



Федеральное агентство по рыболовству  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Астраханский государственный технический университет»  
Система менеджмента качества в области образования, воспитания, науки и инноваций  
сертифицирована DQS по международному стандарту ISO 9001:2015

Институт морских технологий, энергетики и транспорта  
Кафедра «Техника и технологии наземного транспорта»

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ТРАНСПОРТНЫХ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

### **Методические указания**

к выполнению практических работ по дисциплине «Энергетические  
установки транспортных и транспортно-технологических машин»  
для студентов направления 23.03.03 Эксплуатация транспортно-  
технологических машин и комплексов  
Профиль "Автомобильный сервис"

Форма обучения – очная, заочная

Астрахань 2021

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ТРАНСПОРТНЫХ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН:** Методические указания к выполнению практических работ/Сост.: Кораблин А.В. - Астрахань: АГТУ, 2021. - 57 с.

Методические указания составлены в соответствии с программой курса «Энергетические установки наземных транспортно-технологических машин» и предназначены для выполнения практических работ для студентов направления 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов профиль "Автомобильный сервис", форм обучения – очная, заочная.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Идеальные циклы тепловых двигат                                 | 4  |
| 1.1 Цикл с изохорным подводом теплоты                              | 4  |
| 1.2 Цикл с изобарным подводом теплоты                              | 6  |
| 1.3 Цикл со смешанным подводом теплоты                             | 7  |
| 1.4 Цикл газотурбинных установок                                   | 8  |
| 1.5 Методические рекомендации к выполнению работы                  | 9  |
| 1.6 Задания на работу                                              | 11 |
| 1.7 Пример выполнения работы                                       | 13 |
| 2.Общее устройство двигателей                                      | 21 |
| 2.1 Остов двигателя                                                | 21 |
| 2.2 Цилиндро-поршневая группа                                      | 24 |
| 2.3 Шатунно кривошипная группа                                     | 29 |
| 2.4 Схема работы газораспределительного механизма                  | 37 |
| 2.5 Детали газораспределительного механизма                        | 38 |
| 3. Система автомобильных двигателей                                | 41 |
| 3.1. Система питания автомобильных двигателей                      | 41 |
| 3.1.1 Функции, устройство и принцип функционирования               |    |
| 3.1.2 Варианты системы питания                                     |    |
| 3.1.3 Карбюратор                                                   |    |
| 3.1.4 Впрыск топлива                                               |    |
| 3.1.5 Особенности дизельного топлива                               |    |
| 3.1.6 Режимы работы системы питания                                |    |
| 3.2 Смазочная система автомобильных двигателей                     | 45 |
| 3.2.1 Система смазки автомобилей: виды                             |    |
| 3.2.2 Применение мокрого и сухого картера в комбинированной смазке |    |
| 3.2.3 Элементы, системы смазки, её устройство и принцип работы     |    |
| 3.3 Система охлаждения автомобильного двигателя                    | 48 |
| 3.3.1 Устройство и принцип действия                                |    |
| 3.3.2 Жидкостная система охлаждения                                |    |
| 3.3.3 Воздушная система охлаждения                                 |    |
| 3.4 Системы газообмена автомобильных двигателей                    | 52 |
| Литература                                                         | 57 |

## 1. ИДЕАЛЬНЫЕ ЦИКЛЫ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В реальном тепловом двигателе превращение тепловой энергии, выделяющейся при сгорании топлива, в механическую работу связано с рядом последовательных физико-химических и термодинамических преобразований, составляющих в совокупности необратимый круговой и незамкнутый цикл. Такой цикл принято называть рабочим (действительным).

В виду сложности реальных явлений, происходящих при работе двигателя, в термодинамике рассматриваются идеальные циклы, представляющие собой замкнутые циклы, состоящие только из обратимых процессов, которые, как известно, могут подвергаться термодинамическим исследованиям.

Характерные особенности идеального цикла заключаются в следующем:

- рабочим телом в цикле является идеальный газ, неизменный по массе, химическому составу и теплоемкости;
- теплота к рабочему телу мгновенно подводится от внешнего источника, а не выделяется при сгорании топлива внутри цилиндра двигателя или в камере сгорания;
- предполагается отсутствие потерь на трение, теплоотдачи нагретых частей двигателя, насосных потерь, изменения состава рабочей смеси и других необратимых явлений, сопровождающих работу двигателя и снижающих его экономичность;
- обратимый процесс обеспечивает максимальную степень превращения теплоты в механическую работу, и термический КПД идеального цикла превосходит индикаторный КПД двигателя;
- все типы циклов в одинаковых условиях сравнимы между собой, следовательно, есть возможность получить максимально достижимый предел использования теплоты в том или другом цикле, наглядно выявить основные параметры, влияющие на их экономичность, и наметить пути дальнейшего совершенствования двигателей.

Результаты исследования идеальных циклов можно применять к практическим, действительно осуществляемым процессам ДВС и ГТУ введением в расчет различных поправочных коэффициентов.

В зависимости от характера подвода теплоты идеальные циклы поршневых ДВС подразделяются на три группы:

- 1) Цикл с изохорным подводом теплоты (цикл Отто) впервые осуществил нем. инженер Н.А. Отто 1877 г. Этот цикл является идеальным циклом карбюраторных и газовых двигателей, для которых характерно быстрое сгорание топлива при  $V = \text{const}$ .
- 2) Цикл с изобарным подводом теплоты (цикл Дизеля) разработан в 1897 г. немецким инженером Дизелем. Такой цикл является идеальным циклом ГТУ и компрессорных ДВС, для которых характерно постепенное сгорание топлива при  $p = \text{const}$ .
- 3) Цикл со смешанным подводом теплоты (цикл Сабатэ-Тринклера), который построил в 1904 г. русский инженер Г.В. Тринклер. Сгорание топлива в таком двигателе происходит сначала при  $V = \text{const}$ , затем при  $p = \text{const}$ .

### 1.1 ЦИКЛ С ИЗОХОРНЫМ ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ

Цикл Отто состоит из двух адиабат и двух изохор. Цикл в  $pV$ - и  $Ts$ -координатах представлен на рисунке 1.1 Он осуществляется следующим образом. Рабочее тело (1 кг идеального газа) с параметрами  $p_1$ ,  $V_1$ ,  $T_1$  сжимается в цилиндре под поршнем по адиабате 1-2 до объема  $V_2$  при этом давление и температура повышаются до  $p_2$ ,  $T_2$ , что соответствует перемещению поршня от нижней мертвой точки (НМТ) в верхнюю мертвую точку (ВМТ). Далее при постоянном объеме по изохоре 2-3 к газу от источника подводится тепло  $q_1$ , давление повышается до  $p_3$ . После этого газ расширяется (совершает работу) по адиабате 3-4 от объема  $V_3 = V_2$  до объема  $V_4 = V_1$  (поршень возвращается в

НМТ). Далее происходит отвод тепла  $q_2$  от газа по изохоре 4-1, цикл замыкается, газ приходит в первоначальное состояние с параметрами  $p_1, V_1, T_1$  (точка 1 на диаграмме).

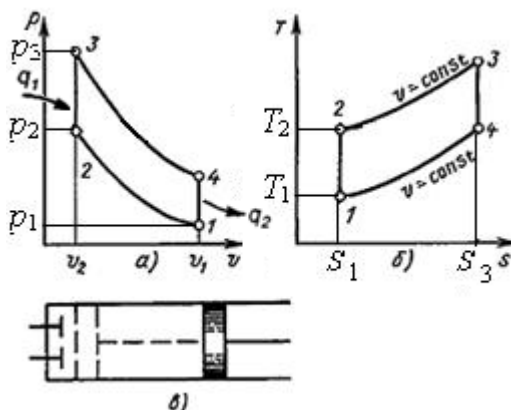


Рисунок 1.1 Цикл ДВС с изохорным подводом теплоты: а — в  $p-v$ -координатах; б — в  $T-s$ -координатах; в — схема цилиндра с поршнем

Характеризующими этот цикл величинами являются:

1) *степень сжатия*  $\varepsilon$  — отношение удельного объема в начале сжатия  $V_1$  к удельному объему в конце сжатия  $V_2$ :

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$$

2) *степень повышения давления*  $\lambda$  — отношение давления в конце подвода теплоты  $p_3$  к давлению в начале подвода теплоты  $p_2$ :

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2}$$

Этот параметр отражает тепловую нагрузку цикла.

Подведенная теплота пропорциональна площади под процессом 2-3 на  $Ts$  — диаграмме и составляет:

$$q_1 = c_v(T_3 - T_2)$$

Отведенная теплота пропорциональна площади под процессом 4-1 и равна:

$$q_2 = c_v(T_4 - T_1)$$

Согласно определению, термический КПД цикла

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Выражение термического КПД цикла через характеристики цикла имеет вид

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

Таким образом, термический КПД цикла с подводом теплоты при постоянном объеме зависит только от степени сжатия  $\varepsilon$  и показателя адиабаты  $k$  (природы рабочего тела), увеличиваясь с возрастанием этих величин.

Степень сжатия является важным параметром работы двигателя: чем она больше, тем выше экономичность ДВС. Но максимальная степень сжатия в карбюраторных двигателях ограничивается детонацией — самовоспламенением горючей топливовоздушной смеси. Следствие детонации является появление стука металлического характера внутри цилиндра, перегрев двигателя из-за резкого нарастания температуры в процессе сгорания, появление черного дыма на выхлопе из-за неполноты сгорания топлива. Максимальная степень сжатия в карбюраторных двигателях не превышает  $9 \div 10$ .

## 1.2 ЦИКЛ С ИЗОБАРНЫМ ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ

Как видно из предыдущего цикла, термический КПД зависит от степени сжатия рабочего тела. Чтобы увеличить степень сжатия немецкий инженер Р.Дизель разработал цикл, в котором горючее рабочее тело заменяется негорючим (воздухом). Впущенный в цилиндр воздух сжимается до более высокого давления, чем в цикле Отто. Цикл в  $pV$ - и  $Ts$ -координатах представлен на рисунке 1.2. Он осуществляется следующим образом. Рабочее тело с параметрами  $p_1, V_1, T_1$  сжимается в цилиндре под поршнем по адиабате 1-2 до объема  $V_2$  при этом давление и температура повышаются до  $p_2, T_2$ , что соответствует перемещению поршня от нижней мертвой точки (НМТ) в верхнюю мертвую точку (ВМТ). Далее при постоянном давлении по изобаре 2-3 к газу от источника подводится тепло  $q_1$ , объем увеличивается до  $V_3$ . После этого происходит адиабатное расширение от объема  $V_3$  до объема  $V_4 = V_1$  (процесс 3-4) с понижением давления и температуры. Далее тепло  $q_2$  отводится от газа по изохоре 4-1, цикл замыкается, газ приходит в первоначальное состояние с параметрами  $p_1, V_1, T_1$ .

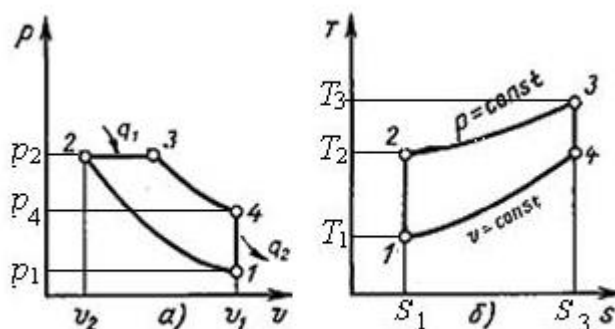


Рисунок 1.2. Цикл ДВС с изобарным подводом теплоты: а — в  $pV$ -координатах; б — в  $Ts$ -координатах

Характеризующими этот цикл величинами являются:

- 1) степень сжатия

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$$

Степень сжатия у дизелей больше, чем в карбюраторных двигателях. Минимальное значение, при котором происходит самовоспламенение  $\varepsilon = 12 \div 13$ . Верхний предел ограничен  $\varepsilon = 19 \div 20$ , так как увеличение коэффициента сжатия вызывает резкое повышение давления в цилиндре, что приводит к значительному сопротивлению в узлах трения и, как следствие, дает чрезмерные нагрузки на кривошипно-шатунный механизм.

- 2) степень предварительного расширения  $\rho$  – отношение удельного объема газа в конце подвода теплоты  $V_3$  к удельному объему в начале подвода теплоты  $V_2$ :

$$\rho = \frac{V_3}{V_2}$$

Количество подведенной теплоты равно

$$q_1 = c_p (T_3 - T_2),$$

отведенной теплоты

$$q_2 = c_v (T_4 - T_1)$$

При этих значениях получаем

$$\eta_t = 1 - \frac{c_v (T_4 - T_1)}{c_p (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{k(T_3 - T_2)}$$

Выражение термического КПД цикла через характеристики цикла имеет вид

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\rho^k - 1}{k(\rho - 1)}$$

Из уравнения следует, что термический КПД цикла зависит от степени сжатия  $\varepsilon$ , показателя адиабаты  $k$  и степени предварительного расширения  $\rho$ . С увеличением  $\varepsilon$ ,  $k$  и уменьшением  $\rho$  КПД увеличивается.

### 1.3 ЦИКЛ СО СМЕШАННЫМ ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ

Недостатком двигателей, в которых применяется цикл с подводом теплоты при  $p = \text{const}$ , является необходимость использования компрессора для подачи топлива. Наличие компрессора усложняет конструкцию и уменьшает экономичность двигателя. В настоящее время такие двигатели применяются на судах и в качестве стационарных установок тепловых электростанций.

Двигатели, работающие по смешанному циклу, являются более совершенствованными (бескомпрессорные дизели). Первый патент на бескомпрессорный двигатель высокого давления был выдан в 1904 г. русскому инженеру Г.В. Тринклеру (1886-1956). Однако двигатели получили широкое распространение позже, когда удалось осуществить раздельное распыливание топлива при  $V = \text{const}$  и  $p = \text{const}$ . В настоящее время по смешанному циклу работают преимущественно транспортные бескомпрессорные двигатели, использующие тяжелое топливо.

Цикл в  $pV$ - и  $Ts$ -координатах представлен на рисунке 1.3. Он осуществляется следующим образом. Рабочее тело с параметрами  $p_1, V_1, T_1$  сжимается по адиабате 1-2 до объема  $V_2$  при этом давление и температура повышаются до  $p_2, T_2$ . Далее по изохоре 2-3 к рабочему телу подводится первая доля теплоты  $q_1'$ . При постоянном давлении подводится вторая доля теплоты  $q_1''$  по изобаре 3-4. От точки 4 рабочее тело расширяется по адиабате 4-5. После чего тепло  $q_2$  отводится в теплоприемник по изохоре 5-1, рабочее тело приходит в первоначальное состояние с параметрами  $p_1, V_1, T_1$ , цикл замыкается.

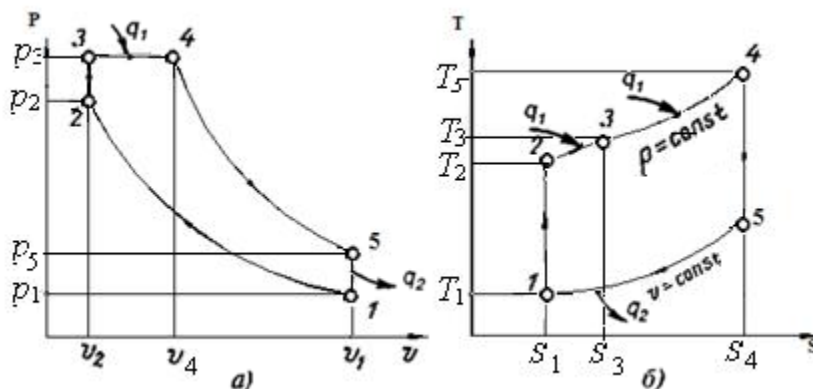


Рисунок 1.3. Цикл ДВС со смешанным подводом теплоты: *a* — в  $pV$ -координатах; *б* — в  $Ts$ -координатах

Характеристиками цикла являются:

- 1) степень сжатия

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$$

- 2) степень предварительного расширения

$$\rho = \frac{V_4}{V_3}$$

- 3) степень повышения давления

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2}$$

Первая доля подведенной теплоты составляет

$$q'_1 = c_v(T_3 - T_2)$$

Вторая доля подведенной теплоты равна

$$q''_1 = c_p(T_4 - T_3)$$

Количество отведенной теплоты

$$q_2 = c_v(T_5 - T_1)$$

При этих значениях получаем

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q'_1 + q''_1} = 1 - \frac{c_v(T_5 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2) + c_p(T_4 - T_3)}$$

Выражение термического КПД цикла через характеристики цикла имеет вид

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\lambda \rho^k - 1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)}$$

Из уравнения следует, что термический КПД цикла зависит от степени сжатия  $\varepsilon$ , показателя адиабаты  $k$ , степени предварительного расширения  $\rho$  и степени повышения давления  $\lambda$ . С увеличением  $\varepsilon$ ,  $k$ ,  $\lambda$  и уменьшением  $\rho$  КПД увеличивается.

Для двигателей, работающих по циклу Сабатэ-Тринклера, степень сжатия составляет  $\varepsilon = 12 \div 13$ . По своим показателям он занимает промежуточное положение между циклами Отто и Дизеля.

#### 1.4 ЦИКЛ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Возможность получения значительной мощности в одном агрегате вследствие отсутствия и более полного расширения продуктов сгорания (до атмосферного давления), а также малые габариты и низкие расходы масла и охлаждающей жидкости обуславливают развитие ГТУ. Рабочим телом в ГТУ являются продукты сгорания жидкого или газообразного топлива. Если в поршневых ДВС все процессы, которые определяются циклами, осуществляются в цилиндре двигателя, то в ГТУ эти процессы осуществляются раздельно в различных частях.

ГТУ могут работать по циклам со сгоранием при постоянном объеме и постоянном давлении. В настоящее время применяют ГТУ исключительно с изобарным подводом теплоты. Как показывает практика газотурбостроения, они имеют наилучшие перспективы.

На рисунке 1.5. представлен идеальный цикл ГТУ в  $pV$ - и  $Ts$ -координатах с подводом теплоты при  $p = \text{const}$ . Идеальный газ с параметрами  $p_1$ ,  $V_1$ ,  $T_1$  сжимается по адиабате 1-2 (процесс соответствует сжатию воздуха в компрессоре). Подвод теплоты к сжатому газу осуществляется по изобаре 2-3. Затем рабочее тело расширяется по адиабате 3-4 и возвращается в исходное состояние по изобаре 4-1, отдавая тепло  $q_2$  теплоприемнику.

Характеристиками цикла ГТУ являются:

- 1) Степень повышения давления при адиабатном сжатии (соответствует сжатию воздуха в компрессоре):

$$\beta = \frac{p_2}{p_1}$$

Величина  $\beta$  оказывает влияние на мощностные и экономические показатели двигателя. Для транспортных ГТУ  $\beta = 3,5 \div 16$ .

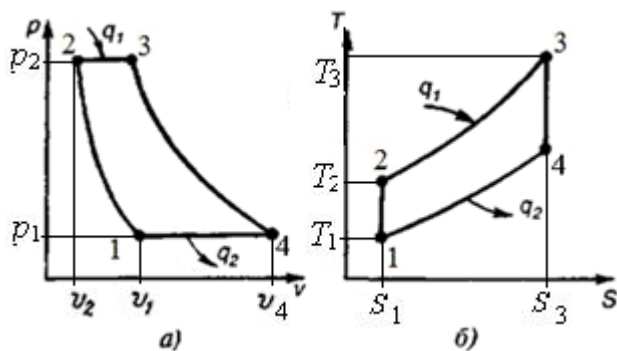


Рисунок 1.5 Цикл газотурбинной установки: а — в  $p$ - $v$ -координатах; б — в  $T$ - $s$ -координатах

2) Степень предварительного расширения

$$\rho = \frac{V_3}{V_2}$$

Количество подведенной теплоты по изобаре 2-3 равно

$$q_1 = c_p(T_3 - T_2)$$

Количество отведенной теплоты по изобаре 4-1 равно

$$q_2 = c_p(T_4 - T_1)$$

При этих значениях получаем

$$\eta_t = 1 - \frac{c_p(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Выражение термического КПД цикла через характеристики цикла имеет вид

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\lambda^{\frac{k-1}{k}}}$$

Следовательно, термический КПД ГТУ с изобарным подводом теплоты зависит только от степени повышения давления  $\lambda$  и показателя адиабаты  $k$  (он увеличивается с повышением значений этих величин).

### 1.5 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Индивидуальное задание выдается каждому студенту в начале семестра в виде номера задачи. Первая цифра номера варианта соответствует предпоследней цифре, а вторая – последней цифре номера зачетной книжки студента.

Чтобы успешно подготовиться и выполнить контрольную работу необходимо:

1. Внимательно ознакомиться с содержанием задачи, записать ее условие, вставляя в текст численные значения исходных данных из соответствующей таблицы.

2. По конспекту лекций и данному пособию изучить теоретический материал по соответствующим темам, обращая особое внимание на методику практических расчетов. Подобрать по списку рекомендованной литературы и получить в библиотеке университета один из учебников, подробно ознакомиться с описанием цикла, предложенного для анализа.

3. Провести черновой расчет задачи с помощью калькулятора и на компьютере в случае необходимости, соблюдая последовательность расчетов и самопроверок такими же, как они даются в приведенном ниже примере. Необходимо учитывать следующие особенности:

- процессы сгорания и выпуска газа рассматриваются как процессы подвода и отвода теплоты;

- все процессы, составляющие цикл, являются обратимыми;
- условный нуль энтропии принять соответствующим нормальным физическим условиям ( $p_0 = 101325 \text{ Па}$ ,  $T = 273 \text{ К}$ ).

4. Оформить отчет по работе в соответствии с требованиями, ориентируясь при этом на приведенный в настоящих методических указаниях пример.

Если в подготовительной работе или в процессе расчетов возникают вопросы или неясности, студенту необходимо обращаться к преподавателю за консультациями, которые организуются кафедрой еженедельно по специальному расписанию.

5. При отчете студент должен уметь изложить весь ход решения, ответить на все контрольные вопросы.

### ***Основные требования к оформлению отчета по работе:***

1. Отчет должен начинаться титульным листом, начиная со второй страницы – содержание работы, включающее в себя номер варианта и исходные данные для расчета, подробный ход решения, сводную таблицу результатов по форме, рисунки и графики, требуемые заданием, а завершаться списком использованной литературы.

2. Отчет должен быть написан черными, синими или фиолетовыми чернилами или пастой аккуратным, разборчивым почерком (или напечатан) на листах формата А4 (210 × 297).

3. Графический материал (рисунки, графики) можно рисовать мягким карандашом на небольших листках миллиметровой или клетчатой бумаги, наклеивая их на страницы отчета. Каждый рисунок должен быть пронумерован и сопровождаться развернутой подписью.

4. Все расчеты оформляются в развернутом виде: сначала записывается формула, далее знак равенства и численные значения всех входящих в формулу параметров в той же последовательности, как они стоят в формуле, далее знак равенства, результат вычислений.

5. Все расчеты проводятся в международной системе измерения физических величин (система СИ).

6. Расчетные формулы должны сопровождаться лаконичными пояснениями, включающими и полную расшифровку всех принятых условных обозначений.

### ***Контрольные вопросы***

1. Почему в качестве рабочих тел в термодинамике используются газы и пары?
2. Какие величины называют параметрами состояния рабочего тела? Перечислите их. В каких единицах они измеряются?
3. Как связаны между собой параметры состояния в изохорном, изобарном, изотермическом, адиабатном и политропном процессах?
4. Какой вид имеет уравнение первого начала термодинамики для изохорного, изобарного, изотермического, адиабатного процессов?
5. В чем состоят основные свойства  $pV$ - и в  $Ts$ -диаграмм?
6. Изобразите основные термодинамические процессы в  $pV$ - и в  $Ts$ -координатах.
7. Как на  $pV$ -диаграмме графически определяется удельная работа прямого цикла?
8. Как доказать, что на  $Ts$ -диаграмме изохора располагается круче изобары?
9. Что характеризует и чем определяется термический КПД обратимых круговых процессов?
10. Почему термодинамические циклы называют идеальными?
11. Как доказать, что с увеличением степени сжатия в ДВС повышается температура в конце сжатия?
12. Как изменяется температура  $T_4$  в цикле со смешанным подводом теплоты при увеличении степени предварительного расширения?
13. Как влияет увеличение степени сжатия на термический КПД ДВС?

14. Как влияет степень повышения давления в ГТУ с изобарным подводом теплоты на их термический КПД?

### 1.6 ЗАДАНИЯ НА РАБОТУ

Провести расчет теоретического термодинамического цикла двигателя внутреннего сгорания (ДВС) или газотурбинной установки (ГТУ). В качестве рабочего тела принять 1 кг сухого воздуха. Удельная газовая постоянная  $R = 286,4 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ . Удельную теплоемкость воздуха считать постоянной и равной  $C_v = 0,72 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$ . Показатель адиабаты процессов сжатия и расширения принять равным  $k = 1,4$ .

Необходимо определить:

- 1) параметры всех характерных точек цикла (параметры состояния рабочего тела: давление  $p$ , удельный объем  $V$ , температуру  $T$ , энтропию  $s$ );
- 2) термодинамические характеристики каждого процесса и цикла в целом: - работу, производимую за цикл  $l_{ц}$ ;  
- полезно использованную теплоту цикла  $q_{ц}$ ;  
- изменение энтропии  $\Delta s$ ;  
- термический КПД цикла  $\eta_t$ ;  
- термический КПД цикла Карно  $\eta_{тк}$ .

Теоретический цикл представить в  $pV$ - и  $Ts$ -координатах с соблюдением масштаба.

#### Варианты заданий на работу

**Задача 1.** Провести расчет теоретического термодинамического цикла поршневого ДВС с изохорным подводом теплоты, который задан следующими параметрами:

давление в конце процесса всасывания  $p_1 = \_\_\_\_\_\_ 10^5 \text{ Па}$ ,

температура в конце процесса всасывания  $T_1 = \_\_\_\_\_\_ ^\circ\text{С}$ ,

степень сжатия  $\varepsilon = \_\_\_\_\_\_$ ,

количество подводимого тепла  $q_1 = \_\_\_\_\_\_ \text{ кДж/кг}$ .

Исходные данные принять по табл. 2.1

Таблица 2.1

| Первая цифра номера варианта | $p_1, 10^5 \text{ Па}$ | $t_1, ^\circ\text{С}$ | Вторая цифра номера варианта | Количество подводимого тепла $q_1, \text{ кДж/кг}$ | Степень сжатия $\varepsilon$ |
|------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------|
| 0                            | 1,0                    | 27                    | 0                            | 1720                                               | 6,0                          |
| 1                            | 1,0                    | 17                    | 1                            | 1845                                               | 6,3                          |
| 2                            | 1,0                    | 30                    | 2                            | 1970                                               | 7,6                          |
| 3                            | 1,0                    | 0                     | 3                            | 2390                                               | 7,0                          |
| 4                            | 0,8                    | 17                    | 4                            | 1930                                               | 6,5                          |
| 5                            | 0,8                    | 37                    | 5                            | 1970                                               | 6,6                          |
| 6                            | 0,8                    | 37                    | 6                            | 2055                                               | 6,8                          |
| 7                            | 0,9                    | 0                     | 7                            | 2355                                               | 7,5                          |
| 8                            | 0,9                    | 27                    | 8                            | 1725                                               | 6,6                          |
| 9                            | 0,9                    | 47                    | 9                            | 2180                                               | 7,1                          |

**Задача 2.** Провести расчет теоретического термодинамического цикла поршневого ДВС с изобарным подводом теплоты, который задан следующими параметрами:

давление в конце процесса всасывания  $p_1 = \_\_\_\_\_\_ 10^5 \text{ Па}$ ,

температура в конце процесса всасывания  $T_1 = \_\_\_\_\_\_ ^\circ\text{С}$ ,

степень сжатия  $\varepsilon = \_\_\_\_\_\_$ ,

степень предварительного расширения  $\rho = \_\_\_\_\_\_$ .

Исходные данные принять по табл. 3.2

Таблица 2.2

| Первая цифра номера варианта | $p_1, 10^5 \text{ Па}$ | $t_1, ^\circ\text{C}$ | Вторая цифра номера варианта | Степень сжатия $\varepsilon$ | Степень предварительного расширения $\rho$ |
|------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|
| 0                            | 1,0                    | 15                    | 0                            | 11                           | 2,1                                        |
| 1                            | 1,0                    | 20                    | 1                            | 11                           | 2,2                                        |
| 2                            | 1,0                    | 27                    | 2                            | 12                           | 2,3                                        |
| 3                            | 1,0                    | 22                    | 3                            | 15                           | 2,8                                        |
| 4                            | 0,9                    | 17                    | 4                            | 13                           | 2,4                                        |
| 5                            | 0,9                    | 27                    | 5                            | 12                           | 2,4                                        |
| 6                            | 0,9                    | 20                    | 6                            | 11                           | 2,5                                        |
| 7                            | 0,9                    | 20                    | 7                            | 10                           | 2,6                                        |
| 8                            | 0,8                    | 14                    | 8                            | 11                           | 2,8                                        |
| 9                            | 0,8                    | 27                    | 9                            | 12                           | 2,5                                        |

**Задача 3.** Провести расчет теоретического термодинамического цикла поршневого ДВС со смешанным подводом теплоты, который задан следующими параметрами:

давление в конце процесса всасывания  $p_1 = \_\_\_\_\_\_ 10^5 \text{ Па}$ ,

температура в конце процесса всасывания  $T_1 = \_\_\_\_\_\_ ^\circ\text{C}$ ,

степень сжатия  $\varepsilon = \_\_\_\_\_\_$ ,

степень предварительного расширения  $\rho = \_\_\_\_\_\_$ ,

степень повышения давления  $\lambda = \_\_\_\_\_\_$ .

Исходные данные принять по табл. 3.3

Таблица 2.3

| Первая цифра номера варианта | $p_1, 10^5 \text{ Па}$ | $t_1, ^\circ\text{C}$ | Вторая цифра номера варианта | Степень сжатия $\varepsilon$ | Степень предварительного расширения $\rho$ | Степень повышения давления $\lambda$ |
|------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|
| 0                            | 1,2                    | 24                    | 0                            | 14                           | 1,45                                       | 1,35                                 |
| 1                            | 1,4                    | 25                    | 1                            | 13,5                         | 1,4                                        | 1,3                                  |
| 2                            | 1,28                   | 26                    | 2                            | 13                           | 1,35                                       | 1,25                                 |
| 3                            | 1,33                   | 27                    | 3                            | 12,5                         | 1,3                                        | 1,2                                  |
| 4                            | 1,38                   | 28                    | 4                            | 12                           | 1,25                                       | 1,15                                 |
| 5                            | 1,43                   | 29                    | 5                            | 11,5                         | 1,2                                        | 1,1                                  |
| 6                            | 1,18                   | 14                    | 6                            | 14                           | 1,45                                       | 1,38                                 |
| 7                            | 1,23                   | 16                    | 7                            | 13,5                         | 1,4                                        | 1,33                                 |
| 8                            | 1,28                   | 17                    | 8                            | 13                           | 1,35                                       | 1,28                                 |
| 9                            | 1,0                    | 15                    | 9                            | 17,5                         | 1,41                                       | 1,27                                 |

**Задача 4.** Провести расчет теоретического термодинамического цикла ГТУ с изобарным подводом теплоты, который задан следующими параметрами:

давление воздуха на входе в ГТУ  $p_1 = \_\_\_\_\_\_ 10^5 \text{ Па}$ ,

температура воздуха на входе в ГТУ  $T_1 = \_\_\_\_\_\_ ^\circ\text{C}$ ,

степень предварительного расширения продуктов сгорания  $\rho = \_\_\_\_\_\_$ ,

степень повышения давления в компрессоре  $\beta = \_\_\_\_\_\_$ .

Исходные данные принять по табл. 2.4

Таблица 2.4

| Первая цифра номера варианта | $p_1, 10^5 \text{ Па}$ | $t_1, ^\circ\text{C}$ | Степень повышения давления $\beta$ | Вторая цифра номера варианта | Степень предварительного расширения $\rho$ |
|------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|
| 0                            | 1,0                    | 27                    | 3,8                                | 0                            | 10                                         |
| 1                            | 1,1                    | 42                    | 4,2                                | 1                            | 8                                          |
| 2                            | 1,0                    | 17                    | 4,5                                | 2                            | 8                                          |
| 3                            | 1,0                    | 47                    | 4,96                               | 3                            | 9                                          |
| 4                            | 0,9                    | 15                    | 4,54                               | 4                            | 10                                         |
| 5                            | 0,9                    | 52                    | 5,14                               | 5                            | 11                                         |
| 6                            | 0,9                    | 27                    | 3,75                               | 6                            | 8                                          |
| 7                            | 1,1                    | 45                    | 5,1                                | 7                            | 10                                         |
| 8                            | 0,8                    | 27                    | 5,67                               | 8                            | 11                                         |
| 9                            | 0,8                    | 40                    | 5,42                               | 9                            | 9                                          |

### 1.7 ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

#### Задача 3 (Вариант 99).

##### Содержание задачи

Провести расчет теоретического термодинамического цикла поршневого ДВС со смешанным подводом теплоты, который задан следующими параметрами:

давление в конце процесса всасывания  $p_1 = 10^5 \text{ Па}$ ;

температура в конце процесса всасывания  $T_1 = 15 ^\circ\text{C}$ ;

степень сжатия  $\varepsilon = 17,5$ ;

степень предварительного расширения  $\rho = 1,41$ ;

степень повышения давления  $\lambda = 1,27$ .

В качестве рабочего тела принимать 1 кг сухого воздуха. Удельная газовая постоянная  $R = 286,4 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ . Удельная теплоемкость воздуха  $C_v = 0,72 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$ .

Определить параметры состояния рабочего тела  $p, V, T$  в характерных точках цикла; работу, производимую за цикл  $l_{ц}$ ; полезно использованную теплоту цикла  $q_{ц}$ ; термический КПД цикла  $\eta_t$ ; термический КПД цикла Карно  $\eta_{тк}$ . Построить в масштабе  $pV$ - и  $TS$ -диаграммы цикла.

##### Краткое описание цикла

Для анализа задан цикл поршневого ДВС со смешанным подводом тепла, который является комбинацией циклов с подводом теплоты при  $V = \text{const}$  и  $p = \text{const}$ . Данный цикл реализуется в современных быстроходных дизельных двигателях.

На рис. 1.3 приведена идеализированная  $p$ - $V$  диаграмма, наглядно отображающая основные процессы такого цикла.

Во время хода всасывания (на диаграмме не показан) атмосферный воздух, проходя через систему фильтров и открытый всасывающий клапан, засасывается в цилиндр двигателя. В конце всасывания (точка 1 на диаграмме) всасывающий клапан закрывается. По мере перемещения поршня к верхней мертвой точке (ВМТ) происходит адиабатное сжатие воздуха с параметрами  $p_1, V_1, T_1$  в цилиндре (процесс 1–2) до параметров  $p_2, V_2, T_2$ . Температура воздуха к концу сжатия (точка 2)  $T_2$  выше температуры воспламенения топлива. Поэтому дизельное топливо, которое впрыскивается в цилиндр под большим давлением через специальную форсунку в мелкодисперсном виде, очень быстро испаряется и самовоспламеняется. Первые порции (меньшая часть топлива) при этом сгорают практически мгновенно (процесс 2–3) при  $V = \text{const}$ , при этом к рабочему телу

подводится теплота  $q_1'$ . Последующие порции топлива сгорают по мере их попадания в цилиндр во время перемещения поршня от ВМТ при  $p = \text{const}$  (процесс 3 – 4), при этом к рабочему телу подводится теплота  $q_1''$ . Дальнейшее адиабатное расширение продуктов сгорания (процесс 4–5), обеспечивает рабочий ход поршня, по окончании которого происходит изохорный процесс отвода тепла  $q_2$  (процесс 5–1).

#### Расчет цикла ДВС

I. Определение параметров рабочего тела в характерных точках

1) Процесс 1-2 - адиабатное сжатие. Уравнение адиабаты идеального газа

$$pV^k = \text{const} \quad (1)$$

а) параметры в точке 1- начале адиабатного сжатия

давление  $p_1 = 10^5$  Па;

температура  $T_1 = 15^\circ\text{C} = 288$  К;

начальный удельный объем  $V_1$  находим, воспользовавшись уравнением состояния для 1 кг идеального газа (уравнение Клайперона):

$$p_1 V_1 = RT_1 \quad (2)$$

откуда получаем

$$V_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{286,4 \cdot 288}{1,0 \cdot 10^5} = 0,825 \text{ м}^3/\text{кг}$$

б) параметры в точке 2 – конце сжатия

Удельный объем  $V_2$  определим из уравнения для степени сжатия

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = 17,5, V_2 = \frac{V_1}{\varepsilon} = \frac{0,825}{17,5} = 0,047 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Используя соотношения между параметрами состояния рабочего тела в начале и конце адиабатного процесса, полученные из уравнений (1) и (2),

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k; \frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{k}}; \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}; \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}$$

определим давление  $p_2$ :

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k = \varepsilon^k$$

откуда получаем

$$p_2 = p_1 \cdot \varepsilon^k = 1,0 \cdot 10^5 \cdot (17,5)^{1,4} = 5,5 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

определим температуру  $T_2$ :

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}$$

откуда получаем

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} = 288 \cdot (17,5)^{0,4} = 905 \text{ К}$$

Выполним проверку:

из уравнения (2) получаем

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{R} = \frac{5,5 \cdot 10^6 \cdot 0,047}{286,4} = 904 \text{ К}$$

2) Процесс 2-3 – изохорный подвод теплоты. Уравнение изохоры идеального газа

$$\frac{p}{T} = \text{const} \quad (3)$$

в) параметры в точке 3 – конце подвода теплоты при постоянном объеме

удельный объем  $V_3 = V_2 = 0,047 \text{ м}^3/\text{кг}$

давление определим из уравнения степени повышения давления

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2}$$

откуда получаем

$$p_3 = \lambda \cdot p_2 = 1,27 \cdot 5,5 \cdot 10^6 = 6,985 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

температуру  $T_2$  определим из уравнения изохоры:

$$\frac{p_3}{p_2} = \frac{T_3}{T_2}$$

откуда получаем

$$T_3 = \frac{p_3 T_2}{p_2} = \lambda \cdot T_2 = 1,27 \cdot 905 = 1149 \text{ К}$$

Выполним проверку:

из уравнения (2) получаем

$$T_3 = \frac{p_3 V_3}{R} = \frac{6,985 \cdot 10^6 \cdot 0,047}{286,4} = 1146,5 \text{ К}$$

3) Процесс 3-4 – изобарный подвод теплоты. Уравнение изобары идеального газа

$$\frac{V}{T} = \text{const} \quad (4)$$

г) в точке 4 – конце изобарного подвода теплоты при постоянном давлении давление

$$p_4 = p_3 = 6,985 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

удельный объем определим из уравнения степени предварительного расширения

$$\rho = \frac{V_4}{V_3}$$

откуда получаем  $V_4 = \rho \cdot V_3 = 1,41 \cdot 0,047 = 0,066 \text{ м}^3/\text{кг}$

температуру определим, используя уравнение изобары (4):

$$\frac{V_3}{V_4} = \frac{T_3}{T_4}$$

$$T_4 = \frac{V_4 \cdot T_3}{V_3} = \rho \cdot T_3 = 1,41 \cdot 1147 = 1617 \text{ К}$$

Выполним проверку:

из уравнения (2) получаем

$$T_4 = \frac{p_4 V_4}{R} = \frac{6,985 \cdot 10^6 \cdot 0,066}{286,4} = 1610 \text{ К}$$

4) Процесс 4-5 – адиабатное расширение.

д) в точке 5 – конце адиабатного расширения

удельный объем  $V_5 = V_1 = 0,825 \text{ м}^3/\text{кг}$

температуру определим из соотношения для адиабатного процесса:

$$\frac{T_5}{T_4} = \left( \frac{V_4}{V_5} \right)^{k-1}$$

$$T_5 = T_4 \left( \frac{V_4}{V_5} \right)^{k-1} = 1610 \cdot \left( \frac{0,066}{0,825} \right)^{0,4} = 586 \text{ К}$$

давление определим из уравнения адиабаты:

$$\frac{p_5}{p_4} = \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^k$$

$$p_5 = p_4 \cdot \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^k = 6,985 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{0,066}{0,825}\right)^{1,4} = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Выполним проверку:

$$T_5 = \frac{p_5 V_5}{R} = \frac{0,2 \cdot 10^6 \cdot 0,825}{286,4} = 576 \text{ К}$$

## II. Расчет характеристик цикла

1) Определение полезной работы цикла  $l_{\text{ц}}$

$$l_{\text{ц}} = l_{1-2} + l_{2-3} + l_{3-4} + l_{4-5} + l_{5-1}$$

Работа адиабатного сжатия  $l_{1-2}$  равна

$$l_{1-2} = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2) = \frac{286,4}{1,4-1} (288 - 905) = -441,8 \text{ кДж/кг}$$

Процесс 2-3 – изохорный  $dV = 0$ , следовательно,  $l_{2-3} = 0$ .

Работа изобарного расширения  $l_{3-4}$  составляет

$$l_{3-4} = R(T_4 - T_3) = 286,4(1617 - 1149) = 134 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$l_{3-4} = p_4(V_4 - V_3) = 6,985 \cdot 10^6 (0,066 - 0,047) = 132,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Работа адиабатного расширения  $l_{4-5}$  равна

$$l_{4-5} = \frac{R}{k-1} (T_4 - T_5) = \frac{286,4}{1,4-1} (1617 - 586) = 738,2 \text{ кДж/кг}$$

Процесс 5-1 изохорный, следовательно,  $l_{5-1} = 0$ .

Работа цикла равна

$$l_{\text{ц}} = 738,2 + 132,7 - 441,8 = 429,1 \text{ кДж/кг}$$

2) Определение полезной теплоты цикла

Количество подведенной теплоты

$$q_1 = q'_1 + q''_1 = C_V(T_3 - T_2) + C_p(T_4 - T_3),$$

где  $C_p = k \cdot C_V = 1,4 \cdot 0,72 = 1,008 \text{ кДж/кг}$

$$q_1 = 0,72(1149 - 905) + 1,008(1617 - 1149) = 647,4 \text{ кДж/кг}$$

Количество отведенной теплоты

$$q_2 = C_V(T_1 - T_5) = 0,72(586 - 288) = -214,6 \text{ кДж/кг}$$

Полезно использованная теплота цикла

$$q_{\text{ц}} = |q_1| - |q_2| = 647,4 - 214,6 = 432,8 \text{ кДж/кг}$$

Для цикла должно выполняться равенство  $q_{\text{ц}} = l_{\text{ц}}$ .

Вычислим относительную погрешность:

$$q_{\text{ц}} = 432,8 \text{ кДж/кг}; l_{\text{ц}} = 429,1 \text{ кДж/кг}$$

$$\Delta_{\text{ц}} = \frac{q_{\text{ц}} - l_{\text{ц}}}{q_{\text{ц}}} = \frac{432,8 - 429,1}{432,8} = 0,0085$$

Погрешность  $\Delta_{\text{ц}} = 0,85\%$  обусловлена неточностями в расчетах при округлении.

3) Определим термический КПД идеализированного цикла по уравнению:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\lambda \rho^k - 1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)} = 1 - \frac{1}{17,5^{0,4}} \cdot \frac{1,27 \cdot 1,41^{1,4} - 1}{1,27 - 1 + 1,4 \cdot 1,27(1,41 - 1)}$$

$$= 1 - \frac{1}{3,142} \cdot \frac{1,27 \cdot 1,618 - 1}{0,27 + 1,4 \cdot 1,27 \cdot 0,41} = 0,664 \text{ (66,4\%)}$$

Определим термический КПД идеализированного цикла:

$$\eta_t = \frac{|q_1| - |q_2|}{|q_1|} = \frac{432,8}{647,4} = 0,668 \text{ (66,8 \%)}$$

- 4) Термический КПД цикла Карно для того же интервала температур, в котором реализуется реальный цикл:

$$\eta_{тк} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{288}{1617} = 0,82 \text{ (82 \%)}$$

- 5) Изменение энтропии термодинамических процессов цикла можно определить с помощью следующих уравнений:

$$\Delta s = c_v \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta s = c_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} - R \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}$$

$$\Delta s = c_v \cdot \ln \frac{p_2}{p_1} + c_p \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\frac{p}{T} = const \quad (3)$$

- в) параметры в точке 3 – конце подвода теплоты при постоянном объеме  
удельный объем  $V_3 = V_2 = 0,047 \text{ м}^3/\text{кг}$

давление определим из уравнения степени повышения давления

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2}$$

откуда получаем

$$p_3 = \lambda \cdot p_2 = 1,27 \cdot 5,5 \cdot 10^6 = 6,985 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

температуру  $T_2$  определим из уравнения изохоры:

$$\frac{p_3}{p_2} = \frac{T_3}{T_2}$$

откуда получаем

$$T_3 = \frac{p_3 T_2}{p_2} = \lambda \cdot T_2 = 1,27 \cdot 905 = 1149 \text{ К}$$

Выполним проверку:

из уравнения (2) получаем

$$T_3 = \frac{p_3 V_3}{R} = \frac{6,985 \cdot 10^6 \cdot 0,047}{286,4} = 1146,5 \text{ К}$$

- 3) Процесс 3-4 – изобарный подвод теплоты. Уравнение изобары идеального газа

$$\frac{V}{T} = const \quad (4)$$

- г) в точке 4 – конце изобарного подвода теплоты при постоянном давлении

давление  $p_4 = p_3 = 6,985 \cdot 10^6 \text{ Па}$

удельный объем определим из уравнения степени предварительного расширения

$$\rho = \frac{V_4}{V_3}$$

откуда получаем  $V_4 = \rho \cdot V_3 = 1,41 \cdot 0,047 = 0,066 \text{ м}^3/\text{кг}$

температуру определим, используя уравнение изобары (4):

$$\frac{V_3}{V_4} = \frac{T_3}{T_4}$$

$$T_4 = \frac{V_4 \cdot T_3}{V_3} = \rho \cdot T_3 = 1,41 \cdot 1147 = 1617 \text{ К}$$

Выполним проверку:

из уравнения (2) получаем

$$T_4 = \frac{p_4 V_4}{R} = \frac{6,985 \cdot 10^6 \cdot 0,066}{286,4} = 1610 \text{ К}$$

4) Процесс 4-5 – адиабатное расширение.

д) в точке 5 – конце адиабатного расширения

удельный объем  $V_5 = V_1 = 0,825 \text{ м}^3/\text{кг}$

температуру определим из соотношения для адиабатного процесса:

$$\frac{T_5}{T_4} = \left( \frac{V_4}{V_5} \right)^{k-1}$$

$$T_5 = T_4 \left( \frac{V_4}{V_5} \right)^{k-1} = 1610 \cdot \left( \frac{0,066}{0,825} \right)^{0,4} = 586 \text{ К}$$

давление определим из уравнения адиабаты:

$$\frac{p_5}{p_4} = \left( \frac{V_4}{V_5} \right)^k$$

$$p_5 = p_4 \cdot \left( \frac{V_4}{V_5} \right)^k = 6,985 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{0,066}{0,825} \right)^{1,4} = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Выполним проверку:

$$T_5 = \frac{p_5 V_5}{R} = \frac{0,2 \cdot 10^6 \cdot 0,825}{286,4} = 576 \text{ К}$$

## II. Расчет характеристик цикла

1) Определение полезной работы цикла  $l_{\text{ц}}$

$$l_{\text{ц}} = l_{1-2} + l_{2-3} + l_{3-4} + l_{4-5} + l_{5-1}$$

Работа адиабатного сжатия  $l_{1-2}$  равна

$$l_{1-2} = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2) = \frac{286,4}{1,4-1} (288 - 905) = -441,8 \text{ кДж/кг}$$

Процесс 2-3 – изохорный  $dV = 0$ , следовательно,  $l_{2-3} = 0$ .

Работа изобарного расширения  $l_{3-4}$  составляет

$$l_{3-4} = R(T_4 - T_3) = 286,4(1617 - 1149) = 134 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$l_{3-4} = p_4(V_4 - V_3) = 6,985 \cdot 10^6 (0,066 - 0,047) = 132,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Работа адиабатного расширения  $l_{4-5}$  равна

$$l_{4-5} = \frac{R}{k-1} (T_4 - T_5) = \frac{286,4}{1,4-1} (1617 - 586) = 738,2 \text{ кДж/кг}$$

Процесс 5-1 изохорный, следовательно,  $l_{5-1} = 0$ .

Работа цикла равна

$$l_{\text{ц}} = 738,2 + 132,7 - 441,8 = 429,1 \text{ кДж/кг}$$

6) Определение полезной теплоты цикла

Количество подведенной теплоты

$$q_1 = q'_1 + q''_1 = C_V(T_3 - T_2) + C_p(T_4 - T_3),$$

где  $C_p = k \cdot C_V = 1,4 \cdot 0,72 = 1,008 \text{ кДж/кг}$

$$q_1 = 0,72(1149 - 905) + 1,008(1617 - 1149) = 647,4 \text{ кДж/кг}$$

Количество отведенной теплоты

$$q_2 = C_V(T_1 - T_5) = 0,72(586 - 288) = -214,6 \text{ кДж/кг}$$

Полезно использованная теплота цикла

$$q_{\text{ц}} = |q_1| - |q_2| = 647,4 - 214,6 = 432,8 \text{ кДж/кг}$$

Для цикла должно выполняться равенство  $q_{\text{ц}} = l_{\text{ц}}$ .

Вычислим относительную погрешность:

$$q_{\text{ц}} = 432,8 \text{ кДж/кг}; l_{\text{ц}} = 429,1 \text{ кДж/кг}$$

$$\Delta_{\text{ц}} = \frac{q_{\text{ц}} - l_{\text{ц}}}{q_{\text{ц}}} = \frac{432,8 - 429,1}{432,8} = 0,0085$$

Погрешность  $\Delta_{\text{ц}} = 0,85\%$  обусловлена неточностями в расчетах при округлении.

7) Определим термический КПД идеализированного цикла по уравнению:

$$\begin{aligned} \eta_t &= 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\lambda \rho^k - 1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)} = 1 - \frac{1}{17,5^{0,4}} \cdot \frac{1,27 \cdot 1,41^{1,4} - 1}{1,27 - 1 + 1,4 \cdot 1,27(1,41 - 1)} \\ &= 1 - \frac{1}{3,142} \cdot \frac{1,27 \cdot 1,618 - 1}{0,27 + 1,4 \cdot 1,27 \cdot 0,41} = 0,664 \text{ (66,4\%)} \end{aligned}$$

Определим термический КПД идеализированного цикла:

$$\eta_t = \frac{|q_1| - |q_2|}{|q_1|} = \frac{432,8}{647,4} = 0,668 \text{ (66,8 \%)}$$

8) Термический КПД цикла Карно для того же интервала температур, в котором реализуется реальный цикл:

$$\eta_{\text{тк}} = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} = 1 - \frac{288}{1617} = 0,82 \text{ (82 \%)}$$

9) Изменение энтропии термодинамических процессов цикла можно определить с помощью следующих уравнений:

$$\Delta s = c_V \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta s = c_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} - R \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}$$

$$\Delta s = c_V \cdot \ln \frac{p_2}{p_1} + C_p \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Отсчет значений энтропии можно вести от любого состояния. Для газов принято считать значение энтропии равным нулю ( $s = 0$ ) при  $t_0 = 0$  °С ( $T_0 = 273,15$  К),  $p_0 = 0,1013$  МПа – параметры воздуха при нормальных условиях, тогда значение энтропии в точке 1 вычислим по формуле

$$s = c_p \cdot \ln \frac{T}{T_0} - R \cdot \ln \frac{p}{p_0}$$

$$s_1 = c_p \cdot \ln \frac{T_1}{273} - R \cdot \ln \frac{p_1}{101325} = 1,008 \cdot \ln \frac{288}{273} - 0,2864 \cdot \ln \frac{10^5}{101325}$$

$$= 0,058 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

Процесс 1-2 адиабатный, поэтому  $s_2 = s_1 = 0,058 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

Изменение энтропии изохорного процесса 2-3

$$\Delta s_{2-3} = C_v \cdot \ln \frac{T_3}{T_2}$$

$$\Delta s_{2-3} = 0,72 \cdot \ln \frac{1149}{905} = 0,72 \cdot 0,24 = 0,172 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

$$s_3 = s_2 + \Delta s_{2-3} = 0,058 + 0,172 = 0,23 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

Для изобарного процесса 3-4

$$\Delta s_{3-4} = C_p \cdot \ln \frac{T_4}{T_3}$$

$$\Delta s_{3-4} = 1,008 \cdot \ln \frac{1617}{1149} = 1,008 \cdot 0,34 = 0,343 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

$$s_4 = s_3 + \Delta s_{3-4} = 0,23 + 0,343 = 0,573 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

Процесс 4-5 адиабатный, поэтому  $s_5 = s_4 = 0,573 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

Для изохорного процесса 5-1

$$\Delta s_{5-1} = C_v \cdot \ln \frac{T_1}{T_5}$$

$$\Delta s_{5-1} = 0,72 \cdot \ln \frac{288}{586} = 0,72 \cdot (-0,71) = -0,51 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

$$s_1 = s_5 + \Delta s_{5-1} = 0,573 - 0,51 = 0,063 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

Результаты расчетов заносим в сводную таблицу

Таблица

| Характерные точки | Параметры точек цикла |                                         |                     |                           |
|-------------------|-----------------------|-----------------------------------------|---------------------|---------------------------|
|                   | Давление $p$ , МПа    | Удельный объем $V$ , м <sup>3</sup> /кг | Температура $T$ , К | Энтропия $S$ , кДж/(кг·К) |
| 1                 | 0,1                   | 0,825                                   | 288                 | 0,058                     |
| 2                 | 5,5                   | 0,047                                   | 905                 | 0,058                     |
| 3                 | 6,985                 | 0,047                                   | 1149                | 0,23                      |
| 4                 | 6,985                 | 0,066                                   | 1617                | 0,573                     |
| 5                 | 0,2                   | 0,825                                   | 586                 | 0,573                     |

| Процессы | Характеристики процессов |                 |                            |                     |                     |          |             |
|----------|--------------------------|-----------------|----------------------------|---------------------|---------------------|----------|-------------|
|          | $q$ ,<br>кДж/кг          | $l$ ,<br>кДж/кг | $\Delta S$ ,<br>кДж/(кг·К) | $q_{ц}$ ,<br>кДж/кг | $l_{ц}$ ,<br>кДж/кг | $\eta_t$ | $\eta_{тк}$ |
| 1-2      | 0                        | -441,8          | 0                          | 432,8               | 429,1               | 66,8%    | 82%         |
| 2-3      | 175,7                    | 0               | 0,172                      |                     |                     |          |             |
| 3-4      | 471,7                    | 132,7           | 0,343                      |                     |                     |          |             |
| 4-5      | 0                        | 738,2           | 0                          |                     |                     |          |             |
| 5-1      | -214,6                   | 0               | -0,51                      |                     |                     |          |             |

## 2. Общее устройство двигателей

Для нормальной работы двигателя в цилиндры должна подаваться горючая смесь в определенной пропорции (у карбюраторных двигателей) или отмеренные порции топлива в строго определенный момент под высоким давлением (у дизельных двигателей). Для уменьшения затрат работы на преодоление трения, отвода тепла, предотвращения задиров и быстрого износа трущиеся детали смазываются маслом. В целях создания нормального теплового режима в цилиндрах двигатель должен охлаждаться. Из-за высокой степени сжатия запустить дизельный двигатель вручную нельзя. Его оснащают пусковым устройством. Все двигатели, устанавливаемые на тракторах, и автомобилях, имеют однотипную конструктивную схему и включают механизмы и системы, выполняющие определенные функции.

*Дизельный двигатель*, устанавливаемый на трактор или автомобиль состоит из следующих механизмов и систем.

*Кривошипно-шатунный механизм* преобразует прямолинейное движение поршней во вращательное движение коленчатого вала, что является наиболее приемлемым для передачи механической энергии, привода в движение ведущих колес трактора и машин.

*Газораспределительный механизм* управляет работой клапанов, что позволяет в определенных положениях поршня впускать воздух в цилиндры двигателя, сжимать его до определенного давления и удалять из цилиндров отработавшие газы.

*Система питания* обеспечивает подачу отмеренных порций топлива в определенный момент в распыленном состоянии в цилиндры двигателя.

*Смазочная система* осуществляет непрерывную подачу масла к трущимся деталям и отвод теплоты от них.

*Система охлаждения* предохраняет перегрев стенок камеры сгорания и поддерживает в цилиндрах нормальный тепловой режим.

*Система пуска* необходима для проворачивания коленчатого вала дизельного двигателя во время его пуска.

Автомобильный карбюраторный двигатель имеет механизмы и системы такие же, как у тракторного дизельного двигателя со следующими отличиями:

- система питания автомобильного двигателя предназначена для приготовления горючей смеси в специальном приборе-карбюраторе и подачи ее в цилиндры;
- для зажигания рабочей смеси в цилиндрах карбюраторного двигателя служит система зажигания.

### 2.1. Остов двигателя

Остов двигателя служит основанием, внутри и снаружи которого расположены детали механизмов и систем двигателя.

Остов автотракторных двигателей образован из нескольких неподвижно соединенных между собой частей (рис. 2.1).

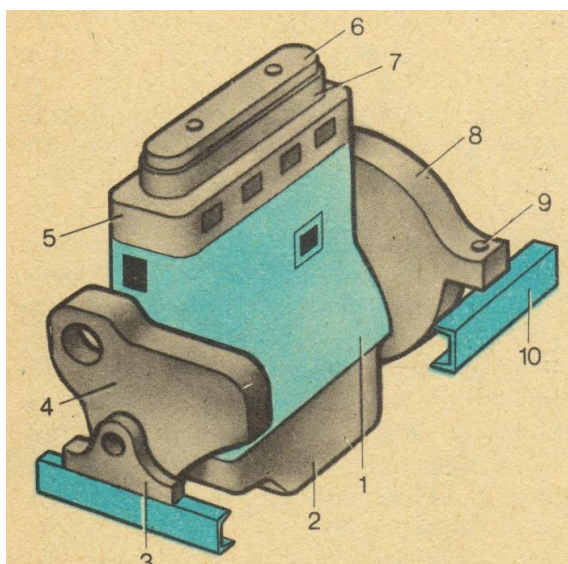


Рис. 2.1 Остов однорядного двигателя: 1 - блок-картер, 2 - поддон картера, 3 - передняя опора двигателя, 4 - картер распределительных шестерен, 5 - головка цилиндров, 6 - колпак, 7 - крышка, 8 - картер маховика, 9 - задняя опора двигателя, 10 - рама машины распределительного вала, 6 - вертикальная перегородка, 7 - камера штанг.

В зависимости от типа и мощности двигателя составные части остова имеют некоторые конструктивные отличия, но в принципе устроены одинаково.

Основной частью остова много цилиндрического двигателя является блок-картер (рис.2.2.,2.3).

*Блок-картер* (рис. 2.2) большинства современных двигателей изготовлен в виде единой коробчатой отливки с рядным расположением цилиндров. Чтобы повысить жесткость и разделить блок-картер на несколько отсеков, внутри него выполнены перегородки. Горизонтальная перегородка 2 делит его на две половины: верхнюю — блок цилиндров и нижнюю — картер. В блоке устанавливают гильзы цилиндров, которые плотно входят в отверстия верхней плиты и горизонтальной перегородки. Вдоль одной из сторон блока проходит сплошная вертикальная перегородка 6, отделяющая камеру 7 штанг от водяной рубашки.

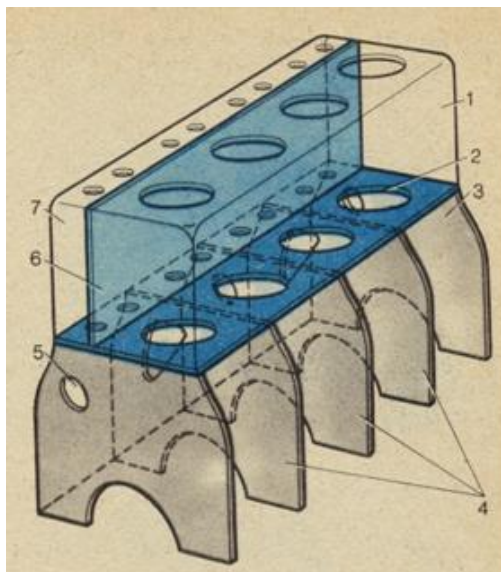


Рис. 2.2 Схема блок - картера рядного двигателя: 1 - блок цилиндров, 2 - горизонтальная перегородка, 3 - картер, 4 - перегородки картера, 5 - отверстие для распределительного вала, 6 - вертикальная перегородка, 7 - камера штанг.

Пространство между вертикальной перегородкой, стенками блока и гильзами цилиндров заполняется водой, образуя водяную рубашку. Нижняя часть — картер — расширена, так как в ней вращается коленчатый вал, имеющий определенный радиус кривошипа. В картере выполнены перегородки 4. В нижней части этих перегородок имеются приливы 7 (рис. 2.3, а) образующие вместе с крышками 6 опоры для коренных подшипников коленчатого вала. Со стороны камеры штанг в перегородках картера имеются отверстия 9 под втулки распределительного (кулачкового) вала.

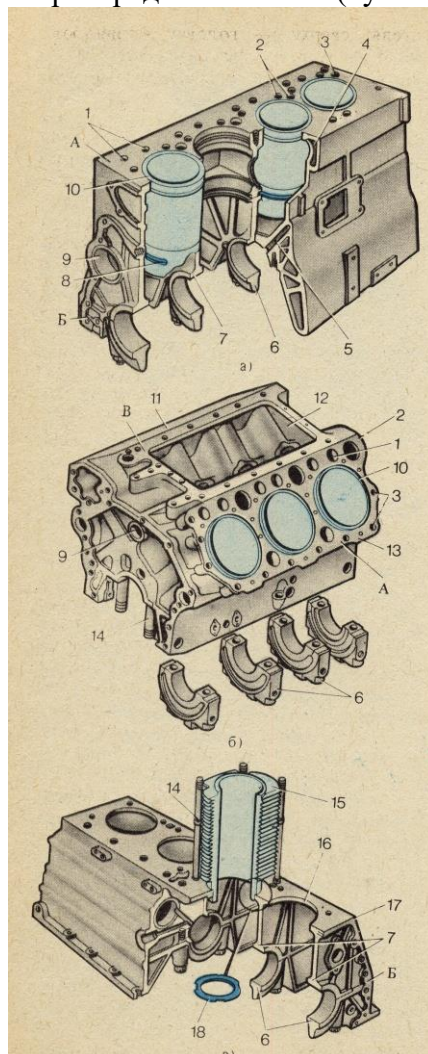


Рис.2.3. Блок - картеры двигателей: а - жидкостного охлаждения с рядным расположением цилиндров, б - жидкостного охлаждения с V - образным расположением цилиндров, в - воздушного охлаждения с рядным расположением цилиндров, 1 - отверстия для штанг толкателей, 2 - отверстия для отвода воды, 3 - отверстия для шпилек крепления головки цилиндров, 4 - водораспределительный канал, 5 - канал для подвода масла, 6 - крышка коренного подшипника, 7 - прилив, 8 - резиновое уплотнительное кольцо, 9 - отверстие для втулки распределительного вала, 10 - гильза цилиндра, 11, 13 - левый и правый полублоки, 12 - воздушная полость, 14 - шпилька, 15 - гильза цилиндра воздушного охлаждения, 16 - отверстие для гильзы цилиндра, 17 - картер, 18 - уплотнительная прокладка, А - плоскость крепления головки цилиндров, Б - плоскость крепления картера распределительных шестерен, В - плоскость крепления крышки с опорой под турбокомпрессор.

Чтобы вода из водяной рубашки блока не проникла в картер, в расточках горизонтальной перегородки помещены уплотнительные резиновые кольца 8. Водяная

рубашка блока через отверстия 2 в верхней плите сообщается с водяной рубашкой головки цилиндров. В верхней плите имеются резьбовые отверстия 3 для шпилек, соединяющих головку цилиндров с блок - картером, и отверстия 1 для штанг толкателей. В блоке отлиты каналы 4 для подвода воды в водяную рубашку от водяного насоса, просверлены отверстия и каналы 5 для подвода масла к некоторым трущимся деталям двигателя.

В блок - картере (рис. 2.3, б) У-образного двигателя выполнены большие отверстия по одинаковому числу в ряду для установки гильз 10 цилиндров. Наружные стенки всех цилиндров объединены общей водяной рубашкой. В центральной части блок - картера имеются расточные отверстия 9 под втулки распределительного вала. К перегородкам картера шпильками 14 закрепляют крышки 6 коренных подшипников коленчатого вала. На плоскости А полублоков 11 и 13 ставят головки цилиндров.

Двигатели с воздушным охлаждением в отличие от жидкостных не имеют блок - картера. Все детали расположены на литом картере 17 (рис. 2.3, в). В верхней плите картера расточены отверстия 16 для установки гильз 15 цилиндров. Гильзы цилиндров совместно с головками цилиндров прикрепляют к верхней плоскости картера специальными шпильками. Между цилиндрами и картером установлены медные уплотнительные прокладки 18. Внутри картера, как и у двигателей с жидкостным охлаждением, размещены коленчатый и распределительный валы.

Снаружи каждый блок-картер имеет обработанные приливы и площадки с резьбовыми отверстиями для крепления различных агрегатов и сборочных единиц. Чтобы не допустить течи воды или масла и попадания в блок-картер загрязнений между ним и деталями в местах стыка помещены прокладки или сальники. К обработанным площадкам блок - картера крепят составные детали остова двигателя: сверху — головку цилиндров, сзади — картер маховика, впереди - картер распределительных шестерен, снизу — поддон картера.

*Головка 7 цилиндров* (рис. 2.4) много цилиндрового двигателя представляет собой по внешней форме толстую чугунную плиту, которая закрывает блок-картер сверху. Нижняя плоскость головки тщательно обработана и является верхней стенкой камер сгорания всех четырех цилиндров. В головке размещены отверстия для клапанов, форсунок, штанг, впускные 1 и выпускные 4, 22 каналы. Пространство между стенками каналов и головки, называемое водяной рубашкой 6, заполнено водой. Чтобы не было утечки газов и воды, между головкой цилиндров и блок - картером устанавливают металлоасбестовую прокладку 21.

Отверстия в прокладке под гильзы цилиндров и для прохода масла к клапанному механизму (через трубку 23) окантованы листовой сталью.

На верхней плоскости головки закрепляют детали привода клапанов, которые закрывают крышкой с колпаком 5. На колпаке смонтирован сапун 3. Он сообщает полость картера с атмосферой. Сапун необходим для предотвращения выдавливания масла через уплотнения газами, проникающими из цилиндров. Через него выходят наружу воздух и газы, прорвавшиеся из цилиндров в картер. Если после остановки двигателя давление остывшего в нем воздуха стало ниже атмосферного, воздух входит в картер снаружи через сапун. Проволочная набивка, смоченная маслом, очищает воздух от пыли. В некоторых двигателях сапун расположен на боковой стенке блока (со стороны камеры штанг) или в крышке горловины для заливки масла в картер. Большинство карбюраторных двигателей имеют принудительную вентиляцию картера, благодаря которой из него удаляются отработавшие газы и пары топлива.

В двигателях воздушного охлаждения головки изготавливают отдельно для каждого цилиндра. Наружная поверхность головки снабжена охлаждающими ребрами.

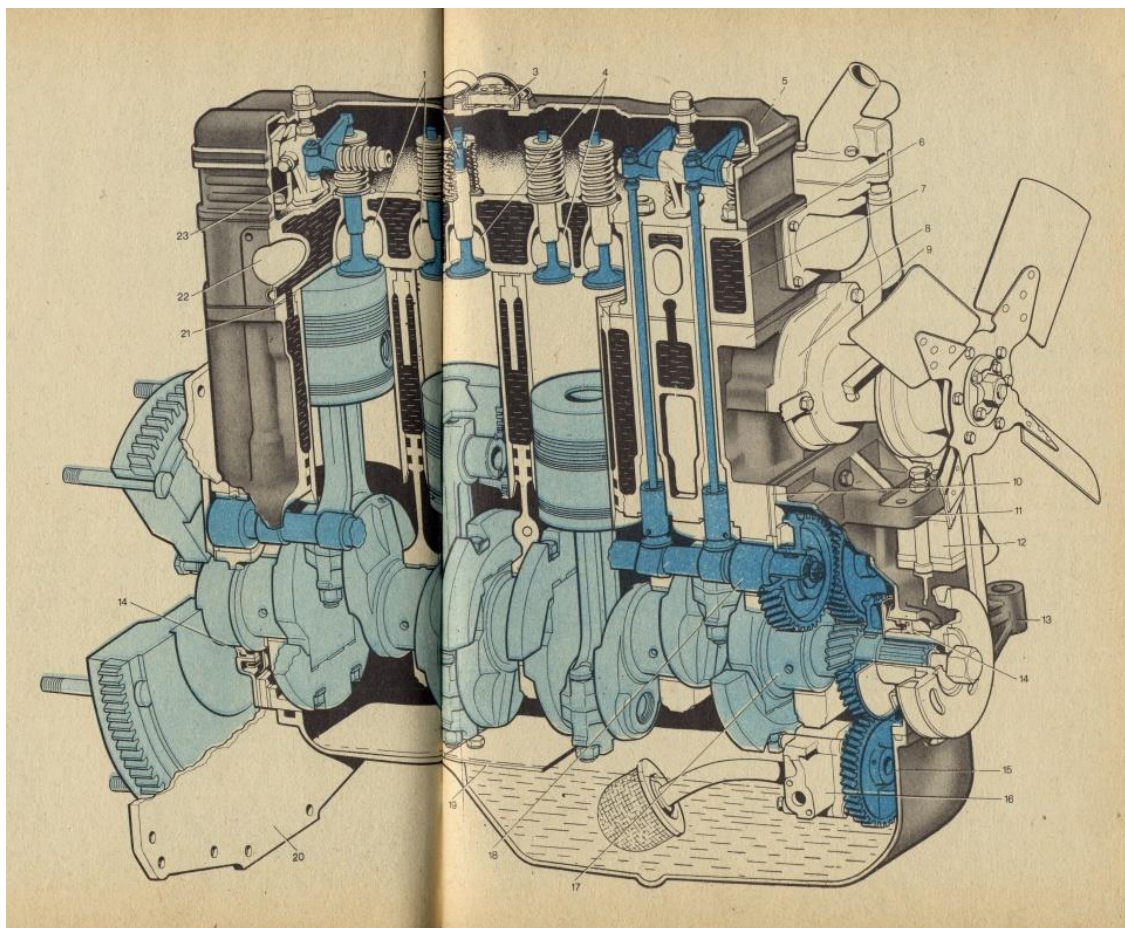


Рис. 2.4. Устройство дизельного двигателя Д - 240: 1 - впускные клапаны третьего и четвертого цилиндров, 2 - клапан, 3 - сапун, 4 - выпускные клапаны второго и третьего цилиндров, 5 - колпак, 6 - водяная рубашка, 7 - головка блока цилиндров, 8 - блок - картер, 9 - водяной насос, 10 - щит распределительных шестерен, 11 - передняя опора двигателя, 12 - амортизатор, 13 - кронштейн передней опоры двигателя, 14 - манжета уплотнительная коленчатого вала, 15 - поддон картера, 16 - масляный насос, 17 - коленчатый вал, 18 - распределительный вал, 19 - успокоитель масла, 20 - задний лист, 21 - металлоасбестовая прокладка, 22 - выпускной канал четвертого цилиндра, 23 - трубка подвода масла к клапанному механизму

К нижней плоскости блок – картера закреплен поддон 15, который служит резервуаром для масла и закрывает нижнюю часть двигателя. По месту разъема поддон уплотнен прокладкой из пробки или паронита. Чтобы масло меньше плескалось во время работы трактора, поддон снабжен успокоителем 19. Картер распределительных шестерен 11 закрывает шестерни, передающие вращение от коленчатого вала 17 к распределительному валу 18, приводам топливного, гидравлического и масляного 16 насосов.

#### *Подвеска двигателя.*

На крышке картера распределительных шестерен отлита передняя опора 11 двигателя. Опора через резинометаллический амортизатор 12 закреплена на кронштейне 13, который устанавливают на раме. Амортизатор снижает уровень вибраций двигателя и остова трактора. Сзади двигатель прикреплен к корпусу трансмиссии через стальной лист 20. Такая подвеска двигателя называется трехточечной. Различают трех-, четырех-, шеститочечную и консольную подвески двигателя. При консольной подвеске (например, у самоходных шасси) задняя часть двигателя прикреплена жестко к корпусу трансмиссии, а передняя не имеет опоры. При шеститочечной подвеске двигатель опирается на раму с помощью шести эластичных резинометаллических амортизаторов:- два из них

расположены впереди и четыре сзади. Амортизаторы задней подвески монтируют на картере маховика.

#### *Картер маховика*

служит для размещения маховика, крепления двигателя к раме и присоединения различных агрегатов (например, пускового двигателя, редуктора пускового устройства и др.). В картере маховика ряда двигателей предусмотрены устройства (стрелочный указатель, отверстия с фиксатором) для определения ВМТ поршня.

Детали остова тракторных двигателей, за исключением поддона, обычно отливают из чугуна, а некоторых автомобильных двигателей — из алюминиевого сплава.

### **2.2. Цилиндро - поршневая группа**

*Цилиндры* (рис. 2.5) рассматриваемых автотракторных двигателей съемные. Отдельно изготовленный цилиндр называют гильзой.

Применение вставных гильз позволяет увеличить срок службы блок-картера за счет замены изношенных гильз новыми. Гильза цилиндра изготовлена из легированного чугуна. Внутренняя поверхность гильзы, называемая зеркалом, тщательно обработана и закалена. По внутреннему диаметру гильзы сортируют на три размерные группы: Б, С и М (большая, средняя и малая).

Обозначения размерной группы наносят на торце буртика 1 гильзы.

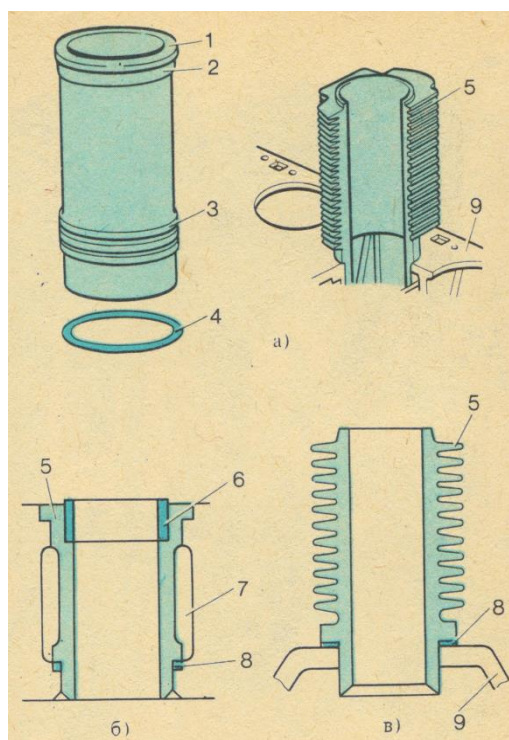


Рис. 2.5. Конструкции цилиндров: а - "мокрая" гильза цилиндра, б - схема установки гильзы двигателя, в - цилиндр с воздушным охлаждением, 1 - буртик, 2 - верхний пояс, 3 - нижний пояс, 4 - резиновое уплотнительное кольцо, 5 - гильза цилиндра, 6 - вставка, 7 - водяная рубашка, 8 - уплотнительная прокладка, 9 - картер

Гильзы, наружная поверхность которых омывается охлаждающей жидкостью называются «мокрыми» (рис. 2.5 а). На наружной поверхности гильзы выполнены два посадочных пояса 2 и 3, которые служат для плотной установки гильзы в блоке. Между нижним пояском гильзы и блоком цилиндра монтируют резиновые уплотнительные кольца 4, предотвращающие протекание воды в картер из водяной рубашки блока. У одних двигателей резиновые кольца устанавливают в выточки, выполненные на нижнем пояске гильзы, а у других — в расточке блока. Верхний торец гильзы выступает над

плоскостью блока, что обеспечивает лучшее обжатие металлоасбестовой прокладки и создает надежное уплотнение от прорыва газов из цилиндра. Износ верхней части гильз уменьшается при установке в некоторых автомобильных двигателях износостойких вставок 7 (рис. 2.5, б) из антикоррозийного чугуна. В некоторых двигателях между основанием нижнего выступа блок-картера и опорной поверхностью нижнего буртика устанавливают медную кольцевую прокладку 8.

Цилиндры двигателей с воздушным охлаждением (рис. 2.5, г) снабжены снаружи охлаждающими ребрами. В нижней части цилиндра имеется бурт, который упирается в поверхность картера. Между картером и буртом устанавливают медное кольцо. Каждый цилиндр вместе с головкой закрепляют специальными (анкерными) шпильками на картере.

**Поршни** (рис. 2.6) воспринимают и передают шатуну усилия, возникающие от давления газов, а также обеспечивают протекание всех тактов рабочего цикла. Они подвергаются действию высоких температур и давлений и движутся со значительными скоростями внутри цилиндра. В соответствии с условиями работы материал поршня должен обладать высокими механическими свойствами и износостойкостью, быть легким, хорошо отводить тепло. Поэтому в современных двигателях поршни отливают из легкого, но достаточно прочного алюминиевого сплава.

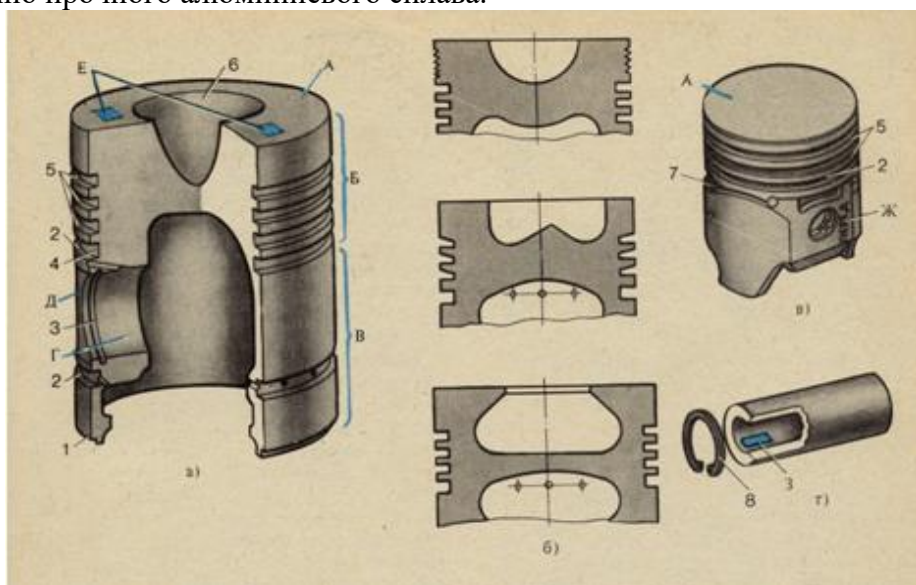


Рис. 2.6. Конструкция поршня: а - поршень дизельного двигателя, б - сечения поршней дизельных двигателей, в - поршень карбюраторного двигателя, г - поршневой палец, 1 - маслосбрасывающая кромка, 2 - канавка для маслосъемного кольца, 3 - канавка для стопорного кольца, 4 - отверстие для подвода масла к поршневому пальцу, 5 - канавки для компрессионных колец, 6 - камера сгорания в поршне, 7 - прорезь, 8 - стопорное кольцо поршневого пальца; А - днище, Б - головка, В - направляющая часть, Г - бобышки, Д - холодильник, Е - места клеймения массы и размерной группы поршня, Ж - метка направления установки поршня, З - место клеймения размерной группы поршневого пальца.

Поршень (рис.2.6, а) имеет вид перевернутого стакана. Он состоит из днища А, головки Б (или уплотняющей части) и направляющей части В, называемой юбкой. Днище поршня дизельного двигателя делают фасонной формы с выемкой, которая зависит от способа смесеобразования и расположения клапанов и форсунок. Такая форма днища способствует лучшему перемешиванию воздуха с поступающим в цилиндр топливом и более полному его сгоранию.

На внешней поверхности головки и юбке проточены канавки 5 и 2 для компрессионных и маслосъемных колец. Число колец, устанавливаемых на поршне, зависит от типа двигателя и частоты вращения коленчатого вала. Для повышения износостойкости у некоторых двигателей в канавку под верхнее компрессионное кольцо заливают стальную вставку, что увеличивает долговечность сопряжения кольца с канавкой. По окружности канавок под маслосъемные кольца просверлены сквозные отверстия для отвода масла в картер двигателя.

На внутренней стороне юбки имеются два прилива — бобышки Г, в отверстия которых устанавливают поршневой палец. Бобышки соединяются ребрами с днищем, увеличивая прочность поршня. В бобышках проточены кольцевые канавки 3 для стопорных колец. На наружной поверхности поршня против бобышек сделаны срезы — «холодильники», где скапливается масло, способствующее охлаждению утолщенной части поршня и предохраняющее поршень от заклинивания. С этой же целью применяют поршни, у которых диаметр юбки больше диаметра головки, а юбка имеет овальное сечение (большая ось овала перпендикулярна оси поршневого пальца).

По величине наружного диаметра юбки поршня, как и цилиндры, сортируют на три размерные группы: Б, С и М. Обозначение размерной группы наносят на днище поршня. При сборке группа поршня должна быть одинаковой с группой гильзы.

Поршни сортируют на две размерные группы по диаметру отверстия под поршневой палец и маркируют краской (черной или желтой) на бобышках поршня.

На головке поршня некоторых тракторных двигателей сделаны мелкие кольцевые канавки глубиной 0,3 мм (рис.2.6, б). В них задерживаются продукты сгорания масла (нагар), что предотвращает преждевременное закоксовывание поршневых колец.

В карбюраторных двигателях применяют поршни с плоским днищем (рис.2.6, в), получившие широкое распространение из-за простоты изготовления и меньшего нагрева при работе. У некоторых автомобильных двигателей часть юбки под бобышками удалена для прохода противовесов коленчатого вала при нижнем положении поршня и его облегчения. Поршни имеют поперечные прорезы 7 под головкой, на юбке может быть выполнен продольный или Т-образный разрез. Прорезы повышают упругость юбки поршня, что устраняет опасность заклинивания. Если на юбке поршня имеются прорезы, то их устанавливают в двигатели так, чтобы боковое давление при рабочем ходе испытывала часть поршня без разреза. Правильной установке поршня по направлению в двигателе помогает надпись, выполненная на юбке.

*Поршневые пальцы* (рис.2.6, г) изготовлены пустотелыми из стали. От осевого перемещения палец удерживается разжимными стопорными кольцами 8, которые установлены в канавках бобышек поршня. Палец соединяет поршень с шатуном. В отверстие втулки верхней головки шатуна палец вставляют с зазором, а в поршень — с натягом. Во время работы двигателя из-за различных коэффициентов линейного расширения материалов между поршнем и пальцем при достижении рабочей температуры появляется зазор, и палец имеет возможность поворачиваться в бобышках поршня. Такой палец называют плавающим.

По величине наружного диаметра пальца разделяют на две размерные группы. Размерные группы маркируют, как и отверстия в бобышках поршня, черным и желтым цветом. Краску наносят на внутреннюю поверхность пальца 8. При сборке пальца с поршнем необходимо помнить, что их размерные группы должны быть одинаковы.

*Поршневые кольца* (рис.2.7) создают плотное, подвижное соединение между поршнем и цилиндром. По назначению их разделяют на компрессионные 1 и маслосъемные 2. Компрессионные кольца предотвращают прорыв газов из камеры сгорания в картер. Маслосъемные кольца препятствуют проникновению масла из картера в камеру сгорания, снимая излишки масла со стенки цилиндра.

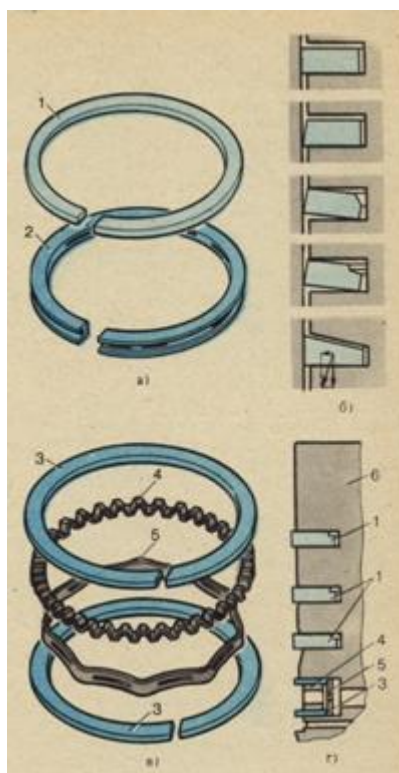


Рис. 2.7. Поршневые кольца: а - внешний вид, б - формы компрессионных колец в рабочем состоянии, в - составное маслосъемное кольцо, г - расположение колец на поршне; 1 - компрессионное кольцо, 2 - маслосъемное кольцо, 3 - плоские стальные кольца, 4 - осевой расширитель, 5 - радиальный расширитель, 6 – поршень.

Кольца изготавливают из легированного чугуна или стали. Наружный диаметр кольца в свободном состоянии больше внутреннего диаметра цилиндра. Часть кольца вырезана, вследствие чего при установке в цилиндр кольцо пружинит и хорошо прилегает к его поверхности. Вырез в поршневом кольце называют замком. Замки поршневых колец могут быть косые или прямые. Наибольшее распространение получило кольцо с прямым замком, как более простое и дешевое в изготовлении. С целью уменьшения утечки газов через зазоры в замках кольца устанавливают замками в разные стороны, желательно на равном расстоянии по окружности. Для уплотнения, обеспечивающего герметичность цилиндра, у карбюраторных двигателей на поршни размещают 2—3, а у дизелей, где давление газов в цилиндрах более высокое, 3—4 компрессионных кольца. В канавках поршня кольца устанавливают с небольшим зазором и они могут свободно перемещаться относительно поршня. Если поршневые кольца неплотно прилегают к стенке цилиндра, то газы, прорываясь через просветы между цилиндром и кольцом, вызывают перегрев кольца. При этом образующиеся шлаковые отложения заполняют зазоры между кольцами и стенками канавок поршня по высоте.

Кольца перестают свободно перемещаться и пружинить. Это явление носит название пригорания (закоксовывания) колец и сопровождается потерей мощности двигателя и повышенным расходом масла.

В поперечном сечении компрессионные кольца имеют различную форму (рис. 2.7, б). По сравнению с кольцом прямоугольного сечения кольцо с конической наружной поверхностью имеет меньшую опорную поверхность, что обеспечивает его быструю приработку и хороший контакт с цилиндром по всей окружности. Компрессионные кольца некоторых двигателей имеют по внутреннему диаметру сверху кольца фаску или выточку. При установке в цилиндр такие кольца деформируются (скручиваются) и прилегают к зеркалу цилиндра нижней кромкой. Поэтому скручивающиеся кольца

работают подобно конусным и в то же время имеют меньшее перемещение по поршню в вертикальном направлении. Форма кольца с поперечником в виде односторонней трапеции уменьшает возможность зависания в канавках поршня при больших отложениях нагара и улучшает его прилегание к стенке цилиндра.

Трущаяся о цилиндр поверхность верхнего компрессионного кольца хромируется с целью увеличения срока службы всех колец и цилиндра. Трущаяся поверхность поршневых колец многих двигателей облуживается для улучшения их приработки.

Маслосъемные кольца (одно или два) устанавливают ниже компрессионных колец. Они в отличие от компрессионных колец имеют сквозные прорезы или состоят из двух колец скребкового типа. На поршни некоторых двигателей устанавливают составные маслосъемные кольца (рис. 20, в) изготовленные из двух стальных дисков и двух гофрированных расширителей — осевого и радиального. Осевого расширителя, расположенный между дисками, плотно прижимает их к стенкам канавки поршня. Радиальный расширитель плотно прижимает диски к зеркалу цилиндра.

Сборные кольца хорошо прилегают к поверхности цилиндра и обеспечивают низкий расход картерного масла.

### 2.3. Шатунно-кривошипная группа

*Шатуны* (рис. 2.8, а) соединяют поршни с коленчатым валом и передают ему усилие от давления газов, воспринимаемых поршнями. При работе двигателя на шатун действуют силы давления газов и инерции, поэтому он должен быть прочным, жестким и легким. Шатун изготовлен из высококачественной стали в виде стержня с двумя головками.

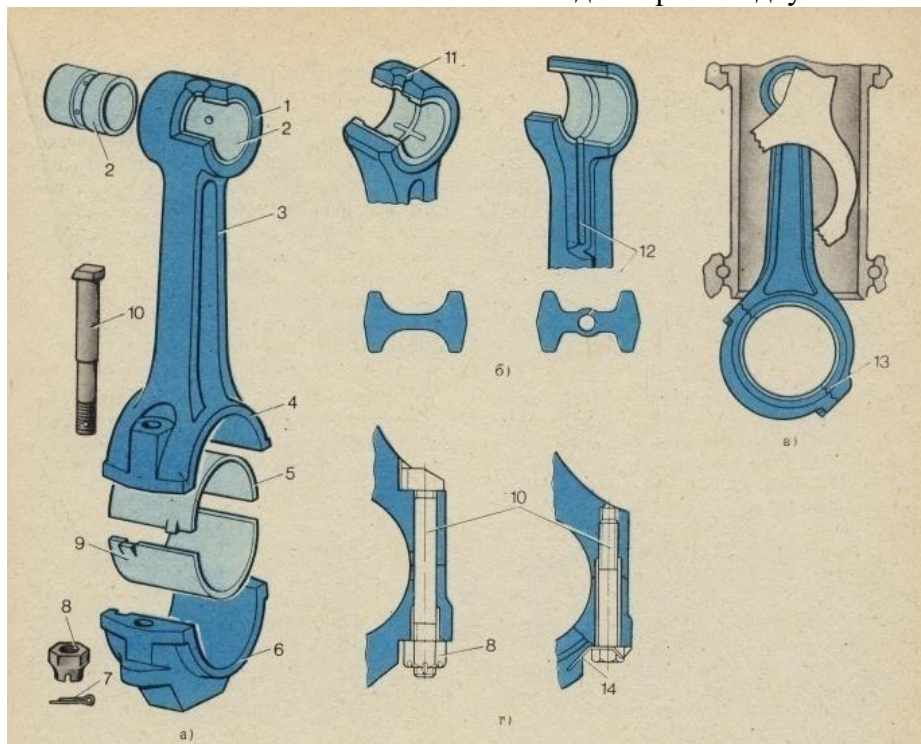


Рис. 2.8. Конструкции шатунов: а - детали шатуна, б - сечения стержня шатуна и подвод масла к поршневому пальцу, в - косой разъем нижней головки шатуна, г - способы фиксации крышки нижней головки шатунов; 1 - верхняя головка шатуна, 2 - втулка верхней головки шатуна, 3 - стержень шатуна, 4 - нижняя головка шатуна, 5 - вкладыш шатунного подшипника, 6 - крышка нижней головки шатуна, 7 - шплинт, 8 - корончатая гайка, 9 - фиксирующий усик вкладыша, 10 - шатунный болт, 11 - отверстие для подвода масла, 12 - канал для подвода масла в теле шатуна, 13 - треугольные шлицы в стыке крышки с нижней головкой шатуна, 14 - стопорная шайба.

Стержень 3 шатуна имеет двутавровое сечение. В верхнюю головку шатуна запрессовывают с натягом бронзовую втулку 2.

Нижняя головка шатуна разъемная. Ее отъемная часть — крышка 6. Верхняя половина головки изготовлена заодно с телом шатуна.

Механическую обработку внутренней поверхности нижней головки шатуна осуществляют в сборе с крышкой. Поэтому невозможна взаимозаменяемость крышек нижних головок шатунов. Чтобы установить их правильно, на боковую поверхность нижней головки шатуна и крышки наносят порядковый номер, считая первый от радиатора, и цифры комплектности, которые должны совпадать при сборке. Обе половины головки соединяют высокопрочными специальными шатунными болтами 10. Гайки болтов затягивают динамометрическим ключом и шплинтуют. В нижнюю головку шатуна устанавливают подшипники скольжения, состоящие из двух вкладышей 5 — верхнего и нижнего. От осевого смещения и проворачивания вкладыши удерживаются в гнездах усиками 9, входящими в пазы, расположенные на одной стороне шатуна. На нижней головке шатуна автомобильных двигателей находится отверстие для подачи масла на стенки цилиндра.

Масло к поршневому пальцу подается через отверстие 11 (рис. 2.8., б) или через канал 12, выполненный в теле шатуна. Нижняя головка шатуна имеет прямой разъем, т. е. под прямым углом к оси тела шатуна. У некоторых двигателей плоскости разъема нижней головки шатуна выполнены под углом. Косой разъем (рис. 2.8, в) необходим для обеспечения прохода нижней части шатуна через гильзу при монтаже поршневой группы. При такой конструкции шатунные болты крепят крышку не с помощью гаек, а ввертывают прямо в тело шатуна. Для увеличения площади соприкосновения плоскости косого разъема нижней головки шатуна сделаны не гладкими, а шлицевыми, что предотвращает срез шатунных болтов. Чтобы предупредить самоотворачивание, под головки болтов устанавливают стопорные шайбы 14 (рис. 2.8, г).

*Коленчатый вал* (рис. 2.9) воспринимает усилия, действующие от поршней, и преобразует их в крутящий момент, который передается на трансмиссию трактора и автомобиля, а также используется для привода в действие различных механизмов и деталей двигателя. Воспринимаемые коленчатым валом периодически действующие силы давления газов и инерции движущихся деталей могут вызвать износ, деформацию изгиба и кручения вала. Поэтому он должен обладать большой прочностью и быть износостойким.

Коленчатый вал штампуют из высококачественной стали или отливают из высокопрочного чугуна. Он состоит из опорных коренных шеек 7, шатунных шеек 11, соединяющих их щек 2, носка (передней части) и хвостовика (задней части). К щекам закреплены или отлиты вместе с валом противовесы 12, необходимые для его балансировки. Шейки вала для большой износостойчивости закалены токами высокой частоты. В щеках вала проходят косые каналы, по которым масло поступает к коренным и шатунным подшипникам. Внутри шатунных шеек выполнены полости В для центробежной очистки масла. Полости закрыты резьбовыми пробками 17. При вращении коленчатого вала механические примеси (продукты износа) под действием центробежной силы оседают на стенках полости. На каждой шатунной шейке коленчатого вала двигателей с У-образным расположением цилиндров помещены по два шатуна, поэтому шейки имеют большую длину. На переднем конце коленчатого вала закреплены одна или две шестерни для привода газораспределительного и других механизмов, шкив 16 привода вентилятора и генератора, а также храповик или болт 15 для проворачивания коленчатого вала вручную. Между шкивом и шестерней установлен маслоотражатель 6, отбрасывающий масло от переднего сальникового уплотнения. У некоторых двигателей распределительная шестерня размещена на заднем конце вала.

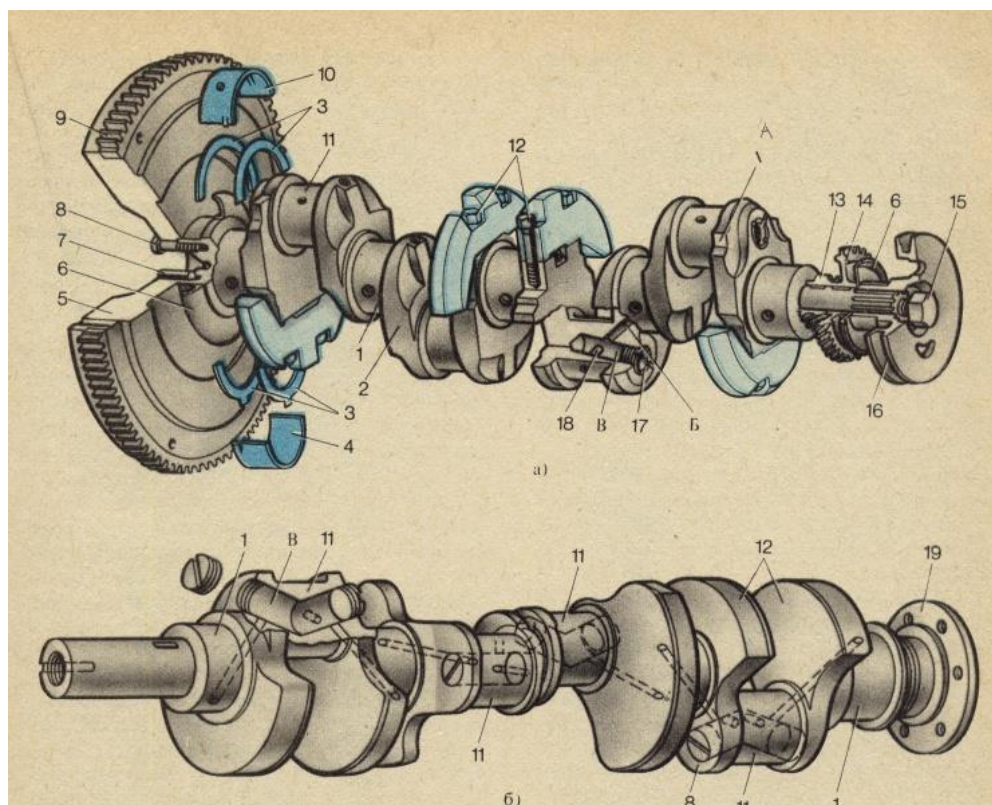


Рис. 2.9. Конструкции коленчатых валов: а - дизельного рядного двигателя, б - V-образного двигателя; 1 - коренная шейка, 2 - щека, 3 - упорные полукольца, 4 - нижний вкладыш коренного подшипника, 5 - маховик, 6 - маслоотражатель, 7 - установочный штифт, 8 - болт крепления маховика, 9 - зубчатый венец, 10 - верхний вкладыш коренного подшипника, 11 - шатунная шейка, 12 - противовесы, 13 - шестерня коленчатого вала, 14 - ведущая шестерня привода масляного насоса, 15 - болт, 16 - шкив, 17 - пробка, 18 - канал для подвода масла, 19 - фланец; А - место клеймения размерной группы шеек коленчатого вала, Б - канал подвода масла в полость шатунной шейки, В - полость шатунной шейки

На заднем конце вала закреплен маховик 5. У ряда двигателей маховик закрепляют установочными штифтами 7 и болтами 8, ввернутыми в торец коленчатого вала. У других двигателей имеется фланец 19, в котором просверлены отверстия для крепления маховика болтами. Перед фланцем на коленчатом валу выполнена маслосгонная резьба, которая вместе со специальными узкими вкладышами или сальником образует лабиринтное уплотнение, предотвращающее протекание масла в картер маховика. Обычно на заднем конце коленчатого вала имеется буртик, с помощью которого вал удерживается от осевого перемещения. С этой целью последний коренной подшипник имеет буртики или упорные полукольца 3. Продольные перемещения коленчатого вала некоторых двигателей ограничивают подобные устройства, расположенные на первой или средней коренной шейке. Коренные подшипники, как и шатунные, выполнены в виде вкладышей 10, изготовленных из биметаллической сталеалюминиевой ленты. Наружная часть ленты стальная, а внутренняя покрыта тонким слоем антифрикционного сплава АСМ, который выдерживает большие нагрузки и обладает высокой износостойкостью. Для улучшения приработки внутренняя поверхность вкладышей облужена. Вкладыши как шатунных, так и большинства коренных подшипников взаимозаменяемы.

*Маховик* способствует равномерному вращению коленчатого вала и помогает двигателю преодолевать повышенные нагрузки при трогании машины с места и во время работы. Маховик представляет собой тяжелый чугунный диск. С задней стороны

маховика предусмотрена выточка для размещения сцепления для чего задняя плоскость маховика тщательно обработана.

На переднем торце маховика находится углубление, по которому определяют положение поршня первого цилиндра. При совпадении этого углубления с отверстием в картере маховика поршень первого цилиндра находится в ВМТ.

В ряде двигателей это совпадение соответствует положению поршня в момент начала подачи топлива к первому цилиндру. На маховиках некоторых двигателей нанесены метки с номерами цилиндров, в которых происходит такт сжатия. Метки и углубление на маховике используют при регулировке клапанов. На ободе маховика напрессован или закреплен болтами стальной зубчатый венец 9, необходимый для вращения коленчатого вала от пускового устройства или стартера.

## 2.4. Схема и работа газораспределительного механизма

В четырехтактных двигателях применяют клапанный газораспределительный механизм (рис. 2.10); служащий для своевременной подачи в цилиндры воздуха (в дизельных двигателях) или горючей смеси (в карбюраторных двигателях) и для выпуска из цилиндров отработавших газов.

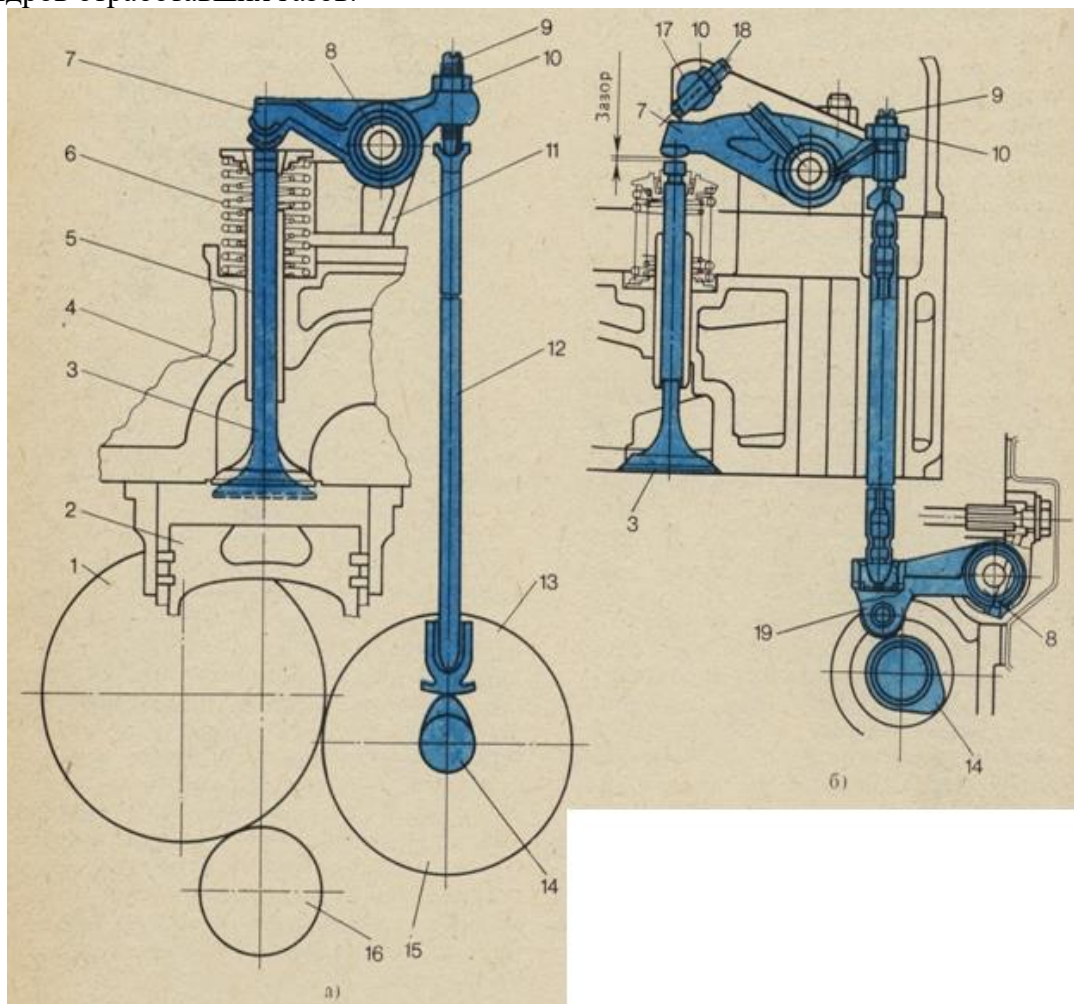


Рис. 2.10. Схемы газораспределительных механизмов: а - с грибовидным толкателем, б - с качающимся толкателем; 1 - промежуточная шестерня, 2 - поршень, 3 - клапан, 4 - головка цилиндров, 5 - направляющая втулка, 6 - пружины клапана, 7 - коромысло, 8 - ось (валик) коромысла, 9 - регулировочный винт, 10 - контргайка, 11 - стойка валика коромысла, 12 - штанга, 13 - толкатель, 14 - распределительный вал, 15 - шестерня распределительного вала, 16 - шестерня коленчатого вала, 17 - валик декомпрессора, 18 - регулировочный винт декомпрессора, 19 - качающийся толкатель.

С этой целью клапаны в определенные моменты открывают и закрывают впускные и выпускные отверстия головки цилиндров, которые сообщают цилиндры двигателя с впускным и выпускным трубопроводами.

Различают два вида клапанных газораспределительных механизмов: с верхним и боковым расположением клапанов. В изучаемых автотракторных двигателях используют распределительный механизм с верхним расположением клапанов, помещенных в головке цилиндров.

В газораспределительный механизм входят впускные и выпускные клапаны с пружинами, передаточные детали от распределительного вала к клапанам, распределительный вал и шестерни.

Действует газораспределительный механизм следующим образом. Коленчатый вал с помощью шестерен вращает распределительный вал 14. Кулачок распределительного вала, набегая на толкатель 13, поднимает его вместе со штангой 12. Штанга поднимает один конец коромысла 7, другой конец которого движется вниз и давит на клапан 3, опуская его и сжимая пружины б клапана.

Когда кулачок распределительного вала сходит с толкателя, штанга и толкатель опускаются, а клапан под действием пружин, садясь в седло, плотно закрывает отверстие канала.

При изучении основ работы двигателя указывалось, что открытие и закрытие клапанов происходит при положениях поршня в верхней и нижней мертвых точках. Для лучшей очистки цилиндров от отработавших газов и заполнения их свежим воздухом или горючей смесью открытие и закрытие клапанов не совпадает с положением поршня в мертвых точках. От степени наполнения цилиндров свежим зарядом и очистки их от отработавших газов во многом зависит мощность двигателя.

Для того чтобы в цилиндры двигателя поступило больше воздуха или горючей смеси, впускные клапаны открываются еще до прихода поршня в ВМТ (с опережением). Так как при большой частоте вращения коленчатого вала такт впуска повторяется часто, во впускном трубопроводе создается напор воздуха. Воздух поступает в цилиндры двигателя, несмотря на то, что поршень идет вверх. По этой же причине воздух по инерции поступает в цилиндры через открытый клапан и после того, как поршень пройдет НМТ. Впускной клапан закрывается с некоторым запаздыванием. Периоды от момента открытия клапанов до момента их закрытия, выраженные в градусах поворота коленчатого вала, называют фазами газораспределения.

## **2.5. Детали газораспределительного механизма**

Клапаны 7 (рис. 2.11.) открывают и закрывают отверстия впускных и выпускных каналов головки цилиндров. Они состоят из головки и стержня. Переход от тарелки к стержню сделан плавным, что придает клапану необходимую прочность, улучшает отвод тепла и уменьшает сопротивление движению газов. Стержень клапана шлифованный. Торец стержня закален, благодаря чему уменьшается его износ от действия коромысла. Для большей плотности прилегания каждый клапан притирается к гнезду до фаски шириной 1,5—2 мм, выполненной у большинства двигателей под углом 45° и тщательно отшлифованной. Клапаны работают при высокой температуре и подвергаются разъедающему действию газов. Материал, применяемый для их изготовления, должен противостоять коррозии и истиранию. Как известно из материаловедения, этим требованиям удовлетворяет высоколегированная сталь. Впускной клапан изготавливают из хромистой, а выпускной — из жаростойкой (сильхромовой) стали. Для лучшего наполнения цилиндра воздухом диаметры гнезд и головки впускных клапанов больше диаметров гнезд и головок выпускных клапанов.

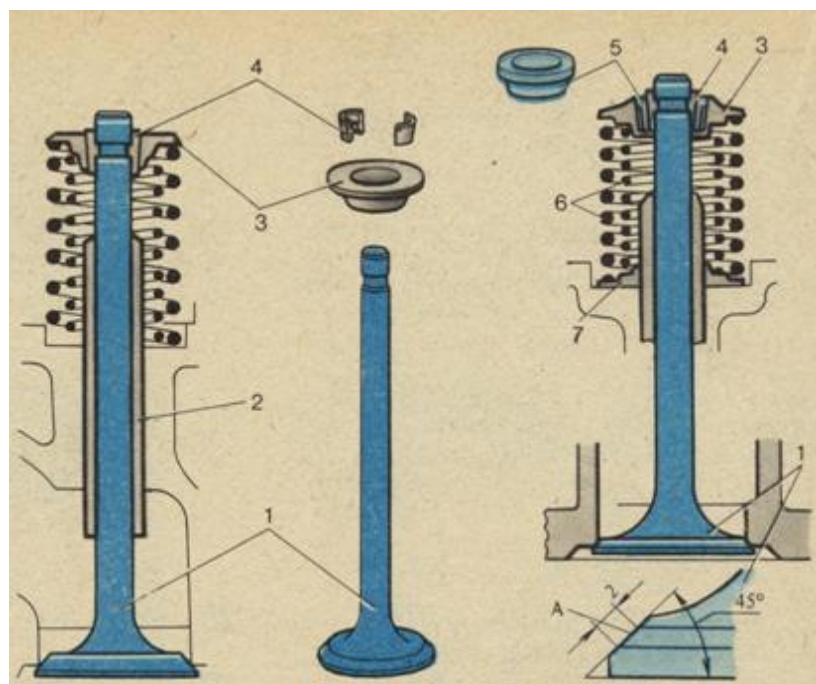


Рис. 2.11. Клапанный механизм дизельных двигателей: 1 - клапан, 2 - направляющая втулка клапана, 3 - тарелка пружины, 4 - сухари, 5 - втулка сухарей, 6 - пружины, 7 - опорная шайба; фаска клапана

В верхней части стержня клапана предусмотрена выточка для установки конических сухариков, с помощью которых клапан прочно держится в тарелке пружин. Сухарики 4 представляют собой коническое кольцо, разрезанное на две половинки. У некоторых двигателей между верхней опорной шайбой и сухариками находится втулка 5, которая зажимает сухарики и опирается на дно тарелки 3 нижним узким торцом. Благодаря этому клапан может поворачиваться относительно тарелки под воздействием коромысла и вследствие вибраций пружин. Это благоприятно отражается на работоспособности трущихся поверхностей клапана, его втулки и седла и обеспечивает их равномерный износ.

Выпускной клапан некоторых автомобильных двигателей может также поворачиваться принудительно во время работы двигателя специальным механизмом (рис. 2.12.). Этот механизм состоит из неподвижного корпуса 11, в котором по окружности расположены пять наклонных углублений, уложенных в них пять шариков 12 и их возвратных пружин 13. На шарики свободно установлена дисковая (конусная) пружина 10, на которую опирается через упорную шайбу 9 пружина 3 клапана.

Когда клапан открывается, пружина 3 сжимается, и в результате ее возросшего усилия дисковая пружина 10, опираясь на шарики, выпрямляется. Под действием усилий пружин 3 и 10 шарики 12, преодолевая сопротивление возвратных пружин, катятся по наклонным углублениям корпуса 11 и поворачивают на некоторый угол дисковую пружину, шайбу 9 и пружину 3 с клапаном. При закрытии клапана усилие пружины 3 уменьшается, дисковая пружина 10 прогибается, возвращаясь в начальное положение, и упирается в заплечик корпуса 9, освобождая шарики 12, которые перемещаются пружинами 13 в исходное положение.

У автомобильных двигателей рабочая фаска 7 выпускного клапана наплавлена жаростойким сплавом. Внутри клапана имеется полость 2, заполненная на 50—60% натрием. Полость закрыта заглушкой 1, приваренной к тарелке клапана. Во время работы двигателя натрий плавится. Переливаясь при встряхивании, жидкий натрий интенсивно переносит тепло от головки к стержню, а от стержня тепло передается втулке 5 клапана. Благодаря этому температура тарелки клапана снижается.

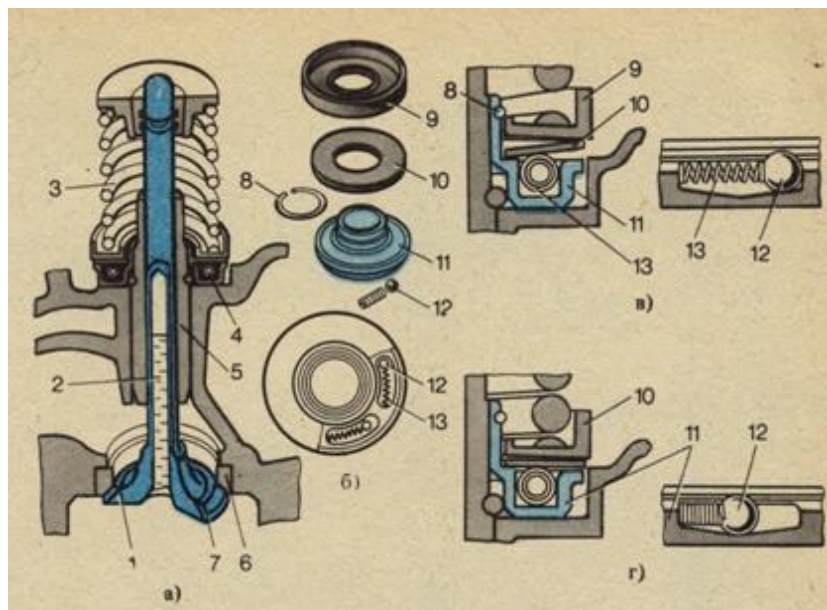


Рис. 2.12. Клапанный механизм автомобильного двигателя: а - выпускной клапан с механизмом вращения в сборе, б - механизм вращения, в - положение механизма при закрытом клапане, г - положение механизма при открытом клапане; 1 - тарелка клапана, 2 - полость, 3 - пружина клапана, 4 - механизм вращения, 5 - втулка клапана, 6 - седло клапана, 7 - рабочая фаска, 8 - замочное кольцо, 9 - упорная шайба, 10 - дисковая пружина, 11 - корпус механизма вращения, 12 - шарик, 13 - возвратная пружина.

Впускные клапаны во время работы двигателя нагреваются меньше, так как при такте впуска они охлаждаются горючей смесью или воздухом. Для уменьшения проникновения (просасывания) масла через зазор между стержнем впускного клапана и его втулкой в цилиндр на стержень клапана некоторых двигателей под опорную шайбу устанавливают маслоотражательный колпачок из маслостойкой резины.

Направляющая втулка 5 обеспечивает направленное движение клапана и посадку его в седло без перекоса. Направляющие втулки изготавливают чугунами или металлокерамическими и запрессовывают в головку цилиндров.

Седла выпускных и впускных клапанов у многих двигателей выполнены вставными кольцами 6, изготовленными из жаростойкого чугуна, запрессованных в головку цилиндров. Это облегчает их восстановление при ремонте.

Пружина 3 создает усилие, необходимое для закрытия клапана и плотной его посадки в седло. Пружины имеют постоянный или переменный шаг витков. Переменный шаг способствует уменьшению резонанса пружины. При сборке конец пружины с меньшим шагом витков должен располагаться у тарелки клапана.

В некоторых двигателях на каждый клапан установлены две пружины, что уменьшает их размеры, повышает надежность и облегчает условия работы.

*Передающие детали* газораспределительного механизма обеспечивают передачу движения от распределительного вала к клапанам. К ним относятся толкатель, штанга, коромысло с регулировочным винтом и ось коромысел со стойками и пружинами.

*Коромысло 5* (рис. 2.13) представляет собой двуплечий рычаг, изготовленный из стали. В средней его части имеется утолщение с отверстием, куда запрессована втулка 11. На одном (длинном) плече коромысло имеет закаленный боек, которым оно давит на клапан, а на другом — резьбовое отверстие; в него ввертывают регулировочный винт 2, с помощью которого устанавливают зазор между клапаном и бойком коромысла, и обеспечивают плотное закрытие клапанов. Коромысло свободно качается на оси 7, которая устанавливается на стойках 8, привернутых к головке блока.

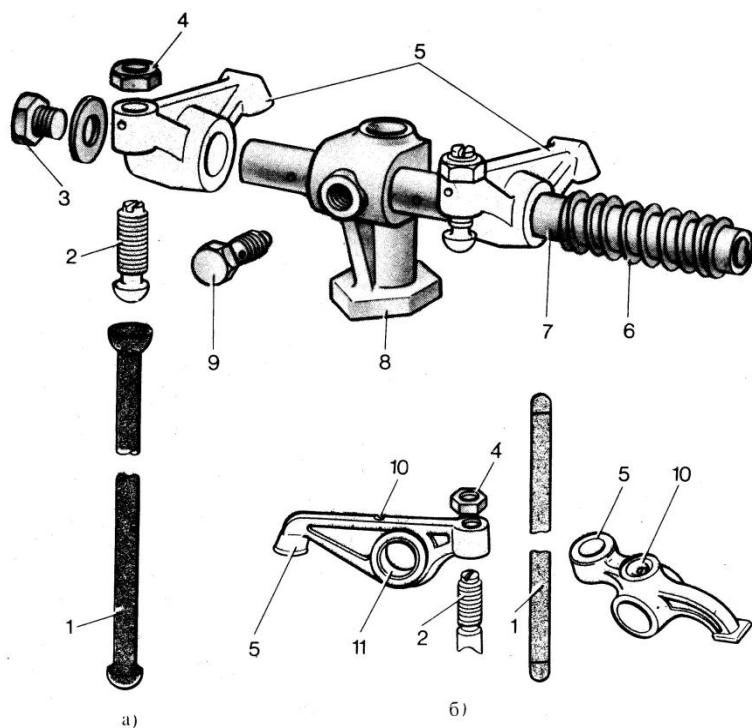


Рис. 2.13. Коромысла и штанги: а - с углублением в наконечнике штанги, б - со сферическим наконечником штанги; 1 - штанга, 2 - регулировочный винт, 3 - заглушка, 4 - контргайка, 5 - коромысло, 6 - пружина, 7 - ось (валик) коромысел, 8 - стойка, 9 - болт - штуцер подвода масла к клапанному механизму, 10 - отверстие для выхода масла, 11 - втулка

Распорные пружины 6 и стопорные кольца удерживают коромысло от осевого смещения. Оси коромысел пустотелые, их внутренняя полость используется как канал для подвода масла к трущимся поверхностям втулок коромысел, регулировочных винтов и штанг. С торцов оси коромысел закрыты заглушками 3.

*Штанга* 1 служит для передачи усилия от толкателя к коромыслу. Штанги изготовлены из цельного стального прутка или пустотелого стального стержня. На концах штанги находятся стальные шлифованные, термически обработанные наконечники. Нижний наконечник имеет шаровую форму. Он опирается на сферическое углубление толкателя. Верхний наконечник может иметь шаровую форму или углубление со сферической поверхностью. На него опирается головка регулировочного винта, ввернутого в коромысло.

*Толкатели* (рис. 2.14) изготавливают из стали. По конструкции они бывают цилиндрическими, грибовидными или качающимися роликовыми. Цилиндрические 4, 6 и грибовидные 2, 7 толкатели (рис. 2.14, а) имеют сферические углубления для установки штанг. Нижняя часть этих толкателей имеет плоскую или сферическую опорную поверхность. Для равномерного износа толкатели при работе двигателя совершают одновременно поступательное и вращательное движение. При плоском днище вращательное движение достигается смещением оси толкателя относительно оси кулачка распределительного вала, а при выпуклом — применением кулачков распределительного вала, имеющего небольшую конусность. Вследствие этого точка касания толкателя смещается относительно его оси.

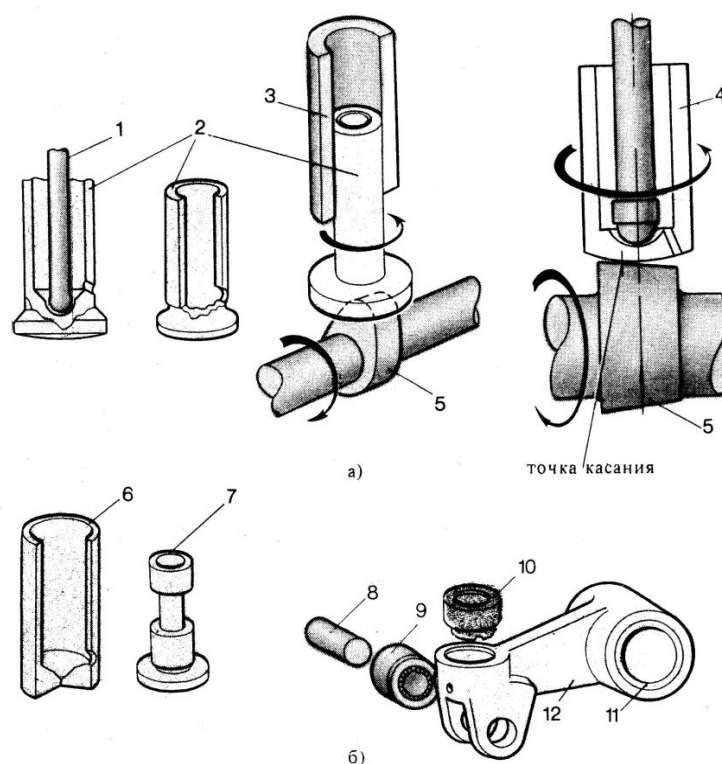


Рис. 2.14. Толкатели: а - традиционные толкатели, б - качающийся толкатель; 1 - штанга, 2 - грибковый толкатель, 3 - втулка толкателя, 4 - толкатель с выпуклым дном, 5 - кулачки распределительного вала, 6 - толкатель в виде стаканчика с плоским дном, 7 - грибовидный толкатель с кольцевой выемкой, 8 - ось ролика, 9 - ролик, 10 - пятя, 11 - втулка, 12 - корпус толкателя

Качающиеся роликовые толкатели (рис. 2.14, б) изготовлены в виде одноплечих рычагов. С одной стороны толкатели имеют утолщения с отверстиями, в которые запрессовывают бронзовые втулки 11. В эти отверстия проходят пустотелые оси, которые прикреплены к блок-картеру опорами. На другом конце толкателя помещен ролик 9, который вращается на игольчатом подшипнике и соприкасается с кулачком распределительного вала. Над роликом в расточку толкателя запрессована пятя 10 со сферическим гнездом, на которую опирается нижний конец штанги.

Распределительный вал 8 (рис. 2.15) служит для своевременного открытия и закрытия клапанов в определенной последовательности. Заодно с валом изготовлены кулачки и опорные шейки. Каждый кулачок воздействует на один клапан — впускной или выпускной. Профиль кулачка выпускных клапанов тупее, поэтому они открываются на большее время, чем впускные. У некоторых автомобильных двигателей заодно с распределительным валом изготовлены эксцентрик 5 привода бензинового насоса и шестерни 13 привода масляного насоса.

При сборке распределительный вал вставляют в отверстие торца картера двигателя, поэтому диаметры опорных шеек 4 последовательно уменьшаются, начиная с передней шейки. Кулачки стальных распределительных валов подвергают закалке токами высокой частоты. Шейки вала вращаются во втулках 9, запрессованных в блоке. Втулки опорных шеек изготовляют из стали, бронзы или из металлокерамики. Внутреннюю поверхность стальных втулок заливают антифрикционным сплавом. Масло к ним подается под давлением из канала блока.

В одной из шеек распределительного вала имеется сверление для подвода масла в канал блока, от которого оно подается к коромыслам. Масло в канал поступает в момент совмещения сверления в шейке с каналом в блоке.

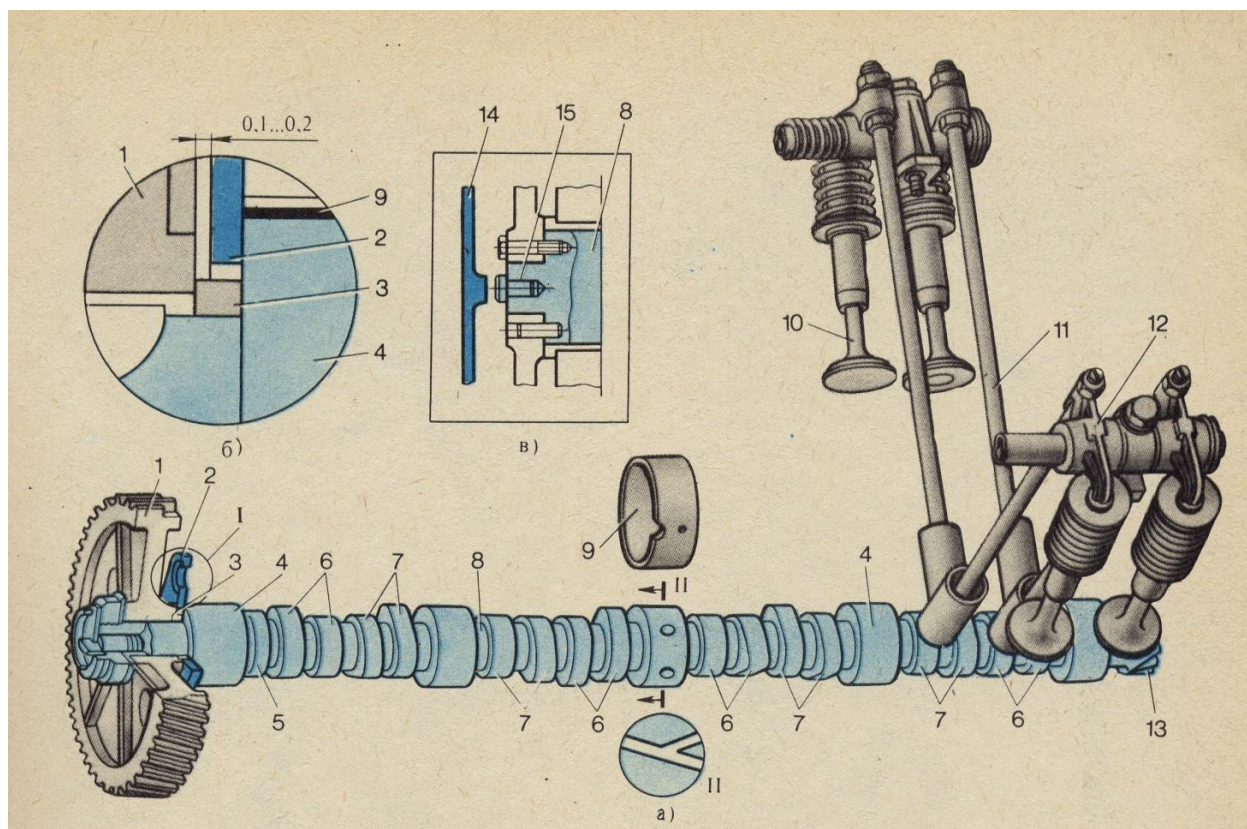


Рис. 2.15. Распределительный механизм V - образного двигателя: а - устройство, б, в - схемы ограничения осевого люфта распределительного вала; 1 - приводная шестерня, 2 - упорный фланец, 3 - распорное кольцо, 4 - опорные шейки, 5 - эксцентрик привода топливного насоса, 6 - кулачки выпускных клапанов, 7 - кулачки впускных клапанов, 8 - распределительный вал, 9 - втулка, 10 - впускной клапан, 11 - штанга, 12 - коромысло, 13 - шестерня привода масляного насоса и прерывателя распределителя, 14 - крышка распределительных шестерен, 15 - подпятник

На переднем конце распределительного вала большинства двигателей установлена приводная шестерня 1. Шестерню распределительного вала изготовляют из стали, чугуна или текстолита. Между шестерней и передней шейкой вала установлены распорное кольцо 3 и ограничивающий осевой разбег вала упорный фланец 2, который привертывается болтами к передней стенке блок - картера. Толщина кольца больше толщины упорного фланца на 0,1 — 0,2 мм. Значение соответствует осевому перемещению распределительного вала.

У некоторых двигателей осевое смещение распределительного вала ограничивается приливом в крышке 14 распределительных шестерен, выполненных против распределительного вала 8 (рис. 2.15).

*Распределительные шестерни* (рис. 2.16) большинства двигателей расположены в передней их части в специальном картере. Они необходимы для передачи вращения от коленчатого вала распределительному валу, валу топливного насоса, масляному насосу и другим механизмам. Шестерни изготовлены из стали. Для уменьшения шума они выполнены косозубыми.

Направление вращения распределительного вала и вала топливного насоса у большинства тракторных двигателей совпадает с направлением вращения коленчатого вала. Поэтому между шестернями этих валов устанавливают промежуточную шестерню 3 (рис. 2.16, а).

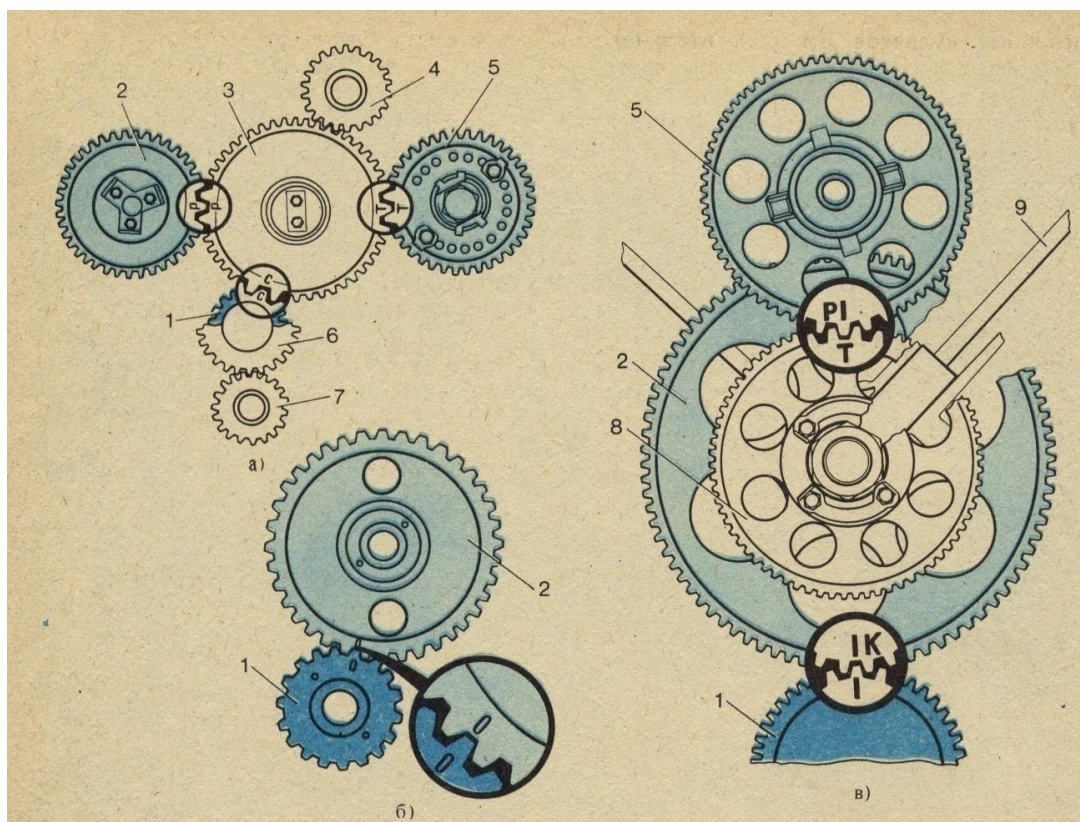


Рис.2.16. Установка распределительных шестерен по меткам: а - при вращении распределительного вала и вала топливного насоса высокого давления в одну сторону с коленчатым валом, б - при вращении в разные стороны коленчатого и распределительного валов, в - при вращении в разные стороны вала топливного насоса высокого давления и распределительного вала; 1 - шестерня коленчатого вала, 2 - шестерня распределительного вала, 3 - промежуточная шестерня, 4 - шестерня привода гидронасоса, 5 - шестерня привода топливного насоса высокого давления, 6 - ведущая шестерня масляного насоса, 7 - ведомая шестерня масляного насоса, 8 - ведущая шестерня привода топливного насоса высокого давления, 9 - штанга

В четырехтактных двигателях за один рабочий цикл впускной и выпускной клапаны каждого цилиндра открываются один раз. За два оборота коленчатого вала распределительный вал должен сделать только один поворот. Следовательно, привод распределительного механизма имеет передаточное отношение 1:2, т. е. диаметр шестерни 1 коленчатого вала (и число зубьев) в два раза меньше, чем шестерни 2 распределительного вала. По этой же причине шестерня 1 меньше в два раза шестерни 5 привода топливного насоса. Для того чтобы действие клапанов и подача топлива соответствовали определенному положению поршня в цилиндре, зубья указанных шестерен при сборке соединяют по меткам. Шестерня 4 привода насоса гидросистемы получает вращение от промежуточной шестерни, а шестерня 7 привода масляного насоса вращается от шестерни коленчатого вала. Эти шестерни устанавливают на двигатель без меток. Если распределительный и коленчатый валы вращаются в разные стороны, то промежуточная шестерня между ними отсутствует (рис.2.16, б). В некоторых двигателях вал топливного насоса и распределительный вал вращаются в противоположные стороны (рис. 2.16, в).

### **3. СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Цель работ изучение принципов действия, схем, конструкции основных элементов.

#### **3.1. СИСТЕМА ПИТАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Двигатель внутреннего сгорания (далее – ДВС) не зря считается сердцем автомобиля. Именно производимый им крутящий момент является первоисточником всех механических и электрических процессов, происходящих в транспортном средстве. Однако мотор не может существовать обособленно от обслуживающих его систем – смазки, питания, охлаждения и выпуска газов. Наиболее значимую роль при функционировании ДВС играет система питания двигателя (или топливная система).

##### **3.1.1. ФУНКЦИИ, УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

Каждый автомобиль характеризуется таким понятием, как «запас хода». Он определяется расстоянием, которое автомобиль способен преодолеть на полном топливном баке без дополнительных заправок. На данный показатель оказывают влияние самые различные факторы: сезонные, погодные и природные условия движения, характер дорожного покрытия, степень загруженности автомобиля, индивидуальные особенности водителя при управлении транспортным средством и т.д.). Однако главенствующую роль в определении «аппетита» автомобиля играет система питания, охлаждения и выпуска газов. Наиболее значимую роль при функционировании ДВС играет система питания двигателя (или топливная система).

Система питания выполняет функции:

- подачи топлива, его очистки и хранения;
- очистки воздуха;
- приготовления специальной горючей смеси;
- подачи смеси в цилиндры ДВС.

Классическая система питания автомобиля состоит из следующих структурных элементов:

- топливного бака, предназначенного для хранения горючего (рис.3.1);
- топливного насоса, выполняющего функции создания давления в системе и принудительной подачи топлива (рис. 3.2);
  - топливопроводов – специальных металлических трубок и резиновых шлангов для транспортировки горючего из топливного бака к ДВС (а излишков топлива в обратном направлении);
  - фильтра (или фильтров) очистки топлива;
  - воздушного фильтра (для очистки воздуха от примесей);
  - устройства приготовления топливно-воздушной смеси.

Система питания имеет достаточно простой принцип работы: под воздействием специального топливного насоса горючее из бака, предварительно пройдя процедуру очистки топливным фильтром, по топливопроводам подается к устройству, предназначенному для приготовления топливно-воздушной смеси. И уже затем смесь подается в цилиндры двигателя.

##### **3.1.2 ВАРИАНТЫ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ**

Основными видами горючего для ДВС являются бензин и дизельное топливо («солярка»). Газ (метан) так же относится к видам современного топлива, но, несмотря на широкую применяемость, пока не получил актуальности.

Вид топлива является одним из критериев классификации систем питания ДВС. В этой связи выделяют силовые агрегаты:

1. бензиновые;

2. дизельные;
3. основанные на газообразном топливе.

Но наиболее признанной среди специалистов является типология систем питания двигателя по способу подачи топлива и приготовления топливно-воздушной смеси. Следуя данному принципу классификации, различаются, во-первых, система питания карбюраторного двигателя, во-вторых, система питания с впрыском топлива (или инжекторного двигателя).



Рис.3.1 Топливный бак



Рис.3.2 Топливный насос

### 3.1.3. КАРБЮРАТОР

Карбюраторная система (рис.3.3) основана на действии технически сложного устройства – карбюратора. Карбюратор – это прибор, осуществляющий приготовление смеси топлива и воздуха в необходимых пропорциях. Несмотря на разнообразие видов, в автомобильной практике наибольшее применение получил поплавковый всасывающий карбюратор, принципиальная схема которого включает:

- поплавковую камеру и поплавков;
- распылитель, диффузор и смесительную камеру;
- воздушную и дроссельную заслонки;
- топливные и воздушные каналы с соответствующими жиклерами.

Подготовка топливно-воздушной смеси в карбюраторе осуществляется по пассивной схеме. Движение поршня в такте впуска (первом такте) создает в цилиндре разреженное пространство, в которое и устремляется воздух, проходя через воздушный фильтр и сквозь карбюратор. Именно здесь и происходит формирование горючей смеси: в смесительной камере, в диффузоре топливо, вырывающееся из распылителя, дробится воздушным потоком и смешивается с ним. Наконец, через впускной коллектор и впускные клапаны горючая смесь подается в конкретный цилиндр двигателя, где в необходимый момент и воспламеняется искрой от свечи зажигания.

Таким образом, система питания карбюраторного двигателя представляет собой преимущественно механический способ приготовления топливно-воздушной смеси.

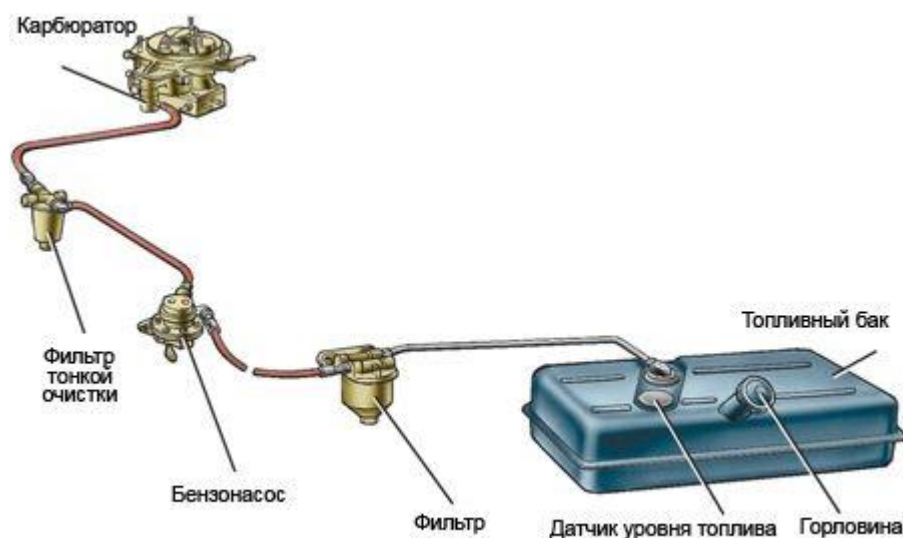


Рис.3.3 Система питания топливом карбюраторного двигателя

### 3.1.4 ВПРЫСК ТОПЛИВА

Эпоха карбюратора сменяется эпохой инжекторного двигателя, система питания которого основана на впрыске топлива. Ее основными элементами являются: электрический топливный насос (расположенный, как правило, в топливном баке), форсунки (или форсунка), блок управления ДВС (так называемые «мозги») (рис3.4).

Принцип работы указанной системы питания сводится к распылению топлива через форсунки под давлением, создаваемым топливным насосом. Качество смеси варьируется в зависимости от режима работы двигателя и контролируется блоком управления.

Важным компонентом такой системы является форсунка. Типология инжекторных двигателей основывается именно на количестве используемых форсунок и места их расположения.

Так, специалисты склонны выделять следующие варианты инжектора:

- с распределенным впрыском;
- с центральным впрыском.



Рис.3.4 Система питания топливом инжекторного двигателя

Система распределенного впрыска предполагает использование форсунок по количеству цилиндров двигателя, где каждый цилиндр обслуживает собственная форсунка, участвующая в подготовке горючей смеси. Система центрального впрыска располагает только одной форсункой на все цилиндры, расположенной в коллекторе.

### 3.1.5. ОСОБЕННОСТИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Как бы особняком стоит принцип действия, на котором основывается система питания дизельного двигателя. Здесь топливо впрыскивается непосредственно в цилиндры в распыленном виде, где и происходит процесс смесеобразования (смешивания с воздухом) с последующим воспламенением от сжатия горючей смеси поршнем (рис.3.5).

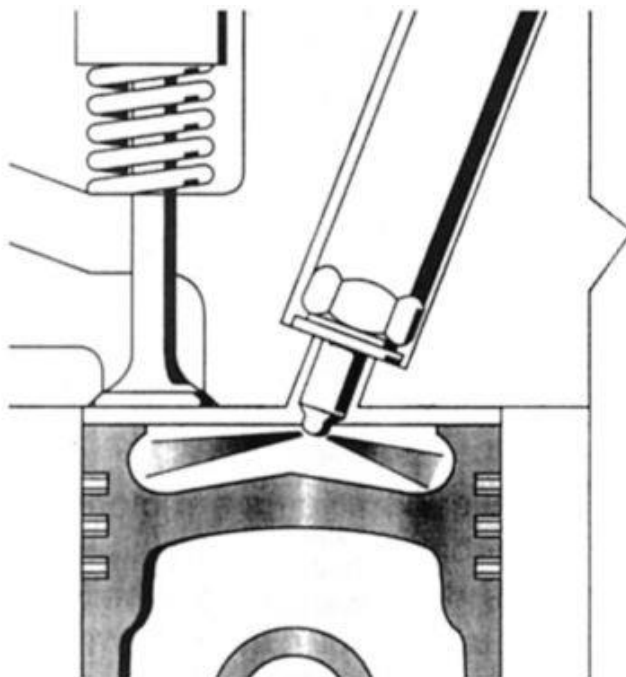


Рис.3.5 Схема непосредственного впрыска топлива

В зависимости от способа впрыска топлива, дизельный силовой агрегат представлен тремя основными вариантами:

- с непосредственным впрыском;
- с вихрекамерным впрыском;
- с предкамерным впрыском.

Вихрекамерный и предкамерный варианты предполагают впрыск топлива в специальную предварительную камеру цилиндра, где оно частично воспламеняется, а затем перемещается в основную камеру или собственно цилиндр. Здесь горючее, смешиваясь с воздухом, окончательно сгорает. Непосредственный же впрыск предполагает доставку топлива сразу же в камеру сгорания с последующим его смешиванием с воздухом и т.д.

Еще одна особенность, которой отличается система питания дизельного двигателя, заключается в принципе возгорания горючей смеси. Это происходит не от свечи зажигания (как у бензинового двигателя), а от давления, создаваемого поршнем цилиндра, то есть путем самовоспламенения. Иными словами, в этом случае нет необходимости применять свечи зажигания.

Однако холодный двигатель не сможет обеспечить должный уровень температуры, требуемый для воспламенения смеси. И использованием свечей накаливания позволит осуществить необходимый подогрев камер сгорания.

### 3.1.6. РЕЖИМЫ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ

В зависимости от целей и дорожных условий водитель может применять различные режимы движения. Им соответствуют и определенные режимы работы системы питания, каждому из которых присуща топливно-воздушная смесь особого качества.

Состав смеси будет богатым при запуске холодного двигателя. При этом потребление воздуха минимально. В таком режиме категорически исключается возможность движения. В противном случае это приведет к повышенному потреблению горючего и износу деталей силового агрегата.

Состав смеси будет обогащенным при использовании режима «холостого хода», который применяется при движении «накатом» или работе заведенного двигателя в прогретом состоянии.

Состав смеси будет обедненным при движении с частичными нагрузками (например, по равнинной дороге со средней скоростью на повышенной передаче).

Состав смеси будет обогащенным в режиме полных нагрузок при движении автомобиля на высокой скорости.

Состав смеси будет обогащенным, приближенным к богатому, при движении в условиях резкого ускорения (например, при обгоне).

Выбор условий работы системы питания, таким образом, должен быть оправдан необходимостью движения в определенном режиме

### **3.2 СМАЗОЧНАЯ СИСТЕМА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Каждый двигатель внутреннего сгорания имеет свои конструктивные особенности. Основное, что их объединяет, все моторы нуждаются в смазке.

В процессе работы силового агрегата, детали, из которых он состоит, взаимодействуют друг с другом. Большое количество поверхностей подвергаются трению и, как следствие, повышенному износу. Если с этим не бороться, вся система двигателя быстро выйдет из строя и приведет его в полную негодность.

С целью снизить негативные последствия трения, конструктивно предусмотрена система смазки ДВС. Основная задача смазки, образовать тонкую пленку из масла между трущимися деталями. Масляная пленка не только смазывает поверхности и обеспечивает скольжение между элементами, она так же отводит от них тепло, очищает от продуктов износа и нагара, уплотняет соединение.

Таким образом, система смазки двигателя автомобиля позволяет силовой установке нормально функционировать и выполнять свое прямое назначение.

#### **3.2.1 СИСТЕМА СМАЗКИ АВТОМОБИЛЕЙ: ВИДЫ**

Систему смазки двигателя условно можно классифицировать по способу подачи масла к смазываемым деталям:

- под давлением;
- самотёком (разбрызгиванием);
- комбинированная.

Подача смазки под давлением, осуществляется при помощи масляного насоса. Масло забирается из картера двигателя и по специальным каналам подводится к трущимся поверхностям. После выполнения своей функции, стекает в картер ДВС. Преимущество такого способа в том, что к определенным поверхностям можно подать ровно столько смазки, сколько им необходимо и четко в промежутке времени, который требуется для нормальной работы детали.

Подача смазки самотеком (разбрызгиванием) происходит под воздействием сил, создаваемых вращающимися деталями мотора. Масло разбивается на мелкие капли, образуя масляный туман. Мельчайшие частички заполняют все свободное внутреннее пространство силовой установки и таким образом, происходит процесс смазывания всех поверхностей.

Эффективность такого метода крайне низкая, основные недостатки: попадание мала на смазываемую поверхность случайным образом, большой перерасход, быстрое окисление.

Комбинированная смазочная система сочетает в себе характеристики обоих предыдущих методов.

Немаловажно в процессе циркуляции масла по двигателю, обеспечить его регулярное охлаждение, которое происходит в картере двс. Это препятствует окислению рабочего продукта и преждевременному старению. По способу охлаждения масла можно выделить:

- открытая вентиляция картера;
- закрытая вентиляция картера.

При использовании открытой системы газы, образованные в картере, через отверстие выходят в атмосферу. Закрытая система направляет газ обратно в цилиндр двигателя для сжигания.

В некоторых конструкциях используется охлаждение масла с помощью радиатора. Сам процесс охлаждения происходит посредством обтекания радиатора воздухом, либо жидкостью.

### **3.2.2 ПРИМЕНЕНИЕ МОКРОГО И СУХОГО КАРТЕРА В КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ СМАЗКИ**

Комбинированная система наиболее популярна при создании автомобилей в современных условиях. Она подразумевает под собой подачу масла под давлением ко всем деталям и механизмам, которые наиболее остро в этом нуждаются, например, подшипники. Давление масла нагнетается при помощи масляного насоса. Все остальные детали смазываются масляной эмульсией.

В комбинированной системе конструктивно может быть применен различный вид картера:

- мокрый картер.
- сухой картер

Под мокрым картером подразумевается постоянное заполнение его маслом. Такой принцип используется на большинстве стандартных автомобилей. Его достоинством является простота и надежность. Однако, имеются и свои недостатки. Например, при попадании топлива в смазку возможно образование масляной пены. Вместе с ней в систему будет попадать большое количество воздуха, тем самым, резко снижая давление и сводя работу системы смазки двигателя до нуля.

Дабы избежать таких неприятностей на некоторых автомобилях, применяется сухой картер. Принцип в том, что масло храниться в отдельном бачке и подается в систему из него. Таким образом, исключается возможность забора воздуха при образовании пены или падении уровня масла.

Преимущество этой системы: обеспечении стабильной работы двигателя при прохождении автомобилем препятствий с большим углом наклона, размеры силовой установки значительно уменьшаются в виду маленького размера картера, расход масла и его количество в двигателе уменьшается.

### **3.2.3 ЭЛЕМЕНТЫ, СИСТЕМЫ СМАЗКИ, ЕЁ УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ**

Основными элементами системы смазки являются (рис.3,6.):

- картер с поддоном;
- насос;
- фильтр;
- радиатор;
- перепускные клапаны;
- магистраль и каналы;
- датчики.

Конструкция системы смазки для разных видов и типов двигателей различна и может существенно отличаться друг от друга наличием, или отсутствием тех или иных компонентов или систем.

- Поддон, это самая нижняя часть двигателя.

Основная его задача хранить и охлаждать смазку. Кроме того, в его конструкции предусмотрены специальные перегородки, которые успокаивают волнение масла при движении автомобиля по неровностям. Крепление поддона к картеру осуществляется болтами, между ними есть уплотнительная прокладка, предупреждающая утечку масла из силовой установки. Для определения необходимого количества масла применяется щуп, на поверхности которого нанесены специальные метки.

Насос, служит для перекачки масла из картера и создания масляного давления в каналах ДВС.

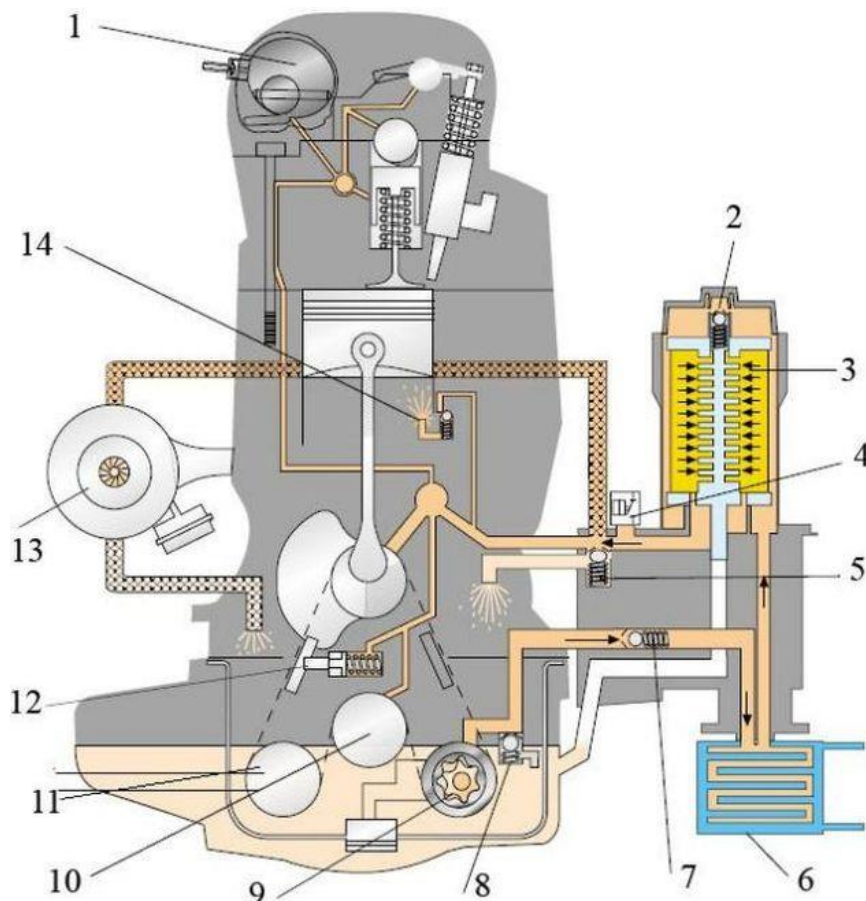


Рис.3.6 Схема смазки двигателя легкового автомобиля

1 – вакуумный насос; 2,5,7,8 – перепускные клапана; 3 – масляный фильтр; 4 – датчик давления; 6 – масляный радиатор; 9 – масляный насос; 10 – балансирный вал; 11 – привод вспомогательных агрегатов; 12 – гидравлический натяжитель цепи; 13 – турбонагнетатель; 14 – форсунка охлаждения поршня

Возможна установка насосов различного типа, зависит от конструкции силовой установки. Наиболее популярны шестеренчатые и роторные насосы. Шестеренчатый насос может быть с внутренним или наружным зацеплением шестерен. Подача масла в шестеренчатом насосе осуществляется с постоянным давлением, тогда как в роторном насосе давление можно менять. Давление масла в канале двигателя в зависимости от его конструкции может быть от 2-16 бар.

Фильтр очищает масло от механических примесей и нагара. Благодаря этому, увеличивается срок службы силовой установки и масла. Кроме того, вбирая в себя мусор,

он упрощает техническое обслуживание системы смазки. При замене масла обязательно надо заменить и фильтр.

Радиатор охлаждает моторное масло.

Применение радиатора обусловлено целевым назначением мотора. Не все двигатели нуждаются в использовании такого прибора. В основном радиаторами оснащаются высоко оборотные, и сильно нагруженные моторы. Радиаторы бывают двух видов, с воздушным или жидкостным охлаждением. Принцип воздушного, обдув потоком воздуха при движении автомобиля. Именно поэтому такие устройства располагают в передней части агрегата, обеспечивая ему достаточное количество воздуха. Жидкостные радиаторы охлаждаются благодаря системе охлаждения двигателя.

Перепускные, редуцирующие клапаны обеспечивают нормальное давление в системе смазки.

Задача клапана, сбросить излишек давления при его увеличении свыше установленной нормы. Для защиты устройств и элементов двигателя устанавливается несколько клапанов в конструкции. Например, в масляном насосе, фильтре и др. При засорении фильтра, дабы не застопорить работу двигателя и системы в целом, перепускной клапан пускает масло в обход ему.

Магистраль и каналы представляют собой отверстия, для циркуляции масла. Они располагаются внутри многих деталей двигателя и составляют систему подачи масла к трущимся элементам. Главная магистраль ведет от насоса к фильтру и имеет большее сечение, так же она подает смазку к подшипникам коленчатого вала.

Датчики замеряют и передают показатели, необходимые для нормальной работы системы.

Основными показателями являются: давление, температура, уровень масла. Наиболее важные показания снимает датчик давления масла. При резком падении давления возможен сбой системы в целом, поэтому показания датчика выводятся на приборную панель.

Датчик давления устанавливается в центральной магистрали. В более современных моторах он передает показания компьютеру, или электронному блоку управления. В случае превышения необходимых показателей электроника полностью останавливает работу системы.

### **3.3 СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

#### **3.3.1. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ**

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) и их составные части подвергаются сильному нагреву во время эксплуатации различных транспортных средств. При этом, как перегрев, так и переохлаждение мотора способны спровоцировать выход его из строя. В связи с этим одной из важнейших задач разработчиков силовых агрегатов является обеспечение оптимального теплового режима их работы. Грамотно организованная система охлаждения двигателя способствует получению наилучших эксплуатационных параметров ДВС, к которым относятся:

- максимальная мощность.
- минимальный расход горючего.
- увеличенный срок эксплуатации.

Влияние температурных параметров на работу мотора один рабочий цикл температура в цилиндрах ДВС изменяется от 80...120 градусов Цельсия во время впуска горючей смеси до 2000...2200 градусов Цельсия в процессе ее сгорания. При этом силовой агрегат достаточно сильно нагревается.

Принято считать, что двигатель нормально функционирует, если интервал изменения температуры в районе блока цилиндров находится в пределах 90 – 110 градусов Цельсия.

Если мотор во время работы охлаждается недостаточно интенсивно, то его детали сильно нагреваются и изменяются в размерах. Значительно уменьшается (из-за выгорания) и объем моторного масла, залитого в картер. В итоге увеличивается трение между взаимодействующими деталями, что приводит к их быстрому износу или даже заклиниванию.

Однако и переохлаждение ДВС отрицательно сказывается на его работе. На стенках цилиндров холодного двигателя происходит конденсация паров топлива, которые, смывая слой смазки, разжижают моторное масло, находящееся в картере.

Для исключения негативных последствий, связанных с нарушением теплового режима, системы охлаждения проектируются так, чтобы исключить перегрев и переохлаждение мотора в процессе эксплуатации.

В результате химические свойства последнего ухудшаются, что способствует:

- увеличенному расходу моторного масла;
- интенсивному износу трущихся поверхностей;
- падению мощности силового агрегата;
- увеличению расхода горючего.

При работе мотора необходимо обеспечить отвод от 25 до 35% выделяемого тепла. Для его эффективного поглощения (отвода) чаще всего используют воду, воздух или специальную жидкость (тосол, антифриз). Материал теплоносителя определяет способ охлаждения силового агрегата.

Различают системы:

- принудительного воздушного охлаждения (рис.3.7)
- жидкостного охлаждения с замкнутым циклом.



Рис. 3.7 Схема системы воздушного охлаждения

### 3.3.2 ЖИДКОСТНАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ

В настоящее время для эффективного охлаждения автомобильных двигателей используют закрытую систему жидкостного охлаждения с замкнутым циклом.

#### Конструкция

В обязательном порядке система содержит расширительный бачок, который служит для компенсации изменения объема жидкости при изменении ее температуры. Кроме того, через него заливают теплоноситель.

Также в состав системы входят:

- водяная рубашка силового агрегата (пространство между двойными стенками блока цилиндров и его головки в местах отвода чрезмерного количества тепла);
- датчик температуры;
- биметаллический или электронный термостат, обеспечивающий оптимальную температуру в системе;
- помпа-насос центробежного типа, обеспечивающий принудительную циркуляцию охлаждающей жидкости в системе;
- вентилятор, с помощью которого усиливается поток встречного воздуха на основной радиатор системы;
- радиатор, осуществляющий передачу тепла окружающей среде;
- радиатор отопителя, предназначенный для передачи тепла непосредственно в салон автомобиля;
- контрольный прибор, встроенный в панель приборов автомобиля.

#### **Принцип действия**

Охлаждающая жидкость заливается в систему через расширительный бачок. Постоянно циркулируя внутри системы, она отводит тепло от составных частей мотора, нагревающихся в процессе работы, нагревается, попадает в радиатор, охлаждается в радиаторе встречным потоком воздуха и возвращается обратно.

При необходимости включается вентилятор, усиливая эффективность охлаждения. Для замкнутых систем охлаждения температура теплоносителя не должна превышать 126 градусов Цельсия. Таким образом, обеспечивается оптимальный тепловой режим работы силового агрегата.

#### **Дополнительные функции**

Кроме своей главной задачи – отвода тепла от нагревающихся элементов, жидкостная система охлаждения двигателя обеспечивает так же прогрев силового агрегата в холодное время года.

В современных системах жидкостного охлаждения предусмотрено два контура, по которым может циркулировать охлаждающая жидкость. Это сделано для того, чтобы в момент пуска холодного двигателя, когда его детали и сама жидкость имеют низкую температуру, циркуляция теплоносителя осуществлялась по малому кругу (мимо радиатора). Обеспечивается это термостатом, который в момент, когда температура поднимется до определенного уровня (70-80 градусов Цельсия), открывается, давая возможность теплоносителю циркулировать по большому кругу (через радиатор). Таким образом, осуществляется ускоренный процесс прогрева двигателя.

В холодное время года с помощью горячего теплоносителя происходит нагревание воздуха в салоне автомобиля. Для этого служит дополнительный радиатор, установленный в салоне и оснащенный собственным вентилятором. С их помощью тепло, отобранное от горячей жидкости, распространяется по всему объему салона.

Специально для двигателей, оснащенных турбонагнетателями, предусмотрены двухконтурные системы, в которых один контур обеспечивает охлаждение жидкости, а второй – охлаждение воздуха. Кроме того, контур охлаждения теплоносителя также представляет собой двухконтурную систему, один контур которой охлаждает головку блока цилиндров, а другой – сам блок.

Это вызвано тем, что в турбированном моторе температура головки блока цилиндров должна быть ниже температуры самого блока на 15...20 градусов Цельсия. Особенностью такой системы охлаждения является то, что каждый контур контролируется собственным термостатом.

#### **Достоинства и недостатки**

Жидкостная система охлаждения двигателя присутствует практически у всех современных автомобилей. Принципиально отличаясь от систем воздушного охлаждения, она гарантирует:

- равномерное и быстрое прогревание силового агрегата;
- эффективный отвод тепла в любых условиях эксплуатации двигателя;
- снижение затрат мощности;
- стабильный тепловой режим работы мотора;
- возможность использования выделяемого тепла для нагревания воздуха в салоне и пр.

Среди немногочисленных недостатков жидкостной системы охлаждения можно отметить:

- необходимость регулярного обслуживания и сложность ремонта;
- повышенную чувствительность к изменениям температуры.

### **Неисправности и способы их устранения**

Всем системам жидкостного охлаждения свойственны характерные неисправности.

Чаще всего встречаются:

- заклинивание термостата в закрытом положении (циркуляция жидкости осуществляется по малому кругу);
- поломка помпы;
- повреждение выпускного клапана, встроенного в пробку расширительного бачка;
- утечка теплоносителя вследствие разгерметизации системы (повреждение уплотнителей, коррозия и пр.).

Кроме того, достаточно часто термостат заклинивает в положении «Открыто» (теплоноситель циркулирует по большому кругу), что увеличивает время прогрева холодного мотора и способствует нестабильности теплового режима при его дальнейшей работе.

Все эти неисправности характеризуются значительным повышением рабочей температуры силового агрегата, что может привести к закипанию теплоносителя и перегреву мотора.

Устраняются все дефекты путем замены неисправных и/или поврежденных деталей или комплектующих.

### **3.3.3. ВОЗДУШНАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ**

Моторами воздушного охлаждения оснащались транспортные средства в 50-70 годах прошлого века. Типичными представителями таких автомобилей являются «Запорожец» или FIAT 500. Сейчас моторы с воздушным охлаждением в автомобилестроении практически не встречаются.

#### **Конструкция и принцип действия**

Конструктивно система принудительного воздушного охлаждения монтируется в подкапотном пространстве транспортного средства и состоит из:

- отсасывающего или нагнетающего вентилятора;
- направляющих ребер рубашки охлаждения двигателя;
- органов управления (дрессельные заслонки, управляющие подачей воздуха или муфта, регулирующая частоту вращения вентилятора в автоматическом режиме);
- температурного датчика, установленного в силовом агрегате;
- контрольного прибора, выведенного на приборную панель в салоне автомобиля.

Охлаждение мотора осуществляется встречным холодным воздухом. Для усиления его потока чаще всего используют вентилятор нагнетающего типа. Он усиливает поток холодного плотного воздуха и обеспечивает его подачу в больших количествах при малых энергетических затратах.

Отсасывающий вентилятор требует больших затрат мощности, однако обеспечивает более равномерный отвод тепла от деталей силового агрегата.

#### **Достоинства и недостатки**

Моторы с принудительным воздушным охлаждением отличаются:

- простотой конструкции;

- низкими требованиями к изменению температуры окружающей среды;
- небольшим весом;
- несложным техническим обслуживанием.

К недостаткам системы воздушного охлаждения относят:

- большую потерю мощности мотора, которая расходуется на обеспечение работы вентилятора;
- высокий уровень шума во время работы вентилятора;
- недостаточное охлаждение отдельных элементов двигателя из-за неравномерного обдува;
- невозможность использования излишков тепла для обогрева салона.

### 3.4 СИСТЕМЫ ГАЗООБМЕНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

#### Устройство выхлопной системы автомобиля

Выхлопная система автомобиля (система отвода выхлопных газов) - это, что уже и так понятно из названия, система выпуска отработавших газов. Выхлопная система (рис.3.8.), вопреки частым мнениям, очень важная система автомобиля. В ее функции входит:

- снижение токсичности отработавших газов (положительно влияет на экологию);
- подавление шума (снижает уровень шума);
- вывод горячих, токсичных газов за корму автомобиля (предотвращает попадания токсичных газов в салон).



Рис.3.8 Выхлопная система легкового автомобиля

Помимо этого выхлопная система создает необходимое сопротивление выхлопных газов, что влияет на эксплуатационные характеристики автомобиля. Также системы удаления выхлопных газов, особенно спортивные выхлопные системы, играют немаловажную роль во внешнем виде автомобиля, а также в звуке, создавая приятный тембр.

#### Устройство и принцип действия выпускной системы

Выпускная система двигателя состоит из следующих компонентов:

- выпускной коллектор («штаны»);
- виброизолирующая муфта («сильфон», устанавливается не на всех двигателях);
- каталитический нейтрализатор (только с двигателя экологического класса «Euro-2» и выше);
- сажевый фильтр (только в дизельных двигателях);
- резонатор (пламегаситель или предварительный глушитель)
- выхлопная труба (часто — вместе с наконечником выхлопной трубы).

Также в выпускной системе современных автомобилей (обычно перед входом в каталитический нейтрализатор) устанавливается кислородный датчик (лямбда-зонд), с помощью которого система управления двигателем измеряет количество остаточного кислорода в выхлопных газах и корректирует состав топливно-воздушной смеси, приводя его к оптимуму для данного режима работы мотора.

Принцип работы выпускной системы сводится к следующему. Выхлопные газы при открытии выпускного клапана с силой вырываются в выпускной коллектор, где они выполняют полезную работу благодаря образующимся стоячим волнам выравнивают давление при открытии клапана, и в целом улучшают режим работы двигателя. Потом выхлопные газы поступают сначала в каталитический нейтрализатор (он снижает концентрацию угарного газа, оксидов азота и несгоревших углеводородов), затем в резонатор, где происходит падение скорости выхлопных газов, гасятся пульсации и снижается шум. Из резонатора газы попадают в основной глушитель (именно здесь происходит основное подавление шума), а затем, уже ослабленные, в виде потока малой скорости выпускаются в атмосферу через выхлопную трубу (рис.3.9).

При прохождении выхлопных газов через выпускную систему они теряют свою скорость, а интенсивность порождаемых ими звуковых волн снижается, что и приводит к понижению шумности.



Рис.3.9 Устройство выхлопной системы

1. турбонагнетатель; 2-кислородный датчик перед нейтрализатором; 3- каталитический нейтрализатор; 4-кислородный датчик за нейтрализатором; 5- выпускная труба с виброизолирующей муфтой; 6-выпускная труба; 7- предварительный глушитель; 8-основной глушитель; 9-подвеска выпускной системы.

#### **Компоненты выпускной системы**

На первый взгляд может показаться, что выпускная система двигателя — это просто набор труб и баков разной емкости, которые отводят выхлопные газы. На самом деле все несколько сложнее, и каждый компонент этой системы очень далек от простой трубы.

**Выпускной коллектор.** Это система труб, которые подключаются непосредственно к головке цилиндров (по одной трубе к одному цилиндру), собирают выхлопные газы и отводят их к катализатору и глушителю. Интересно, что каждая труба коллектора имеет определенную длину и сечение, что позволяет добиться образования стоячих волн при различных оборотах двигателя. Это необходимо для эффективной продувки цилиндров и обеспечения оптимального режима работы двигателя в различных режимах. Так что выпускной коллектор — это важная деталь, которая оказывает некоторое влияние на мощность и стабильность работы двигателя. Коллектор работает в экстремальных условиях, поэтому изготавливается из жаропрочных сплавов.

**Виброизолирующая муфта.** Муфта служит для развязки выпускного коллектора, который жестко соединен с двигателем, и остальных деталей выпускной системы. Обычно муфта выполнена в виде гибкого металлического шланга, который гасит воспринимаемые от коллектора вибрации.

**Каталитический нейтрализатор.** Каталитический конвертер-катализатор предназначен для повышения экологической безопасности выхлопных газов, что достигается нейтрализацией наиболее опасных газов: оксидов азота, угарного газа и несгоревших в камере сгорания углеводородов. Причем оксиды азота восстанавливаются,

а образовавшийся свободный кислород служит для дожигания углеводородов и угарного газа. Обычно нейтрализатор выполнен в виде относительно небольшого модуля, в котором расположен керамический блок с катализаторами.

Каталитической нейтрализатор дизельного двигателя с мочевиной. В дизелях описанный выше нейтрализатор работает хуже, так как температура выхлопных газов в них ниже, что замедляет реакции восстановления оксидов азота. Поэтому в дизельных двигателях широкое распространение получили нейтрализаторы, дополненные системой впрыска в выхлопные газы мочевины (водного раствора аммиака), которая помогает удалить из выхлопа опасные соединения азота.

Сажевый фильтр. Также используется только в дизельных двигателях. Служит для очистки газов от сажи, очень часто конструктивно объединен с каталитическим нейтрализатором.

Резонатор. Это емкость особой формы, в которой происходит первоначальное снижение шума вследствие снижения скорости и пульсаций выхлопных газов. В резонаторе происходит отражение волн выхлопа и образование стоячих волн, отсюда и возникло название этого компонента.

Основной глушитель. Именно здесь происходит основное снижение шума выхлопных газов. Обычно это емкость с определенным образом расположенными перегородками и трубами, образующими лабиринт большой длины. Проходя через этот лабиринт, выхлопные газы разбиваются на множество потоков, звуковая энергия гасится и переходит в тепло, а пульсации давления поглощаются. В результате на выходе глушителя выхлопные газы имеют меньшую скорость и создают гораздо меньше шума.

Нужно отметить, что выпускная система несколько снижает мощность двигателя, так как выхлопные газы испытывают сопротивление на пути к атмосфере, и на преодоление этого пути затрачивается некоторая энергия. Но без глушителя современный автомобиль уже просто невозможно представить, поэтому с некоторыми недостатками приходится мириться.

### **Выпускная система двигателя и экология**

Выхлопные газы обладают высокой степенью токсичности, они представляют опасность для окружающей среды и, в частности, для человека. Все дело в тех веществах, которые образуются при сгорании топлива и выбрасываются в атмосферу. Для человека наиболее опасны оксиды азота, угарный газ, а также многие углеводороды, являющиеся канцерогенами. Для окружающей среды наиболее опасны вещества, оказывающие губительный эффект на животных и растения, а также участвующие в образовании смога.

При появлении первых автомобилей вопрос об их экологической безопасности не вставал, но люди отмечали, что машины портят воздух своими выхлопными газами. Остро этот вопрос встал во второй половине прошлого века, а в начале 90-х годов в Европе приняли пакет законов, направленных на контроль экологической безопасности и снижение выбросов отработанных газов.

В 1992 году в Европе начал действовать экологический стандарт «Евро-1», а в 1995 году — «Евро-2», и именно с введением «Евро-2» для всех новых бензиновых двигателей стало обязательным наличие каталитического нейтрализатора в выпускной системе. В дизельных двигателях нейтрализатора оказалось недостаточно, поэтому с вступлением в силу стандарта «Евро-4» (2005 год) в дизелях стало обязательным наличие сажевого фильтра.

Каждый новый стандарт «Евро» заменял собой предыдущие стандарты, и значительно ужесточал требования по экологической безопасности. Уже сейчас многие нормы стандартов «Евро-1» — «Евро-3» считаются не просто устаревшими, а просто-напросто запрещены, так как по сегодняшним меркам они слишком опасны для природы и человека. Сегодня речь идет уже о стандарте «Евро-6» (вступит в силу в 2015 году), и по нему выхлоп бензинового двигателя должен содержать в 2,5 раза меньше оксидов азота и

угарного газа, чем мотор стандарта «Евро-3». А содержание взвешенных частиц (сажи) дизельных двигателей стандарта «Евро-6» должно быть в десять раз меньше, чем по стандарту «Евро-3».

Погоня за экологической безопасностью — это, безусловно, хорошо, но она имеет и обратную сторону. Главная проблема экологичных двигателей в том, что они менее мощные, чем их неэкологичные собратья — дело здесь и в составе топлива, и в режиме сгорания топливно-воздушной смеси, и в необходимости пропускать выхлопные газы через катализаторы и фильтры. Но с этой потерей мощности и усложнением конструкции мотора приходится мириться, потому что окружающая среда нуждается в защите.

### **Система впуска двигателя внутреннего сгорания**

В процессе развития двигателя внутреннего сгорания появилась впускная система. Система впуска современного двигателя необходима для подвода воздуха к цилиндрам и образования там рабочей смеси.

Впускная система состоит из: воздухозаборника, воздушного фильтра, дроссельной заслонки, впускного коллектора. Ещё в системе присутствуют: соединительные патрубки и на некоторых двигателях — впускные заслонки (рис.3.10).

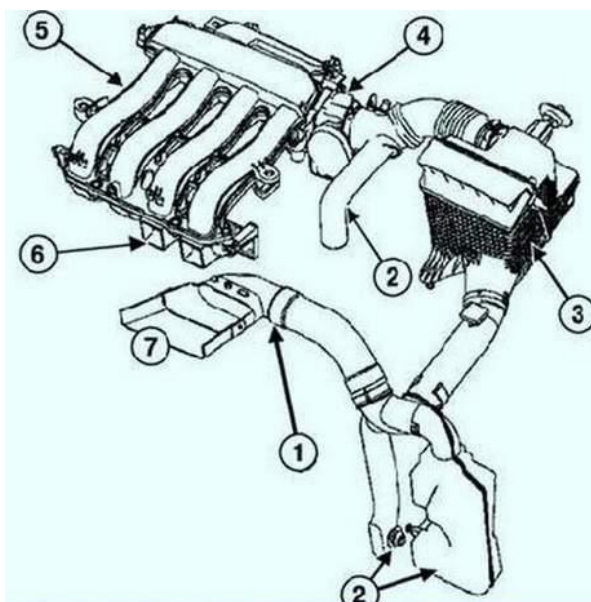


Рис.3.10 Устройство впускной системы на примере двигателя К4М:

- 1 — воздухозаборный патрубок; 2 — глушители шума впуска; 3 — корпус воздушного фильтра; 4 — блок дроссельной заслонки; 5 — впускной коллектор; 6 — подкладка корпусов форсунок; 7 — забор воздуха.

Воздухозаборник — нужен для забора воздуха и подачи его к двигателю. Процесс забора происходит благодаря давлению, которое создается потоком встречного воздуха или благодаря разрежению, которое создается движением поршней в цилиндрах. Воздушный фильтр выполняет роль очистителя поступающего воздуха от всяческих частиц. Сам элемент фильтра изготавливается из спецбумаги и имеет определенный срок службы. Воздушные фильтры могут иметь разную конструкцию — бывают цилиндрические, панельные, бескаркасные.

Дроссельная заслонка увеличивает или уменьшает подачу воздуха, в зависимости от величины поступающего топлива. Приводится в действие педалью газа, а на современных моторах работает с помощью электродвигателя. Впускные заслонки имеют место быть на движках с непосредственным впрыском топлива. Они крепятся на одном валу, который приводится в движение электрическим или вакуумным приводом.

Впускной коллектор выполняет роль распределителя воздуха по цилиндрам двигателя.

### Как работает система впуска

Система работает по причине разного давления между атмосферным и давлением в цилиндрах двигателя, которое возникает на такте впуска. Объем цилиндра и поступающего воздуха пропорционален. Дроссельная заслонка регулирует величину воздуха, необходимую для конкретного режима работы мотора (рис.3.11).

На двигателях, где установлены впускные заслонки, может быть несколько видов смесеобразования — это послойное, стехиометрическое гомогенное и бедное гомогенное.

Смесеобразование послойное — дроссельная заслонка в основном полностью открыта, а заслонки впускные закрыты. Рабочая смесь на этом режиме бедная, она применяется при работе двигателя на средних и малых оборотах и при нагрузках.

Стехиометрическое гомогенное смесеобразование — заслонки впускные открыты, а дроссельная заслонка открыта от требуемого крутящего момента. Это смесеобразование применяется при больших нагрузках и высоких оборотах двигателя. Смесеобразование бедное гомогенное — заслонки впускные закрыты, дроссельная заслонка открыта, а режим работы двигателя, так называемый промежуточный.

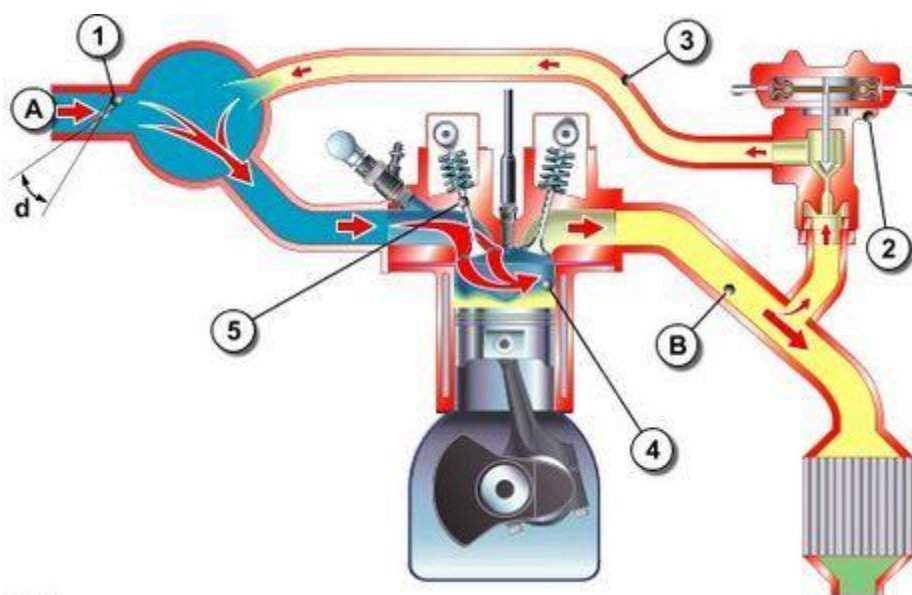


Рис. 3.11 Схема работы системы впуска

А — поток воздуха; В — поток отработавших газов; 1 — дроссельная заслонка (только на бензиновых двигателях); 2 — клапан рециркуляции отработавших газов; 3 — поступающие по системе рециркуляции отработавшие газы; 4 — воздух или топливо-воздушная смесь; 5 — впускной клапан.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Круглов Г.А. Теплотехника (электронный ресурс): учебное пособие/Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова – Санкт-Петербург: Лань, 2012 – 208 с. – режим доступа: <http://lanbook.com/book/3900>
2. Колчин А.И., Демидов В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учебное пособие для студентов ВУЗов – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2002. – 496 с. – 20 экз.
3. Баширов, Р.М. Автотракторные двигатели: конструкция, основы теории и расчета [Электронный ресурс] : учеб. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 336 с. <https://e.lanbook.com/book/96242>.
4. Двигатели внутреннего сгорания: Учебник для ВУЗов в 3<sup>х</sup> кн./под ред. В.Н. Луканина. Кн.1: Теория рабочего процесса – 3-е изд., перераб. и испр. – М.: Высшая школа, 2007 – 497 с. – 20 экз.
5. Хорош, А.И. Дизельные двигатели транспортных и технологических машин [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.И. Хорош, И.А. Хорош. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2012. — 704 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/4231>.