рычаг выключения подачи расположен в корпусе регулятора, имеет на одном конце продольную проушину для перемещения рычага, а вторым Г-образным концом рычаг упирается в регулировочный болт. Пружина обеспечивает возвращение рычага выключения подачи в исходное положение.

При нажатии на педаль управления подачей топлива рычаг 10 управления регулятором поворачивается вправо и через жестко связанный с ним малый рычаг увеличивает натяжение пружины 11 регулятора, под действием которой рычаг регулятора 7 поворачивается против часовой стрелки, перемещая рейки 5 в сторону увеличения подачи топлива, частота вращения коленчатого вала возрастает.

Центробежная сила грузов 16, пропорциональная квадрату частоты их вращения, разводит грузы и их внутренние рычаги через подшипник 6 передают усилие на муфту 17, стремясь повернуть рычаг регулятора 7 против часовой стрелки и уменьшить подачу топлива. Устойчивый режим работы двигателя достигается, когда центробежная сила грузов уравнивает силу натяжения пружины 11.

При уменьшении нагрузки двигателя его частота вращения повышается, возрастают центробежные силы грузов, увеличивается усилие, действующее на муфту 17, и рычаг 7 регулятора поворачивается в сторону уменьшения подачи топлива. С увеличением нагрузки частота вращения и центробежные силы грузов снижаются. Под действием пружины 11 рычаг 7 поворачивается в сторону увеличения подачи топлива до тех пор, пока частота вращения не станет соответствовать положению рычага управления и усилию пружины 11.

Остановка двигателя осуществляется путем воздействия водителя на рычаг 12 останова, который перемещает рычаг 13 выключения подачи. Последний передает усилие на рычаг регулятора и рейки. Рейки выводятся в положение выключения подачи и двигатель останавливается.

Пусковая подача устанавливается при перемещении рычага выключения подачи, который скошенной поверхностью упирается в палец и, поднимаясь по мере перемещения, выходит из контакта с плоским концом регулятора. Рычаг регулятора под небольшим усилием пружины поворачивается до упора в регулировочный болт. Рейки занимают положение пусковой подачи. После пуска двигателя рычаг выключения подачи возвращается в исходное положение под действием своей пружины 15.

Следует заметить, что заедание рычага в положении пусковой, максимальной, подачи приводит к неконтролируемому увеличению частоты вращения коленчатого вала – разносу.

Контрольные вопросы

1. Причины, обуславливающие необходимость высокого давления впрыска в дизеле.
2. Чем вызвана необходимость слива отстоявшейся воды из топливного бака и фильтра?
3. С какой целью в дизеле предусматривается высокое качество фильтрации топлива?
4. Почему в надплунжерных пространствах секций насоса высокого давления необходимо поддерживать постоянное давление?
5. Назначение ручного топливоподкачивающего насоса.
6. Назовите три основные задачи первого круга обратной циркуляции топлива от фильтра тонкой очистки в бак.
7. Назначение сливного клапана отсечного канала насоса высокого давления.
8. Какова величина давления топлива на входе в насос высокого давления.
9. При каком давлении топлива открывается нагнетательный клапан секции насоса высокого давления?
10. При каком давлении топлива поднимается игла форсунки дизеля ЯМЗ-740, открывая отверстия распылителя?
11. Величина давления впрыска топлива?
12. Назовите величину температуры и давления воздуха в цилиндре в момент начала впрыска топлива.
13. Почему топливо впрыскивается в цилиндр до прихода поршня в ВМТ?
14. Зачем необходимо увеличивать угол опережения впрыска при увеличении частоты вращения коленчатого вала?
15. Чем смазываются плунжерные пары насоса высокого давления?
16. Каким образом смазываются подшипники кулачкового вала насоса?
17. Как приводится в действие подкачивающий насос?
18. Каков диаметральный зазор между гильзой и плунжером?
19. С какой целью отводится часть топлива от насоса высокого давления в бак?

20. Как влияет на величину цикловой подачи расстояние между кромкой винтовой канавки плунжера и кромкой отсечного отверстия гильзы?

21. Каким образом изменяется величина цикловой подачи для изменения режима работы дизеля?

22. Как обеспечить равенство цикловых подач топлива во всех секциях насоса?

23. На каком участке системы питания давление топлива увеличивается до давления начала впрыска?

24. Назначение цилиндрического пояска на затворе нагнетательного клапана секции насоса.

25. Как обеспечивается одинаковая величина опережения впрыска в каждый цилиндр двигателя?

26. Почему трубки, соединяющие секции насоса с форсунками называются трубками высокого давления? Особенности их конструкции.

27. Почему необходимо удалять воздух из системы питания дизеля?

28. Привод топливного насоса высокого давления.

29. Назовите три узла системы питания, которые, как правило, komponуются вместе с насосом высокого давления.

30. Каким образом удаляется воздух из системы питания?

31. Привод регулятора частоты вращения.

32. Число сопловых отверстий распылителя форсунки, их диаметр.

33. Какая деталь воздействует на толкатель топливоподкачивающего насоса?

34. За счет чего при перемещении поршня подкачивающего насоса под действием эксцентрика топливо перемещается под поршень?

35. Как отрегулировать давление начала подъема иглы форсунки?

36. Чем обеспечивается постоянный контакт ролика толкателя подкачивающего насоса с эксцентриком кулачкового вала?

37. Преимущество применения пакета регулировочных прокладок для регулировок по сравнению с применением регулировочных болтов.

38. За счет чего поднимается игла форсунки?
39. С какой целью предусматривается отвод топлива от форсунки в бак?
40. Назначение автоматической муфты опережения впрыска.
41. Почему регулятор частоты вращения называют всережимным?
42. Как отразится на работе дизеля заедание рейки насоса высокого давления в положении максимальной подачи?
43. На каком режиме работы дизеля рейка насоса устанавливается в положение максимальной подачи?
44. Какая деталь всережимного регулятора отслеживает величину хода педали управления подачей топлива?
45. Почему дизель работает на обедненных и бедных смесях?

10. СИСТЕМЫ ВПРЫСКИВАНИЯ ЛЁГКОГО ТОПЛИВА

10.1. Впрыск лёгкого топлива во впускной трубопровод

В двигателях с впрыскиванием топлива во впускной трубопровод подготовка рабочей смеси осуществляется вне камеры сгорания — во впускном трубопроводе. Эти двигатели, а также системы, управляющие ими, постоянно совершенствуются. Благодаря лучшей дозировке топлива они полностью вытеснили карбюраторные двигатели, которые тоже работают по принципу внешнего приготовления рабочей смеси. В современных автомобилях высокие требования предъявляются к комфорту движения и составу ОГ, а отсюда — к составу рабочей смеси. Наряду с точной дозировкой впрыснутой массы топлива в соответствии с количеством воздуха, всасываемого

двигателем, значение имеет также точность момента впрыскивания топлива. Эти требования возрастают все больше в соответствии с ужесточением норм по предельной токсичности ОГ. На основании этого шло дальнейшее совершенствование систем впрыска. Современным уровнем развития системы впрыска во впускной трубопровод можно назвать систему распределенного впрыска с электронным управлением, в которой топливо периодически впрыскивается для каждого цилиндра отдельно (т.е. со смещением по времени) прямо на впускные клапаны.

Принцип действия. Системы впрыска топлива во впускной трубопровод характеризуются тем, что рабочая смесь образуется за пределами камеры сгорания, т.е. во впускном трубопроводе (рис. 67). Форсунка 5 впрыскивает топливо непосредственно на впускные клапаны 4, где оно вместе с воздухом образует рабочую смесь, которая проходит через открытые впускные клапаны в цилиндр. Один цилиндр может иметь один, два либо три впускных клапана.

Впускные клапаны имеют такую конструкцию, что потребность двигателя в топливе покрывается при любых обстоятельствах, включая режим полной нагрузки и высокую частоту вращения коленчатого вала.

Образование рабочей смеси

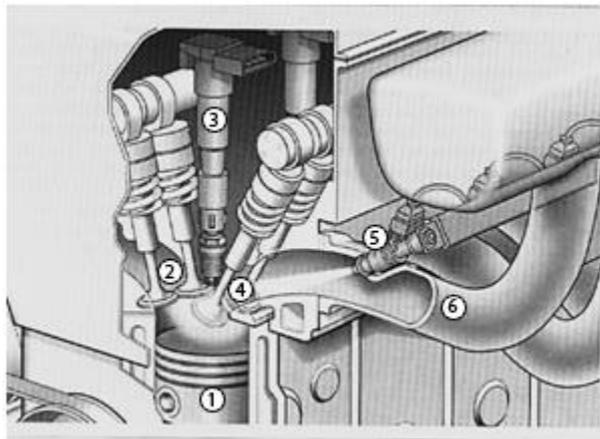


Рис.66. 1. Поршень; 2. Выпускные клапаны; 3. Катушка зажигания со свечой зажигания; 4. Впускные клапаны; 5.Форсунка; 6. Впускной трубопровод.

Топливный насос с электроприводом подает топливо к аккумулятору, где оно готово для впрыскивания. Там топливо находится под постоянным давлением в системе. В системах с распределенным впрыском на каждый цилиндр приходится одна форсунка, через которую дискретно впрыскивается топливо во впускной трубопровод 6 непосредственно на впускной клапан. Там тонко распыленное топливо большей частью испаряется и образует с воздухом, поступающим через дроссельную заслонку, рабочую смесь. Для того чтобы на образование рабочей смеси было достаточно времени, представляется оптимальным, когда топливо впрыскивается на закрытый впускной клапан и накапливается перед ним. **Часть топлива оседает в виде**

пленки на стенках вблизи впускных клапанов. Толщина пленки на стенках зависит от давления во впускном трубопроводе и, следовательно, от нагрузки на двигатель. Для хорошей динамичной реакции двигателя масса топлива, сохраняющаяся в виде пленки на стенках, должна быть как можно меньше. Это достигается за счет соответствующей формы впускного трубопровода и геометрии струи распыливания топлива. Так как форсунка располагается прямо перед впускным клапаном, то эффект от этой пленки на стенках в системах распределенного впрыска намного меньше, чем в прежних карбюраторных двигателях и в системах с центральным впрыском.

Трехкомпонентный каталитический нейтрализатор при наличии стехиометрического соотношения топлива и воздуха в рабочей смеси ($\alpha = 1$) обеспечивает химическую нейтрализацию значительной части токсичных веществ, образующихся при сгорании. Поэтому двигатели с впрыском во впускной трубопровод **в большинстве своих рабочих режимов** эксплуатируются с таким составом смеси.

Измерение массы воздуха. Для того чтобы рабочая смесь могла точно регулироваться, огромное значение придается измерению массы воздуха, участвующей в процессе сгорания. Измеритель массы воздуха, расположенный перед дроссельной заслонкой, измеряет поток массы воздуха, который входит во впускной трубопровод, и посылает электрический сигнал в блок управления двигателем. В качестве альтернативы существуют также системы, которые с помощью датчика давления измеряют давление во впускном трубопроводе и на его основе, в сочетании с данными о положении дроссельной заслонки и частоте вращения коленчатого вала, рассчитывают массу поступившего воздуха. Блок управления, исходя из массы этого воздуха и нагрузки на двигатель в данный момент, вычисляет необходимую массу топлива.

Продолжительность впрыскивания топлива. Для впрыскивания расчетной массы топлива необходимо заданное время, называемое продолжительностью впрыскивания, которое является функцией площади поперечного сечения открытия форсунки и разницы давлений во впускном трубопроводе и системе подачи топлива. Учитывая, что давление перед форсунками поддерживается постоянным, масса впрыскиваемого топлива зависит от времени открытия иглы форсунки.

10.2. Электромагнитные форсунки

Электромагнитные форсунки (с управлением соленоидом) впрыскивают во впускной трубопровод топливо, находящееся под давлением в системе. Они позволяют дозировать количество топлива, точно соответствующее потребности двигателя, и управляются сигналом, рассчитанным системой управления двигателем, посредством оконечных каскадов, которые интегрированы в блок управления двигателем.

Конструкция и принцип действия электромагнитных форсунок

Для обеспечения бесперебойной работы форсунки те ее части, которые контактируют с топливом, изготовлены из нержавеющей стали. Фильтровальная сетка 3 в приёмном канале форсунки защищает её от загрязнений, содержащихся в топливе.

Соединительные разъемы. В используемых в настоящее время форсунках подача топлива осуществляется по оси форсунки сверху вниз. Топливопровод закреплён на гидравлическом соединительном разъёме 1 с помощью специального зажимного устройства. Крепёжные хомуты обеспечивают надёжную фиксацию. Уплотнительное кольцо 2 на гидравлическом соединительном разъёме позволяет герметично соединить форсунку с аккумулятором.

Форсунка имеет электрическое соединение с блоком управления двигателем.

Работа форсунки. Когда соленоид форсунки обесточен, пружина и усилие, возникающее за счёт давления топлива, прижимают иглу клапана с запорным сферическим элементом к седлу конической формы. За счёт этого система подачи топлива герметизируется относительно впускного трубопровода. Когда на обмотку подаётся напряжение, за счёт тока возбуждения возникает электромагнитное поле, притягивающее якорь иглы клапана. Запорный сферический элемент приподнимается над седлом клапана, и происходит впрыскивание топлива. При выключении тока возбуждения, игла клапана, вследствие усилия пружины, снова опускается на седло, закрывая форсунку.

Распыливание топлива осуществляется через одно или несколько отверстий в распылительной пластине. С помощью этих отверстий достигается точное постоянство впрыскиваемого топлива. Распылительная пластина с отверстиями исключает образование осадков топ-

лива. Форма струи распыливаемого топлива зависит от расположения и числа этих отверстий.

Хорошая герметичность клапана в области седла обеспечивается уплотнением конус/сферический элемент.

Форсунка устанавливается в предусмотренное для этого отверстие во впускном трубопроводе. Нижнее уплотнительное кольцо служит для герметизации форсунки относительно впускного трубопровода. **Количество топлива, впрыскиваемое за единицу времени, в основном определяется:**

- давлением в системе подачи топлива;
- противодавлением во впускном трубопроводе;
- геометрией зоны выхода топлива.

Типы конструкций ЭМФ. С течением времени форсунки все больше совершенствовались, и адаптировались к возрастающим требованиям технологии, качества, надежности и веса. Так появились различные конструкции форсунок.

Форсунка модели EV6

Форсунка EV6 представляет собой стандартный инжектор для современных систем впрыска топлива (рис. 76 а). Эти форсунки отличаются небольшими габаритами и незначительным весом, благодаря чему представляется возможным создавать компактные впускные модули.

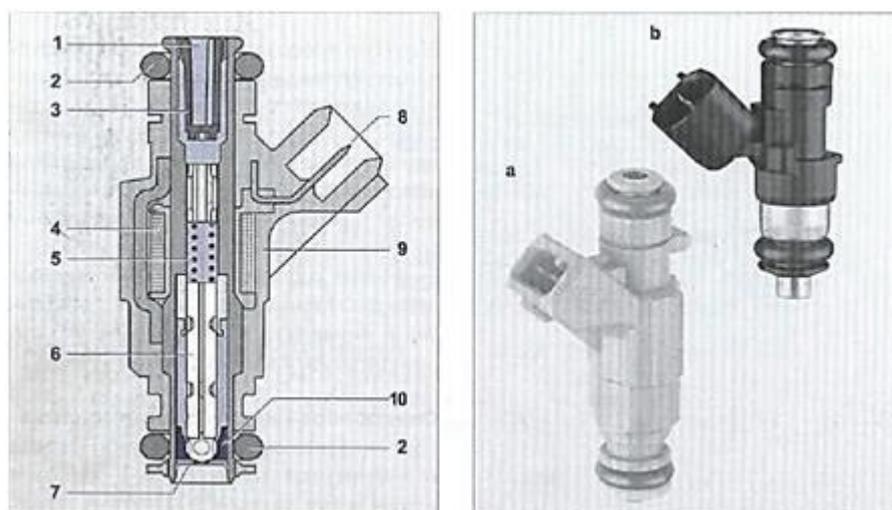


Рис.67.а — стандартная модель EV6; б — компактная модель EV14.

Кроме того, форсунка EV6 имеет хорошие качества при работе на горячем топливе, что, в свою очередь, приводит к минимальному

образованию пузырьков пара топлива. Это облегчает применение систем подачи без рециркуляции, в которых температура топлива в форсунке выше, чем в системах с рециркуляцией топлива. Благодаря наличию износостойких поверхностей, форсунка EV6 обладает большим сроком службы и высокой степенью **повторяемости массы впрыскиваемого топлива за большой промежуток времени.**

За счет высокой герметичности пары топлива из форсунки не выходят за ее пределы.

Для лучшего распыливания топлива был разработан вариант форсунки EV6 с воздушным кожухом. Тонкое распыливание топлива может создаваться и другим способом: в перспективе, наряду с применяемыми сегодня распылительными пластинами, располагающими до четырех отверстий для впрыскивания топлива. В дальнейшем предполагается использоваться пластины с десятью или двенадцатью отверстиями. Эти форсунки создают очень тонко распыленное облако топлива.

Для различных областей применения предлагаются форсунки разной конструкции, различающиеся длиной, расходом и электрическими характеристиками. Форсунка EV6 подходит также для использования с топливом, содержащим до 85% этанола (этилового спирта).

Форсунка модели EV14.

Совершенствование форсунок привело к появлению новой модели EV14 (рис. 67 в), которая сконструирована на базе модели EV6. Новая форсунка стала еще компактнее, что позволяет интегрировать ее в топливный аккумулятор. Форсунка EV14 выпускается в трех различающихся длиной вариантах (компактный, стандартный и длинный). Это позволяет обеспечить индивидуальную адаптацию к геометрии впускного трубопровода двигателя.

10.3. Виды впрыскивания лёгкого топлива

Наряду с продолжительностью впрыскивания топлива, другим параметром, который важен для оптимизации расхода топлива и состава ОГ, является момент впрыскивания топлива по углу поворота коленчатого вала. В этом случае возможности вариаций зависят от используемого вида впрыскивания топлива.

Новые системы впрыска обеспечивают возможность как последовательного, так и индивидуального для каждого цилиндра впрыскивания топлива.

Синхронное впрыскивание топлива. При синхронном впрыскивании топлива все форсунки приводятся в действие в один и тот же момент. Поэтому время, которое имеется для испарения топлива, в каждом цилиндре разное. Для того чтобы, несмотря на это, добиться хорошего образования рабочей смеси, количество топлива, необходимое для сгорания, делится на две части и каждая из этих частей впрыскивается при каждом обороте коленчатого вала. При таком способе впрыскивания в некоторых цилиндрах топливо накапливается не перед впускным клапаном, а впрыскивается через открытое впускное окно. Момент впрыскивания топлива не может изменяться.

Групповое впрыскивание топлива. При групповом впрыскивании топлива форсунки объединены в две группы. За один оборот коленчатого вала форсунки одной группы впрыскивают полное количество топлива, требуемое для их цилиндров, а за следующий оборот коленчатого вала — форсунки другой группы. Такая работа форсунок уже позволяет обеспечить выбор момента впрыскивания топлива в функции рабочего режима двигателя и избежать нежелательного впрыскивания в открытые впускные окна. Кроме того, здесь также и время, имеющееся для испарения топлива, в различных цилиндрах разное.

Индивидуальное впрыскивание топлива в каждый трубопровод. Этот вид впрыскивания топлива предлагает самую большую степень свободы. У него то преимущество, что в этом случае можно оказывать индивидуальное влияние на момент впрыскивания в каждом цилиндре. Благодаря этому компенсируется неравномерность процессов, например, при наполнении цилиндров зарядом рабочей смеси.

Непосредственное впрыскивание топлива. Двигатели с непосредственным впрыскиванием топлива образуют рабочую смесь в камере сгорания. Через открытый впускной клапан при такте впуска в цилиндр поступает только воздух. Топливо впрыскивается специальными форсунками непосредственно в камеры сгорания цилиндров. Принцип не новый. Еще в 1937 г. использовался авиационный двигатель с искровым зажиганием, оснащённый механическим непосред-

ственным впрыском топлива. В 1951 г. двухтактный двигатель с искровым зажиганием и механическим непосредственным впрыском впервые серийно устанавливался на легковой автомобиль Gutbrod. В 1954 г. появился автомобиль Mercedes 300 SL с четырёхтактным двигателем с искровым зажиганием и непосредственным впрыском. Конструкция двигателя с непосредственным впрыском для того времени была очень дорогостоящей. Кроме того, эта технология предъявляла высокие требования к используемым материалам. Срок службы такого двигателя был ещё одной проблемой. Все эти проблемы мешали прорыву в технологии непосредственного впрыскивания топлива..

Принцип работы системы с непосредственным впрыском. Рабочая смесь образуется, как и в дизельном двигателе, внутри камеры сгорания (внутреннее образование рабочей смеси).

Создание высокого давления топлива. Топливный насос с электроприводом подает топливо при начальном давлении 0,3...0,5 МПа (3...5 бар) к насосу высокого давления. Этот насос создает давление в системе в зависимости от рабочего режима двигателя (требуемый крутящий момент и частота вращения коленчатого вала). Топливо под высоким давлением поступает в аккумулятор 6 (рис. 68) и там накапливается. Давление топлива измеряется датчиком высокого давления и контролируется клапаном регулировки давления в пределах от 5 до 12 МПа. В аккумуляторе расположены форсунки высокого давления 5, работа которых регулируется блоком управления двигателем. Форсунки впрыскивают топливо в камеру сгорания цилиндра.

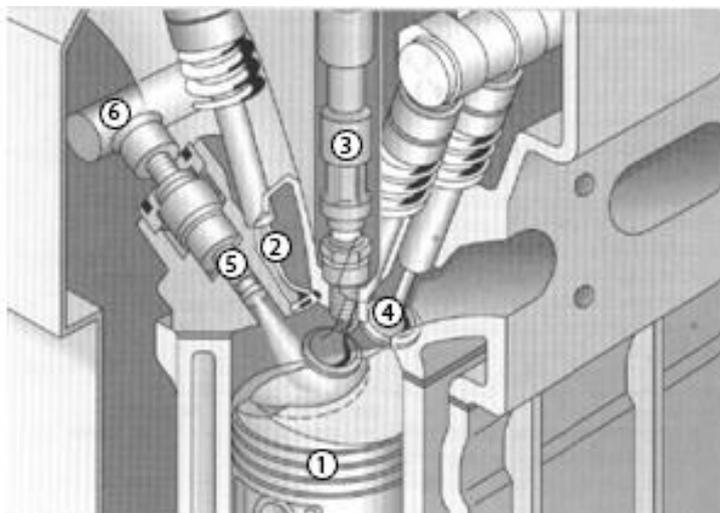


Рис. 68. 1. Поршень; 2 Впускной клапан; 3 Катушка зажигания с установленной свечой зажигания; 4. Выпускной клапан; 5. Форсунка высокого давления; 6. Аккумулятор.

Рис. 68. 1. Поршень; 2 Впускной клапан; 3 Катушка зажигания с установленной свечой зажигания; 4. Выпускной клапан; 5. Форсунка высокого давления; 6. Аккумулятор.

Образование рабочей смеси. Впрыснутое тонко распыленное топливо за счёт высокого давления образует рабочую смесь с поступа-

ливо под высоким давлением поступает в аккумулятор 6 (рис. 68) и там накапливается. Давление топлива измеряется датчиком высокого давления и контролируется клапаном регулировки давления в пределах от 5 до 12 МПа. В аккумуляторе расположены форсунки высокого давления 5, работа которых регулируется блоком управления двигателем. Форсунки впрыскивают топливо в камеру сгорания цилиндра.

ющим в камеру сгорания воздухом. В зависимости от режима работы двигателя топливо впрыскивается так, что создаётся смесь, равномерно распределенная по всей камере сгорания с соотношением $\alpha < 1$ (гомогенный режим) или образуется облако с послойным зарядом с соотношением $\alpha < 1$ в области свечи зажигания (работа в условиях послойно распределённого заряда или обеднённой смеси). Остальное пространство камеры сгорания при послойном распределении заряда наполнено либо всасываемым свежим воздухом с инертным газом, поступившим из системы рециркуляции ОГ, либо очень обеднённой рабочей смесью. За счёт этого в целом получается обеднённая рабочая смесь с $\alpha_{\text{сум}} > 1$. Эти разные возможности эксплуатации двигателя называются режимами его работы. Выбор режима работы осуществляется, с одной стороны, на базе частоты вращения коленчатого вала и необходимого крутящего момента, а с другой стороны, за счёт функциональных требований, таких как, например, восстановление каталитического нейтрализатора накопительного типа.

10.4. Дополнительная обработка ОГ

Каталитические нейтрализаторы должны обеспечивать удаление токсичных веществ из ОГ. Для того, чтобы получить максимальный эффект, для трёхкомпонентного каталитического нейтрализатора нужна стехиометрическая бензо-воздушная смесь. Повышенная эмиссия оксидов азота, которая возникает вследствие избытка воздуха на режиме обеднённой рабочей смеси, скапливается для временного хранения в каталитическом нейтрализаторе с аккумулярующей способностью к NOx. Здесь при кратковременной работе двигателя с избытком топлива оксиды азота расщепляются до азота, диоксида углерода и воды. Каталитический нейтрализатор с накопителем NOx имеют конструкцию, сходную с трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором. В дополнение к каталитическому покрытию из платины, палладия и родия он имеет еще специальные добавки, которые способны накапливать оксиды азота. Типичными материалами, способными к накоплению, являются, например, оксиды калия, кальция, стронция, циркония, лантана или бария.

Покрытие для накопления NOx и покрытие трехкомпонентного каталитического нейтрализатора могут наноситься на общий носитель-подложку.

10.5. Аккумулятор топлива

Функциями аккумулятора (специфический объем) являются накапливание поступающего топлива от насоса высокого давления и распределение его по форсункам. Объем его достаточно велик для того, чтобы сглаживать пульсацию давления в топливоподающем контуре. Аккумулятор изготавливается из алюминиевого сплава. Конструктивные формы (объемы, размеры, вес и т.д.) зависят от типа двигателя и системы топливоподачи.

Аккумулятор располагает соединительными устройствами для связи с другими элементами системы впрыска (насос, клапан регулирования давления, датчик высокого давления, форсунки высокого давления). Конструкция аккумулятора обеспечивает его герметичность.

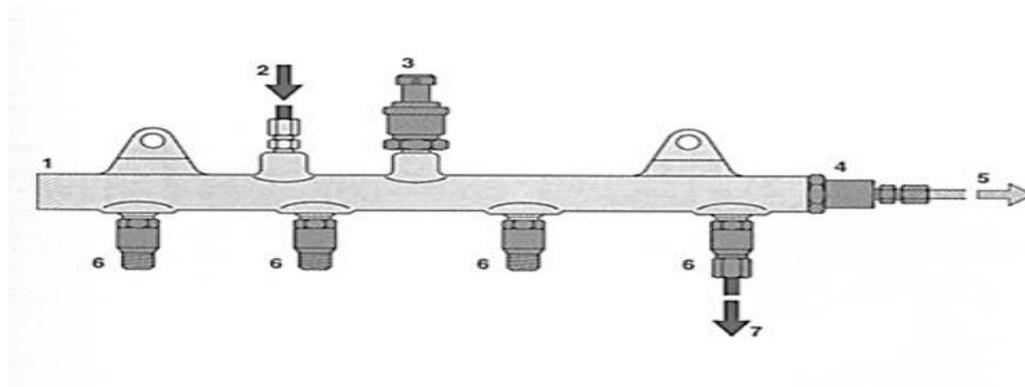


Рис. 69. 1. Аккумулятор высокого давления 2. Магистраль высокого давления к впускному штуцеру 3. Датчик давления топлива 4. Клапан ограничения давления 5. Магистраль обратного слива 6. Ограничитель расхода топлива 7. Магистраль высокого давления к форсунке.

10.6. Насосы высокого давления для впрыска лёгкого топлива

Насос высокого давления должен сжимать топливо, подаваемое в достаточном количестве топливным электронасосом с начальным давлением 0,3...0,5 МПа до значения 5... 12 МПа, необходимого для впрыскивания под высоким давлением.

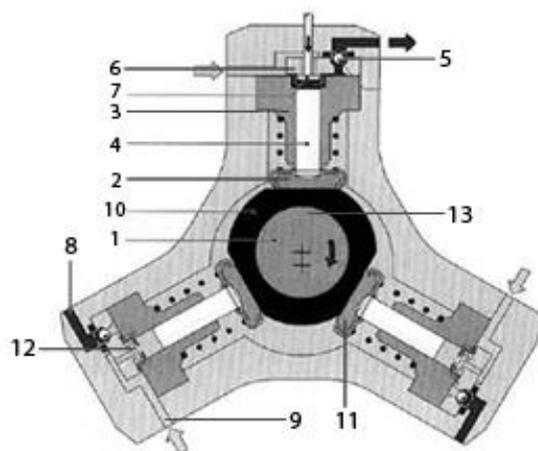


Рис.70. Схема топливного насоса высокого давления

1.Эксцентрик; 2. Контактный башмак; 3. Втулка насоса; 4. Плунжер насоса (плунжер полый, поступление топлива); 5. Запорный шарик; 6. Выпускной клапан; 7. Впускной клапан; 8. Соединение с аккумулятором(высокое давление); 9. Поступление топлива (низкое давление); 10. Кулачковая шайба; 11. Осевое уплотнение (втулочное уплотнительное кольцо); 12.Неподвижная прокладка; 13.Приводной вал.

При пуске двигателя топливо вначале впрыскивается при начальном давлении. Затем с повышением частоты вращения коленчатого вала происходит рост давления. При эксплуатации насос высокого давления смазывается и охлаждается исключительно топливом. Применяются трёхплунжерные, а также одноплунжерные насосы, управляемые в зависимости от массы необходимого топлива. По своей конструкции это насос радиально-поршневого типа с тремя плунжерами, размещёнными относительно друг друга через 120° по окружности. На рис. 70 показана схема такого насоса в продольном и поперечном разрезах. С приводом от распределительного вала двигателя входной вал вращается с эксцентриком, который при этом обеспечивает возвратно-поступательное движение плунжеров во втулках насоса. При ходе поршня вниз, топливо поступает при начальном давлении $0,3 \dots 0,5$ МПа из подводящего топливопровода через полый плунжер насоса и впускной клапан в нагнетательную камеру. При движении плунжера вверх этот объем топлива сжимается и топливо подается, преодолев сопротивление в аккумуляторе, через выпускной клапан к стороне узла высокого давления. За счет выбранного расположения плунжеров попеременно осуществляется перекрытие подачи топлива, следствием чего является незначительная пульсация подачи и, следовательно, низкая пульсация давления топлива в аккумуляторе. **Количество подаваемого топлива пропорционально**

частоте вращения коленчатого вала. Для гарантирования возможности изменения начального давления в соответствии с потребностью двигателя в топливе (даже при максимальном количестве его впрыскивания) максимальное количество подачи насоса рассчитывается на определенный объем. На режиме работы с постоянным давлением в аккумуляторе или при частичной нагрузке давление топлива, поданного в избыточном количестве, сбрасывается клапаном регулировки давления до уровня давления на входе и топливо возвращается на вход насоса.

10.7. Форсунки для непосредственного впрыска лёгкого топлива

В отличие от впрыскивания во впускной трубопровод, топливо при непосредственном впрыскивании поступает в камеру сгорания быстрее, точнее и с лучшим формированием струи.

Требования. Существенными отличиями непосредственного впрыскивания топлива, по сравнению с впрыскиванием во впускной трубопровод, являются более высокое давление топлива и заметно меньшее время для его поступления непосредственно в камеру сгорания. При впрыске топлива во впускной трубопровод впрыскивание обеспечивается за два оборота коленчатого вала. При частоте вращения коленчатого вала 6000 мин¹ это соответствует продолжительности впрыскивания 20 мс.

При непосредственном впрыскивании топлива эта продолжительность еще меньше. При гомогенном распределении смеси топливо должно впрыскиваться при такте впуска. При этом процесс впрыскивания топлива должен происходить только за пол-оборота коленчатого вала. При частоте вращения коленчатого вала 6000 мин¹ это соответствует продолжительности впрыскивания 5 мс. При непосредственном впрыскивании топлива потребность в топливе на режиме холостого хода намного меньше по сравнению с режимом полной нагрузки при впрыскивании во впускной трубопровод (отношение 1:12). Таким образом, продолжительность впрыскивания топлива на холостом ходу равна примерно 0,4 мс.

10.8. Управление форсункой высокого давления

Для того чтобы обеспечить определенный и воспроизводимый процесс впрыскивания топлива, форсунка высокого давления должна включаться по сложной токовой характеристике. Микроконтроллер в блоке управления двигателем подает цифровой сигнал (а, рис.71) на включение форсунки. На основе этого сигнала специальный управляющий модуль создает действительный сигнал (b, рис. 71) на выходе, с помощью которого оконечный каскад привода форсунки обеспечивает впрыскивание топлива. Конденсатор создает управляющее напряжение в 50-90 В, достаточно высокое для получения большого электрического тока в начале процесса включения и, благодаря этому, обеспечивает быстрый подъем иглы (рис. 80).

При открытой форсунке (максимальный ход иглы) достаточно меньшего управляющего электрического тока, для того чтобы поддерживать постоянным подъем иглы. При этом постоянном подъеме иглы достигается пропорциональность количества впрыскиваемого топлива продолжительности впрыскивания (d, рис. 71).

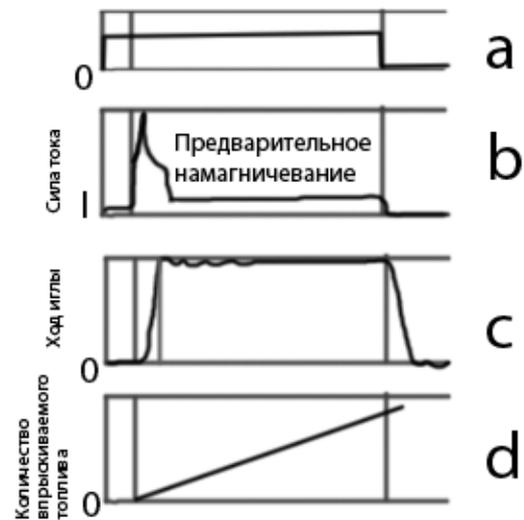


Рис.71.Управление форсункой

При расчёте продолжительности впрыскивания топлива учитывается время предварительного намагничивания, в период которого форсунка еще не открывается.

11. СИСТЕМА ВПРЫСКИВАНИЯ В ДИЗЕЛЬ COMMONRAIL

Требования к системам впрыска дизельного топлива постоянно растут. Более высокие давления впрыскивания, повышенные скорости срабатывания форсунок и гибкое адаптирование процесса к условиям эксплуатации автомобиля делают дизель мощным, экономичным и малотоксичным. Кроме того, система впрыска все больше интегриру-

ется в общую электронную систему управления автомобилем. Это позволило начать использование дизелей на автомобилях высшего класса. Одной из таких высокоразвитых систем впрыска является аккумуляторная система CommonRail, главным преимуществом которой является широкий диапазон изменений давления топлива и момента

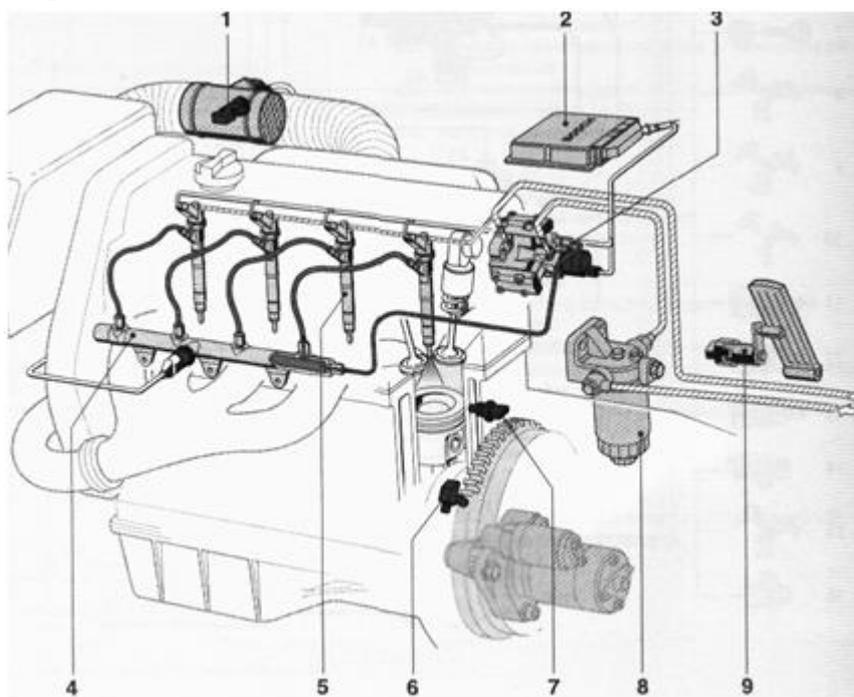


Рис.72. 1. Датчик массового расхода воздуха; 2. Блок управления работой дизеля; 3. ТНВД ; 4. Аккумулятор высокого давления; 5. Форсунка; 6. Датчик частоты вращения коленчатого вала; 7. Датчик температуры охлаждающей жидкости; 8. Топливный фильтр; 9. Датчик положения педали управления.

начала впрыскивания. Все это реализуется путем разделения процессов создания высокого давления насосом и обеспечения впрыскивания топлива форсунками, работающими независимо от ТНВД.

Общая схема системы. Важнейшим элементом аккумуляторной системы впрыска является форсунка с быстродействующим электромагнитным клапаном. Он открывает и закрывает распылитель, регулируя процесс впрыскивания топлива в каждом цилиндре. В отличие от прочих систем впрыска с управлением электромагнитными клапанами, в аккумуляторной системе

CommonRail впрыскивание топлива в камеру сгорания происходит при открытом электромагнитном клапане. Все форсунки подсоединены к топливному аккумулятору высокого давления, отсюда и название системы. Ее модульное исполнение облегчает адаптацию к конкретному двигателю.

11.1. Электромагнитная форсунка с пьезоэлементом

Одним из путей совершенствования системы «коммонрейл» является увеличение быстродействия открытия форсунки. Минимальное время открытия форсунки для электромагнита с подвижным сердечником составляет 0,5 мс, что не позволяет оперативно изменять подачу топлива. Для более быстрого срабатывания форсунки в настоящее время применяется пьезокерамическая форсунка, которая работает вчетверо быстрее. Известно, что при подаче электрического напряжения на пьезокерамическую пластинку она на несколько микрометров изменяет свою толщину. Пьезоэлемент, являющийся исполнительным элементом форсунки, представляет собой параллелепипед длиной 30...40 мм, состоящий из спечённых между собой 300 керамических пластинок (кристаллов), расширяющийся на 80 мкм всего за 0,1 мс, чего достаточно чтобы воздействовать на иглу форсунки с усилием 6300 Н. При этом для управления пьезоэлементом используют напряжение бортовой сети автомобиля. Для усиления пьезоэффекта в керамику добавляют палладий и цирконий. Пьезоэлемент потребляет энергию только при подаче напряжения и регенерирует её при выключении напряжения, таким образом, являясь регенератором энергии. Использование пьезоэлемента, кроме быстроты срабатывания, обеспечивает большую силу открытия клапана сброса давления над иглой форсунки и высокую точность хода для быстрого сброса давления подачи топлива. Основными составляющими форсунки являются модуль исполнительного элемента, состоящего из пьезоэлектрического элемента и его составляющих, модуль плунжера, состоящего из поршней, амортизатора давления и пружины, клапана переключения,

игла. Для окончательной очистки топлива применяется специальный стержневой фильтр. Увеличение длины модуля исполнительного элемента преобразуется модулем соединителя в гидравлическое давление и перемещение, воздействующие на клапан переключения. Модуль плунжера действует как гидравлический цилиндр. На него постоянно воздействует давление подачи топлива, равное 10 бар через редукционный клапан в обратной магистрали. Топливо выполняет роль амортизатора давления между плунжером соединителя выпускного дросселя (рис. 73) 8 и плунжером клапана 5 в модуле плунжера.

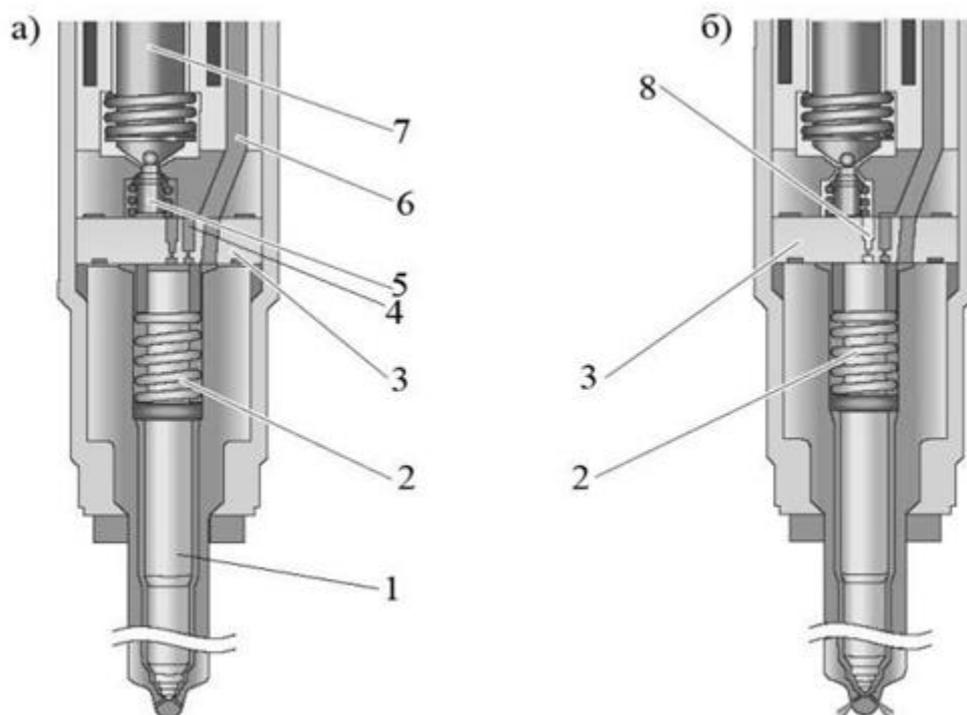


Рис.73. Принцип работы форсунки :1 – игла форсунки; 2 – пружина форсунки; 3 – пластина дросселя; 4 — впускной дроссель; 5 – плунжер клапана; 6 – линия высокого давления; 7 соединительный элемент; 8 – выпускной дроссель; а – форсунка закрыта; б — форсунка открыта

Из пустого закрытого инжектора (присутствует воздух) воздух удаляется при стартерном пуске двигателя (с частотой вращения вала стартера). Кроме этого, инжектор наполняется топливом насосом, погруженным в топливный бак. Этот поток проходит через управляемый обратный клапан против направления потока топлива. Клапан

переключения состоит из пластины клапана, плунжера клапана 5, пружины клапана и пластины дросселя 3. Топливо под давлением протекает через впускной дроссель 4 в пластине дросселя к игле форсунки и в камеру над иглой форсунки. Благодаря этому происходит выравнивание давления над и под иглой форсунки. Игла форсунки удерживается в закрытом положении силой пружины форсунки. При нажатии плунжера клапана 5 открывается канал выпускного дросселя и топливо под давлением вытекает через выпускной дроссель 8 большего размера, расположенный над иглой форсунки. Топливо под давлением поднимает иглу форсунки, в результате чего происходит впрыск. Благодаря быстрым командам на переключение пьезоэлектрического элемента за один рабочий такт друг за другом производится несколько впрысков.

Контрольные вопросы

1. В чём преимущества впрыска лёгкого топлива в ДВС по сравнению с карбюраторным?
2. Образование рабочей смеси в камере сгорания в ДВС с распределённым впрыском топлива.
3. Как измеряется масса воздуха в системах с впрыском лёгкого топлива?
4. Факторы, влияющие на продолжительность впрыска.
5. Конструктивные особенности форсунок для впрыска топлива.
6. Как осуществляется впрыск лёгкого топлива форсункой?
7. Какие факторы определяют количество топлива, впрыскиваемого за единицу времени?
8. Особенности синхронного впрыскивания топлива.
9. В чём отличие группового и индивидуального впрыска топлива?
10. В чём состоит особенность непосредственного впрыска лёгкого топлива в камеру сгорания?
11. Гомогенный и послойный режимы распределения смеси по камере сгорания.

12. Необходимость установки аккумулятора топлива и его конструкция.
13. Особенности работы ТНВД для впрыска лёгкого топлива.
14. Каким образом управляется работа форсунки высокого давления?
15. Необходимость применения на дизельных двигателях системы CommonRail и её схема работы.
16. Описать работу электромагнитной форсунки с пьезоэлементом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материалы, представленные в учебном пособии, позволят обучающимся освоить более целенаправленно дисциплину «Устройство и работа ДВС». Студент может контролировать полученные знания, воспользовавшись дидактическим материалом, изложенным в конце каждого раздела. Этот курс является базовым для изучения других предметов специального цикла, что позволит в дальнейшем упростить понимание таких дисциплин, как «Теория рабочих процессов ДВС», «Конструирование и расчёт ДВС», «Динамика ДВС» и др. Не изучая дисциплину «Устройство и работа поршневых ДВС», трудно понять, а иногда и невозможно освоить указанные выше предметы.

Ввиду ограниченности объёма учебного пособия часть материала следует изучить самостоятельно, обратившись к специальной литературе или интернет-ресурсам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хорош А. И., Хорош И. А. Дизельные двигатели транспортных и технологических машин : учеб. пособие. – 2-е изд. испр. – СПб. : Лань, 2012. – 704 с.
2. Поливаев О. И., Костиков О. М., Ворохобин А. В., Ведринский О. С. Конструкция тракторов и автомобилей : учеб. пособие / под общ. ред. проф. О. И. Поливаева. – СПб. : Лань, 2013. – 288 с.
3. Тракторы и автомобили. Конструкция : учеб. пособие / А. Н. Карташевич [и др.] ; под ред. А. Н. Карташевича – М. : НИЦ ИНФРА-М ; Мн. : Нов.знание, 2013. – 313 с.
4. Тракторы. Конструкция [Электронный ресурс] : учеб. для студентов вузов / В. М. Шарипов [и др.]. – Электрон. текстовые данные. – М. : Машиностроение, 2012. – 790 с.
5. Клещин Э. В. Рабочие процессы, конструкция и основы расчета двигателей внутреннего сгорания [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Э. В. Клещин, В. П. Гилета. – Электронные текстовые данные. – Новосибирск : Новосибирский гос. техн. ун-т, 2009. – 256 с.
6. Системы управления бензиновыми двигателями : Bosch : пер. с нем. М., 2005. – 432 с.
7. Системы управления дизельными двигателями : Bosch : пер. с нем. М., 2004. – 480 с.

Учебное издание

Авторы-составители:
БАСУРОВ Виктор Михайлович
КЛЕВЦОВ Владимир Сергеевич

УСТРОЙСТВО И РАБОТА ПОРШНЕВЫХ ДВС

Учебное пособие

Издается в авторской редакции

Подписано в печать 10.07.20.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 7,67. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.