

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна  
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского  
федерального университета  
Дата подписания: 20.07.2023 14:56:24  
Уникальный программный ключ:  
d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

**Методические указания**  
по выполнению лабораторных работ  
по дисциплине **«Силовые агрегаты»**  
для студентов направления подготовки

**23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов**

Пятигорск, 2023

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 2C00000043E9AB8B952205E7BA5000600000043E  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
  
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

## СОДЕРЖАНИЕ

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                | 3   |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1..... | 6   |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2..... | 19  |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3..... | 41  |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4..... | 64  |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5..... | 84  |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6..... | 106 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7..... | 126 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8..... | 134 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9..... | 149 |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Силовые агрегаты» занимает особое место в процессе формирования специалистов в области автомобильного транспорта. Для ряда последующих предметов, входящих в учебный план подготовки бакалавров по направлению 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, данная дисциплина является одной из базовых. Поэтому глубокие знания, полученные в процессе освоения данной дисциплины, напрямую связаны с высоким качеством подготовки специалистов-транспортников.

Настоящие методические указания предназначены для проведения лабораторных занятий по дисциплине «Силовые агрегаты», являющихся основой получения практических и закрепления теоретических знаний.

Лабораторные занятия по дисциплине «Силовые агрегаты» проводятся с целью привития студентам твёрдых знаний по конструкции механизмов и систем двигателей внутреннего сгорания.

В методических указаниях приведены 9 лабораторных работ, для каждой из которых отмечены цель, содержание, последовательность выполнения и приложение, в котором даются все необходимые материалы для написания отчёта.

Целью лабораторных работ является закрепление студентами полученных теоретических знаний по устройству двигателей автомобилей и других энергетических установок.

В результате изучения курса студент обязан знать назначение, устройство и принцип работы механизмов и систем двигателей внутреннего сгорания.

На лабораторных работах студенты изучают материал по устройству двигателей автомобилей под руководством преподавателя в следующей последовательности: название системы, механизма, назначение, расположение, устройство и работа, регулировки. Объяснение устройства преподаватель сопровождает показом на материальной части, стендах, макетах, а также применением других технических средств обучения.

В процессе каждой лабораторной работы студент обязан составлять отчет по установленной форме). Отчет должен содержать ответы на контрольные вопросы, а также быть иллюстрирован схематичными рисунками деталей механизмов и систем двигателей автомобилей согласно тематике занятия.

До начала устного отчета по лабораторной работе студент обязан составить и защитить письменный отчет, объем и содержание которого оговаривается в методических указаниях по каждой работе, а вариант указывается преподавателем. Задание на следующую лабораторную работу выдается преподавателем только после получения зачета с положительной оценкой по выполненной студентом предыдущей лабораторной работе. Зачет по лабораторным занятиям складывается из зачетов по отдельным работам.

Студенты, не оформившие отчеты в установленные сроки, а также не имеющие отметки о выполнении лабораторных работ, не получают зачет и не допускаются к сдаче экзамена по дисциплине.

На первом занятии, студентам сообщают содержание и цели лабораторных занятий по дисциплине, знакомят с документацией и графиком выполнения работ.

Прежде чем приступить к выполнению работы, студент должен изучить ее содержание по данному учебному пособию, после чего преподаватель путем опроса проверяет готовность студентов к работе.

Предварительной подготовкой к лабораторным занятиям студенты занимаются дома. При домашней подготовке необходимо изучить содержание занятия по учебному пособию и повторить теоретический материал. При незнании теоретических выкладок студенты к выполнению практического занятия не допускаются.

После выполнения лабораторной работы студенты предъявляют преподавателю отчет, оформленный в соответствии с данным пособием. После защиты результатов работы и оценки ее качества преподавателем студенты допускаются к следующей работе.

Отчет по лабораторным работам выполняется на писчей бумаге стандартного формата А4 (297×210). Все листы сшиваются в папке скоросшивателем или переплетаются. Допускается выполнение отчета по лабораторным работам в общей тетради.

Содержание отчета следует иллюстрировать таблицами, схемами, рисунками и т.д. Графическому материалу по тексту необходимо давать пояснение в виде ссылок на рисунки и схемы, а внизу под графическим материалом обязательно выполнять подрисовочную надпись.

В тексте отчета не должно быть сокращенных слов, за исключением общепринятых.

В отчете используется сплошная нумерация страниц. На титульном листе номер страницы не проставляется.

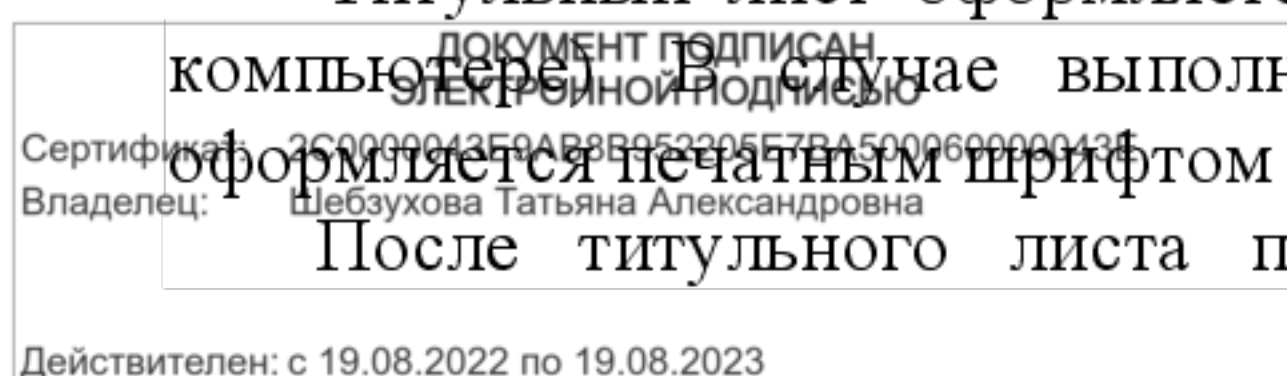
Титульный лист является первой страницей отчета и заполняется по определенным правилам. В верхнем поле указывается полное наименование учебного заведения и кафедры, по которой выполняются работы.

В среднем поле пишется: «Отчет по лабораторным работам по дисциплине...» Далее ближе к левому краю указываются фамилия, имя и отчество студента, курс, группа (шифр), а к правому краю (чуть ниже) указываются фамилия, имя, отчество преподавателя, а также его ученая степень и ученое звание.

В нижнем поле указывается место выполнения работ и год выполнения (без слова «год»).

Титульный лист оформляется печатным шрифтом (или набранным на компьютере). В случае выполнения отчета в тетради титульный лист оформляется печатным шрифтом от руки.

После титульного листа помещается содержание (оглавление), где



приводятся все заголовки работ и указываются страницы, на которых они помещены. Необходимо помнить, что все заголовки содержания должны точно повторять заголовки в тексте. Сокращать или давать их в другой формулировке, последовательности по сравнению с заголовками в тексте нельзя.

Заголовки одинаковых ступеней рубрикации необходимо располагать друг под другом, а заголовки последующей ступени смещают на три – пять знаков вправо по отношению к заголовкам предыдущей ступени.

Различного рода вспомогательные или дополнительные материалы помещают в приложении.

Схемы, рисунки, графики необходимо выполнять карандашом, черной пастой или тушью на листах писчей, чертежной или миллиметровой бумаги, которые вкладываются в отчёт. При необходимости можно использовать листы нестандартного формата.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

**Тема:** изучение общего устройства и работы двигателей внутреннего сгорания.

**Цель работы:** закрепить теоретические знания по назначению, устройству и работе двигателей внутреннего сгорания.

**Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:**

## Знать:

- 1) виды и типы автомобильных энергетических установок;
- 2) основные конструктивные решения энергетических установок,
- 3) назначение, устройство и принципы действия механизмов и систем двигателей внутреннего сгорания автомобилей, их принципиальные компоновочные схемы;
- 4) рабочие процессы и показатели работы поршневых двигателей внутреннего сгорания;
- 5) тенденции и направления развития конструкций двигателей внутреннего сгорания, диктуемые современными требованиями к автомобилям;

## Уметь:

- 1) выбирать оптимальный вид двигателей внутреннего сгорания для автомобиля, учитывая специфические условия эксплуатации автомобиля, современные эксплуатационные и экологические требования, а также требования безопасности;
- 2) самостоятельно осваивать новые конструкции автомобильных двигателей, их механизмы и системы;
- 3) оценивать технический уровень конструкции тепловых двигателей и комбинированных силовых установок автомобилей
- 4) осуществлять контроль состояния двигателей внутреннего сгорания

**Теоретическая часть:** см. приложение 1.

### Оборудование и материалы:

### Разрез оппозитного двигателя SUBARU EJ 20, EJ 205

## Разрез двигателя РЕНО

## Разрез двигателя ЗМЗ-402

## Разрез роторно-поршневого двигателя ВАЗ – 311

Разрез двигателя МеМЗ - 968.

Учебный макет четырехтактного поршневого двигателя.

Плакаты «Двигатель ВАЗ – 2112», «Двигатель ЗМЗ – 402», «Двигатель ВАЗ-2107», «Двигатель ВАЗ – 2110».

**Указания по технике безопасности:** См. инструктаж по технике

безопасности учебной лаборатории автомобильных двигателей.

**Задания:**

1. Изучить устройство и принцип работы роторно-поршневых двигателей.
2. Изучить устройство и принцип работы газотурбинных двигателей.
3. Изучить общее устройство и принцип работы поршневых двигателей, назначение основных механизмов и систем.

**Содержание отчета:**

1. Вычертить схему и описать особенности работы роторно-поршневого двигателя.
2. Вычертить схему и описать особенности работы газотурбинного двигателя.
3. Описать рабочий цикл и принцип работы двухтактных двигателей внутреннего сгорания.
4. Описать рабочий цикл и принцип работы четырехтактных двигателей внутреннего сгорания.
5. Вычертить возможные компоновочные схемы поршневых ДВС, описать их особенности и использование в конкретных марках автомобилей.
6. Составить отчет о работе в соответствии с п.п. 1 – 5, дать ответы на контрольные вопросы.

**Контрольные вопросы:**

1. Какие виды двигателей внутреннего сгорания существуют?
2. Какие механизмы входят в поршневой двигатель внутреннего сгорания? Каково их назначение?
3. Какие системы входят в поршневой двигатель внутреннего сгорания? Каково их назначение?
4. Каков принцип действия газотурбинного двигателя?
5. В чем отличие роторно-поршневого двигателя от поршневого?
6. Чем конструктивно отличается двухтактный ДВС от четырехтактного?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

### Тема 3. ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) - это тепловая машина, в которой подвод тепла к рабочему телу осуществляется путем сжигания топлива внутри самого двигателя.

По способу реализации полезной работы цикла ДВС могут быть:

1. поршневыми;
2. роторно-поршневыми;
3. газотурбинными.

### 3.1. Роторно-поршневые двигатели

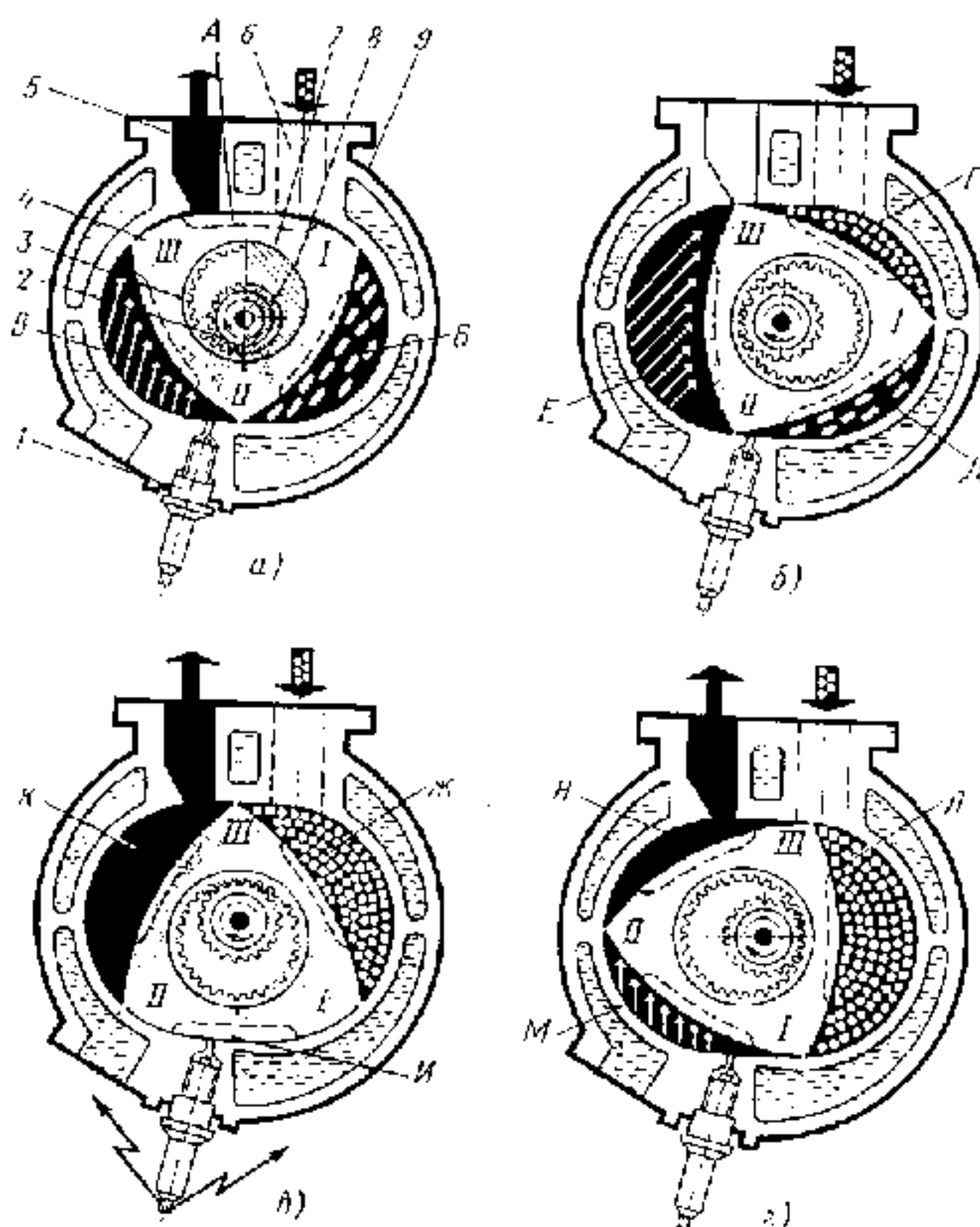


Рис. 3.1. Схема роторно-поршневого двигателя

На некоторых автомобилях в настоящее время устанавливают роторно-поршневые двигатели (рис. 3.1). Внутренняя полость статора 9 имеет сложную геометрическую форму. В статоре на подшипниках закреплен вал 8, на котором жестко закреплен эксцентрик 7. На эксцентрике свободно установлен трехгранный ротор-поршень 4. Зубчатый венец 3 ротора находится в зацеплении с неподвижной шестерней 2, закрепленной на статоре. Передаточное отношение зубчатого зацепления обеспечивает при одном обороте ротора-поршня три оборота вала. Ротор и вал вращаются в

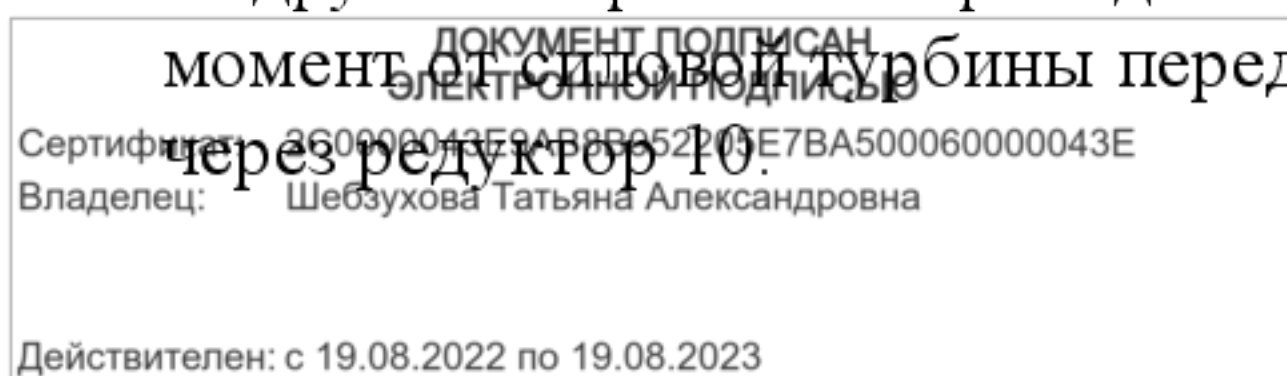
одном направлении. В статоре имеются рубашка для жидкостного охлаждения, впускной 6 и выпускной 5 каналы и установлена свеча 1 зажигания.

Трехгранный ротор-поршень разделяет внутреннюю часть статора на три полости, объем которых изменяется при вращении ротора. В каждой полости совершаются процессы рабочего цикла, аналогичные процессам в четырехтактном поршневом карбюраторном двигателе. Когда поршень находится в положении, показанном на рис. 3.1, а, в объеме, ограниченном гранью II—III, совершается рабочий ход, т. е. происходит расширение газов. Давление газов, воспринимаемое ротором-поршнем, приводит его и вал двигателя во вращение. В это же время из объема А, ограниченного гранью III — I, отработавшие газы вытесняются через канал 5 в атмосферу, а в объеме Б (грань I— II поршня) начинается сжатие рабочей смеси. При дальнейшем повороте ротора-поршня продолжается расширение в объеме Е (рис.3. 1, б), в увеличивающемся объеме Г происходит впуск свежей горючей смеси из карбюратора через канал 6, а в уменьшающемся объеме Д — сжатие.

На рис.3. 1, в, показан момент, когда выпускной канал 5 полностью открыт, из объема К выходят отработавшие газы, а в объеме Ж продолжается впуск горючей смеси. В это время в объеме И сжатая рабочая смесь воспламеняется электрической искрой от свечи зажигания 7. В положении, показанном на рис.3. 1, г, в объеме, ограниченном гранью I— II поршня, начинается расширение газов, т. е. рабочий ход. Таким образом, в каждой из трех полостей роторно-поршневого двигателя последовательно происходят впуск (объемы А, Г, Ж, Л), сжатие (объемы Б, Д, И), сгорание и расширение (объемы М, В, Е), а также выпуск (объемы К, Н, А). Процессы эти скоротечны, так как в существующих роторно-поршневых двигателях  $n = 6000 - 8000$  об/мин. Увеличение мощности таких двигателей достигается установкой на валу нескольких роторов-поршней.

### 3.2. Газотурбинные двигатели

Принципиальная схема газотурбинного автомобильного двигателя показана на рис.3. 2. Воздух из атмосферы засасывается компрессором 2 через воздухозаборник 1 и нагнетается в теплообменник 3, где он нагревается а затем поступает в камеру сгорания 4. Непрерывно впрыскиваемое форсункой 5 в камеру сгорания топливо сгорает, а образующиеся горячие газы направляются на лопатки турбины 6 компрессора, а затем на лопатки силовой турбины 7. Воздействуя на лопатки обеих турбин, газы, движущиеся с высокой скоростью, заставляют их вращаться независимо одна от другой. Через вал 8 приводится во вращение компрессор 2, а через вал 9 момент от силовой турбины передается на вал 11 привода к трансмиссии через редуктор 10.



Выходящие из турбин горячие газы направляются в теплообменник 3, где подогревают воздух, подаваемый в камеру сгорания, после чего выбрасываются в атмосферу.

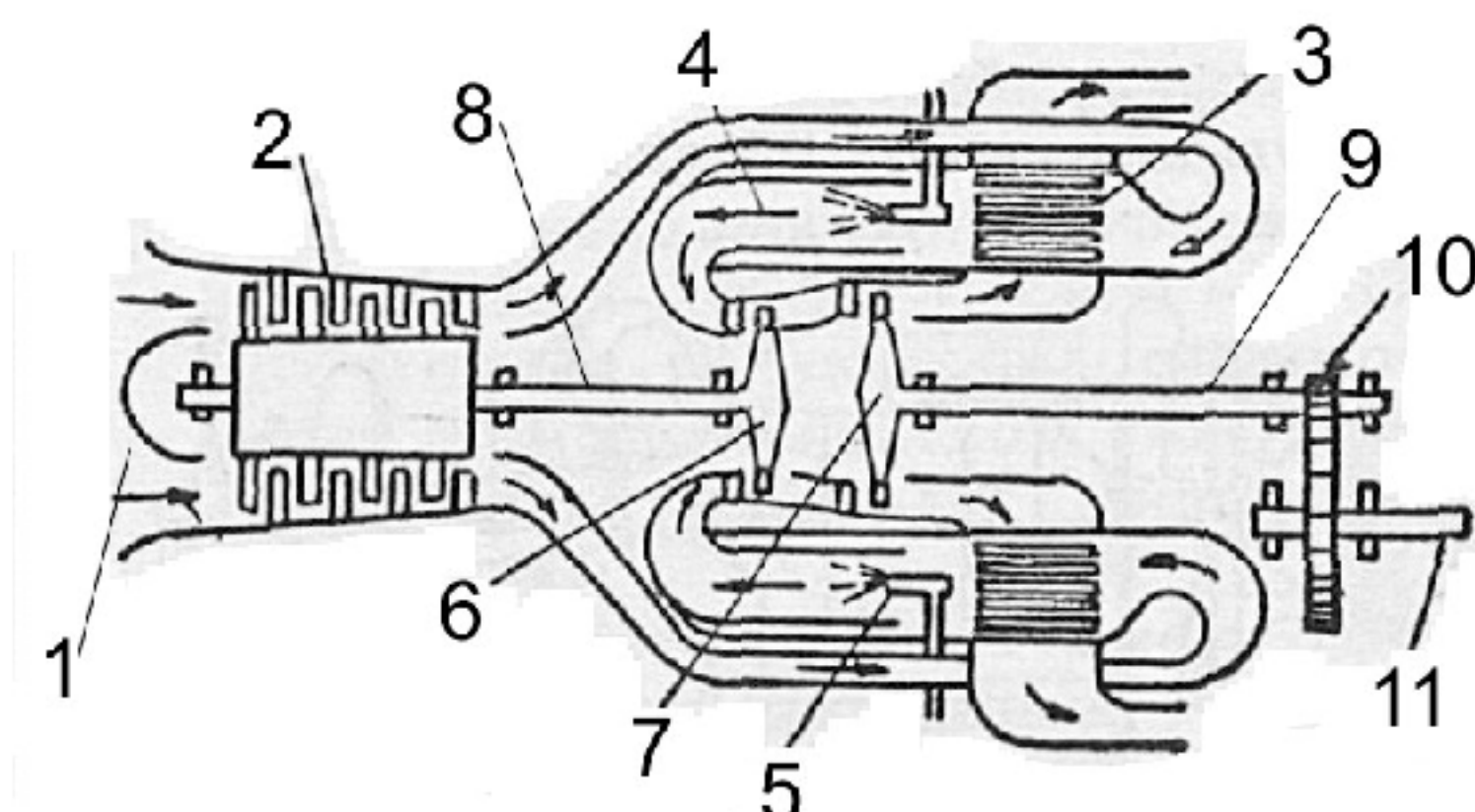


Рис. 3.2. Принципиальная схема двухвального газотурбинного двигателя с теплообменником

Как видно, деталью газотурбинного двигателя, непрерывно воспринимающей энергию газов, является колесо силовой турбины, совершающее только вращательное движение. Непрерывность рабочего процесса позволяет получить большие мощности при небольших размерах газовых турбин, а отсутствие кривошипно-шатунного механизма исключает неравномерность вращения вала, присущую поршневым двигателям.

Автомобильные газотурбинные двигатели имеют и другие преимущества перед поршневыми: благоприятное изменение крутящего момента, возможность работать на любом жидком или газообразном топливе, легкий пуск при низких температурах, менее токсичные продукты сгорания. Основными недостатками газотурбинных автомобильных двигателей являются сложность и высокая стоимость их производства, а при отсутствии теплообменника — низкая экономичность. Поэтому область применения таких двигателей ограничивается автомобилями большой грузоподъемности.

### 3.3. Поршневые двигатели внутреннего сгорания

#### 3.3.1. Общее устройство поршневого двигателя, назначение основных механизмов и систем.

Поршневой двигатель состоит из механизмов кривошипно-шатунного и газораспределения и систем охлаждения, смазочной, питания, зажигания, пуска.

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
Электронной подписью  
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E  
Владелец: Себзукова Татьяна Алексеевна  
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Механизм газораспределения (ГРМ) предназначен для своевременного открытия и закрытия клапанов, что необходимо для впуска в цилиндре горючей смеси (карбюраторные и газовые двигатели) или воздуха (дизели) и выпуска отработавших газов.

Система питания служит для подачи отдельно топлива и воздуха в цилиндры дизеля или приготовления горючей смеси из мелко распыленного топлива и воздуха и подачи смеси в цилиндры бензинового или газового двигателя.

Система охлаждения обеспечивает нормальный тепловой режим двигателя.

Смазочная система служит для смазочного материала к трущимся поверхностям с целью уменьшения трения, снижения износа и отвода теплоты от контактирующих поверхностей.

Система зажигания обеспечивает воспламенение рабочей смеси в карбюраторных и газовых двигателях.

Система пуска служит для вращения коленчатого вала двигателя при его пуске.

### **3.3.2. Рабочий цикл и принцип работы двухтактных двигателей внутреннего сгорания**

В двухтактных двигателях рабочий цикл (процессы впуска топливной смеси, выпуска отработанных газов, продувки) происходит в течении одного оборота коленвала за два основных такта. У двигателей такого типа отсутствуют клапаны (как в четырехтактных ДВС), их роль выполняет поршень, который при своем перемещении закрывает впускные, выпускные и продувочные окна. Поэтому они более просты в конструкции.

Мощность двухтактного двигателя при одинаковых размерах цилиндра и частоте вращения вала теоретически в два раза больше четырехтактного за счет большего числа рабочих циклов. Однако неполное использование хода поршня для расширения, худшее освобождение цилиндра от остаточных газов и затраты части вырабатываемой мощности на продувку приводят практически к увеличению мощности только на 60...70%.

Смазка всех трущихся поверхностей и подшипников внутри двухтактных двигателей происходит с помощью топливной смеси, в которое подмешано необходимое количество масла. Топливная смесь попадает и в кривошипную камеру двигателя (это та полость, где закреплен и вращается коленчатый вал), и в цилиндр. Смазки там нигде нет, а если бы и была, то смылась топливной смесью. Вот по этой причине масло и добавляют в определенной пропорции к бензину. Тип масла используется специальный, именно для двухтактных двигателей. Оно должно выдерживать высокие температуры и, которая вместе с топливом, оставлять минимум зольных отложений.

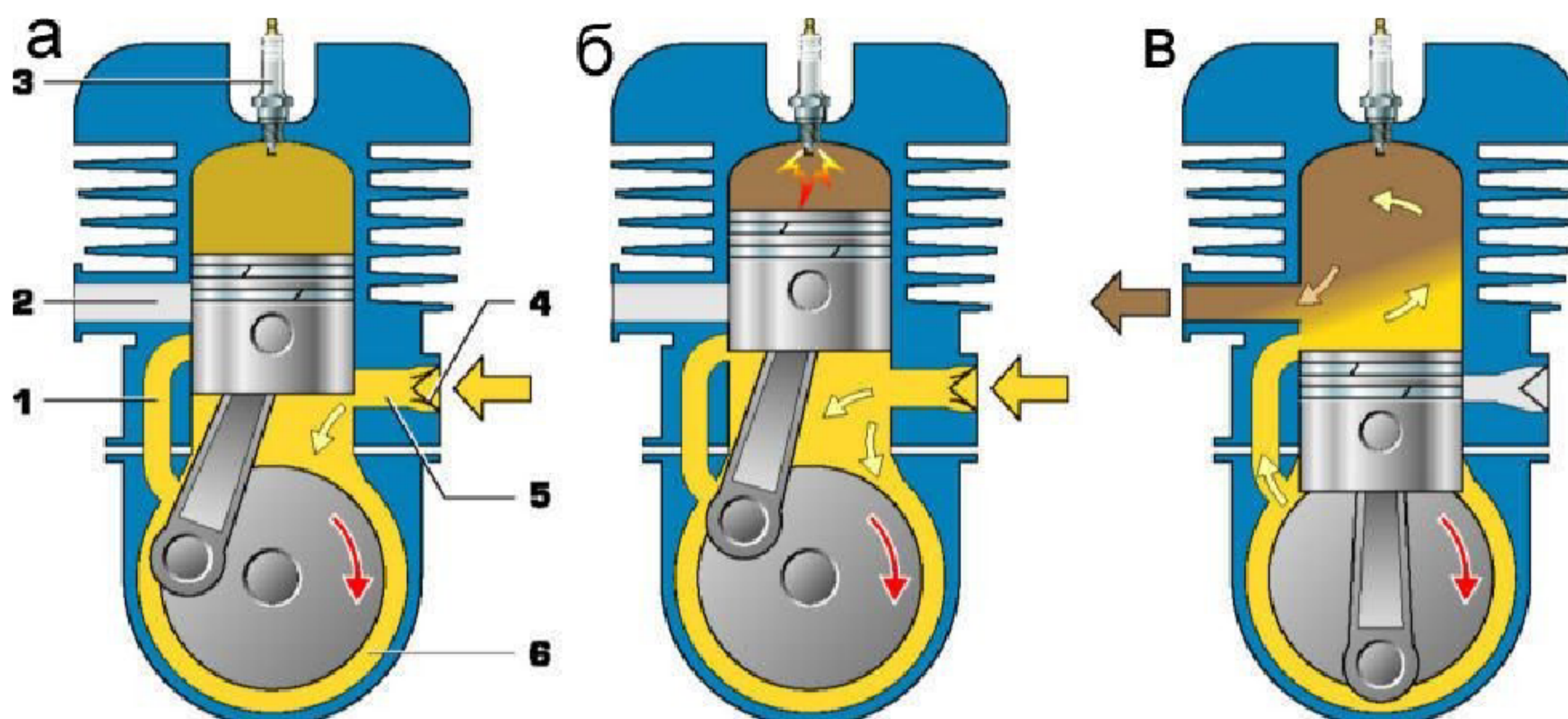


Рис.3.3. Схема работы двухтактного двигателя: 1 — продувочный канал; 2 — выпускной канал; 3 — свеча зажигания; 4 — лепестковый клапан во впускном канале; 5 — впускной канал; 6 — кривошипная камера; а — впуск в кривошипную камеру, сжатие в цилиндре; б — воспламенение (до ВМТ) и последующее сгорание в цилиндре; в — выпуск отработавших газов из цилиндра и продувка горючей смесью из картера.

В двухтактном двигателе рабочий цикл происходит следующим образом.

**Первый такт - сжатие.** Поршень перемещается от нижней мертвой точки (НМТ) к верхней мертвой точке (ВМТ) поршня, перекрывая сначала окно продувочного 1, а затем окно выпускного канала 2 (рис.3.3а). После закрытия поршнем выпускного окна в цилиндре начинается сжатие ранее поступившей в него горючей смеси. Одновременно в кривошипной камере 6 вследствие ее герметичности и после того как поршень перекрывает окно продувочного канала 1, под поршнем создается разрежение, под действием которого из карбюратора через окно впускного канала 5 и открывающийся лепестковый клапан 4 поступает горючая смесь в кривошипную камеру.

**Второй такт - рабочий ход.** При положении поршня около ВМТ сжатая рабочая смесь воспламеняется электрической искрой от свечи 3, в результате чего температура и давление газов резко возрастают. Под действием теплового расширения газов поршень перемещается к НМТ, при этом расширяющиеся газы совершают полезную работу (рис.3.3б). Одновременно, опускаясь вниз, поршень создает высокое давление в кривошипной камере 6 (сжимая топливо-воздушную смесь в ней). Под действием давления клапан 4 закрывается, не давая таким образом горючей смеси снова попасть во впускной коллектор и затем в карбюратор. Когда поршень дойдет до окна выпускного канала 2, оно открывается и начнется выпуск отработавших газов в атмосферу, давление в цилиндре понижается.

При дальнейшем перемещении поршень открывает окно продувочного канала 1 (рис.3в), и сжатая в кривошипной камере горючая смесь поступает

по каналу 1, заполняя цилиндр и осуществляя продувку его от остатков отработавших газов. Далее цикл повторяется.

### 3.3.3. Рабочий цикл и принцип работы четырехтактных двигателей внутреннего сгорания

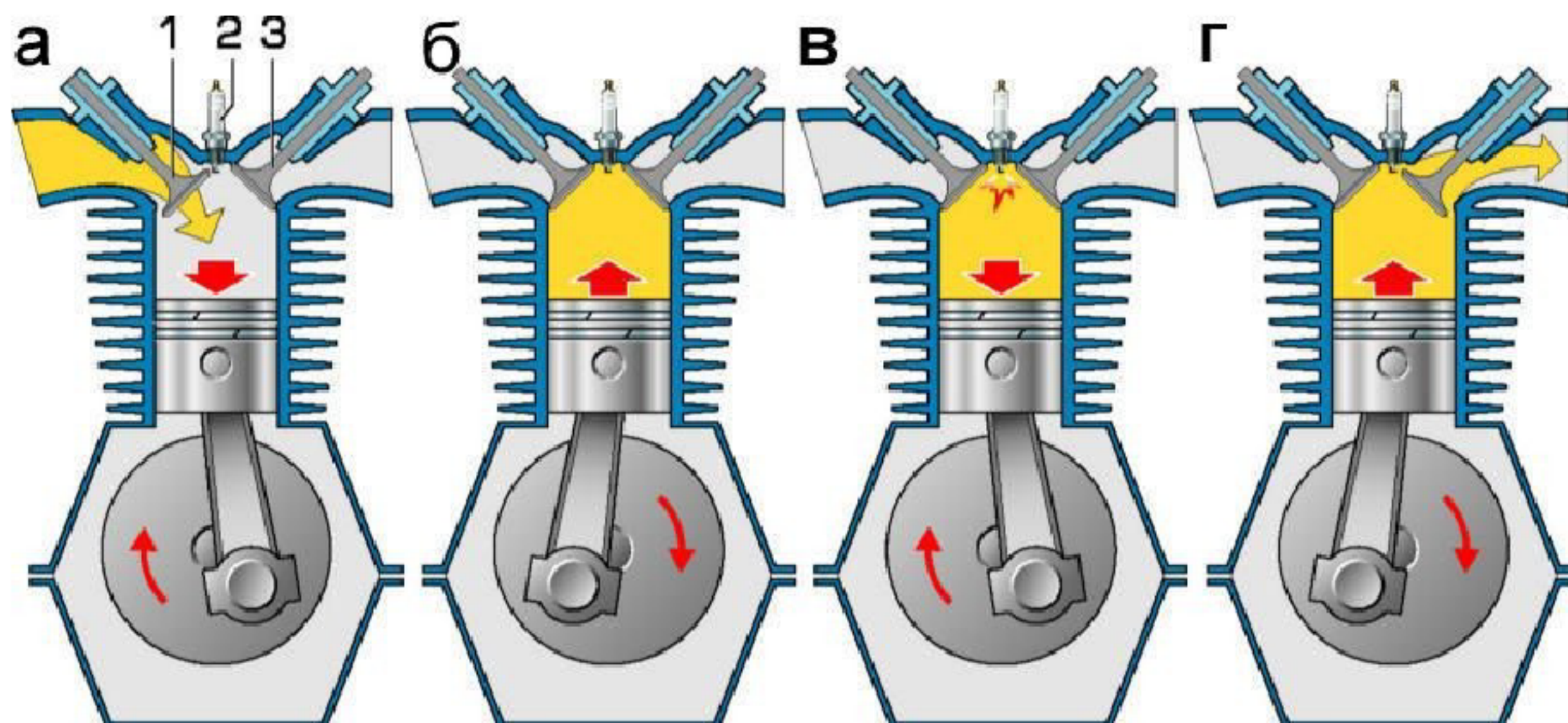


Рис.3.4. Схема работы четырехтактного двигателя: 1 — впускной клапан; 2 — свеча зажигания; 3 — выпускной клапан; а — такт впуска; б — такт сжатия; в — такт расширения (рабочий ход); г — такт выпуска.

Рабочий цикл четырехтактных поршневых двигателей осуществляется, как правило, за два оборота коленчатого вала, что соответствует четырем ходам (тактам) поршня от одной мертвой точки до другой.

Поршень, перемещаемый в цилиндре, шарнирно соединен с шатуном, который в свою очередь шарнирно соединен с кривошипом коленчатого вала. В головке цилиндра установлены впускной 1 и выпускной 3 клапаны, которые связывают полость внутри цилиндра с окружающей средой. Поршень совершает возвратно-поступательное движение от В.М.Т до Н.М.Т, а коленчатый вал — вращательное.

**Первый такт —наполнения (впуск)** цилиндра двигателя свежим зарядом горючей смеси через впускной клапан 1 протекает при движении поршня от ВМТ к НМТ (рис.3.4а).

В дизельных двигателях свежий заряд состоит из воздуха, поступающего непосредственно из атмосферы через впускную систему и впускной клапан, который к моменту начала движения поршня от ВМТ уже открыт. Свежий заряд двигателя с внешним смесеобразованием (бензиновый двигатель) состоит из смеси уже распыленного топлива и воздуха. Эта смесь может быть приготовлена либо в карбюраторе, либо, после впрыска топлива, во впускной системе. При движении поршня от ВМТ в ходе такта впуска происходит смешение (газообмен) свежего заряда (воздуха или смеси воздуха с топливом) с отработавшими газами, оставшимися в камере

сгорания после предыдущего рабочего цикла. Наиболее интенсивного газообмен осуществляется в период совместного открытия впускного и выпускного клапанов, так как выпускной клапан закрывается только после начала впуска в ходе движения поршня к НМТ. Таким образом, при такте впуска происходит наполнение цилиндра двигателя свежим зарядом, газообмен между свежим зарядом и отработавшими газами, а в двигателях с внешним смесеобразованием продолжение активного приготовления рабочей смеси (испарение топлива и перемешивание его с воздухом и отработавшими газами). Повышение количества и плотности горючей смеси в составе рабочей смеси, за счет сокращения отработавших газов, повышает эффективность работы двигателя.

**Второй такт – сжатие** протекает при движении поршня от НМТ к ВМТ (рис.3.4б). Клапаны при этом закрыты.

По окончании сжатия смесь зажигается и очень быстро сгорает. До вспышки рабочее тело представляло собой горючую смесь, в конце горения это уже продукт сгорания.

На этом этапе происходит очень резкое увеличение давления  $p$  и температуры  $T$ . Теплотой, выделившейся в результате сгорания смеси, нагреваются продукты сгорания, их давление и температура увеличиваются.

Следует отметить, что в первый период такта сжатия продолжается наполнения цилиндра (дозарядка) или обратный выброс смеси, так как все еще открыт впускной клапан, который закрывается несколько позже прохождения поршнем НМТ. После закрытия впускного клапана начинается непосредственно процесс сжатия с повышением температуры и давления рабочей смеси в цилиндре двигателя с внешним смесеобразованием, а в цилиндре двигателя с внутренним смесеобразованием – сжатие смеси воздуха с отработавшими газами. Рабочая смесь в этих двигателях образуется в ходе такта сжатия при впрыскивании топлива непосредственного в цилиндр под большим давлением в конце такта сжатия и самовоспламенения. В двигателе с внешним смесеобразованием сжатия рабочая смесь также воспламеняется вблизи ВМТ, но от электрической искры высокого напряжения. Заключительный этап такта сжатия при подходе поршня к ВМТ характеризуется совместным протеканием сжатия и горения рабочей смеси.

**Третий такт – расширение – рабочий ход.** Когда поршень делает третий ход, происходит процесс расширения газов (рис.3.4в).

Первый этап расширения начинается совместно с активным продолжением процесса сгорания рабочей смеси при резком повышении давления в надпоршневой части цилиндра. Расширяющиеся в процессе сгорания газы перемещают поршень от ВМТ к НМТ, совершая полезную работу – рабочий ход. Давление от расширяющихся газов передается через поршень и шатун на шатунную шейку коленчатого вала, заставляя его вращаться, совершая полезную механическую работу. Завершается процесс расширения открытием выпускного клапана до прихода поршня в НМТ и началом выпуска отработавших газов из цилиндра.

**Четвертый такт – выпуск отработавших газов** совершается при движении поршня от НМТ к ВМТ (рис.3.4г).

При четвертом ходе поршня, из цилиндра удаляются продукты сгорания через выпускной клапан 3, причем начало этого процесса совпадает с концом процесса расширения. Далее, при движении поршня к ВМТ происходит принудительное удаление остатков продуктов сгорания из цилиндра. Далее цикл повторяется.

Следует отметить, что в начале процесса выпуска, при движении поршня от НМТ, выпускной клапан уже открыт, а при подходе поршня к ВМТ открывается и впускной клапан. Таким образом, завершение процесса выпуска происходит при двух открытых клапанах – выпускном и впускном, что обеспечивает начало нового рабочего цикла в конце такта выпуска, создавая необходимые условия для непрерывной работы двигателя внутреннего сгорания.

### 3.3.4. Компоновочные схемы поршневых двигателей.

В одноцилиндровом четырехтактном двигателе коленчатый вал вращается неравномерно, поэтому маховик должен обладать большим моментом инерции. В многоцилиндровом двигателе вращение коленчатого вала происходит равномернее, так как рабочие ходы в различных цилиндрах не совпадают друг с другом. Чем больше цилиндров имеет двигатель, тем равномернее вращается коленчатый вал. Нагрузка на детали кривошипно-шатунного механизма в многоцилиндровом двигателе изменяется более плавно, чем в одноцилиндровом.

Цилиндры двигателя могут быть расположены следующим образом: вертикально в один ряд — однорядные (рис. 3.5, а) в двигателях автомобилей ВАЗ-2121 «Жигули», ГАЗ-52-04, ГАЗ-3102 «Волга», ЗИЛ-157КД и др.; под углом  $\alpha$  к вертикали (рис. 3.5, б) в двигателе автомобиля «Москвич-2140»; в два ряда — V-образные (рис. 3.5, в) в двигателях автомобилей ГАЗ-3307, ЗИЛ-431410, МАЗ-5335, КамАЗ-5320, КАЗ-4540, «Урал-4320» и др.; горизонтально с углом  $180^\circ$  между рядами цилиндров — двигатели с противоположно лежащими цилиндрами (рис.3. 5, г), т. е. с противоположно движущимися поршнями. Эти двигатели иногда называют оппозитными.

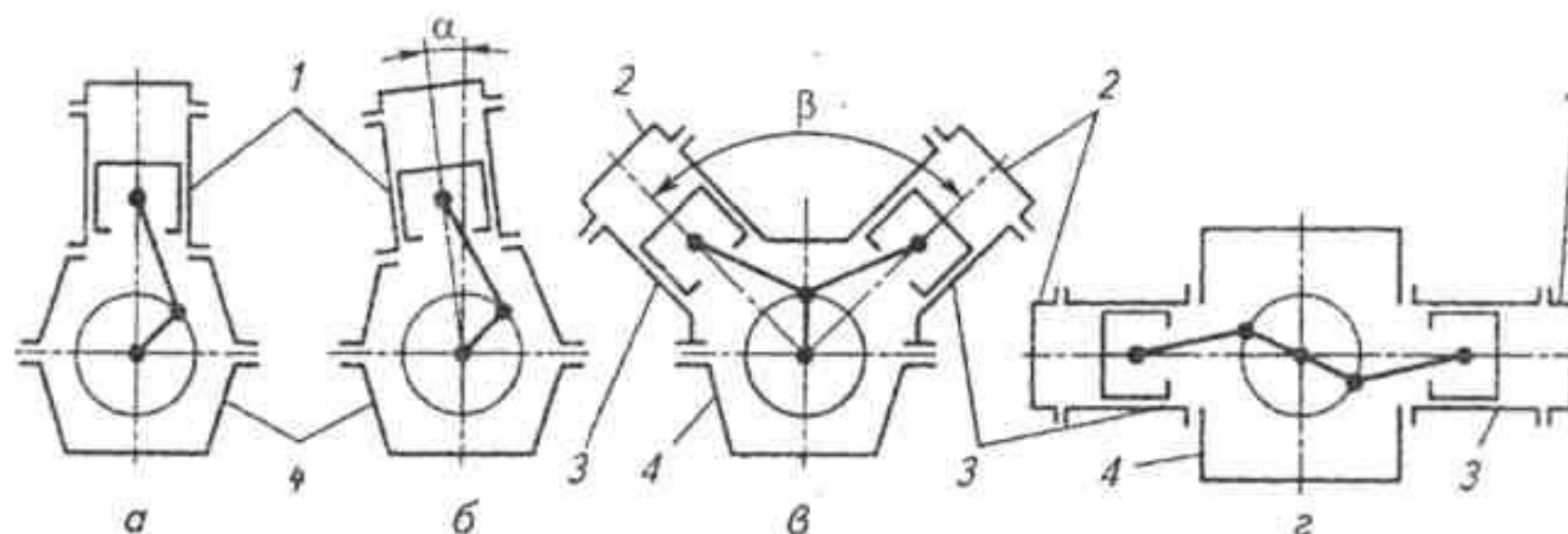


Рис. 3.5. Схемы расположения цилиндров двигателя:

|                                           |                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ |                                        |
| Сертификат:                               | 2C0000043E9AB8B9520557BA3005060000043E |
| Владелец:                                 | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023  |                                        |

*a* — однорядного; *б* — однорядного с наклоном к вертикали; *в* — V-образного; *г* — с противоположно лежащими цилиндрами; *1* — цилиндр; *2* — головка блока; *3* — блок цилиндров; *4* — поддон

При таком расположении цилиндров уменьшается высота двигателя и его можно устанавливать под полом кузова, например в автобусах.

При двухрядном V-образном расположении цилиндров двигатель имеет большую жесткость конструкции, меньшие размеры и массу, чем однорядный той же мощности. Жесткий коленчатый вал (вследствие уменьшения его длины) допускает работу без гасителя крутильных колебаний и позволяет форсировать по степени сжатия. К недостаткам V-образных двигателей можно отнести их значительную ширину и более сложную конструкцию.

На отечественных автомобилях устанавливают четырех-, шести- и восьмицилиндровые двигатели. Многоцилиндровые двигатели обычно делают V-образными с углом  $\beta$  между цилиндрами 60, 75 и 90° (чаще).

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2**

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023



безопасности учебной лаборатории автомобильных двигателей.

### **Задания:**

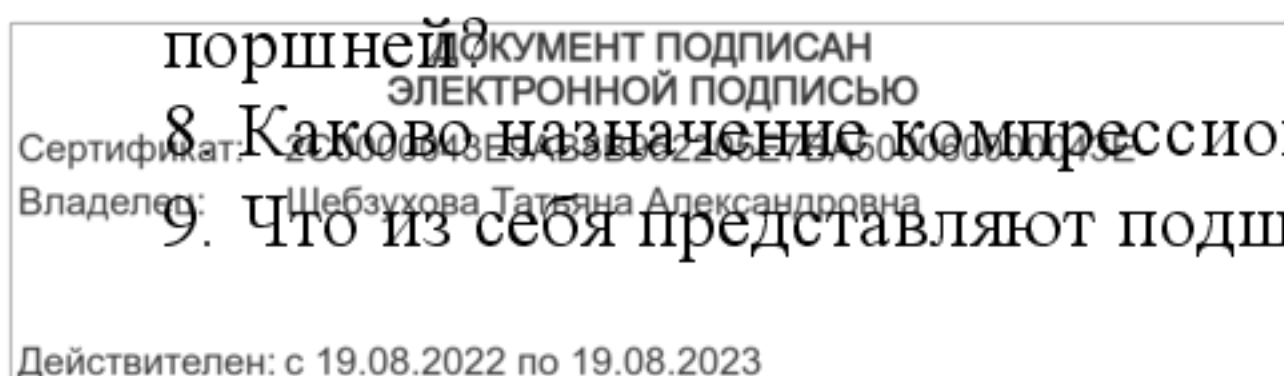
1. Изучить общее устройство кривошипно-шатунного механизма.
2. Изучить устройство и назначение деталей КШМ.

### **Содержание отчета**

1. Описать назначение и устройство кривошипно-шатунного механизма.
2. Описать назначение, виды и устройство блоков цилиндров.
3. Вычертить схемы и описать особенности вставных гильз.
4. Описать конструкцию головки блока цилиндров.
5. Вычертить схемы и описать особенности камер сгорания бензиновых и дизельных двигателей.
6. Вычертить схемы и описать особенности прокладок для уплотнения газового стыка.
7. Описать назначение и устройство поддона картера.
8. Перечислить подвижные детали кривошипно-шатунного механизма.
9. Описать назначение и устройство поршня.
10. Вычертить схемы и описать особенности компрессионных поршневых колец.
11. Вычертить схемы и описать особенности маслосъемных поршневых колец.
12. Описать назначение и особенности поршневых пальцев.
13. Описать назначение, конструкцию и особенности шатунов.
14. Описать назначение, конструкцию и особенности полноопорного коленчатого вала.
15. Описать назначение и виды маховиков.
16. Составить отчет о работе в соответствии с п.п. 1 – 15, дать ответы на контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы:**

1. Какие материалы используются при изготовлении блоков цилиндров, головок блоков и гильз?
2. Каковы преимущества от применения вставных гильз в конструкциях двигателей?
3. В чем отличие мокрой гильзы от сухой?
4. От чего зависит конструкция головок блоков?
5. Каково назначение прокладок для уплотнения газового стыка?
6. Каковы условия работы поршней?
7. Какие конструктивные меры используются для исключения заклинивания поршней?
8. Каково назначение компрессионных и маслосъемных колец?
9. Что из себя представляют подшипники, применяемые в шатунах?



10. Как подводится масло к коренным и шатунным шейкам коленчатого вала?

11. Каковы преимущества двухмассового маховика?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

## Тема 4. КРИВОШИПНО-ШАТУННЫЙ МЕХАНИЗМ

### 4.1. Устройство кривошипно-шатунного механизма

В кривошипно-шатунный механизм входят блок цилиндров с картером и головкой цилиндров, шатунно-поршневая группа и коленчатый вал с маховиком.

Блок цилиндров 11 (рис. 4.1) с картером 10, головка 8 блока цилиндров и крышка 6 головки, а также прокладки 4 и 5 и поддон картера являются неподвижными частями кривошипно-шатунного механизма.

К подвижным частям механизма относятся коленчатый вал 34 с маховиком 43 и детали шатунно-поршневой группы – поршни 24, поршневые кольца 18 и 19, поршневые пальцы 26 и шатуны 27.

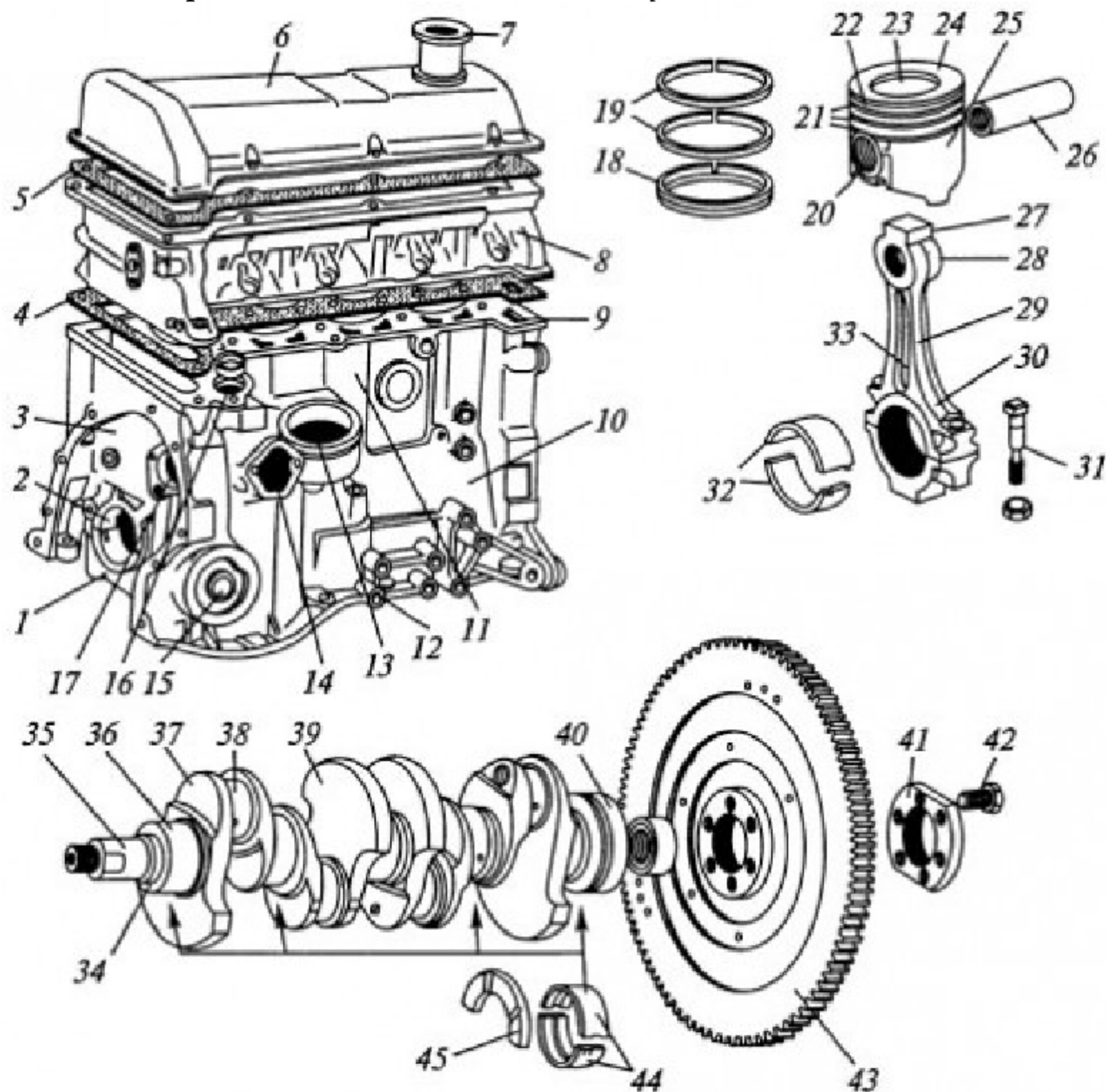


Рис. 4.1. Кривошипно-шатунный механизм двигателей легковых автомобилей:

1, 6 – крышки; 2 – опора; 3, 9 – полости; 4, 5 – прокладки; 7 – горловина; 8, 22, 28, 30 – головки; 10 – картер; 11 – блок цилиндров; 12 – 16, 20 – приливы; 17, 33 – отверстия; 18, 19 – кольца; 21 – канавки; 23 – днище; 24 – поршень; 25 – пальцы; 26 – поршневые пальцы; 27 – шатуны; 28 – шатуны; 29 – шатуны; 30 – шатуны; 31 – болты; 32 – прокладки; 33 – болты; 34 – коленчатый вал; 35 – болты; 36 – болты; 37 – болты; 38 – болты; 39 – болты; 40 – шестерня; 41 – болты; 42 – болты; 43 – маховик; 44 – болты; 45 – болты.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E  
Владелец: Шабзулова Татьяна Юрьевна  
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

25 – юбка; 26 – палец; 27 – шатун; 29 – стержень; 31, 42 – болты; 32, 44 – вкладыши; 34 – коленчатый вал; 35, 40 – концы коленчатого вала; 36, 38 – шейки; 37 – щека; 39 – противовес; 41 – шайба; 43 – маховик; 45 – полукольцо.

#### 4.1.1. Неподвижные детали и узлы КШМ

##### Блок цилиндров

Блок цилиндров является остовом двигателя, внутри которого расположены основные детали, механизмы и системы. Эта деталь изготавливается методом литья из легированного чугуна или алюминиевых сплавов. Блок может быть отлит вместе с цилиндрами или иметь вставные цилиндры. В однорядных и V-образных двигателях с жидкостным охлаждением цилиндры обычно выполняются в виде моноблока заодно с картером. Конструкция обладает большой жесткостью. Жесткость блока может быть повышена ребрением перегородок, расположением плоскости крепления нижней части картера ниже плоскости разъема коренных подшипников, применением туннельного картера, не имеющего плоскостей разъема по коренным подшипникам.

В блоке 11 (рис.4.1), выполненном заодно с картером 10 из специального низколегированного чугуна, размещены цилиндры двигателя. Внутренние поверхности цилиндров отшлифованы и называются зеркалом цилиндров. Внутри блока между стенками цилиндров и его наружными стенками имеется специальная полость 9, называемая рубашкой охлаждения. В ней циркулирует охлаждающая жидкость системы охлаждения двигателя.

Внутри блока также имеются каналы и масляная магистраль смазочной системы, по которой подводится масло к трущимся деталям двигателя. В нижней части блока цилиндров (в картере) находятся опоры 2 для коренных подшипников коленчатого вала, которые имеют съемные крышки 1, прикрепляемые к блоку самоконтрящимися болтами. В передней части блока расположена полость 3 для цепного привода газораспределительного механизма. Эта полость закрывается крышкой, отлитой из алюминиевого сплава. В левой части блока цилиндров находятся отверстия 17 для подшипников вала привода масляного насоса, в которые запрессованы сталеалюминиевые втулки. С правой стороны блока в передней его части имеются фланец для установки насоса охлаждающей жидкости и кронштейн для крепления генератора. На блоке цилиндров имеются специальные приливы для: 12 – крепления кронштейнов подвески двигателя; 13 – маслоотделителя системы вентиляции картера двигателя; 14 – топливного насоса; 15 – масляного фильтра; 16 – распределителя зажигания. Снизу блок цилиндров закрывается масляным поддоном, а к заднему его торцу прикрепляется картер сцепления. Для повышения жесткости нижняя

плоскость блока цилиндров несколько опущена относительно оси коленчатого вала.

В отличие от блока, отлитого совместно с цилиндрами, на рис. 4.2 представлен блок 4 цилиндров с картером 5, отлитый из алюминиевого сплава отдельно от цилиндров. Цилиндрами являются легкоъемные чугунные гильзы 2, устанавливаемые в гнезда 6 блока с уплотнительными кольцами 1 и закрытые сверху головкой блока с уплотнительной прокладкой.

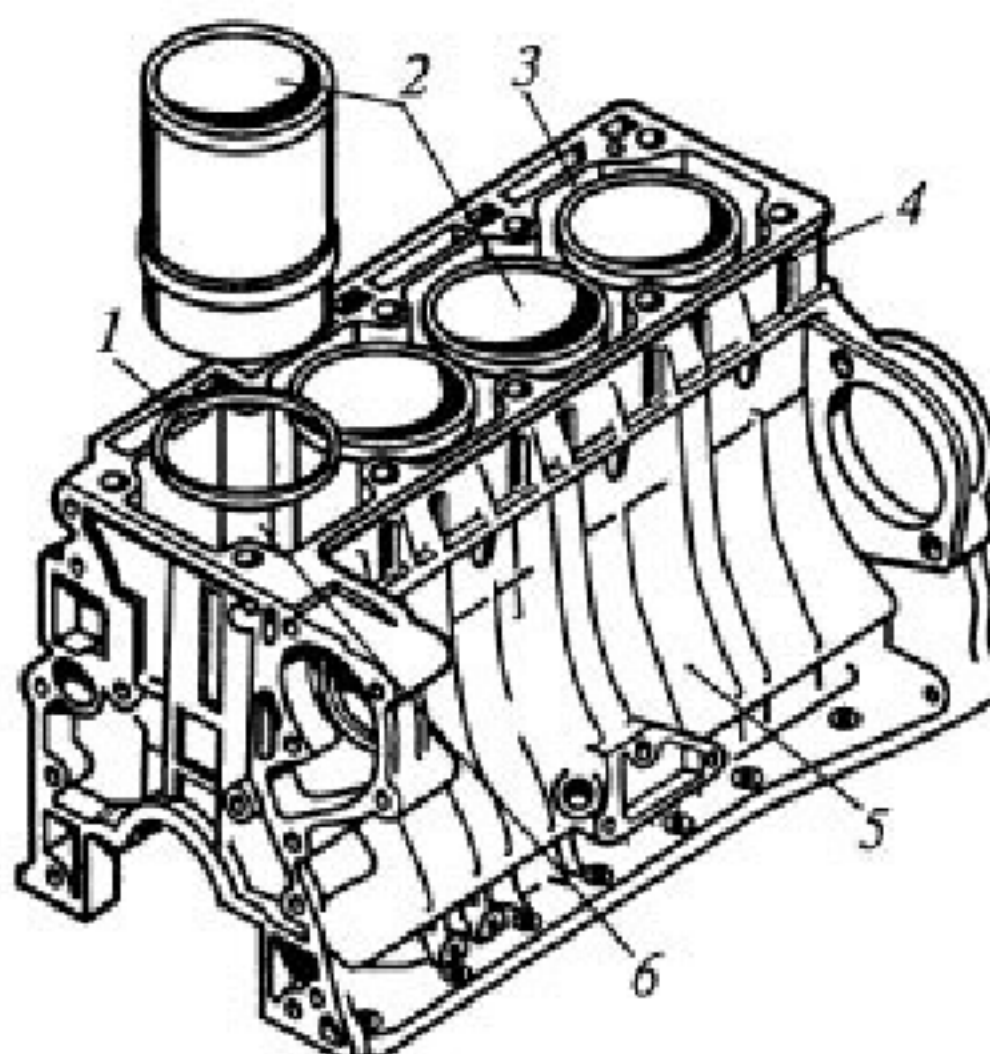


Рис.4. 2. Блок двигателя со съёмными гильзами цилиндров:

1 – кольцо; 2 – гильза; 3 – полость; 4 – блок; 5 – картер; 6 – гнездо

Внутренняя поверхность гильз обработана шлифованием. Для уменьшения изнашивания в верхней части гильз установлены вставки из специального чугуна.

Съемные гильзы цилиндров повышают долговечность двигателя, упрощают его сборку, эксплуатацию и ремонт.

Между наружной поверхностью гильз цилиндров и внутренними стенками блока находится полость 3, которая является рубашкой охлаждения двигателя. В ней циркулирует охлаждающая жидкость, омывающая гильзы цилиндров, которые называются мокрыми из-за соприкосновения с жидкостью.

На рис.4.3 представлен блок-картер V-образных двухрядный двигателей грузовых автомобилей.

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 ГРМ, имеются гладкие и резьбовые отверстия и посадочные поверхности крепления деталей и приборов.

Наиболее распространенным материалом для изготовления блока цилиндров двигателя является чугун. Это традиционный материал. Следующим по списку идёт алюминий в виде различных сплавов. Наиболее редкий материал для блока цилиндров – магниевый сплав.

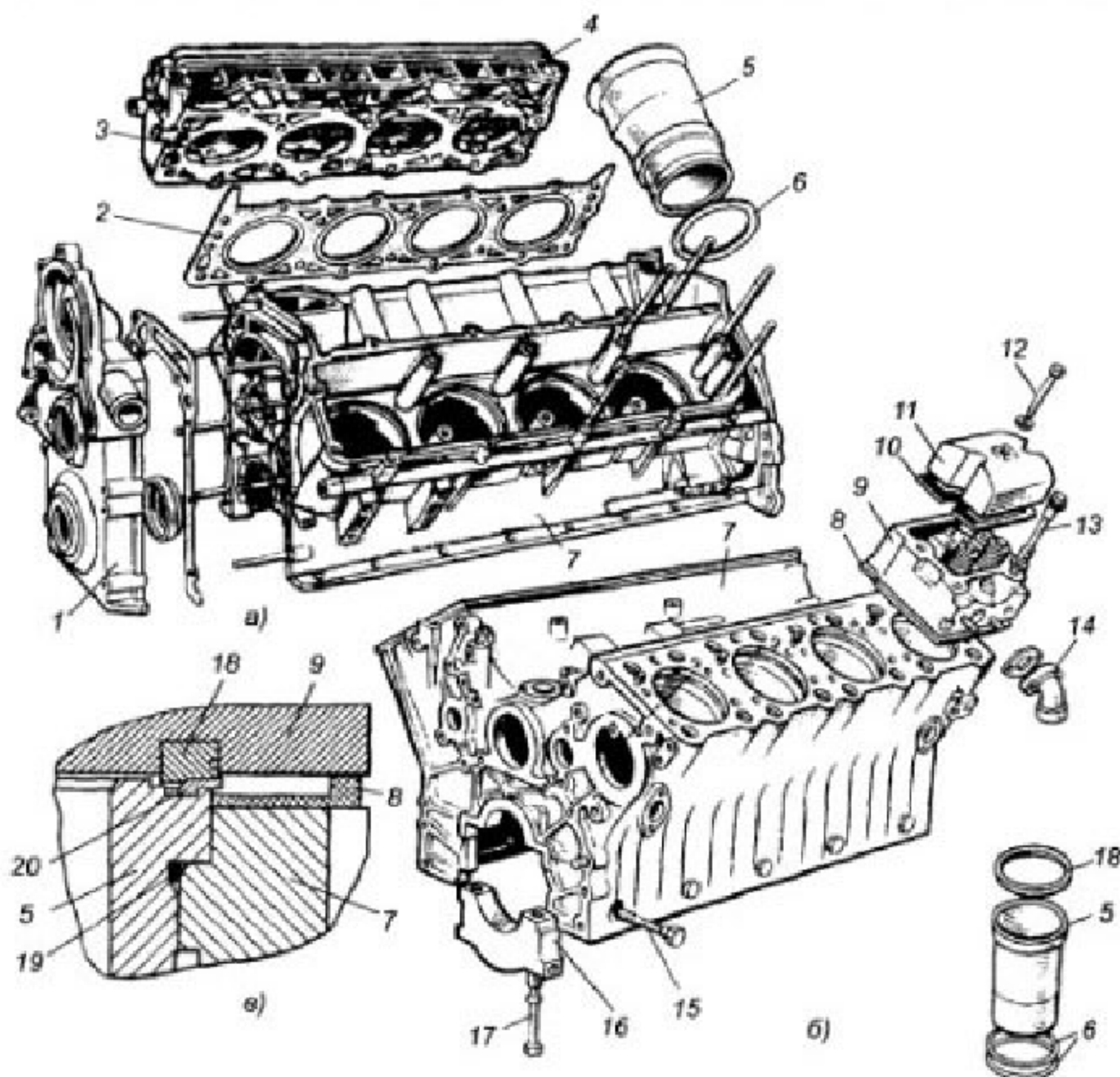


Рис.4.3. Блок-картер: а — V-образного карбюраторного двигателя; б — V-образного дизельного двигателя; в — соединение головки блока цилиндров, гильзы и блока цилиндров двигателя КаМАЗ-740; 1- крышка блока распределительных зубчатых колес; 2 — прокладка головки блока цилиндров; 3 — камера сгорания, 4 — головка блока цилиндров, 5 — гильза цилиндра; 6 и 19 — уплотнительные кольца, 7 — блок цилиндров; 8 — резиновая прокладка; 9 - головка блока цилиндров; 10 -прокладка крышки; 11 - крышка головки блока цилиндров; 12 и 13 — болты крепления крышки и головки блока цилиндров; 14 — патрубок выпускного коллектора; 15 — болт-стяжка; 16 — крышка коренного подшипника; 17 — болт крепления крышки коренного подшипника; 17 - стопорное кольцо; 20 — стальная прокладка головки блока цилиндров.

- **Чугун** имеет такие положительные характеристики, как жёсткость и малая чувствительность к перегреву двигателя. Блок цилиндров, ~~устройство которого~~ работает в постоянной смене температурных режимов, поэтому чугунный блок здесь лидирует. При этом есть большой минус чугунного блока – большая масса.

- **Алюминий** имеет такие положительные свойства, как отличное охлаждение двигателя и маленькая масса. Особенности алюминиевых блоков является подбор и установка гильз. Наиболее распространенными сегодня является технология Locasil – запрессовка гильз из алюминий – кремния и Nicasil – никелевое покрытие. Недостаток второй технологии – она не ремонтнопригодна. Блок цилиндров никосиловой технологии не подлежит расточке, а меняется в сборе. Это накладно для владельца автомобиля.
- **Магниевый сплав** не применяется для конвейерного производства блока цилиндров в силу своей дороговизны. Хотя, является идеальным сочетанием жёсткости и крепости чугуна и лёгкости алюминия.

### Гильзы цилиндров

Цилиндры являются направляющими устройствами для движения поршней. Двигатели со сменными (вставными) цилиндрами отличаются высокой ремонтнопригодностью. В зависимости от того, омываются гильзы цилиндров охлаждающей жидкостью или нет, различают мокрые и сухие гильзы.

Сухие гильзы устанавливают по всей длине цилиндра (рис.4.4а) или только в его верхней части (рис.4.3б), где наблюдается максимальный износ поверхности цилиндра. Применение вставных сухих гильз позволяет увеличить износостойкость поверхности при малых затратах дорогостоящих легирующих примесей. Сухие гильзы запрессовывают или вставляют по скользящей посадке с зазором 0,01...0.04 мм. Окончательно поверхность сухой запрессованной гильзы обрабатывают после запрессовки гильзы в блок цилиндров. Сухие гильзы при скользящей посадке характеризуются худшим теплоотводом и большой неравномерностью радиальной эпюры температур, что вызывает местные деформации деталей.

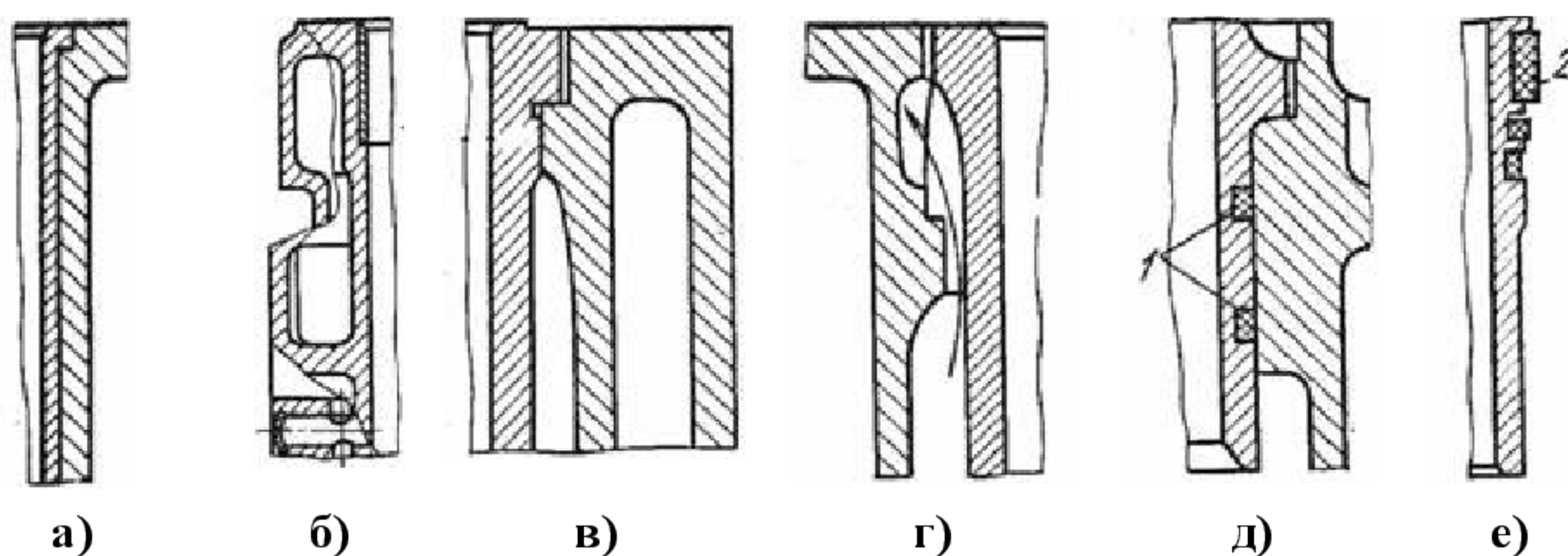


Рис. 4.4. Гильзы цилиндров

При использовании мокрых гильз упрощается конструкция отливки блока, появляется возможность использования для гильз более дорогих, но износостойких материалов, улучшается теплоотвод и уменьшается неравномерность нагрева цилиндров, снижается трудоемкость ремонта. Мокрые гильзы (рис. 4.4 в, г) можно заменять в случае их повреждения. Опорные плоскости гильзы могут быть расположены в верхней части блока (рис.4.4в), или в приливе нижней части блока (рис.4.4г). При сухих запрессованных гильзах жесткость блока больше, чем при мокрых гильзах. Для обеспечения надежного газового стыка между гильзой и головкой блока торец гильзы должен несколько выступать над опорой плоскостью блока на 0,05...0,15 мм в зависимости от диаметра гильзы и конструкции уплотняющей прокладки. Уплотнение нижнего стыка мокрой гильзы и блока достигается с помощью уплотнительных резиновых или металлических колец (рис. 4.4 д, поз.1, рис. 4.4 е, поз.2).

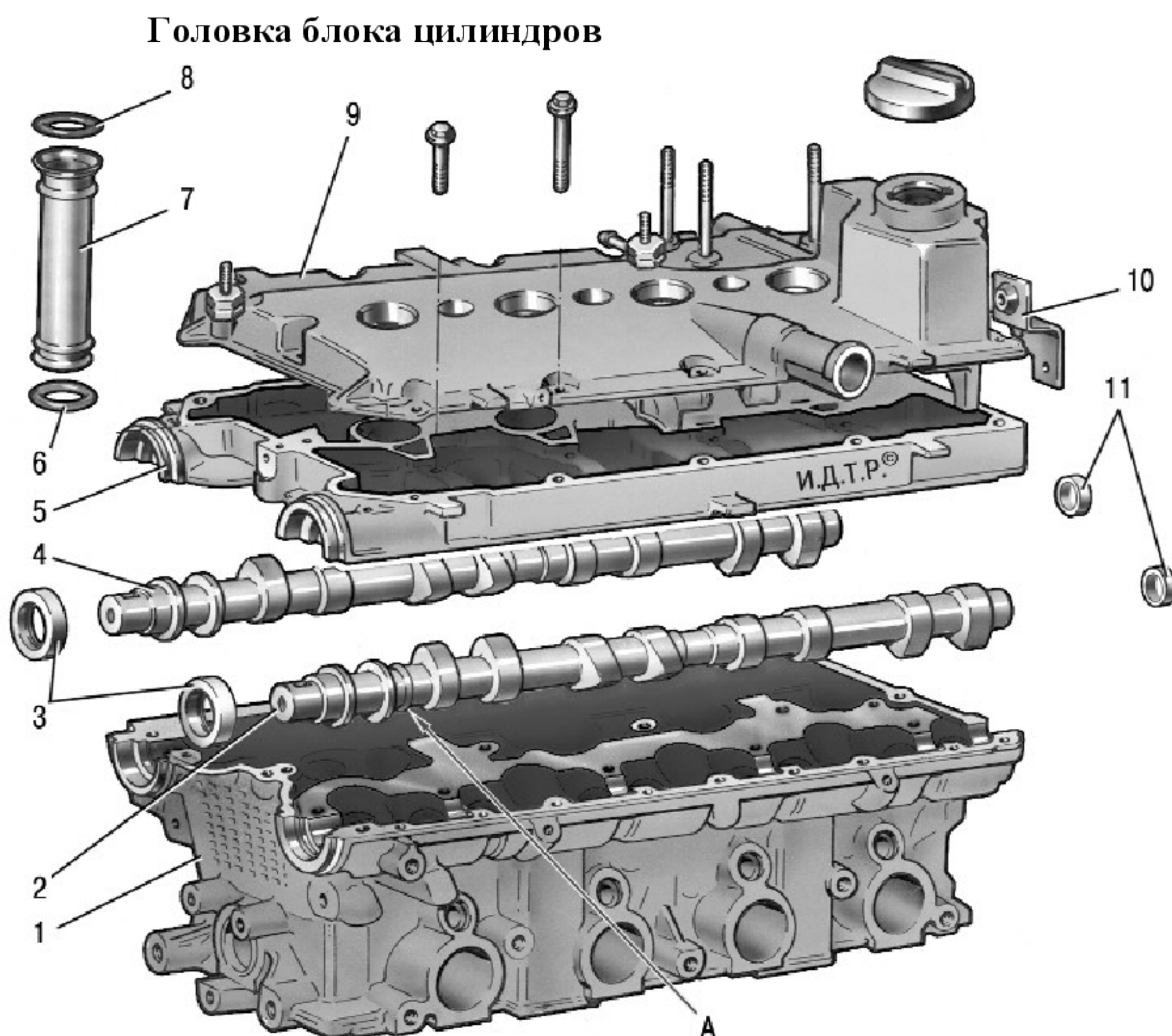


Рис.4.5. Детали головки блока цилиндров двигателя ВАЗ-2112: 1 – головка блока; 2 – впускной распределительный вал; 3 – сальник; 4 – выпускной распределительный вал; 5 – корпус подшипников распределительного вала; 6, 8 – уплотнительные кольца; 7 – направляющая труба; 9 – крышка головки блока; 10 – кронштейн крепления жгута проводов;

11 – заглушки; А – отличительный поясок впускного распределительного вала

Головка блока цилиндров закрывает цилиндры или каждый цилиндр в отдельности сверху. Крепится с помощью шпилек, ввернутых в блок, и гаек. Плотное соединение головки и блока обеспечивается с помощью металлоасбестовой прокладки. В головке расположены камеры сгорания, свечи или форсунки, распределительные валы, клапаны, каналы и полости систем охлаждения и смазки.

Головка 1 (рис.4.5) блока цилиндров общая для четырех цилиндров, отлита из алюминиевого сплава, с камерами сгорания шатровой формы. Впускные и выпускные каналы выведены на разные стороны головки блока. Клапаны расположены V-образно в два ряда: с одной стороны впускные, с другой — выпускные. В головку запрессованы металлокерамические седла клапанов и латунные направляющие втулки клапанов. Клапаны приводятся в действие кулачками распределительных валов через цилиндрические гидротолкатели, расположенные в направляющих отверстиях головки блока цилиндров по оси отверстий под клапаны. Гидротолкатели автоматически устраняют зазор в клапанном механизме, и поэтому при техническом обслуживании автомобиля проверять и регулировать зазор в клапанном механизме не требуется.

Конструкция головки цилиндров зависит от формы камеры сгорания, расположения клапанов, свечей или форсунок, впускных и выпускных каналов, наружных трубопроводов и направления потоков охлаждающей жидкости. Форма камеры сгорания определяет характер протекания рабочего процесса двигателя. В карбюраторных двигателях получили распространение полусферические и клиновые камеры сгорания (рис.4.6). При нижнем расположении клапанов форма камеры сгорания F-образная. Особенно важен выбор формы камеры сгорания для дизельных двигателей. В зависимости от способа смесеобразования и для улучшения этого процесса используют неразделенные камеры сгорания (рис.4.7а,б) для дизельных двигателей с непосредственным впрыскиванием топлива и отдельные (рис.4.7 в, г) для предкамерных или верхнекамерных дизелей. Головки цилиндров в блочных конструкциях обычно выполняют в виде отливки для одного ряда цилиндров.

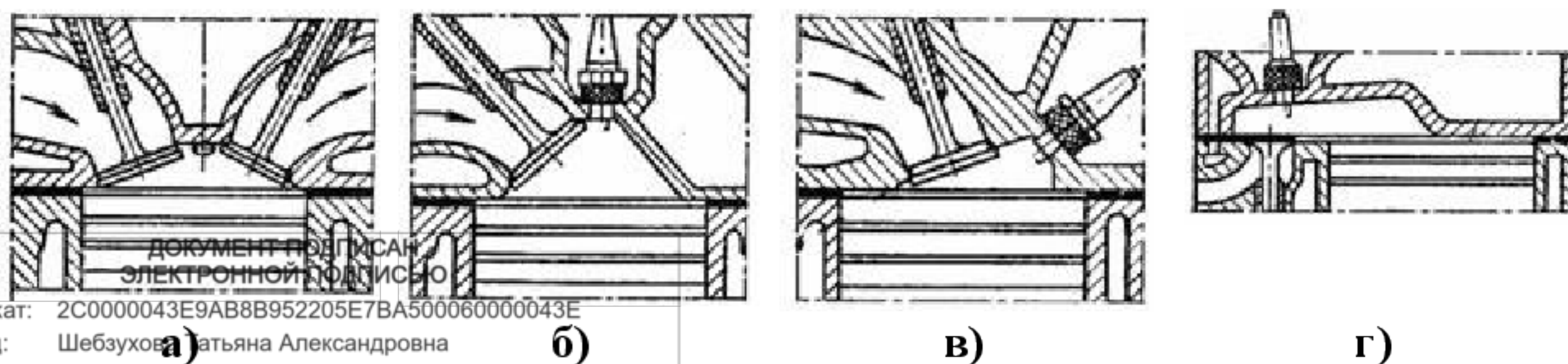


Рис.4. 6. Схемы камер сгорания бензиновых двигателей: а) –

полусферическая; **б)** – шатровая; **в)** – клиновидная; **г)** – F-образная при нижнем расположении клапанов;

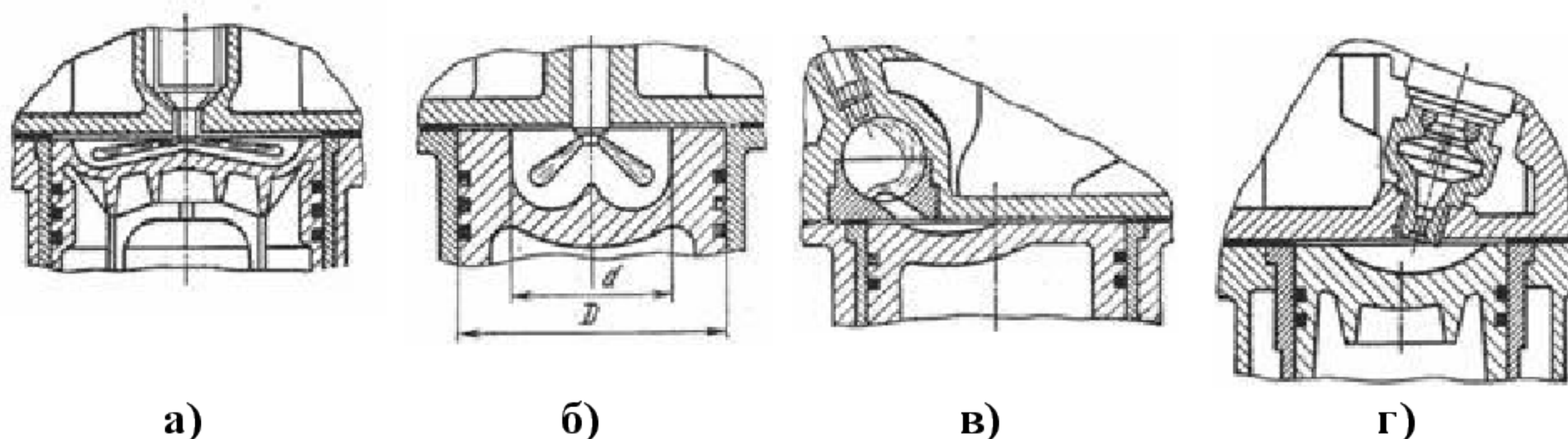


Рис. 4.7. Схемы камер сгорания дизельных двигателей: а)

Для создания надежного уплотнения соединения головки и блока цилиндров (далее газового стыка), особенно при работе двигателя с высокой степенью наддува, применяются индивидуальные для каждого цилиндра головки. В такой конструкции исключается влияние других цилиндров на надежность газового стыка, обеспечивается равномерное давление на прокладку газового стыка.

### Уплотнение газового стыка

Для уплотнения газового стыка устанавливают прокладки, которые должны выдерживать высокие температуры и быть достаточно упругими, чтобы заполнить на опорных поверхностях блока цилиндров и головки, все неровности, остающиеся после обработки резанием и возникающие при затяжке шпилек. На рис.6 показаны конструкции различных прокладок.

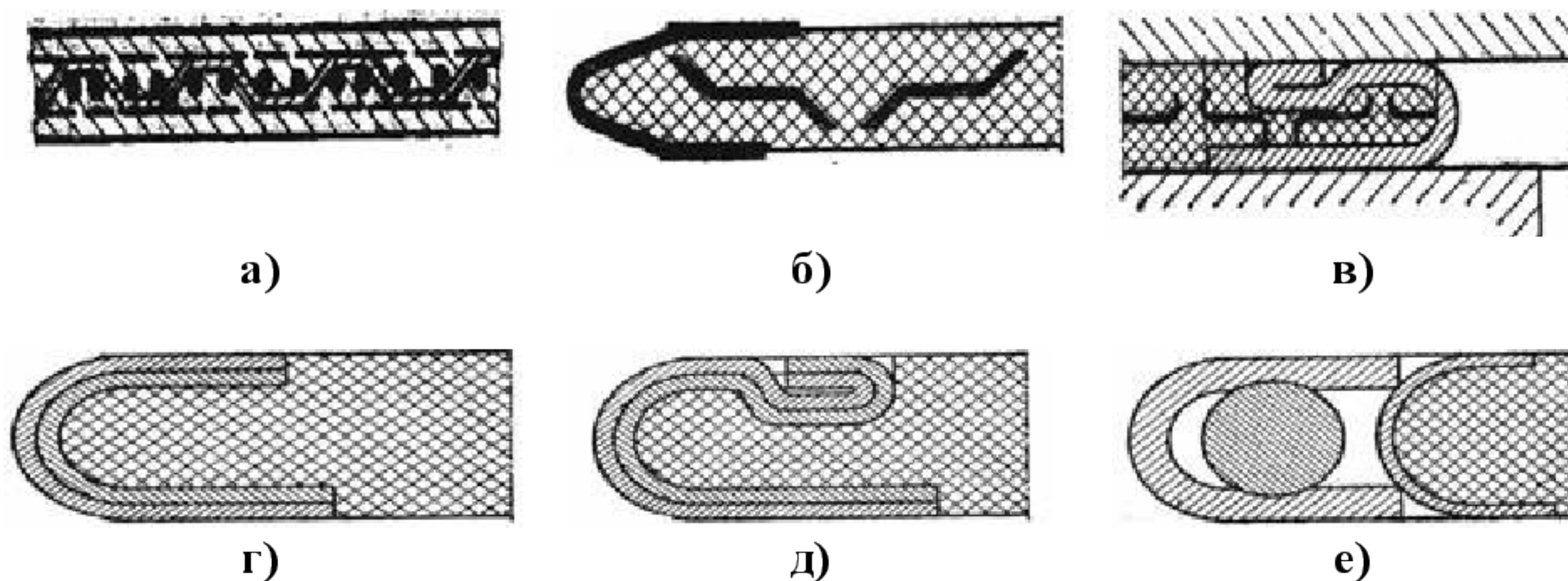


Рис. 4.8. Прокладки для уплотнения газового стыка двигателей

- цельнометаллические из алюминия или меди, имеющие твердость значительно меньшую, чем твердость материала головки блока. Такие прокладки устанавливают в двигателях с жесткими головками цилиндров и блоками, в том числе с индивидуальными головками при большой силе затяжки силовых шпилек;
- металлические, состоящие из набора тонких листов. Прокладка может быть выполнена с переменной жесткостью путем уменьшения в некоторых местах числа листов;
- мягкие спрессованные, состоящие из двух листов графитизированного картона, наложенного на стальную сетку (рис.8а) или стальной перфорированный лист (рис.8б), что увеличивает прочность прокладки. Волокна картона для повышения прочности пропитывают резиной или специальными связующими жаростойкими материалами.

Для повышения надежности прокладки, защиты от действия газов отверстия в ней под камеру сгорания окантовывают металлической лентой (рис.4.8б). В зоне окантовки толщина прокладки больше, что обеспечивает большие удельные давления по контуру газового стыка. Применяют прокладки: с утолщенной или двойной окантовкой (рис.4.8 в); с загибом в паз (рис.4.8 г); с защитой от действия газов кольцом с калиброванной проволокой внутри (рис.4.8д). В некоторых двигателях на каждом цилиндре устанавливают уплотняющее кольцо из красной меди или алюминия, вдавливая их в торцовую поверхность гильзы. В двигателях с воздушным охлаждением, при использовании головок из алюминиевого сплава, герметичность газового стыка обеспечивается непосредственным контактом плоскости головки и торцовой поверхности чугунной гильзы.

### Поддон картера

Поддон картера закрывает КШМ снизу и одновременно является резервуаром для масла. Поддоны изготовляют штамповкой из листовой стали или отливают из алюминиевых сплавов. Внутри поддонов могут выполняться лотки и перегородки, препятствующие перемещению и взбалтыванию масла при движении автомобиля по неровным дорогам. Присадочная поверхность, стыкующаяся с блок-картером, имеет отбортовку металла и усиливается для придания жесткости стальной полосой, приваренной по периметру. В нижней точке поддона приваривается бобышка с резьбовым отверстием, которое закрывают пробкой с магнитом для улавливания металлических продуктов износа, образующихся вследствие изнашивания двигателя.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

### 4.12 Подвижные детали и узлы КШМ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

К подвижным деталям кривошипно-шатунного механизма относятся поршень, поршневые кольца, поршневой палец, шатун, коленчатый вал и маховик.

## Поршень

Давление газов во время рабочего хода воспринимает поршень и передает силу через палец и шатун коленчатому валу. Поршни работают в очень тяжелых условиях. В цилиндре поршень движется неравномерно. В крайних положениях его скорость равна нулю, а вблизи середины хода достигает максимального значения. В результате возникают большие силы инерции. Кроме механических нагрузок поршень подвергается действию высоких температур и трению о стенки цилиндра. Из-за неравномерного нагрева в нем возникают дополнительные температурные напряжения. Поршни большинства двигателей изготовлены из алюминиевого сплава. Они обладают достаточной прочностью, высокой теплопроводностью и хорошими антифрикционными свойствами.

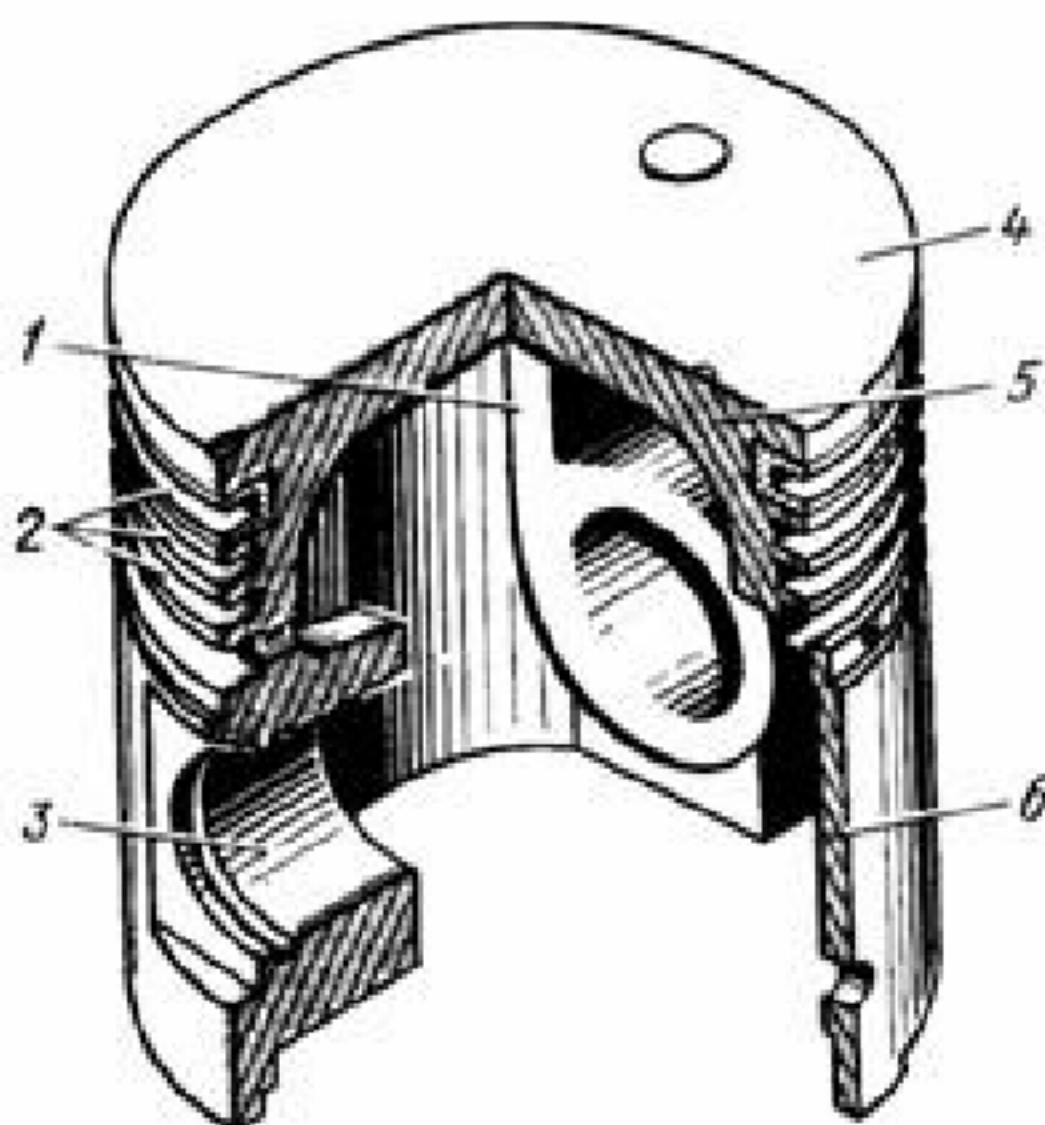


Рис.4. 9. Конструкция поршня

Поршень состоит из трех основных частей (рис.4.9) – днища 4, головки 5 и юбки 6. Днище поршня в зависимости от типа камеры сгорания выполняют плоским, выпуклым, вогнутым или фигурным. В карбюраторных двигателях применяют поршни с плоским днищем, вследствие простоты изготовления и меньшего нагрева при работе. На внешней стороне поверхности головки протачивают канавки 2 для установки компрессионных и маслосъемных поршневых колец. В канавках для маслосъемных колец сверлят дренажные отверстия для отвода масла внутрь поршня. Верхнюю часть поршня называют уплотнительным пояском, так установленные здесь кольца предотвращают прерыв газав через зазоры между поршнем и цилиндром. Юбка 6 является направляющей частью поршня при движении в цилиндре и

передает боковую силу от шатуна на стенки цилиндров. На внутренней стороне юбки имеются два массивных прилива, называемых бобышками. Они соединены ребрами с днищем, увеличивая прочность поршня и улучшая теплоотвод от поршня через кольца к цилиндру. В бобышках сделаны отверстия 3 под поршневой палец. Величина зазора между юбкой поршня 6 и стенками цилиндров должна быть минимальной, так как влияет на расход масла, уровень и спектр шумов, утечки газов из цилиндров в картер, износ поверхностей и теплоотвод от поршня. Для исключения заклинивания поршней из алюминиевого сплава в в чугунных гильзах работающего двигателя, вследствие различного расширения, принимают ряд конструктивных мер. Поперечное сечение поршня делают овальным, так, чтобы большая ось овала была перпендикулярна оси пальца. В продольном сечении поршня может быть придана форма конуса с сужением в направлении днища, бочкообразная или специального профиля, изготовленного по копиру. На юбке поршня могут быть сделаны прорезы различной формы (П-образные, Т-образные) или в головку поршня устанавливают при отливке термокомпенсирующие вставки из материалов с малым коэффициентом линейного расширения. Для лучшей приработки к цилиндрам поверхность юбки поршня покрывают тонким слоем олова. При переходе поршня через верхнюю мертвую точку он смещается от одной стенке цилиндра к другой, что сопровождается стуком. Для снижения последствий этого явления ось отверстия пальца смещают в сторону максимального бокового давления на 1,5-2,0 мм. Для правильной установки поршня в цилиндр и точного соединения с шатуном на поршне и шатуне имеются метки. Отклонения размеров и масс поршней двигателя должны быть минимальными.

### Поршневые кольца

Компрессионные кольца уплотняют зазор между поршнем и цилиндром, не допускают прорыва газов и воздуха в картер двигателя, попадания масла в камеру сгорания и отводят теплоту от головки поршня к стенкам цилиндра. Для обеспечения герметичности надпоршневого пространства устанавливают 2-3 компрессионных кольца. Маслосъемные кольца необходимы для снятия излишков масла со стенок цилиндра. В канавках кольца по высоте устанавливают с небольшим зазором, поэтому трение не мешает кольцу плотно прижиматься к поверхности цилиндра за счет его упругости и давления газов, в небольшом количестве проникающих в зазор между кольцом и поршнем. Вырез в кольцах называют замком. Замок обеспечивает возможность установки кольца на поршень и удлинения при нагреве. Кольца на поршень устанавливают со смещением замков  $90^{\circ}$ - $120^{\circ}$ . Конструктивные формы компрессионных и маслосъемных колец весьма разнообразны и значительно отличаются. Компрессионные кольца (рис. 4.10) делятся на кольца: с цилиндрической наружной поверхностью (рис. 4.10 а); с

конической или бочкообразной наружной поверхностью для ускоренной приработки (рис.4.10б); с пониженной склонностью к заеданию в канавках поршня (рис.4.10 в); с повышенным воздействием на масляную пленку (рис.4.10 г).

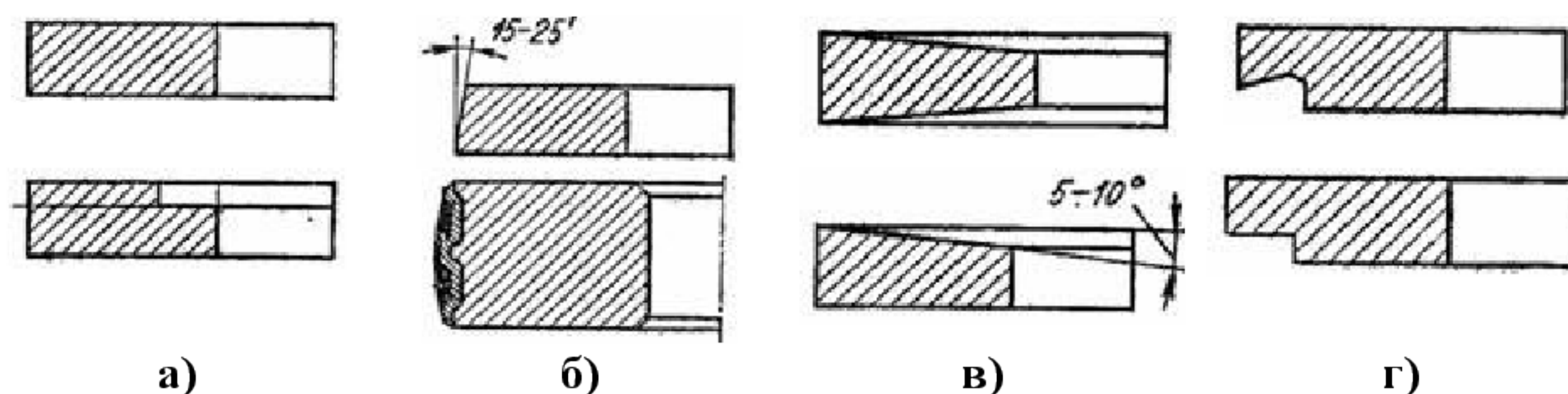


Рис. 4.10. Поршневые компрессионные кольца

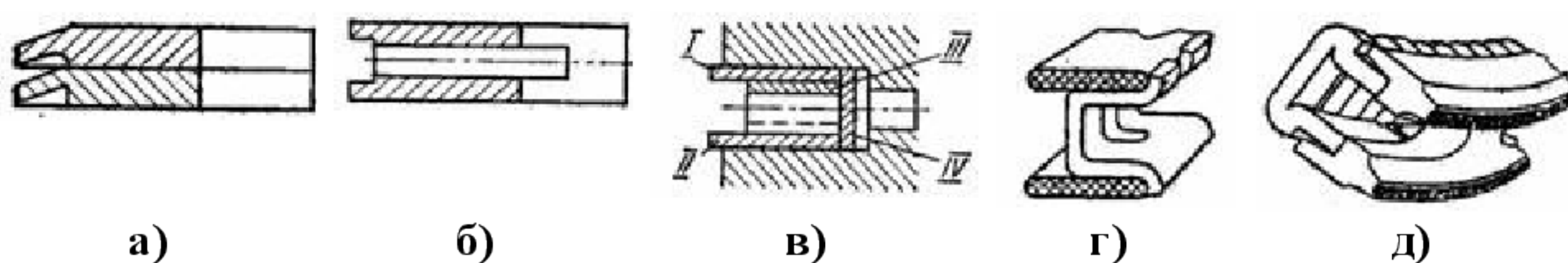


Рис. 4.11. Поршневые маслосъемные кольца

Маслосъемные кольца отличаются большим разнообразием конструкцией. Наибольшее распространение получили шлицованные кольца (рис.4.11а,б) и многоэлементные (рис.4.11в,г,д) кольца. Большое распространение получили многоэлементные кольца, состоящие из 2-х кольцевых стальных дисков I и II и двух расширителей - осевого III и радиального в виде многогранной ленты IV (рис. 4.11 в).

### Поршневые пальцы

Поршневые пальцы служат для шарнирного соединения поршня с верхней головкой шатуна. Больше применение получила конструкция с «плавающим» пальцем. Посадка пальца в отверстия бобышки поршня и верхней головки шатуна обеспечивает свободное относительное перемещение деталей. Во время работы двигателя плавающий палец свободно проворачивается как в отверстиях бобышки, так и головки шатуна. Палец фиксируется от осевых смещений с помощью пружинных колец, установленных в канавках отверстия бобышек поршня. Фиксированные пальцы, неподвижно установленные в верхней головке шатуна, применяются редко.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

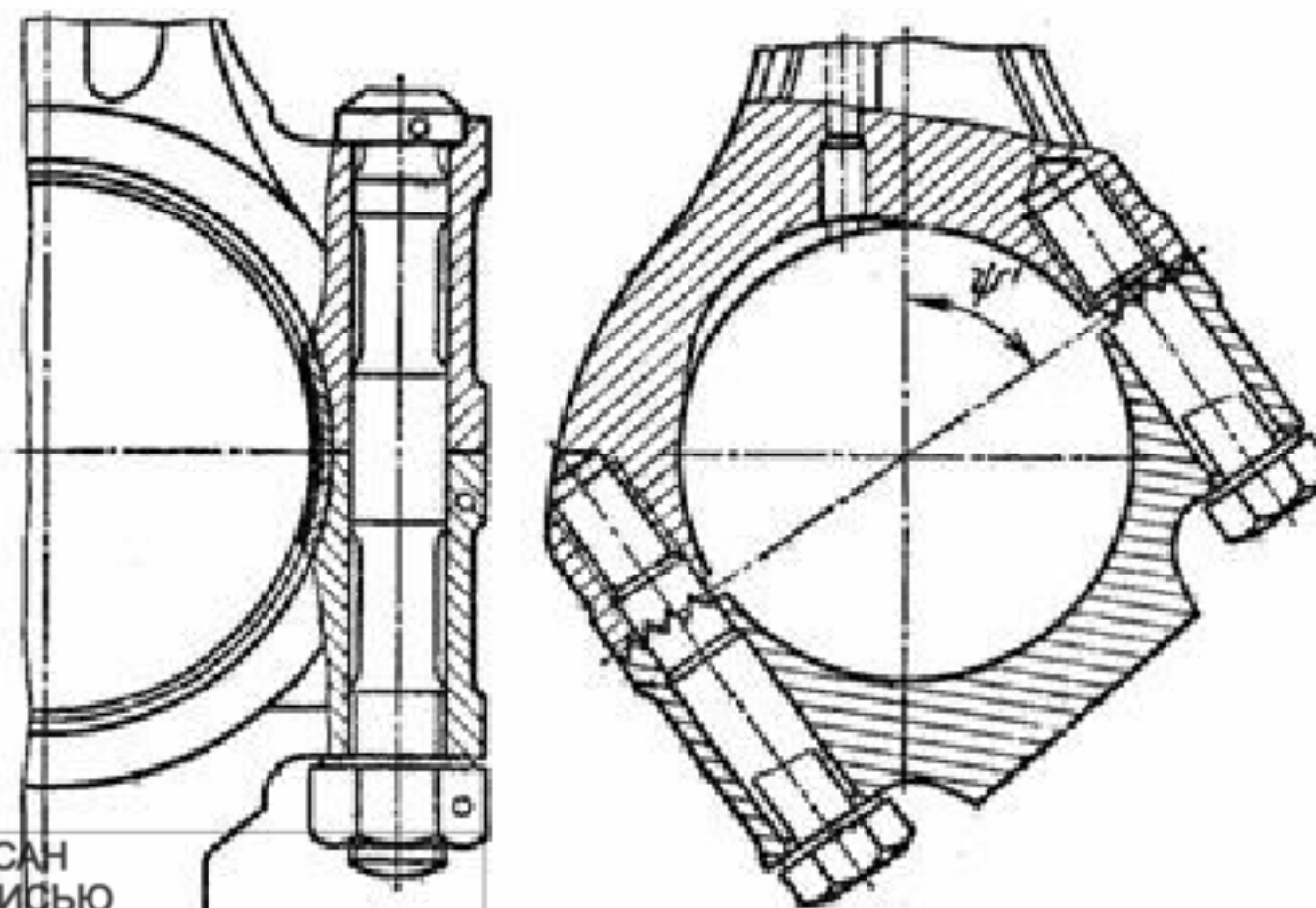
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

## Шатуны

Шатуны обеспечивает преобразование возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движения коленчатого вала, соединяют поршни с кривошипами коленчатого вала, передают коленчатому валу силу от давления газов во время такта расширения, а при других тактах приводят поршень в движение. Основными частями шатуна (рис.4.1) являются: верхняя головка 28 с запрессованной в нее втулкой подшипника скольжения, стержень 29 двухтаврового или кольцевого сечения и нижняя головка 30 с крышкой. Шатуны могут быть разделены по конструкции на 3 группы: шатуны однорядных и V-образных двигателей с последовательным расположением одинаковых шатунов на одной шейке вала; шатуны с центральным сочленением V-образных двигателей; прицепные шатуны. Первый способ наиболее простой, но для установки на каждой шатунной шейки коленчатого вала двух шатунов, необходимо увеличивать ее длину. При этом увеличивается длина V-образного двигателя и моменты, изгибающие шатунные шейки вала. Стержень шатуна обычно выполняют двутаврового сечения. Верхние головки шатунов выполняются неразъемными, нижние - кривошипные головки в многоцилиндровых двигателях выполняют разъемными (рис.4.12а,б). В некоторых случаях, для обеспечения возможности демонтажа поршня с шатуном через цилиндр, кривошипные головки изготавливают с косым разъемом (рис.4.12 б). Нижние головки каждого шатуна имеет разъем, крышки нижних головок крепятся с помощью шпилек, болтов и гаек, изготовленных из высококачественной стали. Шатуны и крышки не взаимозаменяемы, крышка устанавливается на шатун определенным способом. Для выполнения заданных условий шатуны и крышки имеют метки. В нижние головки шатуна устанавливают подшипники скольжения, состоящие из двух вкладышей, вместе составляющих тонкостенную цилиндрическую втулку. Вкладыши изготавливают из стальной ленты толщиной 1,0 - 1,8 мм для карбюраторных и 2,0 - 3,6 мм для дизельных двигателей с внутренней стороны имеющей

мм  
антифрикционного  
алюминиевой

материала на  
основе.



а)

Рис. 4.12. Кривошипные (нижние) головки шатуна

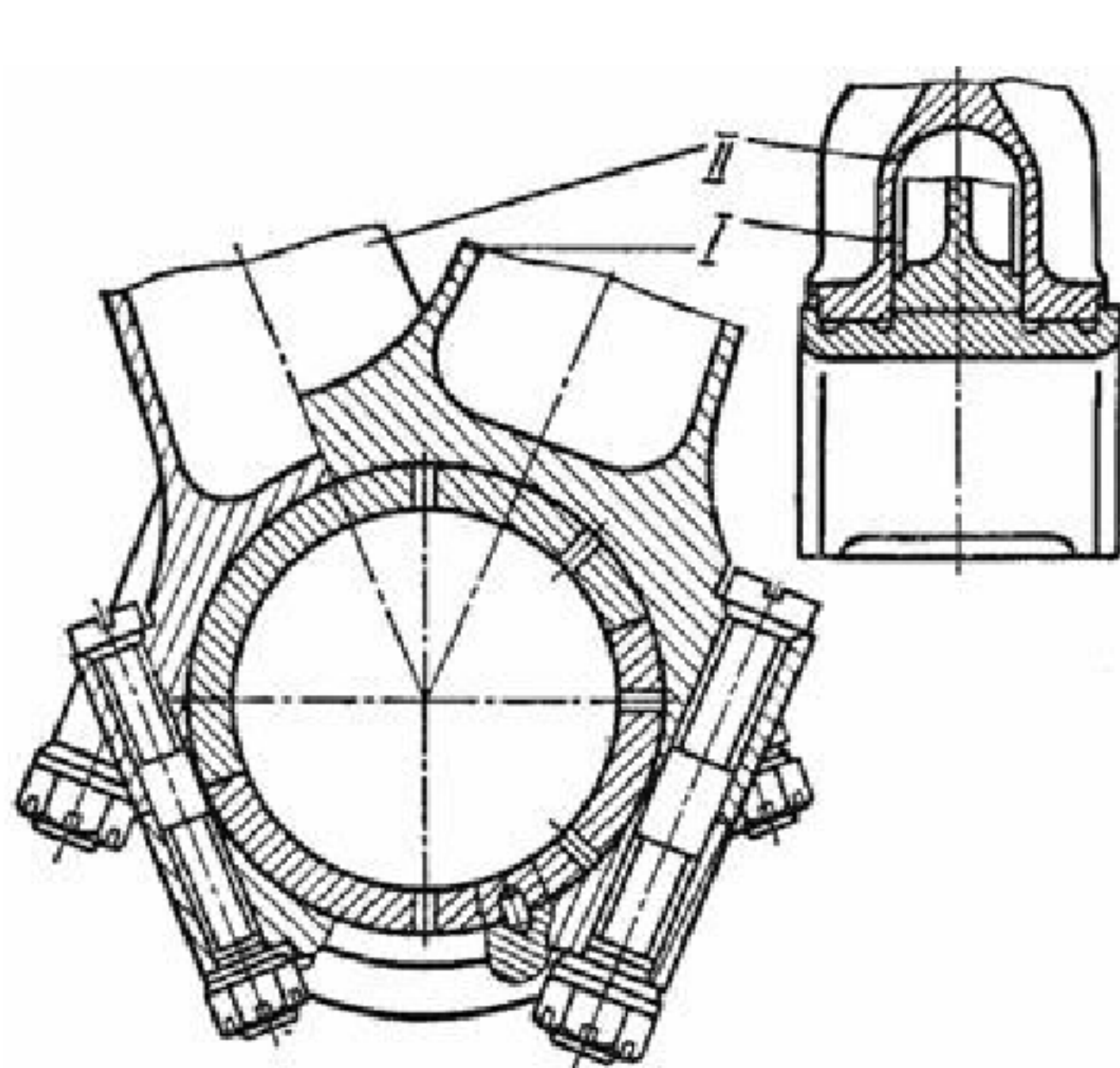


Рис. 4.13.

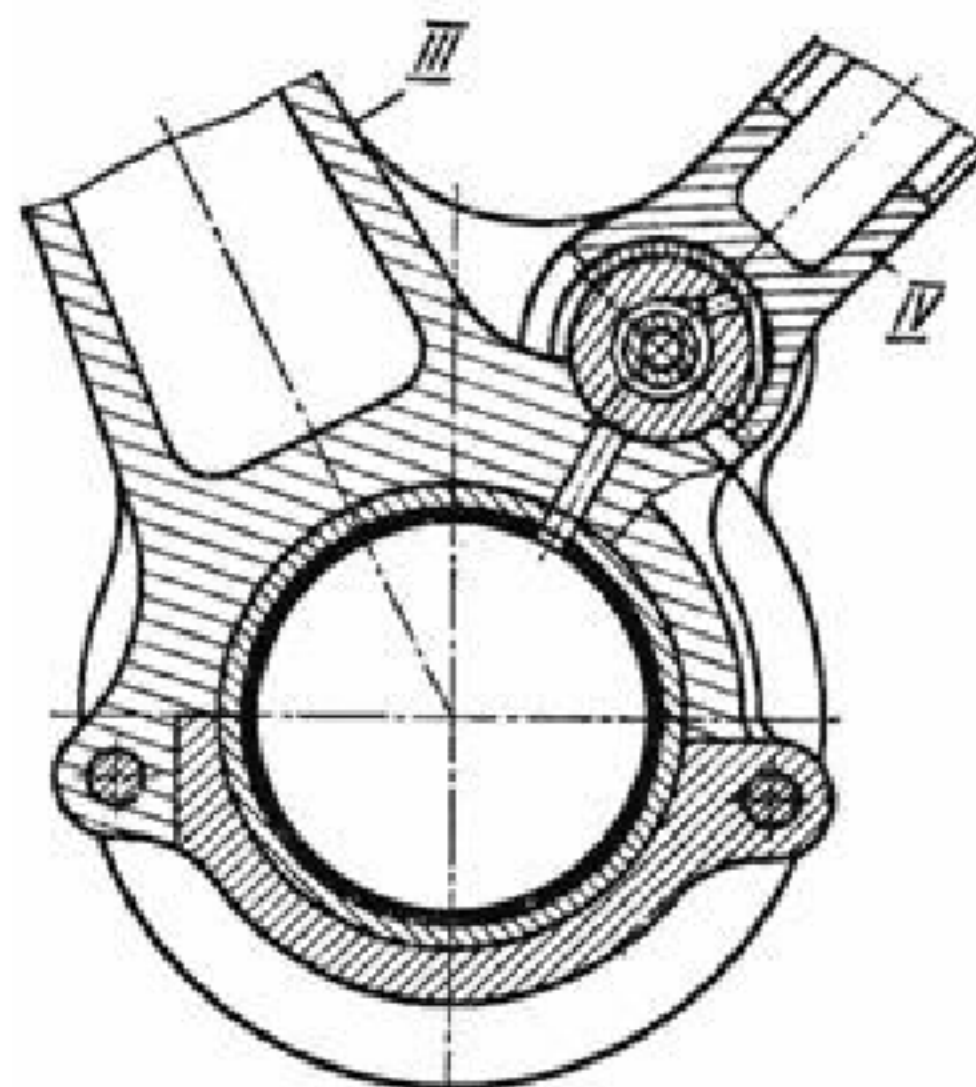


Рис. 4.14.

Шатуны с центральным сочленением V-образных двигателей (рис. 4.13) состоят из вильчатого наружного шатуна II, имеющего меньший диаметр внутреннего отверстия внутреннего шатуна I.

Прицепной шатун IV (рис. 4.14), крепится к главному шатуну III с помощью пальца. Нижняя головка главного шатуна разъемная. Конструкция, несмотря на относительную сложность, компактна и с учетом чередования рабочих ходов обеспечивает приемлемые значения контактных и изгибных напряжения в шатунных шейках коленчатого вала.

### Коленчатый вал

Коленчатый вал воспринимает через шатуны усилия от поршней и передает создаваемый на нем крутящий момент трансмиссии автомобиля. Подвергается скручиванию, изгибу и механическому износу. Для обеспечения необходимой жесткости коленчатые валы выполняют многосторонними. В автотракторных двигателях чаще применяются полноопорные коленчатые валы (рис. 4.15). В такой конструкции опоры имеются после каждого цилиндра или отсека двух цилиндров в V-образных

двигателях. Основными частями коленчатого вала (рис.4.15) являются: коренные шейки 1, на которых вал установлен в опорах картера блока цилиндров; шатунные шейки 2, к которым присоединяются кривошипные головки шатунов; щеки 4, соединяющие коренные и шатунные шейки; противовесы 3, разгружающие коренные подшипники от центробежных сил неуравновешенных масс. Передняя часть вала называется носком, задняя хвостовиком. К передней части шпоночным соединением крепится шкив привода генератора и насоса системы охлаждения, к фланцу задней части - маховик. Масло к коренным шейкам подводится от главной магистрали по каналам в стенках блока цилиндров. От коренных шеек к шатунным шейкам, масло подается по просверленным в металле вала каналам 5. В случае полых коренных шеек (рис.4.16) масло к шатунным шейкам подается по запрессованным в отверстия стенок вала трубкам 1. Полости шатунных шеек обеспечивают очистку масла от металлических и других тяжелых частиц за счет центробежных сил. Полости закрывают резьбовыми крышками. Продольное перемещение коленчатого вала под действием сил инерции и от выключения сцепления ограничены за счет специальных устройств.

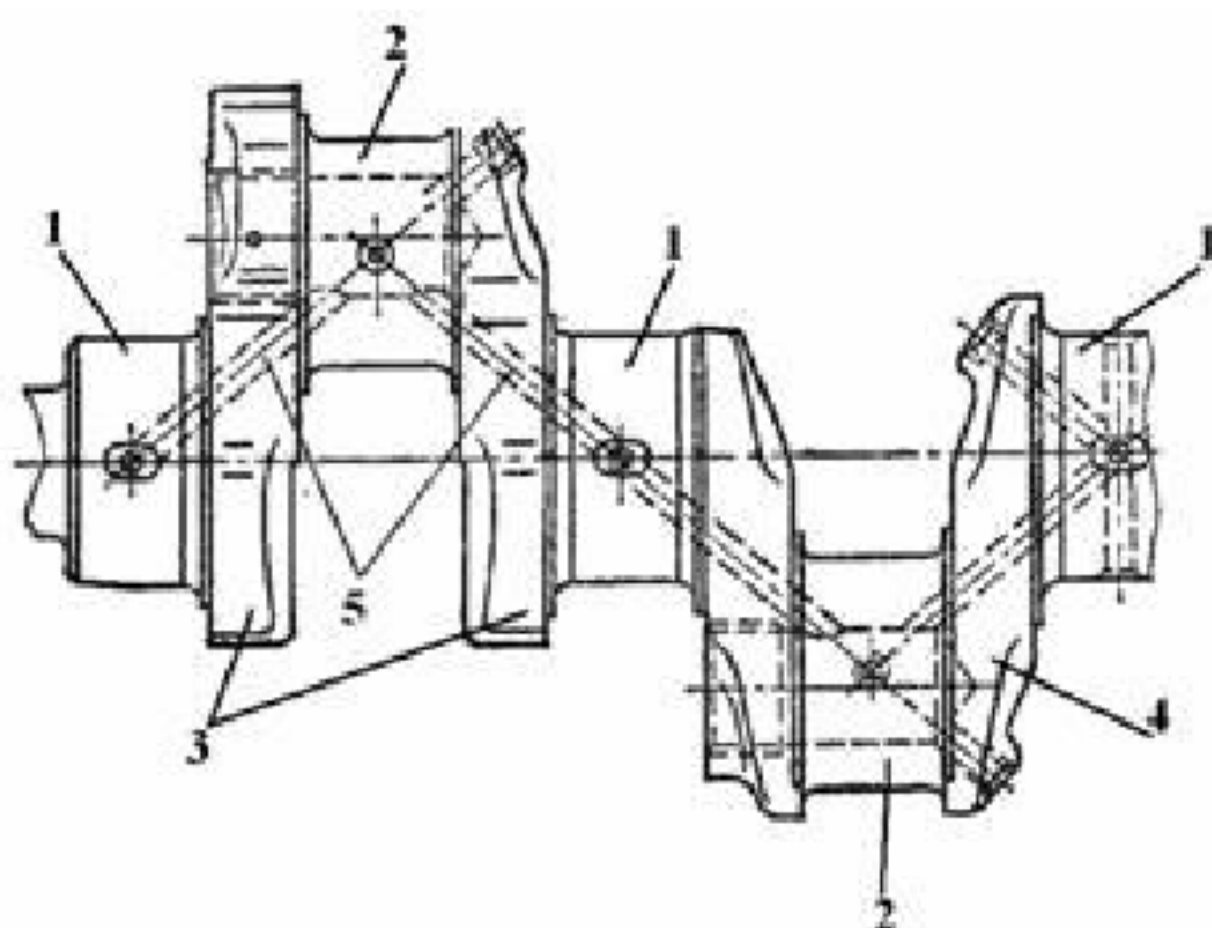


Рис. 4.15

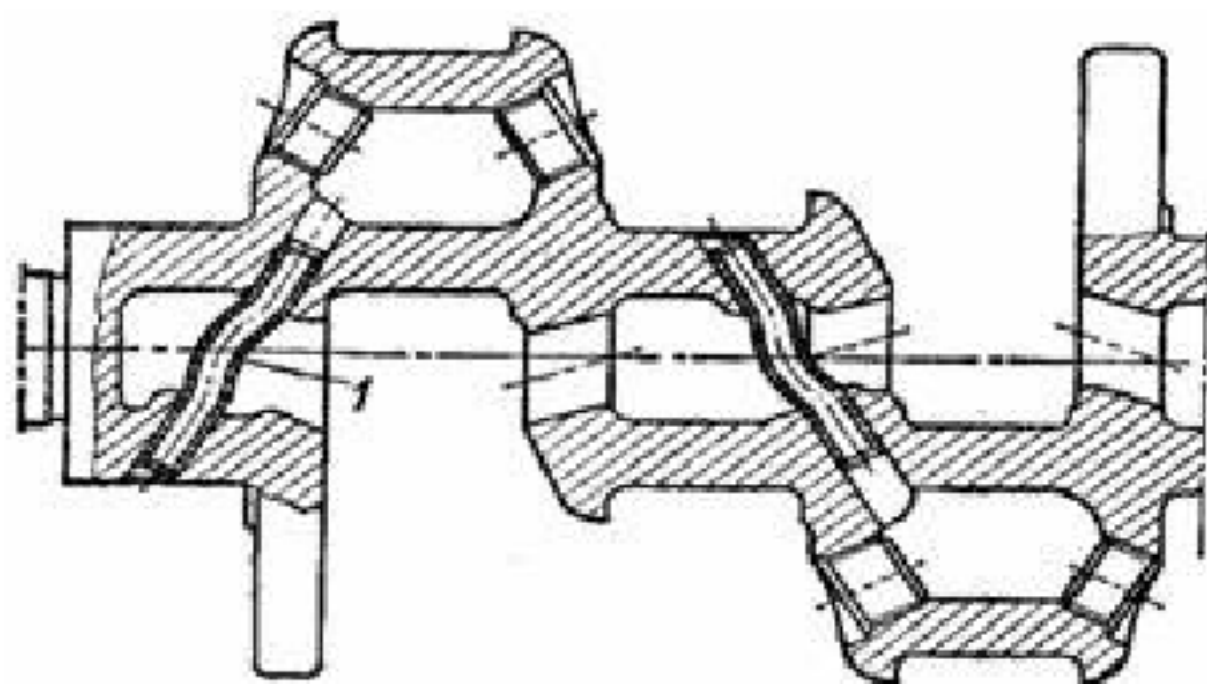


Рис. 4.16

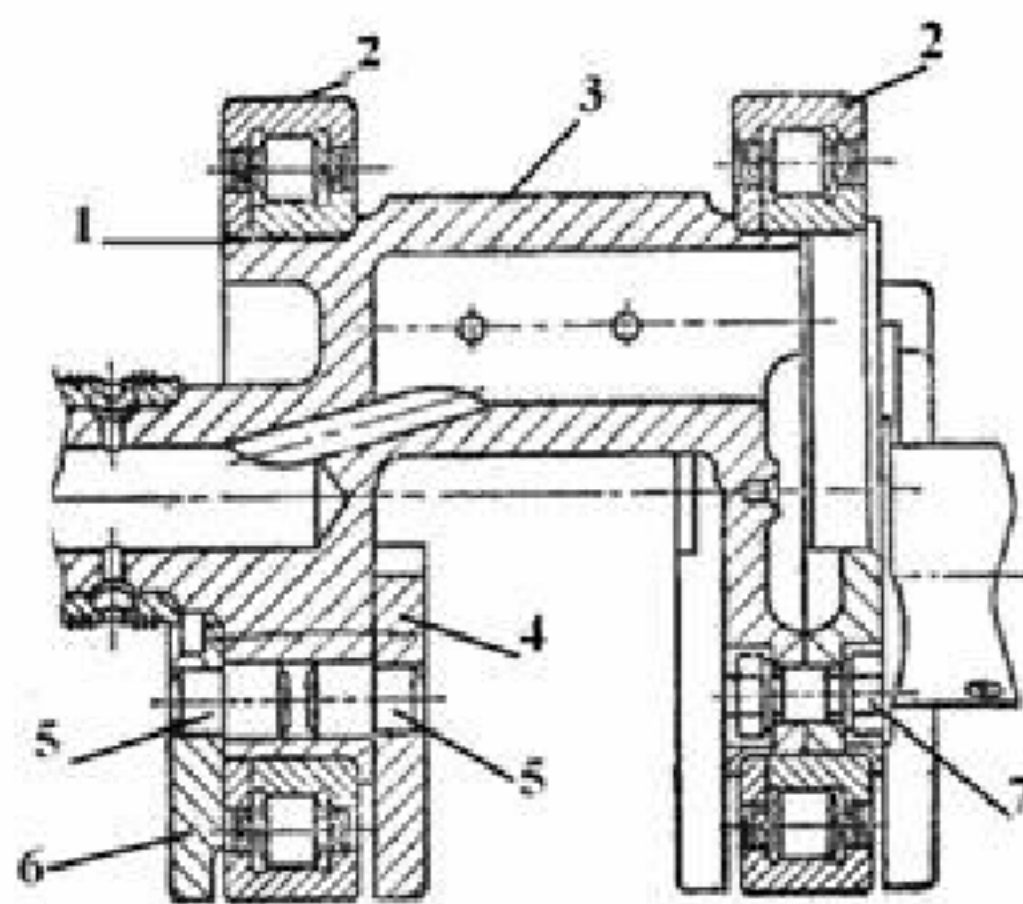


Рис. 4.17

Сборные коленчатые валы с шариковыми или роликовыми коренными подшипниками (рис.4.17), применяются для двухтактных пусковых двигателей или двигателей мотоциклов, в тех случаях, когда двигатель не оборудован системой смазки с принудительной подачей масла. На коренные шейки вала 1 напрессованы роликовые подшипники 2, зафиксированные с помощью наружных 6 и внутренних 4 шайб. Шайбы центрируются и фиксируются с помощью пальцев 5. Крепление маховика к фланцу вала осуществляется с помощью резьбовых деталей 7.

## Маховик

Маховик можно отнести сразу к нескольким системам двигателя, т.к. в интересах этих систем он выполняет отдельные функции:

- снижение неравномерности вращения коленчатого вала (маховик - конструктивный элемент кривошипно-шатунного механизма);
- передача крутящего момента от двигателя к коробке передач (маховик – ведущий диск сцепления);
- передача крутящего момента от стартера на коленчатый вал двигателя (маховик – ведомая шестерня редуктора системы пуска).

Сглаживание пульсаций крутящего момента производится за счет периодического накопления и отдачи кинетической энергии маховиком. Энергия запасается во время рабочего хода поршня и расходуется при других тактах двигателя, в т.ч. на выведение поршней из мертвых точек. Чем больше цилиндров в двигателе, тем рабочий ход поршня в каждом из них занимает больше времени, следовательно, крутящий момент такого двигателя более равномерный, а масса маховика может быть уменьшена.

Маховик крепится в торце коленчатого вала возле заднего коренного подшипника. Это, как правило, самый мощный подшипник в двигателе, так как он должен выдерживать вес маховика и нагрузки, связанные с его работой.

Различают следующие виды конструкции маховиков:

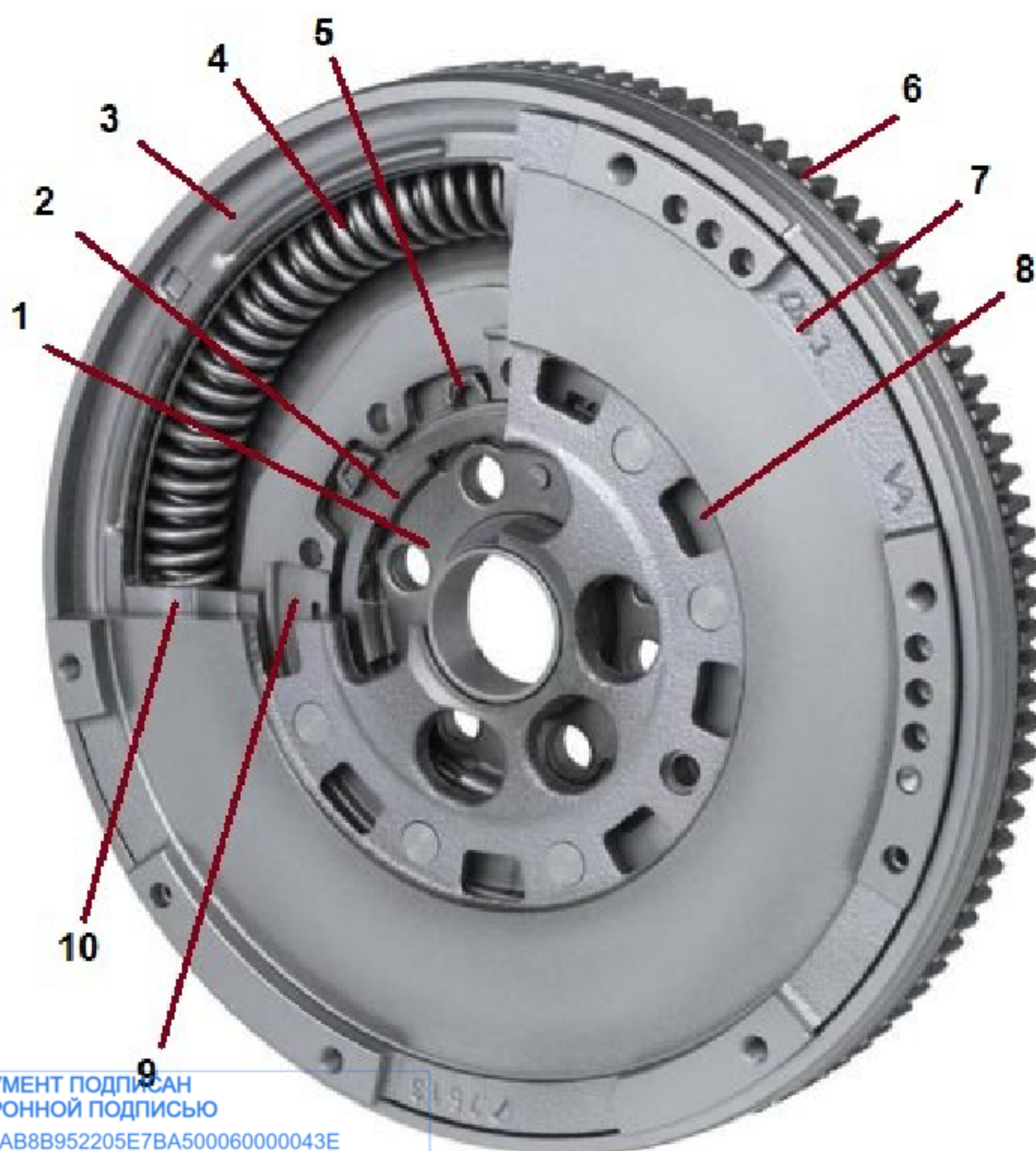
- сплошной;
- двухмассовый;
- облегченный



Рис.4.18. Маховик сплошной конструкции

Наибольшее распространение на автомобилях нашел маховик сплошной конструкции. Это массивный диск диаметром от 30 до 40 сантиметров, выполненный из чугуна. На внешнюю поверхность диска напрессован стальной зубчатый венец, обеспечивающий проворачивание коленчатого вала при запуске двигателя с помощью стартера. С одной стороны маховика выполнена ступица для крепления к фланцу коленчатого вала, другая сторона играет роль ведущего диска сцепления.

При работе двигателя на разных оборотах коленчатый вал постоянно закручивается и раскручивается, т.е. подвергается крутильным колебаниям. В двигателе применяются **гасители крутильных колебаний**. Одним из таких устройств является маховик особой конструкции – т.н. **двухмассовый маховик** (другое название – **демпферный маховик**).



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Рис.4.19. Схема двухмассового маховика: 1- ступица; 2 – радиальный подшипник; 3 – первичный диск; 4 – дуговая пружина; 5 – фланец; 6 – зубчатый венец; 7 – вторичный диск; 8 – вентиляционное отверстие; 9 – уплотнительная мембрана; 10 – кольцевая камера, заполненная смазкой.

Маховик включает два диска, соединенные с помощью пружинно-демпферной системы, позволяющей полностью изолировать трансмиссию от крутильных колебаний и обеспечить равномерную работу ее элементов. С применением двухмассового маховика отпадает необходимость демпфирующего устройства в ведомом диске сцепления.

Преимуществами двухмассового маховика являются гашение вибраций, изоляция шумов, удобство переключения передач, снижение износа синхронизаторов, защита трансмиссии от перегрузки и даже экономия топлива. С другой стороны интенсивная работа двухмассового маховика приводит к усиленному износу пружинно-демпферной системы и даже поломке ее основного элемента - дуговой пружины. Все это сдерживает массовое применение демпферного маховика на двигателях. Облегченный маховик используется при тюнинге двигателя. Перераспределение массы маховика к краям диска позволяет уменьшить его массу до 1,5 кг и в свою очередь уменьшить момент инерции. С применением облегченного маховика двигатель быстрее достигает максимальных оборотов, соответственно имеет лучшую разгонную динамику, а также наблюдается увеличение мощности до 5%.

|                                           |                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ |                                        |
| Сертификат:                               | 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E |
| Владелец:                                 | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023  |                                        |

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.

**Тема:** Изучение устройства и работы газораспределительных механизмов.

**Цель работы:** закрепить теоретические знания по устройству и работе газораспределительных механизмов.

**Знать:**

- 1) виды и типы автомобильных энергетических установок;
- 2) основные конструктивные решения энергетических установок;
- 3) назначение, устройство и принципы действия механизмов и систем двигателей внутреннего сгорания автомобилей, их принципиальные компоновочные схемы;
- 4) рабочие процессы и показатели работы поршневых двигателей внутреннего сгорания;
- 5) тенденции и направления развития конструкций двигателей внутреннего сгорания, диктуемые современными требованиями к автомобилям;

**Уметь:**

- 1) выбирать оптимальный вид двигателей внутреннего сгорания для автомобиля, учитывая специфические условия эксплуатации автомобиля, современные эксплуатационные и экологические требования, а также требования безопасности;
- 2) самостоятельно осваивать новые конструкции автомобильных двигателей, их механизмы и системы;
- 3) оценивать технический уровень конструкции тепловых двигателей и комбинированных силовых установок автомобилей;
- 4) осуществлять контроль состояния двигателей внутреннего сгорания

**Теоретическая часть:** см. приложение 1.

**Оборудование и материалы**

Разрез оппозитного двигателя SUBARU EJ 20, EJ 205

Разрез двигателя РЕНО

Разрез двигателя ЗМЗ-402

Разрез двигателя МеМЗ - 968.

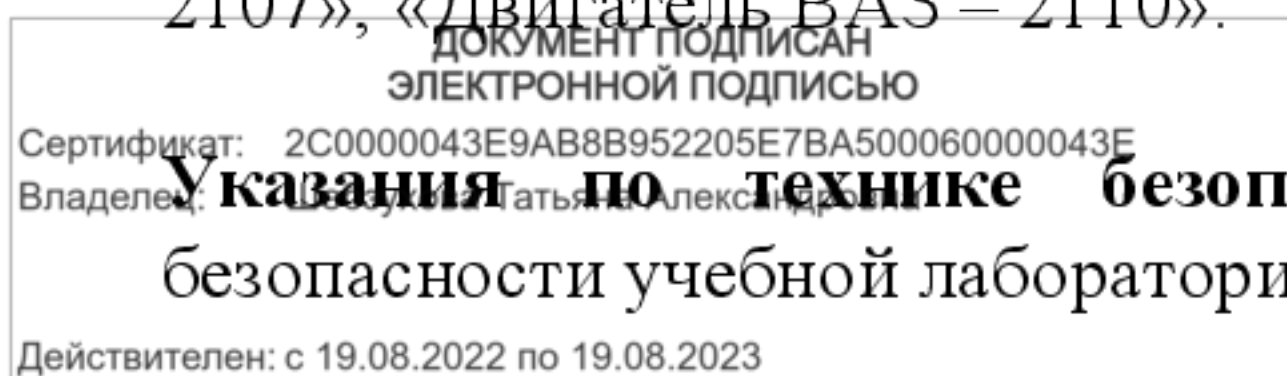
Учебный макет четырехтактного поршневого двигателя.

Стенды: «Газораспределительный механизм двигателя ЗИЛ-131», «Газораспределительный механизм двигателя ЗМЗ-406»

Детали ГРМ: «Распределительный вал двигателя ЗМЗ-402»

Плакаты: «Двигатель ВАЗ – 2112», «Двигатель ЗМЗ – 402», «Двигатель ВАЗ-2107», «Двигатель ВАЗ – 2110».

**Указания по технике безопасности:** См. инструктаж по технике безопасности учебной лаборатории автомобильных двигателей.



### **Задания:**

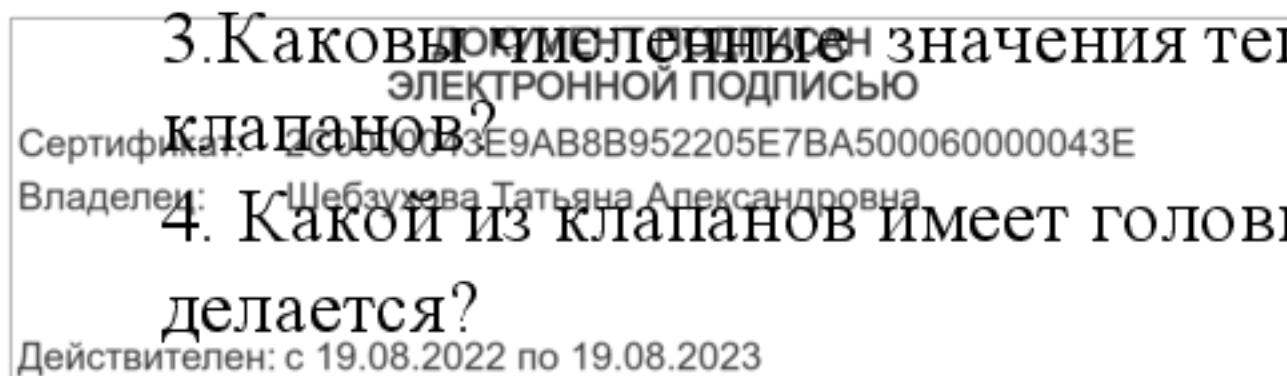
1. Изучить устройство и работу газораспределительного механизма с нижним расположением и распределительного вала, и клапанов.
2. Изучить устройство и работу газораспределительного механизма с нижним расположением распределительного вала и верхним расположением клапанов.
3. Изучить устройство и работу газораспределительного механизма с верхним расположением распределительного вала и клапанов.
4. Изучить конструкцию и работу устройства для изменения фаз газораспределения

### **Содержание отчета**

1. Перечислить основные детали газораспределительных механизмов.
2. Вычертить схему и описать устройство и работу газораспределительного механизма с нижним расположением и распределительного вала, и клапанов.
3. Перечислить основные недостатки газораспределительного механизма с нижним расположением и распределительного вала, и клапанов.
4. Вычертить схему и описать устройство и работу газораспределительного механизма с нижним расположением распределительного вала и верхним расположением клапанов.
5. Вычертить схему и описать устройство и работу газораспределительного механизма с верхним расположением распределительного вала и клапанов.
6. Описать назначение и устройство распределительного вала.
7. Описать назначение и устройство клапанов.
8. Перечислить виды привода распределительных валов и описать их особенности.
9. Описать назначение и устройство механизмов для регулировки тепловых зазоров.
10. Описать назначение электронной системы регулирования фаз газораспределения.
11. Вычертить схему и описать работу электронной системы регулирования фаз газораспределения.
5. Составить отчет о работе в соответствии с п.п. 1 – 11, дать ответы на контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы:**

1. Каково назначение газораспределительных механизмов?
2. Для чего необходим тепловой зазор между стержнем клапана и толкателем?
3. Каковы оптимальные значения теплового зазора для впускных и выпускных клапанов?
4. Какой из клапанов имеет головку большего диаметра? Для чего это делается?



5. Почему распределительный вал вращается в два раза медленнее, чем коленчатый вал?
6. Что происходит при недостаточном тепловом зазоре клапанов?
7. В каком случае используется газораспределительный механизм с двумя распределительными валами?
8. Для чего используется большее чем два число клапанов на один цилиндр?
9. С какой целью клапаны открываются и закрываются не при положениях поршня в мертвых точках, а с некоторым опережением при открытии и запаздыванием при закрытии?
10. Каковы численные значения опережения открытия и запаздывания закрытия впускных и выпускных клапанов?
11. Как влияет величина тепловых зазоров на продолжительность открытия клапанов?
12. Чем обосновывается необходимость разработки устройства для регулирования фаз газораспределения?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1 к лабораторной работе № 3

### Тема 5. ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ (ГРМ)

Газораспределительные механизмы независимо от расположения распределительных валов в двигателе включают в себя клапанную группу, передаточные детали и распределительные валы с приводом.

В клапанную группу входят впускные и выпускные клапаны, направляющие втулки клапанов и пружины клапанов с деталями крепления.

Передаточными деталями являются толкатели, направляющие втулки толкателей, штанги толкателей, коромысла, ось коромысел, рычаги привода клапанов, регулировочные шайбы и регулировочные болты. Однако при верхнем расположении распределительного вала толкатели, направляющие втулки и штанги толкателей, коромысла и ось коромысел обычно отсутствуют.

#### 5.1. ГРМ с нижним расположением клапанов и распределительного вала

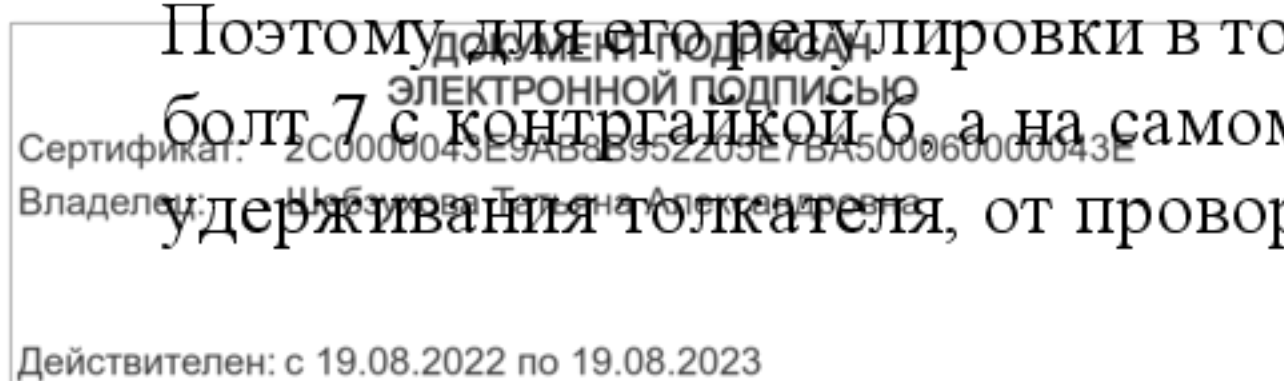
Газораспределительный механизм с нижним расположением клапанов (двигатели автомобилей ГАЗ-51, ГАЗ-52-04 и другие) состоит (рис. 5.1) из распределительного вала 4 с кулачками 3 и шестерней 2, находящейся в постоянном зацеплении с шестерней 1, закрепленной на коленчатом валу; толкателей 5 с регулировочным болтом 7 и контргайкой 6; клапана 12 с пружиной 10, сухариками 9 и опорной конической шайбой 8; направляющей клапана 11 и седла клапана 13.

Работает такой механизм следующим образом. При вращении коленчатого вала крутящий момент от шестерни 1 передается шестерне 2, которая жестко закреплена на распределительном валу и вращает его. Распределительный вал, поворачиваясь, своим кулачком 3 воздействует на толкатель 5 и поднимает его, а он через регулировочный болт 7 воздействует на клапан 12 и открывает его. Пружина 10 при этом сжимается. При дальнейшем вращении распределительного вала кулачок, поворачиваясь, прекращает воздействовать на толкатель и клапан, а пружина, распрямляясь, закрывает клапан.

Для плотного закрытия клапана необходимо, чтобы между стержнем клапана и толкателем был тепловой зазор, величина которого устанавливается заводом-изготовителем. Обычно он находится в пределах 0,15-0,30 мм для впускного клапана и 0,20-0,40 мм для выпускного.

В процессе эксплуатации двигателя тепловой зазор может изменяться.

Поэтому для его регулировки в торец толкателя ввернут, регулировочный болт 7 с контргайкой 6, а на самом толкателе выполнены лыски для удерживания толкателя, от проворачивания



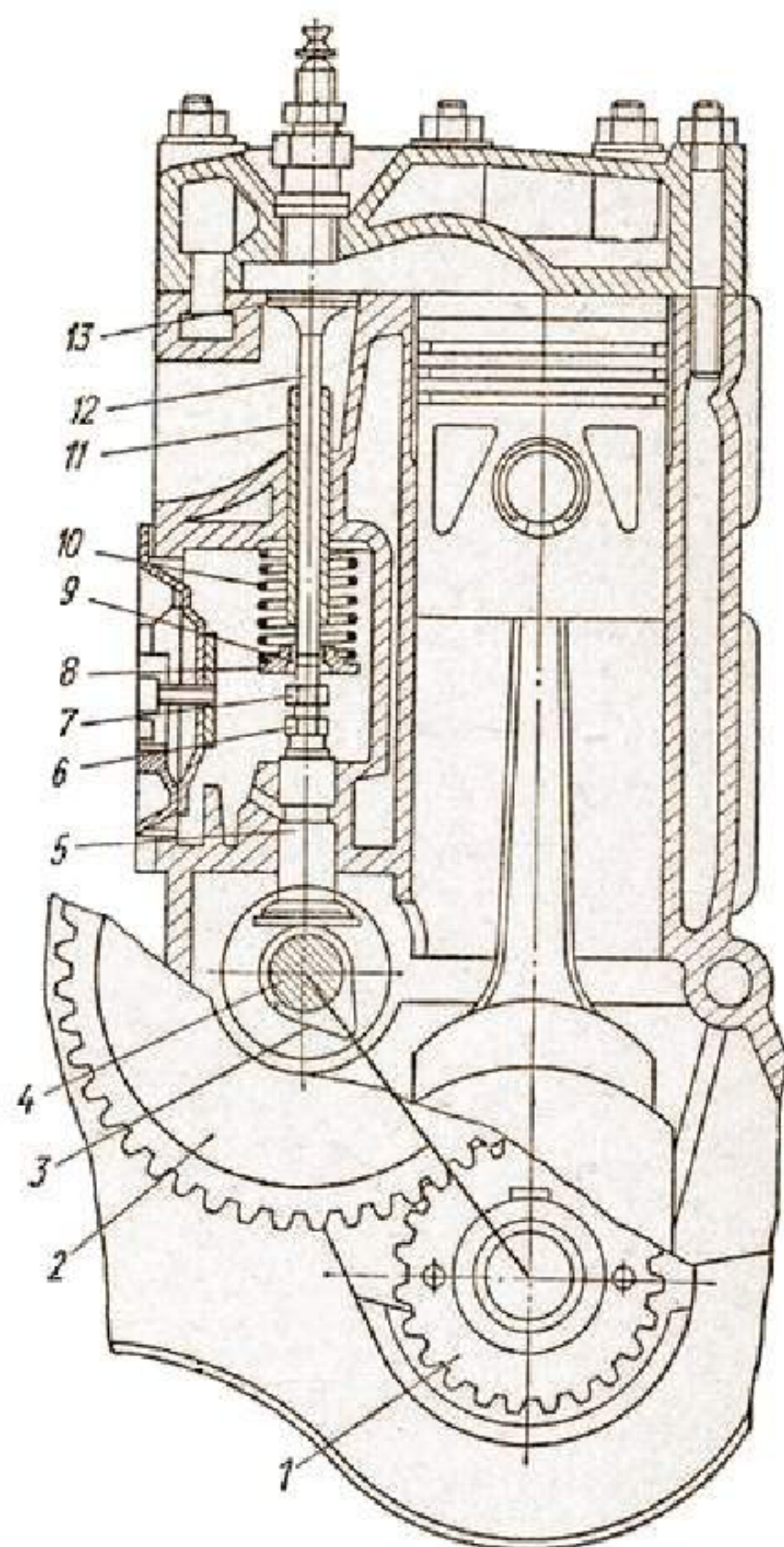


Рис.5.1. Газораспределительный механизм с нижним расположением клапанов.

Нижнеклапанные двигатели доминировали несколько десятилетий. Конечно, в мире выпускались двигатели с другими компоновочными схемами газораспределительного механизма, но нижнеклапанные двигатели были преобладающими.

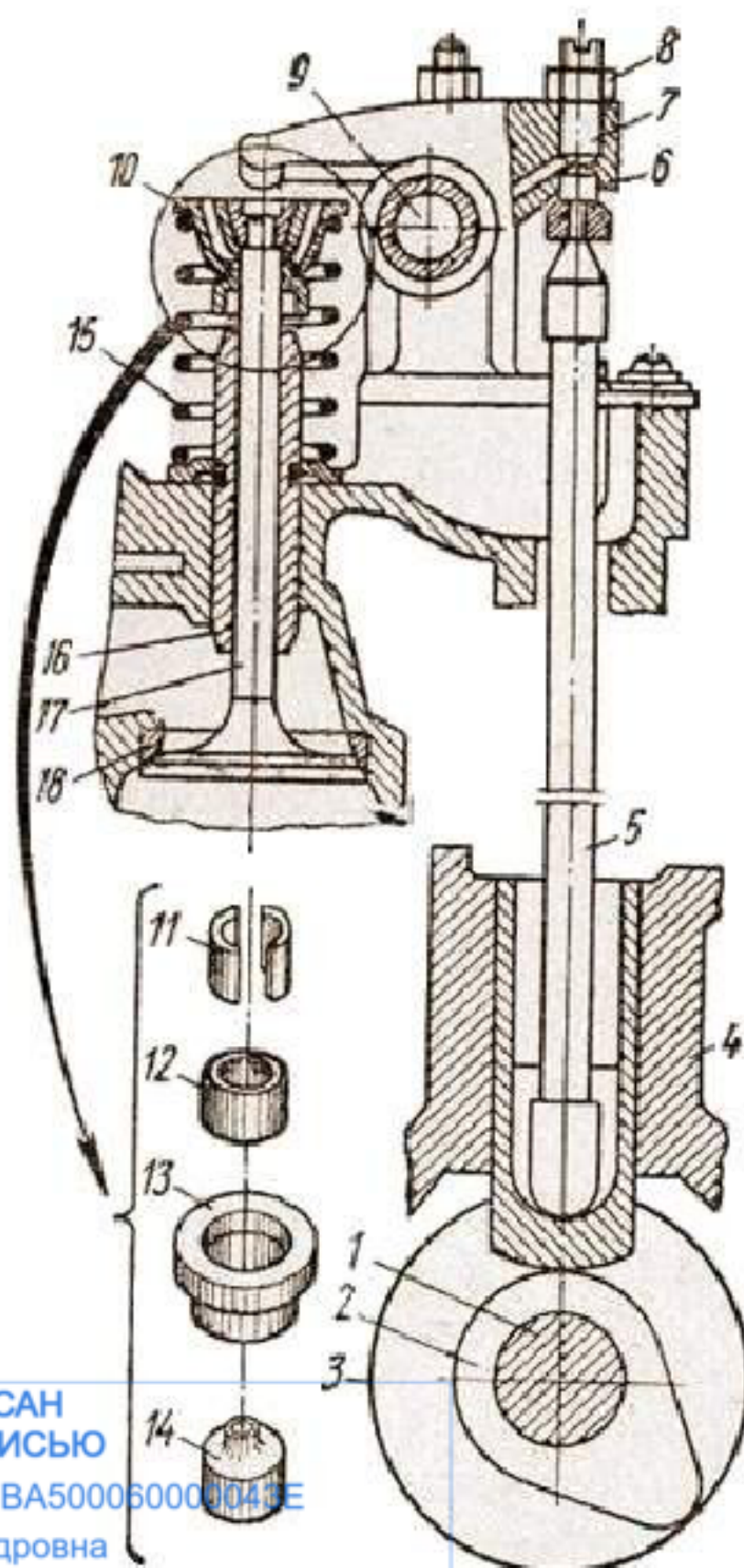
При всех их достоинствах они имели и неустранимые недостатки. Главный из недостатков, это очень большая камера сгорания, размеры которой уменьшить до приемлемых не получалось. Большая камера имела большую, по отношению к объёму камеры сгорания, площадь внутренних поверхностей, что приводило к большим потерям тепла и ухудшению процесса сгорания. К ухудшению процесса сгорания также приводила неудачная форма камеры сгорания. И, что пожалуй главное, большая камера сгорания не позволяла поднять степень сжатия двигателя, обеспечивающую эффективную работу двигателя. Вторым недостатком был очень сложный путь движения воздуха от воздушного фильтра до камеры сгорания. На своём

пути воздушный поток изменял направление несколько раз, что приводило к снижению скорости движения потока и, следовательно, к снижению коэффициента наполняемости.

Для устранения этих недостатков было необходимо перенести клапаны в головку блока цилиндров.

## 5.2. ГРМ с верхним расположением клапанов и нижним расположением распределительного вала

На большинстве современных автомобильных двигателей применяется газораспределительный механизм с верхним расположением клапанов. Это позволяет улучшить форму камеры сгорания, лучше наполнить цилиндры горючей смесью или воздухом, повысить степень сжатия и экономичность работы двигателя. Газораспределительный механизм с верхним расположением клапанов при нижнем расположении распределительного вала (рис.5.2) состоит из распределительного вала 1 с кулачками 2 и опорными шейками 3; толкателя 4; штанги 5; коромысла 6 с регулировочным винтом 7 и контргайкой 8, установленных на оси 9; деталей 10 крепления пружины на стержне клапана, к которым относятся сухарики 11 с внешней конической поверхностью и внутренним буртиком, коническая втулка 12, опорная шайба 13 и маслоотражательный колпачок 14, изготовленный из маслостойкой резины; пружины 15, стремящейся удерживать клапан в закрытом положении; направляющей втулки 16; клапана 17; гнезда клапана 18.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Рис.5.2. Газораспределительный механизм с верхним расположением клапанов.

При сборке пружину сжимают и устанавливают маслоотражательный колпачок 14 (только для впускного клапана), опорную шайбу 13, коническую втулку 12 и сухарики 11 так, чтобы их буртик вошел в кольцевую выточку на стержне клапана. При отпуске пружины она, распрямляясь, давит на коническую поверхность втулки и сухариков, удерживаясь на стержне клапана. Вторым концом пружина упирается в головку блока через опорную шайбу.

ГРМ с верхним расположением клапанов и нижним расположением распределительного вала работает следующим образом.

При вращении распределительного вала 1 кулачок 2 воздействует на толкатель 4 и поднимает его, а он через штангу 5 передает усилие на коромысло 6, которое, поворачиваясь на оси 9, вторым своим концом давит на стержень клапана 17 и открывает его. Пружина 15 при этом сжимается.

При дальнейшем вращении распределительного вала кулачок прекращает воздействовать на толкатель, и пружина, распрямляясь, плотно закрывает клапан в гнезде 18. Для регулировки теплового зазора между стержнем клапана и коромыслом предусмотрен регулировочный винт 7 с контргайкой 8.

### 5.3. ГРМ с верхним расположением клапанов и распределительного вала

Газораспределительный механизм двигателя с верхним расположением клапанов и распределительного вала (рис.5.3) состоит из распределительного вала 14 с корпусом 13 подшипников, привода распределительного вала, рычагов 11 привода клапанов, опорных регулировочных болтов 18 клапанов 1, направляющих втулок 4, пружин 7 и 8 клапанов с деталями крепления.

*Распределительный вал* обеспечивает своевременное открытие и закрытие клапанов. Распределительный вал пятиопорный, отлит из чугуна. Он имеет опорные шейки 15 и кулачки 16 (впускные и выпускные). Внутри вала проходит канал, через который подводится масло от средней опорной шейки к другим шейкам и кулачкам. К переднему торцу вала крепится ведомая звездочка 24 цепного привода. Вал устанавливается в специальном корпусе 13 подшипников, отлитом из алюминиевого сплава, который закреплен на верхней плоскости головки блока цилиндров. От осевых перемещений распределительный вал фиксируется упорным фланцем 12, который входит в канавку передней опорной шейки вала и прикрепляется к торцу корпуса подшипников.

*Привод распределительного вала* осуществляется через установленную на нем ведомую звездочку 24 двухрядной роликовой цепью 25 от ведущей звездочки 26 коленчатого вала. Этой цепью также вращается звездочка 27 вала привода масляного насоса. Привод распределительного вала имеет

полуавтоматический натяжной механизм, состоящий из башмака и натяжного устройства. Цепь натягивается башмаком 30, на который воздействуют пружины натяжного устройства 31. Для гашения колебаний ведущей ветви цепи служит успокоитель 26. Башмак и успокоитель имеют стальной каркас с привулканизированным слоем резины. Ограничительный палец 29 предотвращает спадание цепи при снятии на автомобиле ведомой звездочки распределительного вала.

Клапаны открывают и закрывают впускные и выпускные каналы. Клапаны установлены в головке блока цилиндров в один ряд под углом к вертикальной оси цилиндров двигателя. Впускной клапан 1 для лучшего наполнения цилиндров горючей смесью имеет головку большего диаметра, чем выпускной клапан.

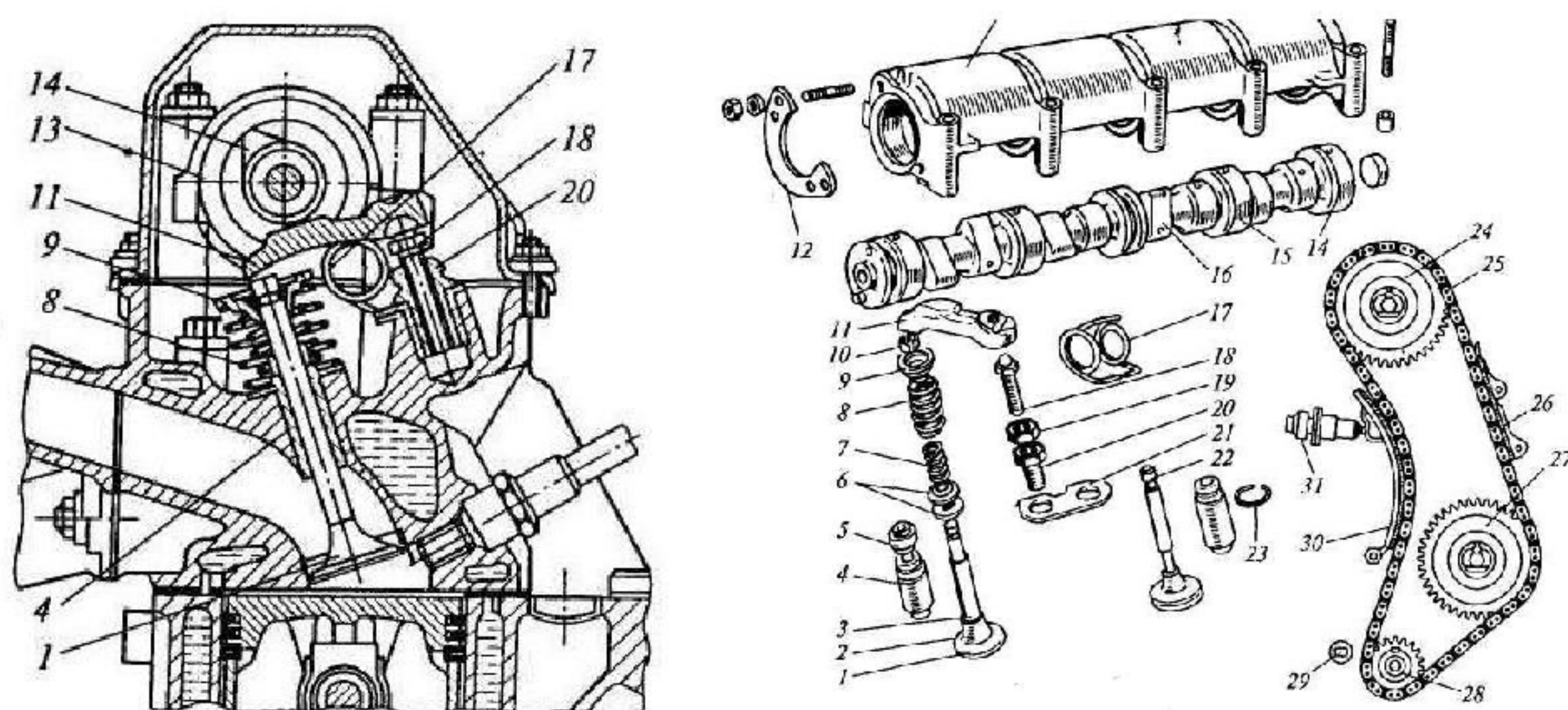


Рис. 5.3. Газораспределительный механизм с верхним расположением клапанов и распределительного вала с цепным приводом: 1, 22 — клапаны; 2 — головка; 3 — стержень; 4, 20 — втулки; 5 — колпачок; 6 — шайбы; 7, 8, 17 — пружины; 9 — тарелка; 10 — сухарь; 11 — рычаг; 12 — фланец; 13 — корпус; 14 — распределительный вал; 15 — шейка; 16 — кулачок; 18 — болт; 19 — гайка; 21 — пластина; 23 — кольцо; 24, 27, 28 — звездочки; 25 — цепь; 26 — успокоитель; 29 — палец; 30 — башмак; 31 — натяжное устройство

Он изготовлен из специальной хромистой стали, обладающей высокой износостойкостью и теплопроводностью. Выпускной клапан 22 работает в более тяжелых температурных условиях, чем впускной. Он выполнен составным. Его головку делают из жаропрочной хромистой стали, а стержень из специальной хромистой стали.

Каждый клапан состоит из головки 2 и стержня 3. Головка имеет конусную поверхность (фаску), которой клапан при закрытии плотно прилегает к седлу из специального чугуна, установленному в головке блока цилиндров и имеющему также конусную поверхность.

Стержень клапана перемещается в чугунной направляющей втулке 4, запрессованной и фиксируемой стопорным кольцом 23 в головке блока цилиндров, обеспечивающей точную посадку клапана. На втулку надевается маслоотражательный колпачок 5 из маслостойкой резины. Клапан имеет две цилиндрические пружины: наружную 8 и внутреннюю 7. Пружины крепятся на стержне клапана с помощью шайб 6, тарелки 9 и разрезного сухаря 10. Клапан приводится в действие от кулачка распределительного вала стальным кованым рычагом 11, который опирается одним концом на регулировочный болт 18, а другим на стержень клапана. Регулировочный болт имеет сферическую головку. Он ввертывается в резьбовую втулку 20, закрепленную в головке блока цилиндров и застопоренную пластиной 21, и фиксируется гайкой 19. Регулировочным болтом устанавливается необходимый зазор между кулачком распределительного вала и рычагом привода клапана, равный 0,15 мм на холодном двигателе и 0,2 мм на горячем двигателе (прогретом до 75...85С). Пружина 17 создает постоянный контакт между концом рычага привода и стержнем клапана.

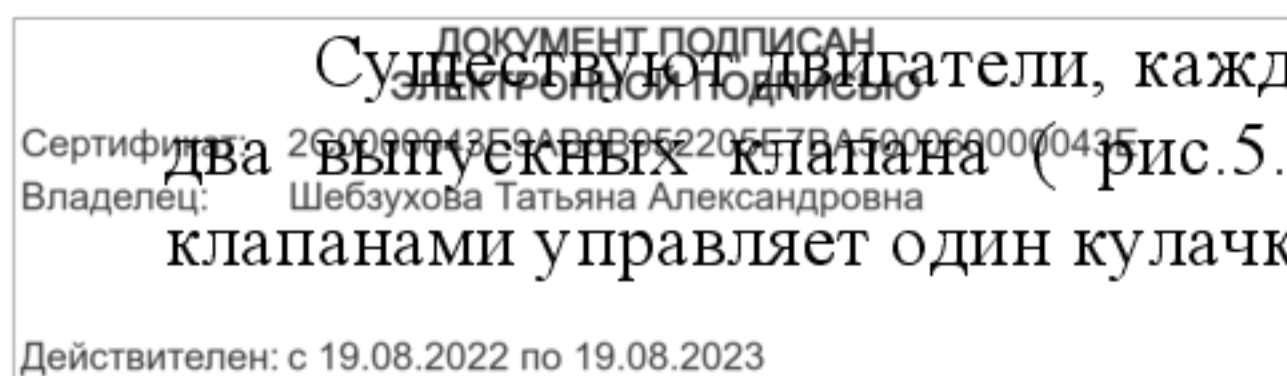
Газораспределительный механизм работает следующим образом. При вращении распределительного вала его кулачки в соответствии с порядком работы цилиндров двигателя поочередно набегают на рычаги 11. Рычаги, поворачиваясь одним концом на сферических головках регулировочных болтов 18, другим концом воздействуют на стержни клапанов, преодолевают сопротивление пружин 7, 8 и открывают клапаны. При дальнейшем повороте распределительного вала кулачки сходят с рычагов, которые возвращаются в исходное положение под действием пружин 17, а клапаны закрываются под действием пружин 7 и 8.

При работе двигателя распределительный вал вращается в два раза медленнее, чем коленчатый вал. Это связано с тем, что за период рабочего цикла двигателя, протекающего за два оборота коленчатого вала, впускной и выпускной клапаны каждого цилиндра должны открываться по одному разу.

Нормальная работа газораспределительного механизма во многом зависит от теплового зазора между кулачками распределительного вала и рычагами привода клапанов. Этот зазор обеспечивает плотное закрытие клапанов при их удлинении в результате нагрева во время работы. При недостаточном тепловом зазоре или его отсутствии происходит неполное закрытие клапанов, что приводит к утечке газов, быстрому обгоранию фасок головок клапанов и снижению мощности двигателя

#### 5.4. ГРМ с двумя распределительными валами

Существуют двигатели, каждый цилиндр которых имеет два впускных и два выпускных клапана (рис.5.4). В этом случае чаще всего впускными клапанами управляет один кулачковый вал, а выпускными — другой



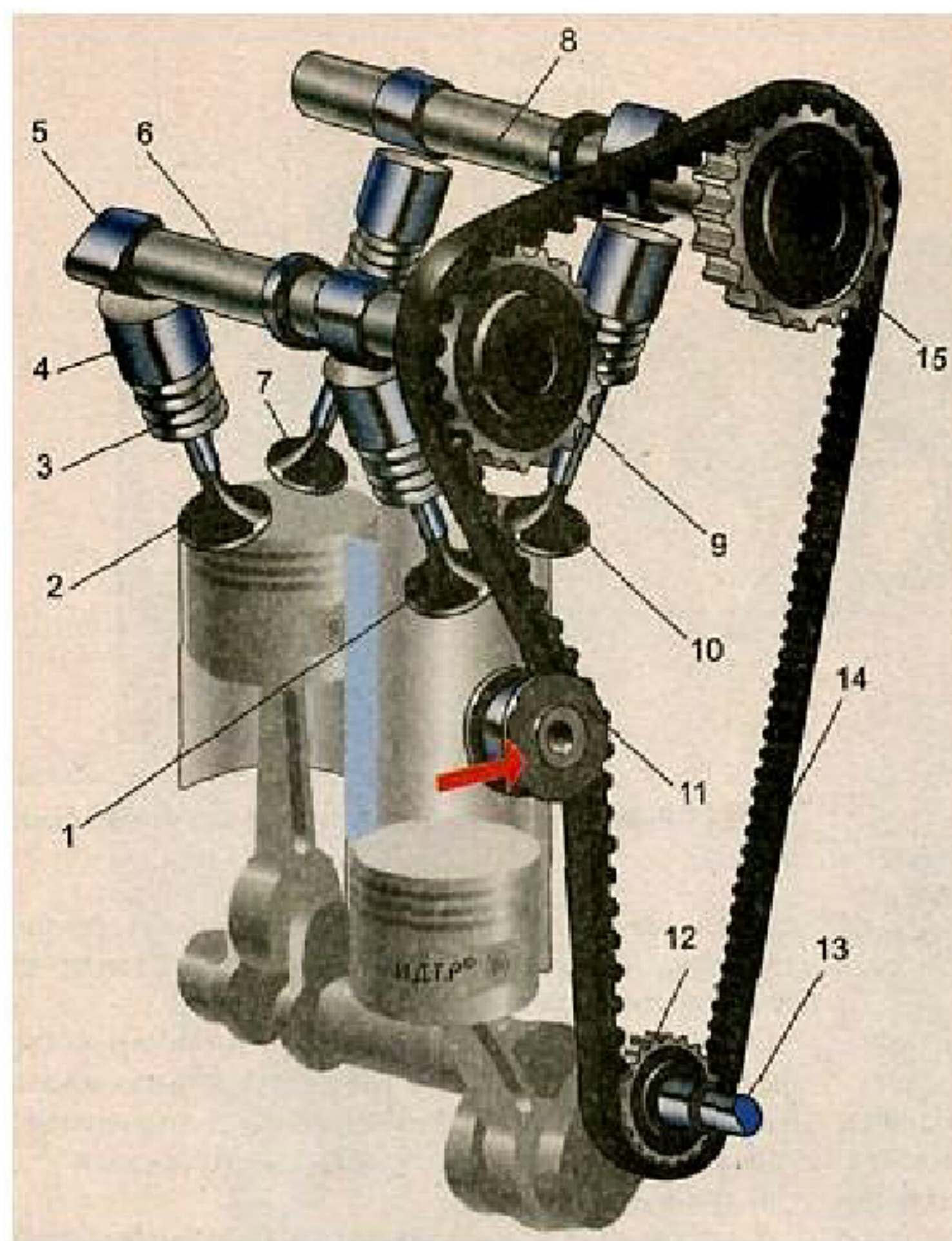


Рис.5.4.Газораспределительный механизм с двумя распределительными валами: 1,2-выпускные клапаны; 3-пружина; 4-толкатель; 5-кулачок; 6-распределительный вал выпускных клапанов; 7,10-впускные клапаны; 8-распределительный вал впускных клапанов; 9,15-зубчатые шкивы распределительных валов; 11-натяжной ролик ремня; 12-зубчатый шкив коленчатого вала; 13-коленчатый вал; 14-зубчатый ремень

## 5.5. Клапаны

Для работы четырехтактного ДВС требуется как минимум по два клапана на цилиндр — впускной и выпускной. В настоящее время применяются клапаны тарельчатого типа со стержнем. Для улучшения наполнения цилиндра горючей смесью диаметр тарелки впускного клапана делается больше, чем у выпускного. Седла клапанов, изготовленные из чугуна или стали, запрессовываются в головку блока цилиндров.

При работе двигателя клапаны подвергаются значительным механическим и тепловым нагрузкам, поэтому для их изготовления применяются специальные сплавы. Иногда для улучшения охлаждения клапанов высокофорсированных двигателей применяют клапаны с полым стержнем, который заполняется натрием. Натрий при рабочих температурах плавится и в расплавленном виде перетекает внутри клапана, перенося тепло от более нагретой тарелки клапана к стержню. Для лучшей очистки рабочей

фаски от нагара и равномерной теплопередачи иногда применяются различные механизмы для вращения клапана.

ГРМ могут быть нижнеклапанными и верхнеклапанными, но в современных двигателях используются только верхнеклапанные ГРМ, когда клапаны располагаются в головке цилиндров. Клапан удерживается в закрытом состоянии с помощью пружины, а открывается при нажатии на стержень клапана. Клапанные пружины должны иметь определенную жесткость для гарантированного закрытия клапана при работе, но жесткость пружины не должна быть чрезмерной, чтобы не увеличивать ударной нагрузки на седло клапана. Иногда для уменьшения возможности резонансных колебаний используются пружины уменьшенной жесткости, но на один клапан устанавливается по две пружины. При использовании двух пружин они должны быть навиты в разные стороны, чтобы не произошло заклинивания клапана в случае поломки одной из пружин и попадания ее витка между витками другой пружины. Для снижения потерь на трение в ГРМ сейчас широко применяются ролики, размещаемые на рычагах и толкателях привода клапанов.

При открытии (опускании) впускного клапана через кольцевой проход между тарелкой клапана и седлом проходит топливно-воздушная смесь (или воздух) и заполняет цилиндр. Чем больше будет площадь проходного сечения, тем полнее заполнится цилиндр, а следовательно, и выходные показатели этого цилиндра при рабочем ходе будут выше. Для лучшей очистки цилиндров от продуктов сгорания желательно также увеличить диаметр тарелки выпускного клапана. Размеры тарелок клапанов ограничены размером камеры сгорания, выполненной в головке цилиндров. Лучшее наполнение цилиндров и их очистка обеспечиваются при использовании большего, чем два, числа клапана на один цилиндр.

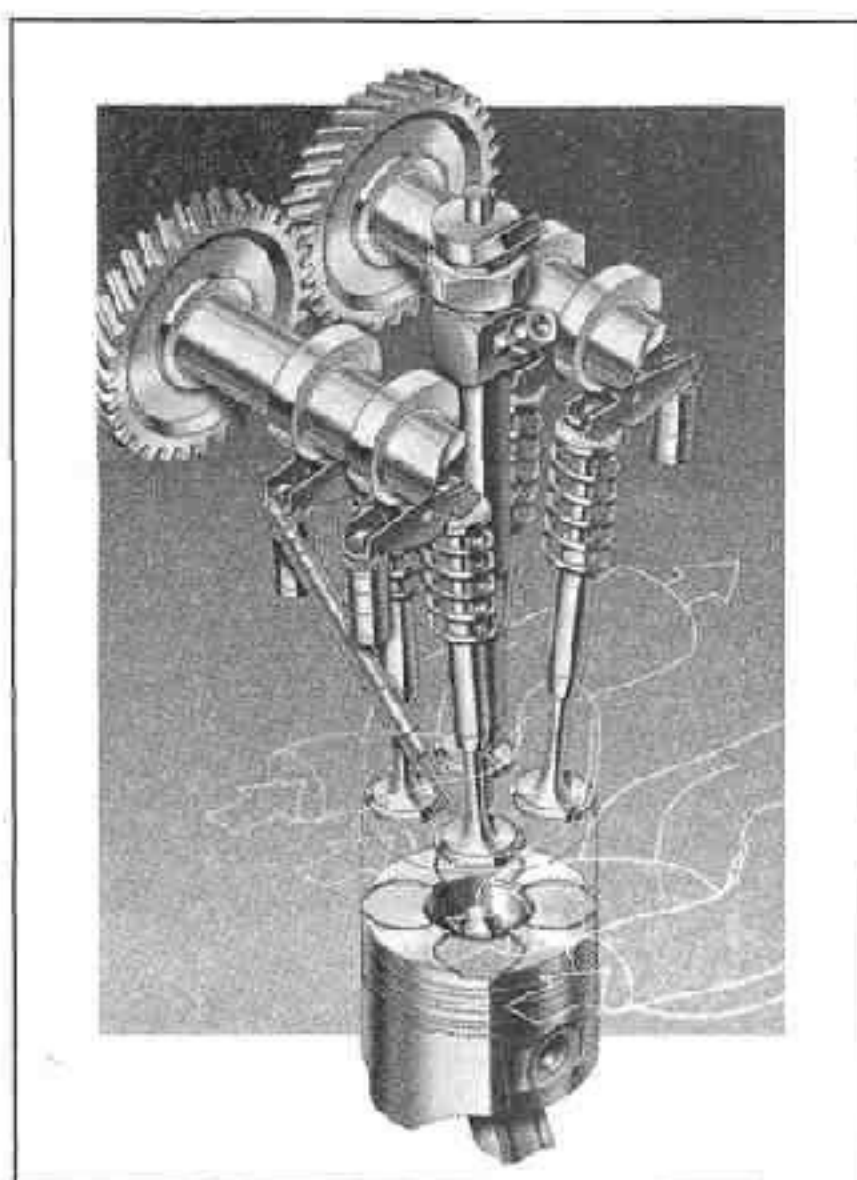


Рис. 5. Четырехклапанная камера сгорания. Применение газораспределительного механизма с четырьмя клапанами на цилиндр в дизельном двигателе

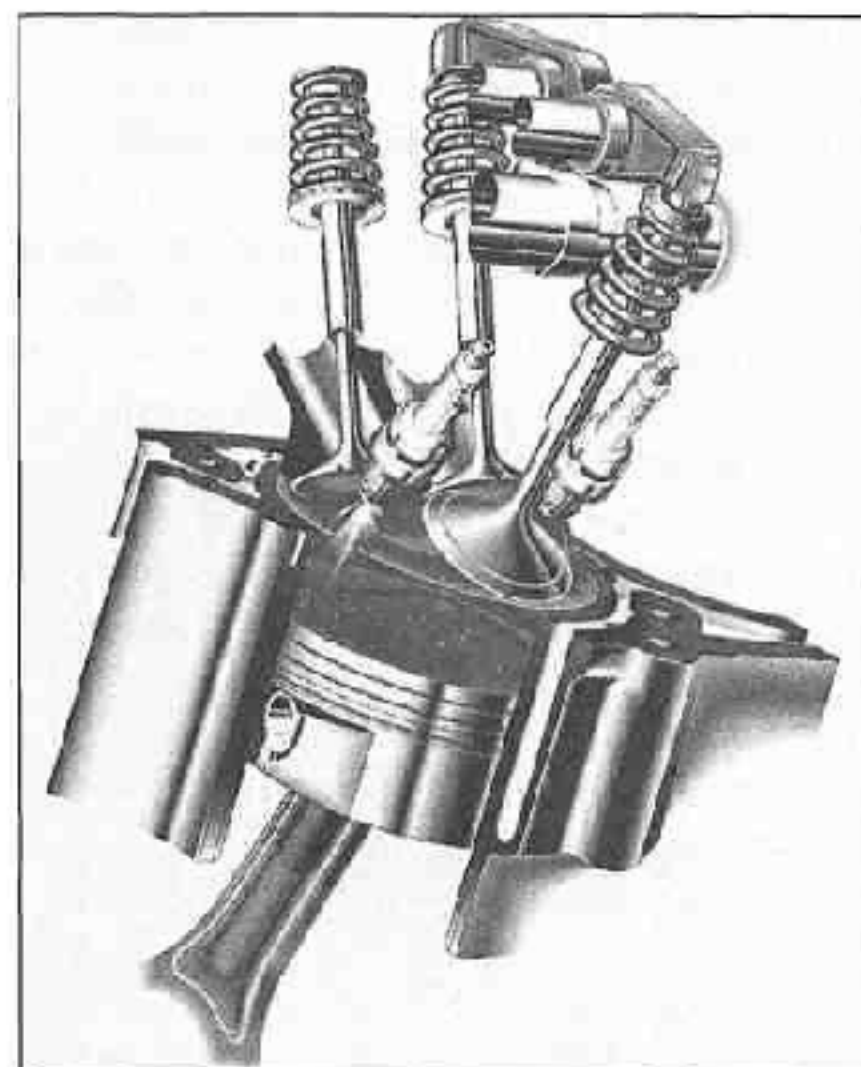


Рис. 6. Трехклапанный ГРМ. Компания DaimlerChrysler утверждает, что ГРМ с двумя впускными, одним выпускным и двумя свечами зажигания обеспечивает незначительное количество вредных веществ в отработавших газах

Рис.5.5. Схемы четырехклапанного и трехклапанного ГРМ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Большинство современных двигателей имеет по два впускных и по два выпускных клапана на цилиндр (рис. 5.5), хотя встречаются трех клапанные (два впускных и один выпускной) системы и пяти клапанные (три впускных и два выпускных).

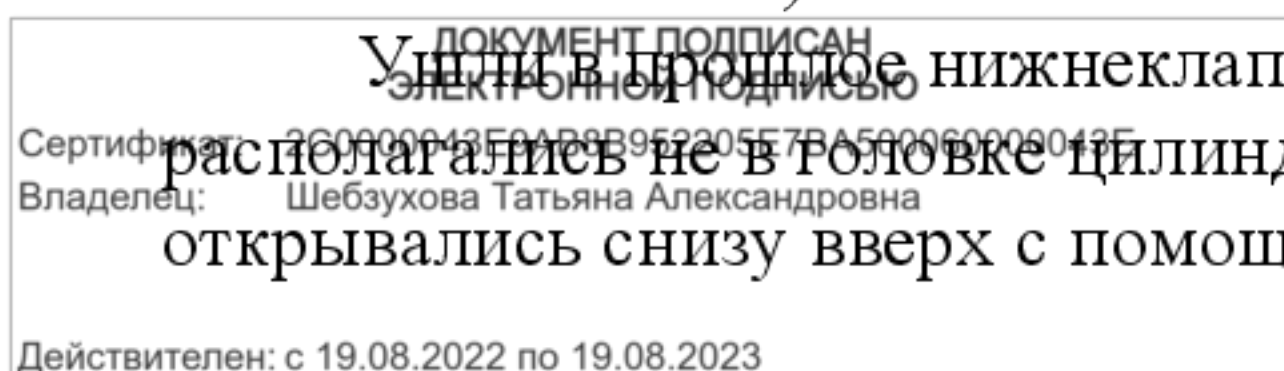
Впервые четыре клапана на цилиндр были использованы еще в 1912 г. на двигателе автомобиля Peugeot Gran Prix. Широкое использование такой схемы на серийных легковых автомобилях началось только в 1970-е гг. Сейчас ГРМ с четырьмя клапанами на цилиндр стали практически стандартными для двигателей европейских и японских легковых автомобилей. Некоторые из двигателей Mercedes имеют по три клапана на цилиндр, два впускных и один выпускной, с двумя свечами зажигания (по одной с каждой стороны от выпускного клапана (рис. 6). Двигатели некоторых автомобилей группы Volkswagen-Audi и ряд японских двигателей используют пять клапанов на цилиндр (три впускных и два выпускных), но при таком числе клапанов значительно усложняется их привод.

## 5.6. Привод клапанов

Впускные и выпускные клапаны открываются и закрываются в нужные моменты за счет кулачков, расположенных на распределительном вале или на двух валах: для впускных клапанов и для выпускных. Распределительный вал приводится в действие от коленчатого вала. Для привода распределительного вала могут использоваться шестерни, цепь или зубчатый ремень. Поскольку в четырехтактном двигателе каждый клапан открывается только один раз каждые два оборота двигателя, распределительный вал должен вращаться в два раза медленнее коленчатого вала. Кулачки могут воздействовать непосредственно на толкатели клапанов или через коромысла или рычаги. Направляющие втулки клапанов изготовлены из чугуна, латуни, бронзы или спеченной порошковой композиции и запрессованы в головку блока цилиндров. Толкатели имеют цилиндрическую форму и выполнены из стали.

Чем меньше деталей в приводе клапанов, тем меньше масса ГРМ, а следовательно, меньше и силы инерции, мешающие быстрому увеличению оборотов двигателя. Наиболее эффективными в этом случае будут ГРМ с размещенным в головке цилиндров распределительным валом. Такие двигатели появились в массовом производстве в 1960-е гг. и получили название ОНС (Overhead Camshaft), что означает верхнее расположение распределительного вала. Как альтернатива могут использоваться два распределительных вала, по одному для каждого ряда клапанов. Такие двигатели называются «двухвальные верхнеклапанные» DOHC (Double Overhead Camshaft).

Ушли в прошлое нижнеклапанные ГРМ, в которых клапаны располагались не в головке цилиндров, а в блоке, рядом с камерой сгорания, и открывались снизу вверх с помощью простого толкателя от



распределительного вала, расположенного в блоке цилиндров рядом с коленчатым валом. В таком двигателе головка цилиндров получалась простой и плоской, но камера сгорания была очень неудачной формы. Такие двигатели выпускались до 50-х гг., а затем их заменили более эффективные верхнеклапанные.

До настоящего времени выпускаются двигатели, у которых клапаны расположены в головке цилиндров, а распределительный вал размещен в блоке. При такой схеме для привода коромысел клапанов требуются дополнительные толкатели и штанги толкателей. Такие двигатели принято обозначать OHV (Overhead Valve) — верхнеклапанный. Для привода распределительного вала, расположенного в блоке цилиндров близко к коленчатому валу, можно использовать простую зубчатую передачу (рис. 1). Когда нужно выбрать привод для распределительных валов, находящихся в головке, приходится выбирать между цепью и зубчатым ремнем (рис. 3 и 4). Цепной привод надежнее и более долговечен, чем ременный, но требует смазки и, как следствие, герметизации крышки, закрывающей привод. Цепь существенно тяжелее ремня и *поэтому* для нее требуется более качественное натяжение и устройство для гашения вибраций. Зубчатые ремни дешевле, но требуют более частого контроля и замены после определенного пробега. Лучшие образцы современных ремней ГРМ могут прослужить без замены более 150 000 км пробега автомобиля.

## 5.7. Тепловые зазоры в приводе клапанов

При изменении температуры двигателя изменяются размеры всех его деталей. Это может привести к неполному закрытию клапанов, в результате чего двигатель теряет мощность, а клапаны со временем могут выйти из строя за счет обгорания их рабочей кромки. Для компенсации влияния меняющегося температурного режима двигателя в приводе клапанов всегда предусматривается так называемый температурный зазор. Износ деталей ГРМ приводит к необходимости периодической регулировки тепловых зазоров. Для регулировки зазоров в ГРМ устанавливают регулировочные винты в коромыслах или рычагах. Если клапаны управляются непосредственно от распределительного вала, установленного в головке, зазор обычно регулируется с помощью установки специальных прокладок определенной толщины под цилиндрический толкатель. Регулировка зазоров требует снятия, по крайней мере крышки головки блока. Сегодня большинство двигателей оборудовано автоматическими гидравлическими компенсаторами (толкателями), в которые под давлением подается моторное масло так, чтобы гарантировать нулевой зазор, — таким образом обеспечивается полное закрытие клапанов и снижается шум при работе двигателя. Польза от гидрокомпенсаторов особенно заметна в двигателях с четырьмя клапанами на цилиндр, потому что регулировка привода 16-и клапанов в четырехцилиндровом двигателе, не