

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Уральский государственный лесотехнический университет»  
(УГЛТУ)

А. А. Волков  
О. С. Гасилова  
О. А. Пыталева

# **КОНСТРУКЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Учебное пособие

Екатеринбург  
УГЛТУ  
2025

УДК 629.02(075.8)

ББК 39.3я73

В67

## Рецензенты:

кафедра «Логистика и управление транспортными системами» ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г. И. Носова», зав. кафедрой, канд. техн. наук  
*О. В. Фридрихсон*;

*А. Г. Васильев*, канд. техн. наук, исполнительный директор Северного автовокзала г. Екатеринбург

## **Волков, Андрей Андреевич.**

В67 Конструкция транспортных средств : учебное пособие / А. А. Волков, О. С. Гасилова, О. А. Пыталева ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. – 131 с.

ISBN 978-5-94984-947-7

В учебном пособии собран учебный материал по конструкции транспортных средств. Рассматриваются принцип работы, назначение, а также типы двигателей. Приводятся в систематизированном виде основные классификации энергосиловых установок (двигателей), а также подробно изложены принципы работы двух- и четырехтактных поршневых двигателей внутреннего сгорания. В достаточном объеме изложена принципиальная конструкция транспортного средства и представлены различные варианты реализации передачи крутящего момента от энергосиловой установки к ведущим колесам.

Предназначено для обучающихся, осваивающих образовательные программы по направлениям УГСН 23.00.00.

Издается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

УДК 629.02(075.8)

ББК 39.3я73

ISBN 978-5-94984-947-7

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

ВВЕДЕНИЕ .....	5
Глава 1. ДВИГАТЕЛИ .....	6
1.1. Общее устройство и классификация двигателей .....	6
1.2. Общая конструкция двигателей внутреннего сгорания .....	8
1.3. Классификация и параметры поршневых ДВС .....	16
1.4. Рабочие процессы и циклы двигателя .....	19
1.5. Рабочий цикл четырехтактного карбюраторного двигателя..	19
1.6. Рабочий цикл четырехтактного дизельного двигателя .....	21
1.7. Рабочий цикл двухтактного карбюраторного двигателя .....	22
1.8. Рабочий цикл двухтактного дизельного двигателя .....	23
1.9. Сравнение четырех- и двухтактных карбюраторных и дизельных ДВС .....	25
1.10. Мощностные и экономические показатели двигателя .....	26
1.11. Характеристики двигателя .....	39
Глава 2. ПОРШНЕВОЙ ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	47
2.1. Кривошипно-шатунный механизм .....	47
2.2. Газораспределительный механизм .....	57
2.3. Система охлаждения двигателя .....	67
2.4. Смазочная система .....	76
2.5. Система питания бензиновых, газовых и дизельных двигателей .....	79
Глава 3. ТРАНСМИССИЯ .....	90
3.1. Виды трансмиссий .....	90
3.2. Бесступенчатые трансмиссии. Электрическая и электромеханическая трансмиссии .....	93
3.3. Ступенчатые трансмиссии .....	98
Глава 4. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ .....	102
4.1. Рулевое управление .....	102
4.2. Тормозная система .....	105
Глава 5. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ .....	112
Практическая работа 1. Двигатель. Кривошипно-шатунный и газораспределительный механизмы .....	112
Практическая работа 2. Двигатель. Система смазки, охлаждения и питания дизельного двигателя .....	113
Практическая работа 3. Двигатель. Системы зажигания и питания карбюраторных двигателей .....	114

Практическая работа 4. Трансмиссия. Сцепление, коробка передач, карданная передача .....	115
Практическая работа 5. Главная передача, ведущий и управляемый мосты, подвеска автомобилей .....	117
Практическая работа 6. Рулевое и тормозное управление .....	118
Лабораторная работа 1. Подвижной состав автомобильного транспорта. Общее устройство автомобиля .....	119
Лабораторная работа 2. Устройство автомобильных двигателей внутреннего сгорания .....	120
Лабораторная работа 3. Системы питания автомобильных двигателей .....	121
Лабораторная работа 4. Электрооборудование транспортных средств .....	122
Лабораторная работа 5. Трансмиссия транспортных средств	124
Лабораторная работа 6. Ходовая часть .....	126
Лабораторная работа 7. Рулевое управление .....	127
Лабораторная работа 8. Тормозные системы транспортных средств .....	128
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	130

## ВВЕДЕНИЕ

---

Автомобильный транспорт имеет важное народно-хозяйственное значение. Он используется в промышленности, сельском хозяйстве; строительстве, торговле, осуществляет массовые пассажирские перевозки в городах, крупных населенных пунктах. На долю автомобильного транспорта приходится существенная часть грузооборота и более половины пассажирских перевозок. Он тесно взаимодействует с железнодорожным, водным и воздушным транспортом, являясь важной составной частью транспортной системы страны.

Слово «автомобиль» происходит от греческого слова «аетос» – сам и латинского «мобилис» – подвижный. Мысль о самодвижущейся повозке (автомобиле), предназначенной для перевозки грузов и людей по сухопутным безрельсовым дорогам, с давних времен занимала ученых и народных умельцев.

На сегодняшний день автомобильный транспорт является самым распространенным видом транспорта. Общая протяженность автомобильных дорог в России превышает 1,5 млн км. Активное развитие и использование автомобильный транспорт получил после Второй мировой войны, в результате чего стал составлять конкуренцию железнодорожному транспорту. В 2023 году автомобильным транспортом было перевезено 6,23 млрд тонн грузов, его грузооборот в том же году составил 383,3 млрд тонно-километров. Преимущества автомобильного транспорта – маневренность, гибкость, скорость. Современные грузовые автомобили способны перевозить практически все виды грузов на расстояние до 5 и более тыс. км, а автопоезда успешно конкурируют с железной дорогой при перевозке ценных грузов, для которых критична скорость доставки, например, скоропортящихся продуктов.

## Глава 1. ДВИГАТЕЛИ

---

### 1.1. Общее устройство и классификация двигателей

Двигатель – это устройство, преобразующее какой-либо вид энергии (тепло выделяемое при сгорании топлива) в механическую работу.

Двигатели можно разделить на два типа в зависимости от места сгорания топлива:

- двигатели внешнего сгорания (паровые машины, паровые турбины, двигатели Стирлинга);

- двигатели внутреннего сгорания (поршневые, комбинированные, газовые турбины, реактивные двигатели).

В силу своих особенностей наибольшее распространение получили двигатели внутреннего сгорания.

Рассмотрим схемы двигателей внутреннего сгорания. Схема реактивного двигателя и принцип его действия представлен на рис. 1.1. В реактивных двигателях (жидкостных) жидкое топливо и окислитель из баков 1 и 2 тем или иным способом (например, насосами 3) подаются под давлением в камеру сгорания 4. Продукты сгорания расширяются в сопле 5 и вытекают в окружающую среду с большой скоростью. Истечение газов из сопла является причиной возникновения реактивной тяги двигателя [1].

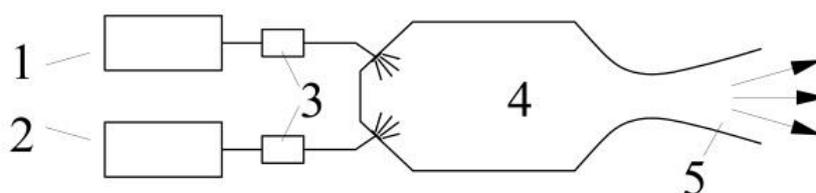


Рис. 1.1. Схема реактивного двигателя

Использование реактивных двигателей имеет свои преимущества и недостатки. Преимущества: реактивная тяга почти не зависит от скорости движения установки, и ее мощность увеличивается с ростом скорости подачи воздуха в двигатель, т. е. с повышением скоростного режима движения транспортных средств. Недостатки: низкая экономичность, относительно короткий срок службы, особенно элементов сопла [1].

Схема газовой турбины, представлена на рис. 1.2, где сжигание топлива происходит в специальной камере сгорания. Топливо в нее подается насосом 1 через форсунку 2. Воздух, необходимый для горения, нагнетается в камеру сжигания 3 компрессором 9. Насос и компрессор установлены на одну валу 8 с рабочим колесом турбины 7. Вал 8 газовой турбины вращается в подшипниках 10. Продукты сгорания через направляющий аппарат 4 поступают в газовую турбину. Газовая турбина, имеющая рабочие органы в виде лопаток специального профиля, расположенных на диске и образующих вместе с последним вращающееся колесо, может работать с высокой частотой вращения. Применение в турбине нескольких последовательно расположенных рядов лопаток (многоступенчатые турбины) позволяет более полно использовать энергию горячих газов [1–3].

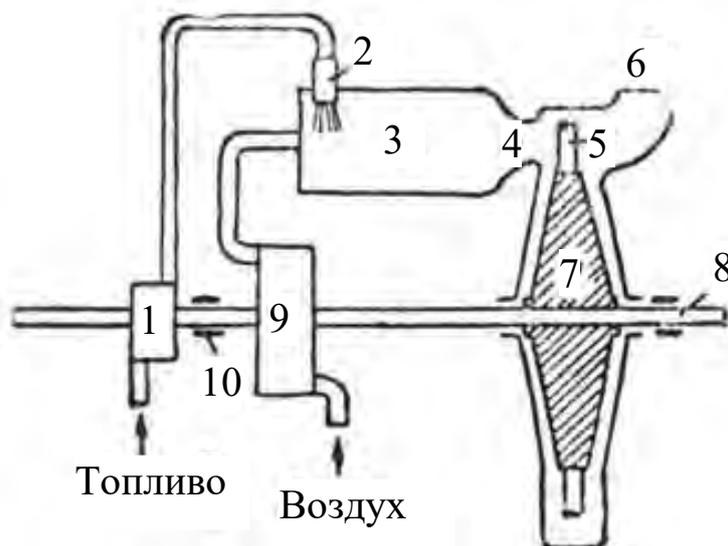


Рис. 1.2. Схема газовой турбины

В свою очередь, реактивные двигатели имеют ряд недостатков: по экономичности уступают поршневым двигателям; наблюдается большая теплонапряженность лопаток рабочего колеса из-за непрерывной работы в среде газов с высокой температурой.

Комбинированные двигатели представляют собой совмещение поршневых и газовых турбин (двигатели с наддувом – в основном дизели) [1].

На абсолютном большинстве современных транспортных средств установлены поршневые двигатели внутреннего сгорания.

## 1.2. Общая конструкция двигателей внутреннего сгорания

Поршневой двигатель внутреннего сгорания состоит из следующих механизмов и систем:

1. Кривошипно-шатунный механизм (КШМ) воспринимает давление газов и преобразует прямолинейное возвратно-поступательное движение поршня во вращательное движение коленчатого вала.

2. Газораспределительный механизм (ГРМ) предназначен для впуска в цилиндр горючей смеси (карбюратор) или воздуха (дизели) и выпуска отработавших газов.

3. Система питания служит для передачи отдельно топлива и воздуха в цилиндры дизельного двигателя или для приготовления горючей смеси из мелкораспыленного топлива и воздуха и для подвода смеси к цилиндрам карбюраторных двигателей.

4. Система охлаждения обеспечивает рабочий температурный режим двигателя, при котором он не перегревается.

5. Система зажигания обеспечивает воспламенение рабочей смеси в карбюраторных двигателях (в дизельных двигателях она отсутствует).

6. Система смазки необходима для того, чтобы уменьшить трение между деталями, снизить их износ и отводить тепло от трущихся поверхностей.

7. Система пуска служит для пуска двигателя [1].

В одноцилиндровом четырехтактном двигателе коленчатый вал вращается неравномерно. В многоцилиндровом двигателе вращение вала происходит более равномерно, так как рабочие ходы в различных цилиндрах не совпадают друг с другом. Поэтому чем больше цилиндров имеет двигатель, тем равномернее вращается коленчатый вал. Нагрузка на детали КШМ в многоцилиндровом двигателе изменяется более плавно, чем в одноцилиндровом.

Цилиндры двигателя могут располагаться в соответствии с рис. 1.3.

- вертикально в один ряд (рядное расположение);
- горизонтально в один ряд;
- однорядно с наклоном от вертикали;
- двухрядно V-образно;
- оппозитно [3].

На отечественных автомобилях устанавливают 4-цилиндровые (легковые автомобили), 6-цилиндровые (ЯМЗ-236 на МАЗ-500, 335, 504), 8-цилиндровые (ГАЗ-53, ЗИЛ-130, КамАЗ-5320(740)) двигатели.

Многоцилиндровые двигатели обычно делают V-образные с расположением цилиндров под углом  $60^\circ$ ,  $75^\circ$  или  $90^\circ$ .

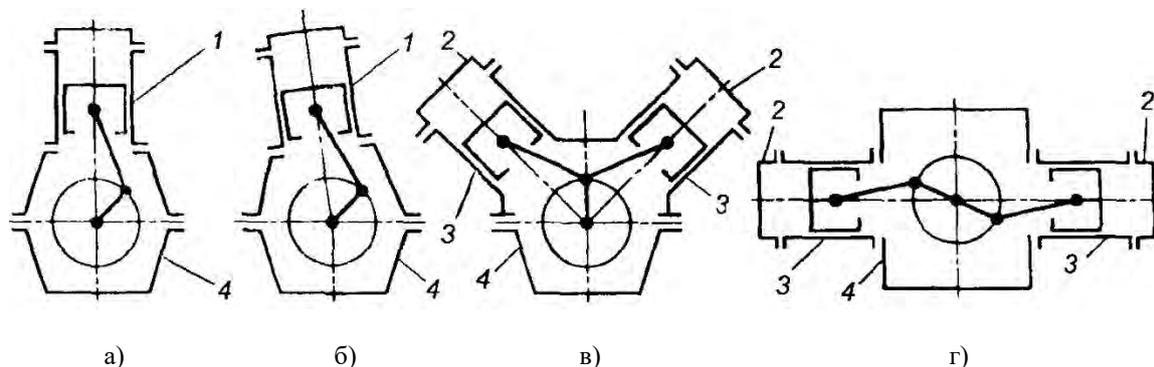


Рис. 1.3. Варианты расположения цилиндров двигателя:  
 а) однорядного; б) однорядного с наклоном от вертикали;  
 в) V – образного; г) с противоположно лежащими цилиндрами;  
 1 – цилиндр; 2 – головка цилиндров; 3 – блок-картер; 4 – поддон [1]

При двухрядном V-образном расположении цилиндров двигатель имеет большую жесткость конструкции, меньшие размеры и массу, чем однорядный такой же мощности. Жесткий коленчатый вал (вследствие уменьшения его длины) допускает работу без гасителя крутильных колебаний и позволяет форсировать двигатель по степени сжатия. К недостаткам V-образных двигателей относится значительная их ширина и более сложная конструкция [3].

## Однорядные двигатели

*Четырехцилиндровый двигатель.* Равномерная работа многоцилиндрового двигателя получается в том случае, когда чередование рабочих ходов в его цилиндрах происходит через равные углы поворота коленчатого вала. Рабочий цикл в четырехтактном одноцилиндровом двигателе совершается за 2 оборота коленчатого вала, т. е. за поворот коленчатого вала на  $720^\circ$ .

Для определения величины угла, через который будут повторяться одноименные такты (например, такты сжатия) в цилиндрах, необходимо  $720^\circ$  разделить на число цилиндров двигателя. Так, у четырехцилиндрового двигателя такт сжатия будет совершаться через  $720 : 4 = 180^\circ$  поворота коленчатого вала. За каждые 2 оборота коленчатого вала у четырехтактного четырехцилиндрового двигателя происходит 4 такта сжатия, расширения и т. д., т. е. рабочий цикл повторяется четыре раза [1].

Чередование одноименных тактов происходит через  $180^\circ$  поворота коленчатого вала, поэтому и шатунные шейки вала должны быть расположены под углом  $180^\circ$  одна к другой, т. е. лежать в одной плоскости. На рис. 1.4 видно, что шатунные шейки первого и четвертого цилиндров направлены в одну сторону относительно оси коленчатого вала, а шатунные шейки второго и третьего цилиндров в противоположную сторону. Такая форма коленчатого вала обеспечивает равномерное чередование рабочих ходов в цилиндрах и удовлетворительную уравновешенность двигателя, так как все поршни одновременно приходят в крайние положения (два вверх и два вниз). При таком расположении колен одновременно поршни 1-го и 4-го цилиндров опускаются вниз, а 2-го и 3-го поднимаются вверх. При движении поршня вверх в цилиндре происходит сжатие или выпуск, а при движении вниз – впуск, или рабочий ход.

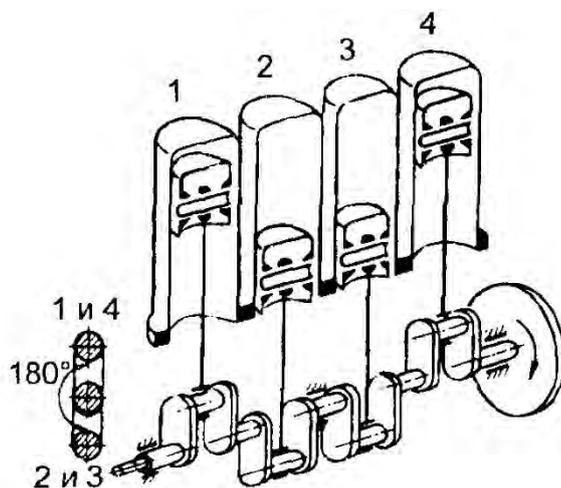


Рис. 1.4. Коленчатый вал рядного четырехцилиндрового двигателя

Последовательность чередования одноименных тактов в различных цилиндрах двигателя (за рабочий цикл) называется порядком работы двигателя. Порядок работы четырехцилиндровых, четырехтактных двигателей может быть 1-3-4-2 или 1-2-4-3. При выборе порядка работы двигателя стараются как можно равномернее распределить нагрузку на шатунные и коренные шейки коленчатого вала.

Максимальная нагрузка на шейки коленчатого вала возникает в те моменты, когда в цилиндрах совершаются такты расширения (рабочий ход).

Последовательность чередования рабочих ходов в цилиндрах рядного четырехцилиндрового двигателя представлен в табл. 1.1: *первый цилиндр* – рабочий ход за 1-ю половину оборота коленчатого вала

( $0^{\circ}$ – $180^{\circ}$ ), третий цилиндр –  $180^{\circ}$ – $360^{\circ}$ , четвертый цилиндр –  $360^{\circ}$ – $540^{\circ}$ , второй цилиндр –  $540^{\circ}$ – $720^{\circ}$  (порядок работы 1-3-4-2).

Таблица 1.1

Чередование тактов в однорядном четырехтактном четырехцилиндровом ДВС с порядком работы 1-3-4-2 [1]

Поворот коленвала	Угол поворота	Цилиндры			
		1	2	3	4
Первый	$0$ – $180^{\circ}$	Рабочий ход	Выпуск	Сжатие	Впуск
	$180$ – $360^{\circ}$	Выпуск	Впуск	Рабочий ход	Сжатие
Второй	$360$ – $540^{\circ}$	Впуск	Сжатие	Выпуск	Рабочий ход
	$540$ – $720^{\circ}$	Сжатие	Рабочий ход	Впуск	Выпуск

Рассмотренный порядок чередования рабочих ходов в цилиндрах двигателя может быть изменен. Для этого при том же расположении колен коленчатого вала необходимо изменить последовательность открытия и закрытия клапанов, что зависит от конструкции механизма газораспределения и последовательности зажигания смеси в цилиндрах двигателя.

В табл. 1.2 приведено чередование тактов в однорядном 4-тактном 4-цилиндровом двигателе с порядком работы 1-2-4-3.

Таблица 1.2

Чередование тактов в однорядном четырехтактном четырехцилиндровом ДВС с порядком работы 1-3-4-2 [1]

Поворот коленвала	Угол поворота	Цилиндры			
		1	2	3	4
Первый	$0$ – $180^{\circ}$	Рабочий ход	Сжатие	Выпуск	Впуск
	$180$ – $360^{\circ}$	Выпуск	Рабочий ход	Впуск	Сжатие
Второй	$360$ – $540^{\circ}$	Впуск	Выпуск	Сжатие	Рабочий ход
	$540$ – $720^{\circ}$	Сжатие	Впуск	Рабочий ход	Выпуск

Порядок работы 1-3-4-2 у двигателей, установленных на отечественных автомобилях «Москва-2140», «Жигули». Порядок работы 1-2-4-3 – автомобили УАЗ, ГАЗ-24.

## Шестицилиндровый двигатель

Одноименные такты у однорядного четырехтактного шестицилиндрового двигателя совершаются через поворот коленчатого вала на

угол  $720^\circ : 6 = 120^\circ$ . На рис. 1.5 видно, что колена коленчатого вала расположены попарно в трех плоскостях под углом  $120^\circ$ . Если смотреть на коленчатый вал с переднего торца, то 1-е и 6-е колена направлены вверх, 2-е и 5-е – влево вниз, 3-е и 4-е – вправо вниз.

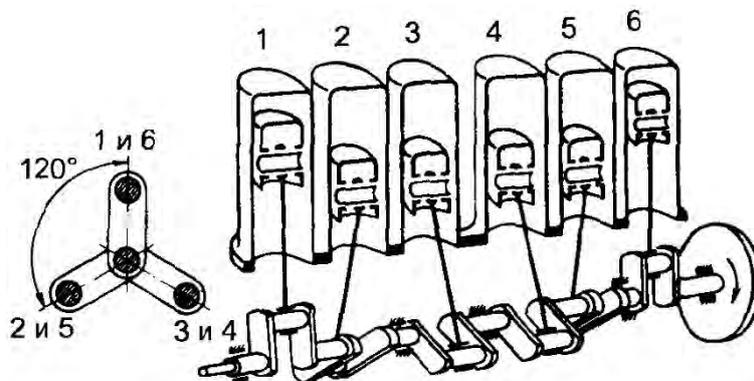


Рис. 1.5. Коленчатый вал рядного четырехцилиндрового двигателя

Шестицилиндровый двигатель имеет порядок работы 1-5-3-6-2-4, чередование соответствующих тактов приведено в табл. 1.3. В течение поворота на угол  $60^\circ$  рабочий ход в одном цилиндре перекрывается рабочим ходом в другом цилиндре и коленчатый вал вращается равномерно (примером может служить двигатель, установленный на ГАЗ-52, BMW 5-й серии). При вращении коленчатого вала шестицилиндрового двигателя поршни только двух цилиндров одновременно приходят в одноименные мертвые точки.

Таблица 1.3

Чередование тактов в однорядном четырехтактном шестицилиндровом ДВС

Поворот коленвала	Угол поворота коленвала	Углы поворота коленвала, град	Цилиндры					
			1	2	3	4	5	6
Первый	0–180°	0–60	Рабочий ход	Выпуск	Впуск	Рабочий ход	Сжатие	Впуск
		60–120						
		120–180		Сжатие	Выпуск	Рабочий ход		
	180–360°	180–240	Выпуск	Впуск	Рабочий ход		Сжатие	
		240–300						Впуск
		300–360		Сжатие	Рабочий ход			

Поворот коленвала	Угол поворота коленвала	Углы поворота коленвала, град	Цилиндры						
			1	2	3	4	5	6	
Второй	360–540°	360–420	Впуск						Рабочий ход
		420–480							
		480–540							
	540–720°	540–600	Сжатие	Рабочий ход	Выпуск	Сжатие		Впуск	Выпуск
		600–660							
		660–720		Выпуск	Впуск	Рабочий ход	Сжатие		

Из данных табл. 1.3 видно, что силы инерции масс, движущихся возвратно-поступательно, в таком двигателе взаимно уравновешены.

### V-образные двигатели

Это второй по популярности в наши дни автомобильный двигатель после рядного четырехцилиндрового двигателя. V-образный шестицилиндровый дизельный двигатель ЯМЗ-236 работает по четырехтактному рабочему циклу. Угол развала между цилиндрами равен  $90^\circ$ . Коленчатый вал имеет колена, расположенные под углом  $120^\circ$  одно к другому. Особенностью этого двигателя является коленчатый вал, имеющий 3 кривошипа, к каждому из которых присоединено по 2 шатуна. На рис. 1.6 показано, что к первому кривошипу присоединены шатуны 1-го и 4-го цилиндров, ко второму – шатуны 2-го и 5-го цилиндров, к третьему – шатуны 3-го и 6-го цилиндров.

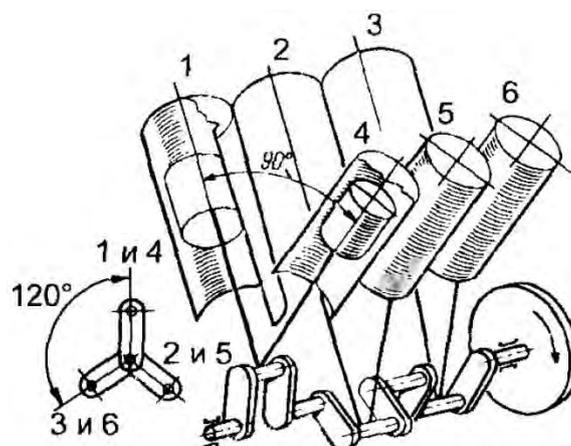


Рис. 1.6. Коленчатый вал V-образного шестицилиндрового двигателя

В табл. 1.4 приведен порядок работы дизельного двигателя ЯМЗ-236 (1-4-2-5-3-6). В этом случае одноименные такты в цилиндрах происходят через неодинаковые интервалы: 90° и 150°.

Таблица 1.4

Чередование тактов в V-образном четырехтактном  
шестицилиндровом ДВС

Поворот коленвала	Углы поворота, град	Цилиндры					
		1	2	3	4	5	6
Первый	0–30	<b>Рабочий ход</b>	Впуск	Выпуск	Сжатие	Впуск	<b>Рабочий ход</b>
	30–60						Выпуск
	60–90		Сжатие				
	90–120			Впуск			
	120–150						
	150–180	Выпуск	Сжатие	Впуск	Сжатие	Впуск	
	180–210						<b>Рабочий ход</b>
	210–240		Выпуск				
	240–270			Сжатие			
	270–300						
	300–330	Впуск	Сжатие	Выпуск	Впуск	Сжатие	
330–360							
Второй	360–390	Впуск	Впуск	Сжатие	Выпуск	Впуск	<b>Рабочий ход</b>
	390–420						Выпуск
	420–450		Сжатие				
	450–480			Впуск			
	480–510						
	510–540	Сжатие	Впуск	Впуск	Сжатие	Впуск	
	540–570						<b>Рабочий ход</b>
	570–600		Выпуск				
	600–630			Впуск			
	630–660						
	660–690	Впуск	Сжатие	Выпуск	Впуск	<b>Рабочий ход</b>	
690–720							

## Восьмицилиндровый V-образный двигатель

Восьмицилиндровая V-образная конфигурация двигателя часто используется в автомобилях с большим рабочим объемом двигателя. Редкие случаи, когда двигатели V8 обладают рабочим объемом менее трех литров. Максимальный же рабочий объем современных серийных V8 для легковых автомобилей достигает 13 литров.

Цилиндры двигателей автомобилей ГАЗ-53, ЗИЛ-130, КамАЗ-5320 расположены под углом  $90^\circ$  один к другому. Одноименные такты в цилиндрах двигателя начинаются через угол поворота коленчатого вала, равный  $720:8=90^\circ$ . Следовательно, кривошипы коленчатого вала расположены крестообразно под углом  $90^\circ$ . На рис. 1.7 показано, что к первому колену присоединяются шатуны 1-го и 5-го цилиндров, ко второму – 2-го и 6-го, к третьему – 3-го и 7-го, к четвертому – шатуны 4-го и 8-го цилиндров.

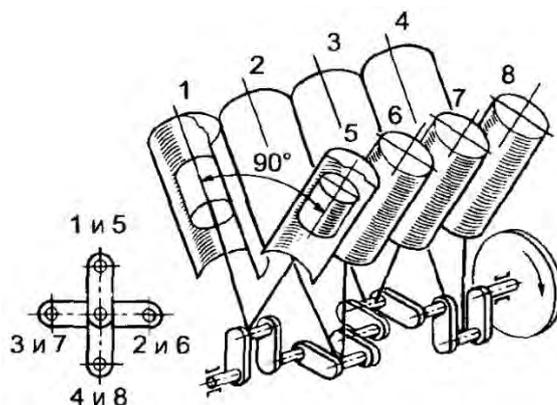


Рис. 1.7. Коленчатый вал V-образного восьмицилиндрового двигателя

В восьмицилиндровом четырехтактном двигателе за два оборота коленчатого вала совершается 8 рабочих ходов. В табл. 1.5 показано, что перекрытие рабочих ходов в различных цилиндрах происходит в течение поворота на угол  $90^\circ$ , это способствует равномерному вращению коленчатого вала.

Таблица 1.5

Чередование тактов в четырехтактном V-образном восьмицилиндровом двигателе с порядком работы 1-5-4-2-6-3-7-8

Обороты коленвала	Углы поворота коленвала, град	Цилиндры							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Первый	0–90	<b>Рабочий ход</b>	Впуск	Выпуск	Сжатие	Сжатие	Впуск	Выпуск	<b>Рабочий ход</b>
	90–180	Сжатие	Впуск	Сжатие	Сжатие	<b>Рабочий ход</b>			Выпуск
	180–270					Выпуск	<b>Рабочий ход</b>	Сжатие	
	270–360	Выпуск	<b>Рабочий ход</b>	Сжатие	Сжатие	Впуск	Впуск		

Обороты коленвала	Углы поворота коленвала, град	Цилиндры							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Второй	360–450	Впуск	Выпуск	<b>Рабочий ход</b>	Выпуск	Впуск	<b>Рабочий ход</b>	Сжатие	Сжатие
	450–540								
	540–630	Сжатие	Впуск	Выпуск	Впуск	Сжатие	Выпуск	Рабочий ход	<b>Рабочий ход</b>
	630–720								

Зная порядок работы цилиндров двигателя, можно правильно распределить провода по свечам зажигания, присоединить провода к форсункам и отрегулировать клапаны.

### 1.3. Классификация и параметры поршневых ДВС

Поршневой двигатель внутреннего сгорания сегодня является самым распространенным тепловым двигателем. Он используется для привода средств наземного, воздушного и водного транспорта, боевой, сельскохозяйственной и строительной техники, электрогенераторов, компрессоров, водяных насосов, помп, моторизованного инструмента (бензорезок (бензоболгарок), газонокосилок, бензопил) и прочих машин как мобильных, так и стационарных, и производится в мире ежегодно в количестве нескольких десятков миллионов изделий.

Мощность поршневых двигателей внутреннего сгорания колеблется в пределах от нескольких ватт (двигатели авиа-, мото- и судомоделей) до 75 000 кВт (судовые двигатели).

Поршневые двигатели внутреннего сгорания классифицируются:

- 1) по назначению – транспортные и стационарные;
- 2) по способу осуществления рабочего цикла – 4- и 2-тактных;
- 3) по способу смесеобразования:
  - с внешним смесеобразователем (карбюраторные и газовые)
  - с внутренним (дизельные, инжекторные);
- 4) по способу воспламенения рабочей смеси:
  - с принудительным воспламенением от электрической искры (карбюраторные с впрыском топлива, газовые и др.);
  - с воспламенением от сжатия, самовоспламенением (дизели);

- 5) по виду применяемого топлива:
  - бензиновые;
  - дизельные (работающие на дизельном топливе (солярка));
  - газовые (работающие на сжатом или сжиженном газе);
  - многотопливные.
- 6) по числу цилиндров – одно- и многоцилиндровые (2,3...);
- 7) по расположению цилиндров:
  - однорядные с вертикальным расположением рядов в один ряд;
  - V, W – образные двух – четырехрядные, с расположением цилиндров под углом;
  - оппозитные, с горизонтальным расположением цилиндров под углом  $180^\circ$  (с противолежащими цилиндрами);
- 8) по охлаждению – с жидкостным или воздушным охлаждением [1–3].

На рис. 1.8 представлена схема поршневого ДВС, который состоит из механизмов и систем, выполняющих соответствующие функции.

При вращении коленчатого вала поршень совершает возвратно-поступательные движения. Одновременно с вращением коленчатого вала вращается распределительный вал, который через промежуточные детали открывает или закрывает впускные и выпускные клапаны.

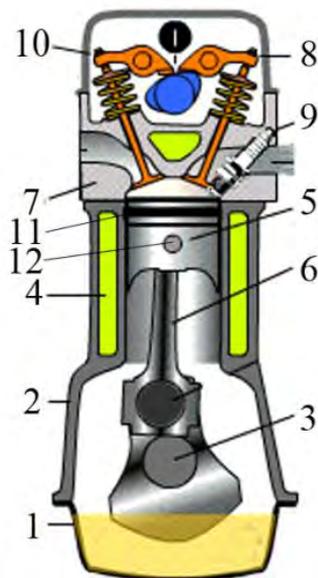


Рис. 1.8. Схема четырехтактного бензинового двигателя:

- 1 – поддон; 2 – картер двигателя; 3 – коленчатый вал; 4 – охлаждающая жидкость; 5 – поршень; 6 – шатун; 7 – головка цилиндра; 8 – впускной клапан; 9 – свеча зажигания; 10 – выпускной клапан; 11 – уплотнительные кольца; 12 – поршневой палец

С работой двигателя связаны следующие параметры, представленные на рис. 1.9.

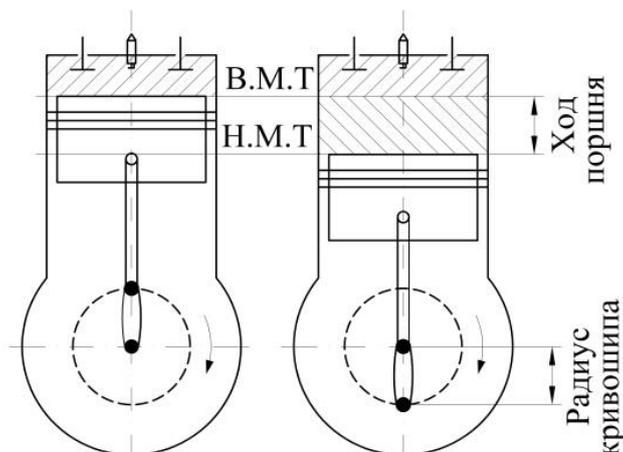


Рис.1.9. Основные параметры поршневого ДВС

*Верхняя мертвая точка (ВМТ)* – крайнее верхнее положение поршня.

*Нижняя мертвая точка (НМТ)* – крайнее нижнее положение поршня.

*Радиус кривошипа* – расстояние от оси вращения коленчатого вала до оси вращения шатуна на коленчатом вале.

*Ход поршня* – расстояние между крайними положениями поршня, равное удвоенному радиусу кривошипа коленчатого вала. Каждому ходу поршня (из одной мертвой точки в другую) соответствует поворот коленчатого вала на угол  $180^\circ$  (пол-оборота).

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

*Объем камеры сгорания* – объем пространства над поршнем, когда он находится в верхней мертвой точке ( $V_c$ ).

*Рабочий объем цилиндра* – объем, освобождающийся поршнем при перемещении его от ВМТ к НМТ ( $V_n$ ).

*Полный объем цилиндра* – объем пространства над поршнем при нахождении его в нижней мертвой точке. Полный объем цилиндра равен сумме рабочего  $V_n$  цилиндра  $V_n$  и  $V_c$  камеры сгорания  $V_c$ :

$$V_a = V_n + V_c .$$

*Литраж двигателя* – для многоцилиндровых двигателей это произведение рабочего объема  $V_n$  на число цилиндров  $i$ :  $V_h = V_n \cdot i$ .

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

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

Степень сжатия показывает, во сколько раз уменьшается полный объем (смеси или воздуха) в цилиндре двигателя при перемещении поршня из нижней мертвой точки в верхнюю мертвую точку. Степень сжатия величина безразмерная [1–3].

## 1.4. Рабочие процессы и циклы двигателя

В связи с возвратно-поступательным движением поршня сгорание топлива в поршневых двигателях возможно лишь последовательными порциями, причем сгоранию каждой порции должен предшествовать ряд подготовительных процессов.

Совокупность процессов, периодически повторяющихся в цилиндре ДВС, с помощью которых тепло, выделившееся при сгорании топлива, превращается в механическую работу, называется *рабочим циклом*.

При работе поршневых ДВС выделяют следующие процессы: наполнение цилиндра свежим зарядом смеси или воздуха; сжатие газов; сгорание топлива и расширение газов; выпуск отработавших газов.

Если рабочий цикл происходит за два оборота коленчатого вала или за четыре хода поршня, то это двигатель *четырёхтактный*. Если рабочий цикл происходит за один поворот коленчатого вала или за два хода поршня, то это двигатель *двухтактный*.

## 1.5. Рабочий цикл четырёхтактного карбюраторного двигателя

Когда поршень опускается вниз, открывается впускной клапан и в цилиндр поступает (в силу разрежения) горючая смесь, приготовленная в карбюраторе. При движении поршня вверх смесь сжимается. При подходе поршня к ВМТ между электродами свечи зажигания подается искра и смесь, сжатая в цилиндре, воспламеняется и сгорает. Вследствие этого образуются газы, имеющие высокую температуру. Под давлением расширяющихся газов поршень опускается вниз

и через шатун приводит во вращение коленчатый вал. Так преобразуется прямолинейное (возвратно-поступательное) движение поршня во вращательное движение коленчатого вала. При движении поршня вверх открывается выпускной клапан и из цилиндра удаляются отработавшие газы.

При рассмотрении цикла условно примем, что каждый такт начинается и заканчивается в одной из мертвых точек.

*Первый такт – впуск.* При вращении коленчатого вала поршень перемещается от ВМТ к НМТ, впускной клапан открыт, в цилиндре образуется разрежение, поступает горючая смесь. Смесь перемешивается с небольшим количеством отработавших газов от предыдущего цикла и образует рабочую смесь. Температура смеси в конце такта впуска 80–120 °С, давление в цилиндре 80–90 кН/м<sup>2</sup> (0,8–0,9 кгс/см<sup>2</sup>).

*Второй такт – сжатие.* Поршень перемещается от НМТ к ВМТ. Оба клапана закрыты, рабочая смесь сжимается, повышается ее температура, благодаря чему улучшается испарение и перемешивание бензина с воздухом. К концу такта сжатия давление в цилиндре 1000–1200 кН/м<sup>2</sup> (10–12 кгс/см<sup>2</sup>), температура смеси достигает 280–480 °С [1].

*Третий такт – расширение или рабочий ход* (сгорание-расширение). Оба клапана закрыты. Поршень находится в верхней мертвой точке. Рабочая смесь в цилиндре воспламеняется электрической искрой и сгорает за 0,001–0,002 с, выделяя при этом большое количество тепла. Температура в конце сгорания 2000–2200 °С, а давление в цилиндре 3000–4000 кН/м<sup>2</sup> (30–40 кгс/см<sup>2</sup>). Под действием силы давления газов поршень перемещается к нижней мертвой точке, вращая через шатун коленчатый вал. В процессе расширения внутренняя энергия преобразуется в механическую работу. В конце расширения газов давление в цилиндре падает до 350–450 кН/м<sup>2</sup> (3,5–4,5 кгс/см<sup>2</sup>), а температура снижается до 300–700 °С.

*Четвертый такт – выпуск.* Поршень перемещается от нижней мертвой точки к верхней мертвой точке, открывается выпускной клапан и цилиндр очищается от отработавших газов. Давление к концу такта выпуска снижается до 105–120 кН/м<sup>2</sup> (1,05–1,2 кгс/см<sup>2</sup>), а температура снижается до 1200–1500 °С.

После окончания такта выпуска рабочий цикл двигателя повторяется в рассмотренной выше последовательности.

На заднем конце коленчатого вала устанавливают тяжелый круглый диск – маховик, который во время рабочего хода накапливает энергию, а затем продолжает вращаться по инерции. При этом вместе

с маховиком вращается и коленчатый вал, который перемещает поршень через шатун в течение остальных (вспомогательных) тактов.

В одноцилиндровом двигателе, работающем очень неравномерно, маховик должен обладать большим моментом инерции. Для обеспечения равномерности вращения коленчатого вала и повышения мощности двигателя изготавливают многоцилиндровыми.

## 1.6. Рабочий цикл четырехтактного дизельного двигателя

Рабочий цикл четырехтактного дизельного двигателя так же, как и рабочий цикл четырехтактного бензинового двигателя, состоит из четырех повторяющихся тактов: впуска, сжатия, рабочего хода и выпуска. Однако рабочий цикл дизельного двигателя отличается от рабочего цикла карбюраторного двигателя. В цилиндр дизельного ДВС поступает чистый воздух, а не горючая смесь. Воздух сжимается с высокой степенью сжатия, вследствие чего значительно повышается его давление и температура. В конце сжатия в раскаленный воздух из форсунки впрыскивается мелко распыленное топливо, воспламеняющееся не от электрической искры, а от соприкосновения с перегретым воздухом. Поэтому дизельные двигатели иногда называют с воспламенением от сжатия.

*Первый такт – наполнение цилиндра воздухом.* При движении поршня от ВМТ к НМТ в цилиндре создается разрежение. Открывается впускной клапан и цилиндр наполняется воздухом, который предварительно проходит через воздухоочиститель. Давление воздуха в цилиндре при такте впуска  $80\text{--}90\text{ кН/м}^2$  ( $0,8\text{--}0,9\text{ кгс/см}^2$ ), а температура –  $50\text{--}80\text{ }^\circ\text{C}$  [1–3].

*Второй такт – сжатие воздуха.* Поршень движется от НМТ до ВМТ, клапаны закрыты. Объем воздуха уменьшается, а его давление и температура увеличиваются. Степень сжатия у дизельных двигателей от 13 до 22. В конце сжатия давление воздуха внутри цилиндра составляет  $4000\text{--}5000\text{ кН/м}^2$  ( $40\text{--}50\text{ кгс/см}^2$ ), а температура  $600\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$ . Для надежной работы дизеля температура сжатого воздуха в цилиндре должна быть больше температуры самовоспламенения дизельного топлива.

*Третий такт – рабочий ход.* Оба клапана закрыты. При положении поршня около ВМТ в нагретый и сжатый воздух из форсунки впрыскиваются мелко распыленное топливо под большим давлением  $13000\text{--}18500\text{ кН/м}^2$  ( $130\text{--}185\text{ кгс/см}^2$ ). Топливо перемешивается с воз-

духом, нагревается и воспламеняется. Часть топлива сгорает при движении поршня к ВМТ, т. е. в конце такта сжатия, а другая часть – при движении поршня вниз в начале такта расширения. Образующиеся при сгорании топлива газы увеличивают внутри цилиндра давление до  $6000\text{--}8000\text{ кН/м}^2$  ( $60\text{--}80\text{ кгс/см}^2$ ) и температуру до  $1800\text{--}2000\text{ }^\circ\text{C}$ . Горячие газы расширяются и давят на поршень, который перемещается от ВМТ к НМТ, совершая рабочий ход.

*Четвертый такт – выпуск.* Поршень перемещается от НМТ к ВМТ и через открытый выпускной клапан вытесняет отработавшие газы из цилиндра. Давление в конце выпуска составляет  $110\text{--}120\text{ кН/м}^2$  ( $1,1\text{--}1,2\text{ кгс/см}^2$ ), а температура  $600\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$ . После выпуска рабочий цикл дизельного двигателя повторяется в той же последовательности [1–3].

## 1.7. Рабочий цикл двухтактного карбюраторного двигателя

В таком двигателе используется золотниковый газораспределительный механизм, и соответственно нет впускного и выпускного клапанов. Вместо них цилиндр имеет окна: впускное 1, соединяющее цилиндр с карбюратором, выпускное 2 и перепускное б, соединяющее цилиндр с герметичным картером 8 при помощи канала 7 (рис. 1.10).

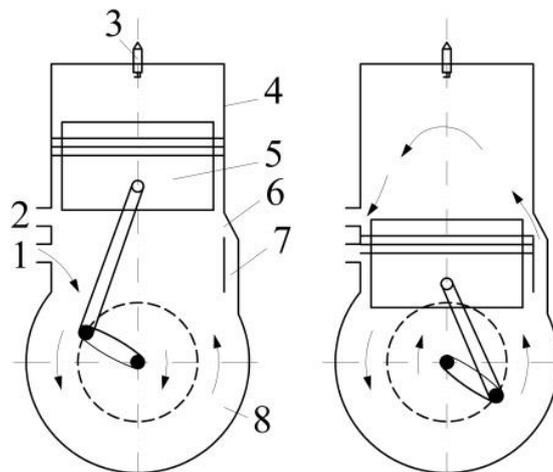


Рис. 1.10. Схема двухтактного бензинового ДВС

Перемещающийся внутри цилиндра поршень в определенной последовательности открывает и закрывает окна, выполняя функции клапанов. В цилиндр двухтактного двигателя с кривошипно-камерной продувкой горячая смесь из карбюратора поступает через картер.

Для подготовки двигателя к работе необходимо сделать два подготовительных хода: первый ход – впуск горючей смеси в картер; второй ход – перепуск горючей смеси из картера в цилиндр.

*Первый такт.* Поршень перемещается снизу вверх и боковой поверхностью сначала закрывает перепускное окно, а затем выпускное. В цилиндре происходит сжатие рабочей смеси, а в картер в результате разрежения из карбюратора поступает горючая смесь. При подходе поршня к ВМТ между электродами свечи подается искра, смесь в цилиндре воспламеняется и сгорает.

*Второй такт.* Образующиеся горячие газы расширяются, давят на поршень, он опускается вниз, совершая рабочий ход. В конце рабочего хода поршень сначала открывает выпускное окно 2, и отработавшие газы выходят из цилиндра. Опускаясь ниже, поршень открывает перепускное окно 6, и горючая смесь по каналу 7 поступает в цилиндр, заполняет его и вытесняет отработавшие газы. Незначительная часть смеси вместе с отработавшими газами выходит в атмосферу.

Для улучшения работы двигателя в цилиндре делают по 2 окна для впуска горючей смеси, выпуска отработавших газов и перепуска смеси. Картер у такого двигателя сухой, т. е. масло в него не наливают, необходимое для смазки двигателя топливо добавляют в пропорции 1:15 или 1:20, перемешивают, а затем масляно-топливную смесь заливают в топливный бак. Горючая смесь, поступающая из карбюратора в картер и затем в цилиндр, состоит из мелко-распыленного топлива, масла и чистого воздуха [1].

## 1.8. Рабочий цикл двухтактного дизельного двигателя

Рассмотрим цикл на примере двигателя ЯАЗ-М204. В данном двигателе применена прямоточная клапанно-щелевая продувка цилиндра от отработавших газов. В головке блока над каждым цилиндром установлено по два выпускных клапана 4. Воздушный компрессор подает воздух в воздушную камеру 7, окружающую весь цилиндр. Давление воздуха в камере достигает  $140\text{--}150 \text{ кН/м}^2$  ( $1,4\text{--}1,5 \text{ кгс/см}^2$ ). Воздух из камеры поступает внутрь цилиндра через окна 2, расположенные под углом по радиусу цилиндра (рис. 1.11).

*Первый такт – продувка и сжатие.* Допустим, в начале первого такта поршень находится в НМТ, при этом выпускные клапаны и окна открыты. Происходит продувка цилиндра воздухом, поступающим из воздушной камеры. Затем поршень начинает подниматься от НМТ до ВМТ. Вначале своего движения поршень боковой поверхностью

закрывает окна 2, вслед за этим закрываются и клапаны. В цилиндре происходит сжатие воздуха, давление к концу сжатия возрастает до  $5000 \text{ кН/м}^2$  ( $50 \text{ кг/см}^2$ ), а температура до  $600\text{--}700 \text{ }^\circ\text{C}$ . Когда поршень находится около ВМТ, сильно нагретый и сжатый воздух из насос-форсунки под большим давлением до  $14000 \text{ кН/м}^2$  ( $140 \text{ кг/см}^2$ ) впрыскивается мелко распыленное топливо. Оно нагревается, воспламеняется и сгорает. Давление в цилиндре составляет  $8000\text{--}10000 \text{ кН/м}^2$  ( $80\text{--}100 \text{ кг/см}^2$ ).

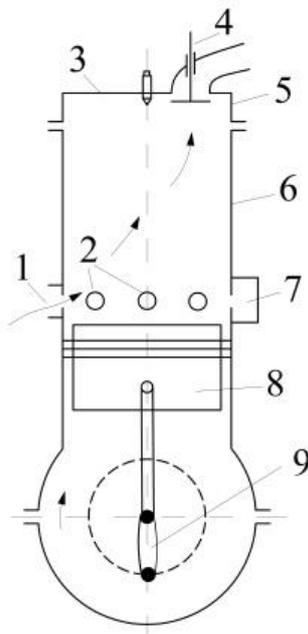


Рис. 1.11. Схема двухтактного дизельного ДВС:

1 – канал от воздушного компрессора; 2 – окна в цилиндре; 3 – насос-форсунка;  
4 – выпускной клапан; 5 – головка блока; 6 – цилиндр; 7 – воздушная камера;  
8 – поршень; 9 – коленчатый вал

*Второй такт – рабочий ход и выпуск.* Такт начинается расширением горячих газов. Они давят на поршень, и он перемещается от ВМТ до НМТ, совершая рабочий ход. При движении поршня вниз увеличивается объем, занимаемый газами, и уменьшается их давление и температура. До прихода поршня в НМТ открываются выпускные клапаны, отработавшие газы выходят из цилиндра. Опускаясь ниже, поршень открывает окна и в цилиндр поступает воздух, который через открытые клапаны вытесняет отработавшие газы из цилиндра в атмосферу. При этом часть воздуха также выходит в атмосферу. Затем цикл повторяется в той же последовательности.

## 1.9. Сравнение четырех- и двухтактных карбюраторных и дизельных ДВС

Наибольшее распространение на транспортных средствах получили четырехтактные двигатели как более совершенные по сравнению с двухтактными. Однако двухтактные двигатели имеют следующие *преимущества*:

- проще по устройству, так как не имеют клапанов и их привода;
- меньше подготовительных ходов, следовательно, вал вращается более равномерно (не на каждый оборот коленчатого вала приходится рабочий ход);

- при одинаковых частотах вращения коленчатого вала и других параметров двухтактные двигатели теоретически должны развивать вдвое большую мощность, чем четырехтактные. Однако мощность возрастает лишь на 60–65 %, так как двухтактные двигатели имеют *недостатки*:

- потеря горючей смеси при продувке цилиндра, что вызывает перерасход топлива и снижает экономичность ДВС;

- плохая очистка цилиндра от отработавших газов, что ухудшает его наполнение горючей смесью.

Поэтому двухтактные двигатели не применяют на транспортных средствах, а используют на мотоциклах, как пусковые двигатели, а раньше на тракторах [1–3].

Дизельные двигатели, по сравнению с бензиновыми двигателями, имеют следующие *преимущества*:

- экономичнее (на 30 % меньше расход топлива на единицу выполненной работы);

- работают на дешевом и менее опасном в пожарном отношении топливе, чем бензин;

- в отработавших газах меньше токсичных веществ;

- дизельное топливо оказывает меньшее коррозионное воздействие на детали двигателя;

- больше крутящий момент и лучше приемистость автомобиля при малой частоте вращения коленчатого вала;

- более надежна работа, так как отсутствует система зажигания.

Однако дизельные двигатели имеют *недостатки*:

- более сложно обеспечить пуск двигателя в зимних условиях;

- при одинаковой мощности дизельные двигатели больше по размерам и массе, так как работают со значительными нагрузками;

- высокая стоимость топливной аппаратуры;

- более шумная и «жесткая» работа двигателя;
- значительное содержание сажи в отработавших газах [1–3].

## 1.10. Мощностные и экономические показатели двигателя

Экономические и мощностные показатели двигателей внутреннего сгорания, работающих по разным циклам, трудно сравнивать в реальных условиях. Действительно, в этих условиях особенность протекания отдельного процесса рабочего цикла или детали конструкции двигателя могут повлиять на конечные результаты сравнения. Поэтому основные показатели разных циклов сравнивают в теоретических условиях, когда каждый цикл осуществляется в наивыгоднейших условиях в воображаемой тепловой машине. Таким образом, каждый цикл ДВС можно рассматривать происходящим в теоретических (в условиях воображаемой тепловой машины) или действительных условиях. В соответствии с этим применяются понятия *теоретический* и *действительный* (рабочий) *цикл*.

*Теоретический цикл* представляет собой замкнутый цикл, в котором для упрощения сложного рабочего цикла отдельные процессы заменены легко поддающимся исследованию элементарными термодинамическими процессами, составляющими термодинамический цикл. В теоретическом цикле отсутствуют какие-либо потери, кроме отдачи теплоты холодному источнику. Цикл протекает с постоянным расходом одного и того же рабочего тела (газа), т. е. не учитываются потери рабочего тела вследствие утечек через неплотности, потери энергии, возникающие при поступлении свежего заряда в двигатель и удалении из него выпускных газов. Принимается, что химический состав рабочего тела остается постоянным в течение всего цикла, т. е. из рассмотрения исключается процесс горения и не учитываются тепловые потери, возникающие при сгорании топлива. Реальный процесс сгорания заменяется термодинамическим процессом подвода теплоты [1].

Ценность теоретических циклов заключается не только в удобствах сравнения различных типов двигателей, но и в определении максимальных экономичности и мощности реальных двигателей, работающих потому же принципу.

*Действительный* (рабочий) *цикл*, осуществляемый в реальном двигателе внутреннего сгорания, представляет собой разомкнутый цикл. Для изучения действительного цикла нужно рассматривать весь комплекс сложных процессов, связанных с превращением

термохимической энергии топлива в механическую работу в реальном двигателе [1].

Все существующие двигатели внутреннего сгорания работают по одному из трех циклов, приближающихся к термодинамическим:

1. Цикл бензиновых и газовых двигателей со сжатием горючей смеси, ее воспламенением от постороннего источника и быстрым сгоранием при нахождении поршня около ВМТ, т. е. со сгоранием при почти постоянном объеме (термодинамический цикл с подводом теплоты  $Q_1$  при постоянном объеме).

2. Цикл компрессорных дизельных двигателей со сжатием воздуха, компрессорным распыливанием топлива, его воспламенением от тепла сжатого воздуха и медленным сгоранием при перемещающемся поршне, то есть при почти постоянном давлении (термодинамический цикл с подводом теплоты  $Q_1$  при постоянном давлении). В них, в отличие от дизельных двигателей, топливо подается вместе с воздухом (как в бензиновых двигателях). Такие двигатели требуют особого состава топлива (обычно в его основе – диэтиловый эфир) и точной регулировки степени сжатия, так как от нее зависит момент воспламенения смеси. Компрессионные двигатели используются главным образом в авиа- и автомобилях.

3. Цикл бескомпрессорных дизельных двигателей со сжатием воздуха, бескомпрессорным распыливанием топлива, его воспламенением и сгоранием при нахождении поршня около ВМТ. В этом цикле часть топлива сгорает при почти постоянном объеме, а оставшаяся часть – при почти постоянном давлении, вследствие чего этот цикл назван смешанным (смешанный термодинамический цикл с подводом части теплоты  $Q'_1$  при постоянном объеме и части теплоты  $Q''_1$  при постоянном давлении).

Каждый из этих трех циклов при осуществлении в реальном двигателе придает ему ряд характерных конструктивных особенностей, при этом особенно резко различаются системы питания этих двигателей.

*Цикл двигателей с сообщением тепла при постоянном объеме*

На рис. 1.12 приведены индикаторные диаграммы действительного  $a$ , теоретического  $b$  циклов (зависимости давления от объема, высвобождаемого поршнем), а также диаграмма зависимости температур рабочего тела от положения поршня  $v$ .

На диаграмме  $a$ : линия впуска  $ra$ , сжатие  $ac$ , сгорание топлива  $cz$ , расширение  $zv$ , выпуск  $vr$ .

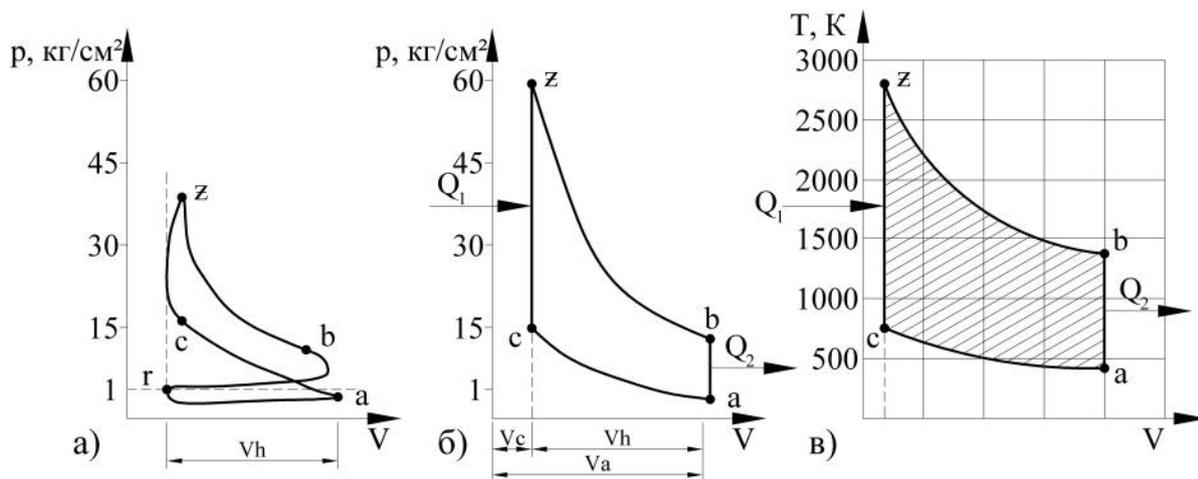


Рис. 1.12. Индикаторные диаграммы действительного (а), теоретического (б) цикла с сообщением тепла при постоянном объеме и диаграмма зависимости температуры рабочего тела от положения поршня (в)

Теоретический цикл с сообщением тепла при постоянном объеме осуществляется следующим образом.

При движении поршня от НМТ (точка *a* на рис. 1.12, б и 1.12, в) газ, заполняющий цилиндр, начинает сжиматься, чтобы довести потери тепла до минимума, стенки цилиндра должны быть абсолютно нетеплопроводимыми, т. е. покрытыми идеальной тепловой изоляцией. В этом случае внешняя механическая работа, затрачиваемая на сжатие, полностью пойдет на увеличение внутренней энергии сжигаемого газа.

В конце сжатия, по приходу поршня в ВМТ происходит не процесс сгорания, как в действительном цикле, а простое сообщение тепла рабочему телу; результатом этого будет повышение температуры и давления при постоянном объеме (*cz*) [1].

В самом начале движения поршня, т. е. в ВМТ (*z*), сообщение тепла прекращается. Газ расширяется, его внутренняя энергия частично превращается во внешнюю механическую работу. В НМТ (т. «*b*») процесс расширения (*z в*) заканчивается.

Для повторения цикла необходимо вернуть газ в начальное состояние (т. «*a*» диаграмм на рис. 1.12). Для этого необходимо охладить газ, заключенный в цилиндр, т. е. отнять тепло  $Q_2$ , представляющее собой определенную долю от ранее введенного тепла  $Q_1$ . Таким образом, даже при осуществлении теоретического цикла часть вводимого тепла теряется и, следовательно, не может быть полного превращения тепла в работу.

Данный цикл характеризуется:

– степенью сжатия  $\varepsilon$  (отношение объема цилиндра к объему камеры сгорания), с ее повышением экономичность и мощность повышаются;

– степенью повышения давления  $\lambda$ , представляющую собой отношение давления  $p_z$  в конце процесса сообщения тепла к давлению  $p_c$  в начале этого процесса [1]:

$$\lambda = \frac{p_z}{p_c}.$$

**Термический КПД.** Экономичность любого теоретического цикла оценивается термическим КПД ( $\eta_t$ ), который представляет собой отношение тепла, превращенного в полезную работу газов,  $AL_t$  к затраченному теплу  $Q_1$ :

$$\eta_t = \frac{AL_t}{Q_1},$$

где  $A$  – термический эквивалент работы.

В теоретическом цикле какие-либо дополнительные тепловые потери отсутствуют, за исключением количества тепла  $Q_2$ . Поэтому в полезную работу превращается разность количества теплоты  $Q_1 - Q_2$ , тогда

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

$$\eta_t = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.$$

Выразив теплоту через температуру и учитывая степень сжатия, получим

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{R-1}}.$$

Согласно уравнению, экономичность цикла возрастает при увеличении степени сжатия и  $R$ -показателя кривой сжатия и расширения.

**Среднее давление цикла.** Работа газов в цилиндре двигателя эквивалентна площади диаграммы цикла. Чтобы сопоставить площади диаграмм различных двигателей, необходимо заменить площадь диаграммы равновеликой площадью прямоугольника, построенного на том же основании  $V_h$ , согласно рис. 1.13.

Высота построенного прямоугольника представляет собой среднее давление  $p_t$  теоретического цикла:

$$p_t = \frac{L_t}{V_h}$$

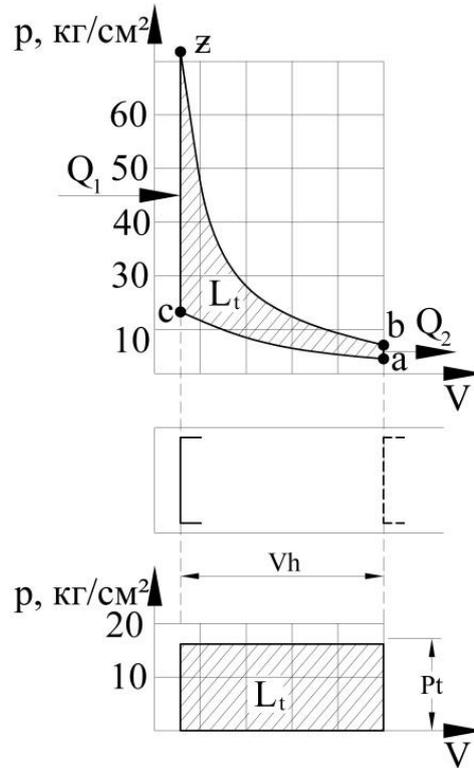


Рис. 1.13. Индикаторная диаграмма теоретического цикла

Для транспортных ДВС повышение среднего давления особенно желательно, так как в этом случае удастся получить заданную мощность при меньшем рабочем объеме двигателя и, следовательно, при меньших его габаритах и весе.

Среднее давление теоретического цикла можно определить на основании ранее приводившейся зависимости, откуда

$$\eta_t = \frac{A \cdot L_t}{Q_1},$$

так как

$$L_t = \frac{Q_1 \cdot \eta_t}{A},$$

то

$$p_t = \frac{L_t}{V_h},$$

$$p_t = \left( \frac{\eta_t}{A} \right) \cdot \left( \frac{Q_1}{V_h} \right).$$

Согласно приведенным уравнениям среднее давление цикла  $p_t$  возрастает с увеличением термического КПД цикла  $\eta_t$  и количества тепла, вводимого на единицу рабочего объема ДВС.

Термический КПД характеризует экономичность, а среднее давление цикла – механическую отдачу цикла. С повышением степени сжатия одновременно увеличиваются термический КПД и среднее давление цикла. Поэтому повышать степень сжатия ДВС особенно желательно.

Для повышения степени сжатия обычно уменьшают объем камеры сгорания. Это ведет к возрастанию температуры и давления в конце сжатия. Несколько повышается максимальная температура цикла ( $z$ ) и максимальное давление цикла. Одновременно снижаются температура и давление в конце процесса расширения, возрастает экономичность цикла.

Повышение степени сжатия ДВС сопряжено с некоторыми трудностями. Это объясняется тем, что при больших степенях сжатия сгорание в двигателе часто приобретает взрывной характер (ухудшается экономичность и мощность), а детали КШМ получают повышенную нагрузку. Взрывное горение (детонационное) можно избежать путем улучшения конструкции камеры сгорания, применения более высокооктановых бензинов и другими способами. На практике для бензиновых двигателей степень сжатия обычно ограничена 11–12.

*Теоретический цикл ДВС с сообщением тепла при постоянном давлении*

На рис. 1.14 приведены индикаторные диаграммы действительного (*a*), теоретического (*б*) циклов (зависимости давления от объема, высвобождаемого поршнем), а также диаграмма зависимости температур рабочего тела от положения поршня (*в*).

В дизели в процессе впуска (*ra*) поступает воздух, температура и давление которого повышаются в процессе сжатия (*ac*). Вследствие применения в дизельных двигателях высоких степеней сжатия (от 14 до 22) давление в конце такта сжатия приближается к 30–40 кг/см<sup>2</sup> и при этом температура воздуха значительно превышает температуру самовоспламенения топлива. Топливо впрыскивается в конце сжатия

(несколько ранее т. «с») через форсунку, мелко распыляется и, соприкасаясь с сильно нагретым воздухом, начинает гореть (*cz*). Ввиду постепенной подачи топлива через форсунку не происходит резкого повышения давления при сгорании, как в цикле с подводом тепла при постоянном объеме, где все топливо перед сгоранием находится в цилиндре. В двигателях, работающих по циклу с сообщением тепла при постоянном давлении, топливо горит постепенно, по мере поступления его в цилиндр, в результате чего процесс сгорания происходит при перемещающемся поршне и почти постоянном давлении [1–3].

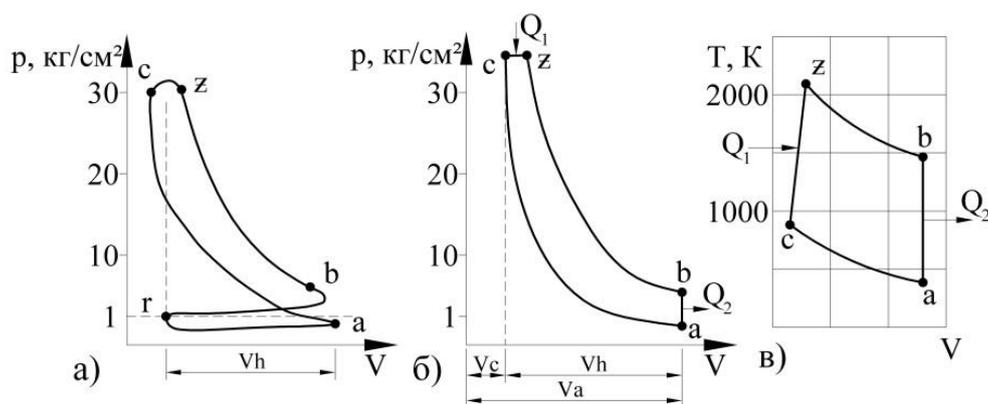


Рис. 1.14. Индикаторные диаграммы действительного (а), теоретического (б) цикла с сообщением тепла при постоянном давлении и диаграмма зависимости температуры рабочего тела от положения поршня (в)

В дальнейшем сгоревшие газы расширяются (*zb*) и при обратном ходе поршня удаляются из цилиндра (*br*). В этих двигателях для обеспечения хорошего распыливания топлива используется сжатый воздух с давлением, равным  $60 \text{ кг/см}^2$ , получаемый в специальных компрессорах, включенных в основную конструктивную схему двигателя.

Насос подает топливо в форсунку, в которую из компрессора подводят сжатый воздух. В нужный момент (около ВМТ) внутреннюю полость форсунки сообщают с цилиндром и туда поступает смесь топлива с распыляющим его воздухом. По этому циклу работают стационарные и судовые компрессорные ДВС с воспламенением от сжатия или компрессорные дизельные двигатели.

Двигатели данного типа в качестве транспортных не используются вследствие громоздкости установки, снабженной компрессором с двумя или тремя ступенями давления. Поэтому этот цикл в данном пособии в дальнейшем рассматриваться не будет [1–2].

*Теоретический цикл ДВС с сообщением тепла при постоянном объеме и постоянном давлении (смешанный цикл)*

Тракторные и автомобильные дизельные двигатели работают по смешанному циклу на дизельном топливе. Для самовоспламенения впрыскиваемого дизельного топлива степень сжатия должна быть больше и равна 14. Индикаторные диаграммы рабочего и теоретического циклов представлены на рис. 1.15, а и б.

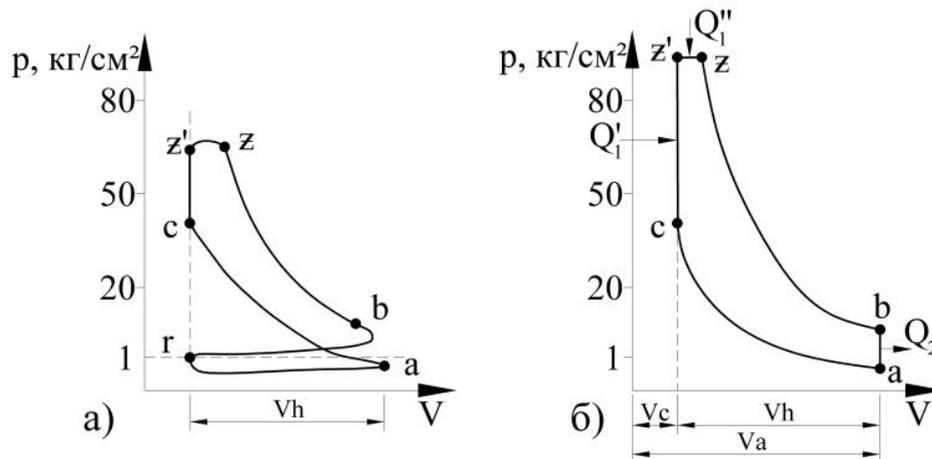


Рис. 1.15. Индикаторные диаграммы действительного (а), теоретического (б) цикла с сообщением тепла при смешанном цикле

На диаграммах ( $ra$ ) – впуск воздуха, ( $ac$ ) – его сжатие. Топливо впрыскивается в конце процесса сжатия и оно сгорает частично по ( $cz'$ ), частично ( $z'z$ ). Количество топлива, сгорающего при постоянных объеме и давлении, в основном определяется углом предварения впрыска, количеством топлива и интенсивностью подачи его в начале и конце впрыска. По окончании сгорания начинается расширение продуктов сгорания ( $zb$ ). При подходе поршня к НМТ открывается выпускной клапан и продукты сгорания выталкиваются из цилиндра двигателя ( $br$ ).

В теоретическом цикле (рис. 1.15, б) кривая ( $ac$ ) диаграммы изображает сжатие рабочего тела, заключенного в цилиндре, ( $cz'$ ) и ( $z'z$ ) – сообщение тепла, ( $zb$ ) – расширение, ( $ba$ ) – отдачу части сообщенного тепла холодному источнику в соответствии со вторым законом термодинамики.

Вследствие частичного сообщения тепла при постоянном объеме максимальные давления смешанного цикла выше, чем в цикле с сообщением тепла только при постоянном давлении.

## Термический КПД

$$\eta_t = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.$$

Работа газов в теоретическом цикле определяется

$$A \cdot L_t = Q_1' + Q_1'' - Q_2.$$

Определив термодинамические значения  $Q_1 = Q_1' + Q_1''$ , и  $Q_2$ , а также, подставив их в формулу  $\eta_t$ , получим

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

где  $\rho = \frac{V_z}{V_c}$  – степень предварительного расширения;

$\lambda = \frac{p_c}{p_z}$  – степень повышения давления;

$\varepsilon$  – степень сжатия;

$R$  – показатель сжатия и расширения.

## Среднее давление цикла

$$A = 1/427 \text{ кал./}(кг \cdot м);$$

$$L_t = 427 \cdot Q_1 \cdot \eta_t;$$

$$p_t = \frac{L_t}{V_h} \Rightarrow p_t = 427 \cdot \frac{Q_1}{V_h} \cdot \eta_t.$$

В смешанных циклах так же, как и в других циклах, повышение степени сжатия улучшает экономические и мощностные показатели. Однако по мере увеличения степени сжатия приросты термического КПД и среднего давления постепенно снижаются и после 10–12 становятся мало ощутимыми. Применение в дизельных двигателях степени сжатия больше 14 объясняется желанием облегчить пуск холодных двигателей (при  $\varepsilon < 14$  для реальных двигателей почти невозможно).

При повышении степени сжатия возрастает температура в конце сжатия, что обеспечивает самовоспламенение даже при низких температурах воздуха и двигателя.

При уменьшении нагрузки в дизельных двигателях сокращается количество подаваемого воздуха. Это приводит к снижению среднего давления, однако экономичность цикла повышается, так как снижается температура в конце такта расширения.

## Средние индикаторные и эффективные давления и мощность

Индикаторная диаграмма двигателя представляет собой рабочий цикл, а площадь, ограниченная ею, индикаторную работу цикла. Чем больше индикаторная работа  $L_t$ , тем лучше использование рабочего объема  $V_h$  цилиндра двигателя.

Если принять, что на поршень действует некоторое условное постоянное давление  $p_t$ , совершающее в течение одного хода поршня работу, равную работе  $L_t$  газов за цикл, то

$$L_t = p_t \cdot V_h.$$

Это условное давление  $p_t$  принято называть средним индикаторным давлением. Зная среднее индикаторное давление  $p_t$  (МПа), рабочий объем цилиндра  $V_h$  (л), число цилиндров  $i$  и частоту вращения коленчатого вала  $n_g$  (об/мин), можно определить индикаторную мощность (кВт) двигателя [4–6]

$$N_i = i \cdot V_h \cdot p_t \cdot \frac{n_g}{30 \cdot \tau},$$

где  $\tau$  – тактность двигателя, для 4-тактных  $\tau = 4$ , для 2-тактных  $\tau = 2$ ;  $i \cdot V_h$  – рабочий объем двигателя.

С увеличением  $p_t$  и  $n_g$  возрастают индикаторная мощность и степень использования рабочего объема двигателя. Давление  $p_t$  можно повысить, улучшив наполнение цилиндра путем увеличения давления  $p_k$  на такте впуска. Увеличение  $n_g$  ограничено ростом износа основных деталей и различными потерями. Поэтому  $n_g$  выбирают главным образом в зависимости от размеров и назначения двигателя. Двигатели, которые должны обладать большим сроком службы, при условии, что их размеры и масса не имеют большого значения, (двигатели на электростанциях и крупных судах) выполняют с малой частотой  $n_g$ . Транспортные двигатели (железнодорожный транспорт, тракторы, авиа- и автомобильный транспорт) для обеспечения малой массы и компактности конструкции делают быстроходными.

Передача индикаторной мощности сопровождается механическими потерями через поршень, шатун и коленчатый вал вследствие трения. Кроме того, часть индикаторной мощности затрачивается на преодоление аэродинамических потерь, возникающих при вращении и колебании деталей, на приведение в действие газораспределительного механизма, топливных, масляных, водяных и продувочных насосов и других вспомогательных механизмов двигателя.

В четырехтактных двигателях часть индикаторной мощности тратится также на удаление продуктов сгорания и заполнение цилиндра свежим зарядом [5].

Мощность, соответствующая всем этим потерям, называется *мощностью механических потерь* и обычно обозначается  $N_M$ .

В отличие от индикаторной мощности полезную мощность, которую можно получить на валу двигателя, называют *эффективной мощностью* двигателя  $N_e$ . Эффективная мощность меньше индикаторной на величину мощности механических потерь, т. е.  $N_e = N_i \cdot N_M$ .

Мощности  $N_M$  и  $N_e$  двигателя определяют опытным путем при стендовых и лабораторных испытаниях с помощью специальных нагрузочных устройств – динамометров, позволяющих получить крутящий момент  $M_e$  (Н·м). При этом одновременно измеряют частоту вращения коленчатого вала, соединенного с тормозным устройством.

Эффективная мощность

$$N_e = \frac{M_e \cdot n_g}{9550}.$$

Для удобства сравнения различных двигателей при оценке эффективности их работы аналогично среднему индикаторному давлению  $p_i$  используют среднее эффективное давление  $p_e$ , МПа, которое определяют из выражения

$$p_e = 0,00314 \frac{M_e \cdot \tau}{i \cdot V_h}.$$

Тогда эффективная мощность может быть найдена по следующей формуле:

$$N_e = \frac{i \cdot V_h \cdot p_e \cdot n_g}{30 \cdot \tau}.$$

## Показатели экономичности и совершенства конструкции двигателя

Теплота, выделяемая при сгорании топлива, полезно используется не полностью, часть ее теряется. Из потерь в реальном двигателе наиболее существенными являются:

- 1) потери теплоты с выпускными газами;
- 2) потери теплоты с охлаждающей жидкостью;
- 3) потери теплоты со смазочным маслом;
- 4) потери теплоты в окружающую среду;
- 5) теплота, не выделяемая вследствие неполного сгорания топлива.

Общее распределение теплоты, выделившейся при сгорании вводимого в цилиндр топлива, называется *тепловым балансом двигателя*.

Степень использования теплоты в рабочем цикле, т. е. его экономичность, оценивается индикаторным КПД  $\eta_i$ , который представляет собой отношение теплоты  $Q_i$ , эквивалентной индикаторной работе, ко всей теплоте, введенной в двигатель с топливом [4–6]

$$\eta_i = \frac{Q_i}{Q} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{3600 \cdot N_e}{G_r \cdot H_u} = \frac{3600}{\left(\frac{G_r}{N_i}\right) \cdot H_u},$$

где  $G_r$  – часовой расход топлива, кг/ч ( $\text{м}^3/\text{ч}$ );

$H_u$  – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг ( $\text{кДж}/\text{м}^3$ ).

Отношение  $\frac{G_r}{N_i} = q_i$  показывает количество топлива, расходуемого двигателем индикаторной мощностью 1 кВт в течение 1 часа, и называется удельным индикаторным расходом топлива ( $\text{кг}/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ ). Тогда

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

Для оценки экономичности работы двигателя в целом используется эффективный КПД  $\eta_e$ , представляющий собой отношение теплоты, эквивалентной эффективной работе, к теплоте, затраченной на получение этой работы. Эффективный КПД, учитывающий тепловые и механические потери в двигателе, определяется по следующей формуле:

$$\eta_e = \frac{3600}{g_e \cdot H_u}.$$

Удельный эффективный расход топлива, (кг/кВт·ч)

$$g_e = \frac{G_r}{N_e}.$$

КПД и удельный расход топлива характеризуют экономичность двигателя и его рабочего процесса.

## Показатели совершенства конструкции ДВС

Сравнительная оценка различных ДВС может быть произведена на основе следующих показателей, характеризующих:

- 1) совершенство рабочего процесса;
- 2) экономичность двигателя;
- 3) степень использования рабочего объема цилиндра;
- 4) массу и габаритные размеры.

Одним из основных показателей ДВС, характеризующих использование им индикаторной мощности для совершения полезной работы, является *механический КПД*, определяемый как отношение эффективной мощности к индикаторной [5–7]:

$$\eta_M = \frac{N_e}{N_i}.$$

Механический КПД зависит от конструкции ДВС, материала и качества обработки трущихся деталей, качества сборки, режима работы двигателя, смазочного масла и т. п. Аналогично среднему индикаторному и эффективному давлению для оценки механических потерь можно использовать среднее давление механических потерь  $p_M$ , (МПа):

$$p_M = 0,00314 \cdot M_e \cdot \frac{1 - \eta_M}{\eta_M} \cdot \frac{\tau}{i \cdot V_h}.$$

Из выражений для мощности, экономичности и определяем механическое КПД

$$\eta_M = \frac{p_e}{p_i} = \frac{\eta_e}{\eta_i} = \frac{g_i}{g_e}.$$

Таким образом, от индикаторных показателей двигателя можно перейти к эффективным.

Другим основным показателем двигателя, характеризующим его в отношении использования рабочего объема цилиндра, является *литровая мощность* (кВт/л), т. е. мощность, приходящаяся на 1 л рабочего объема двигателя:

$$N_{л} = \frac{N_e}{i \cdot V_h} = \frac{p_e \cdot n_g}{30 \cdot \tau}.$$

Показателем напряженности (форсирования) цилиндра служит удельная нагрузка на поршень, называемая *поршневой мощностью*, кВт/м<sup>2</sup> [5–7]

$$N_{п} = \frac{N_e}{i \cdot F_{п}} = \frac{p_e \cdot c_m}{\tau},$$

где  $F_{п}$  – площадь поршня, м<sup>2</sup>;

$$c_m = \frac{s \cdot n_g}{30} \text{ – средняя скорость поршня, м/с;}$$

$S$  – ход поршня, м.

Критериями, характеризующими качество конструкции, являются также масса и габариты двигателя. При сравнительной оценке конструкции пользуются удельной массой двигателя, т. е. массой двигателя, приходящейся на единицу эффективной мощности  $g_n = \frac{m}{N_e}$ .

Удельная масса  $g_n$  зависит от многих факторов: от назначения двигателя, его конструктивной схемы, компоновки, материалов и т. д.

Габаритные размеры двигателя в основном зависят от его мощности, типа и назначения, конструктивной схемы и рассматриваемых выше параметров. Обычно при сравнительной оценке габаритных размеров двигателя используют отношение эффективной мощности к объему описанного параллелепипеда, грани которого касаются крайних точек контура двигателя. Однако данный показатель не является совершенным, так как не отражает использования пространства деталями и вспомогательными агрегатами двигателя.

## 1.11. Характеристики двигателя

Для оценки мощности и экономичности ДВС при его работе в различных условиях пользуются характеристиками двигателя.

Характеристикой называется зависимость основных показателей двигателя от режима работы. Характеристики определяют опытным путем на специальных стендах. Применяются также аналитические методы построения приближенных характеристик двигателя.

Режимы работы двигателя характеризуются:

- 1) нагрузкой (средним эффективным давлением  $P_e$ );
- 2) частотой вращения коленчатого вала [1–3].

Характеристики, определяющие зависимость показателей двигателя при постоянном положении органов регулирования (неизменном положении рейки топливного насоса или дроссельной заслонки) от частоты вращения, называются *скоростными характеристиками*. Различным положениям органов регулирования соответствуют различные скоростные характеристики. Если скоростная характеристика получена при полной подаче топлива или горючей смеси, то она называется *внешней скоростной характеристикой*. Характеристики, снятые при работе двигателя с неполной подачей топлива, называются *частичными скоростными характеристиками*.

На каждом скоростном режиме крутящий момент может изменяться от нуля (режим холостого хода) до максимального значения. Например, если двигатель приводит в движение генератор, запитываемый электричеством двигателя или осветительную сеть, то необходимо, чтобы напряжение тока было постоянным независимо от потребляемой энергии (нагрузки). Это достигается поддержанием постоянной частоты вращения коленчатого вала на различных нагрузочных режимах. Постоянство частоты вращения при разных нагрузках требуется также в случае приведения в движение от ДВС таких машин, как компрессоры, насосы и т. п. Во всех этих случаях двигатель работает по *нагрузочной характеристике*.

*Нагрузочной характеристикой* называется зависимость показателей двигателя от среднего эффективного давления (или мощности). По нагрузочной характеристике можно определить допустимую мощность двигателя для заданной частоты вращения коленчатого вала, а также выявить экономичность работы двигателя при различных нагрузках [4–6].

При передаче мощности двигателя на гребной винт (авиа- или судовые двигатели), вращающийся в среде с постоянной плотностью, принимают, что мощность, поглощаемая винтом, пропорциональна частоте вращения в кубе  $N_e = a \cdot n_g^3$ , ( $a$  – коэффициент пропорциональности). Характеристика двигателя, соответствующая этой зависимости, называется *винтовой характеристикой*.

В эксплуатационных условиях двигатели должны работать на различных режимах по той или иной характеристике. Например, частота вращения коленчатого вала двигателя автомобиля, связанного через сцепление, КПП, заднего моста с колесами, примерно пропорциональна скорости движения автомобиля. При движении автомобиля с постоянной скоростью, сопротивление движению может меняться (дорога, уклон, ветер и т.п.), соответственно изменяется и потребляемая автомобилем мощность.

На рис. 1.16 показаны характеристики и возможные режимы работы двигателей различного назначения. По оси абсцисс отложена относительная частота вращения  $n_d/n_{дн}$ , а по оси ординат – относительная мощность  $N_e / N_{ен}$ . Для транспортного двигателя возможны все режимы, лежащие внутри площади, ограниченной снизу осью абсцисс, сверху – внешней скоростной характеристикой 1, слева – минимум и справа – предельно допустимой частотой вращения. Для стационарных двигателей рабочие режимы при заданной частоте вращения могут быть представлены вертикальной линией 3 от оси абсцисс до линии внешней скоростной характеристики.

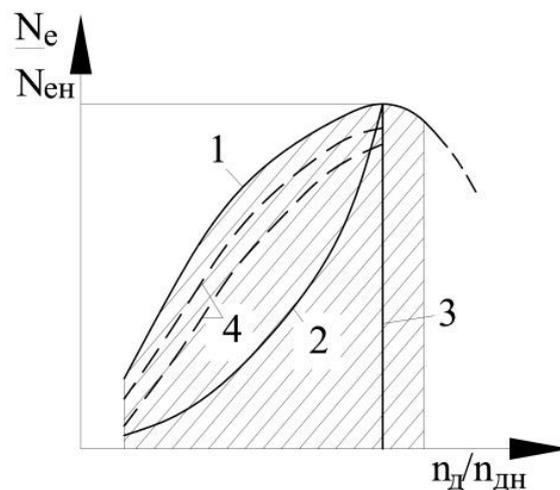


Рис. 1.16. Характеристики двигателей внутреннего сгорания:  
 1 – внешняя скоростная; 2 – винтовая;  
 3 – нагрузочная; 4 – частичные скоростные

С целью установления рациональных параметров и условий работы двигателей используют *регулирующие характеристики*, представляющие собой зависимости мощности, удельного расхода топлива и других показателей работы двигателя от регулируемого параметра (от угла опережения зажигания, угла опережения впрыскивания топлива, температуры охлаждающей жидкости и т. п.).

Во время работы двигателя его мощность или крутящий момент при заданных частотах вращения коленчатого вала должны быть равны мощности потребителя. В случае несоответствия между развиваемой двигателем мощностью и нагрузкой со стороны потребителя, двигатель может чрезмерно увеличить частоту вращения коленчатого вала (пойти в разнос) или, наоборот, значительно ее уменьшить и остановиться. *Режим работы двигателя*, при котором частота вращения, крутящий момент или его мощность в рассматриваемый период остаются постоянными, называется *установившимся режимом*.

При изменении сопротивления движению транспортного средства или сопротивления внешней сети (двигатель-генератор) необходимо соответствующее регулирование мощности двигателя, чтобы обеспечить его устойчивую работу [1–3].

## **Способы регулирования мощности двигателя при постоянной частоте вращения коленчатого вала**

В данном случае рабочий объем двигателя и частота вращения являются постоянными величинами.

Из выражения

$$N_e = \frac{i \cdot V_n \cdot p_e \cdot n_g}{30\tau}$$

после обозначения постоянных величин коэффициентом  $k$ , можно получить  $N_e = k \cdot P_e$ , т. е. эффективная мощность двигателя прямо пропорциональна среднему эффективному давлению.

Среднее эффективное давление  $P_e = P_i \cdot \eta = P_i - P_m$ , следовательно, эффективную мощность двигателя можно изменить увеличением или уменьшением среднего индикаторного давления. Регулирование мощности, связанное с изменением механических потерь  $P_m$ , нецелесообразно (можно применять более качественные масла и так далее, но в данном случае смазка постоянна).

Среднее индикаторное давление зависит в основном от следующих параметров:

1) массы свежего заряда в цилиндре, оцениваемой коэффициентом  $\eta_v$  наполнения и плотностью воздуха  $\rho_k$  или горючей смеси на входе в цилиндр. С ростом массы свежего заряда возрастает количество теплоты, выделяющейся при сгорании, а следовательно, давление  $P_i$  [4–6];

2) теплоты сгорания горючей смеси

$$C = \frac{H_u}{\alpha \cdot L_o},$$

где  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха;

$L_o$  – теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания 1 кг топлива.

При увеличении теплоты сгорания горючей смеси возрастает среднее индикаторное давление. При работе двигателя на топливе определенного вида изменение теплоты сгорания горючей смеси возможно лишь путем изменения качества смеси, т. е. коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ . С увеличением коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  горючая смесь обедняется и понижается  $P_i$ ; при уменьшении коэффициента  $\alpha$  горючая смесь обогащается и  $P_i$  повышается.

В результате чего возможны два основных способа регулирования мощности двигателя.

*Первый способ.* Изменение массы свежего заряда, поступающего в цилиндр двигателя. В этом случае для изменения мощности двигателя изменяют массу заряда без изменения состава горючей смеси. Такой способ регулирования называется *количественным регулированием* и практически он осуществляется путем установки дроссельной заслонки во впускном трубопроводе. В результате дросселирования свежего заряда изменяется давление. Чем больше прикрито проходное сечение, тем выше сопротивление впуска и меньше наполнение цилиндра, а следовательно, развиваемая двигателем мощность.

Существенным *недостатком* количественного регулирования является увеличение насосных потерь в следствие дросселирования и значительное снижение давления в конце сжатия при работе на малых нагрузках. К *преимуществу* этого способа регулирования мощности относится то, что возможно выбрать рациональный коэффициент избытка воздуха, обеспечивающий хорошее сгорание топлива на всех режимах работы двигателя [4].

*Второй способ.* При этом способе остается постоянным количество воздуха, поступающего в цилиндр, но меняется расход впрыскиваемого через форсунку топлива, что приводит к изменению качества горючей смеси (коэффициента  $\alpha$ ), а следовательно, теплоты сгорания горючей смеси и развиваемой двигателем мощности. Этот способ регулирования называется *качественным регулированием*.

Ввиду того, что расход воздуха, поступающего в цилиндр, при качественном регулировании давления  $P_a$  в цилиндре в конце впуска, давления  $P_c$  в конце сжатия и температуры в конце сжатия  $T_c$  при одной и той же частоте вращения коленчатого вала не меняется.

Значительное изменение состава горючей смеси при качественном регулировании обуславливает невозможность его применения в двигателях с внешним смесеобразованием: при увеличении коэффициента  $\alpha$  обедняется горючая смесь, что приводит к понижению скорости сгорания, мощности и ухудшению экономичности двигателя. При слишком обедненной смеси появляются пропуски зажигания, двигатель работает неустойчиво и может остановиться.

Специфическая особенность дизелей позволяет воспламенить и сжечь топливо при больших коэффициентах избытка воздуха  $\alpha$ .

В газовых двигателях применяют *смешанное регулирование*. При этом изменения мощности в области больших нагрузок достигают путем изменения состава смеси в пределах допустимых значений коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ , а в области малых нагрузок – изменения расхода смеси [1–3].

Автоматическое регулирование мощности для поддержания постоянной частоты вращения коленчатого вала любым из способов осуществляется обычно регуляторами частоты вращения. Регулятор автоматически управляет подачей смеси или топлива в цилиндр на заданном скоростном режиме работы двигателя. При помощи регуляторов ограничивают максимальную частоту вращения коленчатого вала, обеспечивают устойчивую работу его при минимальной частоте вращения на холостом ходу, поддерживают заданный скоростной режим независимо от нагрузки.

## **Компьютерное управление инжекторным двигателем**

При включении зажигания электрический бензиновый насос, расположенный в топливном баке, через топливный фильтр подает бензин под давлением (от 1 до 3–5 атмосфер) к инжекторам.

Инжекторы расположены во впускном коллекторе двигателя, они осуществляют распыление и впрыск топлива в коллектор, где и начинается формирование топливно-воздушной смеси (в отличие от карбюраторного двигателя). Из впускного коллектора смесь попадает в цилиндры двигателя.

Бортовой компьютер управляет инжектором, подавая электрические импульсы на обмотку электромагнитного клапана инжектора.

Количество бензина и обогащение топливно-воздушной смеси, поступающей в цилиндры двигателя, зависит от длительности импульсов и частоты их следования.

Угол опережения зажигания определяется компьютером таким образом, чтобы избежать детонации топлива в цилиндрах, о чем извещает датчик детонации [1–3].

Частота управляющих импульсов зависит обычно от частоты вращения коленчатого вала двигателя – это так называемый синхронный режим управления инжектором. В асинхронном режиме управляющие импульсы следуют с постоянной частотой независимо от частоты вращения вала двигателя.

Длительность импульсов рассчитывается компьютером непрерывно в зависимости от режима работы двигателя, на основании сигналов различных датчиков топлива.

**Пуск двигателя** – инжектор работает в синхронном режиме, длительность импульса определяется компьютером в зависимости от температуры двигателя исходя из необходимости создания более обогащенной топливно-воздушной смеси (от 1 : 1,5 при  $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$  до 1 : 12 при  $+94\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). В этом режиме компьютер использует информацию от датчика температуры двигателя (для определения длительности импульса) и от датчика положения коленчатого вала (для определения частоты импульсов и их синхронизации с работой цилиндров) [1–3].

**Продувка цилиндров** – в некоторых случаях необходимо очистить цилиндры двигателя от избытка бензина (например, после нескольких неудачных попыток пуска двигателя). При открывании дроссельной заслонки более чем на 80 % (компьютер принимает информацию от датчика дроссельной заслонки) и частоте вращения двигателя менее 400 об/мин компьютер обеспечит обеднение смеси до 1 : 20.

**Работа двигателя в рабочем диапазоне** – после достижения частоты вращения вала двигателя свыше 400 об/мин компьютер переходит в рабочий диапазон управления инжектором. Первоначально компьютер рассчитывает время открытого состояния инжектора (длительность импульса), используя сигналы датчика температуры двигателя и датчика давления воздуха во впускном коллекторе. При изменении нагрузки двигателя изменяется давление во впускном коллекторе и, соответственно, изменяется длительность управляющего импульса. Но через некоторое время (при достижении двигателем определенной температуры) компьютер начинает принимать сигнал

от датчика кислорода, расположенного в магистрали выпуска отработанных газов, и вести расчет длительности импульсов, базируясь на информации кислородного датчика. В зависимости от количества кислорода в выхлопных газах (не принявшего участия в окислении бензина) компьютер изменяет длительность импульсов таким образом, чтобы обогащение топливно-воздушной смеси оставалось всегда оптимальным (1 : 14,7). Остатки несгоревшего бензина окисляются в каталитическом конверторе, который устанавливается перед глушителем [1–3].

**Обогащение смеси на период ускорения** – при резком нажатии на педаль газа происходит быстрое изменение давления во впускном коллекторе. Компьютер, анализируя изменение сигналов датчиков дроссельной заслонки и давления во впускном коллекторе, переводит инжекторы в асинхронный режим работы и обогащает смесь.

**Обеднение смеси** – происходит при закрытии дроссельной заслонки (например, торможение двигателем на спуске).

**Режим отсечки подачи топлива** – для предотвращения повреждений двигателя, при достижении максимально допустимых оборотов компьютер отключает подачу топлива в цилиндры.

## Глава 2. ПОРШНЕВОЙ ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

---

### 2.1. Кривошипно-шатунный механизм

Кривошипно-шатунный механизм (КШМ) предназначен для преобразования возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение коленчатого вала. Детали, составляющие кривошипно-шатунный механизм, можно разделить на две группы: подвижные и неподвижные.

Подвижные детали: поршень, поршневые кольца, поршневой палец, шатун, коленчатый вал, маховик.

Неподвижные детали: корпус (картер и цилиндры), головка блока цилиндров, поддон картера, гильзы цилиндров, крепежные детали, уплотняющие элементы.

#### Неподвижные детали КШМ

*Блок-картер* является остовом двигателя, в котором размещаются и работают подвижные детали, к нему крепятся практически все навесные агрегаты и приборы, обеспечивающие работу двигателя.

Блок-картер отливают из легированного чугуна или алюминиевых сплавов.

Блок-картер разделен на две части горизонтальной перегородкой. В нижней части в вертикальных перегородках имеются разъемные отверстия крепления коленчатого вала, в верхней – гильзы цилиндров. Блок-картер может быть отлит вместе с цилиндрами («сухие» гильзы), либо иметь вставные сменные гильзы, непосредственно омываемые охлаждающей жидкостью, так называемые «мокрые» гильзы. Также в блок-картере выполнены гладкие отверстия под коренные опоры распределительного вала, под толкатели газораспределительного механизма, имеются гладкие и резьбовые отверстия и приваленные поверхности крепления деталей и приборов [6–8].

*Гильзы цилиндров.* Гильзы цилиндров являются направляющими для поршня и вместе с головкой образуют полость, в которой осуществляется рабочий цикл. Изготавливают гильзы литьем из специального чугуна. На наружной поверхности имеется одна или две посадочные поверхности крепления гильзы в блоке цилиндров. Внутреннюю поверхность цилиндра подвергают закалке с нагревом током

высокой частоты (ТВЧ) и тщательно обрабатывают, получая «зеркальную» поверхность.

Верхняя часть цилиндра наиболее нагружена, так как здесь происходит сгорание рабочей смеси, сопровождаемое резким повышением давления и температуры. Кроме того, в этой зоне происходит перекладка поршня, сопровождаемая ударными нагрузками на стенки цилиндра. Для повышения износостойкости верхней части цилиндров в карбюраторных двигателях применяют вставки из специального износостойкого чугуна, запрессованные в верхней части цилиндра. Толщина вставки 2–4 мм, высота 40–50 мм, используемый материал – аустенитный чугун.

«Мокрые» гильзы могут быть установлены в блок-картер с центровкой по одному или двум поясам. Первый способ применяется для постановки гильзы в алюминиевые, второй – в чугунные блоки.

Для уплотнения нижнего центрирующего пояса «мокрых» гильз применяют резиновые кольца. Гильзы с центровкой по одному нижнему поясу уплотняются одной медной прокладкой под торцевой плоскостью буртика [6–8].

*Головка блока цилиндров* закрывает цилиндры и образует верхнюю часть рабочей полости двигателя, в ней частично или полностью размещаются камеры сгорания. Головки блока цилиндров отливают из легированного серого чугуна или алюминиевого сплава. Чаще всего они являются общими для всех цилиндров, образующих ряд.

В головках блока цилиндров размещаются гнезда и направляющие втулки клапанов, впускные и выпускные каналы. Их внутренние полости образуют рубашку для охлаждающей жидкости. В верхней части имеются опорные площадки для крепления деталей клапанного механизма. В конструкциях с верхним расположением распределительного вала предусмотрены соответствующие опоры. Для уплотнения стыка головки блока цилиндров и блока цилиндров применяют сталеасбестовую уплотняющую прокладку, предотвращающую прорыв газов наружу и исключаящую проникновение охлаждающей жидкости и масла в цилиндры. В двигателях воздушного охлаждения головки блока цилиндров делают ребренными. Причем ребра располагают по движению потока охлаждающего воздуха. Так, чтобы обеспечивался более эффективный теплоотвод.

*Поддон картера* закрывает КШМ снизу и одновременно является резервуаром для масла. Поддоны изготавливают штамповкой из листовой стали или отливают из алюминиевых сплавов. Внутри поддонов



*Поршни.* Форма и конструкция поршня, включая днище поршня и отверстие под поршневой палец, в значительной степени определяются формой камеры сгорания.

Поршень состоит из *головки поршня* и направляющей части – *юбки поршня*. С внутренней стороны имеются приливы – бобышки с гладкими отверстиями под поршневой палец. Для фиксации пальца в отверстиях проточены канавки под стопорные кольца. В зоне выхода отверстий на внешних стенках юбки выполняются местные углубления, где стенки юбки не соприкасаются со стенками цилиндров. Таким образом, получают так называемые холодильники. Для снижения температуры нагрева направляющей поршня в карбюраторных двигателях головку поршня отделяют две поперечные симметричные прорези, которые препятствуют отводу теплоты от днища.

Нагрев, а, следовательно, и тепловое расширение поршня по высоте неравномерны. Поэтому поршни выполняют в виде конуса овального сечения. Головка поршня имеет диаметр меньше, чем направляющая. В быстроходных двигателях, особенно при применении коротких шатунов, скорость изменения боковой силы довольно значительна. Это приводит к удару поршня о цилиндр. Чтобы избежать стуков, при переключке поршневые пальцы смещают на 1,4–1,6 мм в сторону действия максимальной боковой силы, что приводит к более плавной переключке и снижению уровня шума.

Головка поршня состоит из днища и образующих ее стенок, в которых имеются канавки под поршневые кольца. В нижней канавке находятся дренажные отверстия для отвода масла диаметром 2,5–3 мм. Днище головки является одной из стенок камеры сгорания и воспринимает давление газов, омывается открытым пламенем и горячими газами. Для увеличения прочности днища и повышения общей жесткости головки ее стенки выполняются с массивными ребрами. Днища поршней изготавливают плоскими, выпуклыми, вогнутыми и фигурными. Форма выбирается с учетом типа двигателя, камеры сгорания, процесса смесеобразования и технологии изготовления поршней [1–3].

*Поршневые кольца* – элементы уплотнения поршневой группы, обеспечивающие герметичность рабочей полости цилиндра и отвод теплоты от головки поршня. По назначению кольца подразделяются на *компрессионные*, препятствующие прорыву газов в картер и отводу теплоты в стенки цилиндра, и *маслосъемные*, обеспечивающие равномерное распределение масла по поверхности цилиндра и препятствующие проникновению масла в камеру сгорания.

Изготавливаются кольца из специального легированного чугуна или стали. Разрез кольца, называемый замком, может быть прямым, косым или ступенчатым.

По форме и конструкции поршневые кольца делятся:

- на трапецевидные, с конической поверхностью, с конической поверхностью и подрезом, маслосъемные, пружинящие с расширителем (у дизелей);

- бочкообразные, с конической поверхностью со скосом, с подрезом (поршневые кольца карбюраторных двигателей);

- маслосъемные с дренажными отверстиями и узкой перемычкой, составные представляют собой два стальных диска (осевой и радиальный расширители).

На рис. 2.2 приведена работа компрессионных поршневых колец в режиме обратного насоса, а на рис. 2.3 – маслосъемных поршневых колец.

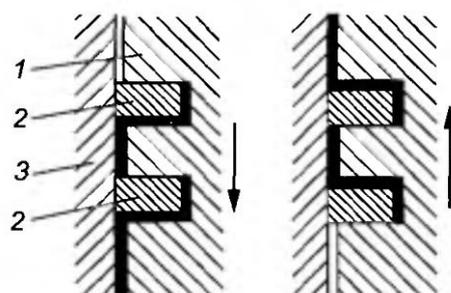


Рис. 2.2. Работа компрессионных поршневых колец:  
1 – поршень; 2 – компрессионное поршневое кольцо; 3 – цилиндр

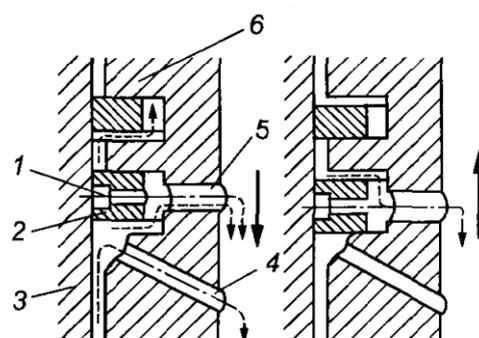


Рис. 2.3. Работа маслосъемных поршневых колец  
(сплошными стрелками показано направление движения поршня, штриховыми – масла): 1 – прорезь в поршневом кольце; 2 – поршневое кольцо;  
3 – цилиндр; 4 – отверстие в поршне;  
5 – отверстие в канавке поршневого кольца; 6 – поршень

Для повышения износостойкости первого компрессионного кольца, работающего в условиях высоких температур и граничного трения, его поверхность покрывают пористым хромом.

Устанавливая на поршень поршневые кольца, необходимо следить за тем, чтобы замки соседних колец были смещены один относительно другого на некоторый угол (90–180°).

*Поршневой палец* обеспечивает шарнирное соединение шатуна с поршнем. Поршневые пальцы изготавливают из малоуглеродистых сталей. Рабочую поверхность тщательно обрабатывают и шлифуют. Для уменьшения массы палец выполняют пустотелым.

*Шатун* шарнирно соединяет поршень с кривошипом коленчатого вала. Шатун представлен на рис. 2.1. Он воспринимает от поршня и передает коленчатому валу усилие давления газов при рабочем ходе, обеспечивает перемещение поршней при совершении вспомогательных тактов. Шатун работает в условиях значительных нагрузок, действующих по его продольной оси.

Шатун состоит из верхней головки, в которой имеется гладкое отверстие под подшипник поршневого пальца; стержня двутаврового сечения и нижней головки с разъемным отверстием для крепления с шатунной шейкой коленчатого вала. Крышка нижней головки крепится с помощью шатунных болтов [1–3].

Шатун изготавливают методом горячей штамповки из высококачественной стали.

Для подвода масла к стенкам цилиндра на нижней головке шатуна имеется отверстие.

С целью уменьшения трения и изнашивания в нижние головки шатунов устанавливают подшипники скольжения, состоящие из двух взаимозаменяемых вкладышей (верхнего и нижнего).

Вкладыши изготавливаются из стальной профилированной ленты толщиной 1,3–1,6 мм для карбюраторных двигателей и 2–3,6 мм для дизелей.

На ленту наносят антифрикционный высокооловянистый алюминиевый сплав толщиной 0,25–0,4 мм (для карбюраторных двигателей). На дизелях марки «КамАЗ» применяют трехслойные вкладыши, залитые свинцовистой бронзой. Шатунные вкладыши устанавливаются в нижнюю головку шатуна с натягом 0,03–0,04 мм. От осевого смещения и проворачивания вкладыши удерживаются в своих гнездах усиками, входящими в пазы, которые при сборке шатуна и крышки должны располагаться на одной стороне шатуна.

Коленчатый вал воспринимает действия расширяющихся газов при рабочем ходе поршней, передаваемые шатунами, и преобразует их в крутящий момент. Кроме того, коленчатый вал обеспечивает движение поршней во время вспомогательных тактов и пуска двигателя. Коленчатые валы различных двигателей приведены на рис. 2.4.

Коленчатые валы изготавливаются штамповкой из среднеуглеродистых легированных сталей и литьем из модифицированного магнием чугуна [6–8].

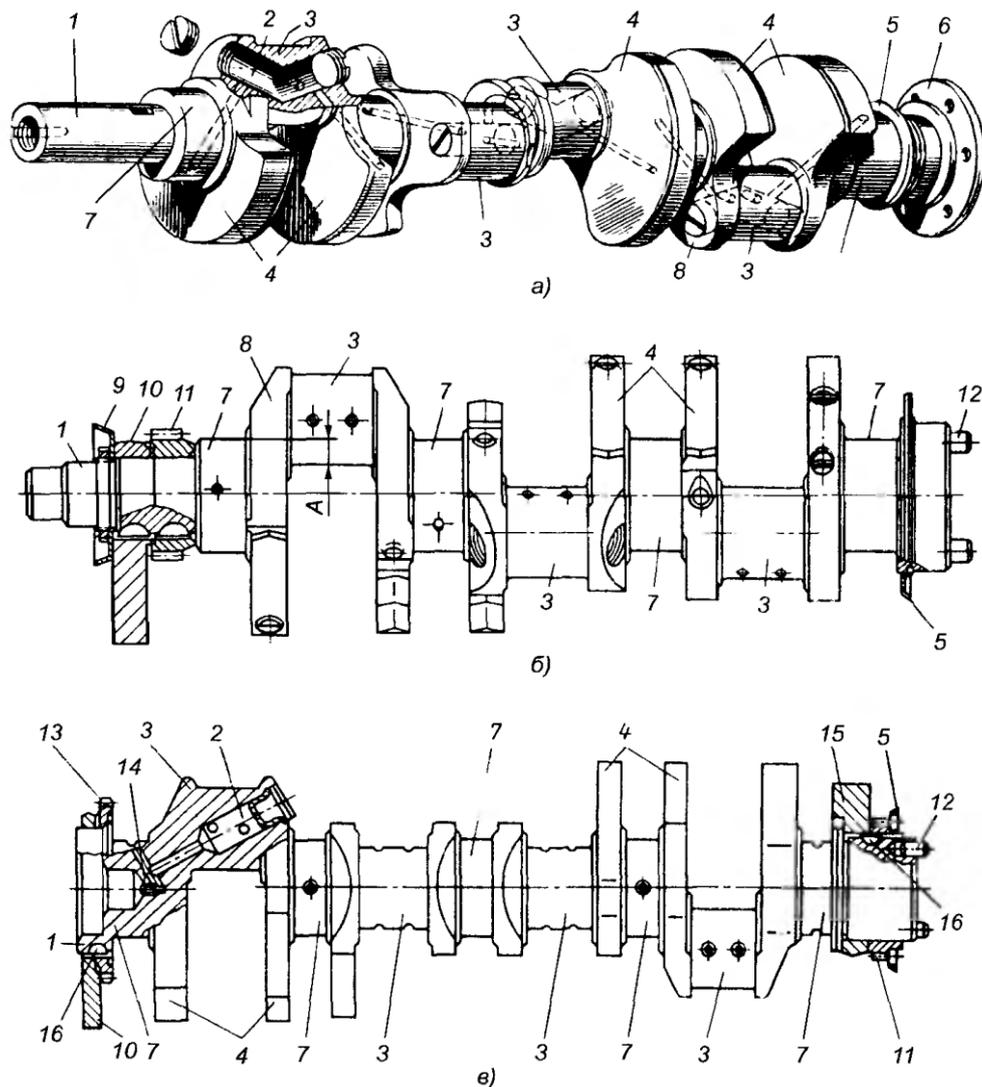


Рис. 2.4. Коленчатые валы:

- a* – двигателя автомобиля ЗИЛ-130; *б* – дизеля ЯМЗ-236; *в* – дизеля КамАЗ-740;  
 1 – передний конец вала; 2 – грязеуловительная полость; 3 – шатунная шейка;  
 4 – противовесы; 5 – маслоотражатель; 6 – фланец для крепления маховика;  
 7 – коренная шейка; 8 – щека; 9 – гайка; 10 и 15 – съемные противовесы;  
 11 – распределительное зубчатое колесо; 12 – установочный штифт;  
 13 – зубчатое колесо привода масляного насоса; 14 – винт; 16 – шпонка;  
*A* – величина перекрытия шеек

Коленчатый вал состоит из коренных и шатунных шеек, соединенных щеками, к которым крепятся противовесы (могут быть отлитыми как одно целое с валом) переднего конца коленчатого вала, на котором имеются посадочные пояски крепления газораспределительного зубчатого колеса и шкива. На заднем конце коленчатого вала имеется маслоотражательный гребень, маслосгонная резьба и фланец (может отсутствовать) для крепления маховика. В торце имеется гладкое отверстие под подшипник для опоры ведущего вала коробки передач. В коренных шейках для масляных каналов выполнены отверстия под углом к пустотелым шатунным шейкам, где масло дополнительно очищается под действием центробежных сил.

Форма коленчатого вала определяется числом и расположением цилиндров, порядком работы и тактностью двигателя.

В большинстве случаев применяют полноопорные коленчатые валы, т. е. каждая шатунная шейка расположена между коренными [4–6].

Для повышения износостойкости поверхностный слой коренных и шатунных шеек подвергают закалке на глубину 3–4 мм с нагревом ТВЧ. После термической обработки шейки валов тщательно шлифуют и полируют

*Коренные подшипники.* Для коренных подшипников применяются подшипники скольжения, выполненные в виде вкладышей, основой которых является стальная лента толщиной 1,9–2,8 мм для карбюраторных двигателей и 3–6 мм для дизелей. В качестве антифрикционного материала вкладышей используют высокооловянистый алюминиевый сплав для карбюраторных двигателей и трехслойные с рабочим слоем из свинцовой бронзы.

*Маховик* служит для уменьшения неравномерности вращения коленчатого вала, накопления энергии во время рабочего хода поршня, необходимой для вращения вала в течение подготовительных тактов, и вывода деталей КШМ из ВМТ и НМТ [4–6].

В многоцилиндровых двигателях маховик является в основном накопителем кинетической энергии, необходимой для пуска двигателя и обеспечения плавного трогания автомобиля с места.

Маховики отливают из чугуна в виде диска с массивным ободом и проводят его динамическую балансировку в сборе с коленчатым валом.

На ободе маховика имеется посадочный поясок для напрессовки зубчатого венца для электрического пуска стартером. На торцевую рабочую поверхность опирается фрикционный диск сцепления. Для крепления его кожуха имеются резьбовые отверстия. Маховик

центрируют по наружной поверхности фланца с помощью выточки, а положения его относительно коленчатого вала фиксируют установочным штифтом или несимметричным расположением отверстий крепления маховика.

## Уплотнение корпуса двигателя

Уплотнение корпуса двигателя необходимо для исключения прорыва газов из рабочей полости цилиндра, а также для предотвращения утечек охлаждающей жидкости и моторного масла.

Уплотнению подлежат:

- газовые стыки между головкой блока цилиндров, торцом цилиндра и впускным трубопроводом;
- стыки между блоком цилиндра и головкой блока цилиндров в местах сопряжения отверстий для охлаждающей жидкости и масла;
- стыки между «мокрой» гильзой и блок-картером;
- разъемы между блок-картером, головкой блока цилиндров и различными навесными деталями и крышками;
- выходящие из двигателя вращающиеся детали: носок и хвостовик коленчатого вала, валы приводов различных узлов [1–3].

Наиболее ответственным является уплотнение газового стыка, так как при нарушении герметичности ухудшается работа двигателя, возможно поступление масла в систему охлаждения или охлаждающей жидкости в полость цилиндра.

Для уплотнения газового стыка применяются прокладки, которые зажимаются между блок-картером и головкой блока цилиндров.

Требования, предъявляемые к прокладкам:

- должны выдерживать значительное давление газов и высокие температуры;
- иметь достаточную пластичность для заполнения неровностей на опорных поверхностях головки блока цилиндров и блок-картера;
- иметь необходимую упругость и достаточную прочность.

Прокладки головки блока цилиндров могут быть цельнометаллическими, составными или комбинированными.

В двигателях с высокой степенью сжатия применяются цельнометаллические прокладки из листовой стали, алюминия или меди либо составные прокладки, набранные из нескольких тонких листов.

Стальные цельнометаллические прокладки имеют вокруг отверстий выштамповочные канавки, которые при сборке деформируются и обеспечивают уплотнение вследствие своей упругости [4–6].

В двигателях со средней степенью сжатия используются комбинированные прокладки, выполненные из графитизированного асбестового полотна, армированного снаружи листовой сталью. Контур камеры сгорания окантовывается металлом.

Стык картера и поддона, разъемы с крышками и навесными деталями уплотняются паронитовыми, картонными или резиновыми прокладками из специальной резиновой смеси.

Искровая свеча зажигания в месте ее стыка с головкой блока цилиндров уплотняется металлическими кольцами круглого сечения, а форсунки – кольцами из отоженной меди.

Для предотвращения течи масла в местах выхода из двигателя носка и хвостовика коленчатого вала применяются уплотнительные манжеты, или сальники [1–3].

Сальники представляют собой волокна или графитизированный асбестовый шнур, которые закладываются в кольцевую канавку корпуса вокруг вращающегося вала. Отверстие становится меньше, благодаря чему и уплотняется зазор.

Для надежности уплотнения на поверхности вала под сальником выполняют многозаходную неглубокую накатку, по которой масло, попавшее в зазор уплотнения, возвращается в картер.

## **Подвеска двигателя**

При работе двигатель находится под воздействием неуравновешенных сил инерции, моментов этих сил и реактивных моментов при торможении или разгоне автомобиля.

Для защиты рамы или несущего кузова от вибрации применяют упругую подвеску силового агрегата. Вибрационные свойства подвески двигателя определяются конструкцией упругих элементов и размещением опор. Упругие элементы подвески двигателей выполняются в виде массивных резиновых втулок или башмаков, привулканизированных к каркасу. Для ограничения недопустимых продольных перемещений двигателя каркасные детали упругих элементов ориентируют таким образом, чтобы в направлении действия продольных сил резиновый вкладыш имел наибольшую жесткость, или применяют специальные тяги, которые связывают с подmotorной рамой двигатель и не допускают его перемещения [6–8].

## 2.2. Газораспределительный механизм

Газораспределительный механизм (ГРМ) предназначен для своевременного впуска свежего заряда в цилиндры двигателя и выпуска отработавших газов.

Основные требования, предъявляемые к ГРМ:

- хорошее наполнение и очистка цилиндров;
- наименьшие габаритные размеры и массы деталей;
- достаточная жесткость деталей;
- высокая надежность;
- простота конструкции;
- минимальные потери на трение;
- стойкость к изнашиванию контактирующих поверхностей.

В зависимости от элементов, посредством которых цилиндры двигателей сообщаются с окружающей средой, газораспределительные механизмы делятся на *клапанные* и *золотниковые*.

Золотниковый принцип газораспределения применяется в двухтактных двигателях, где впускные и выпускные каналы имеют в цилиндре окна, которые открываются и закрываются поршнем, т. е. сам ГРМ как таковой отсутствует, а его функции выполняет кривошипно-шатунный механизм.

В современных поршневых ДВС используются клапанные ГРМ [6–8].

ГРМ состоит из привода, передаточных деталей и клапанной группы. Привод состоит из зубчатых колес и распределительного вала. Передаточные детали: толкатели, штанги, коромысла. Клапанная группа включает в себя: клапан, направляющую втулку, пружину и замок пружины.

### Клапанные ГРМ

Клапанные ГРМ могут иметь различные конструкции.

По расположению клапанов ГРМ выпускаются:

- с нижним расположением клапанов;
- с верхним расположением клапанов.

В первом случае клапаны размещаются, как правило, в один ряд сбоку блока цилиндров и приводятся в действие через толкатели от общего распределительного вала кулачками.

При нижнем расположении клапанов есть ряд недостатков: растянутая форма камеры сгорания, затруднена регулировка, недостаточное наполнение и очистка цилиндров из-за большого сопротивления

впускных и выпускных каналов. Поэтому данная схема на современных двигателях не применяется. Механизмы газораспределения разных двигателей приведены на рис. 2.5.

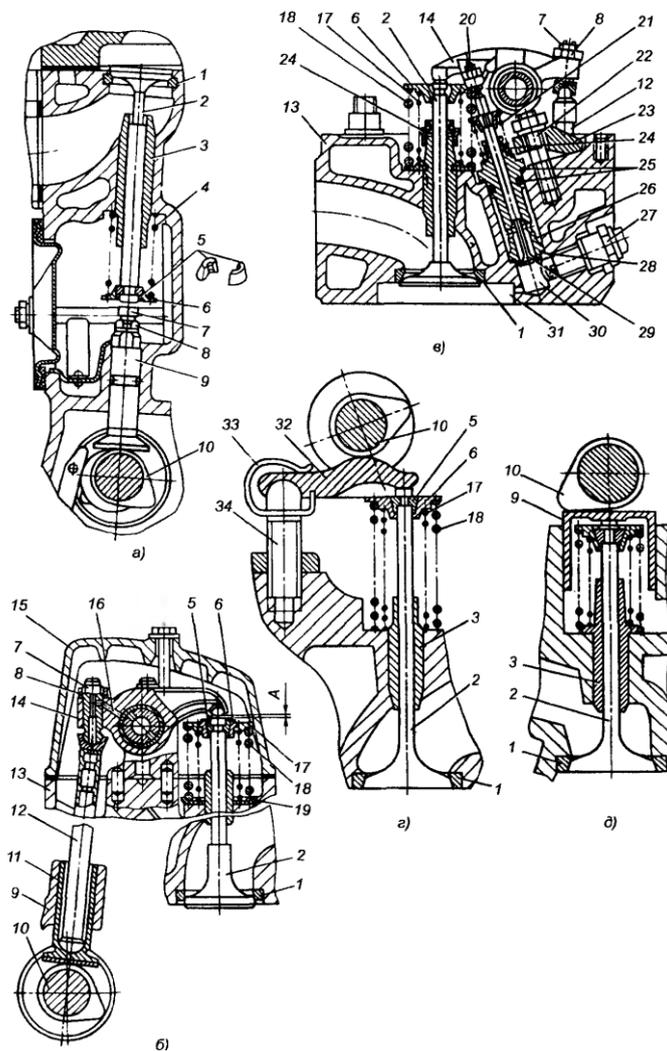


Рис. 2.5. Механизм газораспределения:

*а* – с нижним расположением клапанов и распределительного вала; *б* – с верхним расположением клапанов и нижним расположением распределительного вала; *в* – привод клапанов двигателя автомобиля ГАЗ-3102 «Волга»; *г* и *д* – с верхним расположением клапанов и распределительного вала автомобилей марки «ВАЗ»; 1 – седло клапана; 2 – клапан; 3 – направляющая втулка; 4 – пружина; 5 – сухари; 6 – тарелка пружины клапана; 7 – регулировочный болт; 8 – контргайка; 9 – толкатель; 10 – кулачок; 11 – направляющая толкателя; 12 – штанга; 13 – головка блока цилиндров; 14 – коромысло; 15 – крышка головки блока цилиндров; 16 – отверстие подвода масла; 17 – внутренняя пружина; 18 – внешняя пружина; 19 – опорная шайба пружины; 20 – регулировочный болт привода дополнительного клапана; 21 – пружина дополнительного клапана; 22 – шпилька; 23 – скоба крепления корпуса дополнительного клапана; 24 – маслоотражательный колпачок; 25 – уплотнительные кольца; 26 – конус дополнительного клапана; 27 – свеча зажигания; 28 – прокладка; 29 – дополнительный клапан; 30 – форкамера; 31 – основная камера; 32 – рокер; 33 – пружина рокера; 34 – опора; *A* – тепловой зазор

При верхнем расположении клапанов указанные выше недостатки отсутствуют, поэтому мощность и экономичность двигателя выше.

По расположению распределительного вала ГРМ могут быть:

- с нижним расположением вала;
- с верхним расположением вала.

При нижнем расположении распределительный вал находится сбоку и немного выше коленчатого вала или над коленчатым валом.

ГРМ с нижним расположением распределительного вала уступает по жесткости и имеет большую инерционность передаточных деталей, чем ГРМ с верхним расположением распределительного вала, когда вал находится в головке блока цилиндров и непосредственно воздействует на клапан.

Газораспределительный механизм работает следующим образом: приводимый во вращение от коленчатого вала распределительный вал кулачками воздействует на толкатели или непосредственно на клапаны через направляющие стаканы. При нижнем расположении клапанов усилие от толкателей передается на клапаны, а при верхнем расположении усилие от толкателей передается на штанги, а от них на коромысло. Далее клапаны, преодолевая усилие пружин, перемещаются в направляющих втулках и открываются, соединяя полость цилиндра с впускным или выпускным каналом в зависимости от назначения клапана. Кулачки повернутся, и пружины вернут клапаны в закрытое состояние [1–3].

По расположению и числу клапанов ГРМ могут быть:

- с продольным расположением относительно оси двигателя;
- с поперечным или косым расположением;
- с двумя клапанами на цилиндр;
- с тремя клапанами на цилиндр;
- с четырьмя клапанами на цилиндр.

Продольное расположение клапанов является наиболее простым. Расположение клапанов может быть попарное или поочередное. При попарном расположении впускные каналы соседних цилиндров могут иметь общий патрубок.

Поперечное расположение клапанов используется при установке свечи зажигания в центре камеры сгорания. При этом обеспечивается лучшее наполнение цилиндров.

Если при этом клапаны наклонены и смещены относительно оси цилиндра, то такое расположение клапанов называется косым. Косое расположение позволяет увеличить диаметр клапанов, улучшить расположение свечей зажигания или форсунок и форму камеры сгорания.

При поперечном расположении клапанов впускные и выпускные каналы направлены в разные стороны, что позволяет увеличить диаметр клапанов, а значит, увеличить их пропускную способность.

Увеличение диаметров клапанов приводит к увеличению их массы и, как следствие, инерционности, что отрицательно сказывается при высоких частотах вращения коленчатого вала [4–6].

Применение трех, четырех клапанов на цилиндр обеспечивает достаточное суммарное проходное сечение клапанов при меньшей массе каждого из них. Однако при этом усложняется конструкция ГРМ и снижается его надежность. Пример расположения трех клапанов в цилиндре приведен на рис. 2.6.

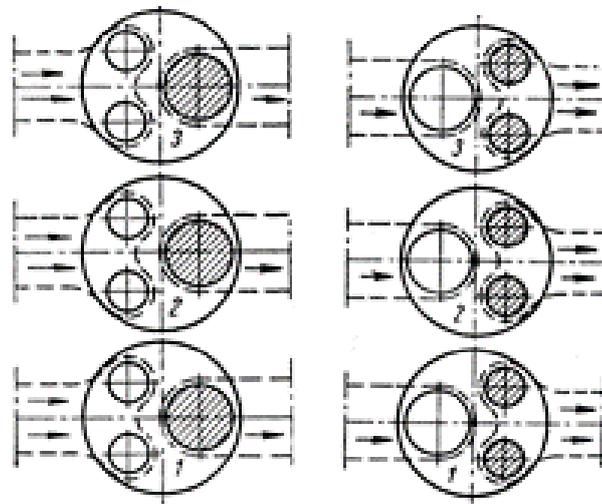


Рис. 2.6. Расположение трех клапанов в цилиндре

Газораспределительный механизм может иметь не один, а два распределительных вала.

**По виду привода** распределительного вала ГРМ могут быть:

- с зубчатым зацеплением;
- с цепным приводом;
- с ременным приводом;
- с вольным приводом.

*Привод с зубчатым зацеплением* чаще всего применяется в механизмах с нижним расположением распределительного вала. Как правило, в этом случае используются два косозубых зубчатых колеса, одно из которых устанавливается на коленчатом валу, а другое на распределительном. При значительных расстояниях между осями коленчатого и распределительного валов, например при расположении распределительного вала в верхней части блока или двух боковых

распределительных валах, привод может иметь три и даже четыре зубчатых колеса. Основное достоинство данного привода заключается в простоте конструкции, надежности, а его основной недостаток – повышенный уровень шума.

*Вольный привод* также надежен в работе и применяется в дизелях большой мощности при расположении распределительного вала в головке блока. Его недостатки: сложность конструкции, более низкая жесткость, сложная регулировка [1].

На рис. 2.7. представлены различные способы привода клапанного механизма.

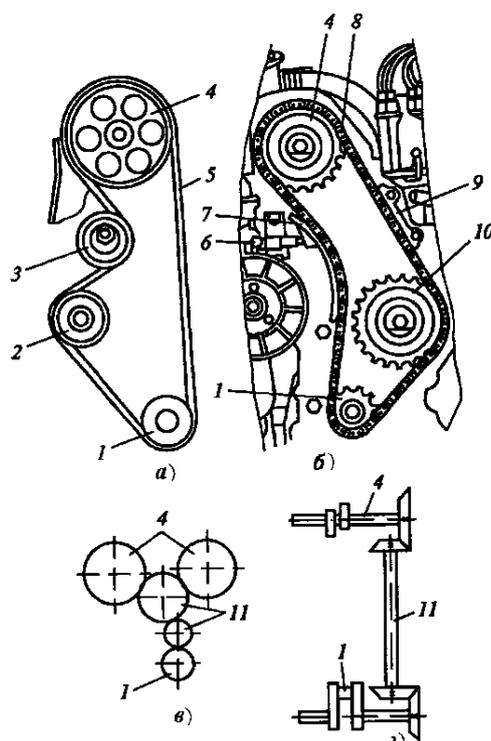


Рис. 2.7. Способы привода распределительного вала:

- a* – ременный; *б* – цепной; *в* – с зубчатым зацеплением; *г* – вальный;
- 1 – коленчатый вал; 2 – жидкостной насос; 3 – натяжной ролик;
- 4 – распределительный вал; 5 – приводной ремень; 6 – натяжитель цепи;
- 7 – башмак натяжителя цепи; 8 – цепь; 9 – успокоитель цепи;
- 10 – масляный насос; 11 – промежуточный вал

Преимущества *цепного привода* – возможность передачи момента вращения при больших расстояниях между коленчатым и распределительным валами, простота конструкции, небольшая масса деталей, низкий уровень шума.

Недостатки цепного привода – быстрое изнашивание и растяжение цепи, вибрация под действием переменных нагрузок. Для устранения этих недостатков в цепных приводах устанавливаются автоматические натяжные устройства и специальные направляющие колодки.

Чаще всего используются роликовые двухрядные или однорядные цепи [6–8].

В *ременном приводе* используется зубчатый ремень. Преимущества ременного привода: небольшая масса двигающихся деталей, низкий уровень шума, устойчивость регулировок, простота технического обслуживания, так как не требует смазывания и регулировки в процессе эксплуатации. Ремень изготавливается из синтетических материалов, армированных стекловолокном или проволочным кордом. Единственный его недостаток – недолговечность.

## Детали механизма газораспределения

*Распределительный вал* служит для управления клапанами механизма газораспределения. В бензиновых двигателях он также может использоваться для привода устройств системы зажигания, смазывания и питания. Вал состоит из опорных шеек и кулачков одинакового профиля.

Распределительный вал имеет: коренные (опорные) шейки; кулачки, расположение которых на валу обусловлено числом клапанов на цилиндр и последовательностью их открытия в зависимости от порядка работы двигателя, схемы привода, фазы газораспределения; зубчатое колесо привода прерывателя-распределителя и масляного насоса; эксцентрик привода топливного насоса. На переднем конце вала имеется шейка со шпоночным пазом под зубчатое колесо и резьбой для ее крепления [1–3].

Для восприятия осевых усилий от косозубых зубчатых колес при нижнем расположении распределительного вала используются стальные упорные фланцы. С одной стороны во фланец упирается ступица зубчатого колеса привода, а с другой – торец передней опорной шейки распределительного вала. Необходимый осевой зазор при этом обеспечивается распорным кольцом, установленным между ступицей зубчатого колеса и шейкой вала. Ширина кольца на 0,1–0,2 мм больше толщины фланца.

*Толкатели* передают усилия от кулачков распределительного вала к штангам или непосредственно к клапанам и воспринимают возникающие при этом боковые усилия. Толкатели изготавливаются в виде круглых стержней или стаканов, совершающих осевое возвратно-поступательное движение, а также в виде рычагов, совершающих качательные движения вокруг своей оси.

Толкатели изготавливаются из стали с низким и средним содержанием углерода и из чугуна [4–6].

Цилиндрические толкатели выполняются пустотелыми с плоской или сферической поверхностью днища радиусом 700–1000 мм, а кулачок распределительного вала – коническим с углом при вершине конуса 6–12°. При этом кулачок смещается относительно оси толкателя в сторону основания конуса на 2–3 мм, что обеспечивает проворачивание толкателя вокруг его оси с целью предотвращения неравномерного износа его боковой направляющей поверхности при работе.

*Штанга* передает усилие от толкателя к коромыслу и должна обладать определенной продольной жесткостью. Штанги изготавливаются трубчатыми или сплошными из стали или дюралюминия. На штанги из дюралюминиевых прутков напрессовывают стальные термообработанные наконечники. При использовании стальных трубок наконечники запрессовывают в трубках или получают путем высадки и завальцовывания торцов у трубки.

*Коромысло* представляет собой разноплечий рычаг таврового или двутаврового сечения, что повышает его жесткость. Оно передает усилия от штанги к клапану. Коромысла отливают из чугуна или стали методом точного литья.

В коротком плече коромысла имеется резьбовое отверстие под регулировочный винт и канал для подвода масла к сферической поверхности штанги и винта. На другом плече коромысла имеется сферическая поверхность (боек коромысла), которая опирается на стержень клапана. В средней части выполнено гладкое отверстие под ось качания коромысла. От осевого смещения коромысло удерживается упорной шайбой и стопорным пружинным кольцом [8].

## **Клапанный механизм**

Клапанный механизм включает в себя следующие детали: клапаны, направляющие втулки, седла клапанов, возвратные пружины, опорные тарелки, сухари, механизм вращения клапана.

*Клапаны* предназначены для герметизации цилиндра при тактах сжатия и рабочего хода и соединения его с трубопроводами впускной или выпускной системы при тактах впуска или выпуска в процессе газообмена.

Условия работы клапанов:

- большие динамические нагрузки;
- высокие скорости перемещения;
- неравномерный нагрев отдельных участков;
- повышенная коррозионно-активная среда.

Клапаны изготавливаются из легированных сталей с высоким содержанием хрома и никеля.

Клапан состоит из головки (или тарелки) и стержня. Различают клапаны с плоской, выпуклой и тюльпанообразной головками. Головки обычно имеют небольшой (около 2 мм) цилиндрический поясок и уплотнительную фаску, снятую под углом 45 и 30°. Уплотнительные фаски клапанов шлифуют и притирают к седлам, а стержни подвергают термообработке, шлифовке, полировке и покрывают хромом. Торцы стержней (3–5 мм) закаливают. На концах стержней имеются цилиндрические, конусные или фасонные проточки для крепления клапанных пружин.

Чтобы уменьшить напряженность выпускных клапанов, возникающую вследствие высоких температур, в ряде двигателей применяют натриевое охлаждение. С этой целью клапан выполняют полым с утолщенным стержнем и примерно на 2/3 полости заполняют металлическим натрием, температура плавления которого составляет около 97 К. В рабочем состоянии расплавленный натрий, перемещаясь внутри полости при возвратно-поступательном движении клапана, увеличивает интенсивность отвода теплоты от горячей головки к более холодному стержню и далее к направляющей втулке [6–8].

*Направляющие втулки* обеспечивают строго перпендикулярное относительно седла перемещение клапанов. Материалом для изготовления направляющих втулок служат в основном перлитный чугун и металлокерамика, представляющая собой смесь из порошков железа, меди и графита, которые подвергаются прессованию, спеканию в печи и пропитыванию маслом. От возможного просачивания в цилиндры масла, стекающего по стержням впускных клапанов, последние снабжаются самоподжимными манжетами.

*Клапанные пружины* обеспечивают плотное прилегание клапанов к седлам и своевременное их закрытие после завершения действия кулачков распределительного вала. Характеристику (жесткость) клапанных пружин подбирают из условий сохранения кинематической связи между деталями механизма газораспределения. Клапанные пружины изготавливаются из стальной проволоки диаметром 4–6 мм, легированной марганцем и хромом.

Пружины нижнеклапанных механизмов обычно имеют 8–10 витков, верхнеклапанных механизмов – 6–8 витков. Два крайних витка являются опорными. Их размещают вплотную к соседним виткам и шлифуют, создавая сплошную кольцевую поверхность, перпендикулярную оси пружины. Нижним концом пружина опирается на

головку блока цилиндров через специальную опорную тарелку, а верхним концом соединяется двумя сухарями с клапаном через верхнюю тарелку. Для этой цели сухари на внутренней поверхности имеют выступы, которые входят в проточку клапана, а гладкая наружная поверхность сухарей выполнена в виде усеченного конуса [4–6].

Два сухаря, установленные на клапан, образуют опорную коническую поверхность, которая сопрягается с опорной поверхностью проточки в верхней тарелке, и это соединение удерживается в замкнутом состоянии за счет предварительного сжатия пружины. Чтобы устранить возможность возникновения опасного для прочности пружин резонанса, на клапаны ставят по две пружины с навивкой витков в противоположные стороны или делают пружины с переменным шагом навивки.

*Седла клапанов.* Наиболее важным сопряжением, определяющим долговечность механизма газораспределения, является сопряжение седло–клапан, так как оно подвержено ударным нагрузкам при посадке клапана и значительным термическим перегрузкам. Седло клапана, с которым соприкасается уплотнительная фаска клапана, обрабатывают инструментом с углами заточки 15, 45 и 75° таким образом, чтобы уплотнительный поясок седла имел угол 45° и ширину около 2 мм. По своим размерам поясок должен подходить ближе к меньшему основанию конусной фаски клапана. Фаска клапана имеет меньший угол и соприкасается с седлом только узким пояском у своего большого основания, что обеспечивает хорошее уплотнение клапанного отверстия. Вставные седла изготавливаются в виде отдельных колец из специального чугуна, легированной стали или металлокерамики [8].

*Механизм вращения клапана.* Для поддержания в рабочем состоянии контактных поверхностей уплотнительных фасок выпускных клапанов иногда применяют специальные устройства, позволяющие принудительно поворачивать клапаны в процессе работы.

Механизм вращения клапана состоит из неподвижного корпуса, в наклонных канавках которого расположены пять шариков с возвратными пружинами, дисковой пружины и опорной шайбы с замочным кольцом. Механизм вращения клапана устанавливается в расточке, сделанной в головке блока цилиндров под опорной шайбой клапанной пружины. При закрытом клапане давление на дисковую пружину невелико, и она вогнута наружным краем вверх, а внутренним краем опирается в заплечик корпуса. Шарик отжат пружинами в исходное положение. В момент открытия клапана усилие со стороны клапанной

пружины возрастает, под действием чего дисковая пружина, выпрямляясь, передает усилие на шарики и вызывает их перемещение в углубление. Когда клапан закрывается, сила, действующая на дисковую пружину, уменьшается, и она, выгибаясь, освобождает шарики. Шарики под действием возвратных пружин перемещаются в исходное положение, что приводит к повороту клапана на некоторый угол (клапаны совершают 20–40 оборотов в минуту) [1–3].

В некоторых двигателях применяют менее эффективное, но более простое устройство, основанное на использовании способа крепления клапанной пружины на стержне клапана. Крепление пружины на клапане состоит из опорной тарелки, втулки и двух сухарей. Контакт между опорной тарелкой и втулкой имеет место только на небольшой торцевой поверхности втулки, поэтому во время работы двигателя под действием вибрации узла клапан-пружина скручивание пружины при подъеме клапана обеспечивает его проворачивание.

На рис. 2.8. показан клапанный механизм.

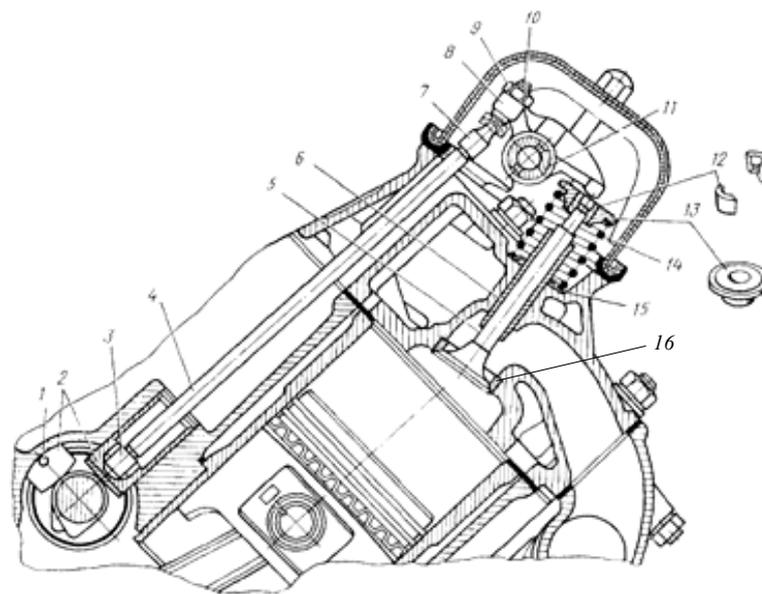


Рис. 2.8. Клапанный механизм:

- 1 – отверстие для выхода масла; 2 – толкатели; 3, 7 – соответственно нижний и верхний наконечники штанги; 4 – штанга; 5 – клапан; 6 – направляющая втулка клапана; 8 – коромысло; 9 – контргайка; 10 – регулировочный винт; 11 – ось коромысел; 12 – сухарь; 13 – тарелка; 14 – пружина; 15 – опорная шайба; 16 – седло клапана

*Тепловой зазор.* В процессе работы двигателя клапаны и детали привода клапана нагреваются, длина их увеличивается. В результате между седлом и головкой клапана при тактах сжатия и расширения может образовываться зазор, что ведет к обгоранию фасок клапана

и седла, их эрозионному изнашиванию и в конечном итоге к ухудшению герметичности цилиндра, а, следовательно, и резкому снижению технико-экономических показателей двигателя.

Для предотвращения этих явлений кинематическую цепь привода клапана при его закрытом состоянии размыкают, т. е. устанавливают зазор между торцом клапана и деталью привода, воздействующей на клапан (коромыслом или толкателем). В среднем тепловые зазоры в зависимости от типа двигателя составляют 0,15–0,30 мм для впускного клапана и 0,15–0,35 мм для выпускного [1–3].

## 2.3. Система охлаждения двигателя

Система охлаждения двигателя предназначена для поддержания оптимального его теплового состояния на всех режимах работы. Оптимальному тепловому состоянию соответствует температура охлаждающей жидкости в рубашке охлаждения от 85 до 95 °С.

На работе двигателя отрицательно сказываются как перегрев, так и его переохлаждение. Перегрев приводит к тепловому расширению и возможной потере подвижности деталей, коксованию масла, короблению и разрушению тарелок клапанов и головки блока цилиндров, ухудшению наполнения цилиндров свежим зарядом и возникновению детонации в двигателях с принудительным воспламенением.

При переохлаждении ухудшается смесеобразование, увеличиваются тепловые потери, затрудняется самовоспламеняемость в дизелях, возрастают потери мощности двигателя из-за повышения вязкости масла, увеличивается изнашивание.

Так как теплоотдача в детали двигателя, соприкасающиеся с горячими газами, значительна, то естественного рассеивания теплоты с их наружных поверхностей недостаточно для сохранения оптимальных температур. Поэтому для поддержания нормального теплового состояния двигателя необходимо применять принудительное охлаждение его деталей, несмотря на то, что это связано с увеличением тепловых потерь рабочего цикла двигателя [1–3].

Так как тепловое состояние существенно влияет на показатели работы двигателей, во многом определяя их экономичность, надежность и долговечность, к системам охлаждения предъявляют следующие требования:

- поддержание оптимального теплового состояния двигателя независимо от его режима работы и внешних условий;
- быстрый прогрев двигателя до рабочих режимов;

- не снижать мощность двигателя;
- продолжительное сохранение температуры двигателя после его останова;
- высокая надежность в условиях значительных вибраций;
- минимальные габаритные размеры и масса;
- технологичность и низкая металлоемкость;
- удобство при техническом обслуживании и ремонте.

В зависимости от способа отвода теплоты от двигателей системы охлаждения могут быть *жидкостными* или *воздушными*.

Преимущество воздушной системы охлаждения – простота в эксплуатации, однако оно не может полностью обеспечить нормального теплового состояния всех деталей двигателя главным образом из-за неравномерности их охлаждения. Возникает необходимость использования принудительного направленного движения воздуха в сочетании с обребрением деталей, что увеличивает уровень шума при работе двигателя и понижает его мощность [6–8].

Жидкий теплоноситель, у которого в 20–25 раз теплопроводность больше, чем у воздушного, обеспечивает необходимый теплоотвод и, главное, создает равномерное температурное поле охлаждения.

К недостаткам жидкостного охлаждения следует отнести наличие дорогостоящего теплорассеивающего узла (радиатора), большое число патрубков, шлангов и уплотнений, которые могут давать течь. В качестве охлаждающей жидкости в системе охлаждения используется вода или низкозамерзающая жидкость. Вода должна быть мягкой, чтобы снизить образование накипи в системе охлаждения. Низкозамерзающие жидкости представляют собой водный раствор этиленгликоля. Определенное соотношение этиленгликоля и воды обеспечивает температуру застывания раствора до минус 65 °С.

В охлаждающие жидкости добавляют антипенные и антифрикционные присадки. Несмотря на очевидные преимущества, этиленгликолевые низкозамерзающие жидкости имеют более низкую теплопроводность по сравнению с водой, следовательно, и меньшую интенсивность теплоотвода [4–6].

## **Жидкостная система охлаждения**

Жидкостная система охлаждения может быть *термосифонной* и *принудительной, открытой и закрытой*.

При термосифонной системе охлаждения жидкость циркулирует по рубашке охлаждения и соединенному с ней радиатору благодаря

различной плотности горячей и холодной жидкости в верхней и нижней частях системы (горячая жидкость поднимается, а холодная опускается).

Данная система охлаждения проста, но малонадежна и требует радиатор увеличенной емкости. Поэтому на автомобильных двигателях применяется принудительная система охлаждения, в которой движение охлаждающей жидкости осуществляется жидкостным насосом.

Принципиальная система охлаждения состоит из жидкостного и воздушного трактов и представлена на рис. 2.9.

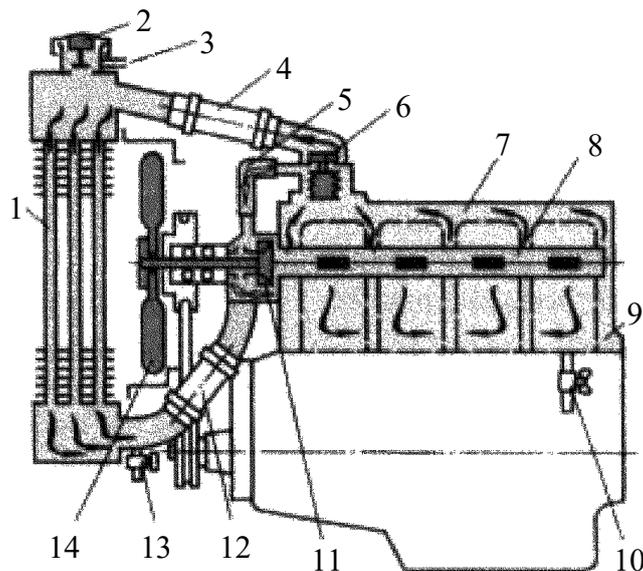


Рис. 2.9. Принципиальная система охлаждения двигателя:

- 1 – радиатор; 2 – пробка радиатора; 3 – паротводная трубка; 4 – трубопровод подвода воды в радиатор; 5 – трубопровод отвода воды к насосу (по малому кругу); 6 – термостат; 7, 9 – водяная рубашка головки цилиндров и блока; 8 – водораспределительный канал; 10, 13 – краники для слива воды; 11 – жидкостный насос; 12 – трубопровод отвода воды из радиатора; 14 – вентилятор

Жидкостной тракт системы включает в себя: рубашку охлаждения, термостат, радиатор, жидкостной насос, расширительный бачок и трубопроводы.

Воздушный тракт системы состоит из радиатора, вентилятора и направляющих элементов тракта.

Открытая система сообщается с окружающей средой непосредственно, а закрытая – с помощью специальных клапанов, размещенных, как правило, в пробке радиатора, которые позволяют поднять давление и температуру кипения охлаждающей жидкости, тем самым

повысить рабочую температуру жидкости, благодаря чему можно уменьшить габаритные размеры радиатора.

Закипевшая охлаждающая жидкость резко снижает эффективность системы охлаждения, так как в этом случае в жидкости образуются пузырьки пара, в результате принудительная циркуляция жидкости замедляется. Поэтому современные ДВС имеют закрытую жидкостную систему охлаждения [1–3].

Принцип действия системы охлаждения заключается в следующем: жидкостной насос, приводимый от коленчатого вала, засасывает жидкость из нижней части радиатора и нагнетает ее в рубашку охлаждения. Проходя по каналам рубашки, жидкость охлаждает цилиндры и головку блока цилиндров. Затем она проходит через верхний бачок радиатора, куда по множеству трубок поступает в нижний бачок радиатора. Протекая через сердцевину радиатора, охлаждающая жидкость передает теплоту окружающему воздуху и охлаждается. Далее она снова засасывается насосом. Этот путь охлаждающей жидкости называют циркуляцией по большому кругу.

На пути охлаждающей жидкости из рубашки в верхнем патрубке устанавливается термостат, представляющий собой клапан, который автоматически в зависимости от температуры изменяет направление ее движения. Если жидкость холодная, клапан термостата перекрывает проход жидкости в радиатор и направляет ее сразу в насос – циркуляция по малому кругу [4–6].

Клапан термостата начинает открываться, пропуская охлаждающую жидкость в радиатор при температуре 70–87 °С.

Интенсивному охлаждению жидкости в радиаторе способствует поток воздуха, создаваемый вентилятором. Скорость потока охлаждающего воздуха зависит от скорости движения автомобиля. Изменить скорость потока можно с помощью жалюзи, установленных перед радиатором.

Охлаждающая жидкость может подводиться в рубашку охлаждения двигателя через нижний пояс цилиндров, верхний пояс и головку блока цилиндров.

Подвод охлаждающей жидкости через нижний пояс цилиндров характерен для дизелей, которые допускают повышение температуры головки блока цилиндров, способствующее лучшему протеканию процесса воспламенения от сжатия.

Контроль над работой системы охлаждения осуществляется с помощью датчиков и указателя температуры, а также сигнализатора аварийной температуры охлаждающей жидкости.

Датчики устанавливаются в системе охлаждения двигателя, а указатель и сигнализатор – на приборной доске в кабине водителя [6–8].

## **Приборы и механизмы системы жидкостного охлаждения**

*Радиатор* является теплообменником системы охлаждения, где поступающая из двигателя жидкость передает теплоту потоку воздуха.

Радиатор состоит из верхнего и нижнего бачков, соединенных между собой трубками, образующими его охлаждающую решетку (сердцевину радиатора). Верхний бачок радиатора имеет наливную горловину с пробкой, а нижний – сливной кран. В наливную горловину впаяна пароотводная трубка, соединенная с расширительным бачком. Пароотводная трубка заглублена в радиатор, где отводимые пары конденсируются. К верхнему и нижнему бачкам припаяны боковые стойки. Стойки и пластина образуют каркас радиатора. Сердцевина радиатора состоит из нескольких рядов трубок, впаянных в верхний и нижний бачки. К трубкам крепятся тонкие охлаждающие пластины или гофрированные ленты, изготовленные из латуни, алюминия или красной меди.

*Пробка наливной горловины* в закрытых системах жидкостного охлаждения имеет два предохранительных клапана с уплотнительными резиновыми прокладками и пружинами. Паровой клапан регулирует на избыточное давление (0,145–0,160 МПа), воздушный клапан открывается при падении давления в системе против атмосферного не более чем на 0,01 МПа [1–3].

При нормальном функционировании клапанов система охлаждения только кратковременно может сообщаться с окружающей средой или полостью расширительного бачка.

*Жалюзи* устанавливаются перед радиатором, с их помощью регулируется количество воздуха, проходящего через сердцевину радиатора. Жалюзи изготавливаются в виде набора вертикальных или горизонтальных пластин – створок из оцинкованного железа, которые объединены общей рамкой и снабжены шарнирным устройством, обеспечивающим одновременный или групповой поворот их вокруг своей оси. Жалюзи прикрепляют к каркасу радиатора или к его наружной облицовке. Управление створками осуществляется вручную или с помощью устройства с термостатом.

*Жидкостной насос* создает в системе охлаждения принудительную циркуляцию жидкости. Применяют одноступенчатые жидкостные насосы центробежного типа. Привод насоса, как правило, работает от шкива коленчатого вала посредством клиноременной передачи.

Жидкостной насос состоит из корпуса, вала привода с крыльчаткой, ступицы для крепления шкива привода, самоподжимной уплотняющей манжеты, двух латунных обойм, резиновой манжеты, уплотняющей шайбы и пружинного кольца [4–6].

Вал насоса вращается в двух шарикоподшипниках.

Центробежные насосы одноступенчатого типа, рассчитанные на давление в 0,04–0,1 МПа, отличаются компактностью и обеспечивают достаточную подачу жидкости при сравнительно больших зазорах между крыльчаткой и стенками корпуса.

*Вентилятор* служит для создания воздушного потока, проходящего через сердцевину радиатора, для охлаждения жидкости, протекающей по трубкам.

Вентилятор состоит из ступицы со шкивом, к которой крепятся лопасти. Лопасти вентиляторов изготавливаются из листовой стали или из пластмассы. Привод вентилятора имеет автоматическое включение и выключение и осуществляется посредством:

- зубчатых колес;
- клиноременной передачи;
- электромагнитной муфты;
- гидравлической муфты;
- автономного электрического привода;

Вентилятор устанавливают непосредственно за радиатором. Для повышения эффективности работы вентилятора его иногда размещают в направляющем кожухе, закрепленном на радиаторе. На привод вентилятора затрачивается 3–5 % мощности двигателя. Вентилятор повышает уровень шума двигателя. Поэтому стремятся обеспечить эффективную работу системы охлаждения с минимальными энергетическими затратами.

*Термостат* предназначен для ускорения прогрева двигателя при пуске и поддержания нормального теплового режима на всех режимах его работы.

Термостаты по конструкции могут быть с жидкостным и твердым наполнителями [7–8].

Жидкостной термостат показан на рис. 2.10, а и состоит из корпуса 1 с окнами, гофрированного баллона 2 и клапана 5. Нижняя часть гофрированного баллона жестко соединена с кронштейном 8 корпуса. К верхней части баллона прикреплен шток 3 с клапаном. Шток может перемещаться в направляющей корпуса. Иногда в клапане термостата делают небольшое отверстие и канавку на его кромке для выхода воздуха при заливке жидкости в систему охлаждения.

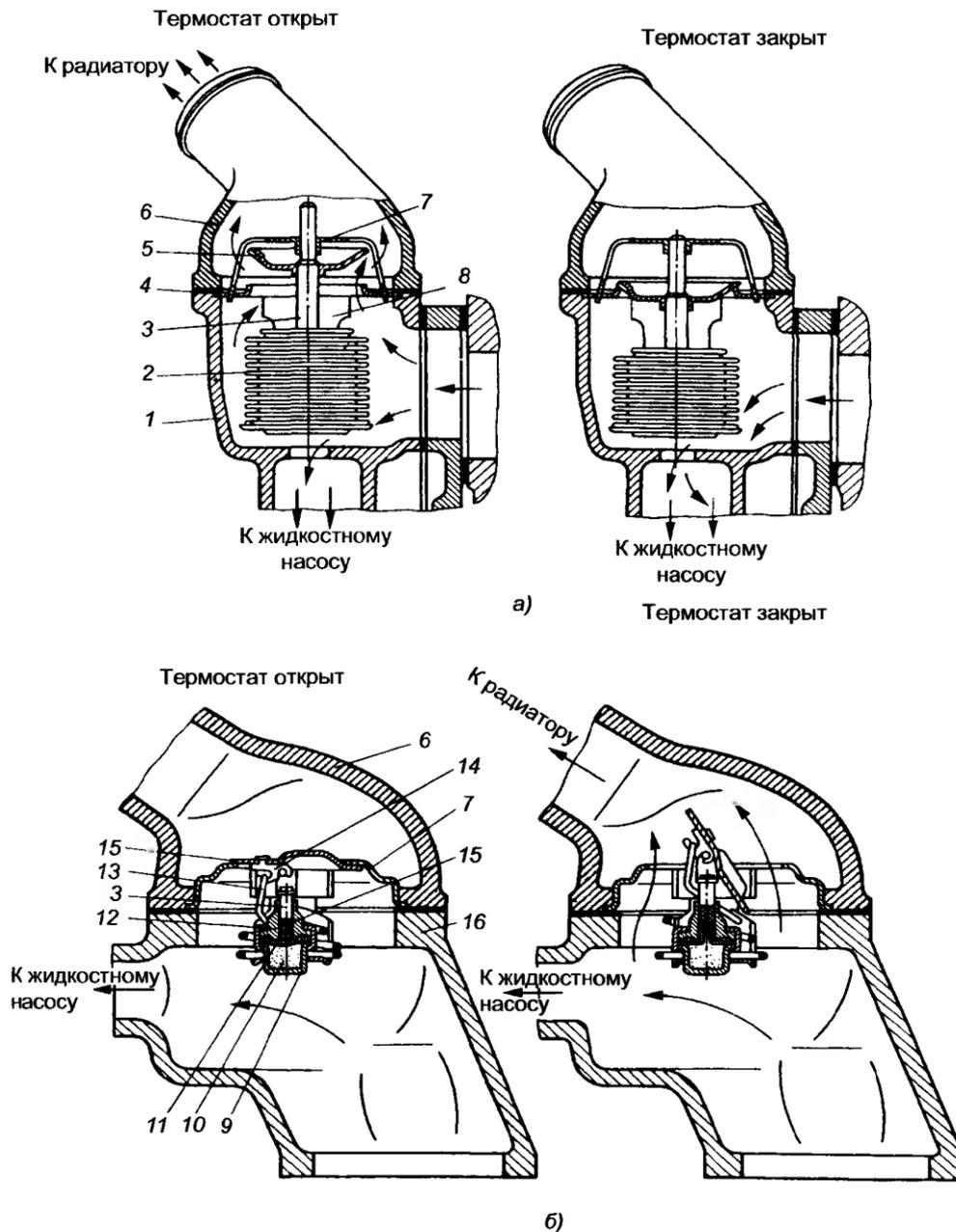


Рис. 2.10. Работа термостата:

- а* – жидкостного; *б* – с твердым наполнителем; 1 – корпус жидкостного насоса; 2 – гофрированный баллон; 3 – шток; 4 – прокладка; 5 – клапан термостата; 6 – патрубок для отвода горячей жидкости; 7 – корпус термостата; 8 – кронштейн; 9 – баллон термостата; 10 – твердый наполнитель; 11 – резиновая мембрана; 12 – направляющая втулка; 13 – возвратная пружина; 14 – коромысло клапана; 15 – буфер; 16 – впускной трубопровод

В запаянном гофрированном баллоне находится охлаждающая жидкость (70 % этилового спирта и 30 % воды). Воздух из баллона откачан, и при нормальных условиях, т. е. при температуре охлаждающей жидкости менее 70 °С, баллон сжат, а клапан закрыт. Жидкость по перепускному каналу поступает к насосу, минуя радиатор (малый

круг циркуляции). По мере прогрева двигателя охлаждающая жидкость нагревается, при температуре свыше 73 °С охлаждающая жидкость, находящаяся в баллоне, начинает испаряться, давление в баллоне повышается и клапан открывается, направляя ее через радиатор (большой круг циркуляции). При температуре 88–94 °С клапан термостата открыт полностью.

В термостатах с твердым наполнителем в качестве рабочего тела используется церезин (нефтяной воск) с медной стружкой, обладающий большим коэффициентом объемного расширения.

К корпусу термостата, представленного на рис. 2.10, б, пружиной 13 постоянно прижимается клапан 5, шарнирно соединенный со штоком 3. Шток опирается на резиновую мембрану 11, которая зажата баллоном 9 и направляющей втулкой. Пока двигатель не прогреет, наполнитель (церезин) находится в твердом состоянии и клапан термостата закрыт. При достижении температуры охлаждающей жидкости 70 °С церезин плавится, объем его увеличивается. При этом он нажимает на мембрану, она прогибается вверх и давит через буфер 15 на шток, который поворачивает клапан 5, вследствие чего охлаждающая жидкость поступает в радиатор. При снижении температуры охлаждающей жидкости объем наполнителя уменьшается и клапан термостата под действием возвратной пружины закрывается [1–3].

Ни в коем случае нельзя эксплуатировать двигатель без термостата. В холодное время года двигатель без термостата прогревается долго и работает при низкой температуре охлаждающей жидкости. В результате ускоряется износ двигателя, увеличивается расход топлива, происходит обильное отложение смолистых веществ, не обеспечивается нормальная температура воздуха в кабине автомобиля. Прогрев двигателя без термостата увеличивает износ его на величину, соответствующую пробегу 150...200 км.

В теплое время года при отсутствии термостата большая часть охлаждающей жидкости будет циркулировать по малому кругу (через рубашку охлаждения двигателя), минуя радиатор, что может вызвать перегрев двигателя с последующим заклиниванием его деталей.

## **Пути циркуляции охлаждающей жидкости по системе охлаждения**

Для быстрого прогрева после запуска холодного двигателя охлаждающая жидкость не должна проходить через радиатор. Поэтому термостат закрывает доступ охлаждающей жидкости в радиатор, и она циркулирует по малому кругу, минуя сердцевину радиатора.

Насос нагнетает охлаждающую жидкость в рубашку охлаждения блока цилиндров. Оттуда через окна жидкость проходит в рубашку охлаждения головки блока цилиндров, нагревается и по каналу поступает в термостат. Пройдя через перепускной клапан, жидкость возвращается в жидкостный насос [4–6].

Поскольку жидкость не проходит через сердцевину радиатора, она быстро нагревается, поднимая температуру двигателя до 78...82 °С.

При прогреве двигателя не рекомендуется открывать заслонку воздухопритока и включать электродвигатель отопителя кузова, так как отопитель кузова соединен параллельно с радиатором и термостат не отключает его от двигателя.

Основной клапан термостата начинает открываться, когда температура охлаждающей жидкости достигает 78...82 °С. При температуре 94 °С он уже полностью открыт и охлаждающая жидкость начинает циркулировать по большому кругу. Из жидкостного насоса она поступает в рубашку охлаждения блока цилиндров, а затем через окна – в рубашку охлаждения головки блока цилиндров и через канал в термостат; пройдя через основной клапан, жидкость идет в верхний бачок радиатора. Далее, опускаясь к нижнему бачку, жидкость охлаждается при прохождении через узкие каналы трубок и из нижнего бачка через патрубки и шланги поступает в жидкостный насос. При этом, если открыт краник отопителя кузова, горячая жидкость из рубашки охлаждения поступает в отопитель кузова. Из отопителя жидкость по шлангу возвращается в полость разрежения жидкостного насоса [6–8].

## **Воздушная система охлаждения**

Система воздушного охлаждения двигателей состоит из ряда элементов, регулирующих ее работу и поддерживающих заданный тепловой режим двигателя.

- Принципиальная система воздушного охлаждения включает в себя:
- подкапотное пространство, закрытое кузовными панелями;
  - аксиальный или центробежный вентилятор с направляющим аппаратом, приводимый в действие коленчатым валом двигателя;
  - направляющие панели «рубашки» охлаждения;
  - органы, управляющие расходом воздуха в виде заслонок, управляемых термостатами, дросселирующих вход и выход воздуха, или автоматической муфты регулирования частоты вращения лопастей вентилятора;
  - датчик температуры и показывающий прибор в кабине водителя;
  - оребрение цилиндров и их головки [1–3].

По сравнению с жидкостной системой охлаждения воздушная имеет ряд преимуществ:

- простота и удобство в эксплуатации;
- отсутствие дорогостоящих узлов и агрегатов;
- меньшая масса двигателя;
- более быстрый прогрев двигателя;
- пониженная чувствительность к колебаниям температуры, что особенно важно при эксплуатации автомобиля в районах с жарким или холодным климатом.

К недостаткам воздушной системы охлаждения следует отнести:

- повышенный уровень шума, создаваемый вентилятором;
- большую напряженность отдельных деталей двигателя вследствие их неравномерного охлаждения;
- большой расход мощности на привод вентилятора (10–15 % мощности двигателя) [1–3].

## 2.4. Смазочная система

Смазочная система предназначена для подачи масла к трущимся поверхностям с целью уменьшения трения, охлаждения поверхностей и удаления продуктов изнашивания из зон трения.

Если рабочие поверхности деталей абсолютно сухие и непосредственно соприкасаются одна с другой, то такое трение называется сухим. Работа механизмов при сухом трении требует значительных затрат энергии и сопровождается повышенным изнашиванием, а также значительным выделением теплоты.

Трение между рабочими поверхностями, разделенными достаточно толстым слоем масла, называется жидкостным. В этом случае усилие, необходимое для перемещения деталей, значительно сокращается и резко уменьшается их изнашивание. В ДВС жидкостное трение удается осуществить в основном только в подшипниках коленчатого вала на рабочих режимах. Остальные сопряженные пары движутся возвратно-поступательно или качаются, поэтому на их поверхностях не удается сохранить масляный слой достаточной толщины. Такое трение, когда рабочие поверхности разделены лишь тонкой пленкой масла (0,1 мм и менее), называется граничным. В зависимости от толщины пленки граничное трение может быть полужидкостным или полусу-

хим. Последнее характеризуется возможностью «схватывания» микровыступов трущихся поверхностей, склонностью к задирам и эрозивному изнашиванию [1–3].

Полужидкостное трение наиболее характерно для деталей цилиндропоршневой группы. В паре «выпускной клапан–направляющая втулка» возможно возникновение полусухого трения.

Нельзя допускать и избыточного смазывания, так как это может привести к попаданию масла в камеру сгорания и на электроды свечей зажигания, вследствие чего увеличивается нагарообразование на днищах поршней, стенках камеры сгорания и клапанах. Это приводит к перегреву и перебоям в работе двигателя, а также к перерасходу масла.

Требования, предъявляемые к смазочной системе:

- бесперебойная подача масла к трущимся деталям на всех режимах работы двигателя, на подъемах и спусках, а также при крене автомобиля, с учетом температуры окружающей среды от +50 до –50 °С, при положительных и отрицательных горизонтальных и вертикальных ускорениях;

- достаточная степень очистки масла от механических примесей;

- продолжительная работа двигателя под нагрузкой без перегрева масла;

- прочная конструкция;

- удобство технического обслуживания [4–6].

В зависимости от способа подачи масла к трущимся поверхностям различают следующие способы смазывания:

- разбрызгивание и посредством масляного тумана;

- под давлением;

- комбинированное.

Под давлением масло подводится к трущимся деталям из главной масляной магистрали, давление в которой создается насосом.

Разбрызгивание осуществляется специальными форсунками или подвижными частями КШМ (путем создания масляного тумана, стекающего в картер масла).

Комбинированная система смазывания сочетает в себе первые два способа.

Под давлением масло подводится к коренным и шатунным подшипникам коленчатого вала, опорам распределительного вала, сочленениям привода ГРМ, зубчатым колесам привода распределительного вала, топливному насосу высокого давления дизеля.

В некоторых двигателях под давлением смазываются сопряжения верхней головки шатуна с поршневым пальцем [4].

Разбрызгиванием масло подается на зеркало цилиндра из отверстия в кривошипной головке шатуна, а также разбрызгивается форсунками на днище поршня. Форсунки могут быть расположены и в нижней части цилиндра.

Существует способ смазывания самотеком, когда подача масла осуществляется по каналам из резервуаров, карманов и различных углублений, расположенных выше смазываемых поверхностей.

В зависимости от места размещения основного запаса масла смазочные системы могут быть с «мокрым» или «сухим» картером.

Наибольшее распространение на автомобильных двигателях получили смазочные системы с «мокрым» картером, которые имеют более простую конструкцию. В этом случае основной запас масла находится в поддоне картера и при работе двигателя масло подается к трущимся деталям масляным насосом.

В системах с «сухим» картером основной запас масла содержится в отдельном масляном баке и масло подается к трущимся деталям нагнетающей секцией масляного насоса. Стекающее в поддон масло полностью удаляется из него откачивающими секциями масляного насоса и вновь подается в масляный бак [1–3].

Смазочная система с «сухим» картером обеспечивает продолжительную работу на крутых подъемах, спусках и при кренах без утечки масла через уплотнительные манжеты коленчатого вала, а также дает возможность уменьшить высоту двигателя.

Смазочная система включает в себя масляный насос, резервуар для масла (поддон картера), маслоприемник с сетчатым фильтром первичной очистки масла, масляные фильтры, масляные каналы и маслопроводы, масляный радиатор, редукционный и перепускные клапаны, маслозаливную горловину с крышкой, приборы контроля уровня и давления масла, приборы вентиляции картера.

## 2.5. Система питания бензиновых, газовых и дизельных двигателей

Система питания предназначена для хранения топлива, приготовления горючей смеси, ее подачи в цилиндры двигателя и отвода из них продуктов сгорания.

В зависимости от выполняемых функций элементы системы питания делятся на три группы:

- приборы, обеспечивающие подачу воздуха;
- приборы, обеспечивающие подачу топлива;
- приборы, обеспечивающие отвод отработавших газов в окружающую среду.

Система питания карбюраторного двигателя состоит из топливного бака, топливного насоса, воздушного фильтра, карбюратора, топливопроводов, впускного и выпускного трубопроводов, трубы глушителей и самих глушителей [1–3].

Топливо из бака подается насосом по топливопроводам в карбюратор. Через воздушный фильтр в карбюратор поступает воздух. Приготовленная в карбюраторе из топлива и воздуха горючая смесь подается в цилиндры двигателя по впускному трубопроводу. Отработавшие газы отводятся из цилиндров двигателя в окружающую среду через выпускной трубопровод, трубу глушителей, основной и дополнительный глушители.

В системе питания двигателей грузовых автомобилей обязательными элементами являются фильтры грубой и тонкой очистки топлива [1–3].

### Виды горючей смеси

Система питания карбюраторных двигателей служит для приготовления горючей смеси из паров бензина и воздуха. Горючая смесь составляется из определенного количества бензина и воздуха. Для образования горючей смеси бензин должен находиться в парообразном состоянии, так как жидкий бензин гореть не может.

Различают три вида смеси бензина с воздухом:

- горючая смесь – смесь паров бензина с воздухом;
- рабочая смесь – смесь, которая образуется в результате смешивания горючей смеси с остаточными отработавшими газами внутри цилиндров двигателя;
- эмульсия – смесь жидкого бензина с воздухом. Такая смесь образуется в каналах карбюратора [6].

## Система питания карбюраторного двигателя

Приготовленная в карбюраторе смесь из топлива и воздуха называется горючей. В дальнейшем при поступлении горючей смеси в цилиндр двигателя к ней подмешиваются отработавшие газы, которые не до конца были удалены из цилиндра в предыдущем цикле. В этом случае смесь называется рабочей, так как именно она подвергается воспламенению.

Соотношение топлива и воздуха в горючей смеси оказывает существенное влияние не только на мощность двигателя, но и на его экономичность.

Чтобы оценить тот или иной состав горючей смеси, приготовляемой карбюратором для различных режимов работы двигателя, пользуются таким параметром, как коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  – отношение количества воздуха, действительно поступившего в цилиндр, к необходимому количеству воздуха для полного сгорания поступившего в цилиндр топлива [6–8].

Известно, что для полного сгорания 1 кг бензина требуется примерно 15 кг воздуха. Если соотношение воздуха и бензина в горючей смеси действительно такое, то горючая смесь нормальная и ее коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 1$ .

Если на 1 кг бензина в смеси приходится более 15 кг воздуха, но не более 17 кг, то такая горючая смесь считается обедненной.  $1,05 < \alpha < 1,15$ . Если содержание воздуха более 17 кг, то горючая смесь считается бедной,  $1,2 < \alpha < 1,25$ .

Горючую смесь, содержащую меньше 15 кг, но не менее 12 кг воздуха на 1 кг бензина, называют обогащенной,  $0,8 < \alpha < 0,95$ , а при содержании воздуха менее 12 кг – богатой,  $0,4 < \alpha < 0,7$ .

При коэффициентах избытка воздуха  $\alpha = 0,3$  и  $\alpha = 1,3$  горючая смесь от искры перестает воспламеняться. Такие составы горючей смеси называются переобогащенными и переобедненными и соответствуют верхнему и нижнему пределам воспламенения.

Наиболее экономичная работа двигателя достигается на обедненной смеси ( $1,05 < \alpha < 1,15$ ), а наибольшую мощность он развивает на обогащенных составах ( $0,8 < \alpha < 0,95$ ).

Чем беднее состав горючей смеси, тем вероятность полного сгорания топлива больше, и наоборот. Поэтому режимы работы двигателя, требующие обогащенной горючей смеси, а тем более богатой, являются неэкономичными. Они же становятся причиной наибольшего загрязнения окружающей среды продуктами неполноты сгорания топлива, среди которых есть отравляющие и канцерогенные вещества.

Любой из составов горючей смеси должен отвечать двум требованиям, которые обеспечивают качество горючей смеси:

- мелкое распыление топлива в слоях воздуха;
- однородность, т. е. равномерное распределение топлива в воздухе по всему объему смеси [4–6].

Двигатели называются карбюраторными, если горючая смесь готовится в карбюраторах. При этом используется пульверизационный способ, когда бензин из распылителя попадает в поток воздуха и при разнице скоростей движения бензина (5–7 м/с) и воздуха (50–150 м/с) капли бензина размельчаются, испаряются и хорошо перемешиваются с воздухом. Образованная горючая смесь поступает по впускному трубопроводу в цилиндры двигателя.

Горючая смесь может быть приготовлена и непосредственно во впускном трубопроводе путем впрыска топлива под давлением и специальных форсунок в слой воздуха в зоне впускных клапанов. Такие двигатели называются инжекторными [1–3].

## **Система питания бензинового двигателя с впрыском топлива**

В качестве топлива для карбюраторных двигателей используются бензины марок А-76, АИ-80, АИ-92, АИ-95, АИ-98: буква «А» означает, что бензин автомобильный, цифры 76, 80, 92, 95 и 98 – октановое число, которое характеризует стойкость данного бензина к детонации; буква «И» указывает на то, что октановое число определено для данного бензина исследовательским методом, отсутствие буквы «И» – что октановое число определено моторным методом. Так как условия испытания бензина при исследовательском методе несколько легче, чем при моторном, то октановое число по данному методу определяется более высоким. Так, один и тот же бензин, испытанный по моторному методу, характеризуется октановым числом 76, а по исследовательскому методу – октановым числом 80.

Детонация – отрицательное явление при сгорании бензо-воздушной смеси заключается в том, что в отдельных объемах цилиндров двигателя сгорание смеси протекает со сверхзвуковой скоростью (взрывное горение), достигающей до 3000 м/с. Скорость же нормального распространения пламени по объему камеры сгорания составляет 25–40 м/с. Отрицательное действие детонации состоит в том, что из-за сверхвысокой скорости сгорания в цилиндрах резко нарастает давление, при этом детали шатунно-поршневой группы КШМ подвергаются перегрузкам, двигатель теряет мощность, перегревается, увеличивается расход топлива [1–3].

Кроме свойств самого бензина на возникновение детонации оказывают влияние тепловый режим работы двигателя, нагрузка, степень сжатия. Поэтому определяющим фактором использования в данном двигателе бензина той или иной марки является его степень сжатия.

Современный пульверизационный карбюратор отличается от простейшего более чем десятком дополнительных устройств, и все же ему свойственна «стихийность» в смесеобразовании. К тому же карбюраторная система питания имеет предел адаптации к режимам работы двигателя.

По сравнению с карбюраторной системой система питания с впрыском топлива имеет ряд преимуществ:

- более высокая мощность двигателя;
- улучшенная экономичность;
- возможность точного регулирования состава горючей смеси;
- меньшая токсичность отработавших газов;
- возможность увеличения степени сжатия на 2–3 единицы.

Улучшение мощностных и экономических показателей достигается путем точного распределения топлива по цилиндрам и меньшего сопротивления системы впуска (нет карбюратора). Возможность увеличения степени сжатия возникает вследствие лучшей продувки цилиндров свежим зарядом воздуха, что снижает их температуру.

Недостатки системы впрыска [1–3]:

- высокая стоимость;
- сложность технического обслуживания, требующая специального оборудования и высокой квалификации обслуживающего персонала;
- повышенные требования к качеству и очистке бензина.

В инжекторной системе подачи впрыск топлива в воздушный поток осуществляется специальными форсунками – инжекторами.

По точке установки и количеству форсунок инжекторная система подачи топлива классифицируется:

- *моновпрыск* или центральный впрыск – одна форсунка на все цилиндры, расположенная, как правило, на месте карбюратора (на впускном коллекторе). В настоящее время непопулярна;
- *распределенный впрыск* – каждый цилиндр обслуживается отдельной изолированной форсункой во впускном коллекторе. В то же время различают несколько типов распределенного впрыска [1–3]:
  - *одновременный* – все форсунки открываются одновременно;
  - *попарно-параллельный* – форсунки открываются парами, причем одна форсунка открывается непосредственно перед циклом впуска,

а вторая перед тактом выпуска. В связи с тем, что за попадание топливно-воздушной смеси в цилиндры отвечают клапаны, это не оказывает сильного влияния. В современных моторах используется фазированный впрыск, попарно-параллельный используется только в момент запуска двигателя и в аварийном режиме при поломке датчика положения распределительного вала ДПРВ (так называемой фазы);

– *фазированный впрыск* – каждая форсунка управляется отдельно, и открывается непосредственно перед тактом впуска

– *прямой впрыск* – форсунки расположены непосредственно возле цилиндров и впрыск топлива происходит прямо в камеру сгорания [1–3].

В настоящее время системами подачи топлива управляют специальные микроконтроллеры, этот вид управления называется электронным. Детали и узлы системы подачи топлива представлены на рис. 2.11. Принцип работы такой системы основан на том, что решение о моменте и длительности открытия форсунок принимает микроконтроллер, основываясь на данных, поступающих от датчиков.

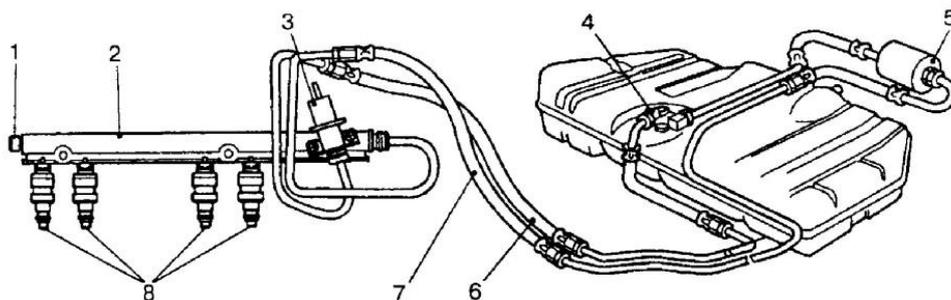


Рис. 2.11. Детали и узлы системы подачи топлива:

- 1 – штуцер для контроля давления топлива; 2 – рампа форсунок;  
3 – регулятор давления топлива; 4 – электробензонасос; 5 – топливный фильтр;  
6 – сливной топливопровод; 7 – подающий топливопровод; 8 – форсунки

В прошлом, на ранних моделях системы подачи топлива, в роли контроллера выступали специальные механические устройства.

Принцип работы современного инжектора сводится к тому, что в контроллер при работе системы поступает со специальных датчиков следующая информация:

- о положении и частоте вращения коленчатого вала;
- о массовом расходе воздуха двигателем;
- о температуре охлаждающей жидкости;
- о положении дроссельной заслонки;
- о содержании кислорода в отработавших газах (лямбда-зонд);
- о наличии детонации в двигателе;

- о напряжении в бортовой сети автомобиля;
- о скорости автомобиля [1–3];
- о положении распределительного вала (в системе с последовательным распределенным впрыском топлива);
- о запросе на включение кондиционера (если он установлен).

На основе полученной информации контроллер управляет следующими системами и приборами:

- топливоподачей (форсунками и электробензонасосом);
- системой зажигания;
- регулятором холостого хода;
- адсорбером системы улавливания паров бензина (если эта система есть на автомобиле);
- вентилятором системы охлаждения двигателя;
- муфтой компрессора кондиционера (если он есть на автомобиле);
- системой диагностики.

Изменение параметров электронного впрыска может происходить мгновенно, так как управление осуществляется программно, и может учитывать большое число программных функций и данных с датчиков. Также, современные системы электронного впрыска способны адаптировать программу работы под конкретный экземпляр мотора, под стиль вождения и многие другие характеристики и спецификации [4–6].

## **Система питания двигателя от газобаллонной установки**

Газовые двигатели – двигатели, работающие на газообразных топливах, широко применяются на современном автомобильном транспорте. При этом используется сжиженный нефтяной газ (СНГ), состоящий в основном из пропана и бутана, а также сжатый природный газ (СПГ) метан или компримированный природный газ. Запас сжатого или сжиженного газа хранят в специальных баллонах, поэтому и автомобили, работающие на газе, называют газобаллонными.

По сравнению с бензином сжиженный газ имеет следующие преимущества:

- в полтора-два раза меньше себестоимость;
- более высокая детонационная стойкость (октановое число 105);
- двигатель на газе работает мягче, а срок его службы увеличивается примерно в полтора раза;
- увеличивается периодичность замены моторного масла в полтора-два раза, так как уменьшается срок его старения;
- газ практически не содержит серы, которая вызывает коррозию деталей и их изнашивание [4–6];

- снижается токсичность отработанных газов (СО в два раза, СН на 50–100 %, NO<sub>x</sub> на 20–30 %);

- не накапливаются смолистые отложения на деталях и приборах системы питания, так как нефтяной газ растворяет их.

Сжатый природный газ по сравнению со сжиженным нефтяным газом имеет следующие преимущества:

- большая безопасность, так как он легче воздуха и при утечках улетучивается;

- дешевле;

- большие природные запасы;

- отработавшие газы экологически более чистые.

Недостатки газообразного топлива [6–8]:

- более низкая скорость сгорания по сравнению с бензином, в результате чего мощность двигателя снижается примерно на 7–12 %;

- увеличение металлоемкости автомобиля на 25–30 кг при сжиженном газе и 700–800 кг при сжатом;

- повышенный расход газа по сравнению с бензином;

- необходимость периодического освидетельствования баллонов для хранения газа на испытательных станциях;

- повышенные требования техники безопасности при использовании газобаллонных установок.

ГОСТ 20448–90 предусматривает выпуск сжиженного газа двух марок: СПБТЗ (смесь пропанобутановая техническая зимняя) и СПБТЛ (смесь пропанобутановая техническая летняя). Зимняя смесь отличается от летней повышенным содержанием пропана.

Сжатый природный газ выпускается двух марок: «А» и «Б». Они отличаются содержанием метана и азота.

Газобаллонные установки характеризуются тем, что топливо при любом агрегатном состоянии вытекает из баллонов под значительным давлением. Поэтому в этих системах питания нет насосов, но введен редуктор, который позволяет снижать давление газа до рабочего, равного примерно атмосферному, или несколько превышающего это давление.

При работе на сжатом газе исходное давление в баллонах составляет 20 МПа и более, поэтому эту систему питания оснащают баллонами высокого давления. По мере расхода газа давление в баллонах снижается [6–8].

При работе на сжиженном газе давление в баллоне не превышает 1,6–2,0 МПа. Баллоны этих установок относятся к баллонам низкого давления. Давление в них изменяется только в зависимости от состава

газовой смеси и температуры окружающей среды. При любом количестве жидкого газа в баллоне давление в нем всегда будет равно давлению насыщенных паров топлива для условий окружающей среды. Давление насыщенных паров основных компонентов СНГ пропана и бутана при изменении температуры от  $-40$  до  $+40$  °С изменяется от 0,12 до 1,7 и от 0,18 до 0,39 МПа соответственно.

В обоих случаях в системе предусматривается фильтр для улавливания твердых частичек (окалины и др.) и теплообменник, размещаемый отдельно или в общем корпусе с редуктором. Для сжиженного газа теплообменник служит испарителем при выходе из баллона, а для сжатого – подогревателем. Подогреватель необходим в системе сжатого газа, так как резкое снижение давления (расширение) при наличии влаги в газе может вызвать замерзание ее и нарушить нормальную работу системы вследствие закупоривания магистральных трубок [1–3].

Несмотря на то, что современные газобаллонные установки отличаются высокой надежностью, необходимо помнить о том, что газ легко смешивается с воздухом, образуя взрывоопасные концентрации. Поэтому при работе двигателя на газе необходимо соблюдать ряд требований:

- 1) в закрытом гараже пускать двигатель и выезжать из гаража только на бензине;
- 2) при обнаружении утечки газа не оставлять автомобиль в гараже на хранении, если утечка идет через баллон, выпустить газ в окружающую среду;
- 3) коническая резьба штуцеров и вентиляей должна быть смазана свинцовым суриком;
- 4) в случае вспышки газа под капотом автомобиля отключить и газ, и бензин, перекрыть расходный вентиль, а для быстрой выработки газа увеличить частоту вращения коленчатого вала двигателя, при тушении огня баллон следует поливать водой для его охлаждения;
- 5) баллон необходимо освидетельствовать на испытательных станциях каждые два года [1–3].

## **Устройство и работа системы питания дизеля**

В системе питания дизелей используют жидкое топливо, которое получают в результате прямой перегонки нефти при температуре  $230$ – $380$  °С. Для получения необходимых свойств к топливу прямой перегонки добавляют керосиногазойлевые фракции различных технологических процессов переработки нефти и газовых конденсатов.

В зависимости от условий применения выпускают три марки дизельного топлива:

- Л (летнее) – для температуры окружающего воздуха 0 °С и выше;
- З (зимнее) – для температуры окружающего воздуха минус 20 °С и выше;
- А (арктическое) – для температуры окружающего воздуха минус 50 °С и выше [4–6].

Эти топлива отличаются между собой фракционным составом, вязкостью, плотностью, температурами застывания, помутнения и другими показателями.

Ввиду особенностей устройства системы питания дизелей топливо для них должно обладать достаточной прокачиваемостью и особенно фильтруемостью.

Дизели по сравнению с карбюраторными двигателями имеют ряд преимуществ, и основным из них является высокая топливная экономичность. Так, расход топлива для получения единицы мощности у дизелей на 25–30 % меньше, чем у карбюраторных двигателей. С учетом большей плотности дизельного топлива по сравнению с бензином запас хода автомобиля с дизелем на одной заправке топливом больше на 35–45 %, чем запас хода автомобиля с карбюраторным двигателем при прочих равных условиях. Себестоимость дизельного топлива меньше, чем бензина, поскольку его получают в основном прямой перегонкой [6].

Дизели надежнее. Для них характерны стабильная экономичность во всем диапазоне нагрузок, лучшая приемистость и возможность работы с нагрузкой без полного прогрева.

Принципиальным отличием системы питания дизелей от карбюраторных двигателей является то, что воздух и топливо в цилиндры дизеля подаются отдельно и там образуют горючую смесь. Поэтому дизели называют двигателями с внутренним смесеобразованием. Однако время на смесеобразование в этом случае существенно сокращается, а условия его протекания усложняются и зачастую ухудшаются.

Для обеспечения оптимального распыления топлива в слой сжатого воздуха и одновременного его испарения используют высокое давление впрыска, которое достигает 30–150 МПа. Такое давление создают и обеспечивают впрыск специальные приборы высокого давления:

- топливный насос высокого давления (ТНВД);
- форсунки;

- топливопровод высокого давления.

Прежде чем попасть в магистраль высокого давления, топливо из топливного бака предварительно нагнетается по магистрали низкого давления (0,05–0,15 МПа), в состав которой входят:

- фильтры грубой и тонкой очистки топлива;
- топливоподкачивающий насос (насос низкого давления);
- топливопроводы низкого давления [6–8].

Работа системы питания дизельного двигателя заключается в следующем. От зубчатых колес газораспределения приводится в действие вал топливного насоса высокого давления, который, в свою очередь, приводит в действие топливоподкачивающий насос. В результате из бака по трубкам через фильтр грубой очистки топливо засасывается в полость подкачивающего насоса, откуда по топливопроводам через фильтр тонкой очистки подается к ТНВД, с помощью которого топливо не только подается под высоким давлением к форсункам, но и дозируется соответственно с нагрузкой двигателя. Поступающее из ТНВД по топливопроводу высокого давления топливо через форсунку впрыскивается в цилиндр.

Впускная полость ТНВД снабжена перепускным клапаном, поддерживающим в ней давление 0,15–0,17 МПа вне зависимости от расхода топлива. Избыточное топливо по трубкам возвращается в бак. Таким образом, данная система питания является проточной. Часть топлива перепускается также в трубку из фильтра тонкой очистки через калиброванное отверстие, расположенное в штуцере [7].

Непрерывная циркуляция топлива в проточной системе в отличие от тупиковой выравнивает его температуру, освобождает топливную магистраль от возможных пузырьков воздуха и паровых пробок. Топливо, просачивающееся через зазоры в форсунках, отводится в бак по трубке.

Первоначальное заполнение системы осуществляют ручным насосом, который объединен в один узел с подкачивающим насосом. Воздух из системы при ее заполнении и в процессе эксплуатации удаляют через отверстия, закрываемые пробками, а отстой из фильтра сливают через отверстие, закрываемое пробкой. Топливо тщательно очищают даже от мельчайших твердых частиц, которые могут повредить рабочие поверхности в насосе и форсунках. Топливо фильтруется не только фильтрами, но и при заливке в бак через сетку, установленную в его горловине, а также на входе в топливопровод через

сетку топливоприемника и на входе в форсунку с помощью фильтра, установленного в штуцере.

Данную систему питания относят к системам с разделенной топливной аппаратурой. Существует система, в которой насос высокого давления и форсунка объединены в один агрегат и образуют насос-форсунку. Топливопровод высокого давления в этом случае отсутствует. К насос-форсункам прибегают при необходимости повысить давление подачи топлива до 100 МПа и более [6–8].

## Глава 3. ТРАНСМИССИЯ

### 3.1. Виды трансмиссий

Трансмиссия (силовая передача) автомобиля (рис. 3.1) служит для передачи крутящего момента от двигателя к ведущим колесам и изменения величины и направления действия этого момента.

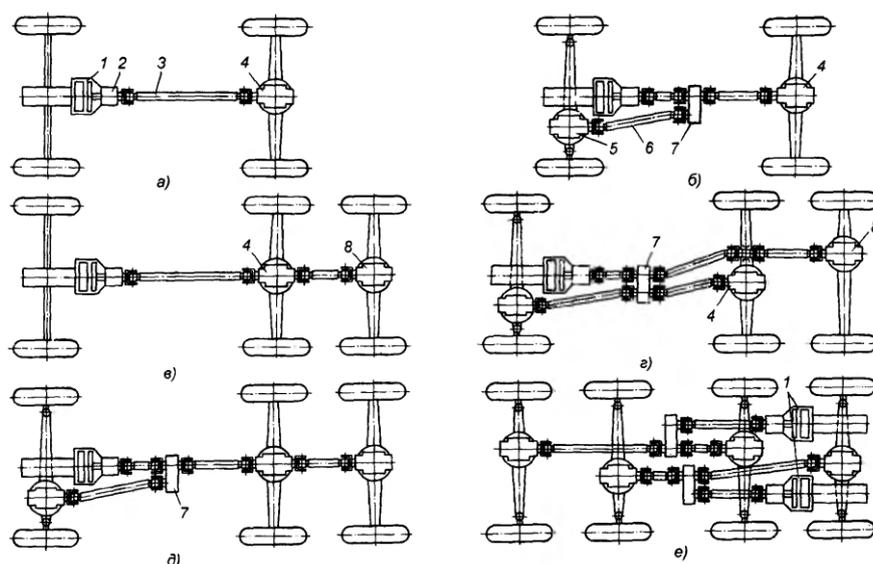


Рис. 3.1. Схемы трансмиссий автомобилей:

*а* – с одним задним ведущим мостом; *б* – с передним и задним ведущими мостами; *в* – с двумя задними ведущими мостами; *г* и *д* – с тремя ведущими мостами; *е* – с четырьмя ведущими мостами;

*1* – сцепление; *2* – коробка передач; *3* и *6* – карданные валы;

*4* и *8* – задние ведущие мосты; *5* – передний ведущий мост;

*7* – раздаточная коробка

Требования, предъявляемые к трансмиссии:

- обеспечение прямого и обратного направлений движения;
- обеспечение соответствия эксплуатационных режимов минимальному расходу топлива и эмиссии вредных веществ в отработавших газах [1–3].

В настоящее время наибольшее распространение получили автомобили с двумя или тремя мостами с механическими трансмиссиями. При наличии двух мостов ведущими могут быть оба или один из них, при наличии трех мостов – ведущими могут быть все три или два

задних. Число ведущих мостов характеризуется *колесной формулой* по общему числу колес и числу ведущих, например  $4 \times 2$ ;  $4 \times 4$ ;  $6 \times 4$ ;  $6 \times 6$  и т. д. Первая цифра обозначает общее число колес, вторая – число ведущих колес.

Если привод осуществляется на все колеса автомобиля (колесная формула  $4 \times 4$ ;  $6 \times 6$ ;  $8 \times 8$ ), то такие автомобили называют полноприводными. Они обладают повышенной или высокой проходимостью и способны двигаться в условиях бездорожья и преодолевать различные препятствия.

На некоторых полноприводных автомобилях крутящий момент может подводиться не к мостам, а к колесам одного борта. Такая схема трансмиссии называется *бортовой*.

Бортовая схема распределения крутящего момента применяется, когда необходимо обеспечить размещение внутри рамы какого-либо транспортируемого механизма или когда по конструктивным соображениям (например, при схеме ходовой части с равномерным расположением осей по базе) затруднено применение обычной трансмиссии с центральной раздачей крутящего момента. Указанная трансмиссия требует применения разрезных мостов. В такой схеме трансмиссии крутящий момент от двигателя через сцепление, коробку передач передается к раздаточной коробке, в которой изменяется направление потока мощности и момент делится симметричным коническим дифференциалом поровну между левым и правым бортом. От раздаточной коробки крутящий момент подводится к бортовым редукторам, а от них к колесным редукторам [1–3].

Трансмиссии с раздачей крутящего момента по колесам одного борта значительно сложнее, чем мостовые, и, кроме того, их нельзя унифицировать по узлам с трансмиссиями массовых неполноприводных автомобилей. Поэтому их применение весьма ограничено.

По характеру связи между двигателем и ведущими колесами трансмиссии разделяют на *механические, электрические, гидрообъемные* и *комбинированные (гидромеханические, электромеханические)*. Передаваемый трансмиссией на ведущие колеса крутящий момент может изменяться через определенные промежутки или плавно. В связи с этим различают *ступенчатые, бесступенчатые* и *комбинированные* трансмиссии. Получившие наибольшее применение в качестве преобразователей крутящего момента обычные вальные коробки передач и раздаточные коробки обеспечивают ступенчатое регулирование силы тяги на колесах. При этом на рис. 3.2, а видно, что характер получаемой тяговой характеристики далек от идеальной.

Совершенно другой характер связи между силой тяги на колесах и скоростью движения автомобиля дают бесступенчатые передачи (гидродинамические, гидрообъемные и электрические). Эти передачи обеспечивают преобразование крутящего момента без разрыва потока мощности. Тяговые характеристики автомобилей с такими преобразователями по форме близки к идеальным (рис. 3.2, б).

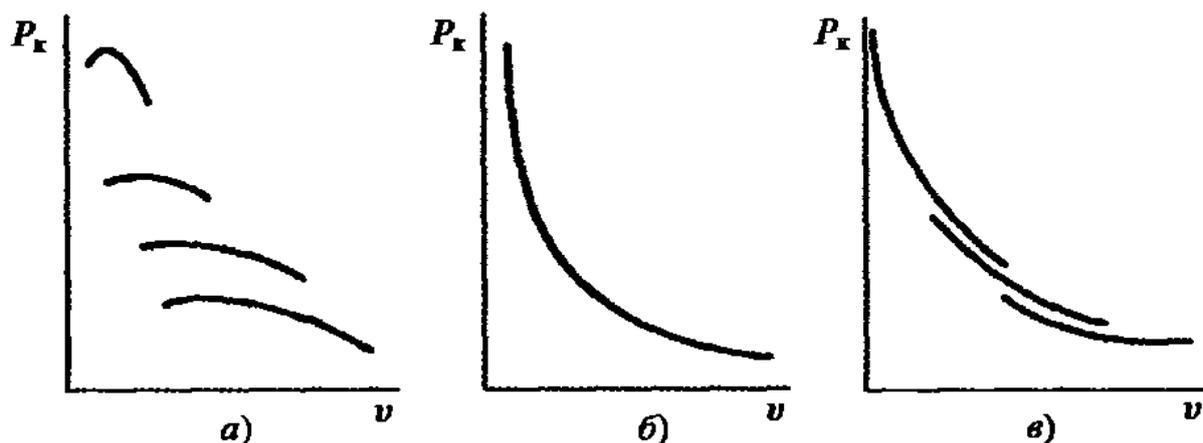


Рис. 3.2. Тяговые характеристики автомобилей с различными типами трансмиссий:  
 а – ступенчатая; б – бесступенчатая; в – комбинированная;  
 $P_k$  – сила тяги;  $v$  – скорость движения

Использование бесступенчатых передач позволяет уменьшить динамические нагрузки на двигатель и трансмиссию, обеспечить плавное трогание автомобиля с места, упростить управление автомобилем, повысить проходимость автомобиля вследствие непрерывного и плавного изменения силы тяги на ведущих колесах. Однако сложность технической реализации и ряд недостатков, связанных с габаритными размерами и высокой стоимостью, сдерживают широкое применение таких трансмиссий.

Кроме того, их недостатком является малый диапазон регулирования крутящего момента. По этой причине бесступенчатые передачи используются в трансмиссиях автомобилей не автономно, а в сочетании с дополнительными механическими редукторами, имеющими 2–4 ступени. Такие трансмиссии называют комбинированными. Характеристика комбинированной передачи приближается к идеальной (рис. 3.2, в) [1–3].

## 3.2. Бесступенчатые трансмиссии.

### Электрическая и электромеханическая трансмиссии

В электрической трансмиссии механическая энергия двигателя преобразуется в генераторе в электрическую и затем снова преобразуется в механическую в тяговых электродвигателях.

Основными элементами электрической трансмиссии (рис. 3.3, *а*) являются генератор 2, приводимый в действие двигателем 1, и электрические двигатели 3, расположенные непосредственно в ведущих колесах. Генератор и электродвигатели могут устанавливаться друг от друга на необходимом по условиям компоновки расстоянии, при этом связь между ними осуществляется проводами, по которым передается электроэнергия. Однако в таком виде трансмиссия применяется очень редко. Чаще для увеличения крутящего момента в трансмиссию вводятся элементы механической трансмиссии. При одном тяговом электродвигателе мощность от него к ведущим колесам передают карданная передача и ведущий мост (рис. 3.3, *б*).

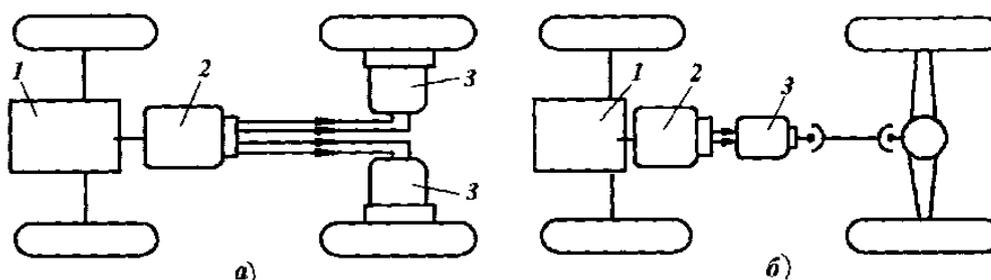


Рис. 3.3. Схемы электрической (*а*) и электромеханической (*б*) трансмиссий:  
1 – двигатель; 2 – генератор; 3 – электродвигатель

При установке электродвигателей в колесах используются планетарные зубчатые редукторы с передаточным числом от 15 до 20. Колесо с электродвигателем и колесным редуктором называется электромотор-колесом.

Электромотор-колесо (рис. 3.4) является наиболее сложным элементом электромеханической трансмиссии, состоящим из следующих частей: тягового электродвигателя, планетарного редуктора, ступицы колеса с подшипниковыми узлами, фрикционного тормозного механизма, шины с ободом. К конструкции электромотор-колесо могут также относиться отдельные узлы подвески, механизм переключения передач (при двухступенчатом редукторе) и некоторые другие элементы [1–3].

Электромеханические передачи нашли применение на автомобилях-самосвалах большой грузоподъемности. В частности, все самосвалы марки «БелАЗ» грузоподъемностью 75 т и выше оснащены электромеханическими трансмиссиями. В зарубежной практике электромеханические трансмиссии применяются также на самосвалах большой грузоподъемности и на многозвенных поездах высокой проходимости. Перспективным считается применение электромеханических трансмиссий на многоприводных автомобилях высокой проходимости и автобусах особо большой вместимости [1–3].



Рис. 3.4. Электромотор-колесо

## Гидрообъемная трансмиссия

Гидрообъемной называют передачу, состоящую из насоса высокого давления, объемного гидродвигателя, соединяющих их трубопроводов и системы подпитки (рис. 3.5). В гидрообъемных трансмиссиях основными параметрами, влияющими на преобразование и передачу мощности являются объем и гидростатическое давление подаваемой жидкости.

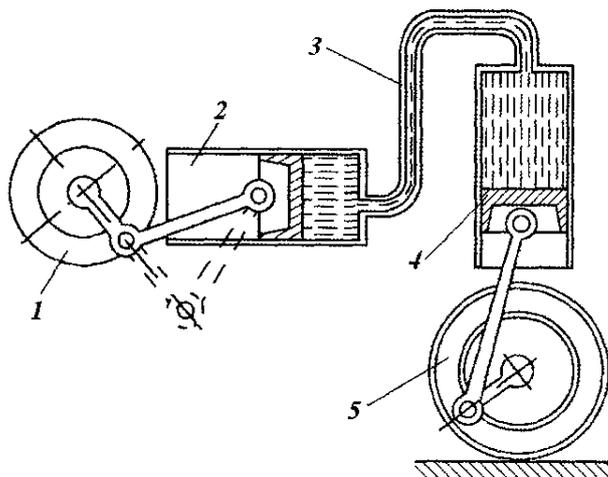


Рис. 3.5. Схема гидрообъемной передачи:  
1 – двигатель; 2 – гидронасос; 3 – трубопровод; 4 – гидродвигатель; 5 – колесо

Насос высокого давления 2 приводится в действие от двигателя внутреннего сгорания 1. В насосе механическая энергия преобразуется в гидростатическую энергию напора рабочей жидкости. По трубопроводу 3 энергия от насоса передается к гидродвигателю 4 и в нем преобразуется в механическую работу. Для того чтобы обеспечить не только передачу мощности, но и осуществлять преобразование крутящего момента, гидронасос или гидродвигатель выполняются регулируемы, т. е. они имеют возможность изменения объема подаваемой рабочей жидкости за один оборот приводного вала. В большинстве случаев регулируемы выполняются гидронасосы, а гидромоторы – нерегулируемы [1–3].

Гидрообъемные передачи нашли применение в маневровых тепловозах, в строительных и дорожных машинах, в тракторах, комбайнах и некоторых других сельхозмашинах. На автомобилях трансмиссия с активным гидрообъемным приводом применяется на автопоездах для привода колес прицепа. Факторами, сдерживающими широкое применение гидрообъемных трансмиссий на автомобилях, являются: высокая стоимость, ограниченный ресурс, большие габаритные размеры и масса гидромашин, отсутствие необходимых материалов для производства надежных уплотнений и трубопроводов высокого давления, низкий КПД.

## **Гидродинамическая и гидромеханическая трансмиссии**

В гидродинамической трансмиссии преобразование и передача мощности происходят за счет динамического (скоростного) напора жидкости. Устройством, которое позволяет осуществлять такое преобразование, является *гидротрансформатор*.

Гидротрансформатор представляет собой гидравлический механизм, который обычно располагается между двигателем и коробкой передач автомобиля. Он обеспечивает автоматическое изменение передаваемого от двигателя крутящего момента в соответствии с изменением нагрузки на выходном валу коробки передач. Гидротрансформатор состоит из трех колес с криволинейными лопатками (рис. 3.6): насосного 2, соединенного с корпусом 8 гидротрансформатора, и приводимого во вращение от коленчатого вала двигателя 1; турбинного 4, связанного с первичным валом 5 коробки передач; и реактора 3, закрепленного через муфту свободного хода 7 на пустотелом валу 6, соединенном с картером коробки передач.

Муфта свободного хода 7 позволяет колесу реактора 3 вращаться только в одном направлении попутно с вращением насосного колеса 2. Колеса гидротрансформатора установлены внутри корпуса 8, закрепленного на маховике 9 двигателя. Внутренняя часть корпуса 8 является рабочей полостью гидротрансформатора и заполняется циркулирующим под давлением маловязким маслом.

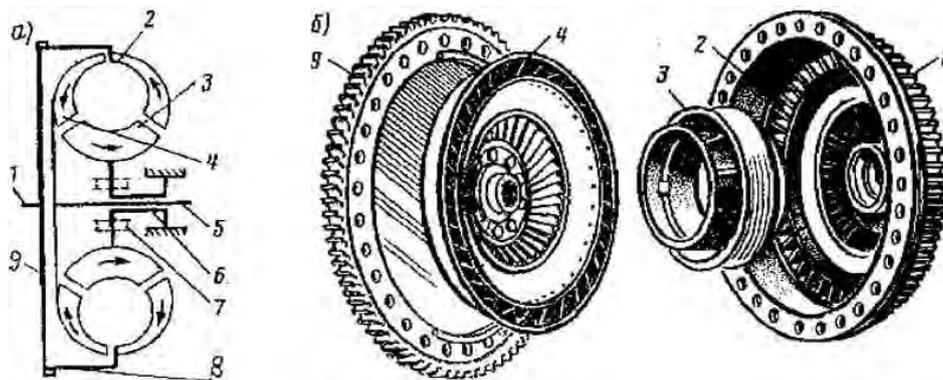


Рис. 3.6. Гидротрансформатор:  
а – схема работы; б – основные детали

При работе гидротрансформатора масло, нагнетаемое в рабочую полость, захватывается лопатками вращающегося насосного колеса 2, отбрасывается центробежной силой вдоль криволинейных лопаток к его периферии и поступает на лопатки турбинного колеса 4. В результате создаваемого при этом напора масла турбинное колесо 4 приводится в движение вместе с первичным валом 5 коробки передач. Далее масло поступает на лопатки колеса-реактора 3, изменяющего направление потока жидкости, и затем в насосное колесо, непрерывно циркулируя по замкнутому кругу рабочей полости и участвуя в общем вращении с колесами гидротрансформатора, как указано на рис. 3.6, а. Поток жидкости, выходящей из турбинного колеса 4, ударяется в лопатки колеса-реактора 3 с тыльной, по отношению к направлению вращения, стороны. Муфта свободного хода 7 при этом заклинивается, благодаря чему колесо-реактор становится неподвижным. Наличие неподвижного колеса-реактора способствует возникновению на его лопатках реактивного момента, действующего через жидкость на лопатки турбинного колеса дополнительно к моменту, передаваемому на него от насосного колеса.

Чем медленнее вращается турбинное колесо (по сравнению с насосным) из-за повышенной внешней нагрузки, приложенной к валу турбинного колеса от трансмиссии, тем значительнее лопатки

реактора изменяют направление проходящего через него потока жидкости и тем больший дополнительный момент передается от реактора турбинному колесу. В результате этого крутящий момент, передаваемый с вала турбины на трансмиссию, увеличивается и может в 2–3 раза превышать крутящий момент двигателя.

При снижении нагрузки на турбинном колесе 4 и значительном повышении числа его оборотов, направление потока жидкости, поступающего с лопаток турбины, изменяется, и жидкость ударяется в лицевую поверхность лопаток реактора 3, стремясь вращать его в обратную сторону общего вращения. Тогда муфта свободного хода 7, расклиниваясь, освобождает реактор, и он начинает свободно вращаться в одном направлении с насосным колесом 2. При этом ввиду отсутствия на пути потока жидкости неподвижных лопаток трансформация (изменение) момента прекращается, а КПД гидротрансформатора увеличивается [1–3].

Способность гидротрансформатора автоматически изменять соотношение моментов на валах в зависимости от соотношения частот вращения ведущего 1 и ведомого 5 валов, а, следовательно, и от внешней нагрузки является основной его особенностью. Таким образом, действие гидротрансформатора подобно действию коробки передач с автоматическим изменением передаточного числа.

Но так как диапазон изменения крутящего момента гидротрансформатором недостаточен для различных условий эксплуатации автомобилей, а также он не обеспечивает получение передачи заднего хода, поэтому на автомобилях и автобусах гидротрансформатор обычно устанавливают совместно с планетарной или вальной механической коробкой передач [4–6].

Однако у гидротрансформатора относительно низкий максимальный КПД (0,85–0,9) и незначительный коэффициент трансформации (2–4). Поэтому в некоторых конструкциях с целью резкого повышения КПД предусматривается блокировка гидротрансформатора, при которой насосное и турбинное колеса жестко соединяются друг с другом. Кроме того, при отклонении нагрузки от номинальной значение КПД резко снижается. Чтобы компенсировать эти недостатки и во время работы использовать зону наибольшего значения КПД, а также повысить передаваемый момент, гидротрансформатор комбинируют с элементами механической трансмиссии – сцеплением и ступенчатой коробкой передач или только с многоступенчатыми коробками. Дальнейшая

передача крутящего момента на ведущие колеса осуществляется карданной передачей и ведущими мостами. Такая комбинированная трансмиссия называется *гидромеханической*.

Автомобили с гидромеханической трансмиссией имеют значительно лучшую проходимость за счет плавного изменения силы тяги на колесах при движении и, особенно, при трогании с места. Существенным преимуществом автомобилей с гидромеханической трансмиссией является возможность движения с очень малыми скоростями и даже полной остановки машины с работающим двигателем и включенной передачей. Гидромеханическую трансмиссию применяют в машинах, работающих при значительных и частых изменениях нагрузки, например автобусах. Но сложность конструкции, большие масса, габаритные размеры и стоимость ограничивают применение гидромеханических трансмиссий в конструкции автомобилей [1–3].

### 3.3. Ступенчатые трансмиссии

Наибольшее распространение на современных автомобилях получили механические трансмиссии.

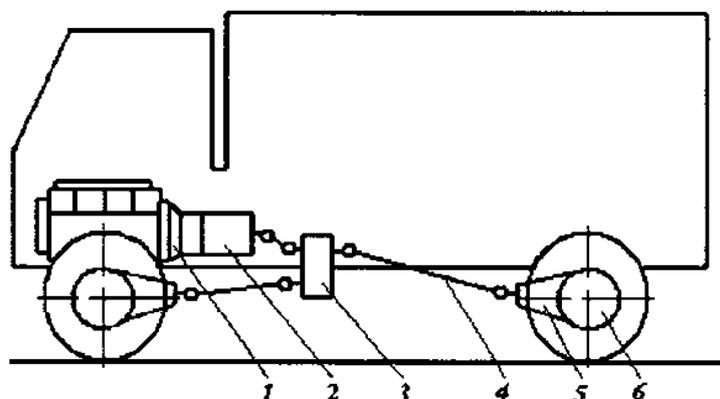


Рис. 3.7. Механическая трансмиссия полноприводного автомобиля:  
 1 – сцепление; 2 – коробка передач; 3 – раздаточная коробка;  
 4 – карданная передача; 5 – главная передача; 6 – дифференциал

Механическая трансмиссия автомобиля с одним ведущим задним мостом состоит из сцепления, коробки передач, карданной передачи и заднего ведущего моста, в который входят главная передача, дифференциал и полуоси. У автомобилей с колесной формулой  $4 \times 4$  в трансмиссию также входит раздаточная и дополнительная коробки, карданная передача к переднему ведущему мосту, передний ведущий мост и межосевой дифференциал [4–6].

Крутящий момент от двигателя через сцепление 1 передается к коробке передач 2. В коробке передач крутящий момент изменяется в соответствии с включенной передачей. Водитель выбирает передачу в зависимости от условий движения. Сцепление и коробка передач обычно конструктивно объединены в один блок с двигателем, образуя силовой агрегат. От коробки передач крутящий момент через карданную передачу 4 передается к главной передаче 5, в которой он увеличивается, и далее через дифференциал 6 и валы (полуоси) подводится к ведущим колесам. Дифференциал распределяет момент между правым и левым колесами и обеспечивает их вращение с различной угловой скоростью. Главная передача, дифференциал и валы, размещенные в общем картере, составляют ведущий мост. В трансмиссии переднеприводного автомобиля отсутствуют карданная передача и ведущий мост, привод же ведущих колес осуществляется карданными валами с шарнирами равных угловых скоростей. В состав трансмиссии полноприводного автомобиля дополнительно входит раздаточная коробка 3, в функции которой входит распределение крутящего момента между ведущими мостами и при необходимости его увеличение. В случае, если нагрузка на переднюю и заднюю оси распределяется неравномерно, в раздаточной коробке устанавливается межосевой дифференциал, который распределяет подводимый крутящий момент в определенной пропорции и позволяет колесам передней и задней осей вращаться с различной угловой скоростью. В некоторых случаях, когда возникает необходимость значительно повысить тяговые качества автомобиля, в трансмиссии применяется двухступенчатая главная передача и устанавливаются колесные редукторы [1–3].

## **Механические ступенчатые коробки передач**

Коробка передач предназначена для изменения крутящего момента, передаваемого от двигателя на ведущие колеса, по величине и направлению. Это позволяет обеспечить оптимальную силу тяги и скорость движения автомобиля, а также движение задним ходом. Кроме того, коробка передач позволяет разобщать коленчатый вал двигателя от ведущих колес во время остановки и стоянки автомобиля и при движении накатом с работающим двигателем. От коробки передач может производиться отбор мощности на привод дополнительного оборудования.

Преобразующие свойства коробки передач характеризуются величинами передаточных чисел.

Передаточным числом называют отношение числа зубьев ведомого зубчатого колеса к числу зубьев ведущего зубчатого колеса или обратное отношение частот вращения этих колес. Общее передаточное число какой-либо передачи определяется как произведение передаточных чисел всех пар зубчатых колес, участвующих в передаче крутящего момента на данной передаче, или как отношение частот вращения входного и выходного валов [6–8].

Изменение значений передаточных чисел позволяет:

- при постоянной мощности двигателя увеличивать силу тяги на ведущих колесах пропорционально увеличению сил сопротивления движению и тем самым обеспечивать проходимость и улучшать топливную экономичность автомобиля;
- двигаться с малыми скоростями, которые не могут быть обеспечены двигателем внутреннего сгорания, с максимальными или заданными скоростями движения;
- обеспечивать разгон автомобиля.

Высокие тяговые качества и экономичность автомобиля обеспечиваются заданным диапазоном и плотностью ряда передаточных чисел коробки передач [1–3].

*Диапазоном передаточных чисел* называется отношение общего передаточного числа низшей передачи к общему передаточному числу высшей передачи, который на современных автомобилях высокой проходимости может быть от 10 до 13.

Отношение передаточных чисел соседних передач называется плотностью ряда передаточных чисел. Чем больше число передач, тем выше плотность ряда. Увеличение числа передач, с одной стороны, сопровождается лучшим использованием мощности двигателя, повышением топливной экономичности, с другой стороны, увеличением массы, усложнением конструкции и затруднением выбора передачи, оптимальной для данных условий движения.

*Ступенчатые коробки передач классифицируются* по нескольким основным признакам.

Они могут быть *простыми* (вальными) и *планетарными* в зависимости от того, подвижны или неподвижны геометрические оси их валов.

По числу валов простые коробки передач делятся на *двух-, трех- и многовальные* коробки передач.

По числу ступеней, т. е. передач для движения вперед, – на *двух-, трех-, четырех-, пятиступенчатые* и *многоступенчатые* коробки передач [1–3].

По способу переключения передач коробки передач выполняют с подвижными *зубчатыми колесами, муфтами легкого включения и синхронизаторами.*

По способу управления различают коробки передач с *непосредственным, дистанционным, полуавтоматическим и автоматическим* управлением.

По выполняемым функциям коробки передач делят на *основные, делители и дополнительные.*

Помимо приведенных признаков классификации коробки передач делятся по числу ходов (плоскостей перемещений рычага переключения передач) на *двухходовые* и *трехходовые*. Двухходовыми являются трехступенчатые коробки передач, которые в настоящий момент встречаются только на автомобилях старых марок, например ГАЗ-21.

На современных автомобилях в качестве основных наибольшее распространение получают простые, двух- или трехвальные коробки передач. Число передач в таких коробках передач обычно 4–5. Увеличение числа передач на автомобилях-тягачах, автомобилях большой грузоподъемности и повышенной проходимости осуществляется путем установки делителя (мультипликатора) или дополнительной коробки (демультипликатора), что позволяет соответственно повысить плотность ряда и расширить диапазон передаточных чисел. В этом случае общее число передач равно произведению числа передач основной коробки передач и дополнительной. Многоступенчатые коробки передач имеют 5 или 6 валов и поэтому являются многовальными [1–3].

На большинстве легковых и грузовых автомобилей применяются коробки передач с непосредственным управлением, при котором водитель посредством рычага воздействует на элементы механизма переключения передач (штоки, вилки, синхронизаторы или муфты) и включает выбранную передачу. При дистанционном управлении усилие от рычага управления на механизм переключения передач передается через систему тяг и рычагов. Элементы полуавтоматического управления имеются в приводе управления делителем автомобиля КамАЗ-5320 и дополнительной коробки передач автомобиля КрАЗ-260. Автоматический привод используется в управлении гидромеханическими коробками [1–3].

Планетарные коробки передач, как правило, применяют в качестве дополнительных коробок в гидромеханических передачах для увеличения преобразующих свойств гидродинамических трансформаторов.

## Глава 4. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

---

### 4.1. Рулевое управление

Рулевое управление автомобиля – совокупность устройств, служащих для изменения направления движения автомобиля и обеспечивающих его движение в заданном направлении.

Основные требования к рулевым управлениям связаны с обеспечением безопасности дорожного движения. Это правильность кинематики поворота, легкость управления, силовое и кинематическое следящее действие, согласованность элементов рулевого управления с подвеской для исключения самопроизвольного поворота управляемых колес, повышенная надежность, так как выход из строя рулевого управления приводит к авариям с тяжелыми последствиями.

Колесные машины могут управляться двумя основными способами: поворотом управляемых колес и поворотом управляемых осей.

Поворот управляемых осей применяется на некоторых колесных тракторах, имеющих колеса большого диаметра, и на гусеничных сочлененных машинах [1–3].

Каждое управляемое колесо установлено на поворотном кулаке, соединенном с передней осью посредством шкворня, который неподвижно крепится в передней оси. При вращении водителем рулевого колеса усилие передается посредством тяг и рычагов на поворотные кулаки, которые поворачиваются на определенный угол (задает водитель), изменяя направление движения автомобиля.

Рулевое управление состоит из следующих механизмов (рис. 4.1):

1. Рулевой механизм.
2. Рулевой привод.
3. Усилитель рулевого привода (не на всех автомобилях).

Предъявляемые к автомобилю требования в части управляемости, устойчивости, маневренности и легкости управления могут быть реализованы, если рулевым управлением обеспечивается:

- требуемое передаточное число;
- высокая жесткость деталей;
- согласованность кинематики рулевого привода и направляющего устройства подвески;
- минимальные зазоры в сочленениях деталей;

- правильное соотношение углов поворота внутреннего и наружного колес;
- оптимальная величина стабилизирующего момента;
- небольшая величина крутящего момента, который необходимо прикладывать к рулевому колесу [1–3].

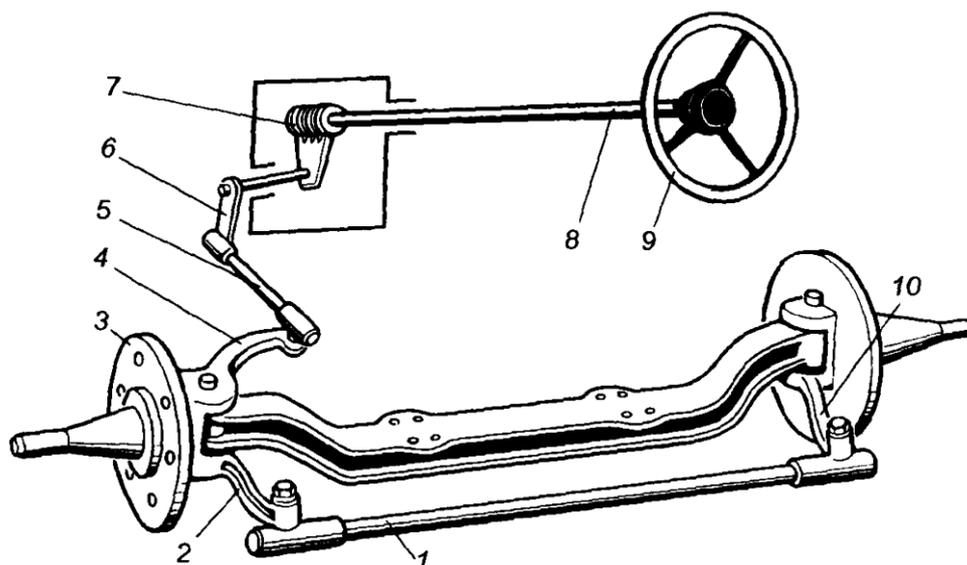


Рис. 4.1. Рулевое управление автомобиля:

- 1 – поперечная тяга; 2 – левый рычаг рулевой трапеции;  
 3 – поворотный кулак; 4 – поворотный рычаг; 5 – продольная тяга;  
 6 – сошка; 7 – рулевой механизм; 8 – вал рулевого колеса;  
 9 – рулевое колесо; 10 – правый рычаг рулевой трапеции

## Стабилизация управляемых колес

Силы, действующие на автомобиль, стремятся отклонить управляемые колеса от положения, соответствующего прямолинейному движению. Чтобы не допустить поворота колес под действием случайных сил (толчков от наезда на неровности дороги и т. п.), управляемые колеса должны обладать способностью сохранять положение, соответствующее прямолинейному движению, и возвращаться в него из любого другого положения. Эта способность называется стабилизацией управляемых колес.

Стабилизация обеспечивается наклонами шкворней в поперечной и продольной плоскостях и упругими свойствами пневматической шины.

*Поперечный наклон* шкворня вызывает подъем центра тяжести автомобиля при повороте управляемых колес. Поворачиваемое колесо, опираясь на дорогу, вызывает соответствующий подъем передней оси

и центра тяжести автомобиля. Если отпустить рулевое колесо, то передняя часть автомобиля опустится вниз, и передние колеса возвращаются в положение, соответствующее прямолинейному движению. Стабилизирующий момент, действующий на управляемые колеса, с увеличением угла наклона шкворня и веса, приходящего на переднюю ось, возрастает. На стабилизирующий момент, возникающий вследствие поперечного наклона шкворня, не влияют скорость движения и качество дороги. Поперечный наклон шкворня ( $6-10^\circ$ ) уменьшает плечо поворота колеса, снижая передачу ударных нагрузок, действующих на рулевое управление от дороги. Часто стабилизирующий момент от наклона шкворня вбок называют весовым стабилизирующим моментом [1–3].

*Продольный наклон* шкворня обычно выбирают таким, при котором нижний конец шкворня смещен вперед относительно вертикали, проходящей через его середину. Вследствие этого точка пересечения оси с дорогой расположена впереди центра контактной площадки колеса и дороги. При движении автомобиля его траектория движения часто имеет криволинейный характер, предопределяющий возникновение центробежной силы. Эта сила стремится сдвинуть автомобиль от центра поворота, чему препятствуют реакции дороги, приложенные в центре контактных площадок и направленные к центру поворота. Реакции управляемых колес, действуя на плече, созданном в результате наклона шкворня назад, стремятся возвратить управляемые колеса в положение, соответствующее прямолинейному движению. Стабилизирующий момент, действующий на управляемые колеса, в результате наклона шкворней в продольной плоскости пропорционален квадрату скорости и называется скоростным стабилизирующим моментом. Угол наклона шкворня в продольной плоскости равен  $1-3,5^\circ$  и в значительной степени связан с упругим стабилизирующим моментом пневматической шины [1–3].

Эластичная шина соприкасается с дорогой на определенной площади, называемой контактной площадкой. Силы, действующие в контактной площадке, противодействуют повороту колеса. Создаваемый стабилизирующий момент зависит от эластичности шин. У грузовых автомобилей, снабженных сравнительно жесткими шинами, упругий стабилизирующий момент небольшой, у легковых автомобилей он больше и приводит иногда к чрезмерной стабилизации управляемых колес, затрудняя управление. Для уменьшения влияния упругого стабилизирующего момента у большинства легковых автомобилей угол наклона шкворня в продольной плоскости делают равным нулю.

## 4.2. Тормозная система

Тормозная система предназначена для снижения скорости движения и полной остановки (экстренной) автомобиля, а также для удержания на месте неподвижно стоящего автомобиля.

Процесс торможения движущегося автомобиля заключается в создании искусственного сопротивления этому движению. Обычно уменьшение скорости автомобиля вплоть до полной его остановки осуществляется путем создания тормозных сил в контакте колес с дорогой, направленных в сторону, противоположную движению. Тормозные силы необходимы и для удерживания автомобиля на месте. Тормозная сила создается путем торможения колеса специальным, обычно фрикционным устройством – тормозным механизмом. Наиболее высокая эффективность торможения требуется в экстренных случаях. Именно на это должна быть рассчитана тормозная система, хотя эти случаи составляют не более 1–3 % от общего числа использования тормозной системы [1–3].

Требования, предъявляемые к тормозной системе:

1. Высокая эффективность – оценивается расстоянием, пройденным автомобилем за время торможения (тормозным путем), и обеспечивается небольшим временем срабатывания тормозной системы, достаточной величиной тормозных моментов и правильным распределением тормозных сил между передними и задними колесами.

2. Обеспечение устойчивости автомобиля при торможении – достигается, в частности, путем синхронности срабатывания тормозных механизмов и равенства тормозных сил по бортам автомобиля.

3. Высокая стабильность тормозных моментов, обеспечивающая выполнение предыдущих требований.

4. Обеспечение пропорциональности между управляющим усилием водителя и тормозным эффектом на всех режимах торможения и растормаживания.

5. Удобство управления – по действующим нормам расчетное замедление автомобиля должно обеспечиваться при усилии водителя на педаль тормозной системы, не превышающем 500 Н для легковых и 700 Н для грузовых автомобилей.

6. Повышенная надежность; так как тормозная система играет определяющую роль в обеспечении активной безопасности автомобиля, должно быть гарантировано сохранение работоспособности ряда его элементов в течение всего срока службы автомобиля, независимо от условий его эксплуатации [1–3].

## Структура тормозных систем

Согласно Правилам № 13 ЕЭК ООН «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения тормозных свойств транспортных средств» и выполнению тормозной системой указанных выше требований, автомобиль должен иметь несколько тормозных систем (тормозной системой автомобиля называется совокупность устройств, предназначенных для осуществления того или иного вида торможения), а именно:

- рабочую тормозную систему;
- стояночную тормозную систему;
- запасную тормозную систему;
- вспомогательную тормозную систему.

*Рабочая тормозная система* позволяет водителю снижать скорость движения автомобиля и останавливать его при обычном режиме эксплуатации.

*Запасная тормозная система* позволяет водителю уменьшать скорость движения автомобиля и останавливать его при неисправности рабочей тормозной системы. С целью упрощения конструкции отдельная (автономная) запасная система практически не применяется. Обычно ее роль выполняют оставшиеся исправные части (контуры привода) рабочей тормозной системы или специальным образом спроектированная стояночная тормозная система. Часто на больших автомобилях для повышения надежности используют одновременно оба указанных технических решения.

*Стояночная тормозная система* позволяет удерживать автомобиль в неподвижном состоянии на наклонной поверхности и при отсутствии водителя.

*Вспомогательная тормозная система* предназначена для длительного поддержания постоянной скорости, в основном на затяжных спусках. Используемые в остальных тормозных системах фрикционные тормозные механизмы при длительной работе перегреваются и резко снижают эффективность торможения. Поэтому на некоторых типах автомобилей (автобусы, грузовые автомобили большой грузоподъемности) для поддержания безопасной скорости на длительных спусках применяют вспомогательные механизмы, так называемые тормоза-замедлители [4–6].

*Автоматическая тормозная система* – оборудование, автоматически затормаживающее прицеп при его случайном отделении от тягача.

*Антиблокировочная система (АБС)* – часть рабочей тормозной системы, которая предотвращает блокировку одного или нескольких колес при торможении автомобиля. Управление силами торможения на колесах осуществляется на основе данных датчиков, контролирующей скорость вращения каждого колеса.

Каждая тормозная система включает в себя следующие механизмы:

- тормозной привод;
- тормозные механизмы;
- усилитель тормозного привода (для гидравлического привода).

*Привод тормозного механизма.* Функциями привода тормозного механизма являются передача энергии от источника к исполнительным элементам, ее дозирование для обеспечения торможения с необходимой интенсивностью и правильное распределение энергии между тормозными механизмами разных колес. Приводы тормозных механизмов различают по виду используемой в них энергии. Они бывают механическими, гидравлическими, пневматическими, гидропневматическими, а также электропневматическими.

Исполнительными элементами привода называют устройства, преобразующие давление используемого в приводе рабочего тела в приводную силу, предназначенную для приведения в действие тормозных механизмов [4–6].

*Тормозным механизмом* называется устройство, служащее для непосредственного искусственного сопротивления движению автомобиля. Для всех тормозных систем, исключая вспомогательную, роль тормозного механизма выполняют фрикционные устройства с регулируемым моментом трения, создаваемым между вращающимися и неподвижными частями тормозных механизмов.

## **Приводы тормозных механизмов**

Для обеспечения возможности торможения в случае отказа какого-либо элемента рабочей тормозной системы привод тормозного механизма разделяют на независимые контуры, каждый из которых в случае отказа другого автоматически выполняет функцию запасной тормозной системы. Схемы образования независимых контуров могут быть различны, и эффективность торможения каждого из оставшихся контуров различна.

1. Один контур обслуживает тормозные механизмы передних колес, а другой – задних (простейший случай).

2. Один контур обслуживает тормозные механизмы переднего левого и заднего правого колес, а другой – переднего правого и заднего левого колес (диагональные контуры).

3. Один контур обслуживает тормозные механизмы всех передних и задних колес (большой контур), другой – тормозные механизмы передних колес (малый контур) [6–8].

4. Один контур обслуживает тормозные механизмы передних колес и правое заднее, а другой – передние колеса и левое заднее (L-образный контур).

5. Один контур обслуживает тормозные механизмы передних и задних колес, другой – также обслуживает тормозные механизмы передних и задних колес.

Наилучшими свойствами обладает последняя схема – схема разделения на контуры, предусматривающая полное сохранение тормозных качеств в случае отказа одного из контуров рабочей тормозной системы. Такая схема сложна и применяется в основном на дорогах легковых автомобилях [6–8].

## Тормозные механизмы

Исполнительными элементами привода называются устройства, преобразующие давление используемого в приводе рабочего тела в приводную силу, предназначенную для приведения в действие тормозных механизмов.

Тормозным механизмом называют устройство, служащее для непосредственного создания искусственного сопротивления движению автомобиля. Для всех тормозных систем, исключая вспомогательную, роль тормозного механизма выполняют фрикционные устройства с регулируемым моментом трения, создаваемым между вращающимися и неподвижными частями тормозных механизмов.

Фрикционные тормозные механизмы по виду вращающейся детали делятся на барабанные и дисковые; по типу неподвижной детали – на колодочные и ленточные. Наиболее распространены колодочные тормозные механизмы [1–3].

*Барабанные тормозные механизмы.* Тормозной механизм рабочей тормозной системы автомобиля представляет собой неподвижный тормозной щит, на котором смонтированы две тормозные колодки, опирающиеся на один общий или два отдельных пальца (оси) и стянуты пружиной. С наружной стороны находится барабан, который крепится к ступице колеса и вращается вместе с ней. К поверхности колодок, обращенной к тормозному барабану, прикреплены фрикционные накладки. При торможении колодки раздвигаются кулаками или

поршнями гидроцилиндра до соприкосновения с тормозным барабаном. Трение колодок о барабан вызывает торможение колес. После прекращения воздействия на тормозную педаль колодки возвращаются в исходное положение стяжной пружиной. Различия в устройстве и работе во многом зависят от расположения опор колодок и характера приводных сил.

На рис. 4.2 в приведена схема тормозного механизма, в котором колодки раздвигаются равными приводными силами  $P_1$  и  $P_2$ , так как поршни гидроцилиндра имеют одинаковые диаметры.  $R_{y1}$  и  $R_{y2}$  – реакции барабана на колодки. Возникающие силы трения между колодками и барабанами соответственно  $R_{x1}$  и  $R_{x2}$ . Момент силы  $R_{x2}$  относительно опоры колодки действует в ту же сторону, что и момент силы  $P_1$ , увеличивает прижатие колодки. Такая колодка называется первичной. Момент силы  $R_{x2}$  направлен в обратную сторону относительно силы  $P_2$  и, следовательно, ослабляет прижатие колодки к барабану – такая колодка называется вторичной. При такой конструкции первичная колодка будет постоянно находиться под действием большей силы трения и быстрее изнашивается, чем вторичная. Поэтому в этом случае для равномерного изнашивания фрикционную накладку на первичной колодке делают больших размеров, чем на вторичной.

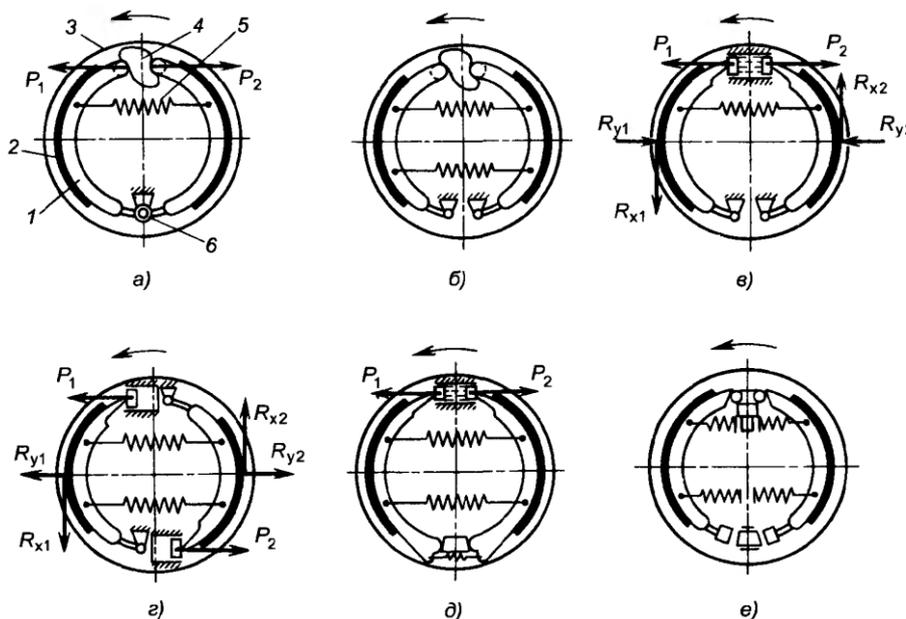


Рис. 4.2. Схемы расположения колодок барабанных тормозных механизмов:  
*a* – на общей опоре; *б* и *в* – на отдельных опорах с раздвигающими усилиями соответственно от кулака и поршней гидроцилиндра; *г* – с размещением опор на противоположных сторонах тормозного диска; *д* – плавающих;  
*e* – с опорой на подвижный упор; *1* – колодка; *2* – фрикционная накладка колодки; *3* – тормозной барабан; *4* – разжимной кулак;  
*5* – стяжная пружина; *6* – пальцы колодок

При размещении опор колодок на противоположных сторонах тормозного щита (рис. 4.2, *з*) на обе колодки действуют одинаковые силы  $P_1 = P_2$ . Момент силы трения  $R_{x1}$  и  $R_{x2}$  будет направлен в ту же сторону, что и момент силы  $P$ , и, следовательно, обе колодки работают как первичные. Этот тормозной механизм не создает дополнительных нагрузок на подшипники колес, так как силы, действующие на тормозной барабан, равны по величине и уравновешены в одинаковой степени.

На рис. 4.2, *д* дана схема «плавающих» колодок. Нижние концы пружиной прижимаются к трапециевидному упору, закрепленному на тормозном щите. Концы колодок могут перемещаться по боковым граням упора. В этом случае силы трения затягивают колодки в направлении вращения барабана, давая им возможность самоустанавливаться по внутренней поверхности барабана [1–3].

Тормозной механизм с серводействием представлен на схеме рис. 4.2, *е*. При действии разжимающего устройства на верхние концы колодок левая колодка, имеющая более слабые пружины, первой прижимается к барабану и через подвижный нижний упор передает усилие на правую колодку, прижимая ее к барабану, обе колодки действуют как первичные.

По схеме, показанной на рис. 4.2, *а*, выполнены тормозные механизмы автомобиля МАЗ-5335. Автомобили марок «КамАЗ» и «ЗИЛ» имеют тормозные механизмы, конструкция которых соответствует схеме, показанной на рис. 4.2, *б*. Тормозные механизмы передних и задних колес указанных автомобилей имеют одинаковую конструкцию и отличаются только размерами деталей.

*Дисковые тормозные механизмы.* В настоящее время на передних колесах легковых автомобилей устанавливают дисковые тормозные механизмы. По сравнению с барабанными они обладают более высокой эффективностью. Поскольку на передние колеса автомобиля при торможении приходится более значительная часть тормозных сил, оснащение передних колес дисковыми тормозными механизмами улучшает эксплуатационные свойства автомобиля. Тормозные механизмы с вращающимся диском отличаются способом установки невращающейся детали. Различают механизм с неподвижной скобой и механизм с плавающей скобой [1–3].

Конструкция дискового механизма с неподвижной скобой (рис. 4.3, *а* и *б*) состоит из тормозного диска, закрепленного на ступице колеса, который с двух сторон охвачен скобой, имеющего внутри гидrocилиндры, поршни которых прижимают к диску с двух сторон тормозные колодки, в результате чего происходит торможение.

Подвижная (плавающая) скоба (рис. 4.3, *д*) может перемещаться перпендикулярно плоскости тормозного диска. При неподвижной скобе под действием поршней колодки одновременно с двух сторон прижимаются к диску, в этом случае получается более жесткая, но чувствительная к перегреву конструкция. При подвижной плавающей скобе поршень, расположенный с одной стороны скобы, прижимаясь к вращающемуся диску, заставляет перемещать скобу, тем самым прижимая к диску вторую неподвижную колодку, расположенную с другой стороны. В этом случае торможение происходит более равномерно.

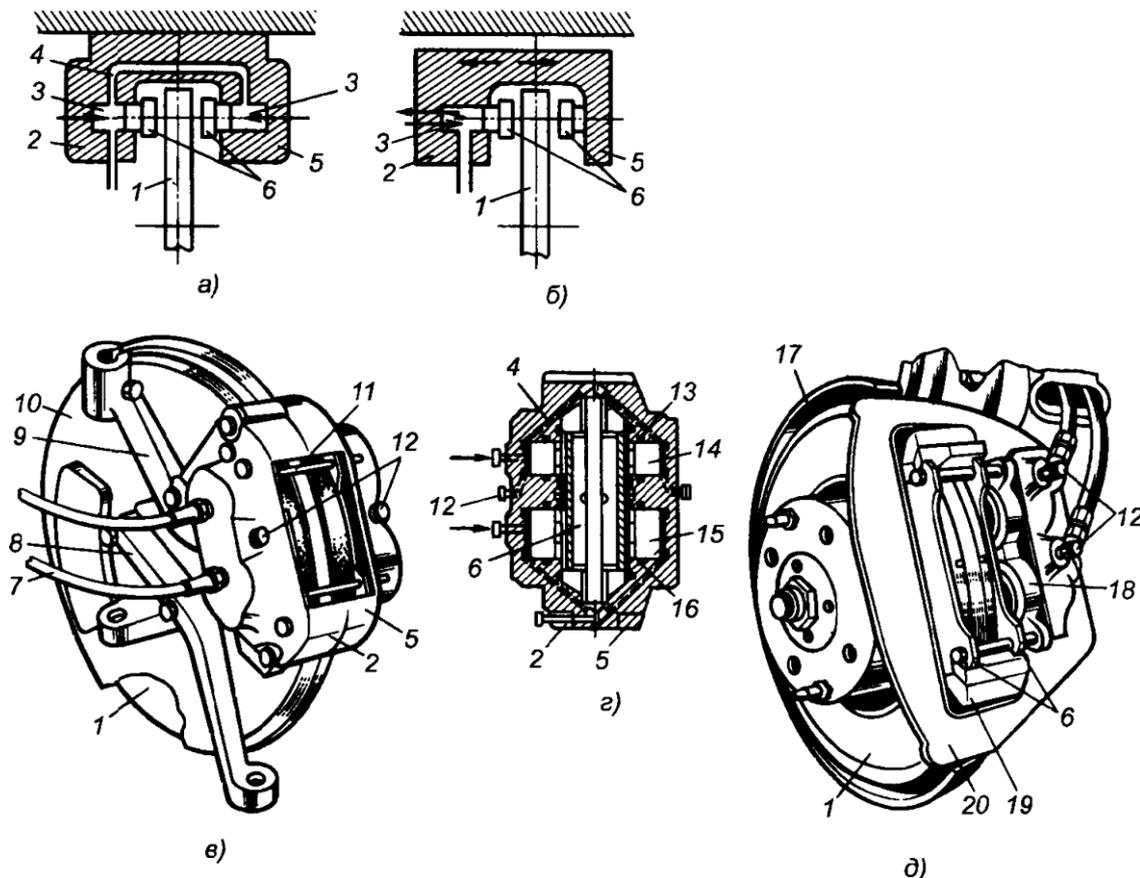


Рис. 4.3. Дисковые тормозные механизмы:

*а* и *б* – схемы дисковых тормозных механизмов с неподвижной и подвижной скобой; *в* и *г* – общий вид и разрез по цилиндрам тормозного механизма передних колес автомобиля ГАЗ-3102 «Волга»; *д* – переднего колеса автомобиля АЗЛК-2141; 1 – диск; 2 и 5 – половинки скобы; 3 – гидроцилиндры; 4 – каналы; 6 – тормозные колодки; 7 – шланги; 8 – поворотный рычаг; 9 – стойка передней подвески; 10 – грязезащитный диск; 11 – шпильки крепления колодок; 12 – клапаны выпуска воздуха; 13 и 16 – резиновые кольца; 14 и 15 – малый и большой поршни соответственно; 17 – тормозной щит; 18 – корпус цилиндров; 19 – суппорт; 20 – рама

## Глава 5. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

---

### Практическая работа 1

#### ДВИГАТЕЛЬ. КРИВОШИПНО-ШАТУННЫЙ И ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМЫ

*Цель работы:* Закрепить теоретические знания, рассмотреть и изучить конструкцию кривошипно-шатунных и газораспределительных механизмов двигателей внутреннего сгорания различных моделей. Получить навыки по частичной разборке и сборке двигателей.

На разных марках двигателей ознакомиться с общим устройством, изучить общий принцип работы карбюраторных и дизельных двигателей.

Используя учебные пособия, найти в двигателях все детали, относящиеся к кривошипно-шатунному и газораспределительному механизмам. На отдельных деталях КШМ и ГРМ изучить особенности их конструкции у разных двигателей.

*Порядок выполнения работы и ее содержание:*

Произвести частичную разборку двигателей, изучить особенности конструкции КШМ и ГРМ. Обратить внимание на следующее: из какого материала изготовлены блок-картер и головки блока; где расположена у двигателя камера сгорания; определить тип камеры сгорания; какие отверстия и для чего имеются в головке блока.

Изучая устройство гильз, обратить внимание на их установку в блоке и их уплотнение.

При изучении блок-картера рассмотреть крепление коренных шеек коленчатого вала и их подшипников.

Обратить внимание на следующее: материал и конструкцию поршней; форму днища поршней; наличие канавок на головке и юбке поршней; наличие числа компрессионных и маслосъемных колец, их конструкцию, материал колец и профиль их сечения; на конструкцию нижней головки шатуна, тип подшипников и их установку в нижней головке шатуна; наличие отверстий и каналов в шатуне для подвода масла к поршневому пальцу, а также наличие меток на головке и крышке нижней головки шатуна и его стержне. Уяснить назначение.

Ознакомиться с конструкцией отдельных деталей газораспределительного механизма.

Рассматривая кулачковый вал, обратите внимание на расположение и профиль кулачков, а также на их число и число опорных шеек вала, на способы крепления шестерни (звездочки) привода, на способ фиксации вала от осевых перемещений.

Изучая толкатели ГРМ разных двигателей, обратите внимание на конструкцию. Рассмотрите устройство штанг, коромысел, осей, стоек, выпускных и впускных клапанов.

Произведите регулировку тепловых зазоров в клапанах, уясните, какую роль играет тепловой зазор в них, почему этот зазор должен быть строго определенных размеров.

## Практическая работа 2

### ДВИГАТЕЛЬ. СИСТЕМА СМАЗКИ, ОХЛАЖДЕНИЯ И ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

*Цель работы:* Закрепить теоретические знания, ознакомиться с общими схемами системы охлаждения и смазки разных типов двигателей и системы питания дизельного двигателя.

Изучить устройство, работу и особенности конструкции отдельных узлов систем охлаждения, смазки и питания. Получить навыки по частичной разборке и сборке отдельных узлов.

Используя плакаты на автомобилях, найти узлы, относящиеся к системам охлаждения, смазки и к системам питания дизеля. Изучить расположение узлов на двигателе или автомобиле. Произвести частичную разборку отдельных узлов систем охлаждения, смазки, питания.

*Порядок выполнения работы и ее содержание:*

на автомобиле ознакомьтесь с общим расположением узлов системы охлаждения, смазки и питания. Обратите внимание на крепление и расположение водяного насоса, а также на привод насоса и вентилятора. По разрезной модели водяного радиатора изучите его конструкцию, обратив внимание на соединение радиатора с бачками. Используя материальную часть, ознакомьтесь с конструкцией и принципом работы насоса. Произвести частичную разборку водяного насоса.

При рассмотрении термостатов обратите внимание на его тип:

1 – сильфонный, имеет два клапана или 2 – с твердым наполнителем.

Используя плакаты, изучите расположение узлов систем смазки в двигателях, их соединение между собой. Определите, как приводится в действие масляный насос. По плакатам и отдельным узлам необходимо изучить конструкцию и принцип работы одно- и двухсекционных масляных насосов, фильтров грубой и тонкой очистки масла. Изучить конструкцию центрифуги и принцип ее работы.

На дизельном двигателе ознакомьтесь с общим расположением узлов системы питания и рассмотрите соединение узлов между собой. Используя плакаты и материальную часть необходимо изучить конструкцию и принцип работы отдельных узлов системы питания: топливного насоса высокого давления, форсунок, подкачивающего насоса, фильтров грубой и тонкой очистки топлива, регулятора частоты вращения, автоматической муфты опережения впрыскивания топлива. Рассмотреть работу секции ТНВД.

## Практическая работа 3

### ДВИГАТЕЛЬ. СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ И ПИТАНИЯ КАРБЮРАТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*Цель работы:* Закрепить теоретические знания. Рассмотреть и изучить конструкцию узлов и приборов, входящих в системы зажигания и питания карбюраторных двигателей. Получить навыки по частичной разборке и сборке отдельных узлов систем зажигания и питания.

На автомобилях с карбюраторными двигателями, используя плакаты, найти узлы и приборы, относящиеся к системам зажигания и питания. Изучить расположение узлов на двигателе и схемы соединения.

Произвести частичную разборку и сборку отдельных узлов, изучить конструкцию и принцип работы. На одном из карбюраторных двигателей произвести установку зажигания.

*Порядок выполнения работы и ее содержание:*

На действующих автомобилях или двигателях в сборе, используя плакаты, найти все узлы и приборы, относящиеся к системам зажигания и системе питания.

В зависимости от типа автомобиля или двигателя определить, какой тип системы зажигания применяется на данном автомобиле или двигателе и какие узлы и приборы входят в систему зажигания.

При изучении катушки зажигания обратите внимание на изоляцию сердечника, первичной и вторичной обмоток.

Изучить конструкцию прерывателя-распределителя Р4Д, для чего произвести его частичную разборку. Обратите внимание на число выступов на кулачке прерывателя, конструкцию центробежного регулятора и способ соединения траверсы кулачка прерывателя с грузиками центробежного регулятора угла опережения зажигания. Определите, как устанавливаются подвижный и неподвижный контакты прерывателя, и ознакомьтесь с устройством для регулировки зазора в контактах.

Рассмотреть конструкцию карбюраторов, дать им характеристику. Используя схему, изучить работу карбюратора на различных режимах работы двигателя: режиме пуска, режиме минимальных оборотов холостого хода, режиме средних и полных нагрузок и режиме ускорения. Произвести частичную разборку и изучить отдельные части карбюратора.

Используя плакаты и материальную часть, произвести частичную разборку бензонасоса и изучить конструкцию. При изучении конструкции обратить внимание на соединение штока диафрагмы с внутренним концом рычага привода насоса.

Изучите конструкцию фильтров грубой и тонкой очистки топлива, для чего их необходимо разобрать.

## **Практическая работа 4**

### **ТРАНСМИССИЯ. СЦЕПЛЕНИЕ, КОРОБКА ПЕРЕДАЧ, КАРДАННАЯ ПЕРЕДАЧА**

*Цель работы:* Закрепить теоретические знания. Рассмотреть конструкцию и изучить устройство сцепления, коробки передач и карданной передачи. Получить навыки по частичной разборке и сборке отдельных узлов.

На автомобилях найти сцепление, коробку передач и карданную передачу, уяснить соединение узлов между собой. Путем частичной разборки изучить конструкцию отдельных узлов трансмиссии: сцеплений, коробок передач и карданных передач.

## *Порядок выполнения работы и ее содержание:*

На разных типах автомобилей найдите узлы трансмиссии: сцепление, коробку передач, карданную передачу и изучите порядок их расположения на автомобиле. Уясните передачу крутящего момента на ведущие колеса от коленчатого вала двигателя. Обратите внимание на наличие раздаточной коробки и число карданных передач.

Используя плакаты и материальную часть, изучите конструкцию и принцип работы узлов трансмиссии, обратив внимание на особенности конструкции.

Рассмотрите конструкцию однодискового сцепления автомобиля ЗиЛ-130, используя материальную часть, произведите частичную разборку в специальном приспособлении. Изучите конструкцию отдельных деталей. При рассмотрении деталей сцепления обратите внимание на соединение кожуха сцепления и ведущих дисков с маховиком двигателя, а также на соединение ведомого диска со ступицей, на механизм выключения сцепления. Сборку сцепления производить в обратной последовательности.

При изучении конструкций коробок передач необходимо вспомнить, как классифицируются коробки передач. Используя плакаты и материальную часть, произведите частичную разборку коробки автомобиля ЗиЛ-130. Изучите конструкцию деталей механизма управления коробкой передач. Обратите внимание на число штоков и вилок, уясните, от чего это зависит.

Изучите расположение шестерен на валах коробки и определите шестерни 1, 2, 3, 4 и 5-й передач. Уясните, как включается задняя передача. Определите число валов, какой из них ведущий и ведомый. Сборку производите в обратной последовательности.

При изучении конструкции карданных передач определите, в каких случаях они применяются и какие узлы связывают.

Рассмотрите устройство карданных передач с шарнирами равных угловых скоростей и карданных передач с шарнирами неравных угловых скоростей. Какой принцип заложен в конструкции шарниров равных угловых скоростей.

## Практическая работа 5

### ГЛАВНАЯ ПЕРЕДАЧА, ВЕДУЩИЙ И УПРАВЛЯЕМЫЙ МОСТЫ, ПОДВЕСКА АВТОМОБИЛЕЙ

*Цель работы:* Закрепить теоретические знания. Рассмотреть конструкцию и изучить устройство главных передач, ведущих и управляемых мостов, подвесок автомобилей. Получить навыки по частичной разборке и сборке отдельных узлов.

На автомобилях найти главную передачу, ведущий и управляемый мосты, подвеску, уяснить назначение каждого узла. Путем частичной разборки изучить конструкцию отдельных узлов.

*Порядок выполнения работы и ее содержания:*

На автомобилях ознакомьтесь с расположением ведущих и управляемых мостов, узлов подвески. Используя плакаты и материальную часть, изучите конструкцию и принцип работы главной передачи и дифференциала. Рассмотреть классификацию главных передач и дифференциалов. Определите типы полуосей на различных типах автомобилей.

Рассмотреть главную передачу и дифференциал заднего ведущего моста автомобиля ЗиЛ-130. Изучите конструкцию и запомните детали. Используя плакаты, а также материальную часть, произведите частичную разборку ведущего моста.

На автомобилях ознакомьтесь с общей конструкцией ходовой части. Определите тип подвески ходовой части автомобиля. Рассматривая конструкцию рамы автомобиля, обратите внимание на ширину и длину рамы у разных моделей автомобилей. Рассматривая подвеску, обратите внимание на крепление рессор и других упругих элементов к раме автомобиля и тип подвески. Изучая рессорно-балансирную подвеску трехосных автомобилей, определите, что входит в рессорно-балансирную подвеску, какую роль выполняют реактивные штанги.

Рассмотреть устройство гидравлических телескопических амортизаторов, входящих в подвеску многих автомобилей. Используя плакаты и материальную часть, рассмотрите и изучите конструкцию амортизатора. Произведите его частичную разборку. Изучите конструкцию отдельных частей.

Уясните, как перетекает жидкость из штоковой полости цилиндра в бесштоковую, а также, какие клапаны работают при сжатии и отдаче. Сборку производите в обратной последовательности.

Рассматривая устройство управляемого моста, уясните, с какими углами устанавливаются передние колеса и их назначение.

## Практическая работа 6

### РУЛЕВОЕ И ТОРМОЗНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

*Цель работы:* Закрепить теоретический материал. Рассмотреть и изучить конструктивные особенности органов рулевых управлений и тормозных систем автомобилей. Уяснить принцип работы отдельных узлов. Получить практические навыки по частичной разборке и сборке узлов.

На автомобилях различных типов, пользуясь плакатами, найти все узлы, относящиеся к рулевым управлениям и тормозным системам автомобилей, уяснить их назначение. Путем разборки изучить отдельные узлы рулевых управлений с механическим и гидравлическим приводом, а также узлы тормозных систем с гидравлическим и пневматическим приводом колесных тормозов.

*Порядок выполнения работы и ее содержание:*

На автомобилях рассмотрите расположение узлов органов рулевого управления и тормозных систем, их крепление на автомобиле.

Определите, какой тип рулевого управления установлен на данном автомобиле, уясните, как передается вращение рулевого колеса на направляющие колеса и через какие детали. Рассмотреть рулевой механизм с червячной передачей автомобиля УАЗ-452. Используя плакаты и материальную часть, изучите конструкцию и принцип работы. Произведите частичную разборку рулевого механизма. Обратите внимание на установку ролика и соединение его с валом рулевой сошки. Сборку производить в обратной последовательности.

По плакату изучите конструкцию гидроусилителя ЗиЛ-130, используя частичную разборку узла. При изучении деталей обратите внимание на конструкцию золотника, на число канавок и выступов на нем, ознакомьтесь с соединением винта с поршнем гидроусилителя. Уясните назначение реактивных плунжеров в золотниковом распределителе. Определите, почему зубья рейки и сектора изготавливаются конусными. Сборку производите в обратной последовательности.

Для изучения центробежно-лопастного насоса используйте плакаты и узел в натуре.

При рассмотрении узлов тормозных систем с гидроприводом обратите внимание, как соединяется главный тормозной цилиндр с колесными тормозными цилиндрами, что предусмотрено для выпуска воздуха из системы гидропривода и для регулировки зазоров между барабанами колеса и накладками колодок колесных тормозов.

Изучая узлы тормозных систем с пневмоприводом, следует обратить внимание на то, как приводится в действие компрессор, как подается масло к его деталям, а также как соединяется компрессор с воздухоочистителем, с ресиверами и тормозным краном и как соединяются тормозной кран с тормозными камерами.

При изучении конструкции компрессора, используя плакаты и материальную часть, произведите частичную разборку компрессора.

При изучении конструкции тормозных кранов следует обратить внимание на назначение атмосферного и впускного клапанов.

Ознакомьтесь с конструкцией червячного редуктора привода вала разжимного кулака колодок колесных тормозов. Определите, как с помощью червячного редуктора можно регулировать зазор между тормозным барабаном и накладками колодок тормозов.

## Лабораторная работа 1

### ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА. ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО АВТОМОБИЛЯ

*Тема:* Классификация подвижного состава. Отечественное автомобилестроение, история его развития. Общее устройство современных автомобилей.

*Цель работы:* Ознакомиться с развитием автомобилестроения в России. Усвоить классификацию подвижного состава.

Изучить общее устройство автомобиля, а также агрегаты, механизмы и узлы, входящие в двигатель, шасси и кузов.

*Контрольные вопросы:*

1. Из каких основных частей состоит автомобиль?
2. По каким параметрам производится классификация автомобиля?
3. Какие автомобили относятся к специализированным и специальным?
4. Что такое колесная формула?

5. Как строится индексация автомобилей, прицепов и полуприцепов?
6. Что такое жизненный цикл автомобиля?
7. Как подразделяется подвижной состав по назначению?
8. Какие основные преимущества дизелизации автомобильного парка?
9. По каким квалификационным признакам строится типаж автомобиля?
10. Из каких частей состоит автопоезд? Их типы.
11. Какой безопасностью должен обладать подвижной состав?
12. Назовите подвижные составы по проходимости.

## Лабораторная работа 2

### УСТРОЙСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

*Тема:* Кривошипно-шатунный и газораспределительный механизмы, система охлаждения и смазки автомобиля.

*Цель работы:* Изучить общее устройство и принцип действия двигателей Т и ТТМО семейства ГАЗ, ЗиЛ, МАЗ, КамАЗ.

Изучить устройство кривошипно-шатунных и газораспределительных механизмов и провести анализ конструкций различных двигателей.

Изучить устройство систем охлаждения и смазки отечественных двигателей. Знать марки моторных масел и охлаждающих жидкостей, применяемых для современных автомобилей.

*Контрольные вопросы:*

1. Назначение кривошипно-шатунного механизма.
2. Конструкции блоков цилиндров двигателей.
3. Способы центрирования и уплотнения гильз цилиндров.
4. Назначение антикавитационных колец.
5. Конструкции головок блоков цилиндров.
6. Формы камер сгорания.
7. Конструкция поршней.
8. Назначение и конструкции шатунов.
9. Полноопорный коленчатый вал.

10. Устройство от удержания коленчатого вала от осевого смещения.
11. Фазы газораспределения.
12. Типы приводов распределительных валов механизмов газораспределения.
13. Устройство от удержания распределительных валов от осевых смещений.
14. Механизм вращения клапана.
15. Устройство закрытой жидкостной системы охлаждения двигателя.
16. Конструкции приводов жидкостных насосов различных двигателей.
17. Конструкции приводов вентиляторов двигателей.
18. Из каких узлов состоят смазочные системы двигателей: ГАЗ, ЗиЛ, МАЗ, КамАЗ?
19. Конструкции масляных фильтров.
20. Какие двигатели смазываются под давлением, разбрызгиванием и самотеком в двигателях: ЗиЛ, ЯМЗ, КамАЗ?
21. Как осуществляется привод масляного насоса у различных двигателей?

## Лабораторная работа 3

### СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*Тема:* Системы питания бензиновых, дизельных и газовых двигателей.

*Цель работы:* Изучить конструкцию систем питания бензиновых двигателей и отдельных узлов.

Рассмотреть процесс смесеобразования в бензиновых и дизельных двигателях.

Изучить устройство систем питания двигателей ЗиЛ, ЯМЗ, КамАЗ и современных зарубежных автомобилей. Способы повышения мощности и экономичности дизельных двигателей.

Изучить конструкцию основных частей системы питания двигателей, работающих на сжатом и сжиженном газе.

## *Контрольные вопросы:*

1. Главная дозирующая система и вспомогательные устройства карбюраторов.
2. Фильтры очистки бензина.
3. Система выпуска отработавших газов.
4. Устройство диафрагменного топливного насоса.
5. Системы впрыска бензина и конструкция отдельных узлов.
6. Способы смесеобразования дизельных двигателей.
7. Марки бензинов и дизельных топлив.
8. Фильтры очистки дизельного топлива.
9. Типы и конструкция ТНВД.
10. Работа насосной секции ТНВД.
11. Конструкция и работа автоматической муфты опережения впрыскивания топлива.
12. Конструкция и работа всережимного регулятора частоты вращения.
13. Типы и конструкция форсунок.
14. Почему необходимо выпускать воздух из системы питания дизельных двигателей?
15. Чем изменяется количество подаваемого топлива в цилиндры двигателя при изменении режима работы двигателя?
16. Конструкция газобаллонной установки для сжатого газа.
17. Топливо для газобаллонных двигателей.
18. Конструкция газобаллонной установки для сжиженного газа.
19. Приборы и арматура газобаллонного двигателя.

## **Лабораторная работа 4**

### ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Тема:* Источники электроэнергии, приборы систем зажигания, электрического пуска двигателя, освещения, сигнализации и контрольно-измерительных приборов.

*Цель работы:* Изучить общее устройство и схему электрооборудования транспортных средств.

Рассмотреть конструкцию и принцип действия аккумуляторных батарей, генератора переменного тока, регулятора напряжения, преры-

вателя-распределителя, катушки зажигания. Ознакомиться с устройством и работой контактно-транзисторной и бесконтактной системами зажигания.

Изучить конструкцию электрического стартера и других приборов и узлов системы пуска двигателя.

Рассмотреть устройство и работу фар, фонарей освещения, указателей, датчиков и приемников.

### *Контрольные вопросы:*

1. Каков принцип действия свинцового аккумулятора?
2. Объясните устройство стартерной АКБ
3. Как маркируются АКБ?
4. Объясните по схемам устройство генератора Г-250 и принцип его работы с бесконтактно-транзисторным регулятором напряжения.
5. Объясните принципиальную схему бесконтактно- транзисторного регулятора напряжения.
6. Объясните принцип действия и назначение основных узлов классической системы зажигания.
7. Объясните принцип действия бесконтактной системы зажигания.
8. Объясните назначение и устройство свечи зажигания.
9. Объясните назначение и устройство распределителя зажигания.
10. Объясните принцип действия центробежного, вакуумного регуляторов и октан- корректора.
11. Объясните устройство электронного коммутатора.
12. Дайте общую характеристику и разъясните принцип работы системы пуска.
13. Объясните схему включения стартера в электроцепь.
14. Объясните устройство и принцип действия электродвигателя стартера.
15. Какую силу тока потребляет стартер и на какое время его следует включать?
16. Расскажите об устройстве тягового реле и механизма привода стартера.
17. Объясните устройство основных частей головной фары.
18. Назовите типы и устройство автоламп.
19. Расскажите об устройстве указателя температуры охлаждающей жидкости.
20. Объясните сущность управления указателями поворота при помощи термоэлектромагнитного прерывателя.

21. Расскажите об устройстве и принципе действия указателя давления масла.

22. Объясните принцип действия бесконтактного привода спидометра СП-155.

## Лабораторная работа 5

### ТРАНСМИССИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Тема:* Механическая трансмиссия: сцепление, коробка передач, раздаточная коробка, карданная передача, ведущие мосты.

*Цель работы:* Рассмотреть основные типы трансмиссии, их общее устройство и назначение основных частей. Особое внимание изучению механических трансмиссий.

При изучении сцеплений выяснить взаимодействие вращающихся масс, имеющих различные скорости вращения. Рассмотреть различные типы приводов сцепления.

Изучить конструкции механических ступенчатых коробок передач различных типов и раздаточных коробок согласно классификации.

Ознакомиться с устройством синхронизаторов.

Изучить конструкцию многовальных коробок передач.

Рассмотреть конструкцию карданных передач с шарнирами неравных угловых скоростей и равных угловых скоростей. Знать устройство и работу шарниров различных типов, используемых в карданных передачах и приводах к ведущим и управляемым колесам.

Изучить конструкцию главных передач различных типов, дифференциалов, полуосей и балок мостов. Рассмотреть действие дифференциалов при движении транспортных средств по кривой или буксовании и нагруженность полуосей в зависимости от способа их установки в балке ведущего моста.

*Контрольные вопросы:*

1. Как классифицируются трансмиссии?
2. Каково назначение трансмиссии?
3. Какие типы трансмиссий находят наибольшее применение?
4. Какие типы трансмиссий обеспечивают бесступенчатое изменение крутящего момента?

5. Какие элементы входят в состав ступенчатой механической трансмиссии?
6. Назначение сцепления.
7. Из каких основных частей состоят одно- и двухдисковые сцепления и как в них передается крутящий момент от ведущих к ведомым частям?
8. Как устроен гаситель крутильных колебаний?
9. Какие способы передачи крутящего момента от маховика к нажимному диску сцепления?
10. Основные элементы гидравлического привода сцепления?
11. Каково назначение коробок передач.
12. Основные элементы коробок передач?
13. Типы ступенчатых коробок передач, преимущества и недостатки.
14. На каких транспортных средствах меняются многовальные КПП?
15. Назначение и принцип действия синхронизатора?
16. Перечислите основные детали коробок передач и охарактеризуйте их назначение.
17. Назначение и устройство замкового устройства в механизме переключения.
18. Как устроен пневматический привод переключения передач?
19. С какой частотой устанавливаются ускоряющие передачи?
20. Для чего и на каких транспортных средствах устанавливают раздаточные коробки?
21. Типы раздаточных коробок. Преимущества и недостатки.
22. Что такое циркуляция мощности?
23. Сравнительный анализ раздаточных коробок с заблокированным и дифференциальным приводом.
24. Назначение карданной передачи.
25. Из каких основных частей состоит карданная передача?
26. Для чего необходимо в карданной передаче подвижное шлицевое соединение?
27. Что представляют собой шарниры неравных и равных угловых скоростей и где они применяются в трансмиссии?
28. Зачем нужна промежуточная опора карданной передачи?
29. На основе какого принципа в шарнирах равных угловых скоростей обеспечивается синхронность вращения валов?
30. Описать устройство трех типов шарниров равных угловых скоростей.
31. Каково назначение ведущего моста?

32. Из каких узлов и деталей состоит ведущий мост?
33. Какие типы главных передач вы знаете?
34. Какая главная передача называется гипоидной?
35. Для чего служит дифференциал?
36. Какие типы дифференциалов применяются в транспортных средствах?
37. Каковы преимущества и недостатки конического симметричного дифференциала?
38. Какое свойство конического дифференциала отрицательно влияет на проходимость?
39. Каково назначение полуосей?
40. В каких транспортных средствах применяется двойная разнесенная главная передача?
41. В каких транспортных средствах применяется полуразгруженные и разгруженные полуоси?

## Лабораторная работа 6

### ХОДОВАЯ ЧАСТЬ

*Тема:* Несущая система автомобилей, мосты, подвеска и колеса.

*Цель работы:* Изучить конструкции рам транспортных средств, несущих кузовов, кабин, платформ, управляемых и поддерживающих мостов. При изучении мостов рекомендуется обратить внимание на углы установки колес передних мостов автомобилей.

Рассмотреть различные типы подвесок. Изучить конструкции различных типов упругих элементов и амортизаторов. Усвоить, как осуществляется передача толкающих и скручивающих усилий. Установить роль амортизаторов в подвеске и принцип их действия. Особое внимание обратить на устройство задних подвесок трехосных автомобилей.

Уметь определять размер шин по их маркировке.

*Контрольные вопросы:*

1. Каково назначение несущих систем?
2. На каких типах транспортных средств применяется рамная несущая система и почему?
3. Какие типы рам применяются на автомобилях?

4. С какой целью управляемые колеса устанавливаются с развалом и схождение?
5. Каковы способы стабилизации управляемых колес?
6. Чем отличаются хребтовые рамы от лонжеронных?
7. Назначение и устройство тягово- сцепных и седельно- сцепных устройств.
8. Назначение подвески?
9. Основные устройства подвесок и их назначение?
10. Какие преимущества имеет независимая подвеска по сравнению с зависимой?
11. В чем состоят преимущества и недостатки листовой рессоры?
12. Преимущества и недостатки пневматической подвески.
13. Назначение стабилизатора поперечной устойчивости.
14. В чем преимущества газонаполненного амортизатора?
15. Требования, предъявляемые к шинам?
16. Как классифицируют шины в зависимости от ширины профиля?
17. Как маркируются шины?
18. Основные части автомобильного колеса.
19. Преимущества и недостатки бескамерных шин.

## Лабораторная работа 7

### РУЛЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ

*Тема:* Рулевой механизм и рулевой привод транспортных средств.

*Цель работы:* Рассмотреть схему движения автомобиля на повороте и положение передних управляемых колес.

Изучить устройство рулевых механизмов отечественных автомобилей ГАЗ, ЗиЛ, МАЗ, КамАЗ и сравнить их.

Уяснить работу рулевых приводов при зависимой и независимой подвесках.

Знать принцип действия и работу усилителей рулевых управлений различных типов и конструкций.

*Контрольные вопросы:*

1. Назначение и типы рулевых управлений.
2. Какие требования предъявляются к рулевым управлениям?
3. Из каких основных узлов состоит рулевое управление?

4. Как осуществляется поворот управляемых колес одной оси на разные углы?
5. Каково назначение усилителя рулевого управления?
6. Какие детали составляют рулевой привод?
7. Как применение усилителя рулевого управления способствует повышению безопасности дорожного движения?
8. Как устроены травмобезопасные рулевые управления?
9. Какими параметрами оценивается техническое состояние рулевого управления?
10. Назначение и типы рулевых механизмов.
11. В каком месте системы гидроусилителя размещаются предохранительный и перепускной клапаны?
12. Какие преимущества и недостатки имеют электрические усилители рулевого управления?
13. Чем создается «чувство дороги» у водителя автомобиля с гидроусилителем?
14. Каковы особенности рулевых механизмов ГАЗ-3307, ЗиЛ-431410, МАЗ- 5336?

## Лабораторная работа 8

### ТОРМОЗНЫЕ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Тема:* Тормозные механизмы и тормозные приводы транспортных средств.

*Цель работы:* Изучить устройство и принцип действия тормозных механизмов и тормозных приводов отечественных автомобилей ГАЗ, ЗиЛ, МАЗ, «Урал», КамАЗ.

Рассмотреть устройство и принцип работы приборов гидравлических, пневматических и комбинированных тормозных приводов, знать, на каких марках транспортных средств они применяются.

Знать схемы действия тормозных систем и основные регулировки в эксплуатации.

*Контрольные вопросы:*

1. Назначение тормозной системы.
2. Сколько и каких тормозных систем должно иметь современное транспортное средство?

3. Какие требования предъявляются к тормозным системам?
4. Какие приводы тормозов применяются на различных транспортных средствах?
5. Какие типы тормозных механизмов применяются на транспортных средствах?
6. Из каких основных элементов состоит рабочая тормозная система с гидравлическим приводом?
7. Основные части пневматического привода рабочей тормозной системы.
8. Для чего необходим гидровакуумный усилитель?
9. Какие преимущества имеют дисковые тормозные механизмы перед барабанными?
10. С какой целью на транспортных средствах применяются регуляторы тормозных сил?
11. Какие существуют пути борьбы с отказом тормозных систем при низких температурах?
12. Каково назначение тормоза-замедлителя?
13. Какие контуры входят в многоконтурный тормозной привод?
14. Какие типы стояночных тормозных систем применяются на транспортных средствах?
15. Как работает стояночная тормозная система с пружинным энергоаккумулятором?
16. Устройство и работа тормозных систем автопоездов.
17. Как регулируются колесные тормозные механизмы?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

---

1. Сидоров М. В., Царев О. А., Еременко Н. И. Тракторы и автомобили. Конструкция автомобиля : учебное пособие. Старый Оскол : ООО Тонкие наукоемкие технологии, 2023. 124 с.
2. Стуканов В. А., Леонтьев К. Н. Устройство автомобилей : учебное пособие. М. : «Форум» : ИНФРА-М, 2006. 496 с.
3. Передерий В. П. Устройство автомобилей : учебное пособие. М. : «Форум» : ИНФРА-М, 2008. 288 с.
4. Пехальский А. П. Устройство автомобилей : учебник. М. : «Академия», 2005. 528 с.
5. Якунин Н. Н., Калимуллин Р. Ф., Горбачев С. В. Расчет автомобильных двигателей: динамический расчет и компоновка двигателя. Оренбург : ГОУ ОГУ, 2003. 130 с.
6. Техническая эксплуатация автомобилей : учебник для вузов ; под ред. Е. С. Кузнецова. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Наука, 2001. 535 с.
7. Стуканов В. А. Устройство автомобилей. Сборник тестовых заданий : учебное пособие. М. : «ФОРУМ» ИНФА-М, 2011. 192 с.
8. Тур Е. Я. Серебряков К. Б., Жолобов Л. А. Устройство автомобиля. М. : Машиностроение, 1990.

Учебное издание

*Волков Андрей Андреевич*  
*Гасилова Ольга Сергеевна*  
*Пыталева Ольга Анатольевна*

**КОНСТРУКЦИЯ  
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

ISBN 978-5-94984-947-7



Редактор Р. В. Сайгина  
Оператор компьютерной верстки О. А. Казанцева

Подписано в печать 20.06.2025. Формат 60×84/16.  
Бумага офсетная. Цифровая печать.  
Уч.-изд. л. 7,88. Усл.-печ. л. 7,67.  
Тираж 300 экз. (1-й завод 26 экз.).  
Заказ № 8126

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет».  
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37.  
Редакционно-издательский отдел.  
Тел. 8 (343) 221–21–44.

Типография ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УПИ».  
620062, РФ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2.  
Тел. 8 (343) 362–91–16.