

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**М. Ю. Орлов**

## **Эксплуатация двигателей внутреннего сгорания**

Электронное учебное пособие

Самара 2011



УДК 621.43.056

Автор: **Орлов Михаил Юрьевич**

Рецензенты:

зав. кафедрой «Теоретические основы теплотехники и гидромеханики» СГТУ

Кудинов В.А.

научный руководитель НОЦ ГДИ СГАУ, д.т.н., профессор кафедры теории двигателей СГАУ Матвеев В.Н.

Компьютерная верстка: Некрасова С.О.

**Орлов, Михаил Юрьевич. Эксплуатация ДВС.** [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / М. Ю. Орлов; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. ( 7,4 Мбайт ). – Самара, 2011. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Рассмотрена конструкция автомобильных и авиационных поршневых двигателей. Дано описание основных механизмов и систем двигателей с указанием особенностей их эксплуатации, наиболее типичных неисправностей и методов их устранения. Проанализированы взаимосвязи характеристик двигателей и транспортных средств. Изложены основы поиска неисправностей ДВС и ремонта двигателей. Учебное пособие предназначено для подготовки специалистов по специальности 140501.65 «Двигатели внутреннего сгорания» (ГОС-2), изучающих дисциплину «Эксплуатация ДВС» в 9 семестре, и для специалистов направления подготовки 141100.62 «Энергетическое машиностроение», изучающих дисциплину «Системы двигателей» в 7 семестре, для магистров по направлению подготовки 160700.68 «Двигатели летательных аппаратов», профиль «Авиационные двигатели внутреннего сгорания» (ФГОС-3), изучающих дисциплину «Индивидуальная подготовка в области ДВС специального назначения» в 9 семестре.

Подготовлено на кафедре теплотехники и тепловых двигателей СГАУ.

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2011.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение .....                                                                                                                          | 8  |
| ЛЕКЦИЯ 1 ИСТОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ДВС НА ТРАНСПОРТЕ .....                                                                                     | 9  |
| Контрольные вопросы .....                                                                                                               | 17 |
| ЛЕКЦИЯ 2 СИЛОВАЯ УСТАНОВКА. ДВИЖИТЕЛЬ И ДВИГАТЕЛЬ. ПРИНЦИП<br>ДЕЙСТВИЯ ДВС И НАЗНАЧЕНИЕ ЕГО ОСНОВНЫХ СИСТЕМ. КЛАССИФИКАЦИЯ<br>ДВС ..... | 19 |
| Контрольные вопросы .....                                                                                                               | 28 |
| ЛЕКЦИЯ 3 ИНДИКАТОРНЫЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ<br>ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ .....                                                     | 31 |
| 3.1 Основные параметры поршневых двигателей .....                                                                                       | 36 |
| 3.2 Характеристики ДВС .....                                                                                                            | 38 |
| 3.3 Основные сведения о характеристиках ДВС .....                                                                                       | 40 |
| Контрольные вопросы .....                                                                                                               | 49 |
| ЛЕКЦИЯ 4 ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДВС. ИХ НЕИСПРАВНОСТИ,<br>ВОЗНИКАЮЩИЕ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ .....                                         | 52 |
| 4.1 Кривошипно-шатунный механизм .....                                                                                                  | 52 |
| 4.2 Основные неисправности кривошипно-шатунного механизма .....                                                                         | 53 |
| 4.3 Эксплуатация кривошипно-шатунного механизма .....                                                                                   | 54 |
| 4.4 Газораспределительный механизм (ГРМ) .....                                                                                          | 55 |
| 4.5 Гидрокомпенсатор .....                                                                                                              | 59 |
| 4.6 Система изменения фаз газораспределения .....                                                                                       | 61 |
| 4.7 Неисправности газораспределительного механизма .....                                                                                | 65 |
| 4.8 Эксплуатация газораспределительного механизма двигателя .....                                                                       | 66 |
| Контрольные вопросы .....                                                                                                               | 67 |
| ЛЕКЦИЯ 5 ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ. ИХ НЕИСПРАВНОСТИ И<br>ЭКСПЛУАТАЦИЯ .....                                                      | 69 |
| 5.1 Классификация систем жидкостного охлаждения. Их устройство и работа .....                                                           | 76 |
| 5.2 Система жидкостного охлаждения двигателя .....                                                                                      | 77 |
| 5.3 Неисправности системы охлаждения .....                                                                                              | 86 |

|                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.4 Система воздушного охлаждения поршневого двигателя .....                                  | 87  |
| 5.5 Основные неисправности воздушных систем охлаждения .....                                  | 90  |
| 5.6 Эксплуатация систем охлаждения .....                                                      | 90  |
| Контрольные вопросы .....                                                                     | 96  |
| ЛЕКЦИЯ 6 СИСТЕМА СМАЗКИ ДВС И ИХ УСТРОЙСТВО .....                                             | 98  |
| 6.1 Неисправности системы смазки .....                                                        | 107 |
| 6.2. Эксплуатация системы смазки .....                                                        | 107 |
| Контрольные вопросы .....                                                                     | 112 |
| ЛЕКЦИЯ 7 СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ. НЕИСПРАВНОСТИ СИСТЕМ ПИТАНИЯ .....            | 114 |
| 7.1 Карбюраторная система питания .....                                                       | 116 |
| 7.2 Системы впрыска бензина .....                                                             | 120 |
| 7.3 Система питания двигателя с распределённым впрыском бензина .....                         | 124 |
| 7.4 Система питания двигателя с непосредственным впрыском топлива (бензина) .....             | 127 |
| 7.5 Основные неисправности системы питания бензиновых двигателей .....                        | 129 |
| 7.6 Эксплуатация системы питания .....                                                        | 131 |
| Контрольные вопросы .....                                                                     | 133 |
| ЛЕКЦИЯ 8 СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВС .....                                                  | 136 |
| 8.1 Системы топливоподачи ДВС, работающих на газообразном топливе .....                       | 142 |
| 8.2 Система питания двигателя компримированным природным газом .....                          | 144 |
| 8.3 Системы топливоподачи газодизельных двигателей .....                                      | 147 |
| 8.4 Основные неисправности системы питания дизельного двигателя .....                         | 150 |
| 8.5 Эксплуатация систем питания дизельных двигателей .....                                    | 151 |
| Контрольные вопросы .....                                                                     | 152 |
| ЛЕКЦИЯ 9 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЯ. ИХ НЕИСПРАВНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ..... | 154 |
| 9.1 Источники электроэнергии для автомобиля .....                                             | 154 |
| 9.2 Система зажигания бензиновых ДВС, принципы ее работы .....                                | 158 |
| 9.3 Основные неисправности системы зажигания .....                                            | 170 |

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.4 Эксплуатация системы зажигания .....                                                                                        | 171 |
| 9.5 Системы управления ДВС .....                                                                                                | 173 |
| 9.6 Основные элементы инжекторной системы топливоподачи.....                                                                    | 179 |
| 9.7 Основные неисправности системы управления двигателем .....                                                                  | 185 |
| 9.8 Основные неисправности системы пуска ДВС.....                                                                               | 190 |
| Контрольные вопросы .....                                                                                                       | 193 |
| ЛЕКЦИЯ 10 ИЗНОС ДВС ИХ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ .....                                                                                    | 194 |
| 10.1 Нагруженность и теплонапряжённость деталей и узлов ДВС .....                                                               | 196 |
| 10.2 Прочность и износостойкость деталей и узлов ДВС .....                                                                      | 198 |
| Контрольные вопросы .....                                                                                                       | 206 |
| ЛЕКЦИЯ 11 ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ПОЛОМОК И ОТКАЗОВ ДВС .....                                                                          | 207 |
| 11.1 Предпосылки к возникновению неисправностей и отказов в ДВС, обусловленные рабочим циклом .....                             | 207 |
| 11.2 Предпосылки к возникновению неисправностей и отказов в ДВС, обусловленные работой двигателя в экстремальных условиях ..... | 214 |
| 11.3 Неисправности и отказы ДВС, обусловленные конструктивно - производственными недостатками или особенностями двигателя ..... | 218 |
| 11.4 Неисправности и отказы ДВС, обусловленные эксплуатацией .....                                                              | 219 |
| Контрольные вопросы .....                                                                                                       | 221 |
| ЛЕКЦИЯ 12 ОСНОВЫ ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ ДВС.....                                                                                 | 223 |
| 12.1 Диагностика неисправностей ДВС .....                                                                                       | 223 |
| 12.2 Диагностика механической части ДВС .....                                                                                   | 224 |
| 12.3 Диагностика неисправностей механической части ДВС измерением компрессии                                                    | 230 |
| 12.4 Диагностика неработающего ДВС по внешним признакам .....                                                                   | 233 |
| 12.5 Диагностика работы двигателя по состоянию свечей.....                                                                      | 235 |
| 12.6 Диагностика неисправностей двигателя по цвету выхлопных газов .....                                                        | 238 |
| 12.7 Диагностика двигателя по составу выхлопных газов .....                                                                     | 240 |
| 12.8 Диагностика работающего двигателя по расходу топлива.....                                                                  | 242 |
| 12.9 Диагностика работающего двигателя по расходу масла .....                                                                   | 243 |

|                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 12.10 Определение причин возникновения неисправностей ДВС по характеру повреждения деталей..... | 243        |
| 12.11 Поиск неисправностей в системах управления двигателем .....                               | 244        |
| 12.12 Поиск неисправностей в системах впрыска топлива .....                                     | 247        |
| 12.13 Поиск неисправностей в системе зажигания .....                                            | 249        |
| Контрольные вопросы .....                                                                       | 255        |
| <b>ЛЕКЦИЯ 13 ВЗАИМОСВЯЗЬ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ И АВТОМОБИЛЯ .....</b>                         | <b>257</b> |
| Контрольные вопросы .....                                                                       | 276        |
| <b>ЛЕКЦИЯ 14 РЕМОНТ ДВС .....</b>                                                               | <b>279</b> |
| 14.1 Основные сведения о ремонте поршневых двигателей .....                                     | 279        |
| 14. 2 Контроль мощности и крутящего момента двигателя после ремонта .....                       | 294        |
| Контрольные вопросы .....                                                                       | 299        |
| <b>ЛЕКЦИЯ 15 ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ АВИАЦИОННЫХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.....</b>                  | <b>301</b> |
| 15.1 Общее устройство и работа основных систем авиационных поршневых двигателей .....           | 301        |
| 15.2 Кривошипно-шатунный механизм авиационных ДВС .....                                         | 302        |
| 15.3 Газораспределительный механизм.....                                                        | 310        |
| 15.4 Системы охлаждения авиационных поршневых двигателей .....                                  | 312        |
| 15.5 Система смазки авиационных поршневых двигателей .....                                      | 316        |
| 15.6 Системы питания авиационных поршневых двигателей.....                                      | 318        |
| 15. 7 Системы зажигания авиационных поршневых двигателей.....                                   | 323        |
| 15.8 Использование турбонаддува для обеспечения работы двигателя на высоте .....                | 325        |
| 15.9 Пусковые устройства.....                                                                   | 330        |
| Контрольные вопросы .....                                                                       | 333        |
| <b>ЛЕКЦИЯ 16 ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННЫХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.....</b>                 | <b>335</b> |
| 16.1 Режимы работы авиационного поршневого ДВС.....                                             | 339        |
| 16.2 Характеристики авиационных поршневых двигателей .....                                      | 341        |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| Контрольные вопросы ..... | 361 |
|---------------------------|-----|

## Введение

В данной дисциплине рассматриваются вопросы, связанные с эксплуатацией поршневых двигателей. Этот тип двигателей в настоящее время широко применяется на большинстве транспортных средств - автомобилях, судах, малой авиации и т.д. Грамотная эксплуатация двигателей внутреннего сгорания позволяет не только сохранить их ресурс и снизить материальные и временные затраты, в том числе связанные с ремонтом, но и зачастую напрямую влияет на обеспечение безопасности жизни людей.

Изучение данной дисциплины предполагает наличие базовых знаний по конструкции двигателей и их систем, теории рабочего процесса, надежности и прочности. Чтобы свести к минимуму обращение к дополнительной литературе, автор счел необходимым привести в своем курсе некоторые необходимые материалы из этих предметов, что заодно способствует повторению ранее усвоенного материала и более глубокому его пониманию. Это обосновано также тем фактом, что понимание условий обеспечения грамотной эксплуатации современных двигателей невозможно без знания их устройства, а также законов и принципов на основе которых они функционируют.

Отразить в лекционном курсе все особенности и проблемы эксплуатации двигателей внутреннего сгорания, а также пути их решения, не представляется возможным, поэтому автор и не ставил перед собой такой задачи. Своей целью он видит изложение достаточно сложного для понимания материала в доступной для восприятия форме и освещение наиболее важных вопросов, без которых невозможна начальная деятельность инженера по обслуживанию техники. Приобретение глубоких предметных знаний приходит вместе с опытом работы, и автор будет считать свою задачу выполненной, если он смог в меру сил способствовать этому.

## ЛЕКЦИЯ 1 ИСТОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ДВС НА ТРАНСПОРТЕ

Принято считать, что изобретателем двигателя внутреннего сгорания (ДВС) является выдающийся голландский ученый **Х. Гюйгенс** (1629-1695гг), предложивший в 1678 г. двигатель, который должен был использовать в качестве топлива порох. В 1860 году бельгийским инженером **Э. Ленуаром** (1822-1900гг) был построен первый промышленный двигатель внутреннего сгорания (см. рис. 1), работавший на светильном газе. Этот двигатель положил начало эксплуатации ДВС и имел достаточно высокий ресурс – более 20 лет непрерывной работы. В 1866 году германские инженеры **Э. Ланген** (1833-1895гг) и **Н. Отто** (1832-1891гг) создали более эффективный газовый двигатель, а в 1876 году Н. Отто построил четырехтактный двигатель, работавший с использованием цикла, получившим название по его фамилии (см. рис. 2).

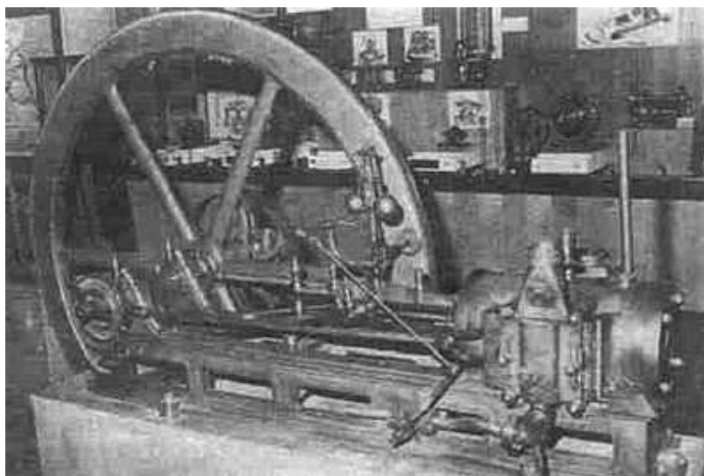


Рис. 1 Двигатель Э.Ленуара, положивший начало эксплуатации ДВС

Быстроходный ДВС, построенный германским инженером **Г. Даймлером** (1834-1900гг) в 1885 и запатентованный им в 1887, позволил впоследствии использовать ДВС в наземном транспорте.





Рис. 2 Четырехтактный двигатель Н.Отто (1878 г)

Он же и его соотечественник **К. Бенц** (1844-1929гг) стали изобретателями карбюратора, позволившего перевести тогдашние ДВС с газа на жидкое топливо. Германский инженер **Р. Дизель** (1858-1913гг) построил в 1897 году ДВС с воспламенением смеси от сжатия (см. рис 3).



Рис. 3 Двигатель Р. Дизеля 1895 года

Значительный вклад в развитие ДВС внесли и отечественные изобретатели, инженеры и ученые. В России первый двигатель с искровым зажиганием был построен в 1889 г. по проекту инженера **И. С. Костовича** (1851-1916гг). Поскольку двигатель предназначался для дирижабля, его в

некотором роде можно считать одним из первых авиационных поршневых двигателей. Костович впервые на ДВС применил электрическое зажигание и встречное движение поршней в оппозитно расположенных цилиндрах. Впечатляет и тот факт, что двигатель был восьмицилиндровым.

В 1899 г. на заводе Э. Нобеля в Петербурге (ныне завод «Русский дизель») был построен промышленный образец высокоэкономичного двигателя с воспламенением от сжатия. Этот двигатель в отличие от двигателя, построенного Р. Дизелем и работавшего на керосине, мог работать на сырой нефти и ее погонах. В течение короткого времени конструкция этого двигателя, названного дизелем, была значительно усовершенствована, и он стал широко применяться в энергетических стационарных установках, на судах и т. п. Неоценимый вклад в разработку новых конструкций ДВС внес инженер-патриот **Б.Г.Луцкой** (1865-?) разработавший ряд передовых для своего времени автомобильных, авиационных и судовых двигателей.

Успешное развитие ДВС, создание опытных конструкций и промышленных образцов в значительной мере связаны с исследованиями и разработкой теории рабочих процессов. В 1906 г. профессор Московского высшего технического училища В. И. Гриневецкий впервые разработал метод теплового расчета двигателя. Этот метод в дальнейшем был развит и дополнен Н. Р. Брилингом, Е. К. Мазингом и Б. С. Стечкиным.

В 1886 году К. Бенц построил первый в мире автомобиль, одноцилиндровый четырехтактный двигатель, который развивал мощность 0,85 лошадиных сил при 200 об/мин (см. рис. 4). Даймлер подал патент на автомобиль одновременно с К. Бенцем в 1886 г, но при более доведенном двигателе (совместная работа с В. Майбахом), его автомобиль представлял собой доработанную карету и был менее совершенным. Поэтому считается, что Бенц первым предложил годный для эксплуатации прообраз современного автомобиля, а Даймлер с Майбахом первыми запустили



Рис. 4 Первый, трехколесный автомобиль К.Бенца 1886 г.

в производство функциональный бензиновый автомобильный двигатель. Первый русский автомобиль (см. рис. 5) был построен в 1896 г. петербургскими изобретателями - отставным морским офицером **Е. А. Яковлевым** (1857-1898) и инженером **П. А. Фрезе** (1844-1918). Автомобиль оснащался двигателем конструкции Яковлева и был построен на его заводе.



Рис. 5 Первый русский автомобиль Е.Яковлева и П.Фрезе

(мощность двигателя 2 л.с., скорость 21 км/ч вес 300 кг)

Первый бензиновый авиационный двигатель (см. рис. 6), установленный на самолете, совершившем полет построили братья **Уилбер** (1867-1912) и **Орвилл** (1871-1948) **Райт** в 1903 г. Он имел мощность в 12 лошадиных сил при 1400 об/мин при весе около ста килограммов и с помощью цепных передач вращал два толкающих винта.

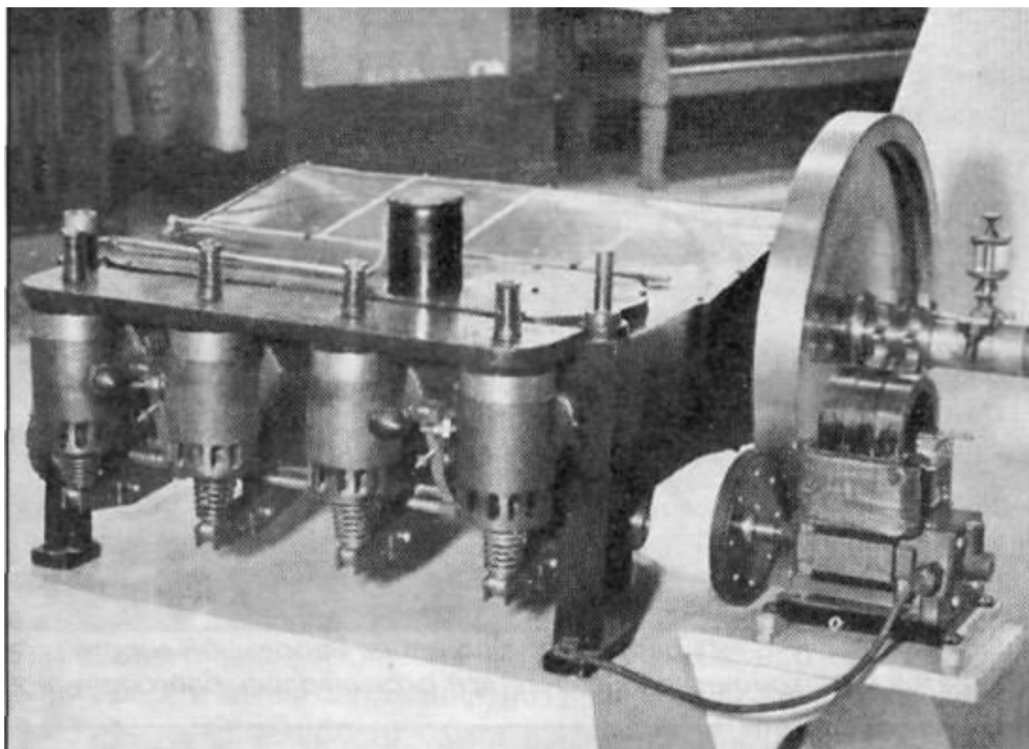


Рис. 6 Двигатель самолета братьев Райт

История развития ДВС насчитывает более 100 лет, на протяжении которых его конструкция претерпела значительные изменения, а характеристики существенно улучшились.

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) на сегодняшний день является основным двигателем наземного транспорта нашей планеты. Однако, кроме автомобилей, локомотивов, тракторов и танков им также оснащаются суда, самолеты и различные энергетические установки. Состояние всех этих двигателей напрямую определяет состояние атмосферного воздуха и его влияние на здоровье человека. Учитывая тот факт, что только количество автомобилей с ДВС в 2010 г. превысило миллиард (см. рис. 7), становится очевидным, что проблема грамотной эксплуатации ДВС, даже только в связи с обеспечением минимально возможного загрязнения окружающей среды, является чрезвычайно актуальной. Состояние двигателей автомобилей, находящихся в эксплуатации также определяет показатели аварийности. И если статистика количества аварий по причине неисправностей двигателя автомобиля показывает, что ее процент от общего количества аварий

невелик, то в действительности она часто является составляющей других причин, зафиксированных в качестве основных для конкретных дорожно-транспортных происшествий (ДТП).



Рис. 7 Типичная картина эпохи автомобилизации: улица одного из современных городов

Так, например, при аварии, совершенной при обгоне другого транспортного средства ее косвенной причиной часто служит невозможность развития двигателем требуемой мощности вследствие какой-либо неисправности (см. рис. 8).



Рис. 8 Последствия лобового столкновения при обгоне



Помимо сохранения здоровья и жизни людей, эксплуатация исправной техники позволяет в значительной мере сэкономить временные и материальные ресурсы, затраты которых неизбежны при преждевременном ремонте техники.

Наконец, двигатель, обладающий заявленными характеристиками, позволяет человеку получать удовольствие от вождения автомобиля или управления самолетом, получать новые достижения в спорте (см. рис. 9).

**Эксплуатация** в переводе с французского означает использование. Применительно к технике это часть жизненного цикла изделия, на протяжении которого оно используется по назначению. Таким образом, изучение эксплуатации ДВС предполагает рассмотрение всех основных аспектов его работы на автомобиле, технического обслуживания, ремонтных работ и т.д.



Рис. 9 Команда «Ауди»-чемпион гонок «24 часа Ле Мана» 2011 года

С момента своего появления в конце девятнадцатого века двигатели внутреннего сгорания претерпели ряд существенных изменений в своей

конструкции, обусловленных необходимостью увеличения их мощности, экономичности и экологических качеств. Так, например, с первоначальных 6...7 единиц степень сжатия у бензиновых двигателей возросла до 10 и более единиц, значительно увеличился рабочий объем двигателей, усложнились системы питания, охлаждения, смазки, появился ряд новых систем. По сравнению с ранее использовавшимися ДВС, современные поршневые двигатели работают с большими нагрузками на кривошипно-шатунный и газораспределительный механизмы, используют другие топлива, масла и охлаждающие жидкости. По этой причине на каждом этапе развития ДВС, их эксплуатация обеспечивалась определенным комплексом мероприятий, включавшим в себя не только обслуживание двигателя, но и использование определенных приемов ремонта, рабочих жидкостей и т.д. Таким образом, подходы к эксплуатации ДВС не оставались неизменными, а развивались вместе с двигателем.

Главными направлениями развития современных ДВС является повышение их удельных энергетических и экологических показателей, увеличение моторесурса при одновременном снижении удельной металлоёмкости, улучшение экономических характеристик и уменьшение удельных затрат на изготовление, обслуживание и ремонт.

Перечисленные тенденции и направления развития привели к тому, что современные поршневые двигатели представляют собой сложную конструкцию, эксплуатация которой невозможна без реализации системных подходов и должного уровня знаний у занимающихся ей специалистов.

В объеме одного лекционного курса невозможно охватить все многообразие проблем, стоящих перед специалистом, эксплуатирующим ДВС, поэтому для его изучения у студентов предполагается наличие базовых знаний, полученных в ходе изучения различных предметов на предшествующих ступенях обучения. Цель автора данного курса - показать основные проблемы эксплуатации современных поршневых двигателей и

используемые пути их решения. Для более качественного восприятия излагаемого материала автор включил в разделы курса необходимые наглядные материалы и контрольные вопросы.

### ***Контрольные вопросы***

1.Первым изобретателем двигателя внутреннего сгорания является?

**а) Х.Гюйгенс (правильно);**

б) И.Кулибин;

в) Генри Форд.

2.Первый промышленный двигатель внутреннего сгорания был создан:

а) Архимедом;

**б) Э.Ленуаром (правильно);**

в) Майбахом.

3. В каком году Н.Отто был создан двигатель, работающий по циклу, названному его именем?

а) в 1830 году;

**б) в 1876 году (правильно);**

в) в 1910 году.

4. Первый функционирующий двигатель с воспламенением от сжатия был создан Р.Дизелем:

а) в 1800 году;

б) в 1906 году;

**в) в 1897 году (правильно).**

5. В каком году К.Бенцем был построен первый автомобиль, положивший начало эксплуатации автомобильных ДВС?



а) в **1886** году (**правильно**);

б) в 1900 году;

в) в 1920 году.

6. Первый российский автомобиль был построен в 1896 году:

а) Ивановым П.;

б) **Яковлевым и Фрезе (правильно)**;

в) Луцким.

7. Первый авиационный двигатель внутреннего сгорания был разработан:

а) братьями Монгольфье;

б) **братьями Райт (правильно)**;

в) А.Можайским.

8. Эксплуатация ДВС это:

а) обслуживание двигателя;

б) работа двигателя на автомобиле;

в) **жизненный цикл ДВС с момента его изготовления до утилизации (правильно)**.

9. Правильная эксплуатация ДВС позволяет:

а) экономить топливо;

б) продлевать ресурс двигателя;

в) **экономить материальные средства, сокращать время на ремонт и повышать безопасность транспорта с ДВС (правильно)**.

10. Чем эксплуатация современных ДВС отличается от ранее существовавших:

а) не имеет отличий;

б) отличается необходимостью использования сложного оборудования, грамотных специалистов и более качественных горюче-смазочных материалов (правильно);

в) требует больших временных затрат.

## **ЛЕКЦИЯ 2 СИЛОВАЯ УСТАНОВКА. ДВИЖИТЕЛЬ И ДВИГАТЕЛЬ. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДВС И НАЗНАЧЕНИЕ ЕГО ОСНОВНЫХ СИСТЕМ. КЛАССИФИКАЦИЯ ДВС**

Движение любого транспортного средства (ТС) осуществляется с помощью силы тяги, которая создается **силовой установкой (СУ)**, включающей в себя два основных агрегата: движитель (ДЖ) и двигатель (ДВ). Таким образом, двигатель существует не сам по себе, а в составе силовой (или энергетической) установки.

**Движитель** (колесо, гусеница, гребной или воздушный винт, весло и т.д.) - устройство, которое взаимодействуя с окружающей средой, создаёт силу тяги и совершает работу по перемещению ТС. Для поддержания силы тяги движитель потребляет механическую энергию, расход которой уравнивается подводом к нему такого ее количества, которое компенсировало бы затраты. При этом подводимая энергия также должна быть механической.

Аккумуляторы механической энергии (массивные маховики, пружины, гири, поднятые на некоторую высоту, баллоны со сжатым газом и т.д.) малоприспособны для широкого использования на ТС из-за малых запасов энергии, поэтому в состав СУ, как правило, входит **двигатель**.

**Двигатель** – это агрегат, предназначенный для получения механической энергии из какого-либо другого ее вида. Наиболее широкое распространение на ТС получили электрические и тепловые двигатели, а также их комбинации.

Поршневые двигатели относятся к классу **тепловых**, в которых при циклическом изменении параметров рабочего тела (см рис. 1) происходит преобразование подводимой к нему тепловой энергии  $q_1 = q'_1 + q''_1$  в механическую  $L = q_1 - q_2$ . Для непрерывной работы такого двигателя на борту ТС должен быть запас тепловой энергии. Современные тепловые аккумуляторы не способны обеспечить ни мощности, ни продолжительности работы, которые требуются от транспортных силовых установок. Поэтому в тепловых двигателях предусмотрена ещё одна ступень преобразования некоторого **исходного вида энергии** в тепловую. В поршневых двигателях в качестве исходного вида энергии используется **химическая энергия** топлива.

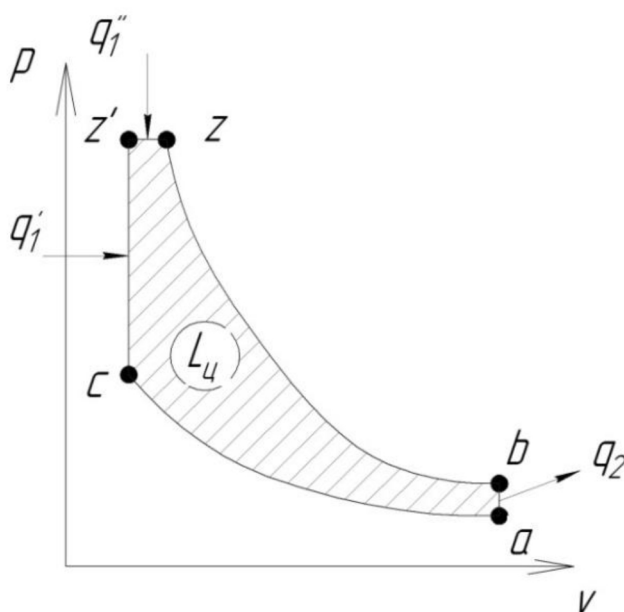


Рис. 10 Идеальный термодинамический цикл изменения параметров рабочего тела двигателя

**Химическая энергия** ( $E_{хим}$  - энергия связи атомов в молекулах веществ) преобразуется в тепловую в реакциях окисления (горения) углерода и водорода, входящих в состав молекул углеводородного топлива (жидкого или газообразного).

В соответствии с этим на ТС с поршневым двигателем необходим **запас энергоносителя** (топливный бак или газовый баллон). Под энергоносителем понимается только углеводородное топливо, поскольку в качестве второго

компонента, участвующего в реакциях окисления используется кислород воздуха. Следовательно, при использовании ТС в пределах атмосферы Земли запас окислителя на его борту можно не создавать, но в конструкции двигателя должна быть предусмотрена **впускная система** с соответствующим воздухозаборным устройством.

Таким образом, в принцип действия тепловых двигателей заложено двойное преобразование энергии  $E_{хим} \rightarrow q_1 \rightarrow L$ .

Первое из них осуществляется в процессе горения. По подводу тепла к рабочему телу различают двигатели **внешнего** и **внутреннего** сгорания.

В двигателях с внешним подводом тепла (паровые машины и двигатели Стирлинга) рабочее тело не участвует в процессе горения и камера, где осуществляется этот процесс (**камера сгорания**) располагается вне рабочих полостей двигателя. Иными словами, в преобразовании  $E_{хим} \rightarrow q_1$  участвуют одни вещества, а в преобразовании  $q_1 \rightarrow L$  другие.

В двигателях внутреннего сгорания (**ДВС**) рабочее тело, совершающее преобразование  $q_1 \rightarrow L$ , также участвует и в процессе горения ( $E_{хим} \rightarrow q_1$ ). Поршневые двигатели относятся к классу ДВС. Исторически так сложилось, что аббревиатура «ДВС» ассоциируется именно с поршневыми двигателями, поэтому далее в тексте понятия «поршневой двигатель» и ДВС отождествляются.

Как сказано выше, в ДВС камера сгорания является одной из рабочих полостей. Нагретое в этой полости рабочее тело реализует полученную энергию в процессе расширения. При расширении рабочее тело перемещает **поршень внутри цилиндра**, в результате поступательного движения которого двигателем совершается полезная работа. Отсюда следует, что важнейшим узлом ДВС является **цилиндро-поршневая группа (ЦПГ)**, включающая в себя и камеру сгорания (см. рис. 2).

Наиболее распространённые движители ТУ (колёса, гребной и воздушный винты) совершают вращательное движение, в которое в ДВС необходимо преобразовать поступательное движение поршня. Это осуществляется с помощью **кривошипно-шатунного механизма (КШМ)** (см. рис. 11 вид *a*). Кривошип выполняется в виде колена на валу двигателя, поэтому главный вал ДВС называется **коленчатым**. Особенностью КШМ является то, что каждые пол оборота коленчатого вала двигателя, кривошип и шатун располагаются на одной линии. В этот момент поршень достигает своего нижнего или верхнего крайних

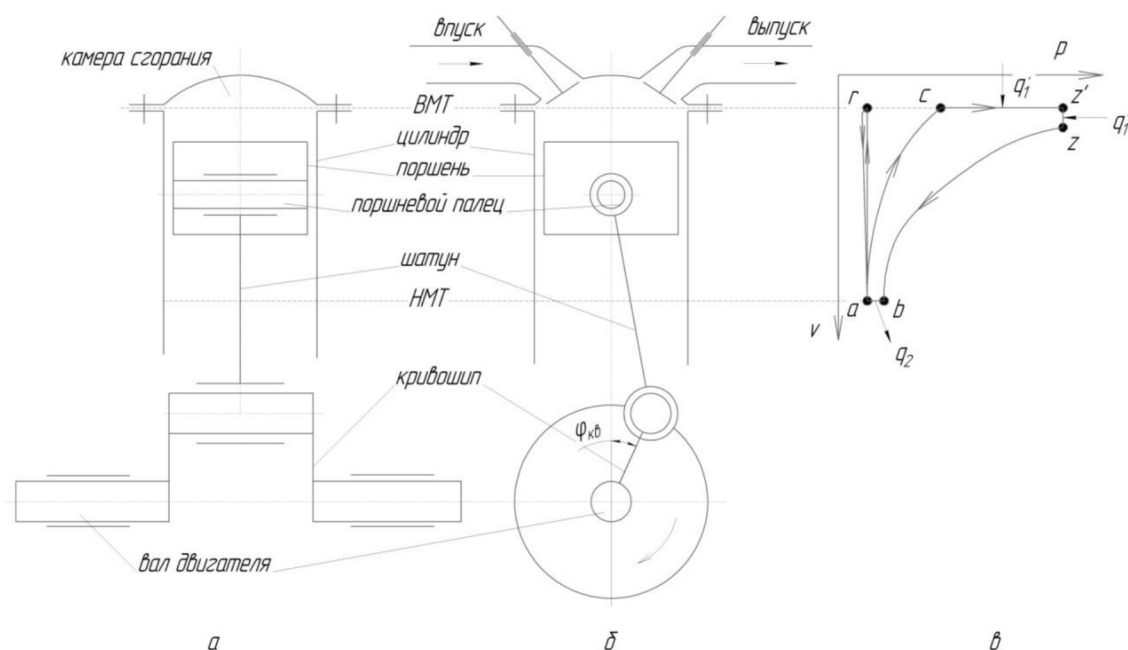


Рис. 11 Схема и принцип действия ЦПГ и КШМ

положений, после чего изменяет направление движения на противоположное. Эти положения носят названия **верхней и нижней мёртвых точек (ВМТ и НМТ)**. Очевидно, что конструкции ЦПГ и КШМ не позволяют самостоятельно вывести поршень из мёртвых точек. Эта задача решается установкой на коленчатый вал массивного маховика, обладающего значительной инерционностью или за счет работы расширения газов в соседних цилиндрах, если двигатель не одноцилиндровый.

Движение поршня между мёртвыми точками называется **тактом**. Двигатели, в которых весь цикл изменения параметров рабочего тела

совершается за четыре такта (за два оборота вала двигателя, как это изображено на рисунке 2 вид *в*), называются **четырёхтактными ДВС**. **Рабочий цикл четырехтактного карбюраторного двигателя** состоит из следующих тактов: впуска горючей смеси, сжатие рабочей смеси, рабочий ход, выпуск отработавших газов. **Рабочий цикл дизеля** отличается тем, что в нем происходит впуск и сжатие не рабочей смеси, а воздуха. Впрыск топлива в дизеле производится в конце такта сжатия.

Существуют также ДВС, в которых рабочий цикл выполняется за один оборот коленчатого вала (или за два такта). Такие двигатели называются **двухтактными**.

Идеальный термодинамический цикл (см. рис. 10) является замкнутым, поскольку при его повторении рабочее тело не меняется. В реальном двигателе за цикл (рисунок 2 вид *в*) рабочее тело изменяет свой состав в процессе горения ( $c - z$ ). Поэтому для осуществления следующего цикла продукты сгорания необходимо заменить на свежую рабочую смесь газов. Эта замена реализуется выбросом в атмосферу через **выпускную систему** отработавшего в процессе расширения ( $z - b$ ) газа и наполнение цилиндра через впускную систему новой порцией рабочего тела. Вместе с газом в процессе  $b - a$  выбрасывается и тепло  $q_2$ , что соответствует второму закону термодинамики.

В двухтактных двигателях смена рабочего тела происходит при завершении процесса расширения и в начале процесса сжатия ( $a - c$ ). В четырёхтактных ДВС (рисунок 2 вид *в*) окончательная замена рабочего тела происходит при выталкивании отработавших газов поршнем (процесс  $a - r$ ) и при всасывании новой порции в процессе  $r - a$ . Очевидно, что в процессах  $a - c$ ,  $c - z$  и  $z - b$  цилиндр должен быть герметичен, а в процессах  $b - a$ ,  $a - r$  и  $r - a$  разгерметизирован и с помощью **клапанов** сообщаться с впускной и выпускной системами. Процессы  $b - a$ ,  $a - r$  и  $r - a$  называются **процессами газообмена**, а необходимые для реализации этих процессов клапаны и приводящие их в движение детали носят название **газораспределительный механизм (ГРМ)**.

Для повышения качества процессов газообмена в реальных двигателях открытие и закрытие клапанов производят не строго в точках  $b$ ,  $a$ ,  $r$ , т.е. в моменты прихода поршня в ВМТ или НМТ, а с некоторым опережением или запаздыванием. Процесс горения не имеет своего такта, поскольку он происходит в камере сгорания, которая образуется в объёме цилиндра, когда поршень находится в районе ВМТ. Процесс горения начинается в процессе сжатия  $a - c$  и заканчивается в процессе расширения  $z - b$ . В результате все процессы не совпадают с тактами, а получаются больше или меньше чем величина  $\varphi_{\kappa\theta} = 180^\circ$ .

Использование в ДВС процесса горения для получения тепла накладывает заметный отпечаток на структуру этих двигателей. Для того чтобы химическая энергия в этом процессе за очень короткий промежуток времени полностью преобразовалась в тепловую, необходима подготовка качественной горючей смеси топлива с воздухом (топливовоздушной смеси-ТВС) и её чёткое воспламенение в заданный момент времени. Различают двигатели с внешним и внутренним смесеобразованием.

В ДВС с **внешним смесеобразованием** ТВС готовится вне камеры сгорания. Например, в **карбюраторе** (карбюраторная система питания) или в **впускном трубопроводе** и за ним (центральный и распределенный впрыск). В процессах  $r - a$  и  $a - c$  рабочим телом является ТВС. Как правило, в таких двигателях в качестве горючего используется бензин. Бензо-воздушная смесь с параметрами  $(p, \nu, T)$  в точке  $c$  не способна к самовоспламенению, поэтому для начала процесса горения в этих двигателях используется ее розжиг электрической искрой.

В ДВС с **внутренним смесеобразованием** ТВС образуется непосредственно в объёме камеры сгорания, заполненном сжатым воздухом, при впрыске в него топлива через **форсунку**.

Если производится впрыск бензина (двигатели с непосредственным впрыском), то по указанным выше причинам двигатель оснащается

электрической системой принудительного поджигания ТВС. Если впрыскивается дизельное топливо (тяжёлые керосины, солярка, мазут и т.д.), то в системе принудительного воспламенения нет необходимости, поскольку при температуре воздуха в конце процесса сжатия такие ТВС самовоспламеняются. Эти двигатели называются **ДВС с воспламенением от сжатия** или **дизелями**.

Перечисленных агрегатов и систем теоретически достаточно для работы ДВС, если под этим понимается только преобразование энергии. Однако нужно учитывать, что в реальном исполнении двигателя ряд его узлов испытывает высокую тепловую нагрузку, а подвижные детали – трение сопряжённых поверхностей. Для их нормального функционирования необходимы как минимум ещё две системы:

- **система охлаждения** (прежде всего ЦПГ), предназначенная для отвода в окружающую среду тепловых потоков, направленных от рабочего тела в стенки, ограничивающие его объём;
- **система смазки** трущихся деталей, предназначенная для снижения их износа и затрат энергии на перемещение друг относительно друга.

Таким образом, в состав поршневых ДВС входят:

- **ЦПГ и КШМ**, как основные узлы реализующие преобразование энергии
- $$E_{хим} \rightarrow q_1 \rightarrow L,$$

и вспомогательные системы, обеспечивающие эту реализацию:

- **ГРМ**;
- **система впуска**;
- **система питания**;
- **система охлаждения**;
- **система смазки**;
- **электрические и электронные системы ДВС (система управления, система зажигания и т.д.)**;



### **-системы выпуска.**

В общем случае принято считать, что все указанные выше элементы ДВС в современных двигателях можно свести к **кривошипно-шатунному и газораспределительным механизмам, системам охлаждения, смазки, питания и системе управления двигателем**. Система выпуска отработавших газов в этот список не входит по той причине, что без нее работа ДВС возможна. Поскольку ограничения по шуму предъявляются к автомобилю, то данную систему можно рассматривать как входящую в его состав. Ряд других систем в принятой классификации объединен, как например, ЦПГ введена в состав КШМ.

Состав систем, входящих в конкретный двигатель определяется его назначением, типом и использованными конструктивными решениями. Для эксплуатации тех или иных систем используются свои подходы, поэтому в конечном итоге эксплуатация ДВС определяется как заложенным в нем принципом работы, так и схемными решениями его реализации, а также устройством, для которого этот двигатель предназначен. Общие подходы к эксплуатации различных ДВС обычно формируются в пределах выделенных групп, на основе классификаций.

Существует достаточно много различных классификаций ДВС.

Так, ДВС можно классифицировать по следующим признакам:

- 1) **по способу осуществления рабочего процесса** – на двух- и четырехтактные, с наддувом и без него;
- 2) **по способу воспламенения** – с воспламенением от сжатия (дизели) и с принудительным зажиганием (искровые);
- 3) **по способу образования горючей смеси** – с внешним и внутренним смесеобразованием;
- 4) **по роду и составу применяемого топлива** – на бензиновые двигатели, двигатели на тяжелом топливе, двигатели на газообразных топливах, а также многотопливные;

- 5) **по способу охлаждения** – с жидкостным и воздушным охлаждением;
- 6) **по расположению цилиндров в блоке** – однорядные с вертикальным (рис. 3), горизонтальным и наклонным расположением; двухрядные (в том числе с V –образным (рис. 4) и оппозитным расположением), звездообразные (см. рис. 5);
- 7) **по числу цилиндров** - одно-, двух-, трёх-, четырёх-, шести-, восьми- и двенадцатицилиндровые и т.д.;
- 8) **по назначению и использованию** – стационарные, наземно-транспортные, судовые, авиационные и специальные;
- 9) **по степени сжатия** - высокого ( $\epsilon = 12...22$ ) и низкого ( $\epsilon = 4...10$ ) сжатия.

В данном курсе лекций в основном будут рассматриваться автомобильные ДВС (относящиеся к наземно-транспортным) и авиационные, примеры которых приведены на рис. 3... 5

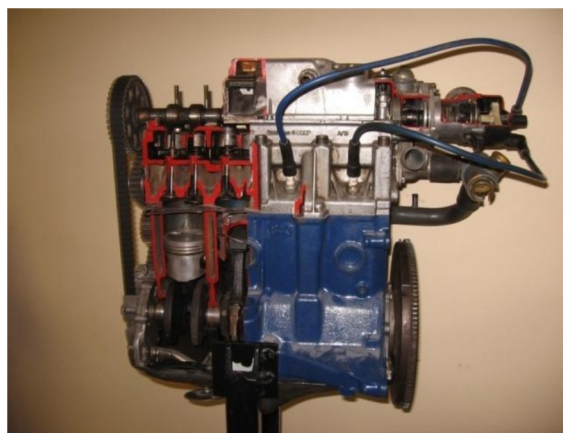


Рис. 12 ДВС легкового автомобиля с однорядным вертикальным расположением цилиндров



Рис. 13 ДВС грузового автомобиля с V-образным расположением цилиндров



Рис. 14 Авиационный ДВС со звездообразным расположением цилиндров

### ***Контрольные вопросы***

1. Силовая установка состоит из:

- а) Двигателя и его систем;
- б) Двигателя и трансмиссии;
- в) Двигателя и движителя (правильно).**

2. Силовая установка транспортного средства предназначена для:

а) Обеспечения работы двигателя;

**б) Для создания силы тяги транспортного средства (правильно);**

в) Для передачи крутящего момента создаваемого двигателем коробке переключения передач.

3. Что такое движитель?

**а) Устройство для создания силы тяги и перемещения транспортного средства (правильно);**

б) Трансмиссия;

в) Силовой агрегат

4. Что такое двигатель?

а) Устройство для перемещения транспортного средства;

**б) Устройство для превращения какого-либо вида энергии в механическую (правильно);**

в) Совокупность систем для сжигания топлива

5. ДВС использует при работе:

**а) Химическую энергию топлива (правильно);**

б) Крутящий момент;

в) Индикаторную мощность.

6. Что не является движителем?

а) Колеса;

б) Винт;

**в) Кривошипно-шатунный механизм (правильно).**

7. К основным системам ДВС не относится:

**а) Кривошипно-шатунный механизм (правильно);**

б) Система смазки;

в) Система охлаждения.

8. По способу осуществления рабочего процесса ДВС могут быть классифицированы на:

**а) Двухтактные, четырехтактные и с наддувом (правильно);**

б) Карбюраторные и с впрыском топлива;

в) С воздушной и жидкостной системой охлаждения.

9. ДВС имеет в своем составе:

**а) Два механизма (правильно);**

б) Три механизма;

в) Четыре механизма.

10. Газораспределительный механизм необходим для :

**а) Реализации процессов газообмена (правильно);**

б) Открытия клапанов;

в) Впуска воздуха в камеру сгорания.

11. По расположению цилиндров в блоке ДВС не бывают:

а) Рядными;

б) Оппозитными;

**в) Воздушного охлаждения (правильно).**

### ЛЕКЦИЯ 3 ИНДИКАТОРНЫЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

**Индикаторные показатели** ДВС характеризуют эффективность действительного рабочего цикла и рассчитываются по параметрам рабочего тела внутри цилиндра. **Эффективные показатели** измеряются и рассчитываются по величине крутящего момента и мощности на валу двигателя.

К индикаторным показателям относятся: индикаторная работа  $L_i$ , полученная в действительном цикле, среднее индикаторное давление  $P_i$ , индикаторная мощность  $N_i$ , индикаторный КПД  $\eta_i$  и индикаторный удельный расход топлива  $g_i$ .

**Индикаторная работа  $L_i$**  - это работа, полученная в цилиндре двигателя за один цикл в результате преобразования тепла, выделившегося при сгорании цикловой подачи топлива. Величина  $L_i$  выражается площадью диаграммы действительного цикла (см. рис. 16.3). В этой диаграмме не учитываются процессы впуска и выпуска, поскольку они представляют собой насосные ходы КШМ, которые происходят с затратой энергии и относятся к механическим потерям двигателя.

**Средним индикаторным давлением** называют такое условное, постоянное по величине давление  $P_i$ , которое, действуя на поршень, совершает работу за один его ход от ВМТ до НМТ, равную индикаторной работе газов за рабочий цикл (см. рис. 15). Несмотря на условность этого параметра, у него есть фундаментальный физический смысл: среднее индикаторное давление выражает собой величину работы, которая может быть получена в единице рабочего объема двигателя

$$P_i = \frac{L_i}{V_h} \left| \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} \right|,$$

т.е. характеризует собой степень совершенства организации рабочих процессов в двигателе.

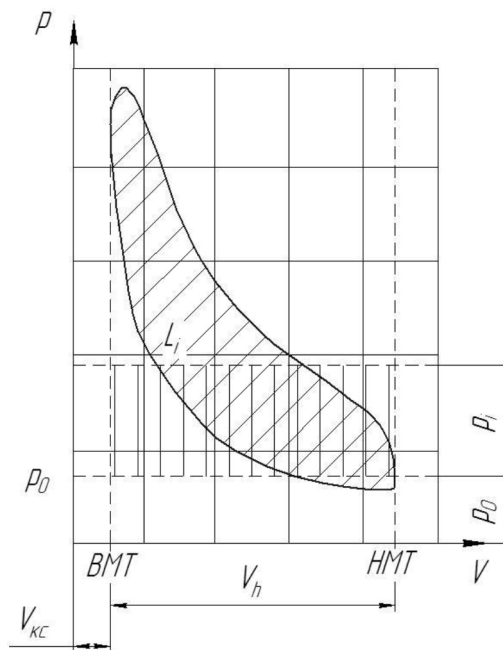


Рис. 15 Индикаторная диаграмма и среднее индикаторное давление

**Индикаторная мощность** равна суммарной работе действительных циклов во всех цилиндрах двигателя в единицу времени, т.е.

$$N_i = \frac{P_i \cdot V_h \cdot i \cdot n}{30 \cdot \tau},$$

где  $\tau$  – число тактов рабочего цикла (2 или 4), а  $i$  – количество цилиндров. Частота вращения вала двигателя в это выражение подставляется как  $n$  об/мин.

Совершенство расходования энергии в действительном цикле характеризуется **индикаторным КПД**, который равен отношению индикаторной работы к теплу, затраченному на получение этой работы:

$$\eta_i = \frac{L_i}{Q_1} = \frac{L_i}{H_u \cdot G_m}.$$

В отличие от термического КПД цикла,  $\eta_i$  учитывает не только отвод тепла к холодному телу (потери тепла, необходимые для реализации идеального цикла), но и потери, связанные с диссоциацией, неполнотой сгорания, отводом тепла в стенки цилиндра и утечкой рабочего тела (и вместе с ним энергии) через поршневые кольца.

Показателем, который характеризует топливную экономичность действительного цикла, является **удельный индикаторный расход топлива**, равный отношению часового расхода топлива  $G_T$  к индикаторной мощности

$$g_i = \frac{G_T}{N_i}.$$

Связь между удельным индикаторным расходом топлива и индикаторным КПД выражается формулой:

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

Эффективные параметры двигателя отличаются от индикаторных тем, что при передаче работы  $L_i$  и мощности  $N_i$ , полученных в цилиндре, через КШМ на вал двигателя часть их затрачивается на преодоление трения в сопряженных узлах двигателя, на привод вспомогательных агрегатов и насосные ходы четырёхтактного двигателя. Суммарно эти затраты называют **мощностью механических потерь  $N_M$** . Поэтому мощность, развиваемая на валу двигателя и отдаваемая силовой передаче машины, всегда меньше индикаторной. Эта мощность называется **эффективной мощностью двигателя**:

$$N_e = N_i - N_M.$$

**Крутящим моментом двигателя** называется произведение вращающей силы на коленчатом валу на плечо её действие (радиус кривошипа). Поскольку сила, действующая на коленчатый вал через шатун со стороны поршня в течение цикла переменна по величине и по знаку, в расчётах используют осреднённое по времени значение  $M_{кр}$ .

По аналогии со средним индикаторным давлением в перечень параметров, характеризующих работу поршневого двигателя, вводят **среднее эффективное давление  $P_e$** . Этим термином обозначают условное постоянное давление газов на поршень, работа которых, произведенная в



цилиндрах двигателя за один ход поршня, равна эффективной работе за цикл, т.е. работе, которая может быть измерена на валу двигателя.

Эффективная мощность и среднее эффективное давление связаны между собой следующей зависимостью:

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

Отношение эффективной мощности к индикаторной мощности называется **механическим КПД** двигателя.

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

Видимо, правильнее его было бы называть коэффициентом механических потерь в двигателе.

Механический КПД оценивает затраты мощности на преодоление трения в сопряженных узлах двигателя, на привод вспомогательных механизмов и совершение насосных ходов в четырёхтактном ДВС. К этим затратам относятся потери на трение: поршня о стенки цилиндра, в подшипниках коленчатого и распределительного валов, деталей механизма газораспределения, а также потери на привод вентилятора, масляного и водяного насосов, генератора, магнето, прерывателя-распределителя, компрессора, нагнетателя и т. д. Механический КПД зависит от конструктивных параметров двигателя, материала и качества обработки деталей, качества масла и смазочной системы, температурного режима, числа оборотов и нагрузки двигателя, количества и конструкции вспомогательных механизмов и ряда других факторов. С увеличением частоты вращения вала двигателя механический КПД снижается.

**Эффективный КПД** является показателем, характеризующим совершенство преобразования химической энергии ТВС в энергию, которую двигатель передаёт потребителю. Следовательно, эффективным КПД

называется отношение эффективной работы к расчетной теплоте сгорания топлива, затраченного на получение этой работы.

$$\eta_e = \frac{L_e}{H_u \cdot G_m},$$

или

$$\eta_e = \eta_M \cdot \eta_i.$$

Если индикаторный КПД учитывает только тепловые потери, то эффективный КПД учитывает и тепловые и механические потери. Повышение индикаторного КПД может быть достигнуто совершенствованием рабочего цикла двигателя, а улучшение механического КПД – снижением механических потерь. Эффективный КПД для одного и того же двигателя не остается постоянной величиной. Он изменяется в зависимости от режима работы, состава смеси, технического состояния двигателя и других факторов. Эффективный КПД при полной нагрузке изменяется в следующих пределах: двигатели с искровым зажиганием 0.22...0.35; дизеля 0.26–0.42.

Для оценки топливной экономичности ДВС используется **удельный эффективный расход топлива  $g_e$**

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

Связь между обоими показателями экономичности работы двигателей  $\eta_e$  и  $g_e$  выражается формулой:

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

Из неё следует, что удельный расход топлива тем меньше, чем выше эффективный КПД и теплотворность топлива.

Удельный расход топлива в бензиновых двигателях находится в пределах 280...330 г/кВт ч, в дизелях - 210...260 г/кВт ч.

Часовой расход топлива рассчитывается по формуле:

$$G_T = g_e \cdot N_e.$$

### ***3.1 Основные параметры поршневых двигателей***

Для оценки и сравнения поршневых двигателей, кроме конструктивных размеров, применяют ряд **термодинамических, динамических, технологических параметров.**

К термодинамическим параметрам относят: среднее эффективное давление, литровую и удельную поршневую мощности двигателя. Динамические параметры характеризуются средней скоростью поршня и коэффициентом форсировки. Технологическими параметрами являются удельная и литровая массы двигателя.

**Литровой мощностью двигателя** называется эффективная мощность двигателя, отнесенная к его полному рабочему объёму, измеряемому обычно в литрах:

$$N_{\text{л}} = \frac{N_e}{V_h \cdot i}$$

или

$$N_{\text{л}} = \frac{P_e \cdot n}{30 \cdot \tau}.$$

Как видно из данного выражения, повышение литровой мощности может быть достигнуто путем увеличения среднего эффективного давления, числа оборотов и переходом с четырёх на двухтактный цикл. Чем больше литровая мощность, тем меньше (при прочих равных условиях) габариты и вес двигателя. Литровая мощность дает возможность сравнивать степень использования рабочего объема двигателей, развивающих одинаковое число оборотов.

**Удельной поршневой мощностью** двигателя называется эффективная мощность двигателя, отнесенная в сумме площадей поршня двигателя:

$$N_y = \frac{N_e}{F \cdot i}.$$

Удельная поршневая мощность характеризует общую напряженность двигателя.

**Средняя скорость поршня** (м/с) определяется по формуле:

$$W_{cp} = \frac{S \cdot n}{30},$$

где  $S$  - ход поршня, мм,  $n$  об/мин.

**Коэффициент форсировки** называется произведение средней скорости поршня на среднее эффективное давление.

$$K_{\phi} = W_{cp} \cdot P_e.$$

Коэффициент форсировки показывает интенсивность работы двигателя как с точки зрения динамики его КШМ ( $W_{cp}$ ), так и с точки зрения напряжённости его рабочего процесса ( $P_e$ ).

**Сухой массой двигателя  $G_D$**  называют массу двигателя без воды и масла, без коробки передач, муфты сцепления, радиатора и без агрегатов, не имеющих непосредственного отношения к двигателю, но с вентилятором, генератором и воздухоочистителем.

**Литровой массой двигателя** называется сухую массу двигателя, приходящуюся на единицу литража:

$$G_L = \frac{G_D}{V_h \cdot i}.$$

Литровая масса дает возможность судить о степени совершенства конструкции и технологии изготовления двигателя.

**Удельной массой двигателя** называется сухая масса двигателя, приходящаяся на единицу эффективной мощности:

$$G_{\text{л}} = \frac{G_{\text{Д}}}{N_e}.$$

### 3.2 Характеристики ДВС

Работу двигателя в различных эксплуатационных условиях можно проанализировать на основе его характеристик. **Характеристиками двигателя называются зависимости его основных показателей (мощности, крутящего момента, удельного расхода топлива и др.) от режима работы, внешних условий и значения параметров настройки систем зажигания и подготовки ТВС.**

Режим работы двигателя характеризуется нагрузкой (средним эффективным давлением  $P_e$ ) и числом оборотов  $n$ . К внешним условиям, влияющим на работу ДВС, относятся давление и температура окружающей среды, которые изменяются в зависимости от времени года и высоты над уровнем моря. Параметром настройки системы зажигания является величина угла опережения зажигания (угла опережения впрыска топлива в дизелях), параметром настройки системы подготовки ТВС - её состав, который определяется коэффициентом избытка воздуха в смеси над теоретически необходимым его количеством для полного сгорания данного расхода топлива  $G_m$ :

$$\alpha = \frac{G_e}{G_m \cdot L_0}.$$

Здесь  $L_0$  - стехиометрический коэффициент, численно равный количеству воздуха, необходимому для полного сгорания 1 кг топлива.

Характеристики двигателя строятся на основании данных, получаемых при испытаниях двигателя в лабораторных условиях или в результате теоретических расчетов.

Характеристики, которые показывают зависимость основных показателей работы ДВС от частоты вращения его вала ( $n$ ) называются **скоростными**.

Если характеристика получена при полной подаче топлива (в дизелях) или ТВС (в ДСИЗ), то её называют **внешней скоростной характеристикой** двигателя. Характеристики, полученные при неполной (частичной) подаче топлива или ТВС, называют **частичными скоростными характеристиками**.

Для привода электрогенераторов, компрессоров, насосов и некоторых других потребителей основным требованием является постоянство частоты вращения вала двигателя вне зависимости от нагрузки на двигатель. Для анализа работы ДВС в таких условиях применяют **нагрузочную характеристику**, представляющую собой зависимость основных показателей работы двигателя от развиваемой мощности (или крутящего момента, или в самом общем случае от среднего эффективного давления  $P_e$ ) при постоянном числе оборотов коленчатого вала ( $n$ ).

Для авиационных ДВС актуальны **высотная, дроссельная (винтовая) и скоростная** характеристики.

**Высотная характеристика** является зависимостью основных показателей работы ДВС ( $N_e$ ,  $M_{кр}$ ,  $g_e$  и др.) от параметров внешней среды, т.е. давления  $P_n$  и температуры  $T_n$ . Известно, что с подъёмом на высоту плотность воздуха существенно уменьшается, из-за чего уменьшается масса свежего заряда цилиндров ДВС, что при постоянстве коэффициента  $\alpha$  ведёт к снижению цикловой подачи топлива, следовательно, и мощности двигателя. Компенсировать этот недостаток удаётся применением наддува, поэтому высотная характеристика авиационного поршневого двигателя показывает в основном эффективность наддува на той или иной высоте полёта самолёта.

**Дроссельная характеристика** показывает режимы работы двигателя, на которых соблюдается баланс мощности, развиваемой двигателем, и мощности необходимой потребителю. В авиационных поршневых двигателях внешней нагрузкой (потребителем мощности) является воздушный винт.

Мощность, необходимая для привода его в движение пропорциональна частоте вращения в третьей степени (та же зависимость действительна и для гребных винтов водных судов). Поэтому зависимость мощности авиационного двигателя от числа оборотов по этой характеристике представляет собой кубическую параболу, крутизна которой зависит от шага воздушного винта. Поскольку по этой параболе выполняется баланс мощностей, положенный в определение дроссельной характеристики, её для двигателей, работающих на винт, называют ***винтовой характеристикой ДВС***.

***Скоростной характеристикой*** авиационного поршневого двигателя называют зависимость основных показателей его работы (мощности, удельного расхода топлива и др.) от скорости полета на постоянной высоте. При экспериментальном получении такой характеристики неизменными поддерживают число оборотов вала и степень повышения давления компрессора наддува. Эта характеристика является специфичной именно для авиационных ДВС, поскольку диапазон изменения скоростей полёта самолётов (или вертолётów) существенно (в отличие от автомобилей) влияет на температуру и давление воздуха на входе в воздухозаборник двигателя.

Характеристики поршневого двигателя по параметрам настройки систем зажигания и подготовки ТВС можно назвать ***регулируемыми или настроечными***. Используя их, подбираются оптимальные значения углов опережения зажигания и составов ТВС при любых изменяющихся условиях эксплуатации ДВС.

### ***3.3 Основные сведения о характеристиках ДВС***

Мощность и топливная экономичность ДВС зависят от состава горючей смеси, на которой они работают. Эти зависимости и является содержанием ***регулируемой характеристики по составу смеси*** (см. рис. 2). Основным вывод, который можно сделать из анализа этой характеристики, состоит в том, что состав ТВС, обеспечивающий максимальную мощность двигателя,

и состав ТВС, при котором достигается минимум удельного расхода топлива, к сожалению не совпадают. Именно эта объективная закономерность заставляет изменять настройку систем подготовки ТВС и органов управления этим процессом в соответствии с режимом эксплуатации ДВС.

Для получения этой регулировочной характеристики испытывают двигатель, поддерживая неизменным число оборотов коленчатого вала, положение дроссельной заслонки и температуру в системе охлаждения. Во время испытания изменяют расход топлива при неизменном расходе воздуха, либо регулировкой проходного сечения главного топливного жиклёра карбюратора, либо, изменяя длительность срабатывания клапана форсунки, впрыскивающей топливо. Рациональная регулировка дозирующей системы выбирается на основании ряда регулировочных характеристик, полученных для конкретных эксплуатационных режимов.

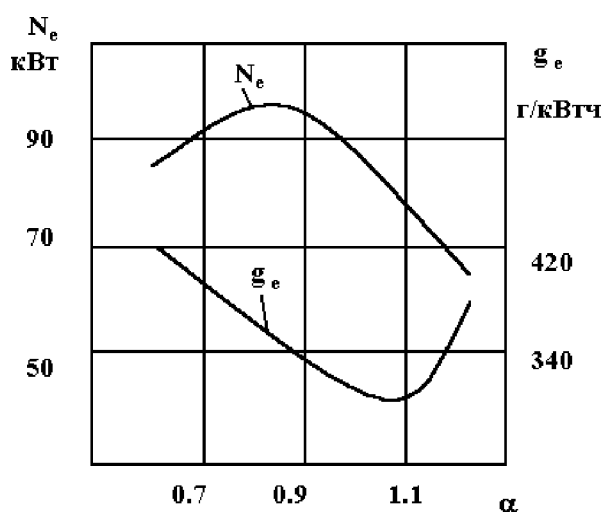


Рис. 16 Пример типичной регулировочной характеристики по составу смеси

**Регулировочная характеристика по опережению зажигания** показывает связь между эффективной мощностью, удельным расходом топлива и других показателей работы ДВС с углом опережения зажигания (рис. 17).



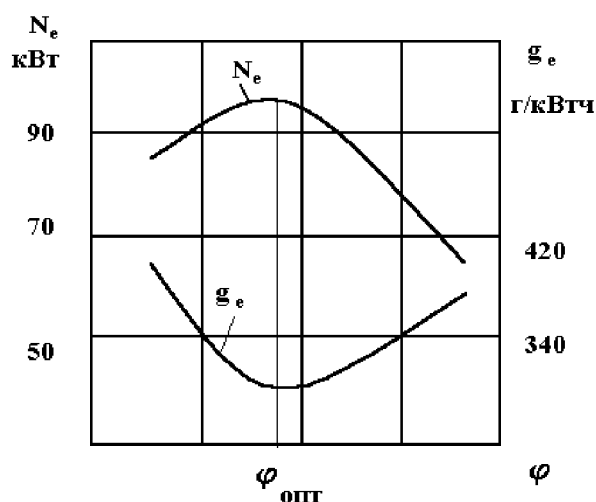


Рис. 17 Пример регулировочной характеристики по опережению зажигания

Такую характеристику можно получить, испытывая двигатель на лабораторном стенде. При этом, изменяя угол опережения зажигания, поддерживают постоянными состав ТВС и частоту вращения вала двигателя.

Анализ этой регулировочной характеристики показывает, что на каждом режиме работы двигателя существует оптимальная величина угла опережения зажигания, при которой двигатель развивает максимальную мощность и имеет при этом минимум удельного расхода топлива. С увеличением числа оборотов оптимальный угол опережения зажигания возрастает из-за того, что с ростом оборотов время, отводимое на процесс горения, сокращается.

Имея такую, экспериментально полученную характеристику, можно достаточно точно настроить систему управления зажиганием в зависимости от режимов работы двигателя.

**Скоростная характеристика** (см. рис. 18) строится по данным испытаний двигателя на тормозном стенде и является основным документом для оценки работы двигателя, как при проектировании, так и при его эксплуатации. По скоростным характеристикам производят сравнение двигателей различных моделей. Различают нормальные и нормально-эксплуатационные скоростные характеристики. Первая снимается на

двигателе, не оборудованном вентилятором, воздухоочистителем и глушителем, а иногда и генератором, а вторая - на двигателе, оборудованном полным комплектом всех вспомогательных приборов.

Скоростная характеристика двигателя может быть построена с некоторым приближением аналитическим путем по эмпирическим формулам С. Р. Лейдермана, если для ряда режимов по числу оборотов произведен тепловой расчет.

$$N_e = N_e^{\max} \cdot \left( A \cdot \frac{n}{n_e} + B \cdot \frac{n^2}{n_e^2} - C \cdot \frac{n^3}{n_e^3} \right);$$

$$g_e = g_e^{N_{\max}} \cdot (A_1) - B_1 \cdot \frac{n}{n_e} + C_1 \cdot \frac{n^2}{n_e^2},$$

где  $N_e^{\max}$  – максимальная мощность двигателя, кВт;

$g_e^{N_{\max}}$  – удельный расход топлива при максимальной мощности, кг/кВт· ч;

$n$  – выбранная частота вращения коленчатого вала, с<sup>-1</sup>;

$n_e$  – частота вращения, соответствующая максимальной мощности, с<sup>-1</sup>;

$A, B, C, A_1, B_1, C_1$  – постоянные коэффициенты, значения которых приведены в табл. 1.

Табл. 1 Постоянные коэффициенты формул Лейдермана

| Двигатели        | A    | B   | C | A <sub>1</sub> | B <sub>1</sub> | C <sub>1</sub> |
|------------------|------|-----|---|----------------|----------------|----------------|
| Бензиновые       | 1    | 1   | 1 | 1,2            | 1              | 0,8            |
| Дизельные:       |      |     |   |                |                |                |
| с                |      |     |   |                |                |                |
| непосредственным | 0,87 | 1,4 | 1 | 1,55           | 1,55           | 1              |
| впрыском         |      |     |   |                |                |                |
| предкамерные     | 0,6  | 1,4 | 1 | 1,2            | 1,2            | 1              |
| форкамерные      | 0,7  | 1,3 | 1 | 1,35           | 1,35           | 1              |

Характерными точками по оси частот вращения вала двигателя на скоростной характеристике являются:

$n_{\min}$  – минимальное число оборотов вала при устойчивой работе двигателя, которое может быть достигнуто при постепенном увеличении нагрузки;

$n_M$  – число оборотов, соответствующее максимальному крутящему моменту;

$n_g$  – число оборотов, соответствующее наибольшей экономичности;

$n_e$  – число оборотов, соответствующее максимальной мощности;

$n_x$  – максимальное число оборотов, которое может развивать двигатель вхолостую при полностью открытом дросселе или полной подаче топлива;

$n_p$  – максимальные или “разносные” обороты, которые двигатель может развивать без ограничителя частоты вращения при полностью открытом дросселе или полной подаче топлива на холостом ходу. Работа на таком режиме недопустима.

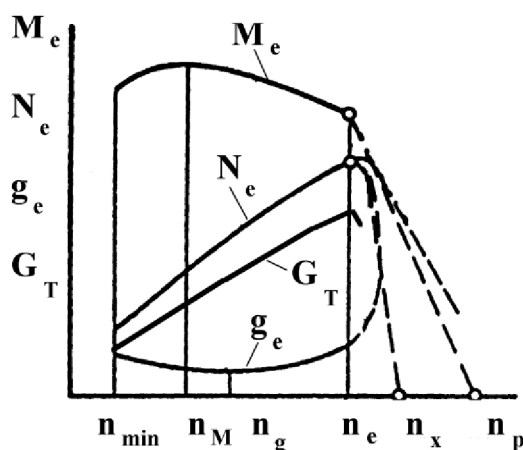


Рис. 18 Общий вид скоростной характеристики двигателя

Из скоростной характеристики следует, что максимальный крутящий момент выше крутящего момента, реализуемого при максимальной мощности двигателя. Отношение максимального крутящего момента при  $n_M$

к крутящему моменту при  $n_e$  называется **коэффициентом приспособляемости двигателя  $K$** :

$$K = \frac{M_{\max}}{M_{ne}}$$

Этот коэффициент является показателем, оценивающим динамические качества двигателя. Он характеризует способность двигателя преодолевать возможное увеличение внешней нагрузки при движении машины без перехода на низшую передачу. Коэффициент приспособляемости у карбюраторных двигателей составляет 1.1...1.4, у дизельных 1.05...1.15.

Число оборотов  $n_M$ , соответствующее максимальному крутящему моменту, обычно равно  $(0.4...0.7) n_e$ .

**Внешняя скоростная характеристика** - это характеристика, полученная при полностью открытом дросселе (карбюраторные и газовые двигатели) или при полной подаче топлива (дизельные двигатели) и соответствующая максимальной мощности двигателя на каждом скоростном режиме. Любая точка на кривой внешней характеристики характеризует полную нагрузку двигателя (рис. 5).

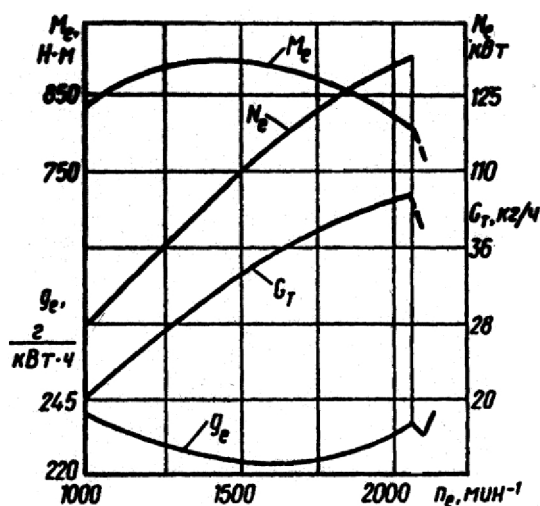


Рис. 5 Пример внешней скоростной характеристики

Внешнюю скоростную характеристику двигателя получают экспериментально при полной подаче топлива или ТВС, установившемся

тепловом режиме и оптимальном угле опережения зажигания для каждого скоростного режима. Таким образом, каждая кривая на графическом изображении этой характеристики представляет собой внешнюю границу области параметров, которые могут быть достигнуты данным двигателем. Например, линия  $N_e$  ограничивает область по мощности, которую может развить данный двигатель при балансе на каждом режиме величины подачи топлива (или ТВС) и внешней нагрузки.

Очевидно, что нагружая двигатель внешним сопротивлением, но при неполной подаче топлива, мы будем получать **частичные скоростные характеристики**. Любая точка на кривых частичных характеристик характеризует неполные нагрузки. На рис. 19 показаны внешняя скоростная характеристика (сплошные линии) и частичная скоростная характеристика (пунктир).

Максимумы кривых эффективных мощностей и крутящих моментов по мере снижения подачи топлива сдвигаются в сторону меньших чисел оборотов.

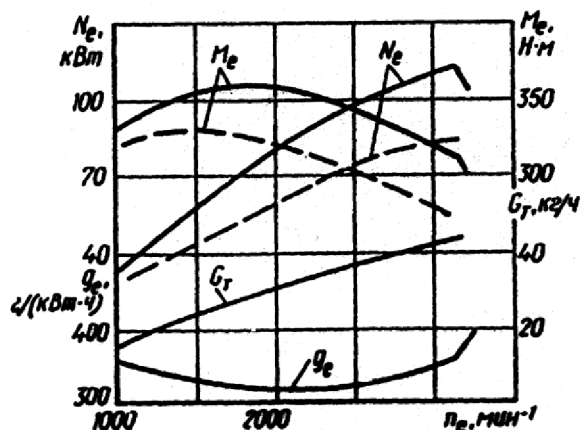


Рис. 19 Внешняя и частичная скоростные характеристики ДВС

Как было показано выше, коэффициент приспособляемости бензиновых двигателей (точнее, двигателей с количественным регулированием режима) выше, чем тот же коэффициент дизелей (двигателей с качественным регулированием режима работы). Это означает, что дизель более

чувствителен к изменению внешней нагрузки. В дизеле внезапное изменение внешней нагрузки до нуля на максимальных оборотах приводит к существенно большему увеличению частоты вращения вала двигателя в сравнении с бензиновым ДВС. Так же неустойчивы и режимы холостого хода: в дизелях внезапное увеличение внешней нагрузки на этом режиме может привести к остановке двигателя, что, конечно, недопустимо.

Таким образом, при регулировании мощности дизеля и приведении ее в соответствие с внешней нагрузкой необходимо изменять цикловую подачу топлива, для чего в систему питания двигателей включают автоматические регуляторы частоты вращения вала, действующие, по крайней мере, на двух скоростных режимах: предельно больших и предельно малых оборотах. Это, так называемые, **двухрежимные регуляторы**.

Для многих случаев применения дизелей: при наличии вспомогательных агрегатов на автомобиле (подъёмник самосвала, автопогрузчик и др.), на тракторах, экскаваторах и дорожных машинах, более эффективен регулятор, который обеспечивает устойчивую работу двигателя при внезапном изменении внешней нагрузки на любом режиме. Такие регуляторы получили название **всережимных**.

Наличие и действие регуляторов накладывает свой отпечаток и на вид скоростных характеристик. На их графическом изображении (в зависимости от числа оборотов вала) кроме обычного вида изменения параметров появляются регуляторные ветви, показывающие срабатывание регулятора в случае не плавного, а внезапного (скачкообразного) изменения внешней нагрузки (например, ковш экскаватора в мягком грунте наткнулся на камень).

Иногда такого рода информацию представляют в виде зависимости параметров, характеризующих работу двигателя, от его мощности или развиваемого крутящего момента. Такой вид графического представления называют ***регуляторной характеристикой*** дизеля. Пример этой характеристики представлен на рис. 20.

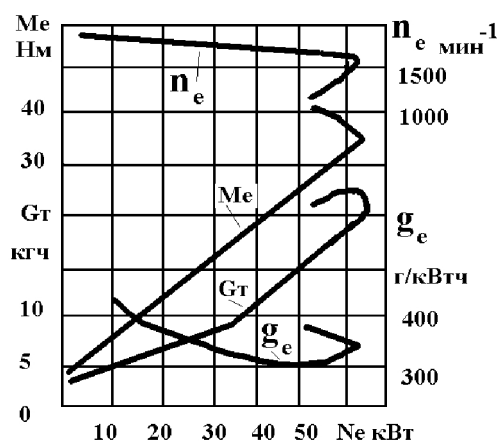


Рис. 20 Регуляторная характеристика дизеля

**Нагрузочную характеристику ДВС** получают при следующих условиях: при изменении внешней нагрузки регулированием подачи топлива (или ТВС в бензиновых двигателях) поддерживают постоянное число оборотов коленчатого вала, установившийся температурный режим двигателя и оптимальный для каждого режима угол опережения зажигания (бензиновые двигатели) или угол опережения впрыска (дизеля).

На рис. 21 приведены нагрузочные характеристики двигателей ЗИЛ-131 и ЯМЗ-236. Нагрузочные характеристики позволяют оценить топливную экономичность двигателя при различных режимах его работы (по оборотам вала и нагрузке).

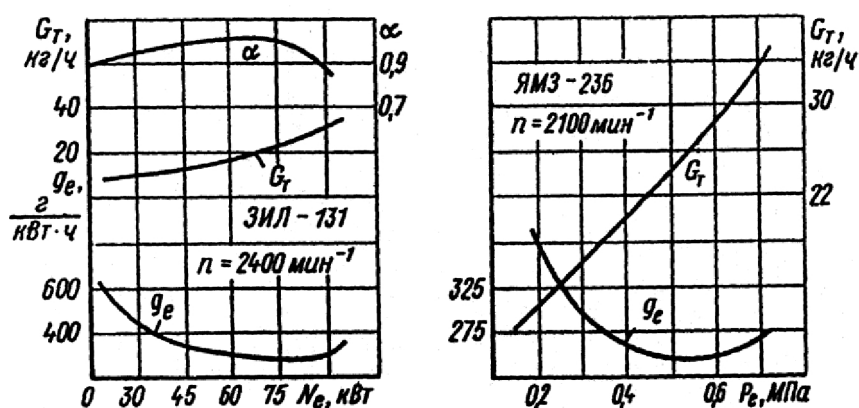


Рис. 21 Нагрузочные характеристики

С точки зрения эксплуатации ДВС, эффективные показатели играют следующую роль.

Для исправного двигателя они должны соответствовать базовым величинам, заявленным заводом-изготовителем в техническом руководстве или инструкции по эксплуатации. По мере возникновения различных неисправностей или износа двигателя его показатели начинают отличаться от базовых. Обычно изготовителем регламентируются величины допустимых рассогласований этих величин, при превышении которых необходимо проведение ремонта двигателя или регулировка его систем.

Параметры ДВС позволяют сопоставлять между собой работу различных двигателей с точки зрения ресурса, эффективности использования энергии и т.д, а также оценивать степень пригодности данного двигателя для конкретной силовой установки, в том числе и по совершенству конструкции.

Характеристики ДВС позволяют проанализировать работу двигателя в различных эксплуатационных условиях, что позволяет, например, для автомобиля подобрать рациональные ездовые режимы по мощности или экономичности, оптимальные регулировки систем двигателя и т.д. Характеристики ДВС часто напрямую связаны с характеристиками транспортного средства и являются для них определяющими. Так, например, максимальная скорость автомобиля определяется мощностью его двигателя, динамические характеристики - крутящим моментом, а пробег до заправки - удельным расходом топлива.

### ***Контрольные вопросы***

1. К индикаторным показателям ДВС не относятся:
  - а) Среднее индикторное давление;
  - б) Индикаторная мощность;



**в) Индикаторный момент (правильно).**

2. Эффективная мощность:

а) Больше индикаторной мощности;

б) Равна индикаторной мощности;

**в) Меньше индикаторной мощности (правильно).**

3. Механическим КПД двигателя называется:

а) КПД механической части ДВС;

**б) Отношение эффективной мощности к индикаторной (правильно);**

в) Отношение мощности двигателя к энергии введенного в него топлива.

4. Среднее индикаторное давление представляет собой:

а) Среднее давление в цилиндре при сгорании топлива;

**б) Величину работы, которая может быть получена в единице рабочего объема двигателя (правильно);**

в) Давление соответствующее максимальному крутящему моменту.

5. Удельный расход топлива ДВС не зависит от:

а) Эффективного КПД;

б) Теплотворной способности топлива;

**в) Хода поршня (правильно).**

6. Крутящий момент двигателя представляет собой:

а) Максимальное произведение вращающей силы на коленчатом валу на плечо её действие;

б) Силу, действующую на коленчатый вал через шатун со стороны поршня в течение цикла;

**в) Осреднённое по времени значение произведение сил давления рабочих газов на поршень, на плечо приложения (правильно).**

7. Скоростная характеристика ДВС может быть построена по эмпирической формуле:

**а) Лейдермана (правильно);**

б) Колчина-Демидова

в) Отто.

8. Динамические качества двигателя могут оцениваться:

**а) Коэффициентом приспособляемости (правильно);**

б) Скоростью автомобиля;

в) Мощностью двигателя.

9. Максимальные возможности двигателя могут оцениваться:

**а) Внешней скоростной характеристикой двигателя (правильно);**

б) Оборотами, развиваемыми двигателем;

в) Расходом топлива.

10. Частичных скоростных характеристик двигателя существует:

**а) Бесконечное множество (правильно);**

б) около ста;

в) одна для каждого значения оборотов коленчатого вала.

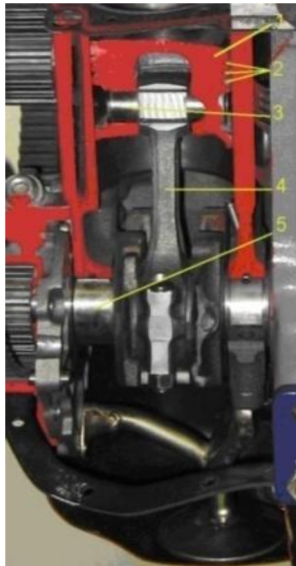
## ЛЕКЦИЯ 4 ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДВС. ИХ НЕИСПРАВНОСТИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) состоят из следующих основных частей: кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов, систем питания, охлаждения, смазки, зажигания.

Рассмотрим механизмы ДВС.

### *4.1 Кривошипно-шатунный механизм*

служит для восприятия давления газов, возникающего в цилиндре при сгорании топлива и преобразования прямолинейного возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение коленчатого вала с последующей передачей крутящего момента на трансмиссию. Он состоит из подвижных (рис. 22) и неподвижных деталей. К первым относятся поршни с пальцами и кольцами, шатуны, коленчатый вал с подшипниками и маховик, ко вторым - блок-картер и головка блока (см. рис. 23).

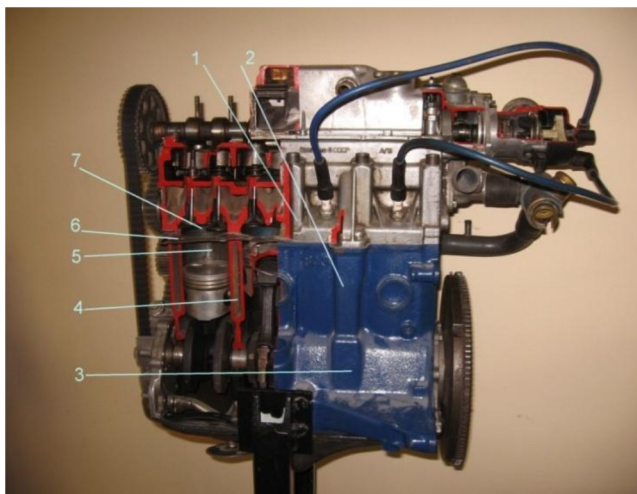


1-поршень; 2-поршневые кольца; 3-поршневой палец; 4-шатун; 5-коленчатый вал.

Рис. 22 Подвижные части кривошипно-шатунного механизма (внизу - поддон двигателя):

Возникающие при работе ДВС неисправности кривошипно-шатунного механизма относятся к наиболее серьезным неисправностям ДВС, так как их устранение, как правило, предполагает проведение капитального ремонта

двигателя и является трудоемким и затратным. Причинами данных неисправностей являются: выработка двигателем установленного ресурса



1-головка блока цилиндров; 2-блок цилиндров; 3-верхняя часть картера; 4-рубашка охлаждения; 5-цилиндр; 6-прокладка головки цилиндра; 7-камера сгорания.

Рис. 23 Блок и головка блока цилиндров (справа на двигателе расположен маховик, относящийся к подвижным частям КШМ):

двигателя и нарушение правил его эксплуатации двигателя. Примерами последнего являются использование некачественных масел, охлаждающей жидкости, нарушение сроков технического обслуживания и т.д.

Как правило, неисправности кривошипно-шатунного механизма (КШМ) могут быть диагностированы по внешним признакам (наличие стуков, дымление, увеличение расхода масла и т.д.), а также с помощью таких приборов как компрессометр и стетоскоп.

#### ***4.2 Основные неисправности кривошипно-шатунного механизма***

К основным неисправностям КШМ относят:

1. Износ коренных и шатунных подшипников.
2. Износ поршней, поршневых колец и цилиндров
3. Износ поршневых пальцев
4. Поломка и залегание поршневых колец

При износе поршневых пальцев, шатунных и коренных подшипников в двигатели возникают **стуки**. Для их устранения необходимо заменить

изношенные детали. Из-за износа поршневых колец, поршней и цилиндров, залегания поршневых колец в канавках поршней возникает **повышенная дымность выхлопных газов**, как правило, сопровождающаяся **падением давления в конце такта сжатия**. Для устранения неисправности также следует заменить изношенные детали. При попадании жидкости в цилиндр возможен **гидроудар**, ведущий к повреждению таких элементов КШМ как поршень и шатун. Для ликвидации его последствий проводится замена поврежденных деталей.

#### ***4.3 Эксплуатация кривошипно-шатунного механизма***

Правильная эксплуатация кривошипно-шатунного механизма включает в себя ряд составляющих:

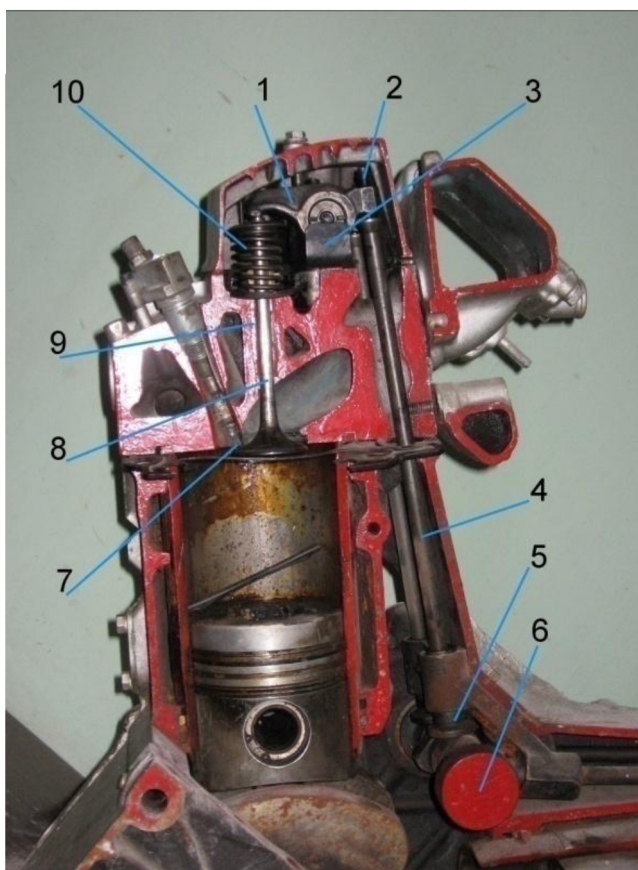
- необходимо соблюдать все требования завода-изготовителя двигателя относительно своевременной замене масел, жидкостей, фильтров и других расходных материалов.
- нужно помнить, что двигатель требует периодических регулировок, которые должны выполняться в сроки, указанные в рекомендациях по техническому обслуживанию конкретного автомобиля (двигателя).
- необходимо избегать перегрузок автомобиля, которые уменьшают ресурс двигателя.
- следует использовать те ездовые режимы, которые не уменьшают ресурс двигателя (не стоит двигаться длительное время с максимальной скоростью, часто разгоняться и тормозить, начинать движение на непрогретом двигателе и т.д.)
- при появлении тревожных симптомов в работе двигателя (загорание контрольно-аварийных ламп, появление стуков и шумов и т.д.) следует

прекратить движения до выяснения причин возникших проблем и их устранения.

#### ***4.4 Газораспределительный механизм (ГРМ)***

предназначен для своевременного впуска в цилиндры двигателя свежего заряда рабочего тела и выпуска отработавших газов. Газораспределение может быть **клапанным**, шайбовым, **золотниковым** (бесклапанным), щелевым и **комбинированным**. В современных автомобильных ДВС наиболее часто встречаются клапанное газораспределение.

Газораспределительный механизм состоит из: распределительного вала, толкателей, штанг, коромысел и клапанов с пружинами, регулировочных винтов (см. рис. 24)



- 1 – коромысло; 2 – регулировочный винт; 3 – стойка оси коромысел; 4 – штанга;  
5 – толкатель; 6 – распределительный вал; 7 – седло клапана; 8 – клапан;  
9 – направляющая втулка; 10 – пружина.

Рис. 24 Газораспределительный механизм.

Некоторые из перечисленных деталей в зависимости от конструкции двигателя могут отсутствовать. Так, например в ГРМ двигателя с верхним расположением распределительного вала отсутствуют штанги и толкатели (рис.25)

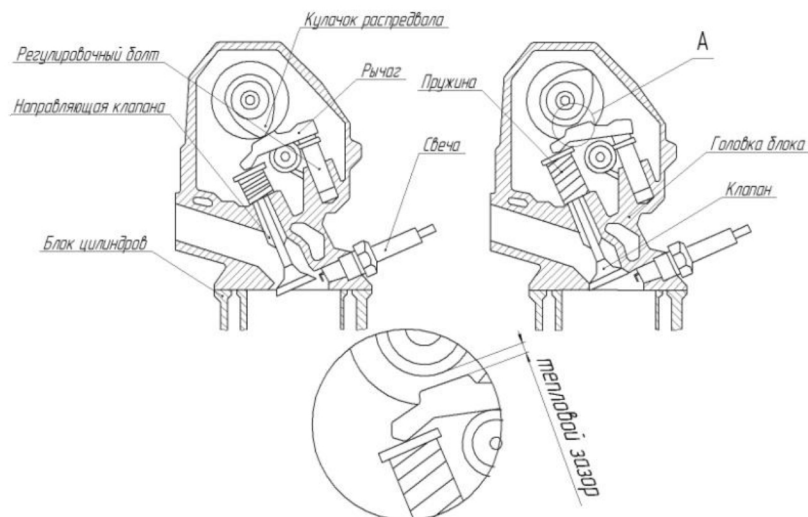


Рис. 25 Схема работы газораспределительного механизма двигателя с верхним расположением распределительного вала

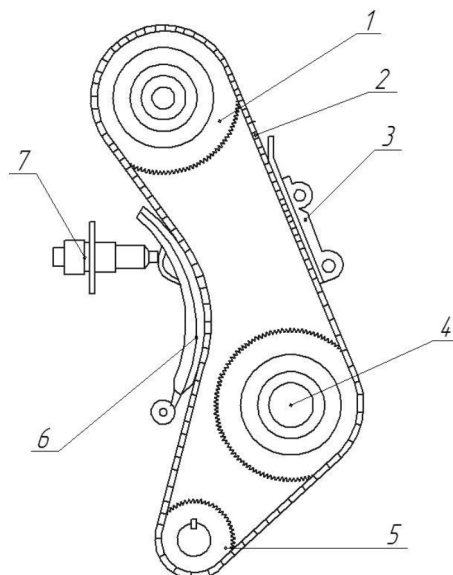
В ГРМ двигателя ВАЗ-21083 вместо регулировочных винтов используются регулировочные шайбы (рис.26).



1 – кулачки распределительного вала, 2 – регулировочные шайбы

Рис. 26 Внешний вид и устройство газораспределительного механизма двигателя ВАЗ-21083

Распределительный вал двигателей с впрыском топлива может иметь механизмы для обеспечения изменения фаз газораспределения. Количество кулачков на распределительном валу соответствует количеству впускных и выпускных клапанов двигателя. В настоящее время распространены ДВС с двумя и четырьмя клапанами на цилиндр, причем у последних, как правило, используется два распределительных вала. Распределительный вал приводится во вращение от коленчатого вала двигателя с помощью цепной передачи или зубчатого ремня (см. рис. 27 и 28). Натяжение цепи привода регулируется специальным натяжителем, а ремня - натяжным роликом. Распределительный вал может находиться в блоке цилиндров (такое расположение называют нижним) или в головке блока цилиндров (верхнее расположение). При нижнем расположении распределительного вала усилие с кулачков на клапаны передают специальные толкатели, штанги и коромысла, если же вал расположен в головке блока, то обходятся без штанг. В этом случае усилие могут передавать рычаги или толкатели (или и те и другие вместе), находящиеся в непосредственном контакте с распределительным валом.

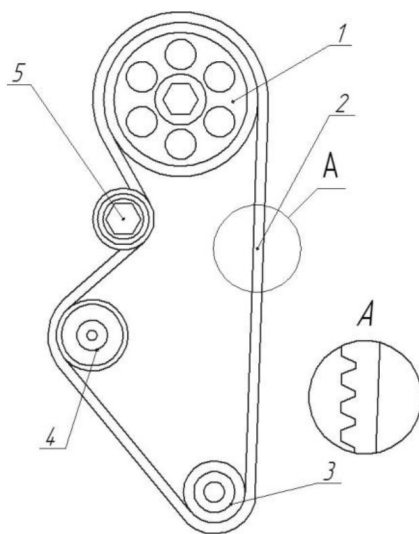


- 1 - звездочка привода распределительного вала; 2 - цепь; 3 - успокоитель цепи;  
4 - звездочка привода масляного насоса; 5 - звездочка коленчатого вала; 6 - башмак  
натяжителя цепи; 7 - натяжитель цепи



Рис. 27 Регулировка натяжения цепи привода ГРМ на автомобиле ВАЗ-2106

В зависимости от места установки клапанов относительно цилиндров газораспределительные механизмы могут быть с нижним и верхним расположением клапанов. Клапанный механизм работает в очень жестких условиях, а его детали испытывают высокие ударные, инерционные нагрузки и термические напряжения (особенно выпускных клапанов, из-за неравномерности прогрева клапанов и высокой температуры обтекающего их потока).



1 - зубчатый шкив распределительного вала; 2 - зубчатый ремень; 3 - зубчатый шкив коленчатого вала; 4 - зубчатый шкив водяного насоса; 5 - натяжной ролик

Рис. 28 Регулировка натяжения ремня привода ГРМ на автомобиле ВАЗ-2108

Кромки тарелок клапанов и седла подвергаются эрозии, а распределительные валы, толкатели и направляющие втулки – воздействию трения, что способствует повышенному износу ГРМ. В результате износа зазоры на клапанах газораспределительного механизма неизбежно увеличиваются, поэтому время от времени приходится их регулировать. Регулировка зазоров клапанного механизма может осуществляться регулировочными болтами или регулировочными шайбами. Первые использовались на отечественном двигателе ВАЗ-2101, а последние, например, применяются на двигателях ВАЗ-2108, ВАЗ-2111.

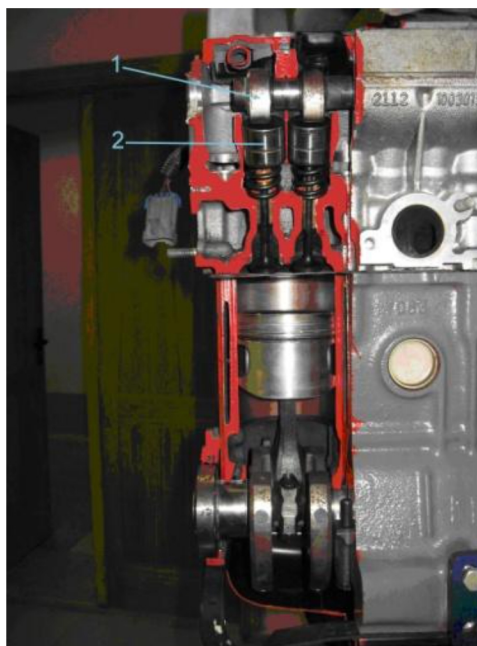
При использовании шайб, толщина новой шайбы рассчитывается по формуле:  $H = B + A - C$ , где:  $A$  - измеренный зазор, мм;  $B$  - толщина старой шайбы, мм;  $C$  - номинальный зазор, мм;  $H$  - толщина новой шайбы, мм. Зазоры клапанов измеряются на остывшем двигателе с помощью щупов, вставляемых между вершиной стержня клапана и коромыслом. Так как впускные и выпускные клапаны нагреваются до разных температур (температура выпускных значительно выше), то и зазоры у них имеют разную величину. У двигателей большинства легковых автомобилей величина зазора на впускных клапанах составляет 0,15...0,25 мм, а на выпускных – 0,2...0,35 мм и более.

Современные двигатели (ВАЗ-2112 и его модификации) не нуждаются в регулировке зазоров клапанного механизма, которая выполняется автоматически с помощью устройств, носящих название гидрокомпенсаторов.

#### ***4.5 Гидрокомпенсатор***

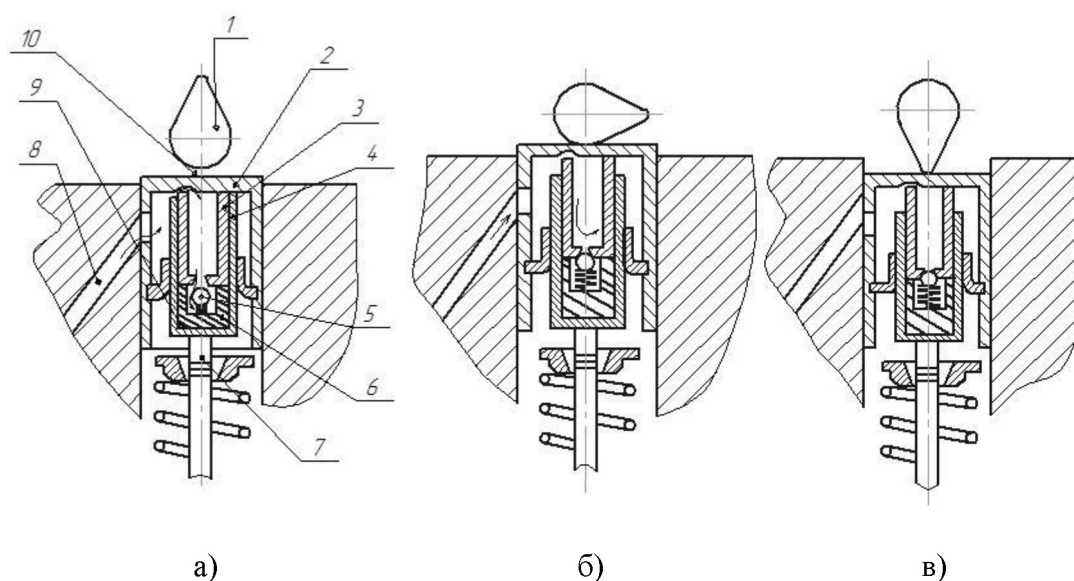
(рис. 29, 30) представляет собой корпус с расположенной внутри подвижной плунжерной парой. Она состоит из втулки и подпружиненного плунжера с шариковым клапаном. Корпусом плунжера может служить цилиндрический толкатель или элементы рычагов привода клапанов.

Плунжерная пара - самая ответственная часть гидрокомпенсатора. Зазор между втулкой и плунжером составляет всего 5-8 микрон, что позволяет свободно перемещаться деталям друг относительно друга и сохранять герметичность соединения. В нижней части плунжера расположено отверстие, закрываемое обратным шариковым клапаном, а между втулкой и плунжером установлена пружина. Когда кулачок распределительного вала располагается тыльной стороной к толкателю, между корпусом и распределительным валом остается тепловой зазор.



1 – распределительный вал, 2 – гидрокомпенсатор

Рис. 29 ГРМ двигателя ВАЗ-2112 с гидрокомпенсаторами:



1 – распределительный вал с кулачками; 2 – корпус; 3 – плунжер; 4 – втулка плунжера; 5 – шариковый клапан; 6 – пружина плунжера; 7 – обратный шток клапана; 8 – масляный канал системы смазки двигателя; 9 – полость под плунжером; 10 – тепловой зазор

Рис. 30 Принцип работы гидрокомпенсатора:

Масло поступает в плунжер через масляный канал из системы смазки (рис. 30а). Одновременно плунжер под действием пружины поднимается и выбирает зазор, а в полость под ним через шариковый клапан из системы смазки двигателя также подается масло. При повороте вала кулачок начинает

давить на толкатель и перемещает его вниз (рис.30б). Обратный клапан в этот момент закрывается, и плунжерная пара начинает работать как жесткий элемент, т.к. жидкость (масло) несжимаема, передавая усилие на клапан (рис. 30в). Утечка масла в зазор между плунжером и втулкой компенсируется его поступлением из системы смазки.

Таким образом, суть работы гидрокомпенсаторов заключается в автоматическом изменении длины компенсатора на величину теплового зазора. При этом детали гидрокомпенсатора перемещаются друг относительно друга за счет встроенной в него пружины и за счет подачи масла под давлением из системы смазки.

Гидрокомпенсаторы существенно упрощают обслуживание двигателя, но выдвигают повышенные требования к качеству масла и его очистке.

Конструкция системы газораспределения - одна из наиболее быстро изменяющихся в ДВС. Этапы ее развития можно представить следующим образом:

- изменение положения распределительного вала в двигателе с «нижнего» на «верхнее», когда вал стал размещаться в головке цилиндров;
- увеличение количества клапанов, приходящихся на цилиндр;
- изменение фаз газораспределения в соответствии с режимом работы двигателя.

#### ***4.6 Система изменения фаз газораспределения***

(принятое международное название **Variable Valve Timing, VVT**) предназначена для регулирования параметров работы газораспределительного механизма в зависимости от режимов работы двигателя. Применение данной системы обеспечивает повышение мощности и крутящего момента двигателя, топливную экономичность и снижение вредных выбросов. Регулируемыми параметрами работы газораспределительного механизма являются:

- момент открытия (закрытия) клапанов;
- продолжительность открытия клапанов;
- высота подъема клапанов.

В совокупности эти параметры составляют **фазы газораспределения** – продолжительность тактов впуска и выпуска, выраженную углом поворота коленчатого вала относительно «мертвых» точек. В обычных двигателях фаза газораспределения определяется формой кулачка распределительного вала, воздействующего на клапан. На разных режимах работы двигателя требуется разная величина фаз газораспределения. Так, при низких оборотах двигателя фазы газораспределения должны иметь минимальную продолжительность («узкие» фазы). На высоких оборотах, наоборот, фазы газораспределения должны быть максимально широкими и при этом обеспечивать перекрытие тактов впуска и выпуска (естественную рециркуляцию отработавших газов). Между тем, кулачок распределительного вала имеет определенную форму и не может одновременно обеспечить узкие и широкие фазы газораспределения. Решение этой проблемы предлагается в виде использования системы изменения фаз газораспределения. В зависимости от регулируемых параметров работы газораспределительного механизма различают следующие **способы изменяемых фаз газораспределения**:

- поворот распределительного вала;
- применение кулачков с разным профилем;
- изменение высоты подъема клапанов.

Наиболее распространенными являются системы изменения фаз газораспределения, использующие поворот распределительного вала:

- **VANOS (Double VANOS)** от **BMW**;
- **VVT-i** от **Toyota**;
- **VVT** от **Volkswagen**;
- **VTC, I** от **Honda**;

- CVVT от Hyundai, Kia, Volvo, General Motors;
- VCP от Renault.

Принцип работы данных систем основан на повороте распределительного вала по ходу вращения, чем достигается раннее открытие клапанов по сравнению с исходным положением. Система изменения фаз газораспределения данного типа включает гидроуправляемую муфту и систему управления. **Гидроуправляемая муфта** непосредственно осуществляет поворот распределительного вала и состоит из ротора, соединенного с распределительным валом, и корпуса, в роли которого выступает шкив привода распределительного вала. Между ротором и корпусом имеются полости, к которым по каналам подводится моторное масло. Заполнение той или иной полости маслом обеспечивает поворот ротора относительно корпуса и соответственно поворот распределительного вала на определенный угол. Обычно гидроуправляемая муфта устанавливается на распределительный вал впускных клапанов. Для расширения параметров регулирования в отдельных конструкциях муфты устанавливаются на впускной и выпускной распределительные валы. **Система управления** обеспечивает автоматическое регулирование работы гидроуправляемой муфты. Конструктивно она включает входные датчики, электронный блок управления и исполнительные устройства. В работе системы управления используются **датчики Холла**, оценивающие положения распределительных валов, а также другие датчики системы управления двигателем: частоты вращения коленчатого вала, температуры охлаждающей жидкости, расходомер воздуха. Блок управления двигателем принимает сигналы от датчиков и формирует управляющие воздействия на исполнительное устройство – **электрогидравлический распределитель**. Распределитель представляет собой электромагнитный клапан и обеспечивает подвод масла к гидроуправляемой муфте и отвод от нее в зависимости от режимов работы двигателя. Другая разновидность системы

изменения фаз газораспределения основана на применении кулачков различной формы, чем достигается ступенчатое изменение продолжительности открытия и высоты подъема клапанов. Такими системами являются:

- **VTEC** от **Honda**;
- **VVTL-i** от **Toyota**;
- **MIVEC** от **Mitsubishi**;
- **Valvelift System** от **Audi**.

Наиболее совершенная с конструктивной точки зрения разновидность системы изменения фаз газораспределения основана на регулировании высоты подъема клапанов. Данная система позволяет **отказаться от дроссельной заслонки** на большинстве режимов работы двигателя. Пионером в этой области является компания **BMW** со своей системой **Valvetronic**. Аналогичный принцип использован и в системах:

- **Valvematic** от **Toyota**;
- **VEL** от **Nissan**;
- **MultiAir** от **Fiat**;
- **VTI** от **Peugeot**.

В системе Valvetronic изменение высоты подъема клапанов обеспечивает сложная кинематическая схема, в которой традиционная связь кулачок-коромысло-клапан дополнена эксцентриковым валом и промежуточным рычагом. Эксцентриковый вал получает вращение от электродвигателя через червячную передачу. Вращение эксцентрикового вала изменяет положение промежуточного вала, который, в свою очередь, задает определенное движение коромысла и соответствующее ему перемещение клапана. Изменение высоты подъема клапана происходит непрерывно в зависимости от режимов работы двигателя. Система Valvetronic устанавливается только на впускные клапаны.

Неисправности газораспределительного механизма обычно обусловлены теми же причинами, что и неисправности КШМ. Для их диагностики обычно необходимо снять крышку клапанного механизма и выполнить визуальный осмотр.

#### ***4.7 Неисправности газораспределительного механизма***

Основными неисправностями ГРМ являются:

- уменьшенные или увеличенные тепловые зазоры клапанов;
- износ кулачков, шкива и подшипников распределительного вала;
- зависание клапана;
- отказ гидрокомпенсатора;
- износ, удлинение или обрыв цепи (ремня) привода ГРМ;
- износ маслоотражательных колпачков, стержней и направляющих втулок клапанов и нагар на клапанах.

При увеличенных зазорах в клапанном механизме, износе подшипников или кулачков распределительного вала, рычагов, а также из-за поломки пружин клапанов в ГРМ появляются **стуки**. Такие неисправности ликвидируются заменой изношенных деталей или регулировкой тепловых зазоров. При износе шарнирных соединений звеньев цепи и ее удлинении, либо (в случае использования в приводе ремня) вытягивании ремня появляется **повышенный шум или свист** в механизме привода распределительного вала. В этом случае проводят замену цепи, ремня, либо регулировку их натяжения. При нарушении теплового зазора в клапанном механизме, неплотном закрытии клапанов или износе маслоотражательных колпачков у ДВС появляется **потеря мощности и повышенная дымность выхлопных газов**. В этом случае необходимо отрегулировать зазоры, заменить изношенные колпачки, выполнить «притирку» клапанов. . При



обрыве ремня или цепи привода ГРМ происходит **отказ в работе ДВС**. На некоторых типах двигателей (ВАЗ-2112) такая поломка зачастую сопровождается поломкой поршней и клапанов (см. рис. 31). Производится замена привода и ремонт поврежденных элементов.



Рис. 31 Последствия обрыва ремня ГРМ (разрушение поршня и обрыв клапана)

#### ***4.8 Эксплуатация газораспределительного механизма двигателя***

При эксплуатации ДВС следует помнить, что тепловой зазор между рычагом и кулачком распределительного вала должен соответствовать величине, указанной в инструкции по эксплуатации данной модели двигателя. Если тепловой зазор будет меньше рекомендуемого, то клапан будет открываться на большую величину, и не будет вовремя закрываться. В результате рабочий цикл двигателя нарушится, а температура клапана может превысить допустимую для его материала. При большом зазоре между рычагом и кулачком распределительного вала клапан не сможет открываться полностью, что ухудшит процесс заполнения цилиндров горючей смесью или выпуск отработавших газов. Все это в конечном итоге скажется как на работоспособности ДВС, так и на его характеристиках. Поэтому одним из самых важных условий эксплуатации ГРМ является контроль и соблюдение необходимых тепловых зазоров. Вторым важным условием является контроль состояния цепи или ремня привода ГРМ и их натяжения. В противном случае возможен обрыв изношенного ремня при движении, что может повлечь за собой повреждение элементов не только ГРМ, но и КШМ. Третьим условием грамотной эксплуатации ГРМ является применение

соответствующих качественных масел. Для двигателей с верхним расположением распределительного вала использование масел, не рекомендованных заводом-изготовителем автомобиля, или не соответствующих сезону способствует повреждению ГРМ. Использование масел с пониженной вязкостью или загрязненных нарушает нормальную работу гидрокомпенсаторов. В четвертых, некачественные топлива нарушают нормальное функционирование ДВС за счет, например отложений смол на стержне клапана, что может способствовать его заклиниванию.

### ***Контрольные вопросы***

1. Кривошипно-шатунный механизм служит для:

**а) Восприятия давления газов, возникающего в цилиндре при сгорании топлива и преобразования прямолинейного возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение коленчатого вала (правильно);**

б) Создания силы тяги;

в) Создания мощности двигателя.

2. Неисправности кривошипно-шатунного механизма:

а) Несущественны;

**б) Относятся к наиболее серьезным неисправностям ДВС (правильно);**

в) Редко встречаются в эксплуатации.

3. Неисправности кривошипно-шатунного механизма могут проявляться в виде:

а) Отказов электронного оборудования;

**б) Стуков и повышенного дымления (правильно);**

в) Гидроудара.

4. Ездовые режимы:

**а) Влияют на состояние кривошипно-шатунного механизма (правильно);**

б) Не влияют на возникновение неисправностей кривошипно-шатунного механизма;

в) Полностью определяют состояние кривошипно-шатунного механизма.

5. К неисправностям кривошипно-шатунного механизма не относят:

а) Износ поршневых колец;

б) Износ шатунных подшипников;

**в) Повреждения распределительного вала (правильно).**

6. При эксплуатации кривошипно-шатунного механизма необходимо:

**а) Использовать качественные ГСМ, избегать чрезмерных нагрузок на двигатель и своевременно выполнять техническое обслуживание (правильно);**

б) Следить за состоянием системы выпуска;

в) Использовать только бензин «Премиум» и синтетические масла.

7. В двигателях ВАЗ применяется механизм газораспределения:

а) Золотникового типа;

**б) Клапанный (правильно);**

в) Щелевого типа.

8. Распределительный вал двигателей ВАЗ приводится во вращение от коленчатого вала двигателя:

**а) С помощью цепной передачи или зубчатого ремня (правильно);**

б) Шестеренчатым механизмом;

в) Клиноременной передачей.

9. Для регулировки зазоров клапанного механизма двигателей ВАЗ могут использоваться:

**а) Регулировочные винты, шайбы или гидрокомпенсаторы (правильно);**

б) Только регулировочные шайбы и гидрокомпенсаторы;

в) Регулировочные винты или гидрокомпенсаторы.

10. Безотказная работа гидрокомпенсатора при эксплуатации ДВС обеспечивается:

**а) Использованием качественного масла (правильно);**

б) Регулировкой зазоров клапанного механизма;

в) Своевременным ремонтом газораспределительного механизма.

## **ЛЕКЦИЯ 5 ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ. ИХ НЕИСПРАВНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ**

**Система охлаждения двигателя** должна обеспечивать оптимальное тепловое состояние поршневого двигателя при любых эксплуатационных условиях и режимах работы. Это выполняется за счет отвода излишков тепла от теплонапряжённых деталей.

При проектировании систем охлаждения тепловых двигателей любого назначения исходной расчетной величиной является количество тепла, отводимого в систему охлаждения в процессе его работы, которое вычисляется по формулам:

– для бензиновых двигателей:

$$Q_{охл} = c \cdot i \cdot D^{1+2m} \cdot n^m (H_u - \Delta H_u) / (\alpha \cdot H_u);$$

– для дизелей:

$$Q_{охл} = c \cdot i \cdot D^{1+2m} \cdot n^m (1/\alpha),$$

где

$c$  – коэффициент пропорциональности;

$i$  – число цилиндров двигателя;

$D$  – диаметр цилиндра, см;

$n$  – частота вращения коленчатого вала, об/мин;

$m$  – показатель степени, изменяющийся в диапазоне 0,6...0,7 для четырехтактных двигателей;

$H_u$  – теплотворная способность топлива, Дж/кг;

$\Delta H_u$  – тепло, не использованное из-за неполноты сгорания топлива, Дж/кг;

$\alpha$  – коэффициент избытка воздуха.

Количество тепла  $Q_{охл}$  является основной величиной, по которой определяются основные геометрические размеры теплоотводящих агрегатов (радиаторов), оребрения цилиндров двигателей с воздушным охлаждением, а также характеристики насосов охлаждающей жидкости и вентиляторов.

В настоящее время в зависимости от рабочего тела, используемого для охлаждения поршневого двигателя, системы охлаждения делят на:

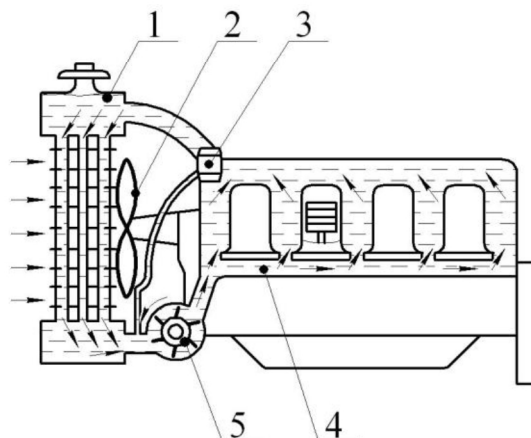
а) **системы жидкостного охлаждения;**

б) **системы воздушного охлаждения;**

в) **системы жидкостно-воздушного охлаждения.**

Для сравнения и объективной оценки различных систем охлаждения (рис. 1, 2, 3) автомобильных двигателей рассмотрим эксплуатационные преимущества и недостатки каждой из них.

**Система жидкостного охлаждения** показана на рис. 32.



1 – радиатор; 2 – вентилятор; 3 – термостат; 4 – распределительная труба;  
5 – жидкостный насос

Рис. 32 Схема системы жидкостного охлаждения ДВС

#### **Преимущества системы жидкостного охлаждения:**

- а) более легкий пуск двигателя при отрицательных температурах окружающего воздуха;
- б) эффективное охлаждение наиболее нагретых мест двигателя при любой тепловой нагрузке (теплопроводность охлаждающей жидкости в 20-25 раз выше теплопроводности воздуха);
- в) более равномерное охлаждение деталей двигателя;
- г) стабильное тепловое состояние двигателя при изменении режима его работы (высокая теплопроводность и большая теплоемкость жидкости);
- д) возможность использования тепловой энергии, отводимой в систему охлаждения;
- е) меньший шум при работе двигателя;
- ж) меньшая склонность к детонации бензиновых двигателей;

- з) возможность изоляции воздушного тракта системы охлаждения;
- и) меньшие затраты мощности на охлаждение (2,0...9,0%) по сравнению с воздушным охлаждением (3,5...13%).

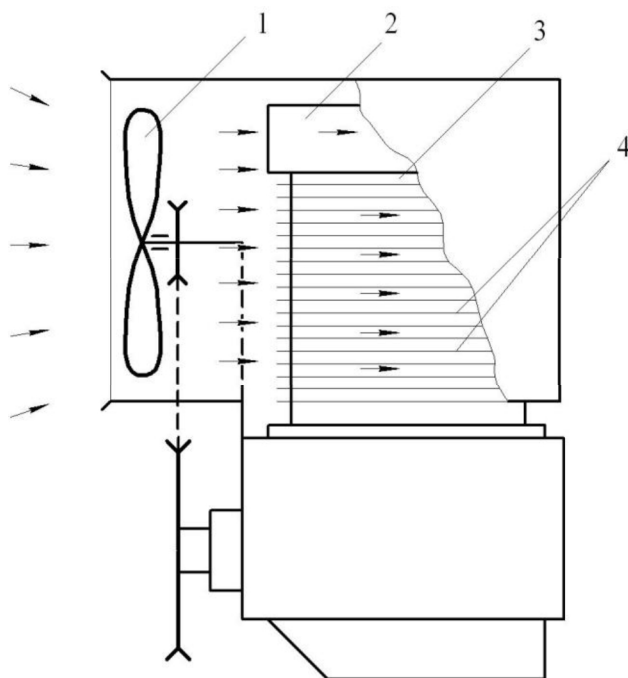
**Недостатки системы жидкостного охлаждения:**

- а) длительный прогрев двигателя после пуска, повышающий износ цилиндров;
- б) относительно низкие температуры стенок цилиндров, способствующие повышенному коррозионному износу, особенно при работе на сернистых топливах;
- г) повышенная трудоемкость обслуживания и ремонта;
- д) большая чувствительность к изменению температуры окружающего воздуха.

Преимущества и недостатки жидкостного охлаждения делают его применение возможным и наиболее целесообразным:

- а) для форсированных бензиновых и дизельных двигателей;
- б) для двигателей с рабочим объемом цилиндра более 2,5 л.

**Система воздушного охлаждения** показана на рис. 33.



1 – вентилятор; 2 – оребренная головка цилиндра; 3 – охлаждающие ребра цилиндра;  
4 – дефлектор

Рис. 33 Схема системы воздушного охлаждения двигателя

#### **Преимущества воздушного охлаждения:**

- а) быстрый прогрев двигателя после пуска и, следовательно, меньший износ цилиндров;
- б) меньшая чувствительность к изменению температуры окружающего воздуха (более высокие температуры цилиндров);
- в) пониженная чувствительность к топливу, содержащему серу;
- г) надежная работа при отрицательных температурах окружающего воздуха;
- д) простота обслуживания и меньшая стоимость (отсутствуют трубопроводы, радиатор и жидкостный насос).

#### **Недостатки воздушного охлаждения:**

- а) уменьшение среднего эффективного давления и литровой мощности из-за худшего массового наполнения цилиндров двигателя свежим зарядом;



б) повышенный расход энергии на привод вентилятора воздушного охлаждения;

в) более трудный пуск двигателя при отрицательных температурах окружающего воздуха;

г) повышенная шумность работы, вызываемая работой быстроходного вентилятора;

д) возможность засорения межреберных каналов головок и цилиндров;

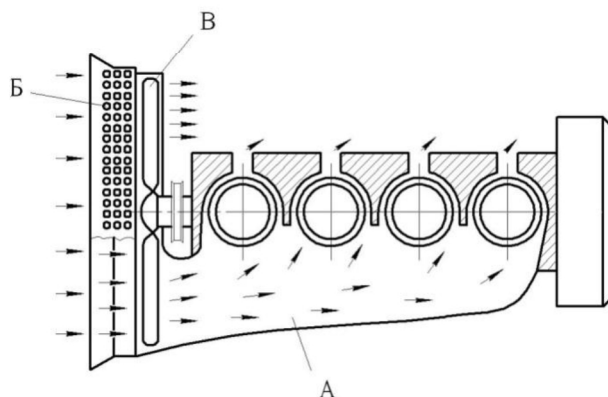
е) потребность в масляном радиаторе даже в тех случаях, когда при жидкостном охлаждении он не требуется.

Преимущества и недостатки воздушного охлаждения двигателей делают его применение наиболее целесообразным для:

а) бензиновых и дизельных двигателей с рабочим объемом цилиндра до 1 л независимо от степени форсирования;

б) бензиновых и дизельных двигателей с рабочим объемом цилиндра 1...2,5 л и невысокой литровой мощностью.

**Система жидкостно-воздушного охлаждения** показана на рис. 34.



А – воздушный тракт охлаждения цилиндров; Б – радиатор жидкостного охлаждения головок цилиндров; В – вентилятор

Рис. 34 Схема системы воздушно-жидкостного охлаждения

Она представляет собой схему охлаждения теплонапряженных деталей двигателя одновременно двумя способами – жидкостью и воздухом. Например, стенки цилиндров ребренные и обдуваются потоком набегающего воздуха или от вентилятора, а головки цилиндров омываются потоком жидкого охладителя (вода, антифриз). Такая схема, как показали исследования, имеет следующие **достоинства**:

- улучшаются массовые характеристики ДВС за счет снижения веса блока цилиндров, радиатора и охлаждающей жидкости;
- снижается износ цилиндров в 2...3 раза в период прогрева двигателя;
- снижается расход топлива на 3...5%;
- возрастает мощность двигателя до 8% за счет уменьшения механических потерь, улучшения характеристик рабочего процесса и др.

#### **Недостатки:**

- ухудшение условий массового наполнения цилиндров рабочей смесью;
- опасность возникновения детонации в бензиновых двигателях;
- ухудшение среднего эффективного давления цикла и литровой мощности;

- сложность применения для ДВС наземного транспорта.

В настоящее время такая система охлаждения получила применение только для ДВС авиационного назначения (малая авиация). Исследования таких систем охлаждения продолжаются.

### ***5.1 Классификация систем жидкостного охлаждения. Их устройство и работа***

В настоящее время подавляющее большинство автомобильных двигателей имеет жидкостные системы охлаждения. Классификация систем жидкостного охлаждения проводится по способу организации движения охлаждающей жидкости. Различают системы:

а) **принудительного охлаждения**, в которых циркуляция жидкости обеспечивается специальным насосом, расположенном на двигателе (или в силовой установке);

б) **охлаждение под давлением жидкости**, подводимой в силовую установку из внешнего трубопровода;

в) **термосифонные**, в которых циркуляция жидкости происходит в результате разности гравитационных сил, возникающих в жидкости различной плотности – нагретой около поверхности деталей двигателя и охлажденной в охладителе;

г) **комбинированные**.

Принудительные системы охлаждения могут быть подразделены в свою очередь на **замкнутые** и **незамкнутые** (проточные).

В замкнутых системах охлаждающая жидкость после отвода тепла от горячей части двигателя проходит через теплорассеивающее устройство - радиатор, в котором она охлаждается, и вновь насосом нагнетается к охлаждаемым частям двигателя.

Незамкнутые водяные системы просты по конструкции, особенно, если вода к ним подводится из водопроводной сети, но обладают большим

недостатком: возможное попадание в систему взвешенных и растворенных примесей.

Большинство современных поршневых двигателей имеет закрытые системы жидкостного охлаждения с принудительной циркуляцией охлаждающей жидкости. В данных системах внутреннее пространство периодически сообщается с окружающей средой при помощи специальных клапанов. В этих системах повышена температура кипения охлаждающей жидкости, уменьшено её выкипание и образование накипи. Жидкость подается в двигатель насосом под давлением. Интенсивность циркуляции жидкости зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя. Открытые системы охлаждения, сообщающиеся с атмосферой, в настоящее время на автомобильных двигателях не применяются.

### ***5.2 Система жидкостного охлаждения двигателя***

Подробная принципиальная схема жидкостной системы охлаждения показана на рис. 35.

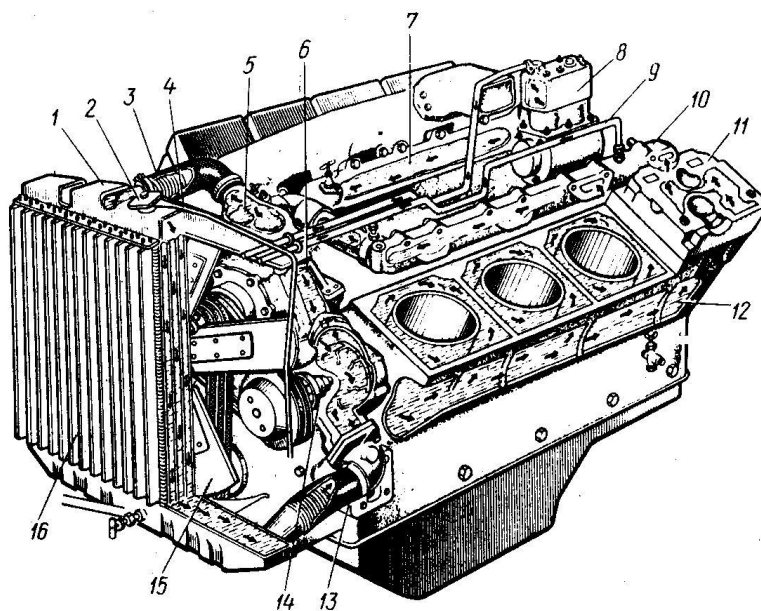


Рис. 35 Система жидкостного охлаждения автомобильного двигателя

Система охлаждения двигателя состоит из радиатора 1 с заливной горловиной 2 и пароотводящей трубкой 4, вентилятора 15, термостата 5, насоса с крыльчаткой 14, отводящего 13 и подводящего 3 патрубков, ремней

привода вентилятора и насоса, датчика температуры охлаждающей жидкости, сливных кранов. Вокруг цилиндров двигателя и головки блока имеется пространство с двойными стенками - рубашка 12 (жидкостная полость), где циркулирует охлаждающая жидкость. Для выравнивания давления в системе предусмотрены дренажные трубки или каналы 9. Таким образом, она постоянно циркулирует по замкнутому кругу **двигатель – радиатор – двигатель**.

Рубашка двигателя состоит из рубашки блока цилиндров 12 и рубашки головки блока 11, соединенных между собой отверстиями в прокладке между ними. Крыльчатка центробежного насоса и вентилятор приводятся в движение клиновидным ремнем. При вращении крыльчатки насоса охлаждающая жидкость нагнетается в распределительную трубку, расположенную в головке блока. Через отверстия в трубке жидкость направляется к патрубкам выпускных клапанов, благодаря чему охлаждаются наиболее нагретые части головки блока и цилиндров.

Жидкость может циркулировать по малому кругу, минуя радиатор 1 (непрогретый двигатель, термостат закрыт) или по большому кругу, поступая в радиатор (прогретый двигатель, термостат открыт). Нагретая жидкость через термостат поступает в верхний отводящий патрубок 7, 10. Если термостат закрыт, то по перепускному каналу (байпасу) 6 жидкость сразу поступает к насосу. При открытом термостате жидкость проходит в верхний бачок радиатора, охлаждается, протекая по трубкам, и поступает в нижний бачок радиатора. Охлажденная жидкость через патрубки подводится к насосу. Для дополнительного регулирования теплового режима двигателя используются жалюзи 16.

На основе приведенного описания системы жидкостного охлаждения можно выделить ее основные компоненты:

- **полости** вокруг каждого из цилиндров (или группы цилиндров) и в головках цилиндров (или в головках группы цилиндров), образованные

наружными стенками, заполненные охлаждающей жидкостью;

- **охладитель жидкости (радиатор);**

- **нагнетающий жидкостный насос;**

- **вентилятор;**

- **соединительные трубопроводы жидкости;**

- **уплотнительные элементы (прокладки),** обеспечивающие герметичность системы;

- **устройства, соединяющие систему охлаждения с атмосферой** (открытая система) или, наоборот, разъединяющие полости системы и атмосферу (закрытая система);

- **термостаты,** предупреждающие переохлаждение цилиндров и их головок на режимах малых нагрузок и ускоряющие прогрев двигателя после пуска;

- **паровые и паровоздушные клапаны,** устанавливаемые в закрытых системах охлаждения автомобильных и тракторных двигателей, как правило, в наивысшей точке (на радиаторе). При интенсивном парообразовании в полостях охлаждения паровой клапан открывается, предупреждая чрезмерное повышение давления в системе охлаждения. Эти клапаны регулируются на перепад давлений 0,005...0,050 МПа и 0,005...0,010 МПа (паровоздушный)

- **расширительные, или компенсационные бачки,** устанавливаемые в самой верхней точке системы охлаждения. При расширении нагревающейся жидкости она пополняет систему жидкостью, не допуская тем самым попадания воздуха в систему. В бачке скапливается и удаляется воздух (пузырьки) и пар жидкости, который отводится в атмосферу. Через бачок систему подпитывают охлаждающей жидкостью, ввиду ее неизбежного испарения и убыли из системы;

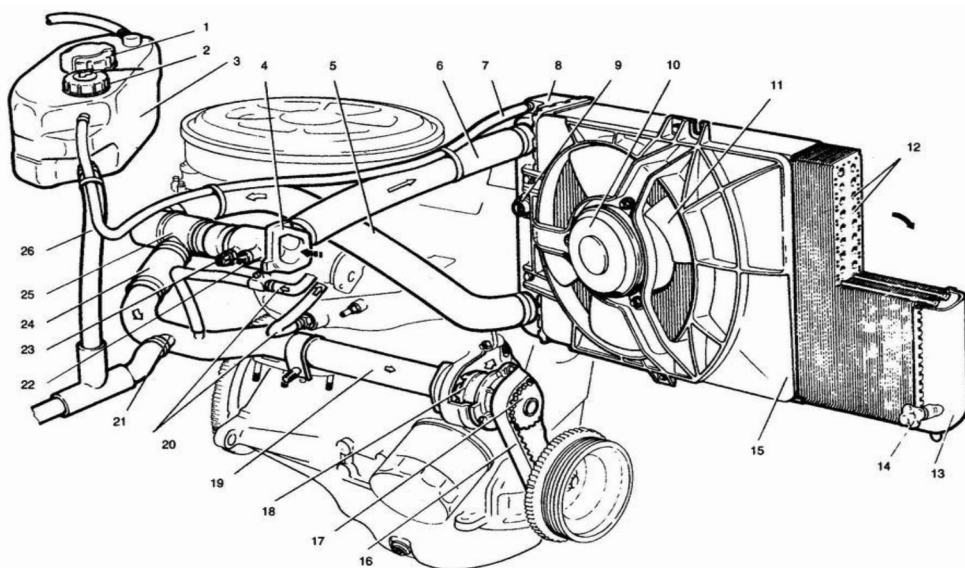
- **заливные горловины**, через которые происходит основная заправка системы охлаждающей жидкостью или моющими растворами для очистки системы охлаждения от накипи, грязи. Располагают их в верхней части системы охлаждения на радиаторах или расширительных баках. Нередко в заливных горловинах размещают паровые или паровоздушные клапаны;

- **сливные краны**, позволяющие сливать из системы охлаждения или ее элементов охлаждающую жидкость или промывочные растворы. Их располагают в самых низких точках системы охлаждения или ее элементов.

Кроме рассмотренных элементов, имеются дополнительные устройства систем жидкостного охлаждения: датчики контроля за тепловым состоянием двигателя; приборы сигнализации состояния системы, гидромфты и др. Часть тепла, отводимого от двигателя в жидкостную систему охлаждения, используется для обогрева кабины водителя или салона (легковой автомобиль).

На рис.36 представлена система жидкостного охлаждения двигателя ВАЗ-2110. Система охлаждения жидкостная, закрытого типа, с принудительной циркуляцией жидкости, с расширительным бачком 3. Насос охлаждающей жидкости центробежного типа приводится в действие зубчатым ремнем привода газораспределительного механизма. Электровентилятор имеет пластмассовую четырехлопастную крыльчатку 5, установленную на валу электродвигателя 3, включение и выключение которого осуществляется датчиком 2. Радиатор 1 трубчато-пластинчатый, алюминиевый, с пластмассовыми бачками, двухходовой, с перегородкой в левом бачке. Охлаждающая жидкость заливается через наливную горловину расширительного бачка 3, пробка 1 расширительного бачка имеет впускной и выпускной клапаны. Давление открытия выпускного клапана 110-150 кПа (1,1-1,5 кгс/см<sup>2</sup>), впускного 3-13 кПа (0,03-0,13 кгс/см<sup>2</sup>). Термостат с твердым термочувствительным наполнителем имеет основной и дополнительный (перепускной) клапаны. Начало открытия основного

клапана при температуре охлаждающей жидкости  $(87\pm 2)^\circ\text{C}$ , ход основного клапана при достижении температуры охлаждающей жидкости  $102^\circ\text{C}$  не менее 8 мм.



1 - пробка расширительного бачка; 2 - датчик указателя уровня охлаждающей жидкости; 3 - расширительный бачок; 4 - выпускной патрубок; 5 - отводящий шланг радиатора; 6 - подводящий шланг радиатора; 7 - пароотводящий шланг; 8 - левый бачок радиатора; 9 - датчик включения электровентилятора; 10 - электровентилятор; 11 - крыльчатка электровентилятора; 12 - трубки радиатора; 13 - правый бачок радиатора; 14 - сливная пробка радиатора; 15 - кожух электровентилятора; 16 - зубчатый ремень привода газораспределительного механизма; 17 - зубчатый шкив насоса охлаждающей жидкости; 18 - крыльчатка насоса охлаждающей жидкости; 19 - подводящая труба насоса охлаждающей жидкости; 20 - шланги к жидкостной камере пускового устройства карбюратора; 21 - патрубок отвода охлаждающей жидкости из радиатора отопителя; 22 - патрубок подвода жидкости к радиатору отопителя; 23 - датчик температуры охлаждающей жидкости; 24 - шланг подводящей трубы насоса; 25 - термостат; 26 - заправочный шланг

Рис.36 Система жидкостного охлаждения двигателя VAZ-2110

Качество и эффективность работы жидкостной системы охлаждения в значительной мере определяет **охлаждающая жидкость**.

К основным параметрам охлаждающей жидкости и условиям их работы в



системах охлаждения, относятся следующие:

- высокая теплоёмкость, позволяющая при небольшом количестве циркулирующей в системе охлаждения жидкости поддерживать установленный температурный режим поршневого двигателя;
- оптимальная вязкость, не требующая значительных затрат мощности на прокачку охлаждающей жидкости через систему охлаждения и исключая потери её через уплотнения и соединения;
- температура кипения, превышающая на  $25...30^{\circ}$  максимально допустимую температуру в системе охлаждения, что препятствует образованию паровоздушных пробок в системе охлаждения и уменьшает потери жидкости при её испарении;
- температура замерзания ниже зимней температуры окружающего воздуха, что облегчает пуск и эксплуатацию двигателя.

Для обеспечения надежной работы системы охлаждения охлаждающая жидкость не должна быть токсичной, образовывать на омываемых поверхностях отложений, уменьшающих площади проходных сечений каналов и затрудняющих отвод тепла, а также вызывать коррозию деталей системы. Кроме того, стоимость её должна быть невысокой.

Основными охлаждающими жидкостями в системе жидкостного охлаждения являются антифризы, так как например, относительно высокая температура замерзания воды ( $0^{\circ}\text{C}$ ) затрудняет эксплуатацию поршневых двигателей в условиях низких температур окружающего воздуха.

В качестве низкотемпературных (низкозамерзающих) охлаждающих жидкостей – антифризов, используют некоторые углеводороды, водные растворы солей, спиртоглицериновые смеси и др. Наибольшее применение получили антифризы на основе водных растворов этиленгликоля, представляющего собой жидкость, температура кипения которой равна  $198^{\circ}\text{C}$ , а температура плавления минус  $11,5^{\circ}\text{C}$ . Будучи добавленным к воде,

этиленгликоль образует смесь, имеющую температуру замерзания ниже температуры замерзания воды. В зависимости от содержания этиленгликоля температура смеси этиленгликоль – вода изменяется в пределах от 0 до минус 65 °С. Наибольшее распространение для охлаждения поршневых двигателей автомобилей получили «ТОСОЛы» - смеси с температурой замерзания минус 40 °С и минус 65 °С. Антифриз по маркой «ТОСОЛ» был создан при вводе в строй Волжского автозавода сотрудниками ГОСНИИОХТ для систем охлаждения «Жигулей». Аббревиатура названия расшифровывается как сокращение от «Технология органического синтеза» (название лаборатории, разработавшей это антифриз) с добавлением ОЛ ( в химии- окончание спиртов). Выпускался антифриз под маркой «ТОСОЛ» по техническим условиям (ТУ), а ГОСТ 28084-89 «Жидкости охлаждающие низкотемпературные» появился только в 1989г.

На основе этиленгликоля выпускаются также охлаждающие жидкости, используемые как в зимнее, так и в летнее время. Обладая более высокой, чем у воды температурой кипения, ТОСОЛ позволяет повышать допустимую температуру в системе охлаждения. В табл. 1 показаны основные характеристики антифризов и ТОСОЛОВ.

При уменьшении перепада температур между газами и стенками цилиндра понижается теплоотдача от стенок цилиндров к жидкости, кипящей при высокой температуре, вследствие чего повышаются эффективные показатели работы поршневого двигателя и снижаются масса и габаритные размеры теплообменных устройств.

Водные растворы этиленгликоля изменяют температуру замерзания в зависимости от содержания воды, т. е. плотности раствора (см. табл.2) или массовой доли этиленгликоля в растворе.

Табл. 1 Основные характеристики антифризов.

| Марка антифриза | $t_{\text{зам}},$ не выше, $^{\circ}\text{C}$ | Плотность $\rho$ , при $20^{\circ}\text{C}$ , $\text{кг/м}^3$ | Цвет    | Этиленгликоль, % | Присадки      | $c_p$ , Дж/кг $^{\circ}\text{K}$ |
|-----------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------|------------------|---------------|----------------------------------|
| 40              | -40                                           | 1,0675 – 1,0725                                               | –       | 53               | есть          | 3850                             |
| 65              | -65                                           | 1,085 – 1,090                                                 | –       | 66               | Есть          | 2650                             |
| Тосол А-40      | -40                                           | 1,078 – 1,085                                                 | голубой | 53,7             | Противопенные | 3850                             |
| Тосол А-65      | -65                                           | 1,085-1,095                                                   | красный | 62,4             | Есть          | 2950                             |

Табл. 2 Температура кристаллизации ТОСОЛа и его водных растворов

| Массовое содержание, % |                       | Температура кристаллизации, $^{\circ}\text{C}$ |
|------------------------|-----------------------|------------------------------------------------|
| ТОСОЛ - А              | Дистиллированная вода |                                                |
| 100                    | 0                     | -21,5                                          |
| 80                     | 20                    | -45                                            |
| 70                     | 30                    | -49                                            |
| 65                     | 35                    | -65                                            |
| 60                     | 40                    | -52                                            |
| 56                     | 44                    | -40                                            |
| 50                     | 50                    | -35,3                                          |
| 40                     | 60                    | -24                                            |

Этиленгликоль является коррозионно-агрессивным веществом, поэтому в антифризы добавляют антикоррозионные присадки:

- декстрин 1 г/л – защита Al, Cu,  $\text{Pb}_x\text{Sn}_y$  (припой);
- динатрийфосфат 2,5...3,5 г/л – защита стали, чугуна, латуни, меди;

- молибденово-кислый натрий – 7...8г/л – защита цинка, хрома.

Для предотвращения вспенивания при попадании в раствор нефтепродуктов вводят антипенные вещества.

К недостаткам этиленгликоля, как охлаждающей жидкости, в основном относятся его токсичность и низкая температура вспышки ( $122^{\circ}\text{C}$ ), т. е. возможность воспламенения при появлении течи в системе охлаждения.

Для охлаждения форсированных двигателей используют жидкости с температурой кипения выше  $100^{\circ}\text{C}$  – высококипящие жидкости. Такие жидкости состоят из смеси высокомолекулярных спиртов гликолей и эфиров, выкипающих при температуре  $77...207^{\circ}\text{C}$ .

Некоторые свойства этих охлаждающих жидкостей приведены в табл. 3.

Табл. 3 Характеристики высококипящих охлаждающих жидкостей.

| Свойства жидкости                                                            | Жидкости с температурой $t_{\text{зам}}$ |                               |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|
|                                                                              | Не выше $-40^{\circ}\text{C}$            | Не выше $-60^{\circ}\text{C}$ |
| Внешний вид                                                                  | Бесцветная или желтоватая                | Бесцветная или желтоватая     |
| Плотность<br>при $20^{\circ}\text{C}$ , $\text{кг/м}^3$                      | 1100                                     | 1050                          |
| Температура начала<br>кипения, $^{\circ}\text{C}$                            | 130...145                                | 130...145                     |
| Температура конца<br>кипения, $^{\circ}\text{C}$                             | —                                        | 195...210                     |
| Вязкость<br>кинематическая при $-30^{\circ}\text{C}$ , $\text{м}^2/\text{с}$ | Не более 500                             | Не более 320                  |

Применение таких жидкостей обеспечивает:

- уменьшение тепловых потерь в системе жидкостного охлаждения;
- интенсификацию процесса теплопередачи;
- уменьшение поверхности радиатора;
- уменьшение мощности на привод насоса системы охлаждения.

Причинами возникновения неисправностей системы охлаждения являются:

- нарушение сроков замены охлаждающей жидкости;
- использование некачественных охлаждающих жидкостей;
- потеря герметичности системы охлаждения;
- предельное использование элементов системы охлаждения и отсутствие их технического обслуживания;
- превышение нормального температурного режима работы двигателя.

### ***5.3 Неисправности системы охлаждения***

Различают следующие основные неисправности системы охлаждения:

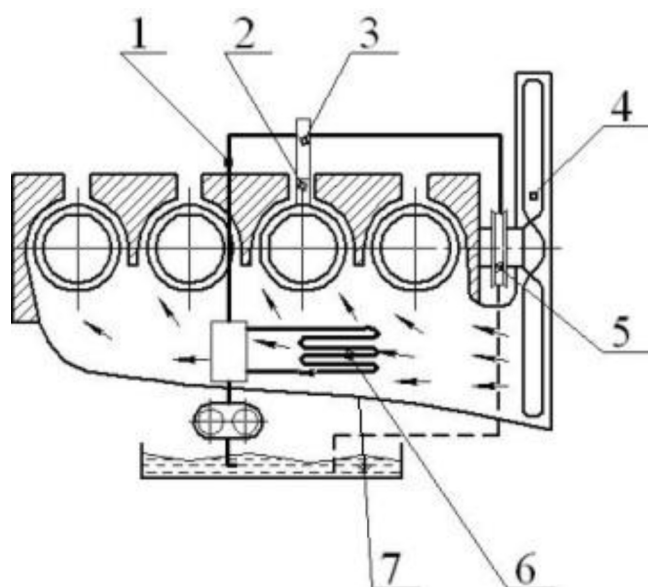
- загрязнение радиатора, нарушение его герметичности;
- износ, нарушение герметичности и выход из строя жидкостного насоса;
- неисправности привода и датчиков включения вентилятора;
- прогорание прокладки и коробление головки блока цилиндров;
- низкий уровень или отсутствие охлаждающей жидкости из-за утечек;
- неисправности датчиков температуры;
- трещины в стенках цилиндров или в рубашке охлаждения;
- неисправность термостата.

#### ***5.4 Система воздушного охлаждения поршневого двигателя***

Авиационные, мотоциклетные и даже лодочные поршневые двигатели удовлетворительно охлаждаются набегающим потоком воздуха при наличии специальной оребрённой поверхности охлаждаемых элементов. Стационарные и автомобильные поршневые двигатели охлаждаются с помощью вентилятора, создающего поток охлаждающего воздуха в межрёберных каналах цилиндровой группы. Для уменьшения расхода воздуха на охлаждение и мощности вентилятора, приводимого в действие от вала двигателя, движение охлаждающего воздуха часто организуется специальными отражающими щитками-дефлекторами из стали или алюминиевых сплавов, которые образуют каналы и распределяют воздух равномерно по цилиндрам и вдоль них, обеспечивая более интенсивное охлаждение головок и верхней части цилиндров.

На рис. 37 приведена типичная автоматизированная система воздушного охлаждения двигателей. Вентилятор 4, приводимый в движение от коленчатого вала ремённой передачей и гидромуфтой 5, подаёт воздух под капот 7, где он охлаждает масляный радиатор 6, а затем направляется дефлекторами в межрёберные каналы головок цилиндров и цилиндров. Тепловой датчик 2, расположенный на головке второго цилиндра с помощью термоклапана 3 изменяет заполнение полости гидромуфты маслом, поступающим к термоклапану из магистрали дизеля, а из термоклапана по маслопроводу 1 - к гидромуфте.

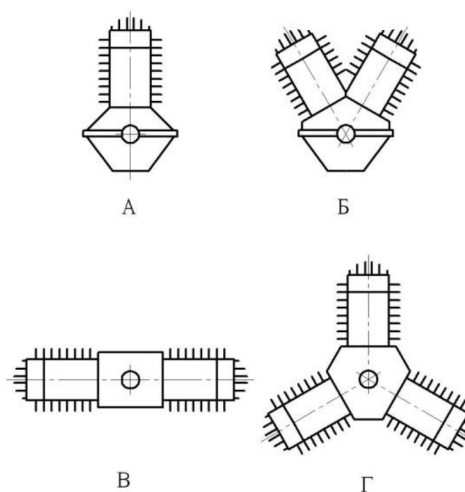
Существует несколько конструктивных схем двигателей с воздушным охлаждением и их воздушных трактов. Под конструктивной схемой двигателя понимается расположение его цилиндров в пространстве и относительно коленчатого вала: рядное, вертикальное, горизонтальное противоположное (оппозитное) и промежуточное, с расположением цилиндров (или их рядов) под углом друг к другу, меньшим  $180^\circ$ , т. е. так называемое V - образное расположение (см. рис. 38).



1 – маслопровод; 2 – датчик; 3 – термодатчик; 4 – вентилятор; 5 – гидромуфта;  
6 – масляный радиатор; 7 – капот

Рис. 37 Схема воздушного охлаждения дизелей с автоматическим регулированием:

При этом оребрение цилиндра и головки двигателя независимо от конструктивной схемы везде примерно одинаково (см. рисунок 39).



а) однорядный; б) двухрядный V-образный; в) двухрядный с противоположными цилиндрами (оппозитный); г) звездообразный

Рис. 38 Схемы двигателей с различным расположением цилиндров



1 – оребрение головки; 2 – оребрение цилиндра

Рис. 39 Оребрение цилиндра и головки двигателя с воздушным охлаждением

Основным элементом, обеспечивающим необходимый поток охлаждающего воздуха в большинстве автомобильных двигателей этого типа, является вентилятор. Направление воздушного потока организуется в воздушном тракте, который обеспечивает оптимальный обдув в первую очередь наиболее теплонепригодных деталей. Регулирование интенсивности обдува обеспечивается автоматизированной системой (гидромуфты, жалюзи и др.). Вентиляторы по конструкции подразделяются на две группы: осевые и центробежные. Каждая из этих групп также подразделяется на различные конструктивные схемы. В любом случае на двигателях с воздушным охлаждением применяют вентиляторы, создающие повышение давления воздуха не более 4 кПа ( $400 \text{ кг/м}^2$ ).

### **Основные неисправности жидкостных систем охлаждения**

**1. Подтекание охлаждающей жидкости** появляется при повреждениях радиатора, шлангов, уплотнительных прокладок и сальников. Для устранения неисправности необходимо подтянуть хомуты крепления шлангов и трубок, а поврежденные детали заменить на новые. При повреждении трубок радиатора могут быть использованы: пайка, клейка мест повреждений или заглушение поврежденных трубок.



**2. Перегрев двигателя по причине выхода из строя термостата.** Устраняется заменой термостата, который не подлежит ремонту.

**3. Перегрев двигателя из-за отказа датчика включения вентилятора, привода вентилятора или его электродвигателя.** Ликвидируется заменой датчика или электродвигателя, ремонтом привода.

**4. Выход из строя насоса системы охлаждения.** Может произойти при коррозии насоса вследствие увеличения интервалов замены охлаждающей жидкости. На двигателях семейства ВАЗ-2112 как правило дополнительно ведет к повреждению деталей газораспределительного механизма, а иногда и поршней.

**5. Неэффективная работа системы охлаждения** может явиться следствием загрязнения радиатора, заедания жалюзи в закрытом положении. Для восстановления работоспособности системы необходимо промыть поверхность радиатора, очистить ее от грязи и устранить причину заедания жалюзи.

### ***5.5 Основные неисправности воздушных систем охлаждения***

1. Неэффективная работа вентилятора по причине неисправности его привода или засорения защитной сетки.

2. Загрязнение межреберного пространства цилиндров и их головок.

### ***5.6 Эксплуатация систем охлаждения***

По статистике от 40 до 60% проблем с двигателем, имеющим жидкостную систему охлаждения, происходят из-за ее неправильной эксплуатации. Между тем, всего этого можно избежать при соблюдении ряда относительно простых правил. В эксплуатации системы охлаждения необходимо постоянно проверять уровень охлаждающей жидкости в расширительном бачке. Проверка должна проводиться только на холодном двигателе. У автомобилей ВАЗ уровень жидкости должен быть на 25...30 мм выше отметки «MIN», нанесенной на полупрозрачном корпусе бачка. При необходимости

выполняется доливка охлаждающей жидкости, после которой пробку заливного отверстия необходимо плотно завернуть, так как расширительный бачок при работающем и прогретом двигателе находится под давлением. Частое изменение уровня может свидетельствовать о неудовлетворительном состоянии системы охлаждения. Так, например быстрое падение уровня при эксплуатации двигателя свидетельствует о нарушениях в работе отдельных элементов системы охлаждения или о наличии подтекания охлаждающей жидкости. При эксплуатации системы охлаждения нужно наблюдать за цветом охлаждающей жидкости и его изменением, свидетельствующим о состоянии системы охлаждения. В большинстве отечественных двигателей используется «ТОСОЛ А-40», который в пригодном для применения в системе охлаждения состоянии имеет голубой цвет. По мере утрачивания «ТОСОЛом» своих свойств цвет меняется на зеленоватый, а затем и на желтый, который свидетельствует о полной его непригодности. Изменение цвета охлаждающей жидкости также свидетельствует о начале коррозии в системе охлаждения.

При длительной эксплуатации двигателя систему охлаждения необходимо очищать от образовавшейся накипи. Для этой цели могут использоваться различные присадки. Они добавляются в старую охлаждающую жидкость, затем двигатель заводится и работает на холостых оборотах 10...15 минут, после чего старая охлаждающая жидкость сливается и система охлаждения заполняется новой. Другим способом является эксплуатация системы охлаждения в течение пробега в 2...3 тысячи километров с использованием слабого раствора безсиликатного антифриза. Однако данную операцию следует проводить только летом, так как зимой низкоконцентрированный раствор не обеспечит должную защиту от замерзания.

При эксплуатации автомобиля также необходимо контролировать натяжение и состояние ремня привода насоса охлаждающей жидкости, так как его обрыв не только выведет из строя систему охлаждения, но может

нанести повреждения и другим механизмам ДВС. При вождении автомобиля следует постоянно следить за прибором, показывающим уровень температуры в системе охлаждения и не допускать выхода стрелки за пределы допустимого диапазона. В некоторых случаях, если температура охлаждающей жидкости приближается к критической, а вентилятор уже работает, несколько снизить температуру можно за счет включения в работу радиатора отопителя салона с полностью открытым краном отопителя. Иногда это позволяет добраться до ближайшего автосервиса и устранить неисправность. При этом следует внимательно следить за стрелкой указателя температуры двигателя и при ее выходе в красную зону - немедленно остановить двигатель, открыть капот автомобиля и не продолжать движения, пока двигатель «не остынет».

Отечественный ГОСТ 28084-89 «Жидкости охлаждающие низкотемпературные» в отличие от зарубежных стандартов не подразделяет антифризы для легкового и грузового автотранспорта. Между тем, двигатели грузовиков как правило работают в более тяжелых условиях, поэтому «ТОСОЛ» быстрее утрачивает в них свои свойства. Это приводит к разъеданию резиновых патрубков, образованию осадков, отрицательно влияющих на продолжительность работы водяного насоса, коррозии металла радиатора охлаждения и т.д., что в итоге уменьшает эксплуатационный срок работы двигателя. В результате, если срок эксплуатации «ТОСОЛа» в системе охлаждения легковых машин составляет от 40 до 60 тыс. км, то в двигателях грузовиков срок его эксплуатации сокращается на 30... 50%.

Поскольку поддержание температуры охлаждающей жидкости в жидкостной системе охлаждения осуществляется совместной работой термостата, радиатора и вентилятора, для нормальной эксплуатации необходима исправность и обеспечение работоспособности этих узлов.

Любой термостат состоит из термосилового элемента, регулирующего органа - клапана и исполнительного механизма - кинематического

соединения датчика и клапана. Температура начала перемещения клапана называется **температурой начала открытия** и для каждого типа термостата приводится в технических условиях.

На рис. 40 показан термостат, применяемый в системах жидкостного охлаждения двигателей ВАЗ.

При неисправности термостата циркуляция охлаждающей жидкости не соответствует режиму работы двигателя, что ведет к его перегреву. Проверка работоспособности термостата может быть осуществлена несколькими способами. Самый простой - в жаркую погоду при длительной работе двигателя на холостом ходу осторожно потрогать радиатор. Если он холодный, можно предположить неисправность термостата. Другие способы подразумевают слив охлаждающей жидкости и демонтаж термостата. Когда термостат снят, нужно удалить с него накипь, грязь и прочистить отверстие в клапане.



- 1 – патрубок подвода жидкости из двигателя; 2 – патрубок подвода жидкости к насосу;  
3 – патрубок подвода жидкости из нижнего бачка радиатора; 4 – термочувствительный элемент

Рис. 40 Термостат (препарирован)

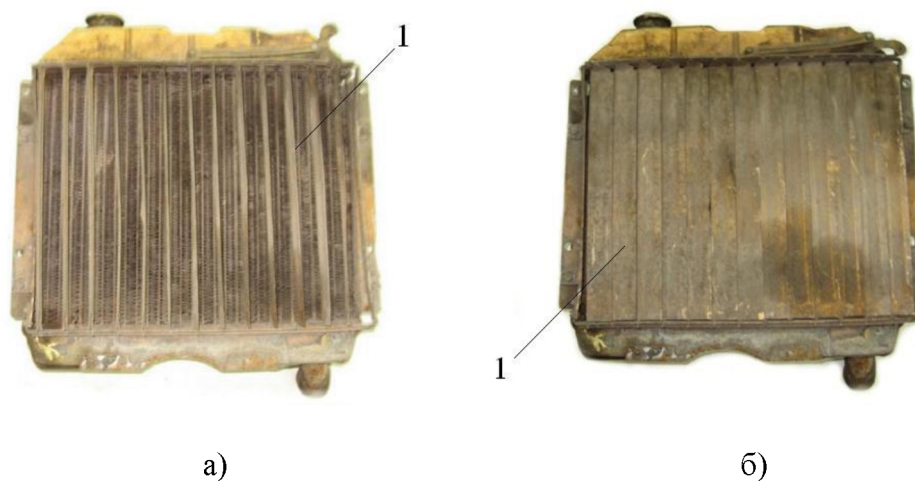
Проверка термостата проводится следующим образом. Емкость с водой (например, кастрюлю) ставят на газовую или электроплиту и нагревают. Температуру воды в кастрюле регистрируют термометром. Проверка ведется

по двум критериям: моменту открытия клапана и размерам. Первый критерий - это температура, при которой клапан термостата открывается. Она указывается на корпусе термостата или в техническом описании двигателя и составляет примерно от 81 до-93 °С. Второй параметр позволяет проверить термостат по размерам: до нагревания и после. Для этого используется штангенциркуль - замеряются расстояния между двумя точками до и после нагрева. Чаще всего разница этих расстояний должна быть более 7 мм. Когда термостат остынет, нужно проверить - полностью ли закрылся клапан.

Температура охлаждающей жидкости также зависит от расхода воздуха через радиатор. На него может повлиять:

- 1) работоспособность механизма привода жалюзи (при их наличии см. рис. 41),
- 2) работоспособность вентилятора
- 3) степень загрязненности поверхности радиатора.

Первое достаточно легко оценить визуально.



1- жалюзи

а - жалюзи открыты; б - жалюзи закрыты

Рис. 41 Радиатор с трубчато-ленточным остовом, снабженный жалюзи:

Второе, а именно работа вентилятора, лимитируется как состоянием его привода (электрического или иного), так и исправностью датчиков

температуры охлаждающей жидкости, которые могут входить и в состав системы впрыска. Проверку механического привода вентилятора проводят визуально. Для проверки электропривода оценивают работоспособность электроцепей, выключателей и электродвигателя. Для проверки электродвигателя вентилятора можно с помощью проводов соединить его напрямую с аккумуляторной батареей. Если при этом вентилятор не будет работать, значит, электродвигатель неисправен. Если вентилятор работает, то возможно, что неисправны выключатель, датчики и т.д.

Для проверки датчика температуры охлаждающей жидкости, опускаем его в емкость с водой, нагретой до температуры кипения. По мере остывания воды вольтметром снимаем показания датчика температуры охлаждающей жидкости и составляем его тепловую характеристику. При этом температуру воды измеряем термометром, шкала которого градуирована в пределах от +10 до +150 °С. Замеры обычно выполняют при температурах +100, 90, 80, 60, 40 и 25 °С. У исправного датчика температуры охлаждающей жидкости напряжение в цепи при этих температурах должно быть близким к величинам, указанным в таблице (графике) завода - изготовителя.

Следует отметить, что основные мероприятия по контролю за состоянием системы жидкостного охлаждения и ее обслуживанию определяются условиями и назначением эксплуатируемой техники, а также климатическими и сезонными факторами.

К этим мероприятиям относят:

- контроль за герметичностью системы – визуальный, приборный (наличие утечек жидкости, давление в системе);
- контроль за состоянием соединительных шлангов, трубопроводов, соединений (штуцеров, хомутов и др.);
- уход за состоянием теплопередающих поверхностей (очистка от загрязнений, коррозии и т. п.);

- своевременную замену охлаждающей жидкости.

Обычно организации, эксплуатирующие технику или осуществляющие различные виды ее ремонта, руководствуются специальными инструкциями по эксплуатации (руководствами), где регламентируются сроки и частота контроля, замены охлаждающей жидкости и т.д. Срок службы антифризов, установленный ВАЗом по ТТМ 1.97.0717-98 – три года или 60 тыс. км пробега автомобиля при условии сохранения концентрации  $53\pm 2\%$  (плотность при  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$   $1,078\pm 0,002\text{ кг/л}$ ). Антифриз следует заменять независимо от срока его использования в случае, когда он изменил плотность или загрязнился.

Эксплуатация систем воздушного охлаждения двигателей накладывает заметно меньшее количество требований к обслуживанию, что обусловлено отсутствием охлаждающей жидкости, насоса для нее, радиатора и ряда других элементов. В общем случае обслуживание систем воздушного охлаждения сводится к очистке ребер охлаждения при их засоре, загрязнении и обледенении и контролю состояния вентилятора и его привода.

### ***Контрольные вопросы***

1. Как обеспечивается стабильная и равномерная температура деталей поршневого двигателя?
2. Каковы преимущества системы жидкостного охлаждения по сравнению с другими способами отвода тепла в ДВС?
3. Что значит "принудительная" система жидкостного охлаждения ДВС?
4. Как организовано движение охлаждающей жидкости в охлаждающем контуре ДВС?
5. В чем состоит основное назначение радиатора и как в нём организуется процесс теплообмена?

6. Назовите основные конструктивные виды радиаторов.
7. Основное назначение жидкостного насоса в системе охлаждения ДВС и какими параметрами можно оценить его возможности?
8. В чем состоит назначение термостата?
9. Для чего нужен воздушный осевой вентилятор в системе жидкостного охлаждения ДВС?
10. Какими свойствами должно обладать рабочее тело системы жидкостного охлаждения ДВС?
11. Что такое антифриз и как осуществляется его маркировка?
12. Чем отличается высококипящий охладитель от обычных марок антифриза?
13. Как осуществляется регулирование температуры охлаждающей жидкости в современном ДВС?
14. Как регулируется частота вращения вентилятора системы жидкостного охлаждения ДВС?
15. В чем основные особенности воздушной системы охлаждения ДВС?
16. Что значит комбинированное охлаждение ДВС?
17. Что является основным теплоотводящим конструктивным элементом ДВС с воздушным охлаждением?
18. Какие существуют схемы осевых вентиляторов ДВС с воздушным охлаждением?
19. Как устанавливают вентиляторы в воздушном тракте ДВС с воздушным охлаждением?
20. Зачем применяют направляющие (НА) и спрямляющие (СА) аппараты в воздушном тракте ДВС с воздушным охлаждением?



## ЛЕКЦИЯ 6 СИСТЕМА СМАЗКИ ДВС И ИХ УСТРОЙСТВО

Основным назначением **системы смазки** является подача достаточного количества масла к трущимся деталям для уменьшения трения, их частичного охлаждения и удаления продуктов износа.

Подвод масла к трущимся поверхностям осуществляется с помощью **циркуляционных систем смазки** или **путем добавления масла в состав топлива** (от 3 до 6% по объему). Наиболее широко в автомобильных и авиационных ДВС распространены первые системы. В них масло, подводимое к трущимся поверхностям, собирается, очищается от продуктов износа и повторно подается для смазки деталей. В зависимости от способа подвода масла различают подачу смазки под давлением и путем разбрызгивания. Так как в современных системах смазки ДВС используются оба варианта, то их называют **комбинированными**. Масло под давлением обычно подается к наиболее нагруженным трущимся поверхностям, таким как коренные и шатунные подшипники коленчатого вала, подшипники распределительного вала, вал турбокомпрессора, оси коромысел привода клапанов. В высокофорсированных конструкциях также организуется впрыск масла на зеркало цилиндра и на внутреннюю поверхность днища поршня с целью его охлаждения. Подвод масла под давлением может осуществляться и к гидравлическим толкателям клапанов, механизмам изменения фаз газораспределения и другим исполнительным механизмам.

Масло, вытекающее через зазоры в подшипниках коленчатого и распределительного валов, разбрызгивается вращающимися деталями и в виде капель и масляного тумана оседает на стенках гильз, кулачках распределительного вала, поршневых пальцах, толкателях и других деталях. Иногда движущиеся детали кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов для смазки стараются частично или полностью погрузить в масло.

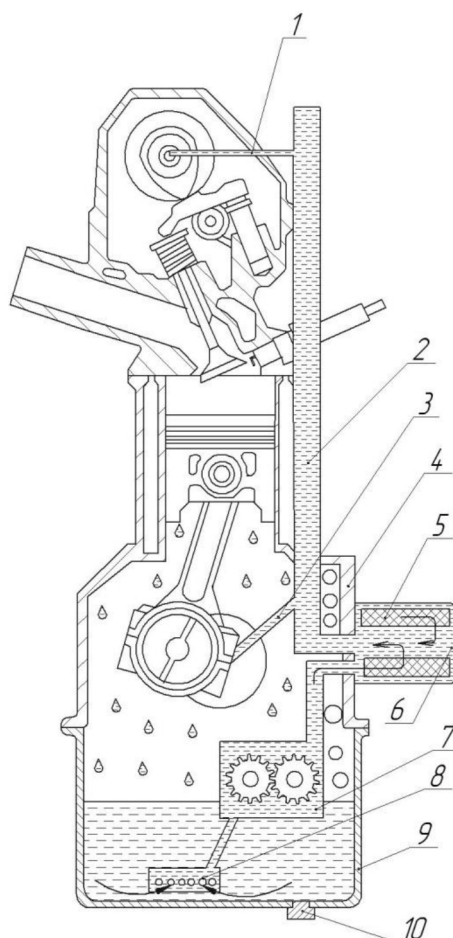
В зависимости от места размещения основного запаса масла различают системы смазки с «**мокрым**» и «**сухим**» картером.

В автомобильных двигателях наиболее распространены системы смазки с «мокрым» картером, имеющие более простую конструкцию. Свое название они получили потому, что в них резервуаром хранения масла для системы смазки является поддон картера двигателя, куда оно стекает с его рабочих поверхностей. В системе смазки с «сухим» картером масло также стекает в поддон, но хранится не в нём, поскольку откачивается насосом в специальный резервуар. Поэтому хотя в картере в этом случае также имеется масло, свое название эта система получила из-за незначительного его там количества. Системы смазки с «сухим» картером обычно применяются в двигателях работающих при значительных кренах в поперечном и продольном направлениях, например, в ДВС, используемых в авиации. К их недостаткам можно отнести необходимость установки дополнительных емкостей и дополнительных или более сложных масляных насосов. В то же время эти системы более целесообразны в форсированных двигателях, где отсутствие большого объема масла, проворачиваемого противовесами коленчатого вала, способствует существенному снижению потерь мощности в двигателе. Кроме того, в этих системах меньше заброс масла на стенки цилиндра, следовательно, и его расход, масло в меньшей степени нагревается от горячих деталей и подвергается воздействию картерных газов, благодаря чему лучше сохраняет свои физико-химические свойства.

Системы с добавлением масла в топливо нашли применение в основном в двухтактных двигателях с кривошипно-камерной продувкой, т.е. не имеющих специального продувочного компрессора. В них масло, добавленное в топливо, в смеси с воздухом поступает к КШМ, где частично конденсируется на его деталях, а частично попадает в КС и участвует в процессе горения.

**Система смазки с «мокрым» картером (рис. 42) состоит из:**

- поддона картера,
- масляного насоса с маслоприемником,
- масляного фильтра (или фильтров грубой и тонкой очистки),
- каналов для подачи масла под давлением, просверленных в блоке цилиндров, головке блока и в других деталях двигателя,
- датчиков параметров системы.



1 - канал подачи масла к газораспределительному механизму; 2 - главная масляная магистраль; 3 - канал подачи масла к подшипникам коленчатого вала; 4 - картер двигателя; 5 - фильтрующий элемент; 6 - корпус масляного фильтра; 7 - масляный насос; 8 - маслоприемник с сетчатым фильтром; 9 - поддон картера; 10 - пробка для слива масла

Рис. 42 Схема системы смазки двигателя с «мокрым» картером:

**Поддон картера** является емкостью для хранения масла. Масло попадает в него через каналы в двигателе после заливки в заливную горловину.

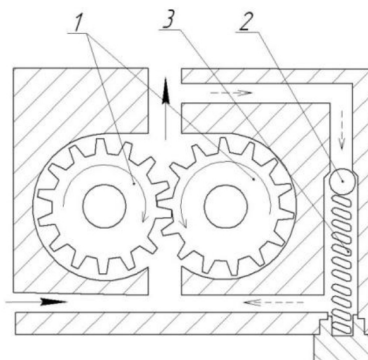
Уровень масла в поддоне обычно измеряется визуально с помощью специального **измерительного стержня** или поплавковым датчиком. **Датчик уровня масла в поддоне** более точно, чем маслоизмерительный стержень отражает картину наличия масла в поддоне.

Масло из поддона поступает в систему через **маслоприемник** (см. рис. 43), в котором имеется сетчатый фильтр. Для слива отработанного масла в поддоне имеется пробка.



Рис. 43 Вид в разрезе на поддон двигателя с установленным в нем маслоприемником

**Масляный насос** осуществляет движение масла в системе смазки. Под давлением он подает масло (через фильтр и каналы) к трущимся деталям кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов. Обычно масляный насос шестеренчатого типа и приводится в действие от коленчатого вала двигателя. Как правило, масляный насос имеет редукционный клапан, поддерживающий определенное давление в системе смазки (см. рис. 44).



1 - шестерни масляного насоса; 2 - редукционный клапан; 3 – пружина

Рис. 44 Схема работы масляного насоса

**Масляные фильтры** (рис. 45 и 46) служат для очистки масла от продуктов износа ДВС и иных посторонних частиц. Большинство масляных фильтров в настоящее время представляют собой неразборную конструкцию в виде металлического корпуса с фильтрующим элементом и защитными клапанами внутри (перепускным и противодренажным).



Рис. 45 Внешний вид масляного фильтра



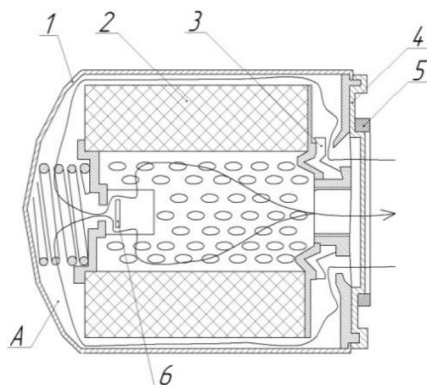
Рис. 46 Вид на фильтр, установленный на двигателе, в разрезе

Перепускной клапан срабатывает, когда масло не может свободно проходить через фильтрующий элемент из-за повышенной вязкости, например, при отрицательной температуре, при холодном пуске двигателя или при сильном загрязнении фильтрующего элемента. Противодренажный клапан устанавливается на входе в фильтр и открыт при работе двигателя.

После остановки двигателя он закрывается и удерживает внутри фильтра некоторое количество масла, не давая ему стечь обратно в картер. Это позволяет снизить время работы двигателя в условиях недостаточной смазки при следующем его пуске. Ранее на ДВС применялась другая конструкция масляного фильтра. В ней сменный фильтрующий элемент устанавливался в стационарный корпус на блоке цилиндров двигателя. Клапаны при этом устанавливались в самом двигателе.

Конструкция современных масляных фильтров может выполняться по нескольким схемам.

Так в первой конструкции разборного фильтра (см. рис. 47), примененной в нашей стране на ВАЗ-2101 клапаны располагались по противоположным сторонам фильтрующего элемента. Основным недостатком этого фильтра было то, что при срабатывании перепускного клапана поток масла смывал накопленную на поверхности фильтрующего элемента грязь в масляную магистраль.

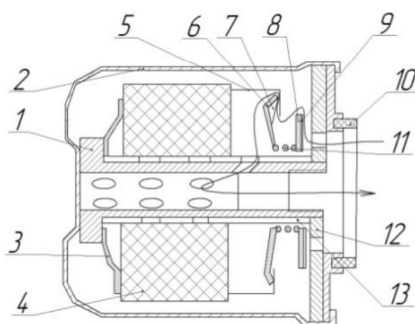


1 – корпус, 2 – фильтрующий элемент, 3 – противодренажный клапан, 4 – дно корпуса,  
5 – прокладка, 6 – перепускной клапан, А - Место отложений продуктов износа

Рис. 47 Фильтр, применявшийся на ВАЗ-2101:

В странах с теплым климатом, где этот клапан практически не работал, это было бы неактуально, но в нашей стране такой фактор мог иметь решающее значение. Поэтому позднее на ВАЗе перешли к другому типу фильтров: с учетом более жестких условий эксплуатации в зимнее время перепускной

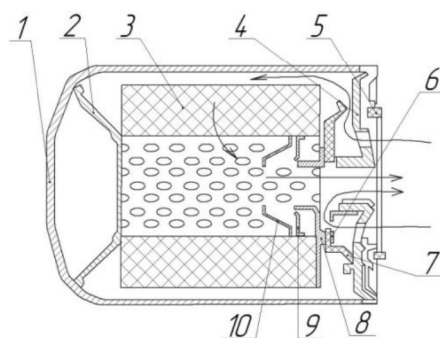
клапан расположили на входе (рис. 48). В этой схеме полость фильтра при пуске маслом не омывается.



1 – центральная трубка, 2 – корпус, 3 – диафрагменная пружина, 4 – фильтрующий элемент, 5 – основание перепускного клапана, 6 – диафрагменная пружина перепускного клапана, 7 – уплотнитель, 8 – тарелка противодренажного клапана, 9 – уплотнитель, 10 – прокладка, 11 – пружина, 12 – основание, 13 – дистанционная втулка

Рис. 48 Масляный фильтр с расположением перепускного клапана на входе:

В настоящее время существует и третья схема, по сути являющаяся развитием второй. В ней перепускной и противодренажный клапаны собраны в единый блок, состоящий из двух штампованных деталей, разделенных уплотняющей резиновой манжетой. В этой схеме противодренажный клапан надежно удерживает масло и фильтр всегда остаётся заполненным (рис. .49).



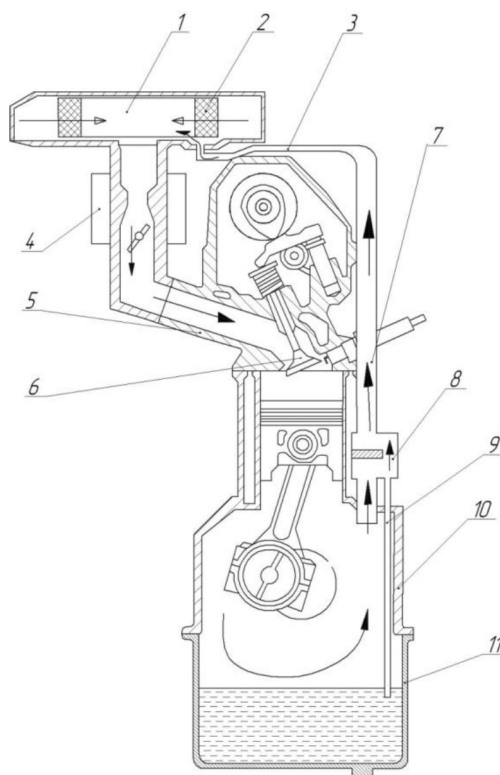
1 – корпус, 2 – тарельчатая пружина, 3 – фильтрующий элемент, 4 – основание, 5 – резиновая прокладка, 6 – втулка, приваренная к корпусу блока клапанов, 7 – резиновая манжета перепускного и противодренажного клапанов, 8 – тарелка перепускного клапана, 9 – пружина перепускного клапана, 10 – корпус блока клапанов

Рис. .49. Масляный фильтр с блоком, включающим перепускной и противодренажный клапаны

**Датчик давления и его контрольная лампа** сигнализируют о работоспособности системы смазки.

**Система вентиляции картера** обеспечивает отсос из картера и отвод во впускной трубопровод паров бензина и продуктов сгорания, которые прорываются в картер через поршневые кольца во время тактов сжатия и рабочего хода.

Пары бензина и продукты сгорания агрессивно воздействуют на детали КШМ и разжижают масло, поэтому их следует удалять из полости, заполненной маслом. Вентиляция картера осуществляется принудительно за счет разрежения во впускном трубопроводе, возникающего при работе двигателя. В простейшем случае система вентиляции картера имеет вид, представленный на рис. 50. Корпус воздушного фильтра соединяется с картером двигателя с помощью шланга, по которому картерные газы направляются сначала в карбюратор, а затем в цилиндры на дожигание.



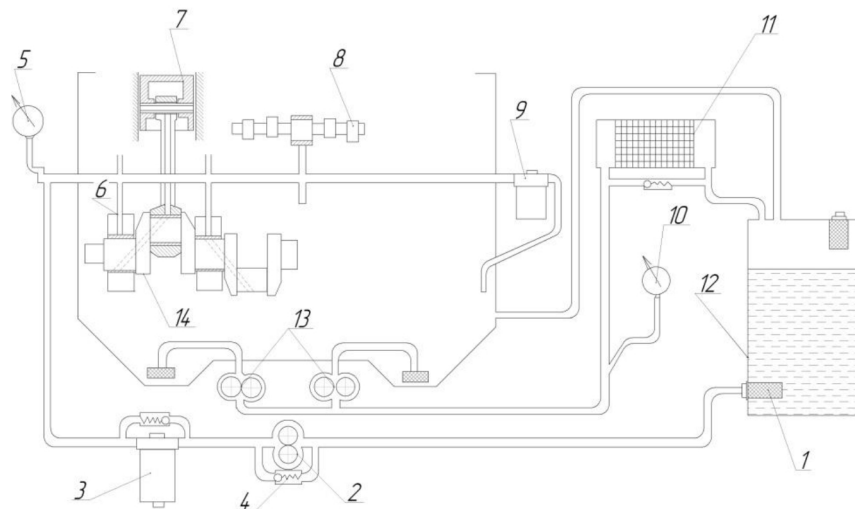


1 - корпус воздушного фильтра; 2 - фильтрующий элемент; 3 - всасывающий коллектор вентиляции картера; 4 - карбюратор; 5 - впускной трубопровод; 6 - впускной клапан; 7 - шланг вентиляции картера; 8 - маслоотделитель; 9 - сливная трубка маслоотделителя; 10 - картер двигателя; 11 - поддон картера

Рис. 50 Схема вентиляции картера двигателя:

Более сложные системы вентиляции картера имеют несколько каналов, которые используют на различных режимах работы двигателя.

Устройство системы смазки с «сухим» картером представлено на рис. 51.



1 - корпус воздушного фильтра; 2 - фильтрующий элемент; 3 - всасывающий коллектор вентиляции картера; 4 - карбюратор; 5 - впускной трубопровод; 6 - впускной клапан; 7 - шланг вентиляции картера; 8 - маслоотделитель; 9 - сливная трубка маслоотделителя; 10 - картер двигателя; 11 - поддон картера

Рис. 51 Схема системы смазки с «сухим» картером

Причинами неисправностей системы смазки могут являться:

- нарушение правил эксплуатации в виде превышения сроков технического обслуживания и использования несоответствующих масел;
- предельный срок эксплуатации элементов системы;
- использование некачественных расходных материалов (фильтров, масла).

### ***6.1 Неисправности системы смазки***

1. **Отсутствие давления масла в системе смазки.** Может быть обусловлено недостаточным уровнем масла в поддоне картера двигателя, которое имеет место при не герметичности системы или больших расходах масла на угар. Другими причинами могут быть: заедание редукционного клапана в открытом положении, применение некачественного масла, износ подшипников коленчатого или распределительного валов, деталей масляного насоса. Для устранения неисправности следует либо довести уровень масла до необходимого, или заменить изношенные узлы и детали. Марка масла в любом случае должна соответствовать инструкции завода-изготовителя.

2. **Повышенное давление в системе смазки.** Возникает в результате применения масла повышенной вязкости, заедании редукционного клапана в закрытом положении, засорении маслопроводов. Для устранения необходимо ликвидировать указанные причины.

3. **Повышенный расход масла.** Может быть следствием угара масла из-за износа цилиндрико-поршневой группы. Ликвидируется ремонтом и заменой изношенных деталей. Дополнительным свидетельством указанного износа служит сильное дымление из выхлопной трубы или трубки отсоса картерных газов, увеличение количества вредных веществ в составе выхлопных газов и потеря мощности двигателя.

4. **Подтекание масла из системы смазки.** Хорошо определяется по характерным следам на месте стоянки автомобиля в районе места расположения двигателя. Имеет место при незатянутых соединениях, повреждении уплотнительных прокладок, поддона, износе сальников. Для устранения неисправности необходимо восстановить герметичность соединений, заменить поврежденные и изношенные детали.

### ***6.2 Эксплуатация системы смазки***

Выход из строя или плохая работа системы смазки может привести к серьезным поломкам и отказу всего двигателя. Грамотная эксплуатация

системы смазки ДВС включает в себя две основных составляющих: применение соответствующих масел и контроль за работоспособностью и состоянием элементов системы.

При выборе автомобильного моторного масла необходимо учитывать следующее:

1. Рекомендации завода-изготовителя автомобиля.
2. Модель и год выпуска двигателя, величину пробега автомобиля.
3. Стилъ вождения автомобиля водителем, условия его эксплуатации и степень нагрузки.
4. Климатические условия и время года.

Первое условие практически является определяющим. Это объясняется тем, что, как правило, изготовитель автомобиля обладает наиболее полной информацией о пригодности для использования в конкретном ДВС различных сортов масел, подтвержденной экспериментальными данными. Второе условие также позволяет подобрать для двигателя масло, позволяющее продлить срок его службы. При этом, как правило, можно учесть особенности конструкции ДВС и использовать данные классификации API. Так, например, для большинства отечественных автомобилей и импортных, выпущенных до 1987г. рекомендуются масла на минеральной основе. Это объясняется тем, что синтетические масла обладают повышенной текучестью, а также агрессивно воздействуют на материал уплотнений и сальников таких двигателей. Третье условие оптимизирует подбор масла по степени нагруженности ДВС в работе. Так, для многих импортных микроавтобусов и джипов рекомендуется использование полусинтетических масел, а для спортивных автомобилей рекомендуется использование синтетических моторных масел. Последнее условие позволяет, например, учесть обеспечение зимнего запуска или необходимость длительной работы при повышенных температурах.

Помимо выбора масла и присадок к нему большое влияние на ресурс ДВС может оказать использование различных промывочных жидкостей. Некоторые из них могут содержать агрессивные по отношению к элементам двигателя составляющие.

Состояние отдельных элементов системы смазки в значительной мере определяет работоспособность всей системы в целом. Во время эксплуатации состояние этих элементов необходимо постоянно контролировать. На большинстве автомобилей на щитке приборов имеется контрольная лампа аварийного давления масла, свечение которой на работающем двигателе недопустимо. В этом случае необходимо прекратить эксплуатацию двигателя до выяснения причин падения давления масла. Давление масла при скорости движения 50 км/час для различных двигателей составляет от 0,15 до 0,4 МПа (указывается в техническом описании данной модели двигателя). При непрогретом двигателе оно несколько выше, а в жаркую погоду - ниже. Датчик давления масла обычно располагается в районе масляного фильтра. Красная лампа аварийного давления масла обычно загорается на щитке приборов при падении давления масла до величины 0,04...0,08 МПа. Наименьшее давление масла у исправного двигателя имеет место на режиме холостого хода и пуска, когда оно приближается к критическим значениям. Падение давления до 0,1 МПа на средних частотах вращения коленчатого вала и до 0,05 МПа на холостом ходу, как правило, свидетельствует о неисправностях в системе смазки или о чрезмерном износе подшипников коленчатого и распределительного валов.

С периодичностью, указанной в инструкции по эксплуатации автомобиля (обычно не реже одного раза в неделю) необходимо проверять уровень масла в поддоне с помощью щупа. Уровень масла проверяется на холодном неработающем двигателе при нахождении автомобиля на горизонтальной поверхности. Нормальный уровень масла в поддоне картера соответствует следу масла на щупе между рисками «MIN» и «MAX» (на некоторых

двигателях надписи отсутствуют и есть только риски). Низкий уровень масла ведет к увеличению его температуры, ускорению старения и росту расхода на угар. Эксплуатация двигателя с таким уровнем масла может привести к повреждению вкладышей шатунных подшипников. Поэтому при заниженном уровне масла необходимо провести его долив. Повышенный уровень масла в картере также нежелателен. В этом случае увеличивается выброс масла через систему вентиляции картера. Превышение необходимого уровня даже на 3...5 мм способно увеличить унос масла в несколько раз. На двигателях с электронной системой управления двигателем это может привести к замасливанию измерительного элемента датчика массового расхода воздуха и погрешностям в его работе. При высоком уровне масла противовесы коленчатого вала начинают вспенивать его, в результате чего нарушается работа гидроэлементов двигателя, например газораспределительного механизма. Таким образом, необходимо поддерживать нормальный уровень масла. Помимо уровня масла при эксплуатации ДВС необходимо проводить оценку соответствия реального расхода масла, расходу, характерному для данной модели ДВС. Повышенный расход масла, как правило, свидетельствует о какой-либо неисправности.

Качественное обслуживание двигателя должно включать в себя своевременную замену масла и масляного фильтра не позднее достижения автомобилем пробега, рекомендованного для данного масла. После определенного для каждого масла пробега его компоненты окисляются, полимеризуются и разлагаются. Помимо этого масло загрязняется продуктами износа. В результате масло утрачивает свои первоначальные качества и перестает выполнять свою роль. Поэтому на основании испытаний, проводимых изготовителем автомобиля, принято регламентировать срок замены масла в километрах пробега. Так, например, для двигателя ВАЗ-21083 пробег между сменами масла составлял 15 тыс. км. При замене минерального масла на отечественных автомобилях в случае его сильной загрязненности рекомендуется промывать систему смазки

специальным промывочным маслом. При этом сливать масло для замены нужно только на горячем двигателе, когда оно имеет меньшую вязкость и хорошую текучесть. После слива масла в картер заливают промывочное масло (обычно для отечественных автомобилей это ВНИИНП-ФД), запускают двигатель и дают ему поработать с малой частотой вращения 10 минут. Затем промывочное масло сливают, проводят замену фильтрующего элемента и заливают свежее масло в количестве, указанном в инструкции по эксплуатации автомобиля. Перевод двигателя с минерального масла на синтетическое всегда должен сопровождаться промывкой системы смазки. Применительно к использованию синтетических масел, следует отметить, что при соблюдении рекомендованных сроков их замены, промывка системы смазки не требуется, что объясняется высокими эксплуатационными свойствами таких масел.

По мере износа двигателя состояние его элементов ухудшается и наступает момент, когда использование рекомендуемого для нового ДВС масла уже не обеспечивает нормальной работы системы смазки. Так, износ цилиндропоршневой группы ведет к попаданию в картер все большего объема горячих газов, чем ускоряются процессы окисления масла, его выброс в систему вентиляции картера и т.д. Для такого двигателя вязкости первоначально рекомендованного масла становится уже недостаточно. Если для данного двигателя капитальный ремонт выполнить уже невозможно, то продлить его работу можно, применяя масло с повышенной вязкостью. Более вязкое масло улучшит компрессию в цилиндре и повысит несущую способность подшипников. Границей перехода на более вязкие масла обычно является тот момент, когда удельный расход масла начинает превышать величину, установленную для данной модели двигателя. Например, для двигателей ВАЗ-2101 это 25, а для двигателей ВАЗ-2106 - 30 см<sup>3</sup> на 100 км. После замены масла на более вязкое у двигателя снижается шумность работы, но, как правило, растет рабочая температура. Для минеральных масел более вязкое масло можно получить самостоятельно, смешав

автомобильное масло с более вязким авиационным, таким как МС-20С, МС-20П и др. При этом вязкость смеси масел определяется по следующей формуле:

$$\nu_{\text{смеси}} = \nu_1 q_1 + \nu_2 (1 - q_1)$$

где  $\nu_1$  и  $\nu_2$  - вязкости соответственно первого и второго масел, сСт;  $q_1$  - доля в смеси первого масла.

### ***Контрольные вопросы***

1. Система смазки предназначена:

**а) Для смазывания трущихся деталей, отвода тепла от них и удаления продуктов износа: (правильно);**

б) Смазки рабочих поверхностей КШМ и ГРМ;

в) Продления ресурса ДВС.

2. Не существует систем смазки:

а) С «мокрым картером»;

**б) С «пустым картером» (правильно);**

в) Комбинированных.

3. Под давлением масло должно подаваться:

**а) К наиболее нагруженным трущимся поверхностям (правильно);**

б) К поршневым кольцам;

в) К седлам клапанов.

4. Состояние масляного фильтра в эксплуатации ДВС:

**а) Напрямую определяет его ресурс (правильно);**

б) Не влияет напрямую на ресурс;

в) Полностью определяет качество используемого масла.

5. В системе смазки может устанавливаться:

а) Один датчик;

**б) Несколько датчиков (правильно);**

в) Только щуп.

6. В масляном насосе обычно установлен:

а) Датчик уровня масла;

**б) Редукционный клапан (правильно);**

в) Датчик давления.

7. Снижение давления масла в ДВС не может быть следствием:

а) Заедания редукционного клапана;

б) Потери герметичности системы смазки;

**в) Износа шеек коленчатого вала (правильно).**

8. Для сохранения ресурса в двигателе необходимо применять:

а) Синтетическое масло;

б) Качественное масло;

**в) Рекомендованное масло (правильно).**

9. Замена масла должна проводиться:

**а) На горячем двигателе (правильно);**

б) На холодном двигателе;

в) После запуска двигателя.

10. Промывку системы смазки необходимо выполнять:

**а) При переходе на другое масло (правильно);**

б) При любой замене масла;

в) При пробеге автомобиля более 10000 км.



1. Какие типы систем смазки ДВС вы знаете?
2. Назовите способы смазки деталей и механизмов двигателя.
3. Как работает масляный фильтр, какие достоинства и недостатки присущи различным его схемам.
4. Назовите основные причины снижения давления масла в двигателе.
5. Как производится замена масла в двигателе?
6. Назовите общее устройство и принцип действия систем смазки бензинового и дизельного двигателей.

## **ЛЕКЦИЯ 7 СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ. НЕИСПРАВНОСТИ СИСТЕМ ПИТАНИЯ**

**Система питания ДВС (топливная система, система топливоподдачи (СТП))** предназначена для питания двигателя автомобиля топливом, а также его хранения и очистки.

**Топливная система автомобиля** включает в себя:

- **топливный бак;**
- **топливный насос;**
- **датчик указателя запаса топлива;**
- **топливный фильтр;**
- **топливопроводы;**
- **устройство или система для подготовки горючей смеси из топлива и воздуха** (в карбюраторной системе-это карбюратор, в системе впрыска-собственно система впрыска).

**Топливный бак** предназначен для хранения запаса топлива, необходимого для работы двигателя и в легковом автомобиле обычно располагается в задней части на днище кузова. Топливный бак изолирован от атмосферы и

имеет горловину для заправки топливом. Вентиляция топливного бака у современных ДВС осуществляется системой улавливания паров бензина.

**Система улавливания паров бензина** (зарубежом-EVAP - Evaporative Emission Control) предназначена для предотвращения утечки паров бензина в атмосферу, что позволяет выполнять существующие экологические требования. Она включает в себя следующие основные элементы: угольный фильтр (адсорбер), запорный клапан и соединительные шланги и патрубки.

[http://systemsauto.ru/output/shema\\_evaporative.html](http://systemsauto.ru/output/shema_evaporative.html) Основным элементом системы является **адсорбер**, в который поступают пары бензина из топливного бака. Адсорбер имеет соединение с воздушным фильтром. Освобождение адсорбера от паров бензина происходит с помощью электромагнитного запорного клапана, управляемого электронным блоком управления (ЭБУ). По команде ЭБУ запорный клапан открывается, пары бензина в адсорбере продуваются за счет разрежения и направляются во впускной коллектор, а затем дожигаются в камерах сгорания двигателя. На холостом ходу и при холодном двигателе продувка паров бензина из адсорбера во впускной коллектор не производится.

**Топливный насос** подает топливо из бака в подающий топливопровод. Бывают механические (в карбюраторных системах) и электрические (для систем впрыска) топливные насосы. Как правило, вторые создают более высокое давление топлива в системе питания.

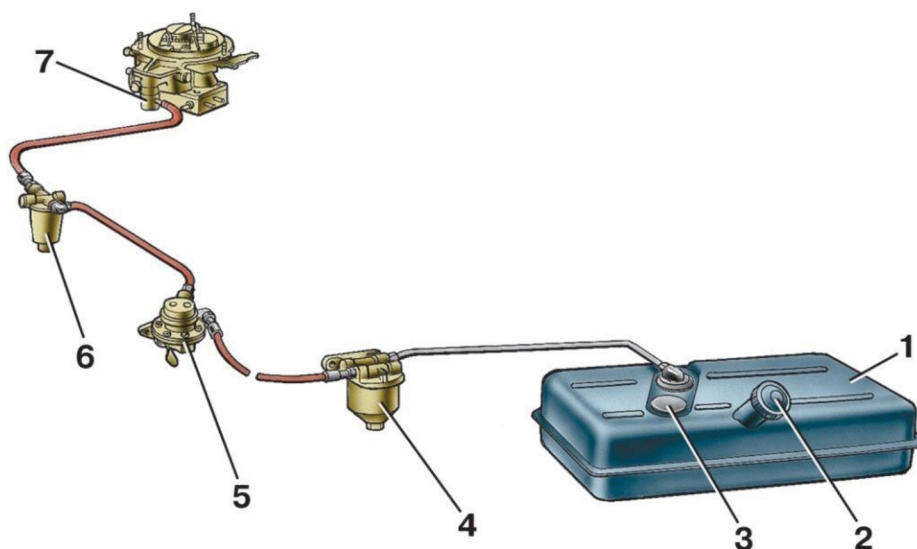
**Датчик указателя запаса топлива**, устанавливаемый в топливном баке, конструктивно включает поплавков и потенциометр. Перемещение поплавка при изменении уровня топлива в баке приводит к изменению положения потенциометра. Это приводит к повышению сопротивления в цепи, уменьшению напряжения на указателе запаса топлива и к изменению его показаний.

**В топливном фильтре** происходит очистка поступающего топлива.

Топливо в системе циркулирует по **топливопроводам**. Различают подающий и сливной топливопроводы. В подающем топливопроводе поддерживается рабочее давление, которое направляет топливо к карбюратору или форсункам, а по сливному топливопроводу излишки топлива удаляются в топливный бак.

### **7.1 Карбюраторная система питания**

На рис. 52 приведена схема **карбюраторной системы питания**. В карбюраторной системе питания в воздушном тракте (во впускном трубопроводе) двигателя располагается специальный узел – **карбюратор**, предназначенный для смешивания в определённом соотношении жидкого топлива и воздуха и преобразовании этой смеси в паро-воздушное состояние. Принцип работы такого устройства основан на эжекции (подсосе) жидкого топлива из микробачка (поплавковой камеры) потоком воздуха, проходящем через сужающийся канал карбюратора.



- 1 – топливный бак; 2 – пробка наливного отверстия; 3 – датчик указателя уровня топлива;  
4 – фильтр-отстойник; 5 – топливный насос; 6 – фильтр тонкой очистки топлива;  
7 – карбюратор

Рис. 52 Карбюраторная система питания

В узком месте воздушного канала скорость воздуха существенно возрастает, а давление в потоке - снижается, что и является причиной истечения в эту область жидкого топлива. Необходимое соотношение между расходами воздуха и топлива поддерживается калиброванным отверстием топливного канала – топливным жиклёром, и обеспечением режима его работы.

Карбюраторная система работает следующим образом. Из топливного бака бензин механическим насосом диафрагменного типа подается к карбюратору по топливопроводу, который проходит под днищем автомобиля. По пути топливо проходит через фильтр тонкой очистки. Механический насос, применяемый на ДВС, диафрагменного типа. Он приводится в действие либо эксцентриком (кулачком) распределительного вала, либо эксцентриком, размещенным на валу привода масляного насоса и прерывателя-распределителя. Бензонасос имеет рычажок, выступающий из его корпуса наружу. Он предназначен для ручной подкачки топлива (например, при испарении бензина из карбюратора из-за длительного перерыва в эксплуатации)

**Воздушный фильтр**, расположенный сверху на карбюраторе, очищает воздух от пыли и других механических примесей перед поступлением его в карбюратор для последующего смешивания с бензином.

Соотношение воздух – топливо в топливовоздушной смеси (ТВС) оценивается **коэффициентом избытка воздуха -  $\alpha$** , который является основным показателем её качества и изменяется в соответствии с режимом работы двигателя.

Карбюраторы ДВС имеют следующие системы, предназначенные для оптимизации их работы:

- **пусковая система** (воздушная заслонка), позволяющая обеспечить подсос топлива даже при отсутствии потока воздуха (на запуске двигателя) через узкое сечение карбюратора;

- **система холостого хода**, обеспечивающая подсос топлива в необходимом количестве (и с соответствующим качеством его распыливания) на минимальном режиме работы ДВС, а также плавный переход на повышенные режимы работы двигателя;

- **главная дозирующая система**, обеспечивающая изменение коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  в пределах основных режимов эксплуатации двигателя в соответствии с идеальной характеристикой карбюратора;

- **экономайзер** – устройство, позволяющее обеспечить необходимое обогащение ТВС при переходе на режим максимальной мощности.

- **насос-ускоритель-система**, обеспечивающая подачу дополнительной порции топлива при резком увеличении расхода воздуха, что предотвращает внезапное обеднение ТВС и связанное с этим возможное выключение двигателя.

- **высотный корректор** – система, предназначенная для компенсации изменения коэффициента избытка воздуха с увеличением высоты за счёт изменения проходного сечения топливного канала.

В настоящее время используются карбюраторы с несколькими смесительными камерами (две или даже четыре). В таких карбюраторах создаются лучшие условия образования горючей смеси на всех режимах и наполнение ею цилиндров двигателя.

Постепенное усложнение конструкции карбюратора привело к тому, что этот узел системы питания выделился в некое самостоятельное устройство, требующее специальных приёмов и технологий при его настройке, профилактике и эксплуатации (см. рис. 53).

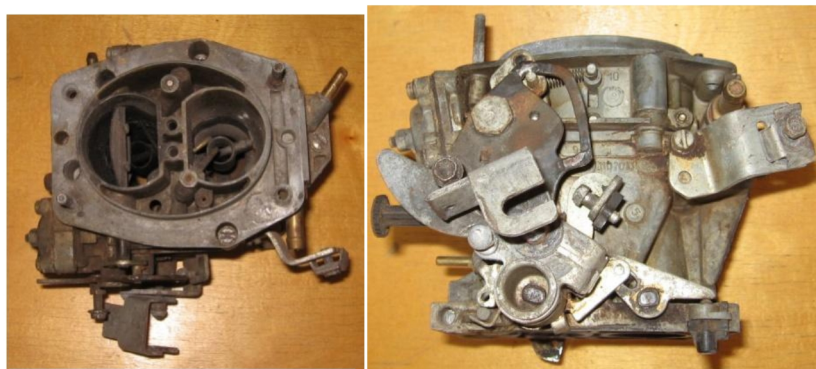


Рис. 53 Автомобильный карбюратор

Карбюраторы различаются в зависимости от направления потока воздуха, движущегося через смесительную камеру (с падающим, восходящим и горизонтальным потоком рабочей смеси) и по способу поддержания давления в поплавковой камере (сбалансированные и несбалансированные). Сбалансированными называются карбюраторы, у которых поплавковая камера сообщается с входным воздушным патрубком смесительной камеры, благодаря чему исключается влияние на состав смеси состояния воздушного фильтра карбюратора. В несбалансированных карбюраторах поплавковая камера сообщена непосредственно с атмосферой.

**Преимуществами карбюраторных систем питания** является их простота, надежность, хорошая ремонтпригодность, способность автомобиля перемещаться своим ходом при значительных неисправностях карбюратора, относительно меньшая требовательность к качеству топлива, легкость изменения регулировки состава смеси, а также относительно невысокая стоимость. **Недостатками этих систем питания** являются более высокий расход топлива по сравнению с системами впрыска, худшие пусковые характеристики двигателя при низких температурах, необходимость частых регулировок, а также невозможность использования нейтрализатора отработавших газов в системе выпуска.

Одной из основных причин недостатков карбюраторных систем питания является функциональная взаимосвязь расхода воздуха и расхода топлива,

заложенная в самом принципе работы карбюратора (подсос топлива потоком воздуха).

Всё это и привело к постепенному вытеснению карбюраторов в современном автомобилестроении схемами СТП с принудительным впрыском (инжекцией) бензина в поток воздуха, поступающего в двигатель. Следует отметить, что система непосредственного впрыска топлива в камеру сгорания, заполненную сжатым воздухом, заложена в принцип работы дизелей. Таким образом, постепенное развитие двигателей с искровым зажиганием приближает их к тому уровню, который был использован Рудольфом Дизелем при создании им своего первого варианта ДВС с воспламенением от сжатия воздуха.

В инжекторной системе подачи впрыск топлива в воздушный поток осуществляется специальными форсунками - инжекторами, которые подобно карбюратору в карбюраторной системе питания, являются основными элементами системы впрыска.

Существуют системы впрыска топлива с механическим и электронным управлением. В первых работой форсунок управляют механические устройства, во вторых - микроконтроллер. На современных ДВС используются электронные системы впрыска, позволяющие обеспечить значительную экономию топлива и сокращение вредных выбросов.

## ***7.2 Системы впрыска бензина***

В зависимости от способа образования топливно-воздушной смеси **системы впрыска бензина** делятся на:

- системы центрального впрыска;
- системы распределенного впрыска;
- системы непосредственного впрыска.

**Центральный впрыск** (моновпрыск) осуществляется одной форсункой для всех цилиндров, устанавливаемой во впускном коллекторе (рис. 54а).

**Система распределенного впрыска** (рис. 54б), иногда называемая многоточечной системой впрыска, выполняет подачу топлива на каждый цилиндр отдельной форсункой. Образование топливно-воздушной смеси происходит во впускном коллекторе.

Перспективной с точки зрения топливной экономичности является **система непосредственного впрыска**. В ней впрыск топлива осуществляется непосредственно в камеру сгорания каждого цилиндра. Иногда эту систему относят к системам распределенного впрыска (например, при делении систем впрыска на группы по месту впрыскивания).

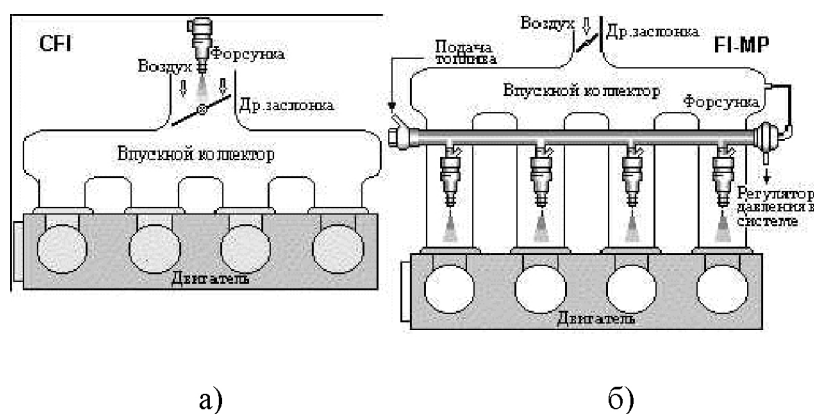


Рис.54. Системы центрального (а) и распределенного (б) впрыска

Системы с распределенным впрыском подразделяются на системы с **асинхронным впрыском**, в котором форсунка каждого цилиндра работает по отдельному алгоритму, и системы с **синхронным впрыском**, в которых все форсунки управляются одновременно, т.е. их управление осуществляется параллельно.

По организации работы форсунок впрыск делят на:

- **Одновременный** - все форсунки открываются одновременно.
- **Попарно-параллельный** - форсунки открываются парами, причём одна форсунка открывается непосредственно перед циклом впуска, а вторая перед тактом выпуска. В связи с тем, что за попадание топливно-воздушной смеси в цилиндры отвечают



клапаны, это не оказывает сильного влияния на изменение состава ТВС.

- **Фазированный впрыск** - каждая форсунка управляется отдельно, и открывается непосредственно перед тактом впуска. В современных двигателях в основном используется фазированный впрыск.

Первые механические системы впрыска, появившиеся еще в начале XX века и использовавшие принцип подачи топлива в цилиндр с помощью плунжерного насоса, не смогли конкурировать с более дешевыми карбюраторами. Однако ужесточение требований к экологическим характеристикам двигателей в конце прошлого столетия привело к тому, что производители двигателей были вынуждены заняться совершенствованием систем управления двигателем. С появлением электронных систем управления и связано стремительное развитие систем впрыска.

Вначале, на переходном этапе от использования карбюраторов к системам впрыска, использовался центральный впрыск. Такая система позволяла перейти на электронное управление топливоподачей без существенных изменений в конструкции двигателя. По сути, карбюратор заменялся одной топливной форсункой. Однако рост экологических требований привел к переходу на системы распределенного впрыска, в которых впрыск топлива в каждый цилиндр осуществлялся индивидуальной форсункой. Вначале, для выполнения экологических норм Евро-1 использовали одновременный впрыск. На рис. 55 показан пример для четырёхцилиндрового двигателя.

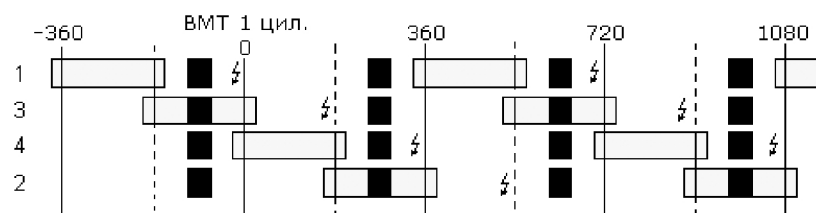


Рис. 55 Одновременный впрыск (на диаграмме работы серым обозначен впуск, черным - впрыск топлива, молнией - зажигание)

В нем за один рабочий цикл (два оборота коленчатого вала -  $720^0$ ) двигателя все 4 форсунки отработывают два раза одновременно.

Затем, для выполнения норм Евро-2 стали применять попарно-параллельный впрыск (иногда называют групповой впрыск) см. рис. 5.

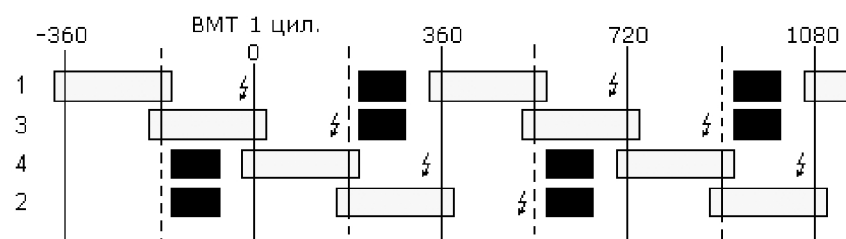


Рис. 56 Попарно-параллельный впрыск

В этих системах отсутствует датчик фаз газораспределения. За один рабочий цикл двигателя форсунки отработывают парами (1-3 и 2-4). Так как при этом невозможно определить, в каком из двух цилиндров поршни движутся к ВМТ в такте сжатия, а в каком в такте выпуска, то впрыск топлива производился одновременно в оба эти цилиндра.

В двигателях, предназначенных для выполнения норм Евро-3, благодаря установке датчика фаз стало возможным использование фазированного впрыска (иногда его еще называют последовательным) см. рис. 57, в котором впрыск топлива производится индивидуально по цилиндрам.

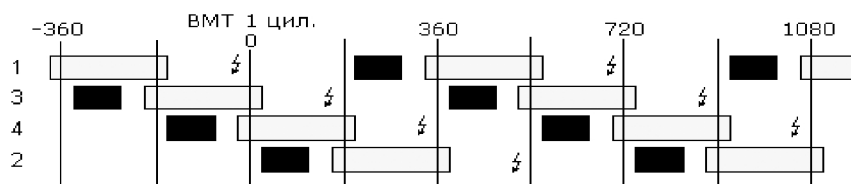


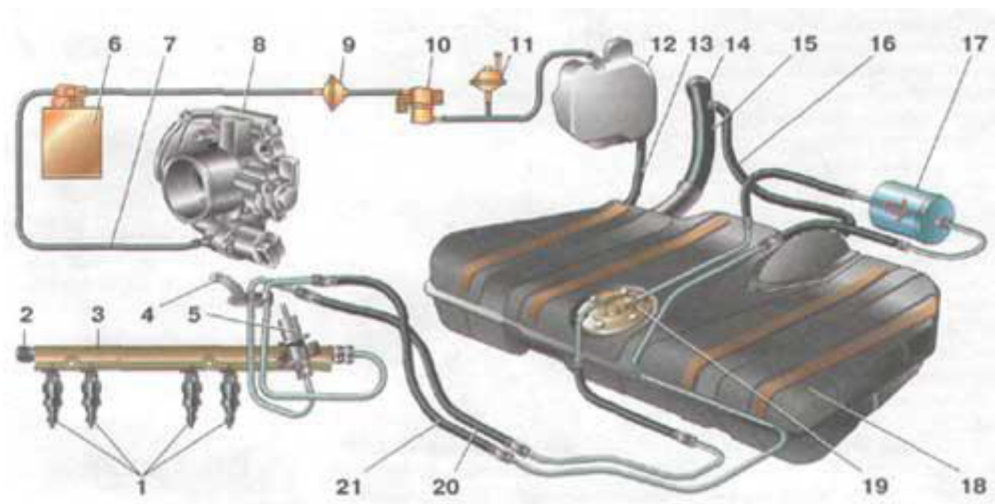
Рис. 57 Фазированный впрыск

Это позволило обеспечить максимальные возможности для оптимизации топливоподачи. Суммарное время впрыска на одновременном и попарно-параллельном способе одинаково, на фазированном - в два раза выше, т.к. время работы форсунки увеличено в 2 раза.

**Преимуществами систем впрыска топлива (инжекторных)** являются: стабильность регулировочных характеристик, хорошие пусковые характеристики двигателя, топливная экономичность, обеспечение лучших экологических характеристик двигателя. В связи с высокой точностью работы системы, улучшаются динамические и мощностные характеристики двигателя. Недостатками этих систем являются сложность их ремонта и диагностики в условиях вне мастерской, низкая ремонтпригодность и высокая стоимость элементов, потребность в высококвалифицированном обслуживающем персонале.

### ***7.3 Система питания двигателя с распределённым впрыском бензина***

На рис. 58. представлена система питания двигателя с распределенным впрыском топлива. Система работает следующим образом. Топливо подается из бака, установленного под днищем электрическим роторным бензонасосом погружного типа, установленным непосредственно в топливном баке. Развиваемое насосом давление - не менее  $3 \cdot 10^5$  Па. Бензонасос включается по команде контроллера системы впрыска при включенном зажигании. От насоса по гибкому шлангу топливо под давлением подается к фильтру тонкой очистки и далее - через стальные топливопроводы и резиновые шланги - к топливной рампе.



1 - форсунки; 2 - пробка штуцера для контроля давления топлива; 3 - рампа форсунок; 4 - кронштейн крепления топливных трубок; 5 - регулятор давления топлива; 6 - адсорбер с электромагнитным клапаном; 7 - шланг для отсоса паров бензина из адсорбера; 8 - дроссельный узел; 9 - двухходовой клапан; 10 - гравитационный клапан; 11 - предохранительный клапан; 12 - сепаратор; 13 - шланг сепаратора; 14 - пробка топливного бака; 15 - наливная труба; 16 - шланг наливной трубы; 17 - топливный фильтр; 18 - топливный бак; 19 - электробензонасос; 20 - сливной топливопровод; 21 - подающий топливопровод

Рис. 58 Схема питания двигателя с распределенным впрыском (ВАЗ-2111-2112)

Топливная рампа служит для подачи топлива к форсункам и закреплена на впускном коллекторе. С одной стороны на ней находится штуцер для контроля давления топлива, с другой - регулятор давления. Последний изменяет давление в топливной рампе - от  $(2,8 \text{ до } 3,2) \cdot 10^5$  Па в зависимости от разрежения в ресивере, поддерживая постоянный перепад между ними. Это необходимо для точного дозирования топлива форсунками. Регулятор давления топлива представляет собой топливный клапан, соединенный с подпружиненной диафрагмой. Под действием пружины клапан закрыт. Диафрагма делит полость регулятора на две изолированные камеры - "топливную" и "воздушную". "Воздушная" соединена вакуумным шлангом с ресивером, а "топливная" - непосредственно с полостью рампы. При работе двигателя разрежение, преодолевая сопротивление пружины, стремится втянуть диафрагму, открывая клапан. С другой стороны на диафрагму давит топливо, также сжимая пружину. В результате клапан открывается, и часть топлива стравливается через сливной трубопровод обратно в бак. При

нажатии на педаль "газа" разрежение за дроссельной заслонкой уменьшается, диафрагма под действием пружины прикрывает клапан - давление топлива возрастает. Если же дроссельная заслонка закрыта, разрежение за ней максимально, диафрагма сильнее оттягивает клапан - давление топлива снижается. Перепад давлений задается жесткостью пружины и размерами отверстия клапана, регулировке не подлежит. Форсунка представляет собой электромагнитный клапан, пропускающий топливо при подаче на него напряжения, и запирающийся под действием возвратной пружины при обесточивании. На выходе форсунки имеется распылитель, через который топливо впрыскивается во впускной коллектор. Управляет форсунками контроллер системы впрыска.

Основными элементами данной системы являются топливный насос и форсунка, внешний вид которых представлен на рис. 59 и рис. 60.



*Рис. 59 Электрический топливный насос погружного типа*



Рис. 60 Электромагнитная форсунка для впрыска бензина

Система питания двигателя с впрыском топлива работает под совместно с электронной системой управления ДВС, описание которой дано в соответствующем разделе данного пособия.

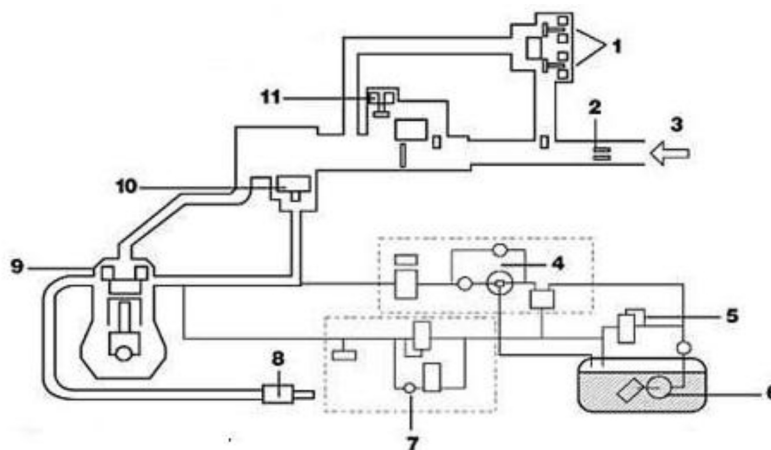
#### ***7.4 Система питания двигателя с непосредственным впрыском топлива (бензина)***

В последнее время появились системы непосредственного впрыска бензина (CHBT) (Gasoline Direct Injection (**GDI**)). Это инжекторные системы подачи топлива для бензиновых двигателей внутреннего сгорания с распределённым впрыском топлива, в которых топливо подается под большим давлением в камеру сгорания каждого цилиндра в противоположность стандартной системе распределённого впрыска топлива, где впрыск производится во впускной коллектор. Такие двигатели более экономичны (примерно на 15%), отвечают более высоким экологическим стандартам, однако являются более требовательными к качеству топлива. Впервые система непосредственного впрыска (рис. 61) была применена на двигателе GDI, устанавливаемом на автомобилях компании Mitsubishi (1996г). Система управления двигателями с непосредственным впрыском бензина в целом сходна с системой управления двигателями с впрыском во

впускной трубопровод. Основные отличия заключаются в конструкции отдельных элементов системы питания.

Топливный насос развивает более высокое давление (3...5 МПа) и является топливным насосом высокого давления (ТНВД). Форсунки высокого давления с вихревыми распылителями создают форму топливного факела, в соответствии с режимом работы двигателя. На мощностном режиме работы впрыск происходит на режиме впуска и образуется конический топливовоздушный факел. На режиме работы на сверхбедных смесях впрыск происходит в конце такта сжатия и формируется компактный топливовоздушный факел, который вогнутое днище поршня направляет прямо к свече зажигания. Поршень имеет днище особой формы с выемкой, при помощи которой топливо-воздушная смесь направляется в район свечи зажигания. Впускные каналы на двигателе GDI - вертикальные и обеспечивают формирование в цилиндре "обратного вихря", направляя топливовоздушную смесь к свече и улучшая наполнение цилиндров воздухом (у обычного двигателя вихрь в цилиндре закручен в противоположную сторону).

Система работает следующим образом. На холостом ходу и на средних оборотах поступающий через впускные каналы воздух отражается от днища поршня, в результате чего возникают его завихрения. Впрыскиваемое в конце такта сжатия топливо испаряется почти моментально и за счет выемки на поршне направляется к свече зажигания. В результате образуется неоднородная топливовоздушная смесь – богатая вблизи свечи зажигания, на «периферии» – беднее, а у стенок цилиндра остается почти чистый воздух. Несмотря на то, что в целом смесь в цилиндре получается сверхбедной, такое послойное распределение обеспечивает устойчивое и эффективное сгорание, а, следовательно, высокую экономичность и экологическую чистоту.



1 - соленоидные клапаны, 2 - датчик воздушного потока, 3 - впускной коллектор, 4 - топливный насос высокого давления, 5 - низковольтный регулятор, 6 - питающий насос, 7 - высоковольтный регулятор, 8 - нейтрализатор окислов азота, 9 - форсунка высокого давления, 10 - клапан рециркуляции выхлопных газов, 11 - клапан регулятор холостого хода

Рис. 61. Принципиальная схема системы GDI

При переходе на мощностной режим впрыск топлива происходит раньше, на такте впуска, а количество подаваемого топлива резко возрастает и примерно соответствует обычному распределенному впрыску. Третий, комбинированный режим работы непосредственного впрыска предназначен для того, чтобы увеличить крутящий момент на низких оборотах и добиться максимальной эластичности двигателя при ускорении на высокой передаче. В этом случае топливо впрыскивается в две стадии: сначала поступает небольшая доза на такте впуска, а большая часть – в конце такта сжатия. Мотор питается переобогащенной смесью.

### ***7.5 Основные неисправности системы питания бензиновых двигателей***

Рассмотреть все неисправности бензиновых систем питания в рамках данного пособия не представляется возможным, поэтому остановим свое внимание на основных неисправностях:

**1. Топливо не поступает в карбюратор (или в форсунку).** Одной из основных причин этой неисправности как в карбюраторных двигателях, так и в двигателях с впрыском, является поломка бензонасоса. В карбюраторных



двигателях дополнительными причинами могут быть: засорения вентиляционного отверстия бака, фильтра топливозаборника или фильтра тонкой очистки, жиклеров карбюратора. В двигателе с впрыском могут выйти из строя: микропроцессор, датчик оборотов коленвала, регулятор давления топлива и форсунки. Основной неисправностью здесь является отсутствие управляющего импульса на форсунках. Для устранения неисправности все упомянутые элементы системы питания следует последовательно проверить и заменить вышедшие из строя или промыть и поставить на место все то, что исправно. Другой причиной данной неисправности может являться не герметичность топливопроводов и их соединений.

**2. Двигатель глохнет на «холостом ходу».** У карбюраторного двигателя причиной может служить загрязнение жиклера холостого хода, подсос воздуха в цепи между дроссельной заслонкой и впускными клапанами (нарушение герметичности прокладок «карбюратор - впускной коллектор» и «впускной коллектор-головка цилиндров»), неисправностью экономайзера принудительного холостого хода и нарушении регулировки положения дроссельной заслонки. У двигателя с впрыском топлива одной из причин также может являться подсос воздуха (через клапан вентиляции картера, пусковое устройство и т.д.) или неправильное положение дроссельной заслонки (неисправность датчика положения дроссельной заслонки). Причиной этой неисправности в инжекторном двигателе также может быть низкое давление топлива. Для устранения неисправности - заменить негодные детали и выполнить регулировки.

**3. Двигатель не развивает полной мощности и (или) работает с перебоями.** У карбюраторных двигателей это происходит из-за неправильной регулировки карбюратора, нарушения уровня топлива в поплавковой камере, загрязнения топливных или воздушных фильтров, жиклеров или каналов. У двигателей с впрыском такая картина

свидетельствует о нарушениях в работе микропроцессора, отказе отдельных датчиков, нарушении работы форсунок. Может иметь место и неисправность регулятора давления топлива, в результате чего в системе не создается необходимого для работы впрыска давления топлива, т.к. большая его часть направляется в канал обратного слива. Для устранения неисправности надо заменить или промыть соответствующие детали, произвести необходимые регулировки.

**4. Подтекание** топлива может происходить по причине потери герметичности топливного бака, фильтра, насоса, карбюратора или соединений топливопровода. Для устранения неисправности следует подтянуть хомуты креплений топливных шлангов, заменить поврежденные прокладки и детали.

**5. Нарушение состава ТВС из-за ее переобогащения или переобеднения** в карбюраторных системах обычно является следствием неправильной регулировки карбюратора, засорением его каналов, а у систем впрыска - выходом из строя датчиков системы, неполадками микропроцессора и исполнительных механизмов (форсунок, регуляторов давления топлива). Для ликвидации неисправности необходимо отрегулировать карбюратор или восстановить работоспособность элементов системы впрыска и ее управления.

### ***7.6 Эксплуатация системы питания***

При эксплуатации системы питания необходимо постоянно следить за состоянием ее элементов и поддержанием их в исправном, работоспособном состоянии.

Топливный бак обычно не требует к себе особого внимания, если не имела место заправка некачественным бензином. Если это все-таки произошло необходимо снять бак с автомобиля и промывать его от грязи. Необходимо также следить за чистотой компенсационного отверстия в пробке топливного бака (или вентиляционной трубки) двигателя с

карбюраторной системой питания. В противном случае создается разрежение, которое не может преодолеть топливный насос и которое не позволяет бензину поступать в карбюратор.

Плохая подача бензина насосом карбюраторной системы питания (или отсутствие подачи) может происходить из-за загрязнения сетчатого фильтра, подсоса воздуха под неплотно прижатый к головке насоса стакан-отстойник, а также из-за засорения или неисправности клапанов, поломки пружины и повреждения (разрыва) диафрагмы. Загрязненные сетчатый фильтр или клапаны нужно вынуть из насоса, промыть в бензине и обдуть сжатым воздухом, неисправные клапаны заменить. Поврежденную диафрагму также следует заменить.

Правильно отрегулированный карбюратор готовит нормальную горючую смесь. Однако со временем его регулировки могут нарушиться, засоряются жиклеры и каналы, выходят из строя детали карбюратора, и в цилиндры может поступать обогащенная или обедненная смесь, что пагубно сказывается на работе двигателя. Так, если карбюратор готовит богатую смесь, то наблюдаются:

- черный дым и «выстрелы» из глушителя,
- повышенный расход топлива,
- потеря мощности двигателя,
- перегрев двигателя,
- разжижение масла в поддоне картера двигателя.

Если карбюратор готовит бедную смесь, то имеют место:

- «хлопки» в карбюраторе,
- потеря мощности двигателя,
- перегрев двигателя.

При обслуживании карбюратора проводят очистку наружной и внутренней поверхностей его корпуса, продувку сжатым воздухом жиклеров, топливных и воздушных каналов, проверку и регулировку уровня топлива в

поплавковой камере, проверку и, в случае необходимости, замену диафрагм карбюратора, а также регулировку оборотов холостого хода двигателя с помощью «Руководства по ремонту и эксплуатации» конкретного двигателя.

После каждой стоянки автомобиля, так как поплавковая камера карбюратора связана с атмосферой, бензин частично испаряется. При длительной стоянке он может испариться полностью, чтобы этого не произошло, перед запуском двигателя предварительно следует накачать бензин в поплавковую камеру карбюратора с помощью рычага ручной подкачки, который располагается в нижней части корпуса топливного насоса.

Соединения топливопроводов системы питания должно быть надежным, их нужно периодически проверять на наличие подтеканий, которые необходимо своевременно устранять.

Эксплуатация системы впрыска топлива также включает в себя постоянный контроль герметичности соединений трубопроводов и элементов системы. Другой стороной эксплуатации системы впрыска является соблюдение графика технического обслуживания, в ходе которого сканером или мотор тестером определяется исправность датчиков и исполнительных механизмов.

### ***Контрольные вопросы***

1. В системах впрыска бензина обычно устанавливаются топливные насосы:

- а) Механические;
- б) Погружного типа (правильно);**
- в) Диафрагменные.

2. В карбюраторах отсутствует:

- а) Система разгона (правильно);**
- б) Ускорительный насос;
- в) Пусковая система.

3. Карбюратор системы питания двигателей ВАЗ может иметь:
- а) Только одну смесительную камеру;
  - б) Две смесительные камеры (правильно);**
  - в) Две и более смесительных камеры.
4. По своей сути форсунка системы впрыска бензина представляет собой:
- а) Электромагнитный клапан (правильно);**
  - б) Пневматическую форсунку;
  - в) Трубку с пружинным клапаном.
5. Карбюраторы двигателей ВАЗ по направлению движения потока воздуха через смесительную камеру относятся:
- а) К карбюраторам с восходящим потоком;
  - б) К карбюраторам с горизонтальным потоком;
  - в) К карбюраторам с падающим потоком (правильно).**
6. Выход из строя топливного насоса карбюраторной системы питания при работе ДВС не может быть обусловлен:
- а) Разрывом диафрагмы;
  - б) Износом эксцентрика;
  - в) Износом шеек коленчатого вала (правильно).**
7. К выходу из строя бензонасоса системы впрыска может привести:
- а) Поездка с большими скоростями движения;
  - б) Поездка с практически пустым баком (правильно);**
  - в) Поездка с разряженной аккумуляторной батареей.
8. Состояние топливных фильтров:
- а) Не влияет на ресурс элементов системы питания;
  - б) Определяет исправность бензонасоса и других элементов системы питания (правильно);**
  - в) Влияет на расход топлива ДВС.
9. Наиболее жесткие требования к качеству бензина выдвигают:
- а) Системы распределенного впрыска бензина;

б) Системы центрального впрыска бензина;

**в) Системы непосредственного впрыска бензина (правильно).**

10. Основным условием правильной эксплуатации системы впрыска бензина является:

**а) Соблюдение графика технического обслуживания (правильно);**

б) Регулировки элементов системы;

в) Контроль состояния поверхности топливного бака.

## ЛЕКЦИЯ 8 СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВС

Наибольшее распространение в конструкции дизелей получили топливные системы разделённого типа, в которых топливный насос высокого давления (ТНВД) и форсунка соединены линией высокого давления – нагнетательным трубопроводом (см. рис. 62).

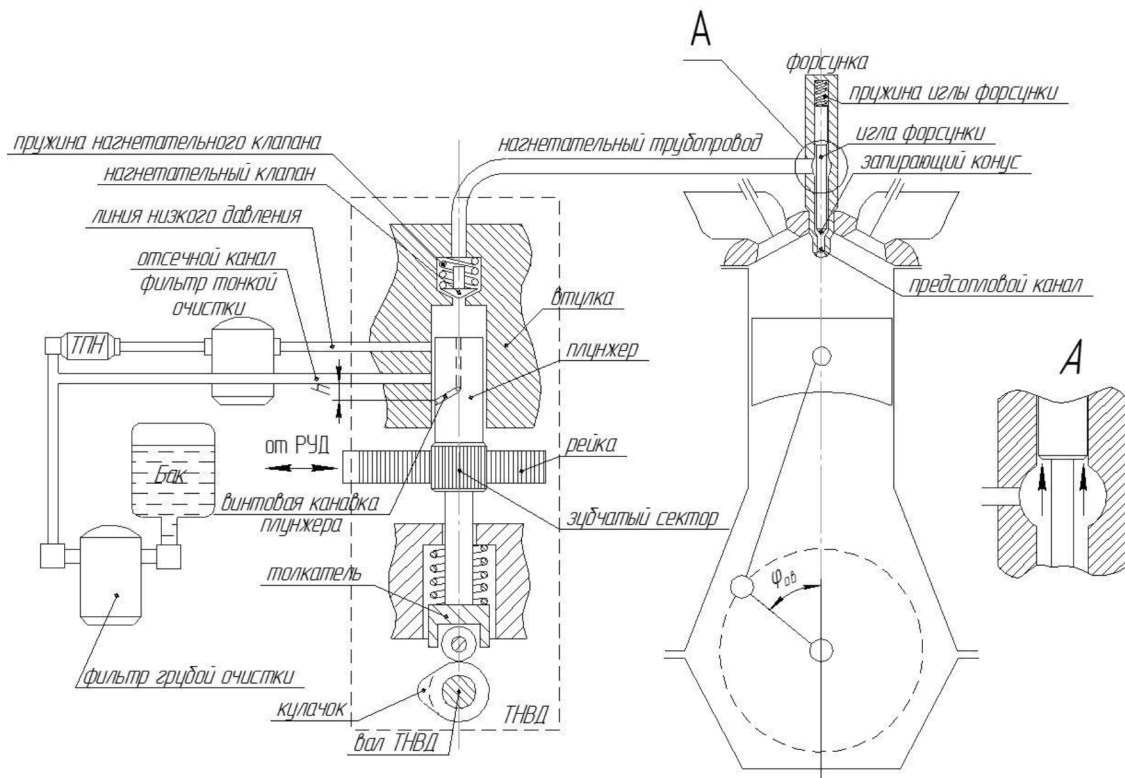


Рис. 62 Основные элементы СТП дизелей

Принцип работы такой системы следующий. Топливо из бака через фильтр грубой очистки топливоподкачивающим насосом (ТПН) через фильтр тонкой очистки подаётся в ТНВД. Наличие ТПН необходимо для преодоления повышенного гидравлического сопротивления фильтра тонкой очистки топлива, а этот фильтр необходим, поскольку основными элементами ТНВД и форсунки являются прецизионные пары с зазорами до 1 мкм.

Создание необходимого давления впрыска топлива и дозирование цикловой подачи выполняется золотниковой парой (плунжер - втулка) ТНВД. Плунжер движется во втулке поступательно под действием кулачка вала ТНВД через толкатель, который прижимается к кулачку пружиной. При движении плунжера вниз полость над ним заполняется топливом из линии

низкого давления (ЛНД). При его движении вверх часть топлива вновь вытесняется в ЛНД. Начиная с положения, показанного на рис. 62, плунжер перекрывает отверстие ЛНД во втулке и выполняет свой активный ход, когда происходит нагнетание топлива в линию высокого давления (ЛВД), соединяющую ТНВД с форсункой, через нагнетательный клапан с соответствующей пружиной.

Геометрически активный ход заканчивается, когда винтовая канавка плунжера, пройдя путь  $h$ , соединится с отверстием отсечного канала. Через сверление в плунжере (на рис. 1 показано пунктиром) канавка соединена с полостью над плунжером. Следовательно, в момент соединения винтовой канавки с отсечным отверстием в полости над плунжером резко снижается давление, и нагнетательный клапан перекрывает ЛВД.

При движении плунжера по пути  $h$  топливо через нагнетательный трубопровод поступает в форсунку. Под действием высокого давления игла форсунки (см. выноски А), преодолевая усилие пружины, поднимает запирающий конус, и топливо поступает в предсопловой канал и далее через сопловые отверстия в камеру сгорания. Происходит впрыск цикловой дозы топлива.

Величина этой дозы зависит от продолжительности активного хода плунжера  $h$ . Его регулирование (т.е. регулирование режима работы двигателя) происходит вращением плунжера вокруг своей оси с помощью зубчатого сектора, который приводится в движение зубчатой рейкой. Рейка, в свою очередь, приводится в движение рычагом управления двигателем (РУД), через регулятор частоты вращения вала дизеля.

Приведенное описание работы относится к одной секции ТНВД. Конструктивное исполнение такой секции показано на рис. 63.

В классической схеме СТД дизелей используются **многоплунжерные ТНВД**, когда каждый цилиндр двигателя обслуживает отдельная секция насоса. Очевидно, что в двигателях с большим числом цилиндров такая



схема приводит к значительному удорожанию ТНВД, из-за наличия большого числа прецизионных пар, и к увеличению разброса цикловых подач по цилиндрам из-за невозможности соблюдения абсолютной идентичности этих пар.

Для ликвидации этих недостатков были разработаны **ТНВД распределительного типа**, в которых одна плунжерная пара выполняет функции и подачи топлива под высоким давлением в форсунки, и распределения цикловых подач по цилиндрам двигателя. Проблемы, указанные выше, были ликвидированы, но повысился износ прецизионной пары из-за увеличения частоты её срабатывания. В связи с этим во всех фирмах, производителях топливной аппаратуры для дизелей, практически сохранён выпуск многоплунжерных ТНВД, наряду с выпуском более совершенных распределительных насосов. Немаловажную роль здесь играет цена аппаратуры. Дело в том, что её стоимость достигает 30% стоимости двигателя, а дальнейшее её усовершенствование приводит к всё большему усложнению и доводит долю в стоимости двигателя до 50% и даже выше.

Одно из основных направлений развития систем топливоподачи дизелей - неизменное повышение давления впрыска топлива в камеру сгорания (в современных дизелях до 200 МПа и выше). Экспериментальные данные показывают, что при повышении давления впрыска неуклонно снижаются выбросы сажи и вредных составляющих выхлопных газов. В отдельных СТП наличие нагнетательного трубопровода ограничивает движение в этом направлении, т.к. при цикличности подачи топлива и высоком давлении в трубопроводе возникают волновые процессы, связанные с упругими деформациями трубы и сжимаемостью топлива. Появление прямых и отражённых волн нарушает запланированную закономерность подачи топлива в камеру сгорания, что негативно отражается на организации процесса горения и в целом на работе дизеля.

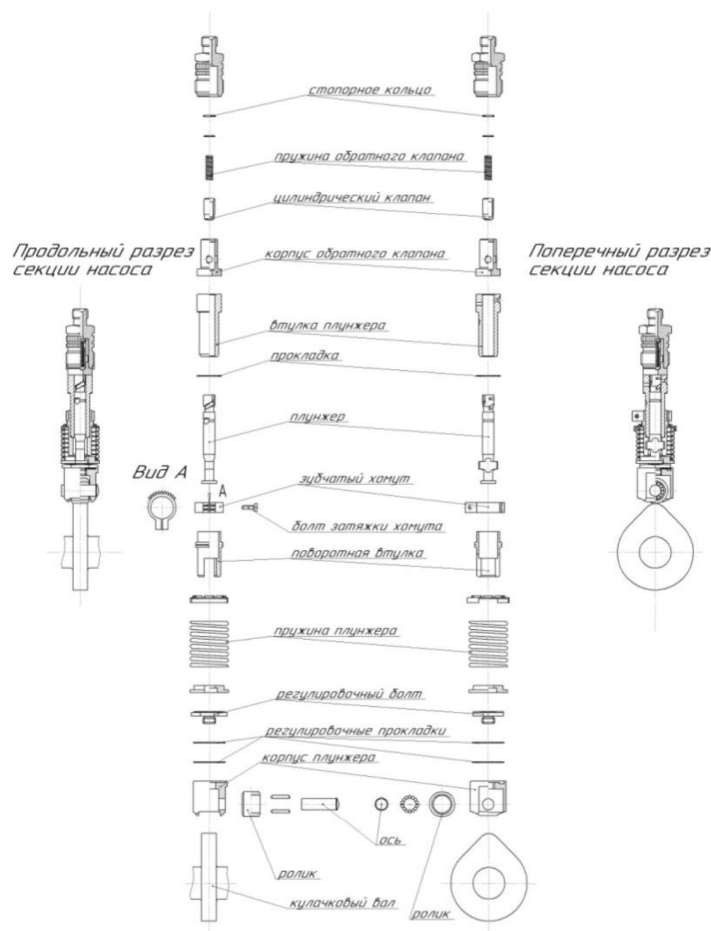


Рис. 63 Секция ТНВД дизеля.

Избежать указанного недостатка удаётся в конструкции получившей название **насос - форсунка**, в которой ликвидирована линия высокого давления и нагнетательный клапан, что существенно упростило конструкцию топливоподающей аппаратуры.

До сравнительно недавнего времени разрабатывались и выпускались в основном насос - форсунки механического типа, которые наряду с перечисленными достоинствами имели ряд недостатков, связанных с их габаритами и сложностью компоновки привода и реечного управления на головке блока цилиндров.

В настоящее время ведущими фирмами, производителями топливной аппаратуры для дизелей выпускаются насос - форсунки с электромагнитными клапанами (рис. 64) для управления цикловой подачей и углом опережения впрыскивания топлива. Наличие такого клапана позволяет

использовать современное электронное управление топливоподачей. При движении плунжера ЭМК остаётся открытым за исключением промежутка времени, когда из блока управления подаётся команда на впрыск топлива в цилиндр. Продолжительность закрытого состояния обеспечивает величину цикловой подачи, а момент срабатывания - угол опережения впрыска. Появление ЭМК увеличило количество достоинств насос - форсунок и уменьшило количество их недостатков, что сделало этот тип топливной аппаратуры весьма перспективным, тем более что именно в таких конструкция достигаются предельные значения давлений впрыска (до 200 МПа).

Появление электронного управления топливоподачей вдохнуло новую жизнь и в известные уже около века **аккумуляторные системы**. Современный вариант такого рода СТП, названный «**Common Rail**» - общий путь (см. рис. 65), включает в себя кроме насосов, фильтров и гидроаккумулятора, электрогидравлические форсунки, которые могут работать по командам электронного блока управления, и систему датчиков, передающую информацию о работе двигателя в блок управления. Принцип работы такой системы аналогичен работе СТП с впрыском бензина во впускной трубопровод и электронном управлении этим процессом.

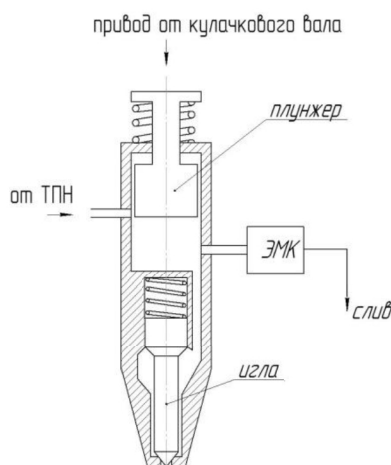
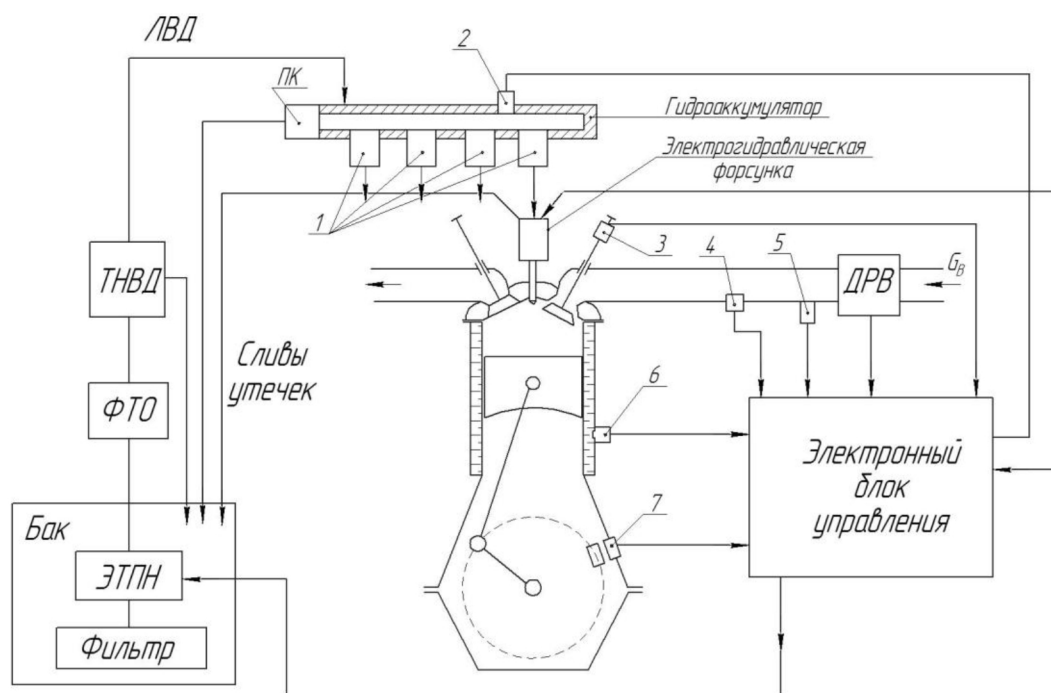


Рис. 65 Схема насос – форсунки с электромагнитным клапаном отсечки

ТНВД с помощью предохранительного клапана поддерживает постоянное на всех режимах работы двигателя давление в аккумуляторе, а величина цикловой подачи топлива и угол опережения его впрыска регулируются моментом и продолжительностью открытия форсунки. Аварийный ограничитель подачи топлива необходим для отключения форсунки в случае её разгерметизации (например, зависания иглы) и поддержания в работоспособном состоянии остальных цилиндров двигателя. Очевидным преимуществом такой СТП является отсутствие реечного механизма регулирования режима работы двигателя и освобождение ТНВД от функции регулирования величины цикловой подачи. Наличие электронного блока управления даёт все преимущества, которые имеет система управления с повышенной информативностью.



ДРВ – датчик расхода воздуха, ЭТПН – электрический топливонасос; 1 – аварийный ограничитель подачи, 2 – датчик давления топлива, 3 – датчик такта, 4 – датчик температуры топлива, 5 – датчик давления воздуха, 6 – датчик температуры охлаждающей жидкости, 7 – датчик частоты вращения и положения коленвала

Рис. 66 Принципиальная схема СТП типа «Common Rail»

Дизельный двигатель работает с более высокими степенями сжатия, чем бензиновый двигатель, поэтому давление впрыска топлива у дизеля

выше, чем у системы впрыска бензина. В среднем у дизеля с плунжерным ТНВД оно около 60 МПа и выше, у дизелей с ТНВД распределительного типа около 120 МПа, в аккумуляторных системах до 140 МПа, а в системах с насос-форсункой до 160 МПа.

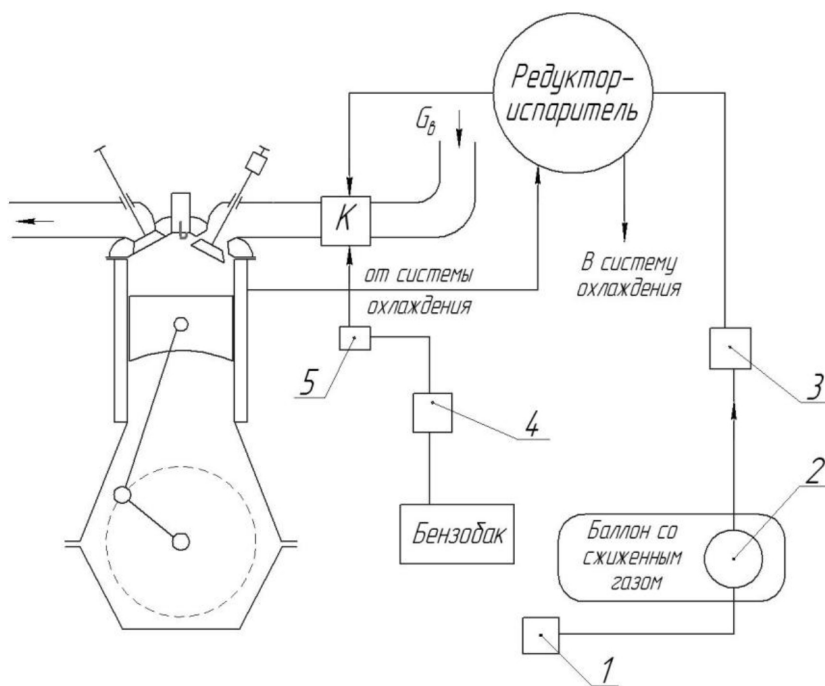
### ***8.1 Системы топливоподачи ДВС, работающих на газообразном топливе***

Двухтопливные системы топливоподачи для двигателей с искровым зажиганием работают под большим давлением, под которым газ находится в баллонах, поэтому в системах нет никаких насосов для подачи газа, но, с другой стороны, в их составе обязательно имеются редукторы для понижения давления газа и подогреватель для предотвращения замерзания конденсата водяных паров, которые всегда присутствуют в газе. Как правило, системы топливоподачи таких двигателей выполняются двухтопливными, поскольку в качестве резервной имеют и систему питания двигателя бензином. Последняя предназначена для запуска двигателя в холодное время и для движения автомобиля с малой скоростью на небольшие расстояния в экстренных случаях.

К другому типу систем относится **система питания двигателя сжиженным нефтяным газом (пропан-бутановой смесью)**. В нашей стране для перевода двигателя на газообразное топливо используются комплекты газовой аппаратуры, разработанные несколькими фирмами. Рассмотрим наиболее употребляемое оборудование ЗАО «Автосистема» (см. рис. 67)

Баллон для сжиженного газа вместе с заправочным устройством 1 и блоком запорно-предохранительной арматуры 2 размещается в багажнике (в легковом автомобиле) или на внешней подвеске (для автобусов и грузовых машин). От блока 2 газ по газопроводу поступает в подкапотное пространство и через электромагнитный клапан-фильтр 3, редуктор-испаритель попадает в карбюратор (или впускной трубопровод для

инжекторной СТП), оснащенный смесителем газа с воздухом. Подогрев и испарение газа происходит за счёт тепла рабочего тела системы охлаждения двигателя, с которой редуктор-испаритель соединён соответствующими рукавами. При запуске, когда температура рабочего тела в системе охлаждения не превышает  $60^{\circ}\text{C}$ , газ из баллона отбирается через расходный вентиль газовой фазы, т.е. из паровой подушки. После прогрева рабочего тела до  $60^{\circ}\text{C}$  и выше в блоке 2 указанный вентиль закрывается и включается вентиль расхода жидкой фазы. Длительная работа только на паровой фазе не допускается, поскольку это приводит к переохлаждению жидкой фазы, что может вызвать замерзание примесей воды и тяжёлых углеводородов. Резервная (бензиновая) СТП включается или отсекается электромагнитным клапаном 5 одновременно с отсечкой или включением газовой СТП клапаном 3. Переход с бензина на газ и наоборот выполняется без остановки автомобиля из кабины водителя.



К – карбюратор; 1 – заправочный клапан, 2 – блок запорно-предохранительной арматуры, 3 – электромагнитный клапан – фильтр, 4 – бензонасос, 5 – электромагнитный клапан

Рис. 67 Система питания ДВС сжиженным нефтяным газом

Управление электромагнитными клапанами и другими электрическими элементами, являющимися составными частями газобаллонного

оборудования, осуществляет электронный блок управления. Эти блоки выпускаются нескольких модификаций, различающихся набором функций. Наиболее полная модификация имеет переключатели видов топлива, обеспечивает управление газовыми и бензиновыми клапанами в процессе запуска двигателя, а также управление углом опережения зажигания  $\varphi_{03}$  и мощностью искрового разряда. При переходе с бензина на газ и то, и другое приходится увеличивать из-за более высокой температуры воспламенения и более низкой скорости сгорания газо-воздушных смесей.

### ***8.2 Система питания двигателя компримированным природным газом***

(КПГ) имеет несомненное преимущество перед СНГ, прежде всего потому, что СНГ является продуктом нефтяного происхождения, т.е. его ресурсы весьма ограничены. Кроме того, КПГ имеет и некоторые дополнительные преимущества, которые наиболее отчётливо проявляют себя при эксплуатации ГБА:

- сжатый природный газ легче воздуха в 1,6 раза, т.е. при утечке он улетучивается в атмосфере, тогда как СНГ, имея плотность в 1,5...2 раза выше, чем воздух, при утечке может накапливаться в помещении, образуя с воздухом взрывоопасную смесь;

- нижний предел воспламенения КПГ в смеси с воздухом - примерно 5% от объёма, в то время как у пропана он составляет 2,4%, у бутана - 1,8%. Таким образом, КПГ менее взрывоопасен.

- при работе на КПГ не нужно периодически сливать из системы маслянистый конденсат, поскольку он в этой системе не образуется;

при работе на КПГ двигатель выбрасывает существенно меньше вредных веществ ( $\text{CO}$  и  $\text{C}_x\text{H}_y$ ).

Научно-производственная фирма «САГА» и Пермское авиационное объединение «ИНКАР» разработали и внедрили в производство автомобильную газовую топливную систему «САГА-7» для использования

КПП (см. рис. 68). Эту систему можно устанавливать на любые модели легковых автомобилей отечественного и иностранного производства при рабочем объёме двигателя до 4,5 л.

Количество баллонов в данной системе зависит от мощности двигателя и величины той части багажника, которую владелец автомобиля согласен выделить для их размещения. На схеме (рис. 6) представлена система с тремя баллонами 1, запас газа, в которых обеспечивает пробег легкового автомобиля около 250 км.

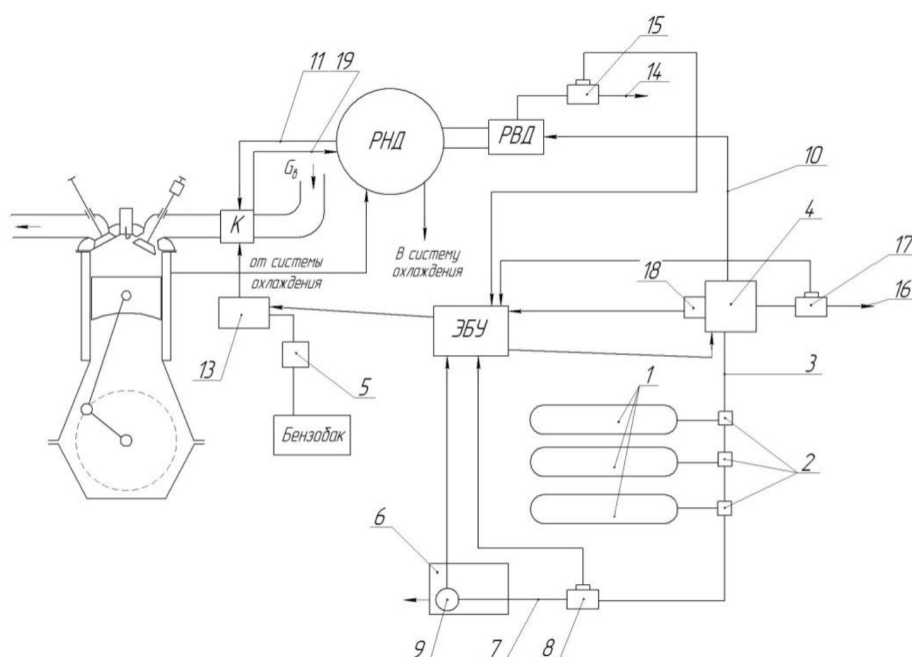
Каждый баллон снабжён собственным вентилем 2 и дополнительными предохранительными устройствами, предотвращающими возможность его разрыва. Вентиль имеет дренажные каналы, по которым газ, в случае утечки, выводится через гибкий гофрированный шланг 7 за пределы автомобиля. В шланг вмонтирован датчик 8, сигнализирующий об утечке газа. Все баллоны заправляются одновременно через заправочное устройство 6, в котором также имеются дренажные каналы для отвода газа в случае его утечки. В корпусе заправочного устройства размещены: фильтр, заправочный вентиль и датчик 9 блокировки запуска двигателя, сигнал которого передаётся в электронный блок. Запуск прекращается, если заправочный шланг газонаполнительной компрессорной станции не отсоединён от заправочного устройства СТД двигателя.

Предусмотрена возможность работы двигателя на КПП или на бензине. Переход на другой вид топлива осуществляется из кабины водителя трёхпозиционным (бензин - 0 - газ) переключателем, который через электронный блок управляет электромагнитными клапанами, соответственно бензиновым 13 и газовым 4. Штатный указатель уровня бензина на приборном щитке в кабине водителя при работе на газе показывает давление газа в баллонах, о котором сигнализирует датчик 18.

При работе на КПП газ по трубопроводу 3 поступает в подкапотное пространство и через электромагнитный клапан с фильтром 4 по линии



высокого давления 10 попадает в редуктор высокого давления (РВД), вмонтированный в редуктор-подогреватель низкого давления (РНД). РВД понижает давление газа с 20 до 0,5... 1,2 МПа. Его обогрев происходит теплоотдачей от РНД. Для интенсификации этого процесса РВД выполнен из латуни. Обратная связь РНД с двигателем (корректировка работы редуктора по режиму работы двигателя) происходит через «вакуумный» канал 19.



1 – газовые баллоны; 2 – вентиль-предохранитель; 3, 10 – линия высокого давления; 4 – газовый электромагнитный клапан; 5 – бензонасос; 6 – Запорное устройство; 7, 14, 16 – дренаж утечек газа; 8, 15, 17 – датчики утечек газа; 9 – датчик блокировки запуска двигателя; 11 – линия низкого давления; 13 – бензиновый электромагнитный клапан; 18 – датчик давления газа в баллонах; 19 – обратная связь по разрежению в карбюраторе

РНД – редуктор низкого давления; РВД – редуктор высокого давления; К – карбюратор

Рис. 68 Система питания ДВС компримированным природным газом

После трёхступенчатого редуцирования (первая в РВД и две ступени в РНД) газ по линии низкого давления 11 поступает в смеситель карбюратора и затем в двигатель. Смесители в этих системах не отличаются от смесителей, применяемых в системах питания СНГ.

Кроме багажного отделения (датчик 8), контроль за возможными утечками газа выполняется в электромагнитном клапане (датчик 17) и в РВД (датчик 15). Каждый из этих датчиков устанавливается на соответствующем дренажном канале 7, 16, 14, с помощью которых утечки газа выводятся за пределы автомобиля. Сигналы о наличии утечек по линиям «багажник», «клапан», «редуктор» предаются на одноимённые входы в электронный блок, в котором предусмотрена звуковая и световая сигнализация о наличии и месте утечек.

Электронный блок связан с катушкой зажигания и датчиком-распределителем зажигания, поскольку включает в себя корректор угла опережения зажигания. Коррекция необходима при переходе с одного вида топлива на другой, причём с учётом режима работы двигателя. На низких режимах  $\varphi_{03}$  для газа больше, чем для бензина, на высоких - наоборот.

Кроме перечисленных выше, электронный блок выполняет ещё две функции: автоматическое выключение газового клапана при остановке двигателя и автоматический контроль исправности самого блока. В случае неисправности подаётся сигнал «отказ».

### ***8.3 Системы топливоподачи газодизельных двигателей***

Непосредственное использование газообразных топлив в дизелях без дополнительной свечи зажигания возможно только при степени сжатия  $\varepsilon = 22$  и более, поскольку эти топлива имеют высокую температуру самовоспламенения (примерно равную и даже выше, чем у бензина). Поэтому при конвертировании дизеля в газодизель решаются две основные задачи:

1. Выбор и реализация способа воспламенения ТВС в цилиндре двигателя;
2. Разработка системы регулирования подачи газа при изменении нагрузочного режима.

Экспериментальные исследования показали, что есть возможность применить **воспламенение от сжатия**, как и в базовом дизеле при непосредственном впрыске в цилиндр **сжиженного газа**. В этом случае двигатель используется в своём исходном варианте, а конструктивные изменения вносятся только в СТП. Поскольку теплотворность сжиженного газа выше, чем у дизельного топлива (45...50 МДж/кг и 42 МДж/кг соответственно), а плотность - ниже (546...600 кг/м<sup>3</sup> и 830...860 кг/м<sup>3</sup> соответственно), то расчётами приходится проверять возможность базового ТНВД обеспечить изменённую величину цикловой подачи сжиженного газа. Если при максимальном ходе плунжера получается потребный диаметр плунжера больше базового, приходится в насосе устанавливать новые плунжерные пары. Кроме того, для сохранения неизменной суммарной площади распыливающих отверстий форсунок  $f_c$ , приходится увеличивать продолжительность впрыска  $\tau_e$  либо, наоборот, для сохранения величины  $\tau_e$  - увеличивать  $f_c$ . Рациональные значения этих параметров окончательно устанавливают в процессе доводки газовой модификации двигателя.

Для предотвращения повышенного износа прецизионных пар, обусловленного тем, что вязкость пропан-бутановых смесей примерно в 10...20 раз ниже вязкости дизельного топлива, в сжиженный газ вводят 5...10% этого топлива или моторного масла. И то, и другое хорошо растворяется в сжиженном газе, что попутно даёт эффект улучшения воспламеняемости ТВС.

Некоторые узлы СТП дизеля во время работы заметно разогреваются, поэтому при использовании в качестве топлива сжиженного газа в магистралях системы возможно образование паровых пробок. Возникновение таких пробок можно предотвратить, охлаждая топливную магистраль на входе в ТНВД. В качестве хладагента используют тот же сжиженный газ.

На рис. 7 показана схема СТГ с впрыскиванием в цилиндры сжиженного газа, в которой учтены изложенные особенности. Сжиженный газ из бака по трубопроводу 2 поступает в ТНВД 9, откуда по линиям высокого давления 10 направляется к форсункам. По пути следования к нему в смесителе 5 через форсунку 6 добавляется дизельное топливо (либо моторное масло), которое подаётся из бака односекционным насосом 8. Некоторая часть сжиженного газа через клапан 4 поступает в теплообменник 3 для охлаждения магистрали 2. Клапан 4 кроме включения магистрали охлаждения выполняет и функцию регулятора расхода этой части газа, которая после теплообменника сбрасывается во впускной канал двигателя. Закольцовка 11 линии низкого давления обеспечивает циркуляцию жидкого газа для удаления возможных пузырьков пара и выравнивания температурного режима системы, что стабилизирует процесс подачи топлива и улучшает условия запуска двигателя. Сжиженный газ, просочившийся через зазоры плунжерных пар, с помощью отсасывающего устройства также отводится во впускной трубопровод. Требуемый режим работы задаётся рычагом управления 1.

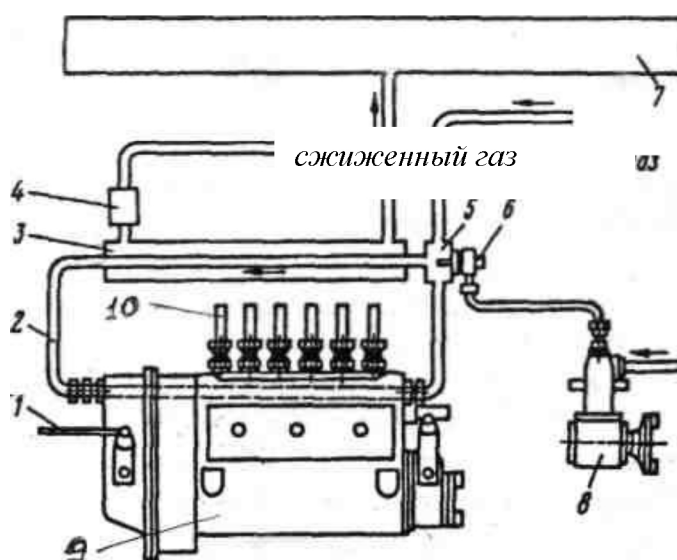


Рис. 69 Схема подачи в цилиндры дизеля сжиженного газа

Следует отметить, что СТГ с впрыском газа в цилиндры в жидкой фазе достаточно сложны. Более просты системы, в которых газ, находящийся в баке в сжиженном или сжатом состоянии, подаётся в двигатель в газовой

фазе. Но в этом случае, как уже было сказано выше, приходится решать задачу принудительного воспламенения ТВС.

Разработаны конструкции, реализующие следующие типы воспламенения:

- а) принудительное воспламенение от электрической искры;
- б) форкамерно-факельное зажигание;
- в) самовоспламенение от запальной дозы дизельного топлива.

#### ***8.4 Основные неисправности системы питания дизельного двигателя***

Система питания дизельного двигателя, как правило, является основной причиной его отказов. Наиболее часто встречаются следующие неисправности дизелей:

##### **1. Отказ топливоподающей аппаратуры**

Причина чаще всего кроется либо в недостаточном качестве изготовления и монтажа ТНВД и форсунок, либо в их износе, или в повышенной загрязнённости топлива механическими примесями и водой. При износе прецизионных пар: плунжер-втулка ТНВД и игла-корпус форсунки понижается давление впрыска топлива (т.е. и величина цикловой подачи) и ухудшается качество его распыливания. Кроме того, постепенное изменение геометрии трущихся пар может привести к заклиниванию плунжера насоса, к зависанию иглы форсунки и разгерметизации по её запирающему конусу. Некачественное изготовление и загрязнение топлива ускоряют эти процессы. Дефекты устраняются заменой узлов, вышедших из строя.

В современных дизельных двигателях с отказом топливоподающей аппаратуры могут быть обусловлены выходом из строя элементов электронной системы управления.

### **3. Отложение нагара и лаковых пленок на форсунках и элементах системы топливоподачи**

Как правило, является следствием использования некачественного топлива или нарушения сроков выполнения отдельных регламентных работ. Нагар увеличивает теплонапряжённость работы форсунки, что способствует окислению топлива в её каналах и лакообразованию. Лаковые плёнки изменяют проходные сечения и ухудшают подвижность прецизионных пар. Продукты окисления топлива (смолы) засоряют всю СТП, особенно фильтры, что снижает ее ресурс. Устраняется чисткой системы и ее элементов, либо их заменой при утрате ими свойства работоспособности.

#### ***8.5 Эксплуатация систем питания дизельных двигателей***

Современные двигатели, в том числе и дизельные достаточно надежны, поэтому их отказы обычно связаны с тяжелыми условиями эксплуатации, пробегами, превышающими назначенный заводом ресурс или нарушениями правил эксплуатации. Последняя причина зачастую является основной. Первая и самая главная причина всех бед — невыполнение регламента эксплуатации. Так, зубчатый ремень привода ГРМ и ТНВД обычно надо заменять не реже чем через 60 тыс. км при условии отсутствия на нем масла. Если масло попало на ремень, необходимо сразу выполнить его замену. Необходимо также постоянно следить за топливной системой, например, периодически сливать отстой из топливного фильтра, отворачивая сливную гайку. Топливный бак рекомендуется промывать два раза в год, весной и осенью, полностью его снимая. Это объясняется качеством дизельного топлива на некоторых заправках. Не надо осуществлять пуск дизеля на несоответствующем сезону топливе. Так, если в баке летняя солярка, а температура атмосферного воздуха  $-10^{\circ}\text{C}$ , попытки пуска бессмысленны, так как уже при  $-5^{\circ}\text{C}$  летнее топливо теряет текучесть. Детали топливной аппаратуры, которые смазываются топливом, в его отсутствие испытывают сухое трение, что ведет к их повреждению. Не стоит пускать дизель с

буксира если привод ТНВД осуществляется ремнем. Исправный дизель заводится без дополнительных средств подогрева до  $-20^{\circ}\text{C}$ . Если этого не происходит, не нужно разбавлять солярку бензином, так как износы топливной аппаратуры из-за ухудшения смазки и самого двигателя из-за нарушения процесса сгорания резко возрастают.

По статистике примерно 50% неисправностей и поломок топливной аппаратуры дизелей вызываются качеством топлива, даже при небольших отличиях содержания серы и цетанового числа от рекомендуемых. Однако в этих случаях износ и повреждения деталей топливной системы происходят не столь быстро, как при наличии воды в топливе.

Износ распылителей форсунок или их загрязнение приводит к появлению черного дыма на выхлопе и увеличению расхода топлива. При нормальной эксплуатации ресурс распылителей обычно составляет 50...80 тысяч километров. Длительная эксплуатация двигателя с неисправными форсунками ведет к прогару форкамер, а иногда и поршней. Износ плунжерных пар ТНВД обычно сопровождается затруднением пуска горячего двигателя.

Подводя итог, отмечаем, что залогом успешной эксплуатации системы питания дизельного двигателя являются: заправка качественным топливом и своевременное соблюдение требований по техническому обслуживанию.

### ***Контрольные вопросы***

1. Не существует топливных насосов высокого давления:
  - а) Многоплунжерных;
  - б) Распределительного типа;
  - в) Предварительной подкачки (правильно).**
2. Основными элементами системы питания дизельных двигателей, обеспечивающими их работоспособность являются:
  - а) Топливный насос высокого давления и форсунка (правильно);**

- б) Качественное дизельное топливо и воздушный фильтр;
- в) Состояние топливных магистралей и качество фильтров.

3. Основой успешной эксплуатации дизельного двигателя является:

**а) Заправка качественного дизельного топлива и своевременное техническое обслуживание (правильно);**

- б) Соблюдение скоростных режимов движения автомобиля;
- в) Не допускание перегрузки транспортного средства.

4. Выход из строя электронной системы управления не ведет к отказу:

- а) Насос-форсунки;
- б) Аккумуляторной системы;

**в) Многоплунжерного ТНВД (правильно).**

5. Самое большое давление впрыска дизельного топлива имеет место:

- а) В плунжерной системе;
- б) В системе с ТНВД распределительного типа;

**в) В насос-форсунке (правильно).**

6. Применение некачественных топливных и масляных фильтров у дизельных двигателей в первую очередь выводят из строя:

**а) ТНВД (правильно);**

- б) Форсунку;
- в) Топливные магистрали.

7. Линия высокого давления не может быть повреждена:

- а) В системах с многоплунжерным ТНВД;
- б) В системах с ТНВД распределительного типа;

**в) В насос-форсунках (правильно).**

8. Неудовлетворительное состояние ремня ГРМ в дизельном двигателе может привести:

**а) К выходу из строя ТНВД (правильно);**

- б) К выходу из строя форсунки;
- в) отказу блока управления двигателем.



9. Наиболее быстро топливная система дизельного двигателя получает повреждения при наличии в топливе:

- а) Серы;
- б) Воды (правильно);**
- в) Депрессорных присадок.

10. Отказ форсунки дизельного двигателя не может быть вызван:

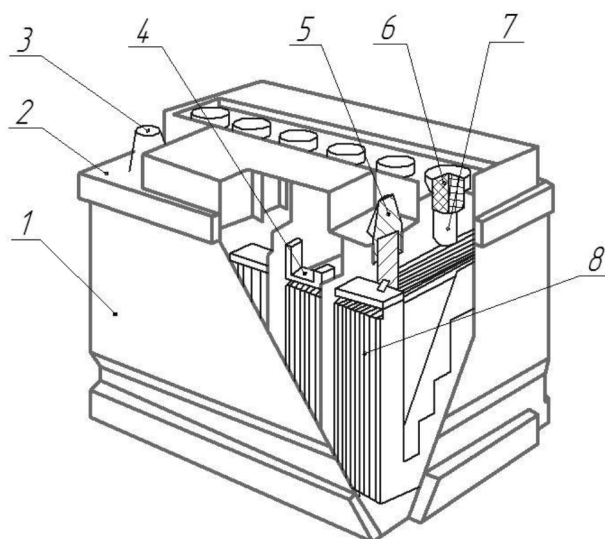
- а) Отложением нагара;
- б) Содержанием механических примесей в топливе;
- в) Выходом из строя ТНВД (правильно).**

## **ЛЕКЦИЯ 9 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЯ. ИХ НЕИСПРАВНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ**

### *9.1 Источники электроэнергии для автомобиля*

ДВС имеет те же источники электроэнергии, что и автомобиль: **аккумуляторную батарею и генератор.**

**Аккумуляторная батарея** предназначена для питания потребителей электрическим током при неработающем двигателе, а также при его работе на малых оборотах. На большинстве автомобилей она расположена в моторном отсеке автомобиля на специальной полке. Минусовая клемма аккумуляторной батареи соединена с «массой» (кузовом) автомобиля, а плюсовая с электроцепями потребителей тока. В ДВС аккумуляторная система обеспечивает работу системы зажигания и системы пуска. Общий вид аккумуляторной батареи показан на рис. 70.



1 - корпус; 2 - крышка; 3 - «плюсовая» клемма; 4 - один из шести аккумуляторов;  
5 - «минусовая» клемма; 6 - пробка; 7 - заливное отверстие; 8 - пластины аккумулятора

Рис. 70 Аккумуляторная батарея:

Большинство современных аккумуляторных батарей конструктивно состоят из шести аккумуляторов, расположенных в одном корпусе и соединенных последовательно в единую электрическую цепь. Наиболее распространенные в настоящее время аккумуляторы обеспечивают напряжение в 12 вольт постоянного тока. Мощность аккумуляторной батареи зависит от модели автомобиля. Для отличия типа аккумуляторных батарей они имеют маркировку в виде нанесенных на батарею обозначений. Эти обозначения позволяют определить основные параметры батареи: емкость, ток холодного запуска, тип корпуса, дату и место производства. На территории России используется маркировка аккумуляторных батарей согласно ГОСТ и DIN (ГОСТ 959-91, ГОСТ 29111-91 и DIN 43539). Пример обозначения по ГОСТу: батарея 6СТ-55ПМА. Здесь: 6- количество элементов (напряжением 2В) в батарее; СТ - назначение батареи (стартерная), такие батареи выдерживают большие разрядные токи, что требуется для пуска двигателя; 55- номинальная емкость в ампер-часах; П- материал моноблока (полипропилен); М- материал сепаратора (мипласт).

Какие либо дополнительные цифры относятся к внутренней маркировке производителей.

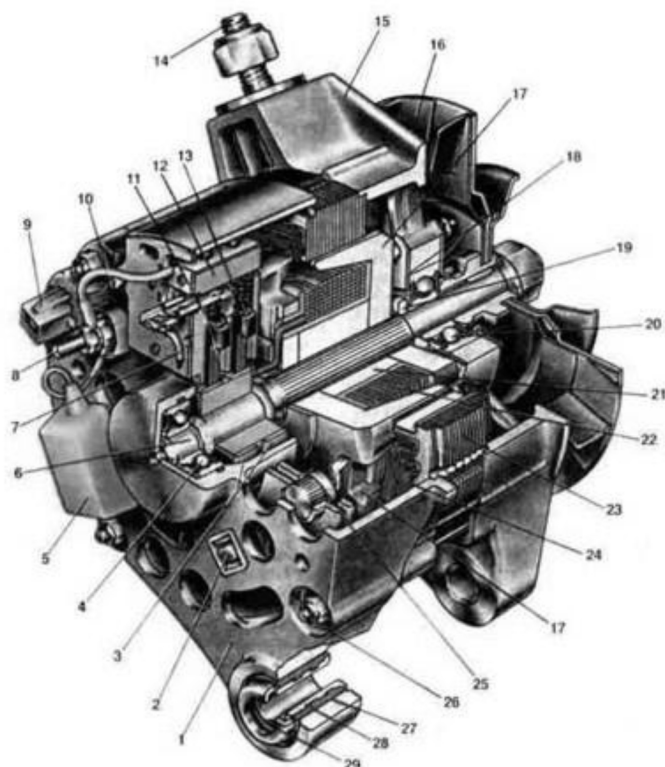
Пример маркировки по стандарту DIN: батарея 5 74 012 068, где: 5- цифра, показывающая «порядок» значения емкости (5 – до 100 А-час, 6 – от 100 до 200 А-час, 7 – свыше 200 А-час); 74- емкость 74 Ачас; 012- заводское обозначение типа корпуса, из которого следуют габариты корпуса, тип крепления, расположение выводов; 068- пусковой ток 680 А по стандарту EN.

**Генератор** (рис. 71) предназначен для питания электрическим током всех потребителей и для подзарядки аккумуляторной батареи, при работе двигателя на средних и больших оборотах. Он включен в электрическую цепь автомобиля параллельно аккумуляторной батарее. Питание электросетей от генератора происходит лишь в случае, когда вырабатываемое им напряжение выше напряжения аккумуляторной батареи. Для поддержания вырабатываемого генератором напряжения в требуемых пределах служит регулятор напряжения. Двигатель ВАЗ-21083 оснащен трехфазным генератором переменного тока типа 37.3701 со встроенным выпрямительным блоком и микроэлектронным регулятором напряжения.

Он служит для питания потребителей электрическим током и для зарядки аккумуляторной батареи. Максимальная сила тока отдачи генератора (при 13 В и 5000 об/мин) составляет 55 А, а пределы регулируемого напряжения -  $14,1 \pm 0,5$  В. Устройство этого генератора показано на рис. 71.

**Регулятор напряжения** (см. рис. 72) -это электронный прибор, который ограничивает вырабатываемое генератором напряжение и поддерживает его в пределах 13,6 - 14,2 вольта. Монтируется или в корпусе генератора или отдельно в подкапотном пространстве.

Генератор приводится в действие от шкива коленчатого вала через ременную передачу. Натяжение ремня регулируется отклонением корпуса генератора и его фиксацией.



1 – крышка генератора со стороны контактных колец; 2 – болт крепления выпрямительного блока; 3 – контактные кольца; 4 – шариковый подшипник вала ротора со стороны контактных колец; 5 – конденсатор 2,2 мкф для подавления радиопомех; 6 – вал ротора; 7 – провод общего вывода дополнительных диодов; 8 – зажим "30" генератора для подключения потребителей; 9 – штекер "61" генератора (общий вывод дополнительных диодов); 10 – провод вывода "В" регулятора напряжения; 11 – щетка, соединенная с выводом "В" регулятора напряжения; 12 – регулятор напряжения; 13 – щетка, соединенная с выводом "Ш" регулятора напряжения; 14 – шпилька для крепления генератора к натяжному устройству; 15 – крышка генератора со стороны контактных колец; 16 – крыльчатка вентилятора со шкивом привода генератора; 17 – полюсный наконечник ротора; 18 – шайбы крепления подшипника; 19 – дистанционное кольцо; 20 – шариковый подшипник вала ротора со стороны привода; 21 – стальная втулка; 22 – обмотка ротора (обмотка возбуждения); 23 – сердечник статора; 24 – обмотка статора; 25 – выпрямительный блок; 26 – стяжной болт генератора; 27 – буферная втулка; 28 – втулка; 29 – поджимная втулка.

Рис. 71 Устройство генератора двигателя ВАЗ-21083

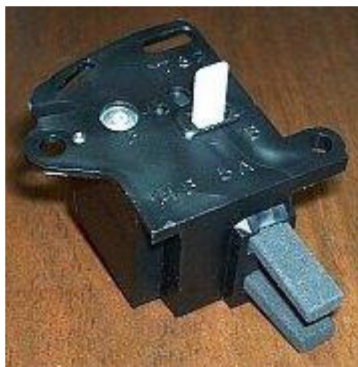


Рис. 72 Регулятор напряжения автомобиля ВАЗ-2108

## ***9.2 Система зажигания бензиновых ДВС, принципы ее работы***

**Система зажигания предназначена** для обеспечения зажигания рабочей бензовоздушной смеси в цилиндрах двигателя с помощью искры, в соответствии с порядком их работы.

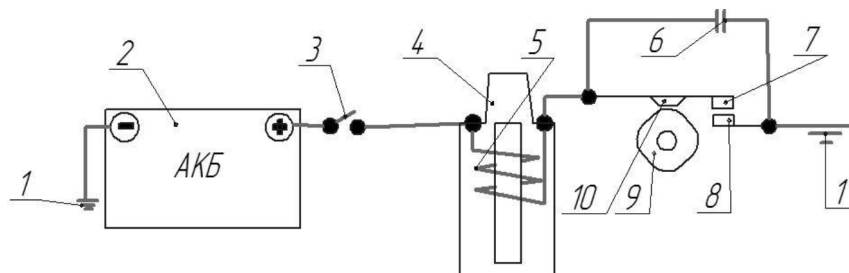
На некоторых первых ДВС воспламенение топливо - воздушной смеси осуществлялось раскаленным телом, которое предварительно нагревали в пламени, например, горелки. Однако, из-за невозможности регулирования момента воспламенения ТВС, такие системы достаточно быстро уступили место системам зажигания на основе магнето. В таких системах импульс зажигания генерировался при прохождении рядом с неподвижной катушкой магнитного поля постоянного магнита, связанного с вращающейся деталью двигателя. Достоинством конструкции являлась простота и отсутствие аккумуляторных батарей. Из-за ряда сложностей (например, с регулированием момента зажигания) в настоящее время такие системы сохранились только на бензопилах и газонокосилках. Наибольшее распространение в ДВС получили системы зажигания с внешним («батарейным») питанием. В этом случае питание системы осуществляется от внешнего источника электроэнергии. Неотъемлемой частью системы зажигания является **катушка системы зажигания**, представляющая собой импульсный трансформатор. Ее основной функцией является генерация высоковольтного импульса на **свече**, которая непосредственно воспламеняет ТВС создаваемой ей искрой. Длительное время на двигателях использовалась одна катушка, а для обслуживания нескольких цилиндров применялся высоковольтный **распределитель**. В последнее время стали устанавливать одну катушку на пару цилиндров или даже по катушке на каждый цилиндр. В последнем случае катушку можно разместить непосредственно на свече зажигания и отказаться от высоковольтных проводов. Существуют и системы зажигания с двумя катушками на один цилиндр, если в цилиндре установлено две свечи. Это не только повышает надежность системы, но и

оптимизировать воспламенение ТВС по объему камеры сгорания. Системы зажигания можно разделить на системы с накоплением энергии в индуктивности, и системы зажигания с накоплением энергии в ёмкости. В первых, которыми в основном и оснащены современные ДВС, при пропускании тока от внешнего источника через первичную обмотку катушки зажигания, она запасает энергию в своём магнитном поле, а при прекращении этого тока ЭДС самоиндукции генерирует в обмотках катушки мощный импульс, который с вторичной (высоковольтной) обмотки подаётся на свечу. Прерывание тока в обмотке раньше осуществлялось механическими контактами (**контактные системы зажигания**), сейчас это выполняется электронными устройствами (**бесконтактные системы зажигания**). Системы с накоплением энергии в емкости аналогичны системам с накоплением энергии в индуктивности, но отличаются от них тем, что вместо пропускания постоянного тока через первичную обмотку катушки к ней подключается конденсатор, заряженный до высокого напряжения. Такие системы использовались на некоторых роторно-поршневых двигателях.

**Контактная система зажигания** работает следующим образом. Аккумулятор и генератор вырабатывают ток низкого напряжения, выдавая в бортовую электросеть автомобиля 12 - 14 вольт (рис. 73). Для создания разряда (искры) между электродами свечи зажигания необходимо от 18 до 20 тысяч вольт, поэтому в системе зажигания имеются еще одна электрическая цепь - высокого напряжения (рис. 5), которая и обеспечивает возникновение искры.

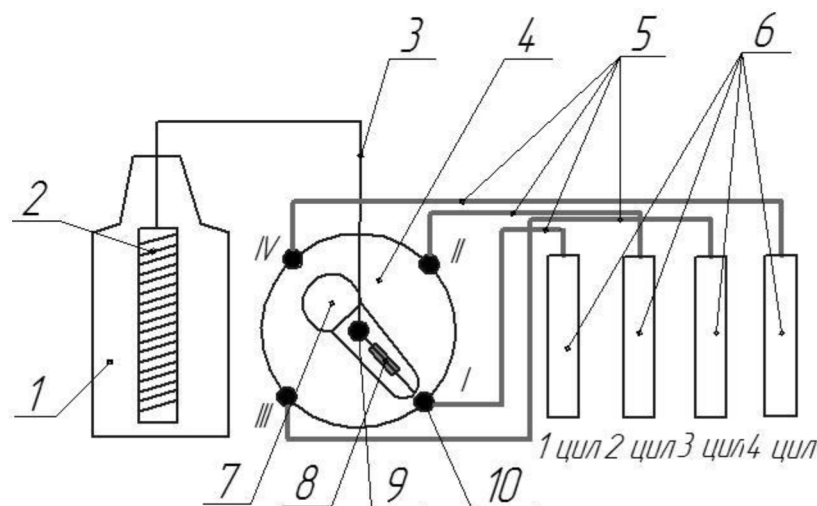
**Контактная система зажигания** (рис. 73 и 74) состоит из: катушки зажигания, прерывателя тока низкого напряжения, распределителя тока высокого напряжения, вакуумного и центробежного регуляторов опережения зажигания, свечей зажигания, проводов низкого и высокого напряжения, включателя зажигания.

**Катушка зажигания** предназначена для преобразования тока низкого напряжения в ток высокого напряжения. При прохождении электрического тока по обмотке низкого напряжения вокруг нее создается магнитное поле. При прерывании тока в этой обмотке исчезающее магнитное поле индуцирует ток в другой обмотке - высокого напряжения. За счет разницы в количестве витков обмоток происходит превращение низкого напряжения в высокое.



- 1 - «масса» автомобиля; 2 - аккумуляторная батарея; 3 - контакты замка зажигания;  
 4 - катушка зажигания; 5 - первичная обмотка (низкого напряжения); 6 - конденсатор;  
 7 - подвижный контакт прерывателя; 8 - неподвижный контакт прерывателя; 9 - кулачок прерывателя; 10 - контакт прерывателя;

Рис. 73 Электрическая цепь низкого напряжения контактной системы зажигания.

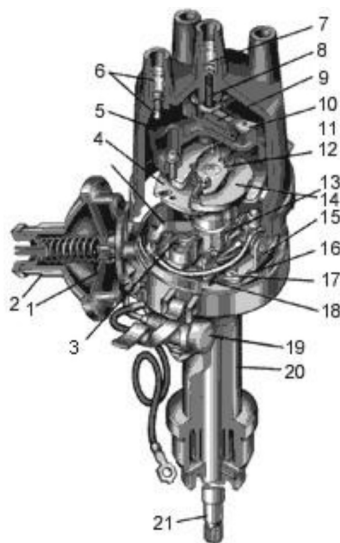


- 1 - катушка зажигания; 2 - вторичная обмотка (высокого напряжения); 3 - высоковольтный провод катушки зажигания; 4 - крышка распределителя тока высокого напряжения;  
 5 - высоковольтные провода свечей зажигания; 6 - свечи зажигания; 7 - распределитель

тока высокого напряжения («бегунок»); 8 - резистор; 9 - центральный контакт распределителя; 10 - боковые контакты крышки

Рис. 74 Электрическая цепь высокого напряжения контактной системы зажигания:

**Прерыватель тока низкого напряжения** служит для размыкания цепи низкого напряжения, в результате чего во вторичной обмотке катушки зажигания индуцируется ток высокого напряжения, который затем поступает на центральный контакт распределителя. Контакты прерывателя находятся под крышкой распределителя зажигания. Пластинчатая пружина подвижного контакта постоянно прижимает его к неподвижному контакту. Размыкание контактов происходит в тот момент, когда набегающий кулачок приводного валика прерывателя-распределителя воздействует на молоточек подвижного контакта. Параллельно контактам в цепь включен **конденсатор**, служащий для предотвращения обгорания контактов в момент размыкания за счет поглощения им большей части электрического разряд в момент отрыва подвижного контакта от неподвижного. Конденсатор также повышает напряжение во вторичной обмотке катушки зажигания, разряжаясь и создавая обратный ток в цепи низкого напряжения в момент, когда контакты полностью размыкаются. Прерыватель тока низкого напряжения и **распределитель высокого напряжения** расположены в одном корпусе и имеют привод от коленчатого вала двигателя (рис. 75). Поэтому иногда этот узел называют **прерыватель - распределитель** или «трамблер».





1 - диафрагма вакуумного регулятора; 2 - корпус вакуумного регулятора; 3 - тяга; 4 - опорная пластина; 5 - ротор распределителя («бегунок»); 6 - боковой контакт крышки; 7 - центральный контакт крышки; 8 - контактный уголек; 9 - резистор; 10 - наружный контакт пластины ротора; 11 - крышка распределителя; 12 - пластина центробежного регулятора; 13 - кулачек прерывателя; 14 - грузик; 15 - контактная группа; 16 - подвижная пластина прерывателя; 17 - винт крепления контактной группы; 18 - паз для регулировки зазоров в контактах; 19 - конденсатор; 20 - корпус прерывателя-распределителя; 21 - приводной валик; 22 - фильтр для смазки кулачка

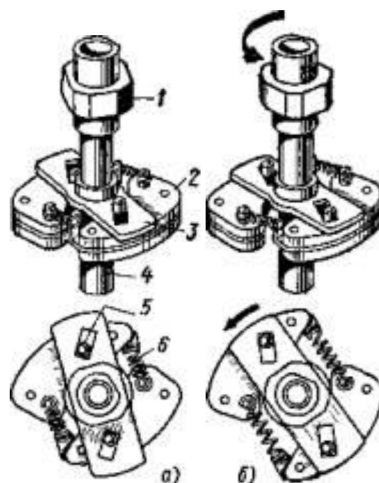
Рис. 75 Прерыватель - распределитель

**Прерыватель-распределитель** предназначен для распределения тока высокого напряжения по свечам цилиндров двигателя. После образования в катушке зажигания высокого напряжения, оно по высоковольтному проводу направляется на центральный контакт крышки распределителя 7, а затем через подпружиненный контактный уголек 8 на пластину ротора 10. Во время вращения ротора ток распределяется с его пластины через воздушный зазор, на боковые контакты крышки 6, от которых по высоковольтным проводам импульс тока высокого напряжения попадает к свечам зажигания. Боковые контакты крышки распределителя соединены высоковольтными проводами со свечами цилиндров в строго определенной последовательности, что обеспечивает **порядок работы цилиндров** (или последовательность их работы). Как правило, для четырехцилиндровых двигателей с целью равномерного распределения нагрузки на коленчатый вал, он имеет вид: 1 – 3 – 4 – 2.

Подача высокого напряжения на электроды свечи зажигания происходит в конце такта сжатия, когда поршень не доходит до верхней мертвой точки (ВМТ). Разница между положением поршня в ВМТ и моментом подачи искры, измеренная по углу поворота коленчатого вала, называется **углом опережения зажигания**. При несоответствии этой величины нормативной, работа ДВС ухудшается: снижается мощность и повышается удельный расход топлива. В данной схеме первоначальный угол опережения зажигания выставляется и корректируется с помощью поворота корпуса прерывателя-распределителя 20. Момент размыкания контактов прерывателя при этом устанавливается за счет изменения расстояния от контактов до

набегающего кулачка 13 приводного валика прерывателя-распределителя 21. Поскольку при изменении режима работы двигателя, условия процесса сгорания рабочей смеси в цилиндрах постоянно меняются, то для обеспечения оптимальных условий, необходимо постоянно изменять и угол опережения зажигания. Решение этой задачи обеспечивают центробежный и вакуумный регуляторы опережения зажигания.

**Центробежный регулятор опережения зажигания предназначен** для изменения момента возникновения искры между электродами свечей зажигания, в зависимости от скорости вращения коленчатого вала двигателя, т.е. числа оборотов  $n$ . С ростом оборотов коленчатого вала двигателя, поршни в цилиндрах увеличивают скорость своего возвратно-поступательного движения, в то время как скорость сгорания рабочей смеси остается практически неизменной. Следовательно, для обеспечения нормального протекания рабочего процесса в цилиндре, горючую смесь необходимо поджигать раньше. Центробежный регулятор опережения зажигания расположен в корпусе прерывателя-распределителя 20. Вращение кулачку прерывателя 13 передается не непосредственно от валика распределителя 21, а через грузики 14. При расхождении грузиков под действием центробежной силы с ростом оборотов валика (см. рис. 76), штифты 5, нажимая на пластину 3, поворачивают ее и связанный с ней кулачок 1 относительно валика 4 в сторону вращения валика распределителя. В результате этого контакты размыкаются раньше, и угол опережения зажигания увеличивается. Таким образом, чем выше частота вращения вала двигателя, тем больше угол опережения зажигания. С уменьшением частоты вращения коленчатого вала пружины 6, противодействующие поворачиванию грузиков, возвращают их в исходное положение, поворачивая при этом кулачок 1 против направления вращения. Вследствие этого контакты размыкаются позднее, и угол опережения уменьшается.



а - положение деталей регулятора при малой частоте вращения, б - положение деталей при большой частоте вращения

1 - кулачок, 2 - грузик, 3 – подвижная пластина кулачка, 4 - валик, 5 - штифт грузика, 6 - пружина

Рис. 76 Схема работы центробежного регулятора опережения зажигания

**Вакуумный регулятор опережения зажигания предназначен** для изменения момента возникновения искры между электродами свечей зажигания, в зависимости от нагрузки на двигатель. Нагрузка ДВС (ДсИЗ) компенсируется различным углом поворота дроссельной заслонки, т.е. различной степенью разрежения в потоке воздуха, протекающем через воздушный канал карбюратора. При одной и той же частоте вращения коленчатого вала ДВС, положение дроссельной заслонки в зависимости от нагрузки на двигатель может быть различным. В результате в цилиндры будет поступать топливовоздушная смесь различного состава, следовательно, скорость её сгорания будет изменяться. При полностью открытом «дросселе» смесь сгорает быстрее, значит поджигать ее можно позже и угол опережения зажигания следует уменьшать. При прикрытой дроссельной заслонке скорость сгорания уменьшается, и угол опережения зажигания должен быть увеличен.

Полость вакуумного регулятора (рис. 77) с одной стороны диафрагмы 5 сообщается трубкой 1 со смесительной камерой карбюратора над дроссельной заслонкой, а полость с другой стороны диафрагмы сообщается с атмосферой. Таким образом, на диафрагму воздействует разрежение в

воздушном канале карбюратора (или впускного трубопровода), зависящее от степени открытия дроссельной заслонки, т.е. от нагрузки на двигатель. Со стороны распределителя к диафрагме прикреплена тяга 8, связанная шарнирно с подвижной панелью прерывателя 10, закрепленной на шарикоподшипнике. Пружина отжимает диафрагму 5, противодействуя разрежению в карбюраторе. С уменьшением нагрузки на двигатель разрежение в карбюраторе, а, следовательно, и в полости крышки вакуумного регулятора, увеличивается. При этом диафрагма 5, преодолевая усилие пружины 3, перемещается и с помощью тяги 8 поворачивает панель прерывателя 10 против направления вращения кулачка 13. Благодаря этому контакты размыкаются раньше, и угол опережения зажигания увеличивается.

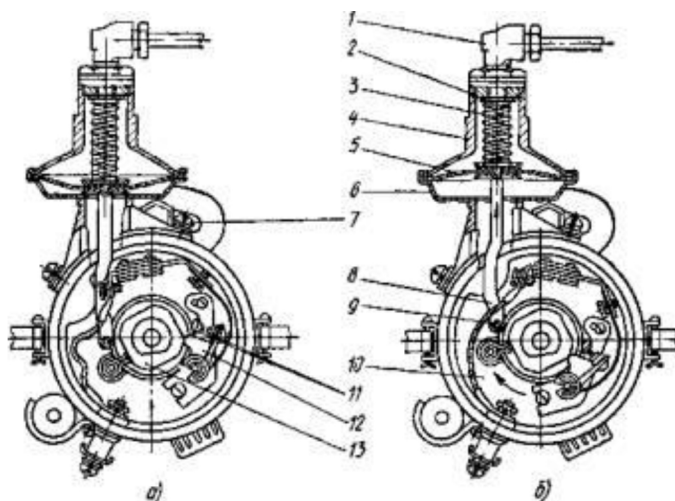
С увеличением нагрузки на двигатель снижаются обороты вала двигателя, т.е. и средняя скорость поршня. В результате разрежение во впускном трубопроводе уменьшается, и пружина 3 диафрагмы 5 поворачивает панель прерывателя 10 в направлении вращения кулачка 13, уменьшая угол опережения зажигания. При работе двигателя на холостом ходу, отверстие, соединяющее карбюратор с вакуумным регулятором, оказывается несколько выше прикрытой дроссельной заслонки, поэтому диафрагма не меняет своего положения и вакуумный регулятор не оказывает влияния на угол опережения зажигания, который получается минимальным, что необходимо для устойчивой работы двигателя с малой частотой вращения.

**Свеча зажигания** (см. рис. 78) образует искровой разряд и осуществляет зажигание рабочей смеси в камере сгорания двигателя. Свечи устанавливаются в головке каждого цилиндра двигателя с искровым зажиганием.

Свеча устроена и работает следующим образом. В ее корпусе установлен керамический изолятор 3 с центральным электродом 7 и контактным стержнем 2. Боковой электрод 9 закреплен в корпусе 4. При подаче импульса

высокого напряжения от распределителя-прерывателя на свечу зажигания, между ее электродами проскакивает искра, воспламеняющая рабочую смесь.

Встроенный в свечу резистор 5 - электрическое сопротивление в цепи центрального электрода, снижает помехи радиопринимающим устройствам.

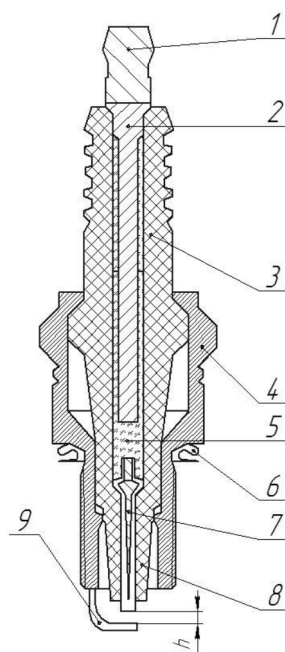


а - положение диафрагмы и связанных с ней деталей при малой частоте вращения коленчатого вала двигателя, б - положение деталей с увеличением частоты вращения:

1 - штуцер трубки от карбюратора, 2 - регулировочная шайба, 3 - пружина, 4 - крышка вакуумного регулятора, 5-диафрагма, 6 - корпус вакуум - регулятора, 7 - винт крепления регулятора, 8 - тяга, 9 - штифт подвижной панели прерывателя, 10 - подвижная панель прерывателя, 11 - контакты, 12 - рычаг прерывателя, 13 - кулачок.

Рис. 77 Схема действия вакуумного регулятора опережения зажигания

Основной характеристикой свечи является ее **калильное число**. Калильное число – условное понятие, обозначаемое одной или двумя цифрами. Оно характеризует способность свечи работать в исправном двигателе (на качественном бензине и моторном масле) без перегрева, при полной нагрузке, и без образования нагара на тепловом конусе изолятора на холостом ходу, ведущих к калильному зажиганию. Чем выше калильное число, тем меньше склонность свечи к калильному зажиганию, тем свеча «холоднее».



- 1 – контакт с высоковольтным проводом; 2 – контактный стержень; 3 – изолятор;  
 4 – корпус; 5 – токопроводящий стеклогерметик (иногда и встроенный резистор);  
 6 – уплотнительное кольцо для герметизации цилиндра; 7 – центральный электрод;  
 8 – тепловой конус изолятора; 9 – боковой электрод; h – искровой зазор

Рис. 78 Свеча зажигания:

Для обозначения свечей зажигания в России принята единая для всех производителей система, в которой закодированы основные размеры и характеристики свечей. Обозначение отечественных свечей состоит из цифр и букв. Примеры расшифровки обозначений приведены на рис. 10.

**Высоковольтные провода** служат для подачи тока высокого напряжения от катушки зажигания к распределителю и от него на свечи зажигания.

Ранее высоковольтные провода изготавливались из резинотехнических материалов, в последнее время появились силиконовые. Основой силиконового провода является токопроводящая жила, представляющая собой пучок стеклографитового волокна, который заключен в изоляцию из силикона. Силикон – органический полимер с внедрением атомов кремния, частично замещающих углерод. В отличие от обычных такие провода обладают повышенными эксплуатационными характеристиками: сохраняют работоспособность в более широком диапазоне температур (до +250°C) и при

более высокой влажности (до 95%), не утрачивают эластичности при температурах до минус 60°C, выдерживают воздействие более высокого импульсного напряжения (напряжение пробоя не менее 40 кВ). Силиконовые провода также устойчивы к воздействию масла, топлива и более пожаробезопасны.



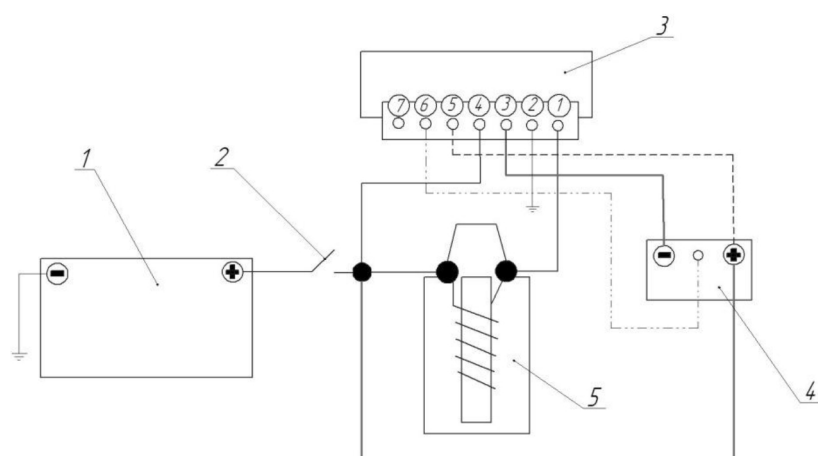
Рис. 79 Обозначение свечей зажигания по ОСТ 37.003.081

Высоковольтные провода из традиционных резиново-пластиковых материалов теряют эластичность при  $-15...-20^{\circ}\text{C}$ , а при нагреве могут оплавляться при температурах  $+120...+150^{\circ}\text{C}$ . Появление трещин в изоляции и ее оплавление в свою очередь приводит к замыканию электрической цепи «на массу» и перебоям в работе двигателя.

Основной недостаток контактной системы зажигания связан с принципом её работы. Ей свойственны: износ контактов и кулачка прерывателя; вибрация и окисление контактов; ослабление упругости пружины подвижного контакта; малый срок службы опорного подшипника вследствие механических нагрузок. В результате в последнее время более широко стали использоваться **электронные бесконтактные системы зажигания**. К их основным преимуществам относятся следующие: более мощная искра вследствие возросшего напряжения во вторичной цепи с 16-18 кВ до 22-24 кВ; обеспечение более полного сгорания топливовоздушной смеси и снижение содержания СО в выхлопе; лучший запуск двигателя при

минусовых температурах; заметное улучшение динамических показателей двигателя; более высокая надежность в работе и отсутствие необходимости в частом обслуживании, и контроль за работой элементов системы.

Как и у контактной схемы зажигания, у бесконтактной системы есть цепи низкого и высокого напряжения, причем цепи высокого напряжения в этих двух системах практически аналогичны. Но в цепи низкого напряжения имеются существенные различия (см. рис. 80). Здесь в бесконтактной системе используются электронные устройства – коммутатор 3 и датчик-распределитель 4 (датчик Холла).



1 - аккумуляторная батарея; 2 - контакты замка зажигания; 3 - транзисторный коммутатор;  
4 - датчик распределитель (датчик Холла); 5 - катушка зажигания

Рис. 80 Цепь низкого напряжения бесконтактной системы зажигания

**Электронная бесконтактная система зажигания** включает в себя следующие узлы: источники электрического тока 1, катушку зажигания 5, датчик – распределитель 4, коммутатор 3, свечи зажигания, провода высокого и низкого напряжения, выключатель зажигания 2. В данной системе функцию контактов прерывателя выполняет бесконтактный датчик Холла 4, посылающий управляющие импульсы в электронный коммутатор 3. Коммутатор, в свою очередь, управляет катушкой зажигания 5, преобразующей ток низкого в ток высокого напряжения.



### **9.3 Основные неисправности системы зажигания**

Основные неисправности систем зажигания можно разделить на следующие группы:

- 1. Неправильная регулировка контактной системы зажигания, неисправность ее регуляторов опережения зажигания, а для электронных систем - неисправность блока управления;**
- 2. Периодический пропуск искры в одном или нескольких цилиндрах.** Может иметь место из-за неисправной свечи зажигания, нарушения величины зазора в контактах прерывателя или между электродами свечей, повреждении ротора или крышки распределителя, а также при неправильной установке начального угла опережения зажигания. Для устранения неисправности необходимо установить нормальные (оговоренные в инструкции по эксплуатации двигателя) зазоры в контактах прерывателя и между электродами свечей, выставить начальный угол опережения зажигания в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя, заменить неисправные детали на новые. В бесконтактной системе эта неисправность может являться, например следствием неисправности коммутатора или бесконтактного датчика.
- 3. Отсутствие искры в одном или нескольких цилиндрах.** Обычно вызывается повреждением, обрывом или плохим контактом проводов, обгоранием контактов прерывателя или отсутствием зазора между ними, неисправностью катушки зажигания, прерывателя - распределителя или самой свечи. Для устранения этой неисправности необходимо последовательно проверить цепи низкого и высокого напряжения, отрегулировать зазор в контактах прерывателя, заменить неработоспособные элементы системы зажигания.

#### ***9.4 Эксплуатация системы зажигания***

Чтобы уменьшить вероятность отказа системы зажигания, необходимо соблюдать определенные условия ее нормальной эксплуатации в сочетании с периодическим обслуживанием. В первую очередь необходимо обеспечивать чистоту и надежность электрических соединений, периодически зачищать клеммы проводов и штекерные разъемы. Также необходимо периодически контролировать зазор в контактах прерывателя, а при необходимости производить его регулировку. Следует помнить, что большой зазор в контактах прерывателя ведет к неустойчивой работе двигателя на больших оборотах, а зазор меньше нормы - к неустойчивой работе на оборотах холостого хода. Это объясняется тем, что отклонения в величине зазора изменяют время замкнутого состояния контактов, что приводит к изменению, как мощности искры, так и момента ее возникновения в цилиндре (угла опережения зажигания). При использовании бензина другой марки (что, вообще-то, не желательно) в контактной системе зажигания необходимо провести поднастройку угла опережения зажигания, для чего во многих системах имеется октан-корректор (в современных системах впрыска такая поднастройка, при переходе например с АИ-95 на АИ-92 выполняется автоматически, главное чтобы использование бензина с более низким октановым числом допускалось инструкцией по эксплуатации автомобиля).

Неправильная установка угла опережения зажигания в обоих типах систем ведет к целому ряду неисправностей ДВС. Так, если угол опережения зажигания слишком велик (раннее зажигание), то имеют место: затрудненный запуск холодного двигателя, «хлопки» в карбюраторе при попытках запуска двигателя, потеря мощности двигателя, увеличенный расход топлива, перегрев двигателя, повышенное содержание вредных выбросов в выхлопных газах. Если угол опережения зажигания меньше нормы (позднее зажигание), то, как правило, наблюдаются: «выстрелы» в глушителе, потеря мощности, рост расхода топлива и перегрев двигателя.

Таким образом, обеспечение требуемого угла опережения зажигания - одно из основных условий работоспособности системы зажигания.

Большую роль в нормальной работе системы зажигания играет марка и состояние свечей зажигания. Использование свечей, несоответствующих данной модели двигателя вызывает нарушения в его работе и проблемы с запуском. Для нормальной работы двигателя необходимо выдерживать требуемый зазор между электродами свечи, который должен быть одинаковым для всех цилиндров. Обычно для контактных систем зажигания он находится в пределах 0,5...0,6 мм, а для бесконтактных чуть больше: 0,7...0,9 мм. Регулировка зазора проводится подгибанием бокового электрода. Периодически у свечей необходимо очищать от нагара электроды. Для этого обычно используется надфиль с мелкой насечкой. При сильном обгорании электродов свечи ее дальнейшая эксплуатация нецелесообразна. При выворачивании свечей необходимо обращать внимание на цвет их электродов. Если они светло-коричневые - свеча работает нормально, а если черные – то есть вероятность ее отказа.

В качестве высоковольтных проводов целесообразно использовать силиконовые, выдерживающие более высокие импульсы тока высокого напряжения.

При эксплуатации автомобиля следует избегать попадания воды и грязи на элементы электрооборудования, это особенно относится к загородным поездкам по грунтовым дорогам и преодолению водных препятствий. В этом случае возможна остановка двигателя вследствие утечки тока высокого напряжения помимо свечей зажигания.

### **9.5 Системы управления ДВС**

**Системой управления двигателем** называется электронная система управления, которая обеспечивает работу двух и более систем двигателя. Система является одним из основных электронных компонентов электрооборудования автомобиля. При этом технический прогресс в области электроники и ужесточение норм экологической безопасности обуславливают неуклонный рост числа подконтрольных систем двигателя. Простейшей системой управления двигателем является объединенная система впрыска и зажигания. Современная система управления двигателем объединяет значительно больше систем и устройств, среди которых могут находиться:

- система питания;
- система впуска;
- система зажигания;
- выпускная система;
- система охлаждения;
- система рециркуляции отработавших газов;
- система улавливания паров бензина;
- вакуумный усилитель тормозов.

Система управления двигателем включает следующие основные элементы:

- входные датчики;
- электронный блок управления;
- исполнительные устройства систем двигателя

**Входные датчики** измеряют конкретные параметры работы двигателя и преобразуют их в электрические сигналы. На основе информации, получаемой от датчиков, осуществляется управление двигателем. Количество датчиков в системе управления зависит от типа, назначения и модели конкретного двигателя.

**Электронный блок управления** двигателем принимает информацию от датчиков и в соответствии с заложенным программным обеспечением формирует управляющие воздействия на исполнительные устройства систем двигателя. В своей работе электронный блок управления может взаимодействовать не только с системами двигателя, но и с блоком управления автоматической коробкой передач, системой ABS (ESP), электроусилителем руля, подушками безопасности и т.д.

**Исполнительные устройства** являются элементами конкретных систем двигателя и обеспечивают их работу.

Так, например, исполнительными устройствами системы питания являются электробензонасос, перепускной клапан, форсунки, клапан регулирования давления, а в системе зажигания-катушки зажигания.

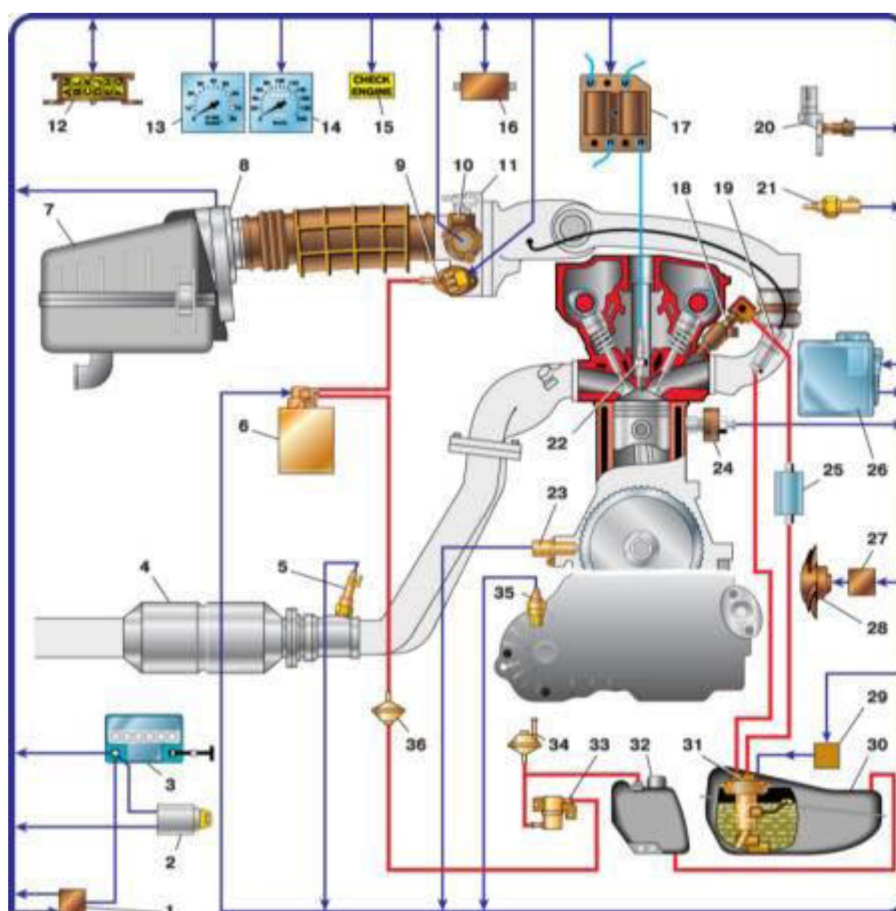
**Принцип работы системы управления двигателем** основан на комплексном **управлении величиной крутящего момента двигателя**, т.е. система управления двигателем приводит величину крутящего момента в соответствии с конкретным режимом работы двигателя.

На рис.81 приведена схема системы управления двигателем ВАЗ-2112, оснащенного распределенным впрыском топлива.

На двигателе ВАЗ-2112 используется система распределенного фазированного впрыска: топливо подается форсунками поочередно в соответствии с порядком работы цилиндров, что снижает токсичность отработавших газов.

Двигатель ВАЗ-2112 комплектуется системой впрыска с обратной связью (кислородным датчиком) и нейтрализатором в системе выпуска отработавших газов.

Система управления ВАЗ-2112 работает следующим образом. Топливо из бака электронасосом погружного типа через фильтр подается в форсунку.



- |                                      |                                             |
|--------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1 – реле зажигания,                  | 19 – регулятор давления топлива             |
| 2 – выключатель зажигания            | 20 – датчик фаз                             |
| 3 – аккумуляторная батарея           | 21 – датчик температуры охлаждающей         |
| 4 – нейтрализатор                    | жидкости                                    |
| 5 – датчик концентрации кислорода    | 22 – свеча зажигания                        |
| 6 – адсорбер с электромагнитным      | 23 – датчик положения коленчатого вала      |
| клапаном                             | 24 – датчик детонации                       |
| 7 – воздушный фильтр                 | 25 – топливный фильтр                       |
| 8 – датчик массового расхода воздуха | 26 – контроллер                             |
| 9 – регулятор холостого хода         | 27 – реле включения вентилятора             |
| 10 – датчик положения дроссельной    | 28 – электровентилятор системы охлаждения   |
| заслонки                             | 29 – реле включения электробензонасоса      |
| 11 – дроссельный узел                | 30 – топливный бак                          |
| 12 – колодка диагностики             | 31 – электробензонасос с датчиком указателя |
| 13 – тахометр                        | уровня топлива                              |

|                                          |                               |
|------------------------------------------|-------------------------------|
| 14 – спидометр                           | 32 – сепаратор паров бензина  |
| 15 – контрольная лампа "CHECK<br>ENGINE" | 33 – гравитационный клапан    |
| 16 – блок управления иммобилайзером      | 34 – предохранительный клапан |
| 17 – модуль зажигания                    | 35 – датчик скорости          |
| 18 – форсунка                            | 36 – двухходовой клапан       |

Рис.81 Схема системы управления двигателем ВАЗ-2112

Бензонасос включается по команде контроллера при включении зажигания. Он может создавать давление в топливной системе до 700 кПа.

При этом регулятор давления поддерживает его с точностью  $\pm 2$  кПа, обеспечивая постоянство перепада давления топлива перед форсункой и воздуха во впускном коллекторе ( $P_{\text{впуск}}$ ) около 300кПа и сбрасывая излишек топлива снова в бак. Регулятор давления представляет собой топливный клапан, соединенный с подпружиненной диафрагмой. Под действием пружины клапан закрыт. При работе ДВС с ростом давления клапан открывается, и часть топлива сливается обратно в бак. На диафрагму клапана воздействует разрежение за дроссельной заслонкой.

Состав смеси регулируется длительностью управляющего импульса, подаваемого на форсунки (чем длиннее импульс, тем больше подача топлива). Топливо может подаваться «синхронно» (в зависимости от положения коленчатого вала) и «асинхронно» (независимо от положения коленчатого вала). Последний режим используется при пуске двигателя. Если при прокручивании двигателя стартером дроссельная заслонка открыта более чем на 75%, контроллер воспринимает ситуацию как режим продувки цилиндров и не выдает импульсы на форсунки, перекрывая подачу топлива. Если в ходе продувки двигатель начнет работать и его обороты, достигнут 400 мин-1, контроллер включает подачу топлива. При торможении двигателем контроллер обедняет смесь для снижения токсичности отработавших газов, а на некоторых режимах и вовсе отключает подачу

топлива. Подача топлива отключается и при выключении зажигания, что предотвращает самовоспламенение смеси в цилиндрах двигателя. При падении напряжения питания контроллер увеличивает время накопления энергии в катушках зажигания (для надежного поджигания горючей смеси) и длительность импульса впрыска (для компенсации увеличения времени открытия форсунки). При увеличении напряжения питания время накопления энергии в катушках зажигания и длительность подаваемого на форсунки импульса уменьшаются. Контроллер управляет включением электроventильатора системы охлаждения в зависимости от температуры двигателя, частоты вращения коленчатого вала и работы кондиционера (если имеется). Электроventильатор включается, если температура охлаждающей жидкости превысит 104°C или включен кондиционер. Электроventильатор выключается при падении температуры охлаждающей жидкости ниже 101°C, выключении кондиционера, остановке двигателя (с задержкой в несколько секунд).

При производстве микропроцессора в него заносится базовая матрица дискретных значений коэффициентов коррекции оптимальных цикловых подач топлива на каждом режиме работы двигателя, полученных по результатам испытаний. Коррекция может выполняться по сигналам датчиков теплового состояния двигателя, по показаниям датчика режима работы ДВС, по электрическому напряжению бортовой сети, по показаниям датчика, контролирующего состав ТВС, поступающей в двигатель и т.д. Обычно используется двумерная матрица в координатах **нагрузка на двигатель – режим его работы**, что чаще всего контролируется по информации о расходе воздуха (датчик расхода воздуха) и частоте вращения коленчатого вала (датчик частоты вращения коленчатого вала).

При работе двигателя по полученным сигналам от этих датчиков, микропроцессор рассчитывает массовый расход воздуха, поступающего в двигатель и необходимое значение цикловой подачи топлива. Из



аналогичной матрицы он выбирает оптимальное значение угла опережения зажигания. Затем корректирует их в соответствии с сигналами других датчиков (прежде всего датчика температуры охлаждающей жидкости) и выдаёт команду на длительность срабатывания электромагнитного клапана форсунки и момент срабатывания прерывателя-распределителя системы зажигания, а следовательно, и свечи.

Так удаётся обеспечить точность дозирования цикловой подачи и качество распыливания топлива вне зависимости от режима работы двигателя. Воздух с массовым расходом  $G_v$  через дроссельную заслонку попадает во впускной коллектор и далее через впускной клапан в цилиндр двигателя. ТВС образуется в пространстве перед клапаном, в его щели и непосредственно в цилиндре. В обход дроссельной заслонки выполнен воздушный канал с регулировкой проходного сечения для изменения состава ТВС на холостом ходу, когда дроссельная заслонка практически закрыта.

Согласование момента впрыска топлива и момента подачи искры с положением впускного клапана и угловым положением коленчатого вала выполняется по сигналам от датчика положения коленчатого вала.

В современных развитых СТП блок управления, как правило, использует дополнительную информацию о состоянии двигателя и параметрах его работы, которая фиксируется ещё целым рядом датчиков. Так приёмистость двигателя при переходе на режим максимальной мощности при резком открытии дроссельной заслонки обеспечивается коррекцией выходного сигнала ЭБУ по входному сигналу от датчика положения дроссельной заслонки.

При выходе некоторых датчиков из строя контроллер использует обходные алгоритмы работы, используя информацию от других датчиков и обеспечивая надёжную работу двигателя, но с пониженной мощностью и с

повышенным расходом топлива. Исключением является датчик положения коленчатого вала, при отказе которого двигатель не работает.

Коррекция необходимого угла опережения зажигания выполняется с учётом сигнала датчика детонации. Для выполнения требований по снижению выбросов вредных веществ в выхлопной системе двигателя устанавливается нейтрализатор, обеспечивающий преобразование  $CO$ ,  $CH$  и  $NO_x$ , содержащихся в выхлопных газах ДВС, в  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $O_2$  и  $N_2$ . Его безотказная работа возможна лишь при составе ТВС, соответствующем коэффициенту избытка воздуха  $\alpha = 0,98...0,99$ , т.е. при концентрации свободного кислорода в выхлопных газах близкой к нулю. Сигнал об этом параметре поступает в ЭБУ от кислородного датчика ( $\lambda$  зонд).

#### ***9.6 Основные элементы инжекторной системы топливоподачи***

**Электронный блок управления** (рис. 13) - это микропроцессор, включающий в себя ОЗУ (оперативно запоминающее устройство), ППЗУ (программируемое постоянно запоминающее устройство), ЭПЗУ (электрически программируемое запоминающее устройство).

**ОЗУ** - хранит и обрабатывает информацию о работе ДВС в текущий момент времени. В этом устройстве происходит запись кодов неисправностей. При отключении питания информация, накопленная в ОЗУ, стирается.

**ППЗУ** - содержит алгоритм (программу) работы компьютера и её настройки. Определяет характер изменения крутящего момента, мощности, расхода топлива ДВС. Энергонезависимо от питания.

**ЭПЗУ** - запоминает коды иммобилайзера при обучении ключей. Также энергонезависимо.



Рис. 82 Внешний вид микропроцессора

По сигналам датчиков микропроцессор (контроллер) рассчитывает базовую длительность впрыска:

$$T_i = \frac{M_{air}}{\alpha L_0} \cdot k_i,$$

где  $M_{air}$  - масса, поступающего в двигатель воздуха;  $k_i$  - постоянная форсунки, показывающая отношение объёма топлива, прошедшего через форсунку к длительности открытого состояния форсунки и зависящая от конструкции форсунки;  $\alpha$  - коэффициент избытка воздуха в ТВС,  $L_0$  - стехиометрический коэффициент.

Во время пуска двигателя расчет длительности впрыска выполняется без учета сигнала с датчика массового расхода воздуха. На всех остальных режимах рассчитывается эффективная, отличная от базовой длительности впрыска, учитывающая ряд корректирующих коэффициентов.

Во время послепусковой коррекции происходит снижение длительности впрыска в зависимости от температуры двигателя и времени, прошедшего после пуска. Коэффициент послепусковой коррекции плавно изменяется от начального значения ( $>1$ ) до нейтрального значения ( $=1$ ).

**Температурная коррекция** происходит на фазе прогрева ДВС. При низкой температуре охлаждающей жидкости длительность впрыска увеличивается.

В диапазоне температур охлаждающей жидкости  $45^{\circ}\text{C}$ - $100^{\circ}\text{C}$  температурной коррекции нет. При перегретом ДВС ( $>100^{\circ}\text{C}$ ) производится обогащение смеси с одновременным уменьшением угла опережения. В системе управления ДВС с нейтрализатором в диапазоне температур  $15$ - $45^{\circ}\text{C}$  ТВС обедняется, и устанавливаются более поздние углы опережения зажигания - для быстрого прогрева нейтрализатора.

**Режимная коррекция:** по сигналу датчика ДЗ (см. рис. 83) контроллер определяет на каком режиме работает ДВС (х.х., частичные нагрузки, переход на режим повышенной мощности). На режимах частичных нагрузок состав смеси поддерживается в районе  $\alpha = 1$ , при переходе к повышенной мощности происходит обогащение смеси, так же как и на холостом ходу.

**Динамическая коррекция:** часть топлива, не попав в цилиндры, оседает на стенках впускной трубы. Это количество топлива увеличивается с ростом длительности впрыска и нагрузки на двигатель. Если не учитывать этот процесс, то смесь будет обедняться при открытии дроссельной заслонки и обогащаться при её закрытии. Поэтому вводится динамическая коррекция. Данные поступают с датчика положения дроссельной заслонки ДЗ.

Ограничение минимальных значений длительности впрыска: ниже определенных значений длительности впрыска зависимость количества подаваемого форсункой топлива от величины управляющего импульса становится нелинейной функцией. Чтобы не попадать в зону нелинейности рассчитываемое время длительности впрыска ограничивается по своей минимальной величине.

**Датчики системы впрыска** - выдают информацию о параметрах работы ДВС (кроме датчика скорости) контроллеру, на основании чего, он рассчитывает момент и длительность открытия форсунок и подачи искры.

Основными датчиками системы впрыска являются следующие:

**1) Датчик массового расхода воздуха** (рис. 84) - выдает информацию о количестве проходящего через него воздуха. В современном исполнении - термоанемометрического типа, чувствительным элементом которого является либо нитевой, либо плёночный резистор.



Рис. 84 Датчик массового расхода воздуха

**2) Датчик положения коленвала (КВ)** (рис. 85) выдает контроллеру информацию об угловом положении КВ. Индуктивного типа, реагирует на прохождение около него зубьев шкива привода генератора (из шестидесяти - два зуба удалены).



Рис. 85. Датчик положения коленчатого вала

**3) Датчик фаз** (рис.86). Установлен на головке блока цилиндров. Принцип его действия основан на эффекте Холла. На двигателе ВАЗ-2112 на шкиве впускного распределительного вала находится диск с прорезью в ободке. Обод проходит через паз в датчике. Когда прорезь диска попадает в паз датчика, он выдает на контроллер отрицательный импульс, соответствующий положению поршня 1-го цилиндра в ВМТ в конце такта сжатия. При выходе из строя датчика фаз контроллер переходит в режим распределенного (нефазированного) впрыска топлива



Рис. 86 Датчик фаз

**4) Датчик температуры охлаждающей жидкости** - ввернут в выпускной патрубок на головке блока цилиндров. Представляет собой терморезистор, изменяющий свое сопротивление от температуры. По его данным контроллер уточняет состав ТВС.

**5) Датчик положения дроссельной заслонки** (рис. 87) - установлен на оси заслонки и представляет собой потенциометр. При отказе его функции выполняет датчик массового расхода воздуха.



Рис. 87 Датчик положения дроссельной заслонки

- 4) **Датчик детонации** (рис. 88) - ввернут в верхнюю часть блока цилиндров. Его принцип действия основан на пьезоэффекте.



Рис. 88 Датчик детонации

- 6) **Датчик кислорода** или  $\lambda$  – зонд (рис. 89) - установлен в приемной трубе системы выпуска отработавших газов. По его сигналу контроллер корректирует подачу топлива форсунками для того, чтобы состав отработавших газов был оптимальным для работы нейтрализатора.
- 7) **Датчик скорости** - установлен на КПП. Принцип работы основан на эффекте Холла. Выдает сигналы с частотой пропорциональной частоте вращения колес автомобиля. По нему контроллер определяет скорость его движения и корректирует в соответствии с ней режим работы двигателя.



Рис. 89 Датчик концентрации кислорода в выхлопных газах

### **9.7 Основные неисправности системы управления двигателем**

Основные неисправности системы управления можно разделить на три группы: неисправности контроллера, датчиков системы и исполнительных механизмов. На практике о наличии любых неисправностей сигнализирует загорающаяся лампочка "Проверьте двигатель" (Check Engine). Конкретно установить неисправности можно обратившись в сервисный центр или используя бортовой компьютер с функцией диагностики.

#### **Эксплуатация системы управления двигателем**

Правильная эксплуатация системы управления двигателем должна основываться на контроле состояния основных ее элементов системы и своевременной фиксации их отказов. Это вызвано тем, что в современных системах управления двигателем предусмотрено дублирование функций отдельных элементов, т.е. выход из строя какого-либо из них не ведет к потере работоспособности всей системы. Однако при этом система начинает функционировать в аварийном режиме, уже не обеспечивая оптимальных параметров двигателя. Контроль состояния элементов системы управления включает в себя использование специального оборудования: сканера, мотор-тестера, осциллографа и газоанализатора, имитаторов сигналов датчиков, измерителей давления топлива и т.д.

**Сканер** - это прибор для обмена диагностической информацией с электронным блоком или блоками управления двигателем с целью диагностики электронных систем.

**Мотор-тестер** - это прибор для диагностики двигателя путем анализа сигналов, непосредственно полученных от его систем (например, системы зажигания). В отличие от сканера, подключается к автомобилю не через диагностическую колодку, а непосредственно к линиям, сигналы в которых анализируются - выводам катушек зажигания, высоковольтным проводам (при помощи бесконтактных датчиков), выводам датчиков и пр.



Современные мотор - тестеры объединяют в себе функции мультиметра и осциллографа. Мультиметр позволяет измерить различные электрические и неэлектрические величины: напряжение, ток, сопротивление, частоту и др.

На рис. 90. представлена фотография внешнего вида мотор - тестера «АВТОАС-ПРОФИ-2».



Рис.90 Базовый комплект поставки мотор - тестера «АВТОАС-ПРОФИ-2»

Он позволяет выявить неисправности в:

- системах зажигания (контактных и бесконтактных с механическим распределителем высоковольтной энергии, статических с двухвыводными катушками зажигания, с катушками зажигания встроенными в распределитель, с отдельными для каждого цилиндра катушками зажигания);
- системах питания (инжекторных с одноточечным и распределенным впрыском топлива и карбюраторных);

- элементах электрооборудования (аккумуляторная батарея, генератор, стартер, регулятор напряжения).

Мотор - тестер также позволяет выполнить тестирование **механической части двигателя**. С его помощью можно определить поцилиндровый баланс мощности, относительную и абсолютную компрессию в цилиндрах, построить графики: давления в цилиндре, пульсации давления во впускном коллекторе и на срезе выхлопной трубы, произвести косвенную оценку мощности и механических потерь по изменению угловой скорости или ускорению (замедлению) коленчатого вала двигателя.

Данный мотор - тестер предназначен для работы с персональным компьютером. **Осциллограф** обычно используется для регистрации и отображения изменения сигналов первичных и вторичных цепей систем зажигания.

**Газоанализатор** (см. рис. 91) - прибор, позволяющий измерить содержание различных газов в отработавших газах автомобиля и использующийся для диагностики и настройки систем питания двигателей.



Рис. 91 Газоанализатор "Инфракар" модели 08, предназначенный для определения оксида углерода, суммы углеводородов в отработавших газах бензиновых автомобильных двигателей

Представленный на фотографии газоанализатор позволяет измерять: СО в диапазоне 0...7 % , СН - 0...3000 ppm с погрешностью  $\pm 6$  %. Время прогрева – до 30 минут, время установления показаний - не более 15 секунд, питание - 12 / 220 В (данные производителя).

Помимо этих приборов необходимо выполнять замеры давления топлива на топливной рампе с помощью манометра, а иногда-проверку работоспособности и проливку форсунок на специальных стендах.

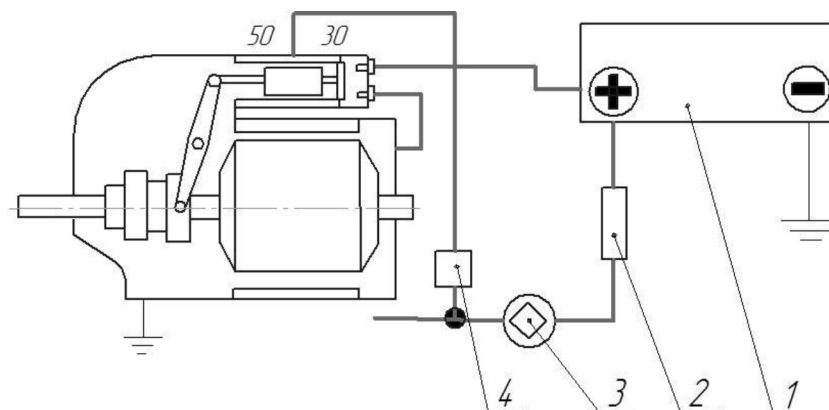
### **Система пуска двигателя**

Система пуска двигателя (см. рис. 92) обеспечивает его включение после продолжительной стоянки транспортного устройства или после внезапного выключения двигателя в процессе его эксплуатации. В её состав входят: аккумуляторная батарея 1, замок зажигания 3, стартер с тяговым реле и механизмом привода, реле включения стартера.

Аккумуляторная батарея – химический источник электрической энергии. В момент запуска она снабжает стартер электроэнергией, а во время движения автомобиля происходит обратный процесс: ее зарядка за счет энергии, вырабатываемой генератором.

**Стартер** (рис. 93) служит для вращения коленчатого вала ДВС с небольшой частотой (обычно 40...50 об/мин) при пуске двигателя. Он представляет собой электродвигатель постоянного тока. После поворота ключа в замке зажигания в положение «Запуск», ток от аккумуляторной батареи через реле подается на обмотки статора стартера 9 и механизм привода стартера (4, 5, 6) вводит шестерню 2 на валу якоря 3 в зацепление с зубчатым венцом маховика 12. Затем начинается вращение вала якоря стартера 10 вместе с шестерней 2, которая проворачивает коленчатый вал

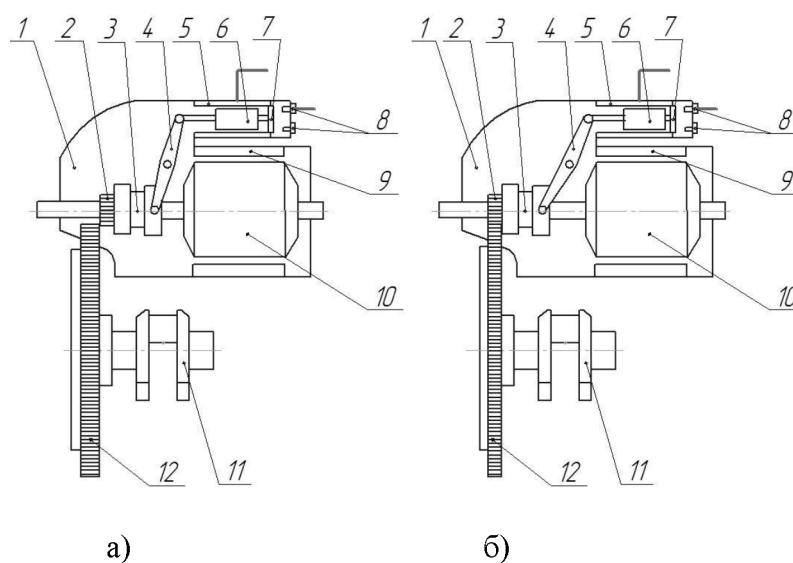
двигателя 11 через маховик 12. После запуска двигателя, механизм привода выводит шестерню стартера 2 из зацепления с зубчатым венцом маховика 12.



1 - аккумуляторная батарея; 2 - предохранитель; 3 - замок зажигания; 4 - реле стартера

Рис. 92 Схема системы пуска двигателя

**Генератор** обеспечивает подзарядку аккумуляторной батареи во время движения автомобиля, а также снабжает автомобильные системы (в том числе и систему зажигания) электроэнергией.



а)

б)

а) стартер выключен; б) стартер включен:

1 - корпус стартера; 2 - шестерня привода с муфтой свободного хода; 3 - вал якоря стартера; 4 - рычаг привода шестерни; 5 - обмотки тягового реле; 6 - якорь тягового реле; 7 - контактная пластина; 8 - контактные болты; 9 - обмотки статора; 10 - якорь стартера; 11 - коленчатый вал двигателя; 12 - зубчатый венец маховика

Рис. 93 Работа стартера при пуске двигателя

### **9.8 Основные неисправности системы пуска ДВС**

1. **Отказ аккумуляторной батареи** приводит к невозможности пуска двигателя автомобиля без использования дополнительной батареи или буксира. Исправляется заменой батареи.

2. **Отказ аккумуляторной батареи** приводит к невозможности пуска двигателя автомобиля без использования дополнительной батареи или буксира. Исправляется заменой батареи.

3. **Выход из строя стартера** также делает пуск ДВС невозможным. Причина может заключаться как в поломке стартера, так и механизма его привода. Поломка ликвидируется заменой неисправных деталей.

4. **Выход из строя генератора** в конечном итоге ведет к разрядке аккумуляторной батареи и соответствующим проблемам. Необходимо выполнить ремонт или замену генератора.

5. **Обрыв проводов в электроцепях системы пуска.** Для устранения заменяют поврежденные провода и контакты.

#### **Эксплуатация системы запуска двигателя.**

Одним из основных элементов системы пуска и зажигания является аккумуляторная батарея. Ее отказ однозначно приводит к незапуску двигателя. В этом случае необходимо провести замену батареи, ее подзарядку или провести пуск двигателя от аккумуляторной батареи другого автомобиля. Для предотвращения отказа батареи необходимо периодически контролировать в ней уровень и плотность электролита. При снижении уровня электролита в аккумуляторной батарее, как правило, следует доливать дистиллированную воду, так как в процессе эксплуатации батареи, из электролита выкипает и испаряется именно вода, а кислота, остается в батарее. Работоспособность батареи может быть оценена с помощью такого параметра как **плотность электролита**, которая показывает степень зарядки аккумулятора. Для средней полосы с умеренным климатом, в полностью

заряженной батарее, плотность электролита должна быть в пределах 1,27...1,28 г/см<sup>3</sup> (при его температуре +25<sup>0</sup>С). Падение плотности на 0,01 г/см<sup>3</sup> от нормы говорит о том, что аккумуляторная батарея разряжена приблизительно на 7%. Измерение плотности проводится **ареометром**. Если батарея разряжена более чем на 25% зимой или на 50% летом, то следует провести ее дозарядку.

Зарядка батареи осуществляется с помощью зарядного устройства. Величина зарядного тока должна составлять примерно одну десятую часть от емкости аккумуляторной батареи. При эксплуатации аккумуляторной батареи необходимо следить за чистотой ее поверхности, так как в случае загрязнения или (и) попадании на неё влаги возможен разряд батареи. Особенное внимание необходимо уделять состоянию клемм батареи. При их сильном окислении увеличивается сопротивление в электрической цепи и стартер не получает необходимого напряжения.

В поддержании батареи в рабочем состоянии большую роль играет **генератор**. Это основной источник электроэнергии на автомобиле во время движения, дополнительно обеспечивающий ее подзарядку. На современных автомобилях используются трехфазные генераторы переменного тока. Генератор приводится в действие ременной передачей от шкива коленчатого вала (см. рис. 94). Во время эксплуатации необходимо контролировать состояние ремня. Он может вытянуться, расслоиться или порваться. При его вытягивании или обрыве подзарядка аккумуляторной батареи не производится и генератор не питает энергией потребителей. Следовательно, необходимо обеспечить требуемое натяжение ремня (в соответствии с инструкцией по эксплуатации) и его нормальное состояние. Если на работающем двигателе горит красным цветом контрольная лампа заряда аккумуляторной батареи, то одной из основных причин этого является неисправность привода генератора.

На практике часто встречается и отказ стартера, который нельзя включать на время более 10...12 секунд. Если двигатель в это время не запустился, необходимо сделать паузу в 20...30 секунд и только потом повторить попытку. Если после двух-трех попыток включение двигателя не произошло, необходимо искать неисправность в системе зажигания, питания или пуска. В противном случае можно полностью разрядить аккумулятор, так как стартер потребляет очень большой ток - до 550 ампер.

При отказе стартера и аккумуляторной батареи на отдельных устаревших двигателях можно было воспользоваться пусковой рукояткой, на более современных двигателях переднеприводных автомобилей - раскруткой переднего колеса при включенной прямой передаче (при соблюдении целого ряда предосторожностей!). Иногда пуск двигателей автомобилей производят с буксира (для ДВС с впрыском это, как правило, запрещено). Отказ стартера часто возникает при ошибочном его включении ключом зажигания на работающем двигателе, так как в этом случае привод стартера входит в зацепление с быстро вращающимся коленчатым валом.

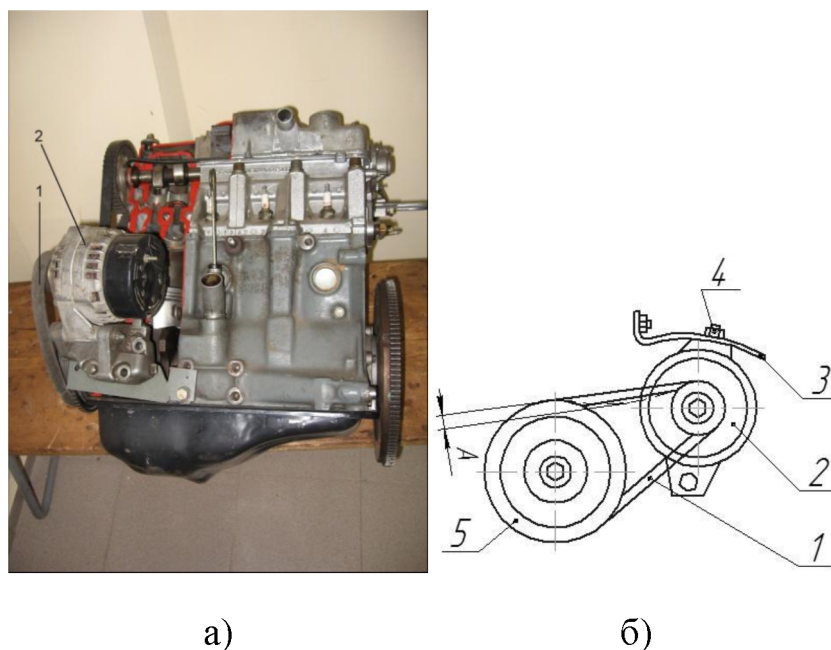


Рис. 94 Расположение генератора на двигателе (а) и схема привода генератора (б):

а) 1 - ремень привода генератора; 2 - генератор;

- б) 1 - ремень привода генератора; 2 - генератор; 3 - натяжная планка; 4 - гайка; 5 - шкив коленчатого вала; А - прогиб ремня

### ***Контрольные вопросы***

1. В обозначении аккумуляторной батареи 6СТ-55ПМА число 6 означает:  
**а) Количество элементов в батарее (правильно);**  
б) Номинальную емкость в ампер-часах;  
в) Кодовое заводское обозначение.
2. Генератор предназначен для питания электрическим током;  
**а) Всех потребителей и подзарядки аккумуляторной батареи при работе двигателя на средних и больших оборотах (правильно);**  
б) Системы управления двигателем;  
в) Подзарядки аккумуляторной батареи.
3. Генератор выходит из строя при:  
**а) Обрыве ременного привода от коленчатого вала (правильно);**  
б) Обрыве ремня ГРМ;  
в) Отказе системы управления впрыском топлива.
4. Большой надежностью при эксплуатации ДВС обладают:  
**а) Контактные системы зажигания;**  
**б) Электронная бесконтактная система зажигания (правильно);**  
в) Система зажигания с магнето.
5. Существуют следующие регуляторы опережения зажигания:  
а) Вакуумный;  
б) Центробежный;  
**в) Вакуумный и центробежный (правильно).**
6. Дозарядка аккумуляторной батареи зимой проводится при ее разрядке на:  
**а) 50%;**



**б) 25% (правильно);**

в) 70%.

7. Оценка плотности электролита проводится:

а) Плотномером;

**б) Ареометром (правильно);**

в) Амперметром.

8. Стартер двигателя:

а) Можно использовать для движения автомобиля рывками при выходе из строя системы зажигания;

**б) Нельзя включать на длительное время (правильно);**

в) С небольшими перерывами можно использовать многократно до запуска двигателя.

9. Аварийно можно попробовать запустить с буксира:

а) Любой ДВС;

**б) ДВС с карбюраторной системой питания (правильно);**

в) ДВС с впрыском топлива.

10. Отсутствие искрообразования в одном или нескольких цилиндрах при работе ДВС не может быть вызвано:

а) Неисправностью генератора;

б) Повреждением высоковольтных проводов;

**в) Разрядкой аккумуляторной батареи (правильно).**

## **ЛЕКЦИЯ 10 ИЗНОС ДВС ИХ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ**

Безотказных двигателей не существует, поэтому даже двигатели известных производителей рано или поздно выходят из строя. Причины этого могут быть сведены к трем основным группам (рис. 95) Из приведенной схемы видно, что при грамотном техническом обслуживании (ТО) и соответствующей эксплуатации полный износ, и соответственно отказ ДВС наступит позже, чем при нарушении их правил. В свою очередь ускоренному

износу ДВС и последующему его отказу могут способствовать объективные условия (группа 2), и «человеческий фактор» (группа 3).

Выражается это в следующем. Для двигателя срок службы обычно выражается в километрах пробега транспортного устройства, на котором он установлен.

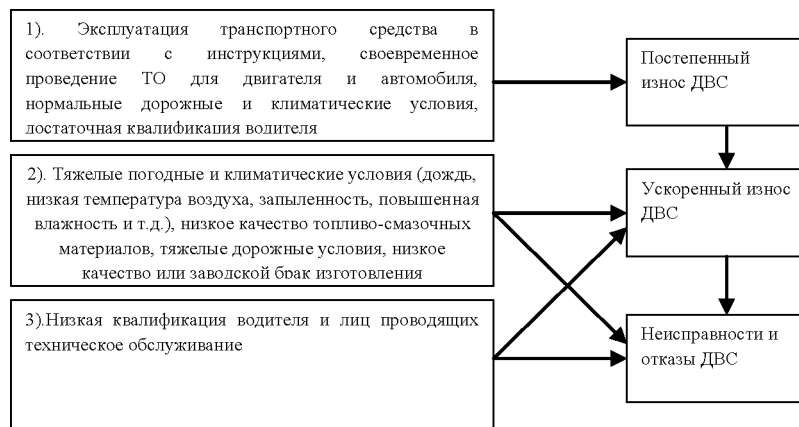


Рис. 95 Основные причины выхода двигателя из строя

В течение этого срока ДВС при правильной эксплуатации и ТО подвергается постепенному (или «естественному» износу). Для большинства иностранных ДВС этот ресурс равен 200-250 тысячам км, для отечественных двигателей автомобилей – 90-150 тысячам км. При большем пробеге увеличивается расход масла, шумность, появляются стуки из-за роста зазоров в трущихся парах, уменьшается мощность, становится труднее запуск и т.д. Двигатель при этом, как правило, ещё работает, но резко увеличивается его износ и вероятность возникновения отказов. В тоже время при неграмотной эксплуатации и различных сопутствующих этому факторах (см. схему на рис. 95) ускоренный износ и отказ наступят раньше.

Износ двигателя при его эксплуатации подразделяется на следующие виды: механический, абразивный, коррозионный и усталостный. **Механический износ** происходит вследствие сминания, выкрашивания или стирания частиц с поверхности деталей. **Абразивный износ** – это результат режущего или царапающего действия более твердых частиц одной из сопряженных деталей, частиц пыли, внесенных воздухом или попавших

вместе со смазкой. **Коррозийный износ** является следствием воздействия кислот, щелочей, кислорода. **Усталостный износ** вызывается воздействием многократных переменных нагрузок. Как правило, большинство деталей двигателя подвергаются одновременному воздействию нескольких видов износа.

### ***10.1 Нагруженность и теплонпряжённость деталей и узлов ДВС***

Детали двигателя испытывают нагрузки от действия сил давления газов, сил инерции, трения, моментов сил, а также в результате колебаний деталей двигателя. Ситуация усугубляется из-за их неравномерного нагрева и деформации сопрягаемых деталей при сборке. В результате напряженное состояние детали из-за действия механических и тепловых нагрузок оказывается очень сложным. Все это в целом определяет надежность ДВС и его деталей, а также затраты на обслуживание и ремонт. С точки зрения механической прочности выделяют следующие **опасные режимы**:

- режим пуска, когда происходит первая вспышка в цилиндре двигателя,
- режим максимального крутящего момента;
- режим максимальной и номинальной мощности;
- режим максимальной частоты вращения;

На первых двух режимах фактором, определяющим опасность, являются силы давления газов, нагружающие детали двигателя. На третьем режиме такую роль играют как силы давления газов, а так и силы инерции, а на последнем – только силы инерции. Совершенно очевидно, что при работе на любом из указанных режимов от нагрева деталей будут возникать дополнительные тепловые деформации и соответствующие им напряжения в деталях.

Нагрев деталей ДВС является следствием выделения тепла в его рабочем процессе. Если деталь ДВС при изменениях температуры лишена

возможности свободно расширяться или сжиматься, в ней возникают тепловые напряжения, ведущие к температурным деформациям. Они приводят к изменению зазоров в сочленениях, натягам, перекосам. Следовательно, чем выше механическая напряженность и теплонапряженность двигателя, тем больше будет его износ.

Основным параметром, оценивающим механическую напряженность ДВС, является средняя **скорость поршня**:

$$C_{\pi} = \frac{S \cdot n}{30} \text{ м/с};$$

где  $S$ -ход поршня двигателя, м; а  $n$ -частота вращения коленчатого вала, об/мин.

Следующим параметром, определяющим уже комплексную напряженность (и механическую, и тепловую) является **поршневая мощность**, представляющая собой мощность, приходящуюся на единицу площади всех поршней:

$$N_{\pi} = \frac{N_e}{i \cdot F_{\pi}}, \text{ кВт/дм}^2,$$

где  $F_{\pi}$  - площадь поршня, дм<sup>2</sup>.

Сравнение этих параметров для различных двигателей позволяет оценить их ресурс в первом приближении. Так, из рис.2. видно, что механическая напряженность двигателя ЗМЗ-406 в среднем в 1,2 раза выше, чем у ВАЗ-2112. Поршневая мощность, оценивающая механическую и тепловую напряженность у ЗМЗ-406 в зависимости от частоты вращения выше, чем у ВАЗ-2112 на 36...43% (рис.3). На основании этого, казалось бы, можно предположить, что реальный ресурс ЗМЗ-406 в среднем на 30...40% должен быть меньше ресурса ВАЗ-2112. В действительности картина несколько сложнее, т.к. данные формулы не учитывают качество работы систем смазки, охлаждения двигателей и т.д.

## **10.2 Прочность и износостойкость деталей и узлов ДВС**

Работоспособность и ресурс двигателей определяется прочностью и износостойкостью его деталей. Прочность обеспечивает отсутствие механических поломок, а износостойкость – отсутствие прогрессирующего износа трущихся пар, если не нарушены условия эксплуатации (наличие смазки, охлаждения и т.д.). Прочность деталей определяется напряжением в опасном сечении и свойствами материала. На работающую деталь действуют внешние силы (давление газов, силы инерции и т.д.), в результате чего в её сечениях возникают внутренние силы. Интенсивность этих сил характеризуется напряжением – отношением равнодействующей внутренних сил  $P$  в сечении к площади сечения  $F$ :

$$\sigma = P/F.$$

Разложение вектора этих напряжений на проекции даёт нормальное напряжение, действующее в направлении, перпендикулярном сечению и касательное напряжение, действующее в плоскости сечения.

Под напряжением деталь деформируется, её сечения перемещаются друг относительно друга. Эти перемещения на практике оцениваются понятием линейной относительной деформации, равной отношению изменения длины детали к самой длине детали.

Если нагрузка на деталь не меняется со временем или меняется медленно, то этот тип нагрузки принято считать **статическим**. На практике чаще возникают нагрузки, характеризующиеся изменением сил во времени, возникновением колебаний и изменением их амплитуд. Этот тип нагрузок получил название **динамических**. Бывают также ударные динамические нагрузки – когда детали периодически и почти мгновенно воздействуют друг на друга (например: кулачок распределительного вала и коромысло, действующее на клапан).

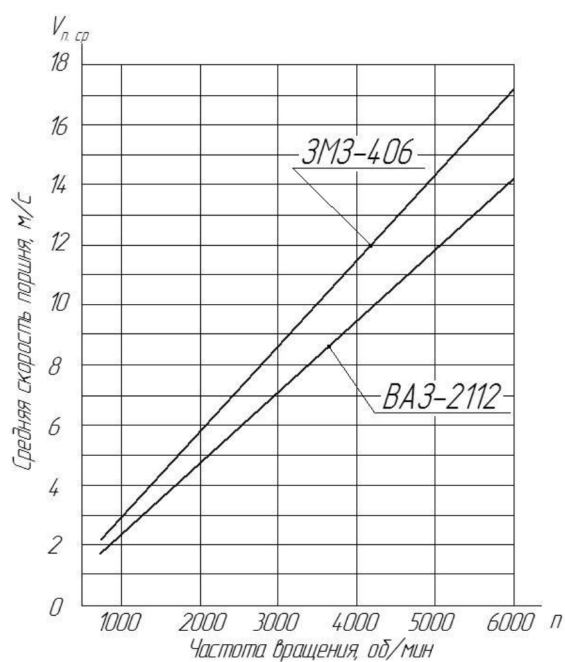


Рис. 96 Средняя скорость поршня двигателей BA3-2112 и 3M3-406 в зависимости от оборотов коленчатого вала двигателя

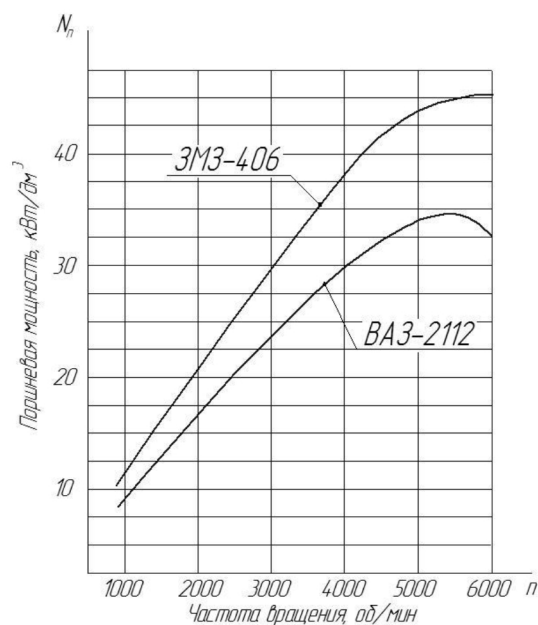


Рис. 97 Изменение поршневой мощности двигателей BA3-2112 и 3M3-406

Уровень нагрузки на деталь зависит от режима и условий её работы, и для всех деталей ДВС имеет свой характер. Могут быть и общие черты: нагрузка на КШМ и ГРМ пропорциональна массе движущихся деталей и квадрату частоты вращения. Чтобы деталь не разрушилась, напряжения во всех её сечениях не должны превышать определенного уровня, определяемого характеристиками материала детали.

При статическом нагружении прочность материала характеризуют диаграммой напряжения – зависимостью напряжения в образце круглого сечения от относительной деформации (рис.98):

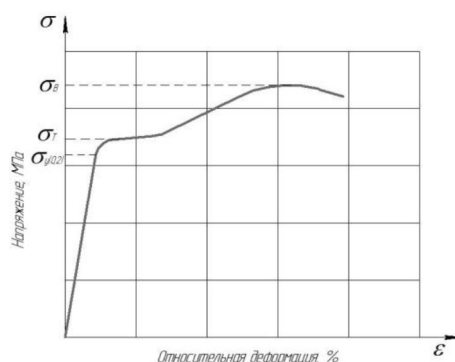


Рис. 98 Зависимость напряжения в образце от относительной деформации

Прочность материала при статическом нагружении характеризуется следующими величинами:

- пределом прочности при растяжении  $\sigma_B$  (максимальное значение);
- пределом текучести  $\sigma_T$  - напряжение, при котором образец круглого сечения деформируется при минимальной нагрузке;
- для хрупких материалов обычно применяют условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$ , равный напряжению, при котором остаточная деформация образца после снятия нагрузки составляет 0,2%;
- упругие свойства материала характеризуются величиной предела упругости  $\sigma_y$ , равной напряжению, выше которого проявляется остаточная деформация. На практике этой величиной пользуются редко, т.к. она близка к  $\sigma_{0,2}$ .

Чтобы обеспечить работоспособность детали необходимо иметь запас прочности, равный отношению предела прочности (или текучести) к максимальному напряжению  $\sigma_{\max}$ , возникающему в опасном сечении:

$$k = \sigma_B / \sigma_{\max}$$

Величина  $k$  назначается при разработке ДВС и обычно лежит в пределах 1,5... 3,0 для наиболее напряженных режимов. К этим режимам относят режимы максимальной нагрузки ДВС в диапазоне частот вращения от максимума крутящего момента до максимума мощности и режим холостого хода на максимальной частоте вращения.

Большинство деталей ДВС работает при повышенной температуре, это снижает предел прочности и запас прочности при неизменном  $\sigma_{\max}$ . Влияние температуры на прочность материалов проявляется в зависимости от времени. Это влияние оценивается пределами ползучести и длительной прочности.

Предел ползучести – напряжение, при котором остаточная деформация не превышает  $y\%$  за время  $t$  часов и обозначается  $\sigma_{y/t}$ , например  $\sigma_{0,1/1000}$ . Предел длительной прочности  $\sigma_t$  аналогичен  $\sigma_B$ , но с учетом температуры детали и времени испытания  $t$ .

Таким образом  $\sigma_B$  и  $\sigma_t$  (см. рис. 99) характеризуют кратковременное нагружение детали, тогда как для реальных условий длительной эксплуатации следует ориентироваться на пределы длительной прочности и ползучести. Как показывает опыт, при длительной работе деталей двигателя при нормальной температуре их прочность снижается на 10 – 20%, а при работе в среде высоких температур – в несколько раз. Вращающиеся и поступательно движущиеся детали двигателей испытывают переменные циклические нагрузки с частотой, равной частоте вращения коленчатого вала или пропорциональной ей.



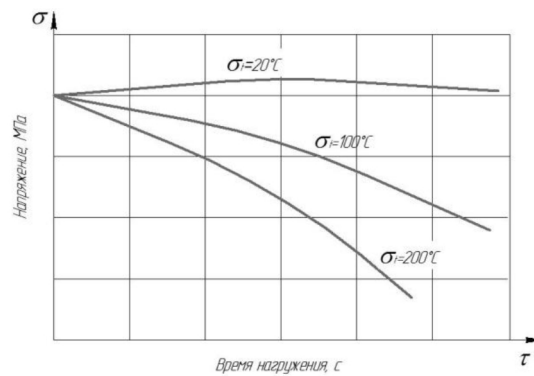
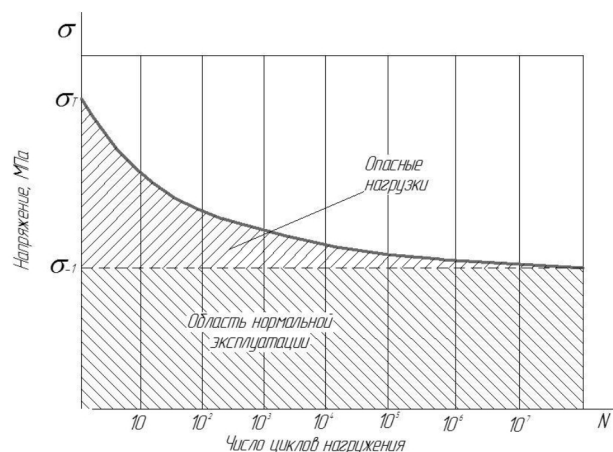


Рис. 99 Характеристика длительной прочности материала

В условиях циклических нагрузок характеристики прочности деталей существенно отличаются от статических при постоянной нагрузке. Для циклических нагрузок используется кривая усталостной прочности (рис. 100):



$\sigma_T$  - предел прочности (текучести);

$\sigma_{-1}$  - предел усталостной прочности при числе циклов  $N > 10^7$

Рис. 100 Кривая усталостной прочности

Кривая усталости — это зависимость напряжения, при котором происходит разрушение детали, от числа симметричных циклов нагружение — разгрузка. При большом числе циклов ( $N > 10^7$ ) разрушающее напряжение практически не зависит от числа циклов и называется пределом выносливости  $\sigma_{-1}$ . Для большинства материалов  $\sigma_{-1} = (0,4 \div 0,5)\sigma_B$ . Тогда запас прочности для деталей, работающих при циклических нагрузках:

$$k = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{\max}},$$

где  $\sigma_{\max}$  - максимальное напряжение в цикле.

С циклическими нагрузками в ДВС работает большинство деталей: поршни, поршневые пальцы, шатуны, клапаны, подшипники, коленчатый и распределительный валы и т.д. Усталостное разрушение начинается с поверхности детали в местах концентрации напряжений и дефектов.

Для обеспечения работоспособности и ресурса ДВС важное значение имеет износостойкость трущихся деталей. Износостойкость – это способность противостоять постепенному уменьшению размеров детали при трении. На износостойкость оказывает большое влияние ряд факторов: материалы трущейся пары, геометрия и шероховатость поверхностей контакта, условия смазки.

Для автомобильных ДВС наиболее характерно абразивное изнашивание, вызываемое попаданием между трущихся деталей мелких твердых частиц, не задержанных масляным, топливным или воздушным фильтрами, а также частиц самих деталей, образовавшихся при изнашивании. При высоких температурах возникает коррозионно-механическое изнашивание, когда происходит взаимодействие материалов со смазочной средой. При этом из-за контакта с продуктами окисления масла разрушается поверхность детали. При высоких контактных нагрузках происходит усталостное выкрашивание и появление раковин (характерно для кулачков распредвала и толкателей клапанов).

Заедание деталей без смазки ведет к молекулярно-адгезионному изнашиванию, когда материал одной детали вырывается с поверхности и переносится на другую деталь. В насосах системы охлаждения может встречаться кавитационное изнашивание.

Таким образом, на практике износостойкость деталей определяется рядом

внешних условий:

- 1) условиями смазки;
- 2) условиями охлаждения;
- 3) отсутствием примесей в масле, топливе и воздухе в виде твердых частиц – качественная фильтрация;
- 4) правильным подбором материалов пар трения.

Большое влияние на износостойкость оказывает шероховатость поверхности, которая не должна быть как чрезвычайно большой, так и чрезвычайно малой. Так, например, при грубой поверхности цилиндра возрастает удельное давление из-за уменьшения площади контакта, а соответственно возрастает и износ деталей ЦПГ. При слишком гладкой поверхности обеспечивается большая площадь контакта и снижение контактных напряжений, но ухудшается удерживание смазки поверхностью, что ведет к задирам. Поэтому сейчас цилиндры обрабатываются способом плосковершинного хонингования, что обеспечивает получение рисок определенного направления. Юбка поршня подвергается токарной обработке для получения микроканавок.

Взаимосвязь между интенсивностью изнашивания ДВС и шероховатостью поверхности детали отражается в зависимости интенсивности изнашивания детали от времени работы (пробега) см. рис. 101.

При конструировании ДВС и разработке технологии их производства стараются сохранить первую стадию изнашивания детали – период первоначальной приработки. В этот период шероховатость доводится до оптимальной. Период нормальной эксплуатации пытаются удлинить. Кривая изнашиваемости хорошо согласуется с кривой вероятности возникновения отказов (см. рис. 102).

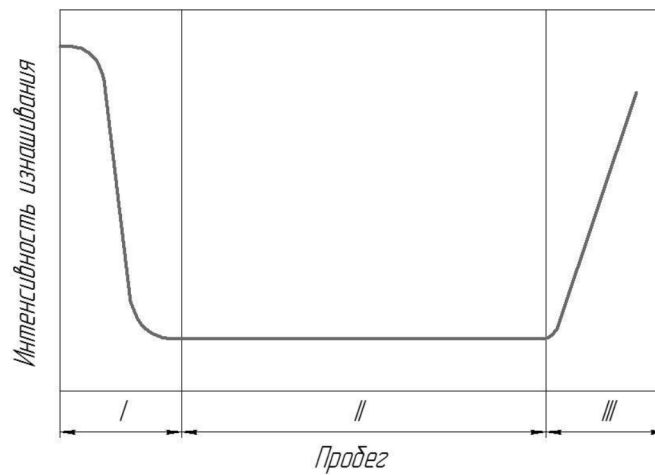


Рис. 101 Зависимость интенсивности изнашивания детали от времени работы (пробега)

- I – период первоначальной приработки;
- II – период нормальной эксплуатации;
- III – ускоренное (катастрофическое) изнашивание

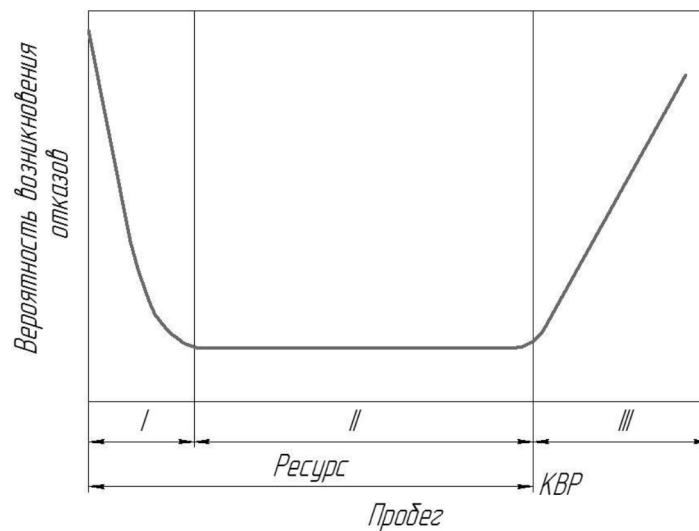


Рис. 102 Зависимость вероятности отказов детали от времени работы детали (пробега)

- I – период первоначальной приработки;
- II – период нормальной эксплуатации;
- III – период износа и старения.

На обеих кривых период первоначальной приработки помимо прочего определяется:

- ошибками, допущенными при конструировании;
- ошибками сборки и технологии производства.

### ***Контрольные вопросы***

1. Ресурс автомобильного ДВС исчисляется:

**а) В километрах пробега (правильно);**

б) В часах наработка;

в) В виде средней наработки до любого отказа.

2. «Человеческий» фактор:

а) Не влияет на появление отказа ДВС;

**б) Является одной из причин отказов ДВС (правильно);**

в) Полностью определяет появление отказов ДВС в эксплуатации.

3. Не существует вид износа деталей ДВС:

а) Усталостный;

б) Механический;

**в) Преждевременный (правильно).**

4. По скорости поршня можно оценить:

а) Тепловую напряженность;

**б) Механическую напряженность (правильно);**

в) Вероятность отказов систем двигателя.

5. Прочность деталей определяется :

**а) Напряжением в опасном сечении и свойствами материала (правильно);**

б) Правильной эксплуатацией автомобиля;

в) Своевременным техническим обслуживанием.

6. Нагрузки на детали ДВС чаще всего бывают:

а) Статическими;

б) Динамическими;

**в) Динамическими и ударными (правильно).**

7. Повышенному износу многих деталей ДВС способствуют:.

**а) Температурные нагрузки (правильно);**

б) Частые поездки на большие расстояния по автомагистралям;

в) Движение автомобиля со скоростями более 60 км/час.

8. Период первоначальной приработки актуален:

а) Для карбюраторных ДВС;

б) Для ДВС с впрыском топлива;

**в) Для всех современных ДВС (правильно).**

9. Износостойкость деталей ДВС определяется:

**а) Материалами трущейся пары, геометрией и шероховатостью поверхностей контакта, условиями смазки (правильно);**

б) Использованием электронного управления;

в) Своевременным техническим обслуживанием.

10. Не имеют отказов в эксплуатации:

а) Двигатели «БМВ» и «Мерседес»;

б) Двигатели «Тойота-Лексус»;

**в) Все двигатели могут иметь отказы (правильно).**

## **ЛЕКЦИЯ 11 ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ПОЛОМОК И ОТКАЗОВ ДВС**

### ***11.1 Предпосылки к возникновению неисправностей и отказов в ДВС, обусловленные рабочим циклом***

Предпосылки к износу и неисправностям заложены уже в самом принципе работы и конструкции ДВС. Наибольшее распространение на автомобилях в настоящее время получили четырехтактные ДВС. Их рабочий цикл включает в себя четыре такта: впуск, сжатие, рабочий ход и выпуск. При этом работа дизельного двигателя от работы бензинового отличается тем, что воспламенение в его цилиндрах происходит при впрыскивании топлива в воздух, предварительно сжатый поршнем, а не от свечи. Каждый такт ДВС не только имеет свое назначение, но и свои особенности, способствующие выходу двигателя из строя. Рассмотрим их подробнее.

На такте впуска при движении поршня от ВМТ вниз при открытом впускном клапане, поршневые кольца (см. рис. 102) силой трения

прижимаются к краям канавок на поршне:

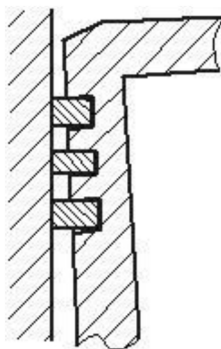


Рис. 102 Положение поршневых колец при такте впуска

При этом шатун и поршень будут испытывать растяжение. Эта нагрузка будет максимальной вблизи ВМТ и увеличивается с ростом оборотов коленчатого вала. На такте впуска создается значительное разрежение во впускном трубопроводе, за счет чего возможно засасывание во впускной тракт посторонних предметов и жидкостей, что может привести к повреждению ДВС. Примером является гидроудар от попадания во впускной трубопровод жидкости при преодолении автомобилем водной преграды, когда воздухозаборник ДВС оказывается ниже уровня ее поверхности. От гидроудара страдают элементы кривошипно-шатунного механизма: поршень, шатун и т.д.

Резкое увеличение оборотов коленчатого вала на такте впуска может вызвать разрушение поршня, обрыв шатунов, тарелок клапанов и шатунных болтов, поэтому некоторые фирмы в инструкциях по эксплуатации запрещают при запуске пользоваться педалью газа.

На такте сжатия происходит «перекладка» поршня (см. рис. 103).

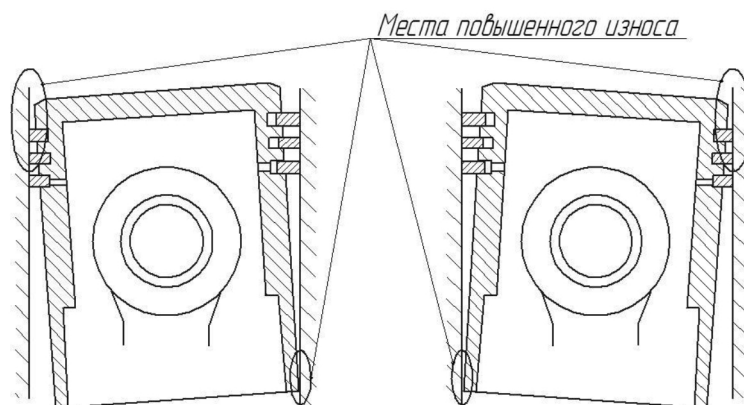


Рис. 103 «Перекидка» поршня

Она заключается в том, что, не доходя до НМТ, поршень юбкой прижимается к одной стороне цилиндра, а после прохождения НМТ - к другой. В этот момент появляются дополнительные силы, прижимающие кольца к цилиндру и увеличивающие его износ в плоскости перекидки (перпендикулярно оси поршневого пальца). Давление юбки на цилиндр в разных местах различное и там, где оно больше, износ цилиндра также увеличивается. Перекидка поршня также имеет место при прохождении поршнем ВМТ. Как правило, места повышенного износа расположены на цилиндре ближе к его нижней части слева или в верхней части - справа. «Перекидка» происходит тем интенсивнее, чем больше зазор между поршнем и цилиндром. Особенно актуальны последствия этого процесса при использовании в двигателе штампованных (кованых) поршней. Эти поршни не имеют терморегулирующей вставки, поэтому для компенсации уменьшения зазора в паре цилиндр - поршень при повышенных мощностных режимах его завышают.

Проблема износа поверхности цилиндра частично решается установкой плавающего поршневого пальца (например, как на двигателе ВАЗ-2112).

На такте сжатия вблизи НМТ и ВМТ наблюдается также насосный эффект (когда кольца передвигаются от одного торца канавки к другому, а масло обтекает их и попадает в камеру сгорания). На изношенных двигателях из-за этого увеличивается расход масла.



Когда поршень движется к ВМТ, давление в цилиндре очень быстро нарастает. При возникновении горения (за  $5...30^0$  до ВМТ; иначе из-за поздней вспышки коленчатый вал может начать вращаться в обратную сторону, что используется на судовых дизелях, а в последнее время и на некоторых автомобильных двигателях) возрастает усилие прижатия компрессионных поршневых колец к поверхности цилиндра и канавкам поршня. При этом верхнее кольцо закручивается в канавке, что ведет к интенсивному износу кольца, канавки, стенки цилиндра. Чем выше давление, тем труднее поршню повернуться на поршневом пальце. Для уменьшения этого эффекта используется смещение влево от оси поршня оси поршневого пальца и применение плавающего пальца.

Наличие посторонних предметов и жидкостей в цилиндре на такте сжатия приводит к деформации стержня шатуна и к потере устойчивости ЦПГ (см. рис. 104 и 105). В конце такта сжатия рабочая смесь воспламеняется и быстро сгорает. Во время процесса горения давление в камерах сгорания бензиновых ДВС достигает  $3...6$  МПа, а температура -  $2500\text{K}$  и более. Сам процесс происходит вблизи ВМТ и длится  $40...60^0$  по углу поворота коленчатого вала. Объем камеры сгорания при этом меняется незначительно. У дизельных двигателей из-за более высокой степени сжатия ( $20...22$  против  $10$  у бензиновых) давление в камере сгорания при горении выше и достигает  $5,5...10$  МПа.

Температура горения у дизелей наоборот, меньше ( $T \approx 2000...2200\text{K}$ ), что обусловлено более низкой теплотворной способностью дизельного топлива и большими значениями коэффициента избытка воздуха, достигающими  $1,5...2,5$  (против  $\alpha = 0,7...1,2$  у бензиновых двигателей).



Рис. 104 Обрыв шатуна и его последствия для блока цилиндров



Рис. 105 Потеря устойчивости шатуном на такте сжатия

Часть тепла, выделившегося при работе ДВС, уходит с отработавшими газами, а часть передается в стенки головки, гильзы цилиндра и поршень, что определяет его теплонапряженность. Величина этой второй части зависит от конструкции головки блока, камеры сгорания, организация процесса горения и режима работы ДВС.

В камере сгорания температура превышает  $1800...2000^{\circ}\text{C}$ , а детали из алюминиевых сплавов выдерживают только  $300...350^{\circ}\text{C}$ . Поэтому

конструкция поршня должна обеспечивать отвод тепла от днища, иначе возможно его прогорание. Согласно имеющимся данным тепло распределяется следующим образом (см. рис. 106):

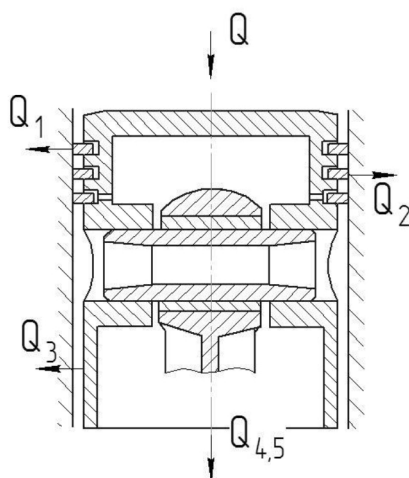


Рис. 106 Распределение тепла при горении ТВС

$Q_1$  – поток тепла через верхнее кольцо в цилиндр – 50...60% от общего количества тепла  $Q$ ;

$Q_2$  – поток тепла через среднее кольцо – 15...20%;

$Q_3$  – поток тепла через юбку – 10...15%;

$Q_{4,5}$  – поток тепла, рассеиваемого в картере – 10-20%.

Тепловое состояние поршня зависит от его конструкции, материала и в значительной степени влияет на работоспособность ДВС. При плохом отводе тепла и зазор между поршнем и цилиндром минимизируется и поршень может заклинить. Результатом будет его деформация, повреждение поверхности цилиндра (задиры), шатуна, а иногда и блока.

На износ двигателя также существенно влияют нарушения в процессе сгорания: детонация и преждевременное воспламенение. Детонация резко увеличивает максимальное давление, температуру и нагрузки на детали двигателя, что может привести к следующим повреждениям ДВС:

а) Поломке перемычек поршней между канавками колец, краев днища и поршневых колец из-за ударных нагрузок (рис. 107);

- б) Износу сопряжения поршень-палец;
- в) Повреждениям шатуна и шатунной шейки коленвала.

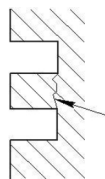


Рис. 107 Места разрушения перемычек поршня при детонации

При преждевременном воспламенении (калильном зажигании) воспламенение ТВС происходит не от свечи, а от нагретых поверхностей камеры сгорания, температура которых может достигать  $700^{\circ}\text{C}$  (а также электродов свечей зажигания и тарелок выпускных клапанов). Появление калильного зажигания может быть вызвано применением нестандартных свечей. При калильном зажигании ТВС воспламеняется раньше, чем происходит искровой разряд. С ростом нагрузки и частоты вращения в этом случае тепловое и силовое воздействие на детали двигателя, особенно на поршень, значительно возрастают.

Совершаемая на такте рабочего хода полезная работа зависит от давления в цилиндре при сгорании, которое определяется состоянием колец, поршня и цилиндра. И наоборот, это давление в конечном итоге с течением времени приводит к износу этих элементов. Нагрузки на эти элементы зависят от величины подачи топлива. Резкое увеличение подачи топлива приводит к появлению ударных нагрузок, т.к. происходит удар шатуна по шейке коленчатого вала (см. рис. 108).

На такте выпуска в момент открытия выпускного клапана вблизи НМТ давление в цилиндре еще велико ( $0,3 \dots 0,6 \text{ МПа}$ ), поэтому в выпускном трубопроводе за клапаном возникает ударная волна, распространяющаяся со звуковой скоростью. При этом тарелка выпускного клапана обтекается потоком с температурой  $1100 \dots 1300^{\circ}\text{C}$  у бензиновых двигателей и  $800 \dots 900^{\circ}\text{C}$  у дизелей. На клапан в такте выпуска сначала действует сжимающее

усилие, а затем растягивающее. С ростом частоты повторения циклов эти усилия растут. Для отвода тепла от клапана он должен хорошо контактировать с массой головки блока по поверхности «седло-тарелка». Детали ЦПГ и КШМ на выпуске испытывают нагрузки, аналогичные процессу сжатия.



Рис. 108 Разрушение коленчатого вала форсированного двигателя при резком открытии дроссельной заслонки

### ***11.2 Предпосылки к возникновению неисправностей и отказов в ДВС, обусловленные работой двигателя в экстремальных условиях***

Вероятность отказа ДВС резко возрастает при его работе в экстремальных условиях, когда температурные и силовые воздействия на детали превышают предельно допустимые. Экстремальные условия могут являться следствием как неграмотной эксплуатации и обслуживания двигателя, так и погрешностями в его производстве.

Наиболее часто встречающимся примером экстремальных условий эксплуатации ДВС является **работа двигателя при недостаточной смазке («масляное голодание»)**.

Причинами недостаточной смазки деталей ДВС, как правило, являются низкое давление масла или его отсутствие в системе. После работы двигателя в течение всего лишь нескольких секунд без смазки начинается разогрев подшипников скольжения, ведущий к разрыву масляной пленки между

вкладышами и шейками коленчатого или распределительного валов. Далее, в результате сухого трения, вкладыши привариваются к валу и начинают проворачиваться в своем посадочном месте (при небольших частотах вращения вала проворачивания вкладышей не наблюдается, но двигатель заклинит). Далее происходит разрушение шатуна. В режиме «масляного голодания» особенно легко повреждается распредвал, расположенный в головке блока.

Режим «масляного голодания» возможен как у старых, так и у новых двигателей. Если у первых он является следствием отказа системы смазки, то в новых двигателях его причиной обычно является повреждение поддона. Иногда «масляное голодание» возникает по причине использования несоответствующего масла или из-за климатических условий (при снижении температуры окружающего воздуха ниже  $-20^{\circ}\text{C}$  вязкость масла резко увеличивается). В общем случае возникновение «масляного голодания» может быть обусловлено причинами, приведенными на рис. 109.

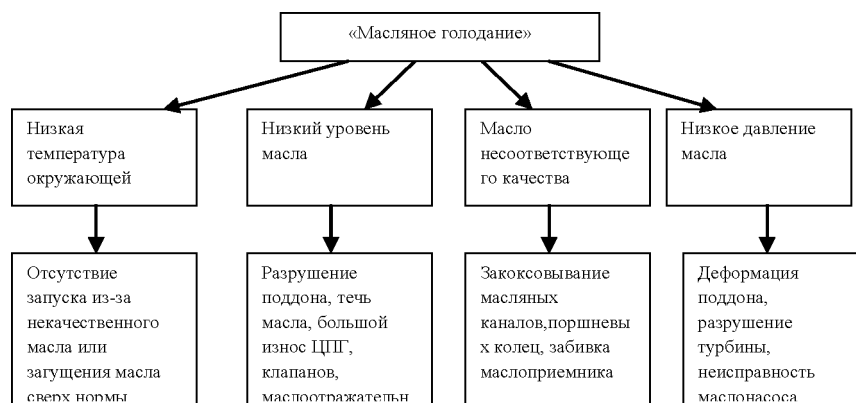


Рис. 109 Основные причины «масляного голодания» ДВС

Другим случаем экстремальной работы ДВС, часто встречающимся в эксплуатации является **перегрев двигателя**. Он обычно возникает из-за не герметичности прокладки головки блока цилиндров или неисправности системы охлаждения. Перегрев сопровождается кипением охлаждающей жидкости, снижением эффективности работы системы охлаждения и резким увеличением температуры деталей цилиндропоршневой группы и головки блока цилиндров. Основной причиной роста их температуры является снижение отвода тепла от поршня в стенки цилиндра. При этом температура поршня резко увеличивается, а зазор между ним и цилиндром уменьшается (быстрее всего зазор уменьшается в районе юбки). Перегретое масло на стенках цилиндра теряет свои смазочные свойства и происходит разрыв его пленки, в результате - режим полусухого трения с контактом поршня и цилиндра. На их поверхности образуются задиры, а с дальнейшим ростом температуры в условиях продолжающегося трения растет и вероятность заклинивания ДВС.

Другим следствием перегрева является увеличение усилия сжатия прокладки головки блока за счет разницы температурного расширения головки и болтов, что приводит к деформации плоскости стыка и прокладки. Наконец, в результате перегрева может возникнуть повреждение деталей ГРМ, например, седел выпускных клапанов. При сильном перегреве в головках блока возможно появление трещин, которые обычно образуются

около седел выпускных клапанов. Это связано с низкой прочностью материалов головок (чугун, силумин).

Наиболее распространенные причины перегрева двигателя представлены на рис. 110.

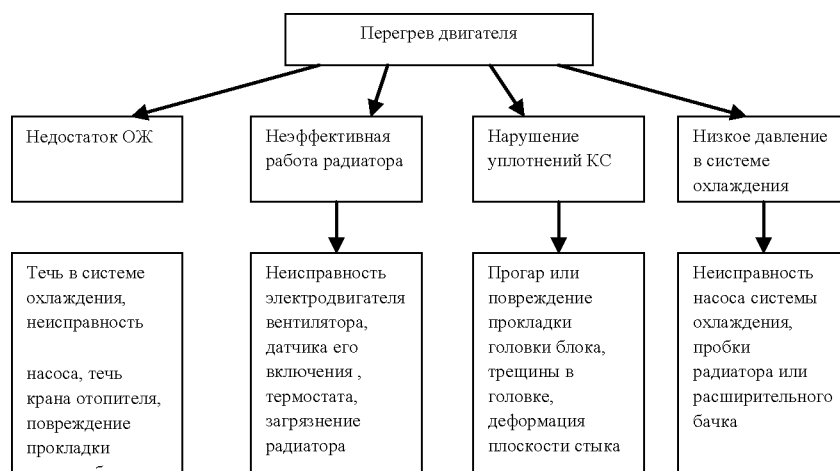


Рис. 110. Основные причины перегрева ДВС

Третьим видом экстремальной работы ДВС является его **работа на некачественном топливе**. Как правило, в этом случае в ДВС с искровым зажиганием всегда возникает детонация. Длительная работа с детонацией ведет к трещинам и поломкам поршней, их колец, к прогару поршней. Так как длительная работа с детонацией возможна обычно лишь при очень низкой квалификации водителя, повреждения ДВС, вызванные этим фактором, встречаются реже, чем при «масляном голодании» и перегреве.

Раньше большинство двигателей имели возможность ручного регулирования угла опережения зажигания. При низкооктановом топливе водитель мог его отрегулировать с помощью октан-корректора и, следовательно, уменьшить детонацию. На современных двигателях такую регулировку выполняет компьютер в зависимости от режима, по сигналу датчика детонации. При этом возможности такой регулировки очень малы, а соответственно требования к качеству топлива достаточно высокие. Другим проявлением работы на некачественном топливе может являться выход из



стройка свечей зажигания и нейтрализаторов вредных веществ в выхлопных газах.

У дизелей некачественное топливо в первую очередь ведет к повреждению ЦПГ. При низком цетановом числе происходит задержка воспламенения, что приводит к «жесткой» работе двигателя, т.е. к росту градиента давления в цилиндре по углу поворота коленчатого вала. В результате возникают такие же повреждения, как и в бензиновом ДВС.

**Гидроудар в цилиндре** также можно отнести к экстремальным условиям эксплуатации ДВС. Причиной гидроудара является попадание в цилиндр различных жидкостей, например – при преодолении водной преграды. Если объем воды, попавшей в цилиндр близок к объему КС или больше него, то при подходе к ВМТ поршень упрется в воду, которая является несжимаемой жидкостью. При этом произойдет остановка двигателя, а также возможна деформация шатуна, незначительная деформация коленвала и появление трещин в верхней части цилиндра. При попытке пуска такого двигателя деформации усилятся, а поездка может привести к разрушению блока. Попадание воды – не единственная причина гидроудара. Он может произойти и при поломке турбокомпрессора с последующим попаданием масла в цилиндр, при разрушении регулятора давления топлива в ДВС с системой впрыска, попадании охлаждающей жидкости в цилиндр при негерметичности головки блока и т.д.

### ***11.3 Неисправности и отказы ДВС, обусловленные конструктивно - производственными недостатками или особенностями двигателя***

В некоторых случаях неисправности и отказы двигателя могут возникать в результате недоработок конструкторов (неучет каких либо факторов), неготовности производства к выпуску новой модели двигателя, износа технологического оборудования, низкого качества производства и т.д. Сюда можно в некотором роде отнести и отсутствие качественных запасных частей. Примеров этому достаточно много как у нас в стране, так и

зарубежом. Так например, выпуск первых двигателей ВАЗ-2101 в условиях отсутствия качественного масла породил проблему ускоренного износа распределительных валов, двигатели «УЗАМ» иногда грелись некачественной сборкой, а у ранних двигателей ЗМЗ-406 имел место быстрый износ башмака гидронатяжителя и успокоителя цепи привода распредвалов. Как правило, такие причины неисправностей не являются «хроническими», т.к. производители постоянно совершенствуют двигатели и проводят доработки проблемных узлов.

#### ***11.4 Неисправности и отказы ДВС, обусловленные эксплуатацией***

Грамотная эксплуатация, как уже не раз отмечалось выше, включает в себя как своевременное выполнение технического обслуживания, так и водительское мастерство. Рекомендации по выполнению технического обслуживания даны в разделах, посвященных механизмам и системам ДВС, поэтому остановимся подробнее на квалификации и умении водителя поддерживать оптимальное состояние ДВС.

Правильное вождение автомобиля способно в значительной мере продлить ресурс двигателя и сохранить его характеристики (максимальная мощность, крутящий момент). Внимание правильному вождению автомобиля необходимо уделять начиная с момента начала его эксплуатации (периода обкатки). В этот период происходит взаимная приработка сопряженных деталей, сопровождающаяся повышенным трением и интенсивным износом вследствие удаления выступов, оставшихся от механической обработки. В этот период запуски холодного двигателя и начало движения без необходимого прогрева способны нанести повреждения еще неприработавшимся поверхностям, которые впоследствии скажутся на состоянии ДВС.

Движение на непрогретом двигателе и после его обкатки способно нанести двигателю вред. Масло с повышенной вязкостью не обеспечивает должной смазки ответственных узлов, что способствует их досрочному

выходу из строя. В тоже время долгая работа двигателя на холостом ходу также нежелательна из-за низких давлений в системе смазки. Поэтому, еще в 70-е годы прошлого века ВАЗ провел эксперименты, которые показали, что после прогрева двигателя примерно до  $40...50^{\circ}\text{C}$ , дальнейший прогрев целесообразно проводить в движении на первой или второй передаче, осуществляя его без резкого изменения нагрузки на двигатель. В период обкатки для обеспечения равномерного износа пар трения вообще следует избегать резкого изменения нагрузки на двигатель, стараясь равномерно увеличивать ее на всех режимах.

После завершения периода обкатки действия водителя сводятся к обеспечению мер по снижению износа двигателя и отдалению его капитального ремонта. Здесь необходимо знать определенные особенности вождения автомобиля, которые не всегда очевидны. Так, следует помнить, что большие нагрузки при малой частоте вращения коленчатого вала (режим максимального крутящего момента) ускоряют износ двигателя в 3...5 раз быстрее, чем на режиме максимальной мощности. Поэтому, например попытка в «раскачку» выбраться из ямы неблагоприятна не только для сцепления, но и для двигателя. Тоже относиться и к буксированию других автомобилей и движению с прицепом - они однозначно ведут к ускорению износа. Следует знать, что при увеличении частоты вращения коленчатого вала при постоянной нагрузке скорость износа ДВС вначале уменьшается, а потом возрастает. Вообще для современных двигателей наименьший износ наблюдается при движении автомобиля на высшей передаче со скоростью 65...90 км/час.

Правильное переключение передач способно существенно продлить ресурс ДВС. В инструкциях по эксплуатации автомобилей всегда указывается, какой скоростной диапазон соответствует каждой передаче. Необходимо знать, что ранний переход на высшую передачу, преодоление подъемов «в натяг» существенно снижают ресурс. Помимо нагрузки, на

ресурс ДВС существенно влияет динамика изменения его оборотов. У карбюраторных двигателей при резком разгоне автомобиля во впускном трубопроводе системы питания на стенках появляется пленка бензина, которая при попадании в цилиндр смывает смазку.

У двигателей всех типов при резком ускорении движения автомобиля, либо его торможении происходит скачкообразное изменение усилий в механизмах и системах двигателя, которое при определенных условиях вызывает ударные нагрузки и возможность повреждения деталей. Заглохшие двигатели автомобилей нежелательно запускать с буксира. Скопившееся и несгоревшие в выпускной системе топливо при воспламенении способно ее разрушить, при этом у двигателей с впрыском возможно еще и разрушение нейтрализатора. В эксплуатации сильно изношенных двигателей также существуют свои особенности. Так при большом количестве нагара, самовоспламенения в ДВС после выключения зажигания можно избежать, если дать двигателю поработать от одной до полутора минут на холостом ходу.

### ***Контрольные вопросы***

1. На такте впуска шатун испытывает:  
**а) Растяжение (правильно);**  
б) Сжатие;  
в) Растяжение и сжатие.
2. «Перекидка» поршня интенсифицируется:  
а) При уменьшении зазора между поршнем и цилиндром;  
**б) При увеличении зазора между поршнем и цилиндром (правильно);**  
в) При прогреве двигателя.
3. Износ поверхности цилиндра за счет «перекидки» поршня меньше:  
**а) У двигателей с «плавающим» пальцем (правильно);**  
б) У поршней без терморегулирующей вставки;

в) У двигателей работающих с большой частотой вращения коленчатого вала.

4. А наличие посторонних предметов и жидкостей в цилиндре на такте сжатия не может привести:

а) К деформации шатуна;

б) Деформации коленчатого вала;

**в) Повреждению электронной системы управления двигателем (правильно).**

5. Обрыв шатуна:

а) Не приводит к повреждению блока цилиндров;

**б) Может привести к повреждению блока цилиндров (правильно);**

в) Наносит повреждения системе смазки.

6. При детонации не может произойти:

а) Разрушение перемычек поршня;

б) Повреждение шейки коленчатого вала;

**в) Прогар стенки цилиндра (правильно).**

7. При калильном зажигании воспламенение топливо-воздушной смеси не происходит:

**а) От искры свечи зажигания (правильно);**

б) От тарелок выпускных клапанов;

в) От электрода свечи.

8. Насосный эффект не может приводить:

а) К увеличению расхода масла;

б) Износу поршневого кольца;

**в) К повреждению масляного насоса (правильно).**

9. Перегрев двигателя не может возникнуть вследствие:

а) Повреждения прокладки между блоком и головкой;

б) Утечек охлаждающей жидкости;

**в) Больших скоростей движения автомобиля (правильно).**

10. К экстремальным видам эксплуатации ДВС не относится:

- а) Работа на некачественном топливе;
- б) «Масляное голодание»;
- в) Большие обороты коленчатого вала (правильно).

## ЛЕКЦИЯ 12 ОСНОВЫ ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ ДВС

### *12.1 Диагностика неисправностей ДВС*

Для восстановления работоспособности двигателей необходимо не только устранять последствия появившихся дефектов, но и находить их первоначальные причины. Иначе, с высокой степенью вероятности можно предположить, что отказ или неисправность вновь проявятся в процессе эксплуатации. Неправильно установленная причина отказа двигателя или возникновения его неисправности также ведут к повторению ситуации, когда двигатель после ремонта утратит свою работоспособность. В обоих случаях имеют место дополнительные затраты труда и материальных ресурсов, сверх действительно необходимых.

Таким образом, совершенно очевидно, что грамотно выполненная диагностика двигателя способна: снизить материальные затраты на эксплуатацию и ремонт ДВС, продлить его ресурс, повысить надежность и т.д. В последнее время диагностика двигателей все чаще стала использоваться не только при определении причин всевозможных поломок, но и для их профилактики в ходе планового технического обслуживания, а также для определения текущего состояния двигателя и оценки его остаточного ресурса. В настоящее время для диагностики ДВС используются различные способы в зависимости от состояния двигателя, квалификации персонала, вида имеющегося диагностического оборудования и т.д. Все имеющиеся виды диагностики ДВС условно можно разделить на два больших класса: диагностику механической части двигателя (поршневой

группы, кривошипно-шатунного механизма, газораспределительного механизма, систем смазки и охлаждения) и диагностику систем управления двигателем (систем питания, зажигания, и т.д.).

## ***12.2 Диагностика механической части ДВС***

### **Диагностика неисправностей механической части ДВС по внешним признакам**

Работа двигателя сопровождается изменением его входных (нагрузка, режим работы, свойства и параметры рабочих тел систем двигателя) и выходных параметров (мощность, расход топлива и рабочих жидкостей, шумы, возникающие при работе, состав отработавших газов и т.д.) - см. рис. 111. Вторая группа параметров (их называют внешними признаками) и служит для определения неисправностей механической части двигателя.

При этом наличие неисправности определяется по рассогласованию этих параметров у исправного и неисправного двигателей. Выполняя диагностику по внешним признакам, трудно, используя анализ изменения лишь одного какого-либо параметра, дать правильный ответ о причине неисправности. Поэтому необходимо придерживаться определенного порядка проведения проверок, постепенно исключая все, не характерные для данного случая неисправности, и сужающего их круг до одной возможной причины. Сложность заключается в том, что механическая часть ДВС включает в себя большое количество узлов и деталей (см. рис. 112). Следовательно, возможно возникновение большого количества неисправностей, которые могут иметь сходный характер проявления, (например, стук), но совершенно различные причины.

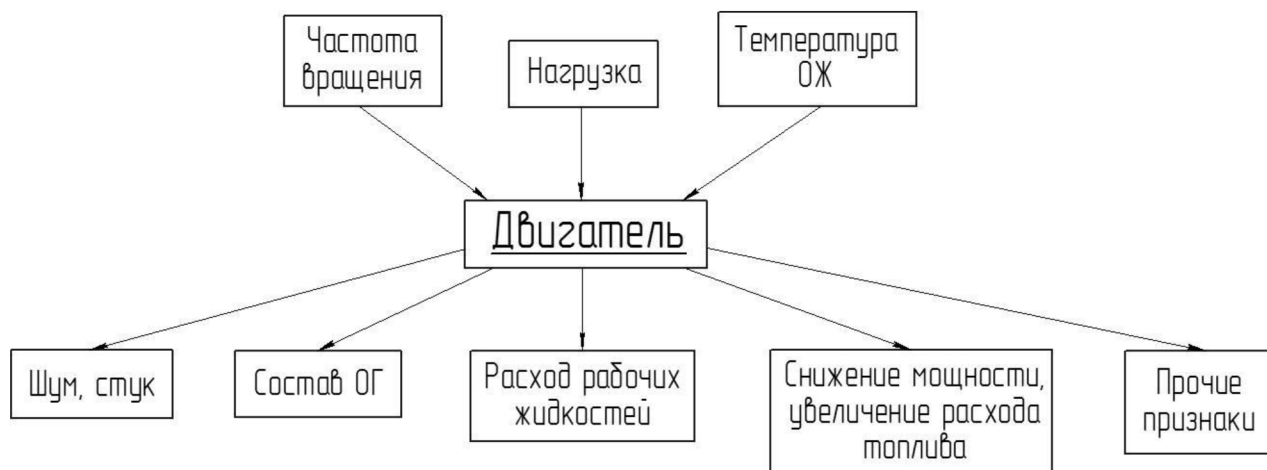


Рис. 111 Внешние признаки неисправностей ДВС

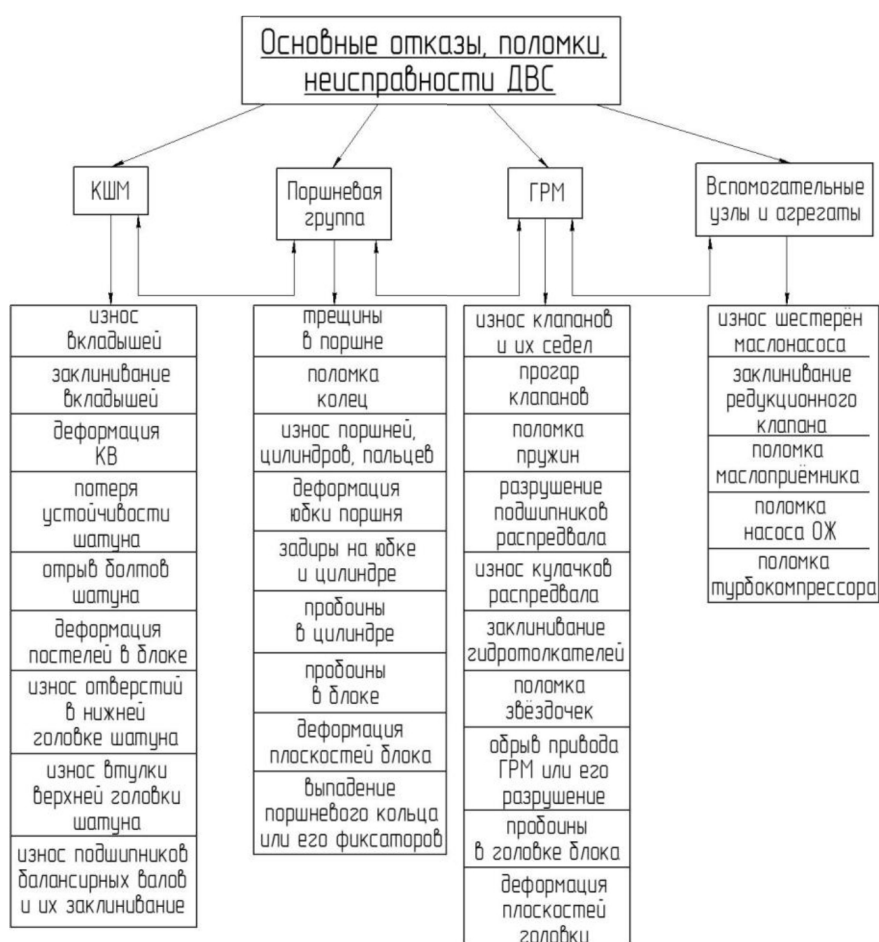


Рис. 112 Основные отказы, поломки и неисправности ДВС

Для решения этой проблемы в диагностике стараются разграничить возникающие стуки, разделив их на группы: по частоте, характеру, изменению интенсивности (см. рис. 113), что позволяет сузить круг причин, характерных для данной неисправности.



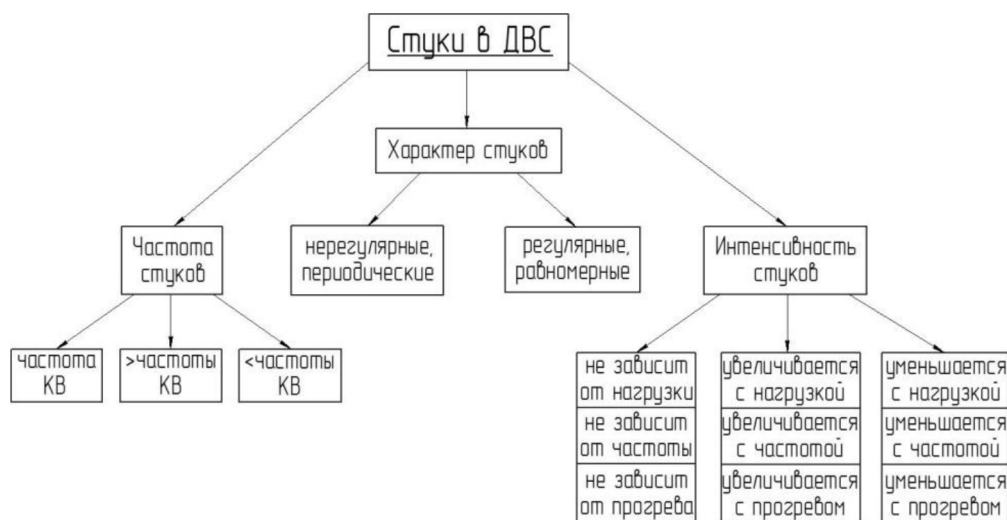


Рис. 113 Классификация стуков в ДВС

На основании этого составляют специальные таблицы, которые помещают в руководства по обслуживанию автомобилей и их двигателей - см. пример в виде табл. 1. Это позволяют быстро определить неисправности и их причины.

Табл. 1 Примеры неисправностей механической части ДВС

| Характеристика неисправности                                                                                                                                                       | Причина стука или шума                                                                                                                                                                              | Проверка                                                                                                                     | Способ устранения                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Металлический стук глухого тона в нижней части картера, проявляющийся при резком открытии дроссельной заслонки на холостом ходу. Частота стука возрастает при увеличении оборотов. | Износ коренных подшипников коленчатого вала. Причины:<br>1). Недостаточно е давление масла.<br>2). Ослаблены болты крепления маховика.<br>3). Увеличенный зазор между шейками и вкладышами коренных | 1). Замер давления масла в системе, осмотр каналов на предмет их забивки.<br>2) Проверка затяжки болтов.<br>3) Визуально при | 1). Восстановить давление в системе смазки.<br>2). Затянуть болты.<br>3). Прошлифовать шейки и заменить вкладыши. |

|                                                                                                                       |                                                                                                                                                              |                                                                    |                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                       | подшипников.                                                                                                                                                 | разборке                                                           |                                                                                          |
| Металлический стук в нижней части картера, прослушивающийся при резком открытии дроссельной заслонки на холостом ходу | Износ шатунных подшипников вследствие:<br>1). Недостаточного давления масла в системе.<br>2). Увеличенного зазора между шатунными шейками коленчатого вала и | 1). Замер давления масла в системе.<br>2). Визуально при разборке. | 1). Восстановить давление в системе смазки.<br>2). Пршлифовать шейки и заменить вкладыши |

Продолжение табл. 1

|                                                                                                                         |                                                                                                                                                                 |                                                                            |                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                         | вкладышами                                                                                                                                                      |                                                                            |                                                                                                      |
| Незвонкий, приглушенный металлический стук в районе блока цилиндров прослушивающийся при малых оборотах и под нагрузкой | Биеение поршня в цилиндре из-за:<br>1). Увеличенного зазора между поршнем и цилиндром.<br>2). Увеличенного зазора между поршневыми кольцами и канавками поршня. | В обоих случаях:<br>1). Компресометром.<br>2). Замер размеров при разборке | 1). Заменить поршни, расточить и отхонинговать цилиндры.<br>2). Замена колец или поршней с кольцами. |
| Равномерный стук в районе клапанного механизма с частотой вдвое ниже частоты вращения                                   | Стук впускных и выпускных клапанов, обусловленный:<br>1). Увеличенными зазорами в клапанном                                                                     | Визуально при разборке двигателя и измерении размеров деталей              | В зависимости от неисправности:<br>1). Восстановить                                                  |

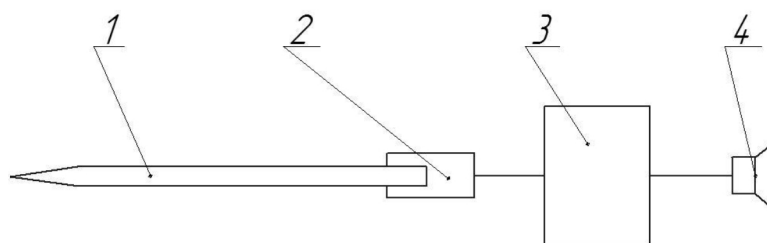
|                                                                                           |                                                                                                                                                                                  |                                                                          |                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| коленчатого вала                                                                          | механизме.<br>2).Большим зазором между клапаном и направляющей втулкой.<br>3).Износом кулачков распределительного вала.<br>4).Износом втулок и опорных шеек.                     |                                                                          | рекомендуемые зазоры или заменить гидроопоры (гидрокомпенсаторы).<br>2).Замена изношенных деталей.<br>3).Замена распределительного вала.  |
| Шум, прослушивающийся при малой частоте вращения коленчатого вала или резком ее изменении | Износ привода распределительного вала:<br>1). Ослабление цепи или вытягивание ремня.<br>2). Поломка башмака натяжителя цепи или успокоителя<br>3). Неисправность гидронатяжителя | 1). Контроль состояния цепи или ремня<br><br>2). Осмотр деталей привода. | 1). Замена цепи, ремня или регулировка их натяжения.<br><br>2). Замена башмака натяжителя или успокоителя.<br>3). Замена гидронатяжителя. |

Для прослушивания стуков и шумов, возникающих при работе ДВС и их локализации, специалисты по диагностике используют механические и электронные стетоскопы (см. рис 114 и 115). Устройство первого аналогично тому, что используют врачи при прослушивании легких. Он состоит из гибкой мембраны и трубки с раздваивающимся концом для присоединения

слуховых трубок. Принцип действия электронного стетоскопа заключается в следующем: вибрации от деталей двигателя передаются по щупу, преобразуются в пьезоэлементе в электрический сигнал, затем усиливаются и воспроизводятся телефоном. Если зазор в сопрягаемых деталях увеличен, то характер звука будет отличаться от того, который имеет место при нормальном зазоре. Существуют беспроводные стетоскопы, с возможностью диагностики при движении автомобиля. Их основу составляет электронный блок, принимающий радиосигналы, которые подают пьезодатчики, совмещенные с радиопередатчиками. Несмотря на наличие стетоскопов, для точного нахождения причины стука часто приходится прибегать к разборке двигателя. При этом определение причин стуков в механической части ДВС может проводиться в несколько этапов.



Рис. 114. Механический стетоскоп



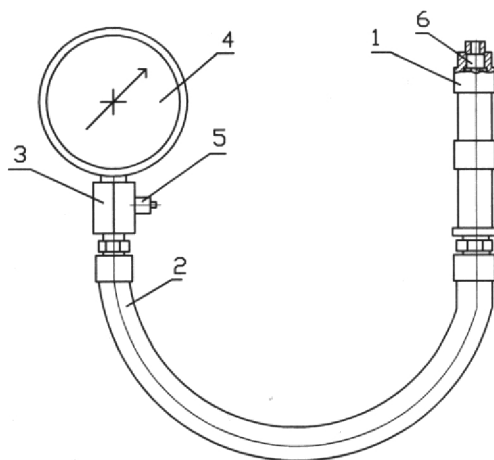
1 – щуп; 2 – пьезоэлемент; 3 – усилитель; 4 – телефон

Рис. 115 Устройство электронного стетоскопа

В одних случаях можно обойтись без значительных работ по разборке двигателя (например, износ коромысел газораспределительного механизма), в другом случае объем работ может быть значительным (износ шеек коленчатого вала).

### 12.3 Диагностика неисправностей механической части ДВС измерением компрессии

Измерение компрессии в цилиндрах является наиболее простым и дешевым, а потому и распространенным способом диагностики ДВС. **Компрессией называют** величину максимального давления в цилиндре, создаваемого при холостой прокрутке двигателя стартером (например, при отключении свечи зажигания). Прибор для измерения компрессии носит название компрессометра и представляет собой манометр (см. рис. 116), соединяющийся переходником со свечным отверстием у бензинового двигателя или отверстием свечи накаливания у дизеля. Для измерения компрессии компрессометр устанавливается вместо свечи. При вращении коленчатого вала двигателя в шланг нагнетается воздух до тех пор, пока давление в шланге не сравняется с максимальным давлением в цилиндре, которое и зафиксирует манометр.



1 – переходник; 2 – шланг; 3 – штуцер; 4 – манометр; 5 – клапан стравливания;  
6 – впускной клапан

Рис. 116 Внешний вид компрессометра КМ-201

Чтобы не испортить прибор, после проведения измерений давление из него необходимо стравить. Для правильного измерения компрессии необходимо, чтобы двигатель был «теплым», подача топлива должна быть отключена, а все свечи должны быть вывернуты. Замер компрессии проводят двумя способами: при полностью закрытой и полностью открытой

дроссельной заслонке. В первом случае в цилиндры поступает малое количество воздуха, поэтому компрессия невелика (0,6...0,8 МПа). Утечки при закрытой заслонке также оказываются невелики, но сопоставимы с количеством поступающего воздуха. Поэтому чувствительность к утечкам достаточно велика - при их наличии давление падает в несколько раз.

При открытой дроссельной заслонке количество поступающего в цилиндры воздуха растёт, что приводит и к росту компрессии (1,0...1,2 МПа), однако величина утечек при этом существенно ниже его величины. Поэтому в бензиновом двигателе при таком измерении, даже при серьезных дефектах, компрессия может не снижаться до недопустимого уровня (0,8...0,9 МПа).

Все это позволяет использовать два указанных способа для эффективной диагностики различных неисправностей. Измерение компрессии с закрытой заслонкой позволяет определить: неудовлетворительное прилегание клапана к седлу, «зависание» клапана, дефекты гидротолкателей. Измерение компрессии с полностью открытой заслонкой позволяет выявить: разрушение и прогары поршней, зависание и закоксовывание колец в канавках, прогар клапанов, серьезные повреждения поверхности цилиндра. Рекомендации по анализу замеров компрессии приведены в табл. 2. Поскольку в большинстве случаев результаты замеров компрессии являются относительными, то при анализе полученных результатов в первую очередь необходимо опираться на разницу в значениях компрессии у различных цилиндров, а не на саму ее абсолютную величину.

Табл. 2. Использование данных измерения компрессии

| Неисправность | Признаки неисправности | Величина компрессии                     |                               |
|---------------|------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|
|               |                        | Полностью открытая дроссельная заслонка | Закрытая дроссельная заслонка |

|                                  |                                                                                                              |                                                                     |                                                   |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|                                  |                                                                                                              | ая<br>заслонка<br>(Нормаль<br>ная<br>компресс<br>ия 1,0-1,2<br>МПа) | (Нормаль<br>ная<br>компресс<br>ия 0,6-0,8<br>МПа) |
| Трещины в<br>перемычке<br>поршня | Синий дым<br>выхлопа,<br>большое<br>давление в<br>картере                                                    | 0,6...0,8                                                           | 0,3...0,4                                         |
| Прогар поршня                    | То же + цилиндр<br>не работает на<br>холостом ходу                                                           | 0...0,5                                                             | 0...0,1                                           |
| Прогар клапана                   | Цилиндр не<br>работает на х.х.<br>и малых<br>нагрузках                                                       | 0,1...0,4                                                           | 0                                                 |
| Залипание колец<br>в канавках    | Цилиндр не<br>работает на х.х.<br>и малых<br>нагрузках,<br>синий выхлоп,<br>большое<br>давление в<br>картере | 0,2...0,4                                                           | 0...0,2                                           |
| Переобогащение<br>ТВС            | Затруднен пуск,<br>чёрный выхлоп                                                                             | 0,5...0,8                                                           | 0,3...0,4                                         |
| Зависание<br>клапана             | Цилиндр не<br>работает на х.х.                                                                               | 0,5...0,8                                                           | 0,1...0,3                                         |
| Нагар в КС                       | Увеличивается<br>расход масла                                                                                | 1,3...1,6                                                           | 1,0...1,4                                         |
| Естественный                     | Увеличивается                                                                                                | 0,6...0,9                                                           | 0,4...0,6                                         |

|                                                                |                                    |           |           |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|
| износ поршневых колец при хороших маслоотражательных колпачках | расход масла, уменьшается мощность |           |           |
| Дефект кулачка распредвала в ДВС с гидротолкателями.           | Цилиндр не работает на х.х.        | 0,7...0,8 | 0,1...0,3 |

В дизелях более высокие давления в цилиндре обуславливают более сильное влияние различных неисправностей на величину компрессии. Поэтому в руководствах по эксплуатации для них приводится минимальное значение компрессии, при котором считают, что присутствуют дефекты ЦПГ и ГРМ, конкретно выявляемые при разборке двигателя.

#### ***12.4 Диагностика неработающего ДВС по внешним признакам***

Определять неисправности неработающего двигателя сложнее, чем работающего. Это вызвано тем, что приходится иметь дело не с причиной отказа, а с её следствием. Осложняющим фактором нахождения первопричины неисправности является то, что, как правило, следы повреждений получают сразу несколько деталей. В общем случае все отказы неработающих двигателей можно разделить на две группы:

- 1) Когда коленчатый вал проворачивается (стартером, ключом, в переднеприводных автомобилях - за колесо при включенной прямой передаче);
- 2) Когда коленчатый вал неподвижен.

При рассмотрении отказов первой группы оказывается, что для бензиновых и дизельных двигателей причины отказов различаются (рис. 7 а и б).



Если коленвал двигателя не вращается (рис.117), то, как правило, причины этого для всех типов двигателей являются общими. При этом системы питания и зажигания обычно исправны, а неработоспособность двигателя, скорее всего, обусловлена только повреждениями ЦПГ или КШМ, которые устраняются только разборкой ДВС.



а)



б)

Рис. 117 Основные неисправности двигателей и способы их обнаружения, при условии, что проворачивание коленчатого вала возможно

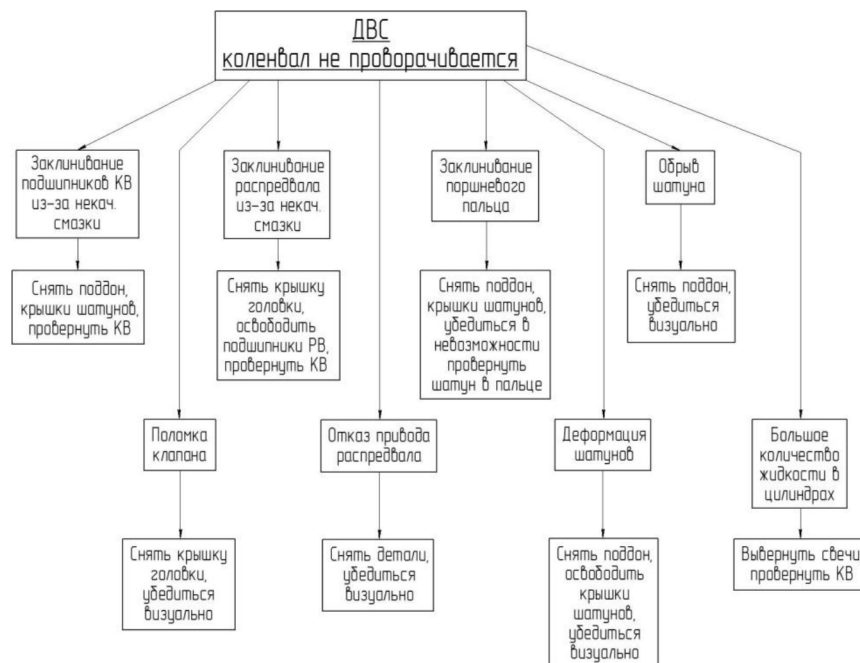


Рис. 118 Возможные неисправности в двигателе и способы их обнаружения при отсутствии возможности проворачивания его коленчатого вала

### 12.5 Диагностика работы двигателя по состоянию свечей

Диагностика двигателя по состоянию свечей зажигания является одним из наиболее простых способов контроля состояния двигателя, чем и объясняется ее частое применение на практике. По внешнему виду свечи можно многое сказать о работе двигателя и работоспособности отдельных его узлов.

Осмотр свечи проводится после длительной работы двигателя, желательно с постоянной нагрузкой (например, после поездки по шоссе за городом). При этом пробег на одних и тех же свечах должен быть не менее 200-300 км. В противном случае результаты осмотра могут не дать точной характеристики состояния двигателя. Так, после холодного запуска, особенно зимой, наличие черного нагара обычно свидетельствует не о нарушениях в работе двигателя, а является следствием обогащения смеси. Наиболее типичные случаи диагностики по состоянию свечей представлены в табл. 3.

Табл. 3 Внешний вид свечи и соответствующее ему состояние двигателя

| № | Внешний вид свечи                                                                   | Описание                                                                                                         | Состояние двигателя                                                                                                                              |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 |    | Юбка центрального электрода имеет светло-коричневый цвет, нагар и отложения минимальны. Отсутствие следов масла. | Исправен                                                                                                                                         |
| 2 |   | Центральный электрод покрыт бархатисто-черным нагаром.                                                           | Работа двигателя на переобогащенной топливовоздушной смеси из-за неправильной регулировки карбюратора или неисправности системы впрыска топлива. |
| 3 |  | Юбка центрального электрода имеет цвета от светло-серого до белого.                                              | Работа двигателя на переобедненной топливовоздушной смеси из-за неправильной регулировки карбюратора или неисправности системы впрыска           |

|   |                                                                                     |                                                                                                                |                                                                                                                     |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                                     |                                                                                                                | топлива.                                                                                                            |
| 4 |    | Юбка центрального электрода имеет красноватый (кирпичный) оттенок.                                             | Работа двигателя на топливе, содержащем избыточное количество присадок имеющих в своем составе металл.              |
| 5 |    | Свеча имеет следы масла как на юбке центрального электрода, так и на резьбовой части.                          | Повышенный расход масла вследствие неудовлетворительного состояния маслоотражательных колпачков.                    |
| 6 |  | Юбка центрального электрода покрыта слоем масла смешанного с каплями несгоревшего топлива и мелкими частицами. | Цилиндр не работает по причине повреждения одного из клапанов, поломки перегородок между поршневыми кольцами и т.д. |

|   |                                                                                   |                                          |                                                                                                                                                       |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7 |  | Разрушение центрального электрода.       | Возможные причины: длительная работа двигателя с детонацией, применение топлива с низким октановым числом, раннее зажигание, бракованная свеча и т.д. |
| 8 |  | Отложения золы на центральном электроде. | Повышенный угар масла вследствие повреждения или залегания маслосъемных поршневых колец.                                                              |

### ***12.6 Диагностика неисправностей двигателя по цвету выхлопных газов***

Диагностика неисправностей ДВС по цвету выхлопных газов, наряду с диагностикой по состоянию свечей является одним из наиболее доступных методов определения его неисправностей. Наиболее типичные случаи приведены в таблице 4.

Табл. 4. Наиболее часто используемые варианты диагностики бензиновых ДВС по цвету отработавших газов

| Тип двигателя           | Цвет выхлопных газов | Возможная неисправность                                                                                                                                      |
|-------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Карбюраторный двигатель | 1. Черный дым        | Наличие в отработавших газах несгоревшего топлива из-за переобогащенной смеси (неотрегулирован карбюратор, неполное открытие воздушной заслонки, увеличенный |

|                              |                        |                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                              |                        | уровень топлива в поплавковой камере карбюратора, засорение воздушного жиклера, отклонения в размерах топливных жиклеров, неисправность ЭПХХ (отказ свечи зажигания).                                                                  |
|                              | 2. Белый дым           | Присутствие воды или охлаждающей жидкости в топливовоздушной смеси (повышенная влажность воздуха, конденсат на стенках впускных трубопроводов после стоянки на улице, повреждение прокладки головки блока, трещина в стенке цилиндра). |
|                              | 3. Сизый или синий дым | Попадание масла в камеру сгорания вследствие износа деталей цилиндропоршневой группы, направляющих втулок, седел и маслоотражательных колпачков, залегания или поломки маслосъемных колец, повышенного уровня масла в картере.         |
| Двигатель с впрыском топлива | 1. Черный дым          | Работа двигателя на переобогащенной горючей смеси вследствие выхода из строя датчика или контроллера системы управления впрыском, неисправности форсунки.                                                                              |
|                              | 2. Белый дым           | См. карбюраторный двигатель                                                                                                                                                                                                            |
|                              | 3. Сизый дым           | См. карбюраторный двигатель                                                                                                                                                                                                            |

### ***12.7 Диагностика двигателя по составу выхлопных газов***

Диагностика состояния двигателя может быть выполнена не только по цвету, но и по составу выхлопных газов-табл.5.Такой подход обычно используется для оценки работы системы питания. Для ее проведения требуется наличие четырех или пятикомпонентного газоанализатора. Четырехкомпонентный газоанализатор определяет содержание в выхлопных газах несгоревших углеводородов СН (в ppm), окиси углерода СО (в %), двуокиси углерода СО<sub>2</sub> (в %) и кислорода О<sub>2</sub> (в %). Пятикомпонентный газоанализатор дополнительно позволяет измерять значение содержания окислов азота.

Табл. 5 Состав выхлопных газов и соответствующие ему неисправности двигателя

| Компонент выхлопных газов | Возможная неисправность                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| СН                        | Поскольку несгоревшие углеводороды это продукт неполного сгорания топлива, то их повышенное содержание может возникнуть из-за переобогащенной топливовоздушной смеси (неисправность карбюратора или системы впрыска топлива), большого расхода масла на угар вследствие износа цилиндропоршневой группы, неполадок в системе зажигания (пропуски воспламенения). Другой причиной может являться слишком бедная смесь |

|                 |                                                                                                                                                                                             |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | вследствие подсоса воздуха, малого давления бензонасоса, загрязнения форсунок, неисправности датчиков температуры двигателя или расхода воздуха.                                            |
| CO              | Повышенное содержание CO может возникнуть из-за засорения воздушного фильтра, повышенного давления топлива, а также других неисправностей, ведущих к переобогащению топливовоздушной смеси. |
| CO <sub>2</sub> | Низкий уровень значений свидетельствует о неполадках в системе питания (переобеднении или переобогащении смеси.                                                                             |
| O <sub>2</sub>  | Высокие значения соответствуют переобеднению топливовоздушной смеси из-за неисправности системы питания.                                                                                    |

Измерение состава отработавших газов проводится установкой приемной трубки газоанализатора в выхлопную трубу автомобиля и считыванием параметров с экрана прибора. Измеренные значения сопоставляются с инструкциями завода-изготовителя автомобиля. Значительную роль при этом играет наличие или отсутствие нейтрализатора вредных выбросов в выхлопной системе (см. табл. 6).

Табл. 6 Примерные значения показаний газоанализатора для исправных двигателей

| Параметр | Двигатель без | Двигатель с |
|----------|---------------|-------------|
|----------|---------------|-------------|



|                       | нейтрализатора | нейтрализатором |
|-----------------------|----------------|-----------------|
| CH,<br>(ppm)          | не более 300   | менее 50        |
| CO, (%)               | 1-2            | 0,3-0,5         |
| O <sub>2</sub> , (%)  | 0-2            | 0-2             |
| CO <sub>2</sub> , (%) | от 12 и более  | от 12 и более   |

Для понимания основ анализа состояния двигателя на рис. 119 приведена взаимосвязь между составом выхлопных газов и составом топливовоздушной смеси.

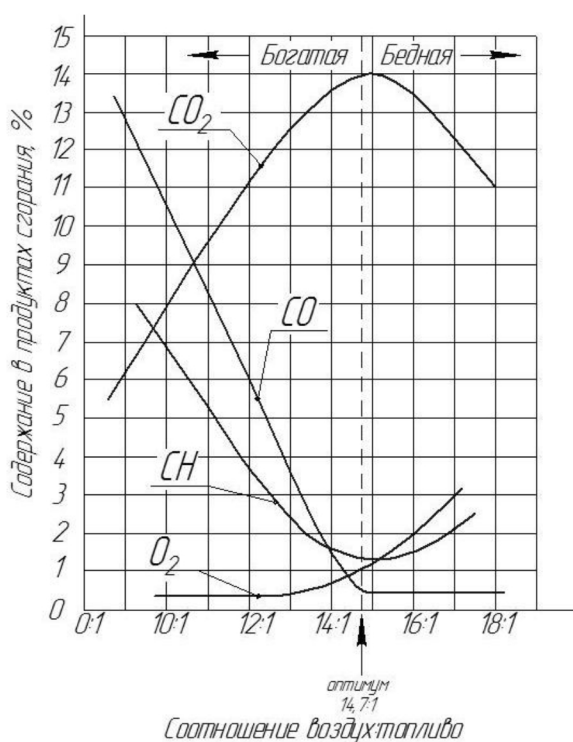


Рис. 119 Взаимосвязь между составами ТВС и выхлопных газов

### 12.8 Диагностика работающего двигателя по расходу топлива

Расход топлива определяют при контрольных заездах автомобиля на участке дороги, равном 5 км со скоростью 90 км/ч, осуществляя проезды в противоположных направлениях не менее двух раз. При этом определение расхода топлива на карбюраторных ДВС осуществляется из мерных колб, а на инжекторных — из мерных ёмкостей. Проведение эксперимента считается качественным, если скорость автомобиля при испытаниях отличается от заданной не более чем на 1% (может замеряться бортовым компьютером).

Если невозможно провести контрольное измерение расхода топлива, то ограничиваются относительными замерами, при этом определяется не фактический расход топлива, а разница в измерениях до и после испытаний. Полученные значения сравнивают со значениями, указанными заводом – изготовителем, двигателя на основании чего делают вывод об изношенности двигателя или состоянии его системы питания. В простейшем случае, на современных автомобилях данный вид диагностики может быть реализован с помощью бортового компьютера.

### ***12.9 Диагностика работающего двигателя по расходу масла***

Как правило, расход масла двигателем позволяет судить о состоянии его цилиндро-поршневой группы. В случае его увеличения предполагается сильный ее износ. Расход масла определяется его взвешиванием до и после пробега автомобиля между сменами масла. При этом такие измерения считаются качественными, если автомобиль находится в режиме нормальной эксплуатации. Слив масла необходимо производить в горячем состоянии при  $t \geq 60^\circ\text{C}$  и горизонтальном положении автомобиля. Таким образом, расход масла определяется по формуле:

$$\frac{G_i}{L} = \frac{G_{\text{сдвддддд}} - G_{\text{ндддддд}} + G_{\text{ддддддддд}}}{L}; \quad \frac{G_i}{L} \left[ \frac{\ddot{e}}{\dot{e}i} \right], \left[ \frac{\dot{e}\ddot{a}}{\dot{e}i} \right].$$

Полученное значение сравнивают с нормальным для данного двигателя. Для современных двигателей ВАЗ это 0,4% от расхода топлива.

### ***12.10 Определение причин возникновения неисправностей ДВС по характеру повреждения деталей***

Во многих случаях дефекты по результатам диагностики устанавливаются только предположительно и для их окончательного определения приходится прибегать к разборке двигателя. Однако, даже имея возможность видеть поврежденную деталь, зачастую трудно определить действительную неисправность, т.к. повреждение данной детали может быть не причиной отказа двигателя, а следствием другой неисправности. Так, например,

уменьшение количества масла в картере при угаре приводит к износу подшипника КШМ. При этом ремонт КШМ не дает решения проблемы. Поэтому при определении причин неисправности двигателя по характеру повреждения деталей необходимо учесть все возможные варианты и проанализировать их.

### ***12.11 Поиск неисправностей в системах управления двигателем***

#### **Оборудование для определения причин отказов систем управления ДВС**

Эффективное диагностирование отказов систем управления ДВС возможно лишь при наличии специального оборудования: сканера, мотор-тестера, осциллографа и газоанализатора, имитаторов сигналов датчиков, измерителей давления топлива и т.д.

**Сканер** - это прибор для обмена диагностической информацией с электронным блоком или блоками управления двигателем с целью диагностики электронных систем.

**Мотор-тестер** - это прибор для диагностики двигателя путем анализа сигналов, непосредственно полученных от его систем (например, системы зажигания). В отличие от сканера, подключается к автомобилю не через диагностическую колодку, а непосредственно к линиям, сигналы в которых анализируются - выводам катушек зажигания, высоковольтным проводам (при помощи бесконтактных датчиков), выводам датчиков и пр. Современные мотор - тестеры объединяют в себе функции мультиметра и осциллографа. Мультиметр позволяет измерить различные электрические и неэлектрические величины: напряжение, ток, сопротивление, частоту и др.



Рис. 120 Базовый комплект поставки мотор - тестера «АВТОАС-ПРОФИ-2»

На рис. 120 представлена фотография внешнего вида мотор – тестера, который позволяет выявить неисправности в:

- системах зажигания (контактных и бесконтактных с механическим распределителем высоковольтной энергии, статических с двухвыводными катушками зажигания, с катушками зажигания встроенными в распределитель, с отдельными для каждого цилиндра катушками зажигания);
- системах питания (инжекторных с одноточечным и распределенным впрыском топлива и карбюраторных);
- элементах электрооборудования (аккумуляторная батарея, генератор, стартер, регулятор напряжения).

Мотор - тестер также позволяет выполнить тестирование **механической части двигателя**. С его помощью можно определить поцилиндровый баланс мощности, относительную и абсолютную компрессию в цилиндрах,

построить графики: давления в цилиндре, пульсации давления во впускном коллекторе и на срезе выхлопной трубы, произвести косвенную оценку мощности и механических потерь по изменению угловой скорости или ускорению (замедлению) коленчатого вала двигателя.

Данный мотор - тестер предназначен для работы с персональным компьютером. Предусмотрена совместная работа мотор - тестера с программным сканером и 2-х или 4-х компонентными газоанализаторами под управлением единого программного обеспечения.

**Осциллограф** обычно используется для регистрации и отображения изменения сигналов первичных и вторичных цепей систем зажигания.

**Газоанализатор** (см. рис. 121) - прибор, позволяющий измерить содержание различных газов в отработавших газах автомобиля и использующийся для диагностики и настройки систем питания двигателей.



Рис. 121 Газоанализатор "Инфракар" модели 08, предназначенный для определения оксида углерода, суммы углеводородов в отработавших газах бензиновых автомобильных двигателей

Представленный на фотографии газоанализатор позволяет измерять: CO в диапазоне 0...7 % , CH - 0...3000 ppm с погрешностью  $\pm 6$  %. Время прогрева

– до 30 минут, время установления показаний - не более 15 секунд, питание - 12 / 220 В (данные производителя).

### ***12.12 Поиск неисправностей в системах впрыска топлива***

Большинство современных автомобилей оснащается системами впрыска топлива. Поиск неисправностей в таких системах практически невозможен без наличия соответствующего оборудования из-за их сложности. Признаками неисправности системы впрыска топлива могут быть как полный отказ двигателя, так и изменение его характеристик в процессе работы.

Неисправности системы впрыска топлива можно подразделить на два вида: неисправности электронной части (контроллера, датчиков, электропроводки) и неисправности исполнительных механизмов (форсунок, регуляторов давления, дроссельного узла и т.д.).

Большинство современных двигателей имеет встроенную систему диагностики, которая при выявлении неисправности в системе впрыска реагирует на нее зажигающейся контрольной лампой индикации неисправности двигателя ("CHECK ENGINE").

Система самодиагностики работает следующим образом. Блок управления двигателем отслеживает входные и выходные сигналы датчиков. При выявлении нарушения в работе системы впрыска или некорректного сигнала с одного из датчиков, электронный блок управления двигателем воспринимает это как наличие неисправности и записывает соответствующий код неисправности в память с посылкой сигнала на выход системы самодиагностики. Так как запоминающее устройство (память электронного блока управления двигателем) имеет питание от аккумуляторной батареи, то результаты диагностики сохраняются даже при выключении зажигания. Коды неисправностей будут стерты при отсоединении клеммы аккумуляторной батареи или разъема блока управления двигателем. Кроме того, коды неисправностей могут быть

стерты, если при включенном зажигании с мотор - тестера на блок управления двигателем будет послан сигнал об удалении кодов неисправностей. Если при включенном зажигании отсоединить разъем какого-либо датчика, то электронный блок управления воспримет это как наличие неисправности и в память блока управления запишется соответствующий код неисправности.

Порядок действий по поиску неисправностей электронной части системы впрыска может быть следующим.

1. Убедиться в наличии неисправности и попытаться определить ее характер путем определения взаимосвязи с режимом работы двигателя, условиями эксплуатации и т.д.

2. Провести считывание кодов самодиагностики с помощью сканера и при появлении кода ошибки, путем обращения к таблице диагностических кодов установить неисправность.

3. При подозрении на отказ конкретных датчиков использовать датчики-имитаторы и сравнить входные сигналы контроллера. Если сигналы с датчиков и датчиков-имитаторов отличаются – заменить неисправные датчики. Если сигналы одинаковые - проверить электропроводку. При исправной электропроводке предполагается неисправность контроллера.

4. При подозрении на неисправность контроллера, подать на него имитацию входных сигналов и проверить его реакцию с помощью измерения выходных сигналов. Наиболее простой вариант - заменить контроллер на заведомо исправный и проанализировать полученные изменения в работе двигателя. Проверка входных сигналов блока управления двигателем может проводиться с помощью электронного тестера или мотор - тестера. Выходные сигналы проверяются с помощью мотор - тестера или осциллографа. При неисправности контроллера заменить его.

5. Для того чтобы убедиться в устранении неисправности после ремонта

следует симитировать условия ее появления на двигателе с целью повторного проявления дефекта. При его отсутствии диагностику и ремонт можно считать завершенными.

Для определения неисправностей исполнительных механизмов дополнительно могут использоваться свои, собственные методы. Часто бывает необходимо провести проверку давления и количества подаваемого топлива для оценки работы форсунок или регулятора давления топлива. Многие двигатели имеют специальные разъемы у топливной рампы с возможностью подсоединения манометра для замера давления. По показаниям манометра можно судить об исправности регулятора давления и бензонасоса. При неработающем двигателе и включенном бензонасосе показания манометра у большинства современных двигателей составляют 0,25...0,3 МПа, а при работающем двигателе - 0,2...0,25МПа. Если при сопоставлении результатов измерения манометром и данных приведенных в техническом описании двигателя, замеренное давление оказывается меньше необходимого - по специальным методикам проверяют исправность и работу регулятора и бензонасоса.

Для проверки форсунок проводят их проливку на специализированном стенде с замером расхода топлива и проверкой соответствия вида топливного факела требуемому.

### ***12.13 Поиск неисправностей в системе зажигания***

Современные системы зажигания двигателей с впрыском топлива существенно отличаются от систем, применявшихся ранее. Все они являются бесконтактными и при эксплуатации не требуют обслуживания и регулирования. В общем случае эти системы зажигания состоят из модуля зажигания, высоковольтных проводов и свечей. Например, у двигателя ВАЗ-2111 модуль зажигания включает в себя два управляющих электронных блока и два высоковольтных трансформатора (катушки зажигания). К выводам высоковольтных обмоток подключены свечные провода, идущие к



цилиндрам.

Угол опережения зажигания рассчитывается контроллером для каждого цикла в зависимости от частоты вращения коленчатого вала, нагрузки на двигатель (определяется по массовому расходу воздуха и положению дроссельной заслонки), температуры охлаждающей жидкости и наличия детонации. Очевидно, что неверное значение угла опережения зажигания может быть обусловлено неисправностью контроллера или датчиков, участвующих в формировании значения данного угла в контроллере.

Отказ системы зажигания в целом может быть обусловлен достаточно широким спектром причин: выход из строя свечей, модуля зажигания и проводов. Для поиска неисправностей системы зажигания разработаны специальные алгоритмы, приводящиеся обычно в инструкции по эксплуатации и ремонту и в техническом описании (см. например, табл. 7). Иногда они представляются в виде блок-схем, предписывающих определенную последовательность действий по поиску неисправностей. Подобные системы используются также при поиске неисправностей всего электрооборудования ДВС.

Табл.7 Возможные неисправности бесконтактной системы зажигания

| Неисправность и её причина                                                                                                                                                              | Метод устранения                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Двигатель не запускается</b>                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                |
| 1. На коммутатор не поступают импульсы напряжения от бесконтактного датчика: обрыв в проводах между датчиком-распределителем зажигания и коммутатором; неисправен бесконтактный датчик. | 1. Проверьте провода и их соединения; поврежденные провода замените; проверьте датчик с помощью переходного разъема и вольтметра; неисправный датчик замените. |
| 2. Не поступают импульсы                                                                                                                                                                | 2. Проверьте провода и их                                                                                                                                      |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>тока на первичную обмотку катушки зажигания:</p> <p>обрыв в проводах, соединяющих коммутатор с выключателем или с катушкой зажигания; неисправен коммутатор; не срабатывает выключатель зажигания.</p> <p>3. Не подается высокое напряжение к свечам зажигания:</p> <p>неплотно посажены в гнездах, оторвались или окислены наконечники проводов высокого напряжения; провода сильно загрязнены или повреждена их изоляция; износ или повреждение контактного уголька, зависание его в крышке датчика-распределителя зажигания; утечка тока через трещины или прогары в крышке или роторе датчика-распределителя зажигания, через нагар или влагу на внутренней поверхности крышки; перегорание резистора в роторе датчика-распределителя зажигания; повреждена катушка зажигания.</p> <p>4. Замаслены электроды</p> | <p>соединения; поврежденные провода замените; проверьте коммутатор осциллографом; неисправный коммутатор замените проверьте, замените неисправную контактную часть выключателя зажигания.</p> <p>3. Проверьте и восстановите соединения, очистите или замените провода; проверьте и при необходимости замените контактный уголек; проверьте, очистите крышку от влаги и нагара, замените крышку и ротор, если в них имеются трещины; замените резистор; замените катушку зажигания.</p> <p>4. Очистите свечи и отрегулируйте зазор между электродами.</p> <p>5. Замените свечи новыми.</p> <p>6. Присоедините провода в</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>свечей зажигания или зазор между ними не соответствует норме.</p> <p>5. Повреждены свечи зажигания (трещина на изоляторе).</p> <p>6. Нарушен порядок присоединения проводов высокого напряжения к выводам крышки датчика-распределителя зажигания.</p> <p>7. Неправильная установка момента зажигания.</p> | <p>порядке зажигания по цилиндрам (1-3-4-2).</p> <p>7. Проверьте и отрегулируйте момент зажигания.</p>                                                     |
| <b>Двигатель работает неустойчиво или глохнет на холостом ходу</b>                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                            |
| <p>1. Слишком раннее зажигание в цилиндрах двигателя.</p> <p>2. Большой зазор между электродами свечей зажигания.</p>                                                                                                                                                                                         | <p>1. Отрегулируйте момент зажигания.</p> <p>2. Отрегулируйте зазор между электродами.</p>                                                                 |
| <b>Двигатель неравномерно и неустойчиво работает при большой частоте вращения коленчатого вала</b>                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                            |
| Ослабли пружины грузиков регулятора опережения зажигания в датчике-распределителе зажигания.                                                                                                                                                                                                                  | Замените пружины, проверьте работу центробежного регулятора на стенде.                                                                                     |
| <b>Перебои в работе двигателя на всех режимах</b>                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                            |
| <p>1. Повреждены провода в системе зажигания, ослаблено крепление проводов или окислены их наконечники.</p> <p>2. Износ электродов или замасливание свечей зажигания, значительный</p>                                                                                                                        | <p>1. Проверьте провода и их соединения. Поврежденные провода замените.</p> <p>2. Проверьте свечи, отрегулируйте зазор между электродами, поврежденные</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>нагар; трещины на изоляторе свечи.</p> <p>3. Износ или повреждение контактного уголька в крышке датчика-распределителя зажигания.</p> <p>4. Сильное подгорание центрального контакта ротора датчика-распределителя зажигания.</p> <p>5. Трещины, загрязнение или прогары в роторе или крышке датчика-распределителя зажигания.</p> <p>6. Неисправен коммутатор, форма импульсов на первичной обмотке катушки зажигания не соответствует норме.</p> | <p>свечи замените.</p> <p>3. Замените контактный уголек.</p> <p>4. Зачистите центральный контакт.</p> <p>5. Проверьте, замените ротор или крышку.</p> <p>6. Проверьте коммутатор с помощью осциллографа, неисправный коммутатор замените.</p> |
| <p><b>Двигатель не развивает полной мощности и не обладает достаточной приемистостью</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p>1. Неправильная установка момента зажигания.</p> <p>2. Заедание грузиков регулятора опережения зажигания, ослабление пружин грузиков.</p> <p>3. Неисправен коммутатор, форма импульсов на первичной обмотке катушки зажигания не соответствует норме.</p>                                                                                                                                                                                          | <p>1. Проверьте, отрегулируйте момент зажигания.</p> <p>2. Проверьте, замените поврежденные детали.</p> <p>3. Проверьте коммутатор с помощью осциллографа, неисправный коммутатор замените.</p>                                               |

Чтобы не вывести из строя электронные приборы системы зажигания, а также во избежание возможных травм во время проверки необходимо соблюдать следующие правила:

1. Не касайтесь руками высоковольтных проводов и узлов системы (катушки, коммутатора и т.д.) при работающем двигателе, так как бесконтактная система зажигания имеет более высокое напряжение по сравнению с контактной системой.

2. Не проверять работоспособность системы “на искру”, держа наконечник свечи или высоковольтный провод в руках. Для проверки используется специальный разрядник. У этого разрядника зазор между электродами должен быть 5...7 мм. При зазоре более 10 мм электронные приборы системы зажигания могут выйти из строя. В качестве разрядника можно использовать старые работоспособные свечи с зазором между электродами свечей 0,7...0,8 мм.

3. Запрещается прокладывать в одном жгуте провода низкого и высокого напряжения системы зажигания.

4. Не отсоединяйте провода от клемм аккумуляторной батареи при включенном зажигании: это выведет из строя электронные узлы системы зажигания.

5. Запрещается отсоединять колодку с проводами от коммутатора при включенном зажигании, иначе коммутатор выйдет из строя.

6. Винты крепления коммутатора должны быть затянуты, т.к. через них он соединяется с “массой”.

7. Отсоединяйте и подсоединяйте провода системы зажигания только при выключенном зажигании.

### ***Контрольные вопросы***

1. Для восстановления работоспособности двигателя при ремонте необходимо:

а) Заменить поврежденные детали;

**б) Установить причину неисправности , ликвидировать предпосылки для ее возникновения и заменить поврежденные детали (правильно);**

в) Установить причину неисправности, заменить все поврежденные детали и технические жидкости.

2. Диагностику ДВС обычно делят на два вида:

**а) Диагностику механической части и системы управления (правильно);**

б) Диагностику механической части и систем двигателя;

в) Диагностику КШМ и ГРМ.

3. Стуки, возникающие при работе двигателя, наиболее часто используются:

**а) При диагностике по внешним признакам (правильно);**

б) При диагностике электронных систем;

в) При диагностике причин увеличения расхода топлива.

4. У большинства современных поршневых двигателей компрессия может быть измерена:

а) Одним способом;

**б) Двумя способами (правильно);**

в) Тремя и более способами.

5. Измерение компрессии проводят прибором, который носит название:

**а) Компрессометра (правильно);**

б) Манометра;

в) Вакуумметра.

6. Стетоскопы бывают:

а) Только механическими;

б) Только электронными;

**в) Как механическими, так и электронными (правильно).**

7. Светло-коричневому цвету электрода соответствует:

а) Неисправность системы питания;

б) Использование топлива с большим количеством присадок;

**в) Исправное состояние двигателя (правильно).**

8. Более полную диагностику электронных систем двигателя позволяет выполнить:

а) Сканер;

**б) Мотор-тестер (правильно);**

в) Осциллограф.

9. В качестве внешних признаков возникновения неисправностей ДВС не могут использоваться:

а) Шумы и стуки;

б) Дымность отработавших газов;

**в) Загрязненность поверхности блока двигателя (правильно).**

10. Газоанализатор может использоваться:

а) При диагностике состояния выпускной системы;

б) При диагностике состояния механической части двигателя;

**в) При диагностике состояния системы питания (правильно).**

## ЛЕКЦИЯ 13 ВЗАИМОСВЯЗЬ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ И АВТОМОБИЛЯ

При работе двигателя на автомобиле его мощность  $N_e$  расходуется на преодоление аэродинамического сопротивления  $N_a$ , сил трения качения колес  $N_k$  и сопротивления в трансмиссии  $N_m$ :

$$N_e = N_a + N_k + N_m. \quad (1)$$

Следовательно, чем выше мощность двигателя, тем при прочих равных условиях больше максимальная скорость автомобиля. Мощность двигателя, в свою очередь, зависит от частоты вращения коленчатого вала и связана с величиной крутящего момента зависимостью:

$$N_e = M_e \cdot n / 9550, \quad (2)$$

где  $n$  – частота вращения коленчатого вала об/мин.

Влияние крутящего момента двигателя на разгонную динамику автомобиля можно показать следующим образом. Ускорение автомобиля  $a$  в первом приближении, пренебрегая силами трения, сопротивления и инерции вращающихся масс можно оценить, используя закон Ньютона:

$$F = m \cdot a, \quad (3)$$

где  $F$  - сила «тяги», ускоряющая автомобиль;  $m$  - его масса.

Сила тяги связана с крутящим моментом  $M_k$  на ведущих колесах следующим соотношением:

$$F = 2 \cdot M_k / D_k, \quad (4)$$

где  $D_k$  - диаметр колеса.

Крутящие моменты двигателя  $M_e$  и колеса  $M_k$  связывает соотношение:

$$M_k = u_T \cdot M_e / 2, \quad (5)$$

где  $u_T$  - передаточное число трансмиссии. Подставляя значения  $M_k$  из (5) в уравнение (4), выражаем значение ускорения автомобиля:

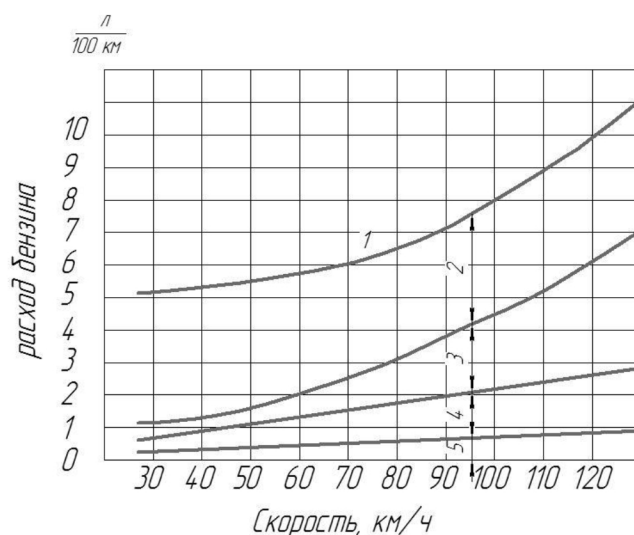


$$a = M_e \cdot u_T / (m \cdot D_k). \quad (6)$$

Видно, что чем выше значение крутящего момента двигателя, тем больше ускорение автомобиля. Большой крутящий момент обеспечивает лучшие тяговые характеристики автомобиля и лучшую динамику разгона. В условиях движения в черте города, когда величина максимальной скорости ограничена, величина крутящего момента более значима, чем максимальная мощность двигателя. Так как крутящий момент и мощность двигателя передаются на колеса через трансмиссию, то очевидно, что и динамика разгона и максимальная скорость автомобиля зависят от передаточных чисел в КПП и в главной передаче. Правильно подобранные передачи в трансмиссии способны значительно повысить эксплуатационные свойства автомобиля, а ошибки в их подборе могут нивелировать результат всех усилий по форсированию двигателя.

На автомобиль, движущийся с постоянной скоростью по ровной дороге, действуют внешние силы различной природы, стремящиеся его затормозить. Для обеспечения движения автомобиля с постоянной скоростью развиваемое двигателем тяговое усилие должно равняться сумме этих тормозящих сил, а сумма всех сил, действующих на автомобиль, равна нулю.

Одной из сил, тормозящих движение автомобиля, является сила сопротивления воздуха, возникающая при трении поверхностей автомобиля о набегающий поток воздуха. Вторая сила, возникает от трения колес о поверхность дороги - сила трения качения. Эти две силы носят название сил сопротивления и всегда направлены в сторону, противоположную движению автомобиля. Еще одна сила сопротивления образуется от внутреннего трения в трансмиссии и подшипниках колес. Зависимость расхода топлива от скорости движения автомобиля на преодоление каждой из этих сил представлена на рис. 1.



1 – суммарный, 2 – на потери в двигателе, 3 – на сопротивление воздуха, 4 – на сопротивление качению, 5 – на потери в трансмиссии

Рис.122 Расход топлива автомобилем ВАЗ-2101

В общем случае мощность, создаваемая двигателем, для обеспечения равномерного движения автомобиля определяется по формуле:

$$N_e = \frac{N_{mk} + N_e}{\eta_T},$$

где  $N_{TK}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление сил качения;

$N_B$  – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха;

$\eta_T$  – КПД трансмиссии (обычно его величина 0,85...0,93).

Составляющие  $N_{TK}$  и  $N_B$  рассчитываются по формулам:

$$N_{mk} = \frac{f g m v}{3600}; \quad N_e = \frac{c_x F v^3}{4700},$$

где  $m$  - масса автомобиля, кг;  $F$  - площадь миделевого сечения автомобиля,  $m^2$ ;  $v$  - скорость автомобиля, км/ч.

В первой формуле присутствует коэффициент сопротивления качению  $f$ , зависящий от типа и состояния дорожного покрытия. Значения этого коэффициента 0,014...0,018 соответствуют асфальту, а 0,1...0,3 – движению

по песку. Для булыжника  $f = 0,02...0,03$ ; для грунтовок  $0,025...0,04$ ; для утрамбованного снега  $0,03...0,05$ .

Коэффициент аэродинамического сопротивления  $C_x$  во второй формуле зависит от обтекаемости кузова автомобиля. Значения  $C_x$  для некоторых автомобилей ВАЗ представлены в таблице 1.

Табл. 1 Аэродинамические параметры некоторых автомобилей ВАЗ

| Модель автомобиля                                 | ВАЗ-2107 | ВАЗ-21099 | ВАЗ-2110 |
|---------------------------------------------------|----------|-----------|----------|
| Площадь миделя, $m^2$                             | 1,885    | 1,884     | 1,931    |
| Коэффициент аэродинамического сопротивления $C_x$ | 0,546    | 0,453     | 0,347    |

Для мотоцикла  $C_x = 1,1...1,2$  - сидящий водитель;  $C_x = 0,7...0,9$  - при спортивной посадке и наличии обтекателя.

Существует большое количество зависимостей мощности ДВС от его оборотов (см. рис.123):

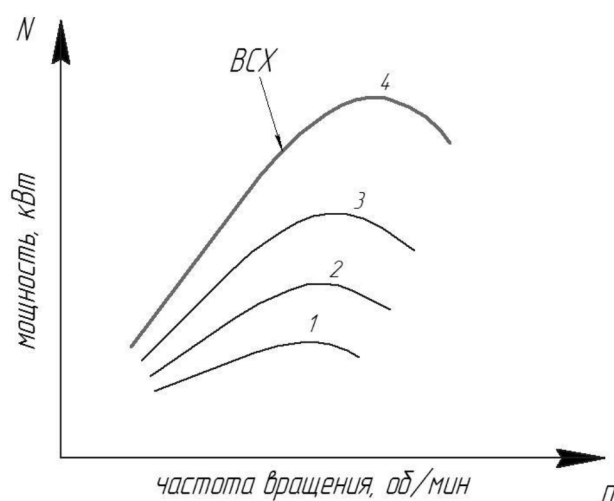


Рис. 123 Изменение мощности ДВС в зависимости от оборотов его коленчатого вала и различной степени открытия дроссельной заслонки (линии 1,2,3,4).

Каждая из этих зависимостей для бензинового двигателя соответствует определенному положению дросселя. Аналогичный график может быть построен и для изменения крутящего момента, причем максимум крутящего момента будет сдвинут по отношению к максимуму мощности в направлении более низких частот оборотов коленчатого вала.

Характеристика, получаемая при полностью открытом дросселе, называется **внешней скоростной характеристикой** (например, рис. 123). По своей сути это граница, показывающая предельные возможности ДВС, а соответствующие ей мощность и крутящий момент являются максимально достижимыми для данного двигателя. Характеристики мощности и крутящего момента, соответствующие ВСХ, но с поправкой на действие коробки перемены передач принято называть **располагаемыми**, т.к. они позволяют установить, какими ресурсами располагает автомобиль на определенных режимах работы.

Мощность, необходимая для обеспечения автомобилю максимальной скорости в данных дорожных условиях и включающая затраты на преодоление сил аэродинамического сопротивления, трения качения и сопротивления в трансмиссии называется **потребной**. При оценке возможностей автомобиля графики располагаемой мощности ДВС и потребной мощности принято строить на одном графике в зависимости от скорости движения автомобиля (см. рис. 124).

Точки их пересечения покажут максимальные скорости автомобиля при различных положениях дросселя (см. рис. 124). При этом максимально возможная скорость автомобиля в данных дорожных условиях соответствует ВСХ. Потребная мощность – это параметр, целиком зависящий от сил сопротивления движению автомобиля, и она связана с формой кузова автомобиля, его размерами, массой и т.д.

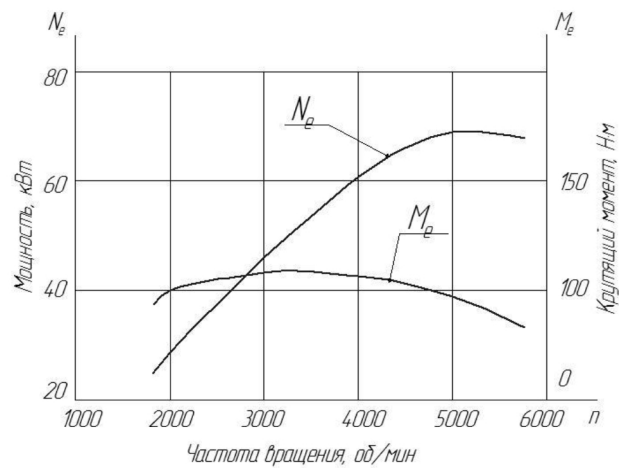


Рис. 123 Внешняя скоростная характеристика двигателя ВАЗ-21083

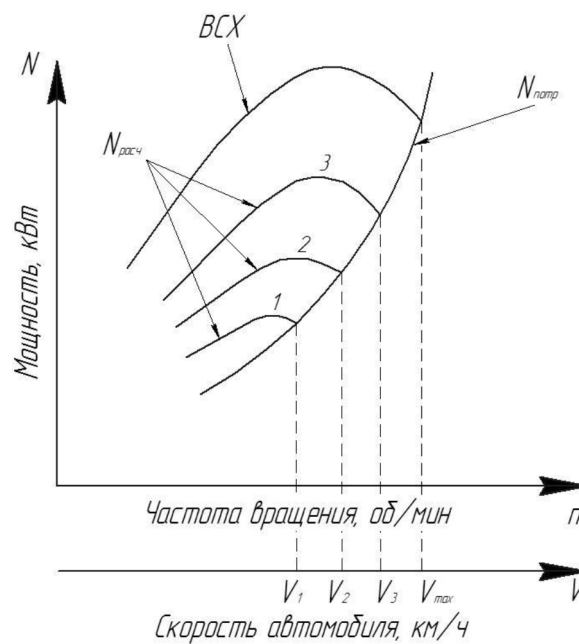


Рис. 124 Графики располагаемой и потребляемой мощностей

При подъёме дороги появляется сила сопротивления, связанная с появлением проекции силы веса автомобиля на направление его движения. Эта проекция вычисляется как сила веса автомобиля, умноженная на синус угла подъёма. Таким образом, при движении автомобиля на подъем из-за действия этой силы потребляемая мощность возрастает. На спуске, наоборот, появляется сила, уменьшающая потребляемую мощность.

Силовой баланс автомобиля при движении его по ровной дороге может быть выражен уравнением:

$$P_k - P_{\Psi} - P_w - P_j = 0,$$

где  $P_k$  – тяговое усилие на ведущих колесах автомобиля,  $P_\psi$ -сила суммарного дорожного сопротивления,  $P_w$ - сила сопротивления воздуха и  $P_j$ - сила сопротивления разгону.

При этом для различных передач в трансмиссии и скоростей движения автомобиля, составляющие этого уравнения будут изменяться.

Тяговое усилие на ведущих колесах определяют из выражения:

$$P_k = \frac{M_e \cdot u_{ki} \cdot u_0 \cdot \eta_T}{r_o},$$

где  $r_o$  - динамический радиус колеса, который в нормальных условиях движения принимаем равным  $r_{cm}$ , м;  $u_{ki}$  - передаточное число используемой передачи;  $u_0$  - передаточное число главной передачи

Вторую составляющую силового баланса - силу суммарного дорожного сопротивления определяют по формуле:

$$P_\psi = \Psi G,$$

где  $G=gm$  - полный вес автомобиля, Н;  $g= 9,81 \text{ м/с}^2$  - ускорение свободного падения.

В расчетах не учитывается влияние скорости движения на коэффициент сопротивления качению, в связи с чем полагают  $\Psi = f = \text{const.}$

Сила сопротивления воздуха, Н определяется по формуле:

$$P_w = \frac{k \cdot F \cdot v^2}{3,6^2},$$

где  $F$  - лобовая площадь,  $\text{м}^2$ ;  $v$  - скорость автомобиля, км/ч.

Лобовая площадь может быть определена по чертежу автомобиля, а при его отсутствии - приближенно по выражению:

$$F = \alpha B_r H_r,$$

где  $\alpha$  - коэффициент заполнения площади, для легковых автомобилей  $\alpha=0,78-0,8$ ;  $B_r$  и  $H_r$  - ширина и высота автомобиля в миделевом сечении.

Сила сопротивления разгону:

$$P_j = \delta \frac{G}{g} a,$$

где  $\delta$  - коэффициент, учитывающий влияние инерции вращающихся масс;  $a$  - ускорение автомобиля в поступательном движении, м/с<sup>2</sup>.

При построении и анализе графиков силового баланса величина  $P_j$  не рассчитывается, а определяется как разность тягового усилия  $P_k$  и суммы сопротивлений движению ( $P_{\varphi} + P_w$ ).

График силового баланса и все последующие строят в функции скорости автомобиля  $v$ , км/ч, которая связана с частотой вращения вала двигателя  $n$  зависимостью:

$$v = 0.377 \frac{r_k n}{u_{ki} u_0}$$

где  $r_k$  - радиус качения колеса, м, равный при отсутствии проскальзывания статическому радиусу  $r_{cm}$ .

Динамический фактор автомобиля определяется по формуле:

$$D = \frac{P_k - P_w}{G} \cdot 100\%.$$

Величины  $P_k$ ,  $P_w$  и  $D$  рассчитывают в зависимости от скорости движения автомобиля и представляют в виде графиков силового баланса и динамической характеристики.

По этим зависимостям можно найти и ускорения автомобиля для разных передач и скоростей:

$$a = (D - f) \cdot \frac{g}{S}.$$

Примерный вид зависимости силового баланса автомобиля ВАЗ-21083 от скорости его движения представлен на рис. 125.

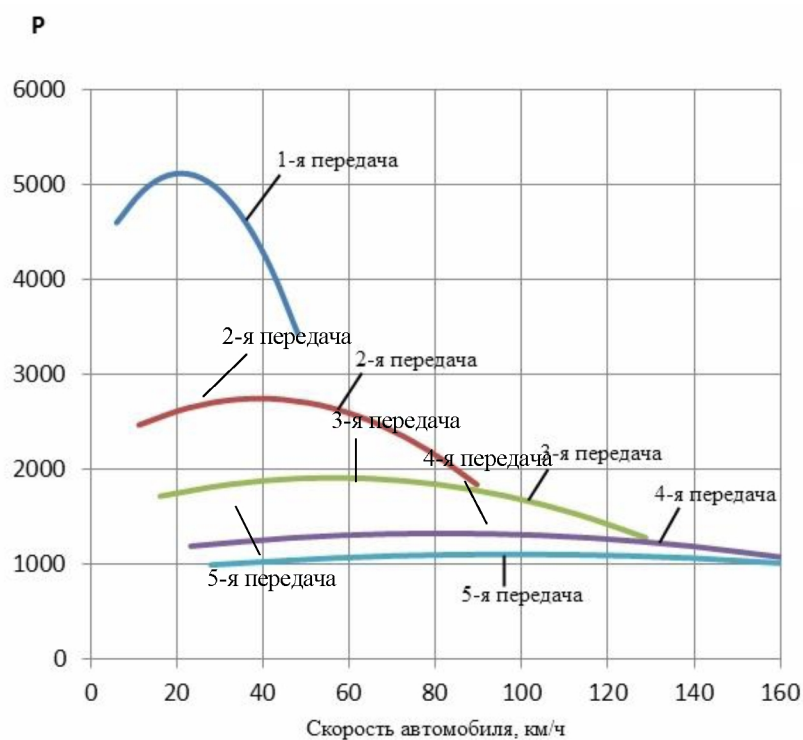


Рис. 125 Силовой баланс автомобиля ВАЗ – 21083

Зависимость динамического фактора от скорости автомобиля выглядит следующим образом (рис. 126):



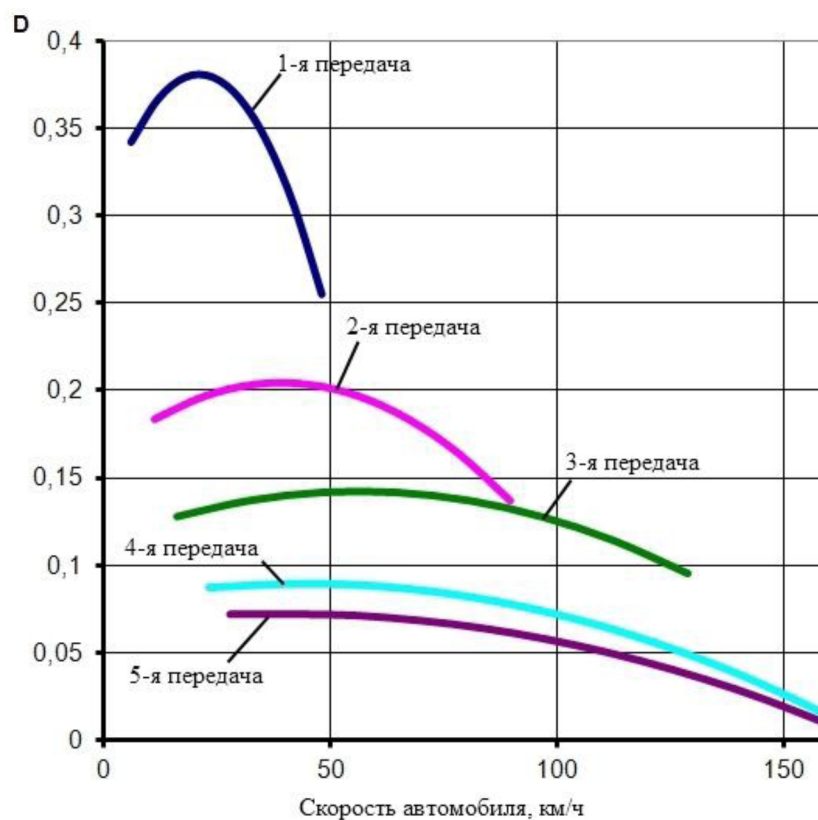


Рис.126 Динамический фактор автомобиля ВАЗ – 21083

Ускорения автомобиля представлены на рис. 127.

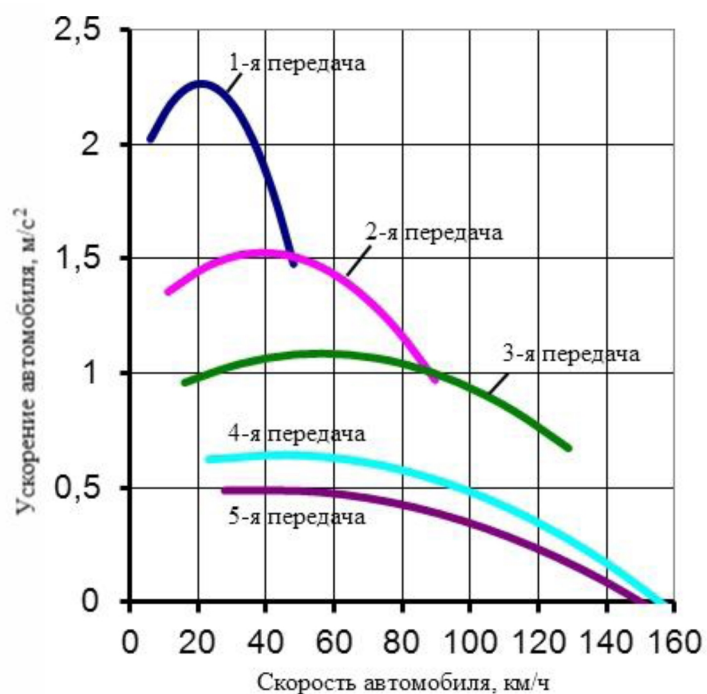


Рис. 127 График ускорений автомобиля ВАЗ – 21083

Уравнение баланса мощности автомобиля может быть записано через мощность двигателя  $N_e$ :

$$N_e - N_r - N_\Psi - N_j = 0$$

или через мощность на колесах  $N_k$ :

$$N_k - N_\Psi - N_w - N_j = 0,$$

где  $N_r$  - мощность, теряемая в трансмиссии;  $N_\Psi$ ,  $N_w$  - мощность, расходуемая на преодоление соответственно суммарных дорожных сопротивлений и сопротивления воздуха;  $N_j$  - мощность, используемая для разгона.

Мощность на ведущих колесах  $N_k$  определяют через мощность  $N_e$ , развиваемую на коленчатом валу двигателя, с учетом потерь в трансмиссии.

$$N_k = N_e \eta_T$$

Значения мощностей  $N_\Psi$  и  $N_w$  рассчитывают с использованием величин  $P_\Psi$  и  $P_w$ , полученных при расчете силового баланса для высшей передачи с целью обеспечения всего диапазона скоростей движения автомобиля:

$$N_\Psi = \frac{P_\Psi v}{3600}; \quad N_w = \frac{P_w v}{3600}.$$

Полученные значения величин  $N_\Psi$  и  $N_w$  суммируют.

Из рассчитанных табличных значений берут также значения скоростей движения автомобиля на всех передачах, соответствующие принятым ранее величинам частоты вращения коленчатого вала двигателя. Затем строят график баланса мощностей автомобиля (рис. 128).

Из сказанного можно сделать следующие выводы:

- 1) Максимальная скорость автомобиля определяется мощностью его ДВС, а динамика автомобиля – крутящим моментом ДВС.
- 2) Влияние передаточных чисел на располагаемую

мощность выглядит следующим образом (см. рис. 129):

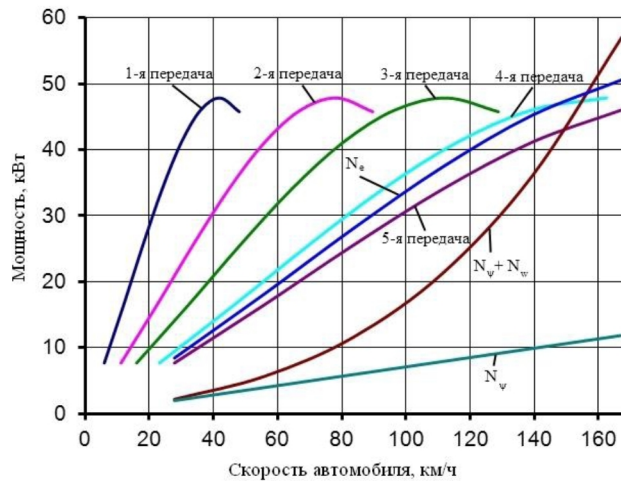


Рис. 128 Баланс мощностей автомобиля

Изменение передаточных чисел не влияет на потребляемую мощность, но смещает располагаемую мощность в ту или иную сторону без изменения её максимальной величины. При уменьшении передаточного числа кривая располагаемой мощности смещается вправо, а точка её пересечения с потребляемой мощностью – влево. Следовательно, максимальная скорость при этом снижается. Кроме того, сближение линий располагаемой и потребляемой мощностей приводит к тому, что ухудшаются разгонные характеристики. При увеличении передаточного числа максимальная скорость также уменьшается, но наблюдается некоторый рост динамики.

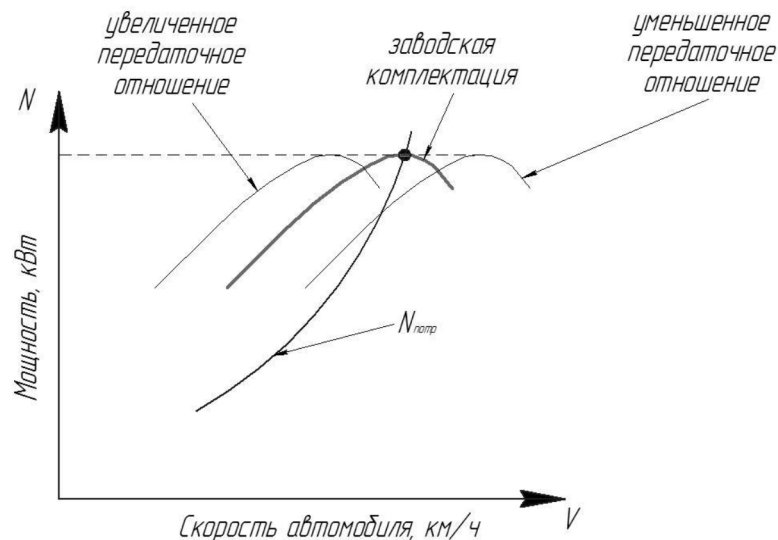


Рис. 129 Зависимость мощности автомобиля от передаточного числа

3) Влияние внешних условий (на примере изменения направления ветра) показано на рис. 130 и 131.

Внешние условия (ветер, состояние дорожного покрытия и т.д.) изменяют значение потребной мощности, в результате изменяется и максимальная скорость автомобиля.

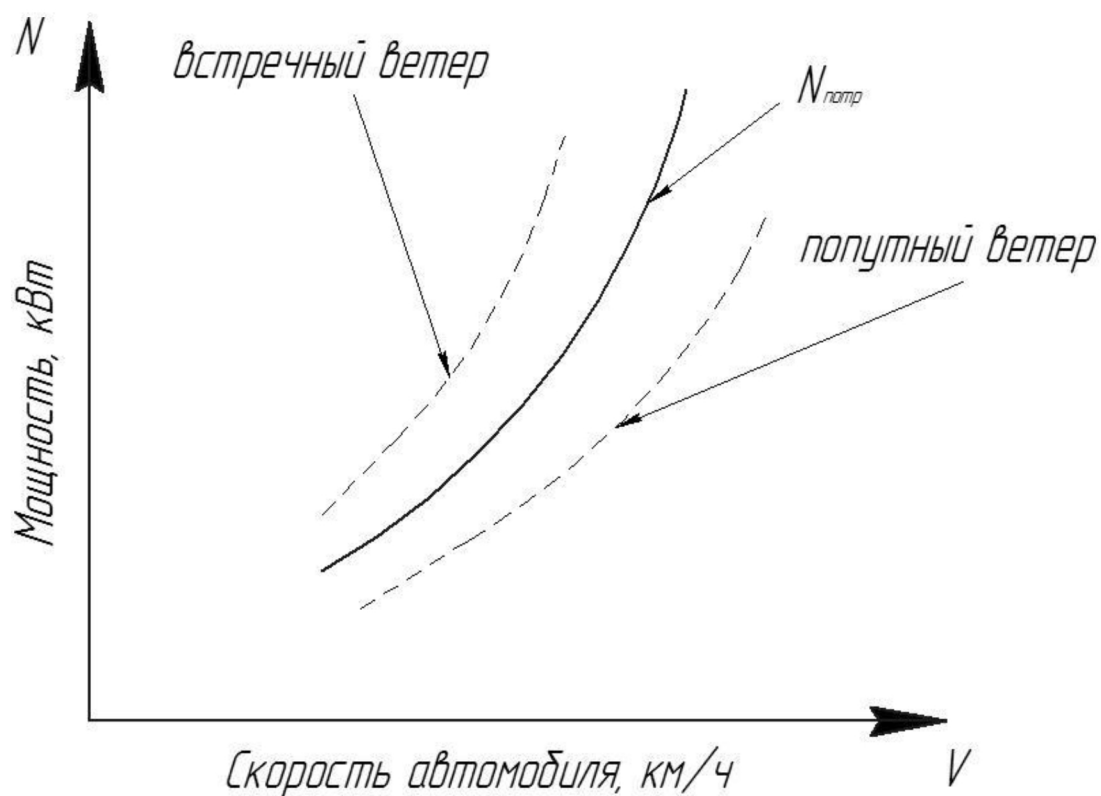


Рис. 130 Зависимость потребной мощности автомобиля от одного из внешних факторов

Внешние условия могут оказывать влияние и на динамику автомобиля:

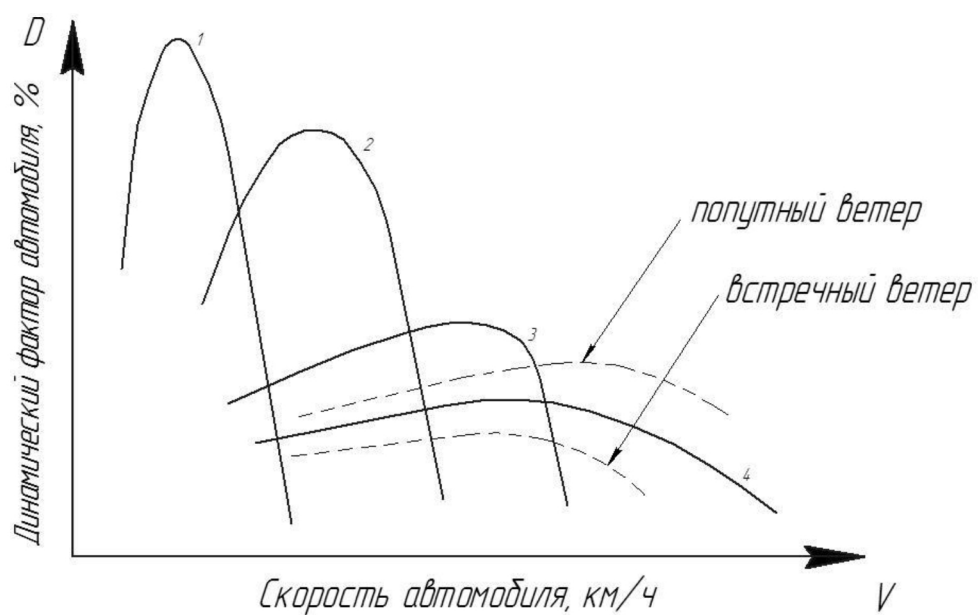


Рис. 131 Зависимость динамического фактора автомобиля от скорости (1, 2, 3, 4 -линии, соответствующие включенным первой, второй, третьей и четвертой передачам трансмиссии) и ветра (на примере четвертой передачи).

4) Влияние исправности двигателя автомобиля показано на рис. 132.

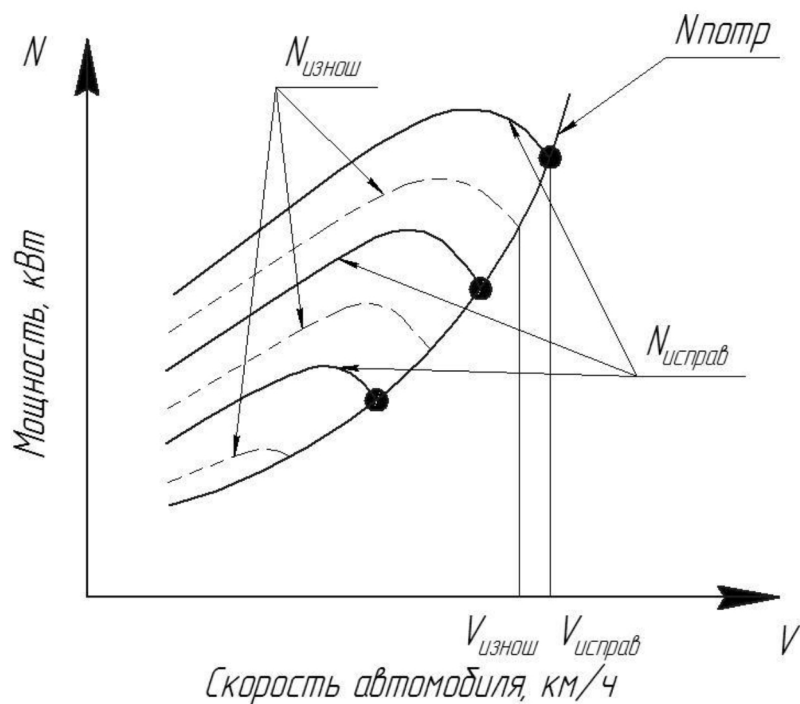


Рис. 132 Влияние исправности двигателя на скорость автомобиля

Известно, что неисправности ведут к уменьшению располагаемой мощности автомобиля. В результате при том же открытии дросселя автомобиль с неисправным двигателем будет развивать меньшую скорость.

Так, на рис. 13 представлены данные о изменении мощности двигателя ВАЗ-21083 перед капитальным ремонтом в сравнении с аналогичным новым двигателем. Максимальная мощность изношенного двигателя - 42 кВт при 5600 об/мин, а его крутящий момент – 88,5 Нм при 3400 об/мин.

Оба двигателя далее поочередно устанавливались на один и тот же автомобиль, который проходил испытания. Данные испытаний, полученные при движении на четвертой передаче представлены на рис. 134 в сравнении с графиком потребной мощности ( $N_{\Phi} + N_w$ ). Из данного рисунка хорошо видна разница в максимальной скорости автомобиля в обоих случаях.

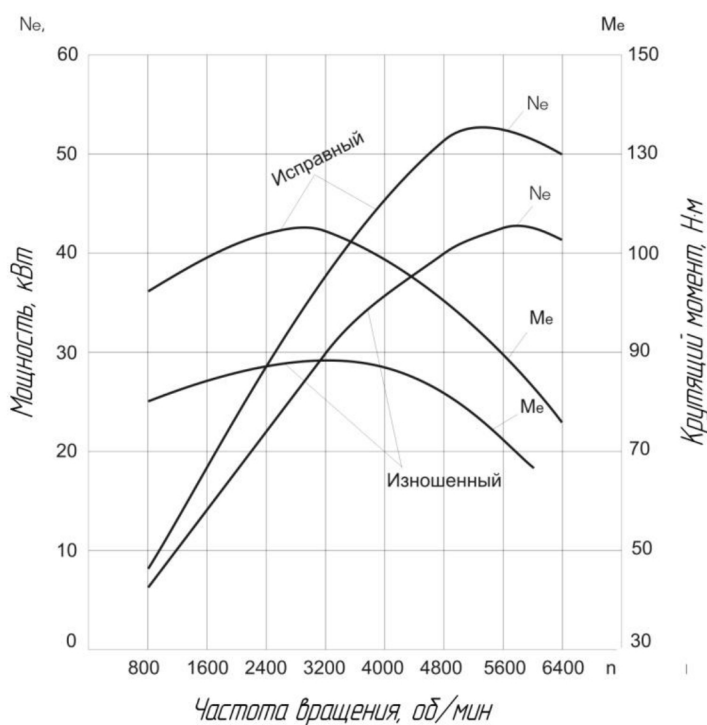


Рис.133 Внешняя скоростная характеристика исправного и изношенного двигателей ВАЗ-21083

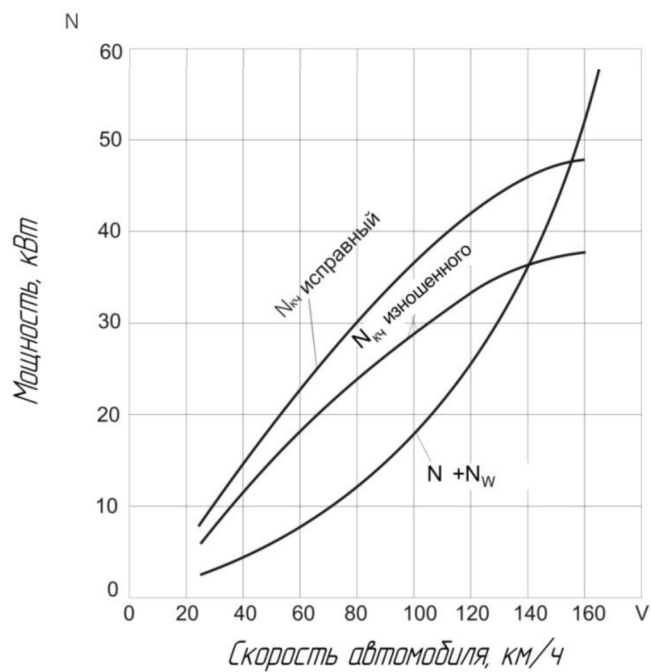


Рис. 134 Максимальная скорость автомобиля с исправным и изношенным двигателем  
ВАЗ-21083

На рис. 135 представлено время разгона автомобиля с изношенным двигателем, в сравнении со временем разгона автомобиля с исправным двигателем.

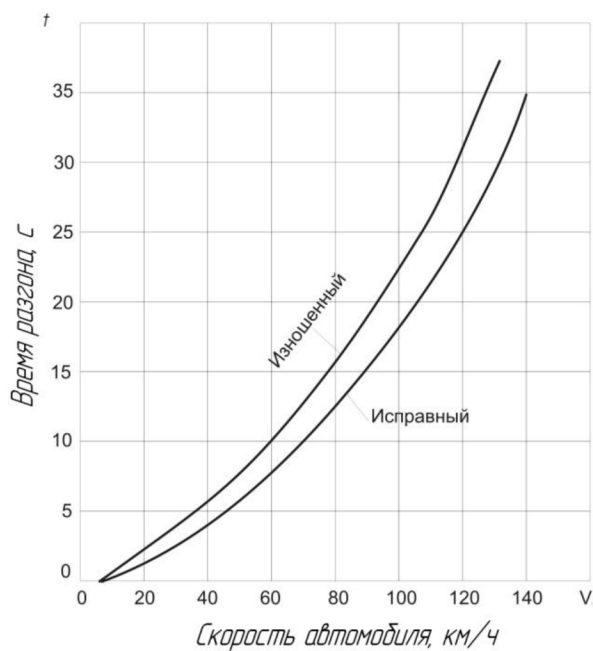


Рис. 135 График времени разгона автомобиля с исправным и изношенным двигателями

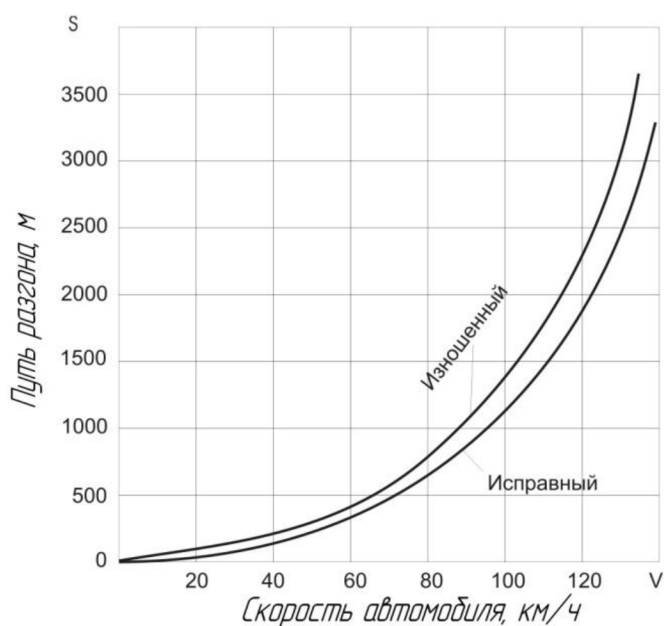


Рис. 136 График пути разгона автомобиля с изношенным и исправным двигателями

Представленные данные позволяют сделать следующие выводы:

- износ двигателя с падением мощности на 20% ведет к уменьшению максимальной скорости со 156 до 139 км/ч;
- снижение крутящего момента двигателя ведет к ухудшению разгонных характеристик автомобиля примерно на 20...25%;
- потери в динамике автомобиля ведут к значительному увеличению пути при разгоне, что ведет к повышенной опасности при некоторых маневрах на дороге (например, при обгоне).

Износ двигателя влияет не только на скоростные и динамические характеристики автомобиля, но и на его расход топлива. Так, на рис. 137 представлено изменение расхода топлива автомобиля при некачественной регулировке газораспределительного механизма, а на рис. 138 - при износе цилиндропоршневой группы.



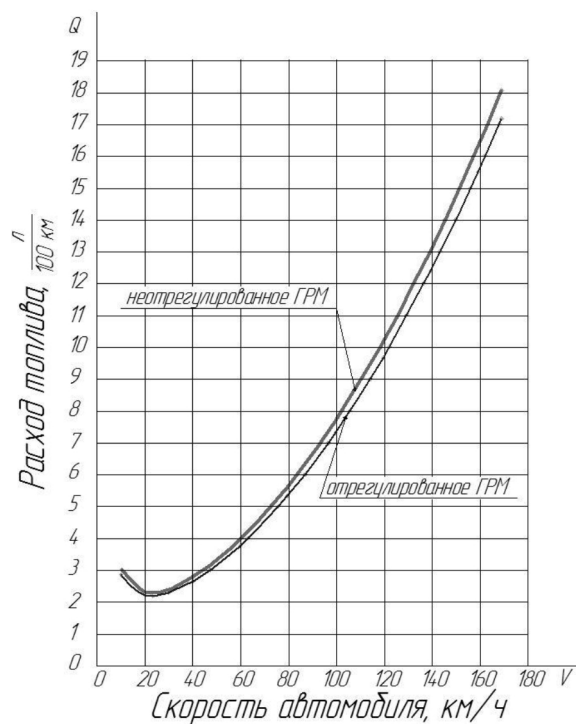


Рис. 137 Зависимость среднего расхода топлива автомобиля с отрегулированным и неотрегулированным ГРМ

Из рис. 137 видно, что неправильная регулировка газораспределительного механизма в рассматриваемом случае приводит к ухудшению топливной экономичности на 5%.

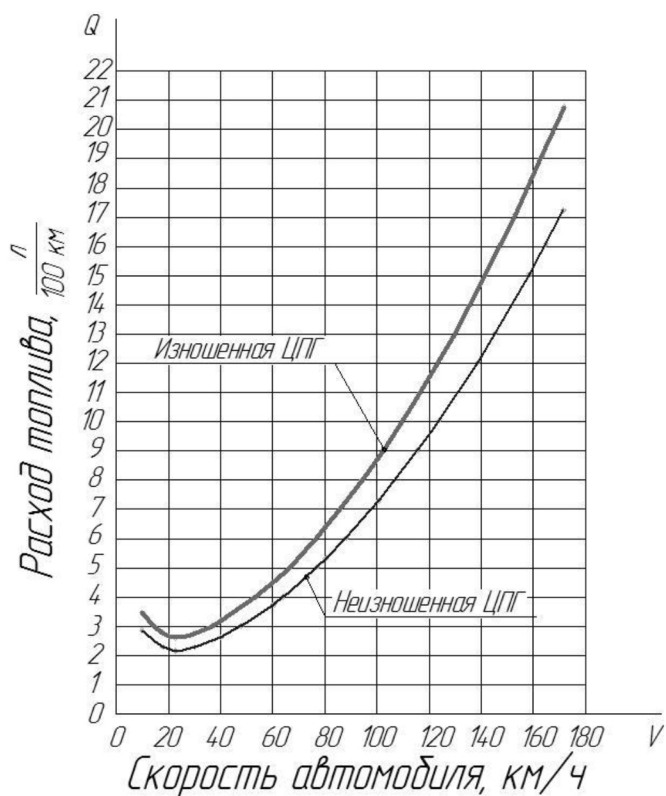


Рис 138. Изменение среднего расхода топлива автомобилем с исправным и изношенным двигателем

Рис. 138 показывает, что при износе шатунно-поршневой группы, соответствующем падению компрессии на 10 % увеличение потребления топлива может достичь 20%.

В зависимости характеристик автомобиля от характеристик ДВС имеется и обратная связь. Так, например характер эксплуатации автомобиля существенным образом отражается на работе систем двигателя, а в конечном итоге и на его состоянии.

Из рисунка 139 следует, что при движении автомобиля с одной и той же скоростью, но на различных передачах, в его систему охлаждения будет выделяться различное тепло. Видно, что количество этого тепла возрастает при движении на низших передачах. Таким образом, движение на низших передачах в случаях, когда возможно переключение на высшую ведет к излишнему нагреву элементов ДВС. Именно этим объясняется тот факт, что при длительном движении автомобиля в дорожной «пробке» на низшей передаче из-за перегрузки системы охлаждения ее отказ наиболее вероятен.

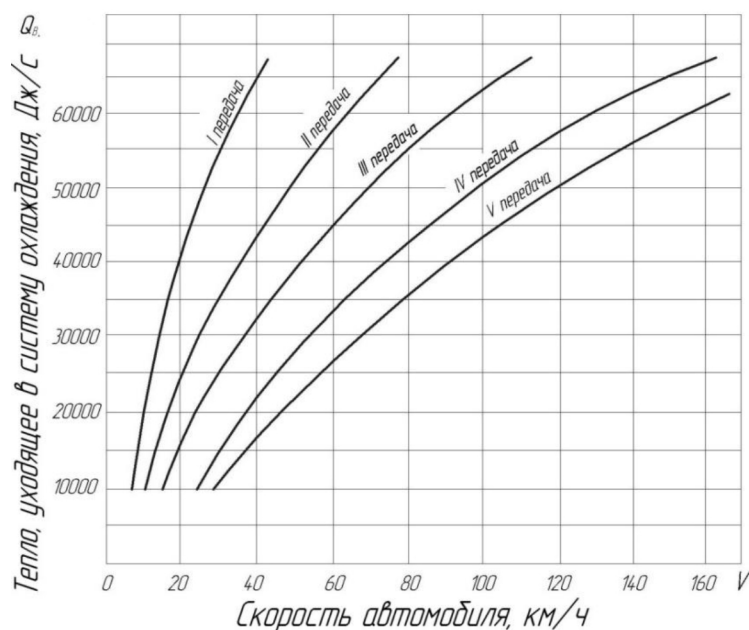


Рис. 139 Тепло, уходящее в систему охлаждения ВАЗ-2108 при его движении на разных передачах

Таким образом, скоростные и динамические характеристики автомобиля определяются мощностью и крутящим моментом установленного на него ДВС. Неисправности двигателя снижают его показатели и соответственно возможности всего автомобиля в целом. Правильная эксплуатация автомобиля влияет на ресурс его двигателя и вероятность возникновения у него отказов.

### ***Контрольные вопросы***

1. При работе двигателя на автомобиле его мощность расходуется:

а) На преодоление сопротивления грунта покрытия;

**б) На преодоление аэродинамического сопротивления, сил трения качения колес и сопротивления в трансмиссии (правильно);**

в) На преодоление сопротивления воздуха.

2. Мощность двигателя автомобиля определяет:

а) Максимальную скорость (правильно);

б) Динамику автомобиля;

в) Расход топлива автомобилем.

3. Коэффициент аэродинамического сопротивления не зависит:

а) От формы автомобиля;

б) От зазоров между элементами кузова (двери, крылья и т.д.);

**в) От состояния дорожного покрытия (правильно).**

4. Тяговое усилие на ведущих колесах не зависит от:

а) Динамического радиуса колеса;

б) Передаточного числа используемой передачи;

**в) Коэффициента сопротивления качению (правильно).**

5. Мощность, потребная для движения автомобиля с определенной скоростью определяется:

**а) Силами аэродинамического сопротивления, трения качения и сопротивления в трансмиссии (правильно);**

б) Силами аэродинамического сопротивления и режимом работы двигателя;

в) Трением качения и сопротивлением в трансмиссии.

6. Сила сопротивления воздуха не зависит от:

а) Скорости движения автомобиля;

б) Площади миделевого сечения автомобиля;

**в) Состояния дорожного покрытия (правильно).**

7. Состояние двигателя автомобиля не влияет на:

**А) Потребную мощность (правильно);**

Б) Максимальную скорость автомобиля;

В) Тяговое усилие.

8. Динамический фактор автомобиля не зависит от:

а) Тягового усилия и сопротивления воздуха;

б) Тягового усилия и веса автомобиля;

**в) Направления движения автомобиля (правильно).**

9. Внешние условия (ветер, состояние дорожного покрытия):

**а) Влияют на максимальную скорость автомобиля через потребную мощность (правильно);**

б) Влияют на максимальную скорость автомобиля через изменение мощности двигателя;

в) Не влияют на максимальную скорость автомобиля.

10. Передаточное число:

а) Влияет на потребную мощность;

**б) Влияет на располагаемую мощность (правильно);**

в) Не влияет ни на потребную, ни на располагаемую мощность.

## ЛЕКЦИЯ 14 РЕМОНТ ДВС

### *14.1 Основные сведения о ремонте поршневых двигателей*

Одной из важнейших характеристик двигателя является его ресурс. **Ресурсом двигателя** называется длительность его работы (обычно выражается в километрах пробега автомобиля) до прихода в непригодное для нормальной эксплуатации состояние, не устранимое регулировкой (падение мощности, увеличение расхода масла и топлива, токсичности отработавших газов, ухудшение пусковых свойств и т.д.). Для дальнейшего продления эксплуатации двигателя в этом случае необходимо проведение ремонта.

**Целью ремонта двигателя** является восстановление его эксплуатационных характеристик и параметров до уровня, указанного в технических данных завода – изготовителя. К основным эксплуатационным параметрам ДВС относят: мощность и крутящий момент, эксплуатационный расход топлива, дымность и токсичность отработавших газов, пусковые характеристики, ресурс двигателя после ремонта и т.д.

Принято выделять несколько видов ремонта ДВС. **Текущий ремонт двигателя** - устранение мелких неисправностей, возникающих в процессе эксплуатации автомобиля. **Средний ремонт двигателя** - частичная разборка двигателя и восстановление или замена изношенных деталей, например, ремонт головки блока цилиндров (ГБЦ), коленчатого вала (коленвала). **Капитальный ремонт двигателя** - процесс полного восстановления его эксплуатационных характеристик, включающий снятие с автомобиля и полную разборку двигателя, ремонт головки блока цилиндров (ГБЦ), коленчатого вала (коленвала) и (или) блока цилиндров, и замену или восстановление всех изношенных деталей, узлов и агрегатов.

В начале капитального ремонта двигателя, после демонтажа двигателя с автомобиля, сливают все рабочие жидкости, а затем проводят разборку. При разборке двигателя следует уделить особое внимание осмотру поврежденных

деталей, что в последствии позволит точно определить и устранить неисправность. Разборку начинают со снятия навесных агрегатов (генератора, распределителя зажигания, насоса охлаждающей жидкости и т.д.). При снятии головки блока вначале проверяют установку фаз газораспределения по меткам на деталях ГРМ. Снимая головку, используют инструмент, позволяющий сохранить места ее крепления неповреждёнными. При демонтаже прокладки головки блока важно не повредить плоскость стыка. После снятия головки двигатель переворачивают и снимают поддон картера и маслоприемник или маслосборник. Поршни с шатунами снимают поочередно, предварительно оценив их износ относительно цилиндра. При снятии «мокрой» гильзы (если имеется) запрещается стучать по ее кромке - необходимо использовать оправку из мягкого материала. При предполагаемом повторном использовании все извлеченные детали необходимо маркировать. После разборки все детали необходимо вымыть (иначе невозможна их дефектация) - см. рис. 140. Затем составляют дефектную ведомость, в которой указывают состояние всех имеющихся деталей, и детали, подлежащие замене или ремонту.



Рис. 140 Установка головки блока цилиндров в автоматическую моечную машину (фирма «Мотор-Технология», г. Москва). Мойка осуществляется моющим составом при 80°С

На следующем этапе проводят оценку целесообразности ремонта. Для этой цели существуют различные расчетные зависимости (калькуляции), учитывающие стоимость работы, запасных частей и возможности

последующей эксплуатации двигателя. Если расчет показывает, что затраты на ремонт превосходят последующую прибыль от эксплуатации двигателя, то от ремонта следует отказаться. В этом случае, как правило, проводится замена двигателя новым.

Основные правила ремонта, можно свести к следующему:

1. Без необходимости не следует изменять конструкцию ремонтируемых деталей, особенно недорогих.

2. При проведении ремонта следует проводить замену или ремонт всех деталей, в надежности которых имеются сомнения.

3. Отремонтированная деталь должна иметь геометрические параметры на уровне новой детали.

4. При ремонте деталей следует помнить о возможности проведения последующего ремонта, что предполагает минимальный съем металла с обрабатываемых поверхностей.

5. При ремонте не следует использовать запасные части и комплектующие низкого качества.

6. При проведении ремонта следует использовать несколько основных способов восстановления зазоров и поверхностей сопряженных и изношенных деталей:

а) Одна из изношенных деталей обрабатывается в ближайший ремонтный размер (увеличенный для отверстия и уменьшенный для вала). Другая деталь заменяется на новую с увеличенным (уменьшенным) ремонтным размером. Это наиболее распространенный и дешевый способ ремонта ЦПГ и КШМ.

б) Одна из изношенных деталей не обрабатывается (при небольшом износе) или обрабатывается до восстановления правильной геометрической формы. На рабочие поверхности ответной детали наносится слой металла (наплавка, наварка, напыление, гальванопокрытие). После этого деталь обрабатывается (шлифуется) в размер, больший стандартного (вал) или



меньший (отверстие), но обеспечивающий требуемый зазор в сопряжении. Данный способ часто используется, например, при ремонте распределительных валов.

в) На одну из изношенных деталей наносится слой металла, после чего деталь обрабатывается в размер равный стандартному (если износ мал) или меньший его (износ велик). Ответная деталь заменяется на новую, соответственно стандартного или ремонтного размера. Этот способ в основном используется для ремонта подшипников скольжения распределительных, вспомогательных и балансирных валов. Этот способ используется также и для ремонта сильно изношенных коленчатых валов.

г) Изношенная деталь, имеющая отъемную (разъемную) часть обрабатывается по поверхности разъема, после чего деталь соединяется, а изношенная поверхность обрабатывается в стандартный размер. Это основной способ ремонта постелей подшипников в блоке цилиндров, шатунах и головке блока с разъемными крышками опор.

д) Обе сопряжённые детали заменяются на новые, но одна из деталей дополнительно обрабатывается для обеспечения рабочего зазора. Данный способ характерен для ремонта головок блоков с заменой изношенных клапанов и клапанных втулок, верхних головок шатунов при замене втулок поршневого пальца.

е) Обе сопряжённые детали заменяются на новые. При этом «автоматически» обеспечивается рабочий зазор. Примером такой ситуации может служить замена коленчатого вала с вкладышами. Данный способ является наиболее дорогим и применяется при невозможности использования других способов, например, из-за сильного повреждения деталей.

Восстановление деталей при ремонте можно разделить на три группы: обработку отверстий, валов и плоских поверхностей.

При ремонте отверстий могут использоваться следующие технологии. Неразъемные отверстия чаще всего ремонтируют установкой втулки или гильзы, как это делается при ремонте блока цилиндров (см. рис. 141). Если отверстие относится к тому типу, когда его поверхность является рабочей и по ней происходит вращение (подшипник) или поступательное движение (стенка цилиндра), то для ремонта также широко используется увеличение размера и соответствующее использование ответной детали увеличенного размера.



Рис. 141 Установка гильз в блок цилиндров после их охлаждения в жидком азоте

Разъемные отверстия, как правило, пытаются восстановить в стандартный размер. В любом случае обработку отверстий стараются провести так, чтобы не нарушить их параллельность, перпендикулярность и соосность по отношению к базовым поверхностям. Наиболее сложным случаем является ремонт группы соосных отверстий. Как правило, в этом случае приходится ремонтировать все отверстия, расположенные на одной оси.

Ремонт отверстий проводится с помощью токарных, расточных, хонинговальных и внутришлифовальных станков.

Токарные и расточные станки обычно применяются для предварительной обработки отверстий. На токарных станках обрабатывают детали с небольшими габаритами (шатуны, крышки маслосососов и т.д.). Для деталей сложной формы используются специальные планшайбы. Расточные станки

по отношению к токарным обеспечивают более высокую точность и позволяют обрабатывать более крупные детали.



Рис. 142 Обработка цилиндров на вертикально-расточном станке (фирма «АБ - Инжиниринг», г. Москва)

Вертикально-расточные станки (рис. 142) используются для обработки сравнительно коротких отверстий: цилиндров, шатунов, крышек и корпусов маслонасосов, а горизонтально-расточные (см. рис. 143) – отверстий, имеющих большую длину (опоры валов в блоке или головке цилиндров).

После растачивания на современных двигателях отверстия проходят окончательную (финишную) обработку. Чаще всего ее выполняют с помощью хонинговальных станков (рис. 144), позволяющих получить качество поверхности не хуже чем у новой детали. Хонингование выполняется с помощью абразивных брусков. Для обработки алюминиевых и чугунных деталей используются бруски из окиси алюминия  $Al_2O_3$  или карбида кремния SiC.



Рис. 143. Обработка постелей блока цилиндров на горизонтально-расточном станке (фирма «АБ - Инжиниринг», г. Москва).



а)

б)

Рис. 144 Хонинговальный станок (а) и хонингование цилиндров (б) (фирма «Мотор-Технология», г. Москва)

Для обработки стальных деталей применяются алмазные бруски и бруски из нитрида бора. Бруски устанавливают на хонинговальной головке станка. При обработке необходима подача большого количества смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), препятствующей задирам и внедрению абразива в поверхность, особенно у алюминиевых и чугунных деталей. Недостаток хонингования - высокая стоимость инструмента и то, что обработка ведется не от базовых поверхностей.

Для ремонта сильно деформированных коротких отверстий небольших стальных деталей (шатунных) используется внутреннее шлифование на специальных станках. Данным способом можно сразу заменить и растачивание и хонингование. При этом шлифованное отверстие имеет более высокую точность, т.к. отсутствуют отклонения от цилиндричности.

Длинные или разнесенные отверстия обрабатываются с помощью разверток. Для отверстий под направляющие втулки используют стандартные развертки, а для опор валов в блоках или головке необходим инструмент, изготовленный на заказ.

Во всех случаях ремонта отверстий точное измерение диаметра отверстия проводится нутромером с ценой деления 0,01 мм.

Другая группа деталей, часто обрабатываемая при ремонте ДВС - различные валы: коленчатые, распределительные, вспомогательные и балансирные. При этом, как правило, ремонтируются опорные шейки (рабочие поверхности) валов или устраняется деформация вала из-за перегрева шеек. При «естественном» износе при больших пробегах автомобиля отклонения в размерах шеек обычно невелики (0,05...0,08 мм), а овальность не превышает 0,02...0,03 мм. После разрушения подшипников износ шеек доходит до 0,5...0,8 мм, а иногда и до 2...3 мм. При этом половину износа может составлять овальность. При ремонте валов должны быть выполнены следующие условия:

- 1) Восстановлен до исходной величины зазор в соединении с ответной деталью.
- 2) Восстановлено взаимное расположение рабочих и вспомогательных поверхностей.
- 3) Восстановлено качество рабочих поверхностей.

Основными способами ремонта валов являются:

1. Шлифование опорных шеек в ремонтный, уменьшенный размер. Применяется для ликвидации равномерного износа валов и при наличии вкладышей увеличенной толщины.
2. Правка вала с последующим шлифованием шеек в ремонтный размер - для деформированных и изношенных валов.

3. Наплавка или наварка с правкой и шлифованием в ремонтный размер - для сильно изношенных и деформированных валов.

4. Наплавка или наварка с правкой и шлифованием в первоначальный размер - для вспомогательных и распределительных валов, где применяются втулки подшипников стандартного размера.

5. Наплавка или наварка с правкой и шлифованием в размер, больший первоначального - применяется для распределительных валов, устанавливаемых в изношенные или увеличенные в ремонтный размер опоры в головке блока цилиндров.

6. Правка без шлифования - для неизношенных валов с большой остаточной деформацией.

При обработке валов следует придерживаться следующей последовательности:

1. Дефектация и подготовка вала к ремонту.

Проводится с целью определения метода ремонта. Включает в себя измерение всех необходимых для обеспечения работоспособности вала размеров. Диаметры шеек и хвостовика измеряются микрометром. Измерение деформации вала производится на призмах или в центрах. В первом случае, вал крайними шейками опирается на призмы, установленные на поверочной плите, а с помощью магнитной стойки с укрепленной на ней индикатором измеряется биение других шеек и поверхностей. При различных диаметрах шеек задача осложняется, т.к. под одну из призм необходимо установить специальные шлифованные прокладки. В этом случае удобнее использовать другой способ - установку вала в неподвижных центрах.

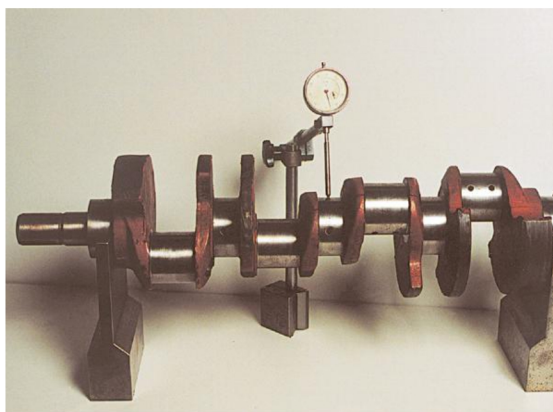


Рис. 145 Контроль биения коренных шеек коленчатого вала (фирма «АБ - Инжиниринг», г. Москва)

Большинство валов имеет центровые сверления с фасками, которые являются технологическими поверхностями при обработке валов на заводе-изготовителе двигателя. Эти глухие отверстия с фасками используются при дефектации, по ним вал устанавливается на токарном станке. При этом один конец вала зажимается в патрон шпинделя, а другой - в патрон, установленный в задней бабке станка. Вначале определяется биение вала в районах зацентровок. Оно определяется с помощью магнитной стойки с индикатором, при вращении вала рукой. При необходимости оно устраняется для обеспечения правильной установки вала (если превышает 0,02...0,03 мм). Затем проверяется биение рабочих поверхностей, которое не должно превышать 0,07...0,09 мм. Если биение выше - вал подвергают правке.

## 2. Наварка.

При ремонте валов часто используются их наварка, наплавка и напыление. Эти виды обработки валов часто ведут к их деформации, которая тем выше, чем сильнее происходит нагрев вала и из-за которой становится необходимой последующая правка. Как правило, наварка, наплавка и напыление производятся на токарных станках, обеспечивающих постоянную скорость вращения вала с установкой на них специального сварочного оборудования.

## 3. Правка.

Правка вала осуществляется на прессах или специальном оборудовании. Основными способами правки вала являются: приложение к валу усилия, перпендикулярного его оси, растягивание или сжатие деформированных участков, создание наклепа на поверхности вала. Базовыми поверхностями при правке служат опорные шейки и крайние вспомогательные поверхности вала. Правке можно подвергать валы, имеющие биения опорных шеек от 0,05 мм до 1,5 мм. Следует помнить, что:

- при правке чугунных валов велика вероятность их разрушения;

- правка вала может создать в нем внутренние напряжения, что при его работе приведет к быстрой деформации и даже разрушению, поэтому с целью снятия этих напряжений вал необходимо подвергнуть термообработке при температуре 180 °С в течение 3...4 часов.

#### 4. Шлифование.

Шлифование поверхностей любого вала выполняется только в центрах, расположенных по оси вращения вала. Применение кулачковых патронов - недопустимо. На рис. 146 показана шлифовка шеек коленчатого вала.



Рис.146 Шлифовка шеек коленчатого вала в фирме «Мотор - Технология» (г. Москва).

#### 5. Балансировка.

При ремонте коленчатого вала иногда возникает необходимость в проведении его балансировки, иногда в сборе с сопряженными с ним деталями - маховиком и муфтой сцепления. Неуравновешенность вала может

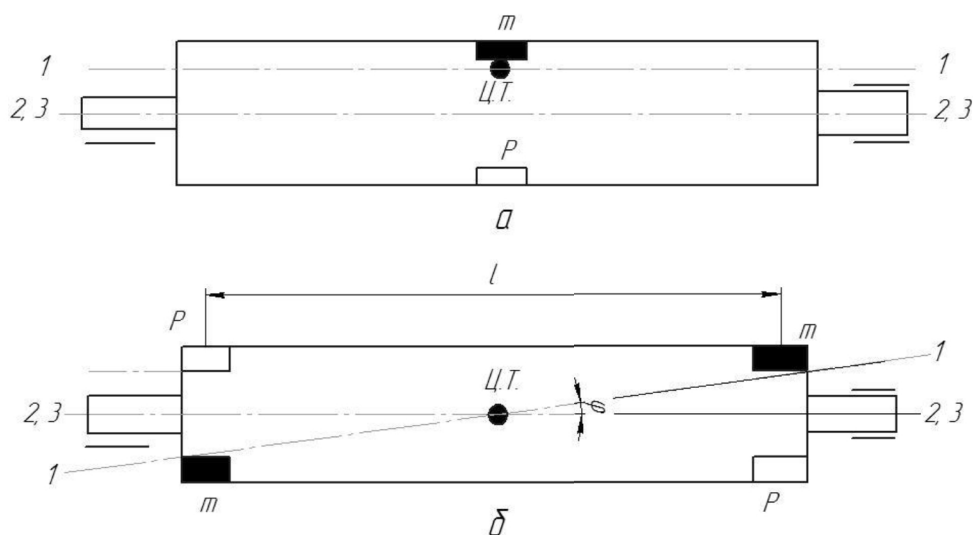


быть статической и динамической (рис. 8). Первая характеризуется тем, что главная центральная ось инерции вала («1-1») и ось вращения вала («2-2») параллельны, но не совпадают. При этом возникает дисбаланс, который определяется формулой:

$$D = m \cdot e_{\text{ст}},$$

где  $m$  - масса вала,  $e_{\text{ст}}$  - расстояние между осью инерции вала и осью вращения.

Кроме этого дисбаланс характеризуется направлением - углом  $\varphi$  между осью вращения вала и его главной осью инерции. Задачей балансировки в данном случае является определение величины и направления дисбаланса с последующим их уменьшением корректировкой масс в одной плоскости. Такая балансировка проводится без вращения вала на так называемом параллельном стенде. Вал устанавливается на две параллельных направляющие, выполненные в виде «ножей» плоского, круглого или призматического сечения. Под действием силы тяжести вал перемещается, проворачиваясь до момента остановки. В этом положении эксцентриситет массы направлен вниз относительно оси вращения. Путем установки на вал технологических грузов добиваются, чтобы вращения вала на ножах не происходило. Затем со стороны, противоположной нанесению грузов выполняют сверление отверстий диаметром 6...10 мм. Масса удаляемого металла должна равняться массе грузов. Потом проводится проверка балансировки.



«1 – 1» – главная центральная ось инерции; «2 – 2» – ось вращения; «3 – 3» – ось изделия;  
Ц. Т. – центр тяжести;  $m$  – неуравновешенная масса;  $P$  – противовесы

Рис. 147. Схемы статической (а) и динамической (б) балансировки валов

Для длинных валов с небольшим диаметром характерна динамическая неуравновешенность, при которой ось его вращения и главная ось инерции перекрещиваются или пересекаются. При балансировке таких валов величина и направление дисбаланса корректируются как минимум в двух плоскостях (обычно у крайних опор). Балансировка в этом случае выполняется при вращении вала. Ввиду сложности процесса он осуществляется на специализированных станках.

#### 6. Полирование рабочих поверхностей.

После шлифования поверхности шеек не имеют необходимого качества, которое может быть получено только полировкой. В противном случае ускорятся износ вкладышей или втулок подшипников. Обычно полировка валов выполняется с использованием абразива с зернистостью 2...5 мкм, закрепленного в специальном приспособлении, охватывающем поверхность вала или абразивной пасты.

#### 7. Окончательный контроль.

После выполнения ремонта вала проводится контроль его размеров и биений.

При ремонте блоков цилиндров часто встречается деформация плоскости стыка блока с головкой, которая обычно является следствием перегрева двигателя или перетяжки болтов. Ремонт целесообразно проводить, когда деформация превышает 0,02...0,03 мм. Ремонт верхней поверхности блока выполняется фрезерованием (рис. 148), шлифованием или притиркой с абразивной пастой на плите. При этом обычно допускается снимать не более 0,1...0,2 мм металла. Используется фрезеровка и при ремонте головок блока (см. рис. 149).



Рис. 148 Фрезерование плоскости блока цилиндров в фирме «Мотор - Технология»  
(г. Москва).



Рис. 149 Фрезерование плоскости головки блока (фирма "АБ - Инжиниринг", г. Москва)

При разрушении шатунов и поршней возможно появление пробоин и трещин в стенках блоков, которые устраняются сваркой. Для чугунных блоков может использоваться электродуговая сварка и сварка в среде углекислого газа. Использование газовой сварки требует разогрева детали до высокой температуры ( $600...700^{\circ}\text{C}$ ), вследствие чего впоследствии возможно коробление блока и появление трещин. Этого недостатка лишена сварка в среде углекислого газа, которая дополнительно обеспечивает более высокое качество сварного шва. Недостатком любого типа сварки является проблема с герметичностью, которая устраняется применением герметизации швов с помощью различных клеевых композиций на базе полимерных смол.

В последнее время для ремонта трещин широко используются синтетические смолы. Композиции, разработанные некоторыми зарубежными фирмами способны выдерживать температуры до  $200...300^{\circ}\text{C}$ , что позволяет применять их для склейки блока. Такие композиции состоят из пластификатора и металлического наполнителя, что после процесса склейки позволяет получить свойства шва, близкие к основному металлу блока.

Для ремонта седел клапанов используются фрезерование (растачивание), шлифование и притирка – рис. 150. С помощью фрезерование форма фаски на седле клапана восстанавливается до конической.

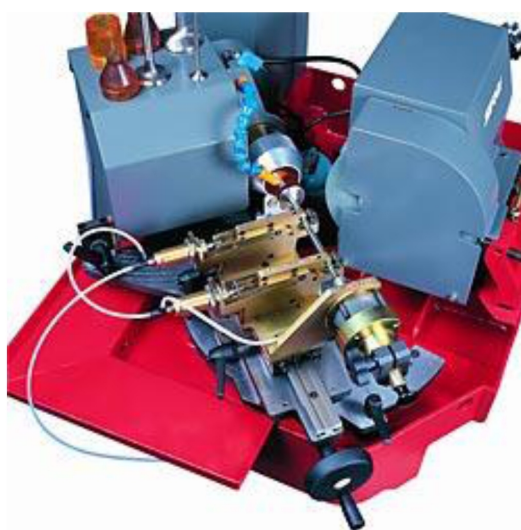


Рис. 150 Обработка фасок клапанов на станке фирмы Serdi в фирме «АБ - Инжиниринг»,  
(г. Москва)

Притирка позволяет обеспечить требуемое прилегание клапана и его седла и выполняется с помощью абразивной пасты зернистостью 28...40 мкм. Притирка происходит в ходе вращения «взад-вперед» прижатого к седлу клапана с периодическим его подъемом и опусканием для возвращения к фаске пасты, выдавленной из зоны контакта. Обычно притирка проводится не дольше 1...2 минут.

Одной из **конечных операций ремонта ДВС** является его сборка. Перед окончательной сборкой все детали необходимо вымыть и очистить от посторонних частиц, которые впоследствии могут способствовать ускоренному износу. Сборку следует производить только в последовательности указанной заводом - изготовителем двигателя, что позволит избежать последующей разборки для установки пропущенных деталей. При сборке необходимо тщательно следить за местом нахождения используемого инструмента и не допускать его оставления в собранных узлах и агрегатах. В ходе сборки необходимо соблюдать усилия затяжки болтовых соединений и вести постоянный контроль за допусками на размеры сопрягаемых деталей, что позволяет избежать их повреждения при возможной ошибке комплектовщика.

#### ***14. 2 Контроль мощности и крутящего момента двигателя после ремонта***

После проведения ремонта ДВС, а иногда во время эксплуатации необходимо проводить контроль его параметров, например, мощности и крутящего момента.

Для определения мощности в разных странах используются различные методики, что привело к появлению большого количества различных стандартов: DIN (Германский институт стандартизации); ECE (Европейская экономическая комиссия ООН); EG (Европейское экономическое сообщество); ISO (Международная организация по стандартизации); JIS

(Японский промышленный стандарт); SAE (Общество инженеров автомобильной промышленности США). В нашей стране действует ГОСТ 14846-87.

Для автомобильных двигателей различают две мощности: **нетто и брутто**.

**Мощность нетто** (реальная) определяется, когда испытываемый двигатель оборудован всеми вспомогательными, необходимыми для эксплуатации транспортного средства, агрегатами: генератором, глушителем, вентилятором и т.д.

**Мощность брутто** (лабораторная или стендовая) определяется на двигателе, который не оборудован всеми дополнительными, необходимыми для эксплуатации агрегатами. Эта мощность в основном измеряется по системе SAE и больше мощности нетто на 10-20%.

При измерении мощности обычно рассматривается какое-либо эталонное состояние, которое ориентировано на определенные атмосферные условия. Так как при определении мощности по различным стандартам выбраны различные атмосферные условия, то и измеренная для них мощность будет отличаться. Это объясняется тем, что при изменении плотности воздуха меняется и количество ТВС, поступающей в двигатель. Поэтому при сверке мощности, полученной, например, на стенде, с данными изготовителя двигателя необходимо обращать внимание на то, как измерялась эталонная мощность. Колебания атмосферных условий при проведении испытаний можно учитывать с помощью поправочных коэффициентов, пересчитывая измеренную мощность на определенное эталонное состояние. Действующий в России ГОСТ 14846-87 распространяется на автомобильные поршневые и роторно-поршневые ДВС. Стандарт устанавливает объем и методы стендовых испытаний для определения мощности нетто/брутто при полных и частичных нагрузках, показателей на рабочем и холостом ходу, условных механических потерь, равномерности работы цилиндров и дымности

отработавших газов. Показатели мощности некоторых конкретных двигателей приведены в табл. 1.

Табл. 1 Показатели мощности двигателей ВАЗ (ГОСТ 14846-87)

| Модель двигателя | Мощность по ГОСТ 14846, кВт |
|------------------|-----------------------------|
| 2103             | 52,5                        |
| 2106             | 54,8                        |
| 341              | 38,7                        |
| 21083            | 51,5                        |
| 2111             | 58                          |
| 2112             | 68                          |

Для измерения мощности двигателя используются два способа:

- прямое измерение;
- косвенное измерение.

**При прямом измерении** мощность измеряется на коленчатом валу двигателя. Для этого двигатель снимается с автомобиля и устанавливается на стенд (см. рис. 151). Через измеритель крутящего момента к нему подключается нагрузка (генератор, электрогидравлический тормоз и т.д.). При открытой дроссельной заслонке, изменяя нагрузку, измеряют тормозом обороты вала и строят графики мощности и крутящего момента с шагом не более 500 об/мин.

**При косвенном измерении** мощности, двигатель испытывается в составе автомобиля, но при этом автомобиль устанавливается на барабаны. Крутящий момент определяется в районе ведущих колес. Расчет мощности двигателя производится с помощью ряда формул. При этом точность определения мощности значительно ниже, чем при прямом способе. Поэтому такой метод используется, когда требуется оценить изменение мощности

двигателя после каких-либо его доработок. Если мощность двигателя уменьшилась на 10% при измерении косвенным методом, то считают, что необходим ремонт двигателя.

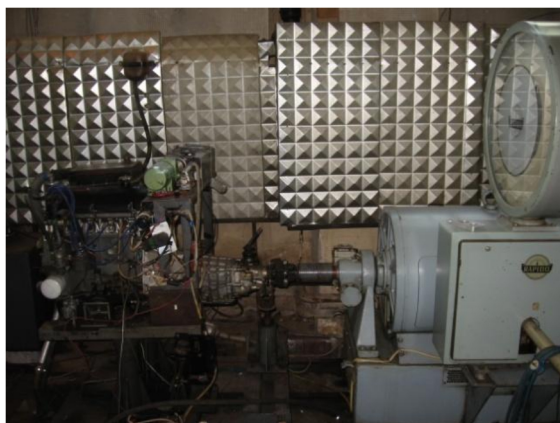


Рис. 151 Внешний вид стенда для испытаний автомобильных двигателей с возможностью получения внешней скоростной характеристики (справа - тормозное устройство)

Часто после проведения ремонта двигателя используются обкаточные стенды (см. рис. 152), так как от грамотной и аккуратной обкатки двигателей существенно зависят их долговечность и выходные показатели при последующей эксплуатации. Такие стенды позволяют выполнять приработку и испытание ДВС различных марок: в холодном режиме, в горячем без нагрузки, в горячем под нагрузкой.

«Холодной» обкаткой называют режим, когда коленчатый вал двигателя прокручивается принудительно электрической машиной стенда, определенное время и с определенной частотой вращения. Такой режим благоприятно сказывается на приработке поверхностей.

Обкаточные стенды отличаются упрощенной конструкцией и не позволяют выполнить полный объем испытаний ДВС (например, снятие внешней скоростной характеристики). Достоинства таких стендов заключаются в их универсальности, малой энергоемкости, автоматизированном процессе обкатки, установки без специального фундамента на виброизолирующие опоры и простоте обслуживания. Способ



нагрузки испытываемого двигателя - динамический: разгон и торможение инерционных масс приводного электрогенератора и собственных вращающихся масс обкатываемого на стенде двигателя. Тормоз в составе стенда отсутствует.

Для каждого двигателя внутреннего сгорания существует свой оптимальный набор режимов обкатки, определяемый количеством подаваемого топлива и частотой вращения коленчатого вала. Невозможность воспроизведения этого набора в условиях реальной эксплуатации и обуславливает необходимость применения обкаточных стендов. Обкатку двигателя в составе автомобиля проводят на "беговых" барабанах.

При обкатке обычно используются специальные моторные масла. Для отечественных двигателей при обкатке обычно использовалось масло М8ГИ. Буква "И" означает, что в данном масле содержатся специальные хлоро- и фосфоросодержащие присадки, которые позволяют при малейшем повышении температуры в местах микросваривания трущихся поверхностей растворять контактирующие металлы. Зарубежные фирмы используют аналогичные подходы, поэтому в инструкциях по эксплуатации современных автомобилей обычно присутствует фраза: "Масло во время обкатки менять не рекомендуется".

После обеспечения приработки деталей, второй задачей, решаемой при обкатке отремонтированных двигателей, является проверка правильности проведенного ремонта на предмет взаимодействия систем и узлов, наличия течей рабочих жидкостей. После ремонта в эксплуатацию должен выпускаться только тот двигатель, который соответствует всем необходимым требованиям, в том числе и по безопасности его работы.



1 - пульт управления; 2 - рама нагрузочно - приводной станции; 3 - приводной электродвигатель; 4 - защитный кожух привода; 5 - механизм управления подачей топлива; 6 - винтовая опора; 7 - электропневматический блок; 8 - автономная система охлаждения; 9 - жаропрочные рукава для удаления выхлопных газов

Рис. 153 Стенд КС-276 производства фирмы «Копис» (г. Санкт - Петербург) для обкатки двигателя

### ***Контрольные вопросы***

1. Целью ремонта двигателя является:
  - а) Замена неисправных деталей;
  - б) Восстановление характеристик и параметров двигателя до первоначального уровня (правильно);**
  - в) Доведение двигателя до рабочего состояния.
2. Не существует следующего вида ремонта:
  - а) Текущего;
  - б) Среднего;
  - в) Временного (правильно).**
3. Разборку двигателя при капитальном ремонте начинают с:
  - а) Снятия двигателя с автомобиля;
  - б) Снятия навесных агрегатов (правильно);**

в) С мойки двигателя.

4. Неуравешенность вала может быть:

а) Только статической;

б) Только динамической;

**в) И статической и динамической (правильно).**

5. Правка вала:

а) Нежелательна для всех валов;

**б) Нежелательна для чугунных валов (правильно);**

в) Нежелательна для коленчатых валов.

6. Чем необходимо руководствоваться при оценке целесообразности ремонта двигателя:

а) Степенью его износа;

б) Развиваемой мощностью;

**в) Выгодой от использования двигателя после ремонта (правильно).**

7. Для ремонта седел клапанов используется:

**а) Фрезерование (расточивание), шлифование и притирка (правильно);**

б) Наварка и притирка;

в) Наварка и шлифование.

8. Сборку двигателя после ремонта необходимо производить:

а) В последовательности, обратной использованной при разборке;

б) Сначала для крупных узлов, затем объединяя их в единое целое;

**в) В последовательности, указанной заводом-изготовителем (правильно).**

9. Мощность двигателя после ремонта может быть измерена:

- а) Прямым способом;
- б) Косвенным способом;
- в) Как прямым, так и косвенным способом (правильно).**

10. Обкатка двигателя необходима:

- а) Для восстановления работоспособности;
- б) Повышения износостойкости систем двигателя;
- в) Для обеспечения долговечной работы двигателя (правильно).**

## **ЛЕКЦИЯ 15 ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ АВИАЦИОННЫХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

### ***15.1 Общее устройство и работа основных систем авиационных поршневых двигателей***

При всей схожести основных принципов работы, авиационные ДВС имеют как много общего, так и ряд существенных отличий по своей конструкции от автомобильных двигателей.

По расположению цилиндров существует большое количество разновидностей авиационных двигателей, которые могли выполняться рядными, V-образными, звездообразными и т.д. (см.рис.154).

подавляющее большинство авиационных двигателей рядной схемы имело жидкостное охлаждение, так как воздушное охлаждение цилиндров, стоящих в ряд один за другим, затруднительно. При этом рядные двигатели небольшой мощности иногда выполнялись с воздушным охлаждением.

В свою очередь двигатели с звездообразным расположением цилиндров в основном имели воздушное охлаждение, так как при такой схеме все цилиндры хорошо охлаждаются набегающим на них потоком воздуха. Звездообразные двигатели могли выполняться с тремя, пятью, семью и девятью цилиндрами в одной плоскости. Более девяти цилиндров в одной

плоскости расположить практически невозможно, поэтому для увеличения мощности прибегали к сдваиванию звезд (например, двигатель АШ-82). Многорядные звездообразные двигатели, являются одновременно и звездообразными, и рядными, так как в них звезды расположены одна за другой.

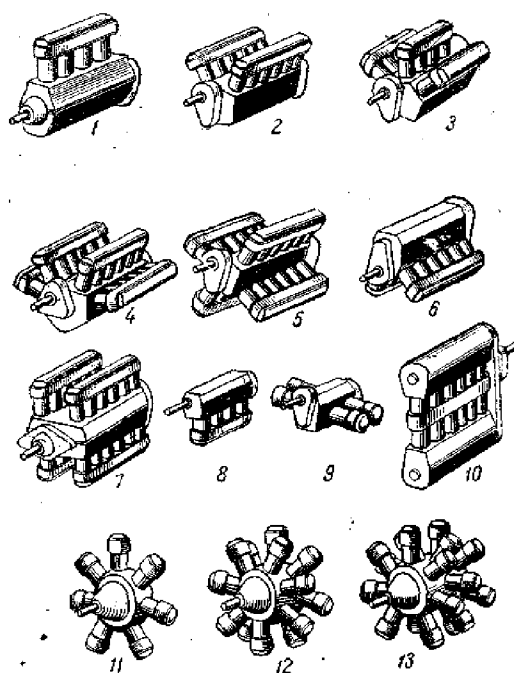
### ***15.2 Кривошипно-шатунный механизм авиационных ДВС***

В первых авиационных двигателях жидкостного охлаждения использовался одиночный цилиндр - стальной стакан, к которому была приварена стальная рубашка. Между рубашкой и наружной поверхностью стакана проходила охлаждающая жидкость, которая подводилась к нижней части цилиндра; нагреваясь, поднималась кверху и отводилась в радиатор из верхней части цилиндра.

Крепление цилиндра к картеру осуществлялось шпильками. В эксплуатации такая конструкция была удобна тем, что при повреждении одного цилиндра его было легко заменить. Однако жесткость одиночного цилиндра была недостаточна, а длина двигателя с такими цилиндрами довольно велика. Поэтому от двигателей с одиночными цилиндрами перешли к так называемым блочным системам, в которых охлаждающие рубашки были объединены в общий, отлитый из алюминиевого сплава блок. При такой конструкции расстояния между осями цилиндров меньше, чем в двигателях с отдельными цилиндрами, и двигатель получается короче и легче при более простой сборке.

Позднее блок головок и блок рубашек на некоторых двигателях были объединены в единое целое, что позволило дополнительно снизить вес двигателя.

Существовала и так называемая смешанная конструкция цилиндров, в которой головки отлиты в общий алюминиевый блок, а стальные рубашки приварены к отдельным гильзам.



1 - рядный четырехцилиндровый двигатель; 2 – 12-ти цилиндровый двухрядный V-образный двигатель; 3 – 12-ти цилиндровый трехрядный W-образный двигатель с четырехколенным валом; 4 - 24-х цилиндровый, сдвоенный из двух V-образных, четырехрядный двигатель с двумя шестиколёнными валами, связанными шестерёнчатой передачей; 5 – 24-цилиндровый X-образный четырехрядный двигатель, коленчатый вал шестиколённый; 6 – перевернутый 12-цилиндровый двухрядный V-образный двигатель; 7 – 24-цилиндровый (вертикальный или горизонтальный) H-образный двигатель, два шестиколённых вала работают на общий редуктор; 8 – однорядный четырехцилиндровый двигатель перевернутого типа; 9 – четырехцилиндровый двухрядный двигатель с горизонтальным расположением цилиндров (плоский мотор), вал двухколенный; 10 – шестицилиндровый двигатель с противоположно движущимися в каждом цилиндре поршнями, работающими на два шестиколённых вала, которые передают мощность через шестеренчатую передачу на выходной вал двигателя; 11 – однорядный звездообразный 7-цилиндровый двигатель, одноколенный вал; 12 – двухрядный звездообразный 14-цилиндровый двигатель, двухколенный вал; 13 – трехрядный звездообразный 21-цилиндровый двигатель, трехколенный вал.

Рис. 154. Основные конструктивные схемы авиационных двигателей по расположению цилиндров

Цилиндр авиационного двигателя воздушного охлаждения состоял из отлитой из алюминиевого сплава головки и стальной азотированной гильзы, соединяемых специальной резьбой. На головке и гильзе имеются ребра для

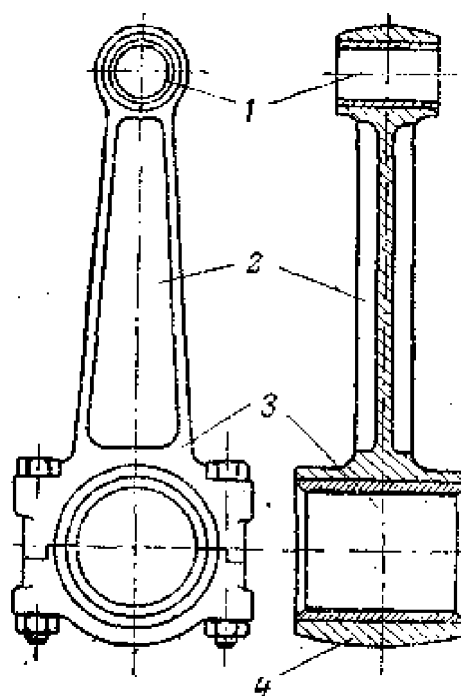
охлаждения. За одно целое с головкой отлиты клапанные коробки, в которых помещаются рычаги и пружины клапанов.

Поршни авиационных двигателей, раньше чем автомобильные, стали отливать или штамповать из легких алюминиевых сплавов, имеющих высокую теплопроводность, что способствовало снижению рабочих температур поршня и инерционных сил, возникающие при движении поршней, а следовательно и нагрузок на подшипники.

В авиационных двигателях, как и в автомобильных, на поршень устанавливаются поршневые кольца, которые имели косой или ступенчатый замок. Поршень соединяется с шатуном стальным поршневым пальцем, которые в авиационных двигателях в основном были «плавающими» (аналогичными по принципу работы пальцам двигателей ВАЗ-2111 и ВАЗ-2112). Чтобы пальцы не могли сдвинуться к одной стороне и коснуться стенки цилиндра, их фиксировали с обоих концов пружинными кольцами или алюминиевыми заглушками. Наружную поверхность поршневых пальцев цементировали для придания ей большей твердости с целью уменьшения износа.

Шатуны авиационных двигателей изготавливают из высокосортной стали, как и шатуны автомобильных двигателей, они имеют в сечении двутавровую форму, способствующую лучшему восприятию сжимающих усилий.

Простейшие шатуны имеют однорядные двигатели (рис.155)



1 - малая головка шатуна; 2 - стержень; 3 - большая головка шатуна; 4 - крышка большой головки шатуна

Рис. 155 Шатун однорядного двигателя

У двухрядных V-образных двигателей на одну шейку вала работают два цилиндра и, следовательно, к ней должны быть присоединены два шатуна рис. 156.

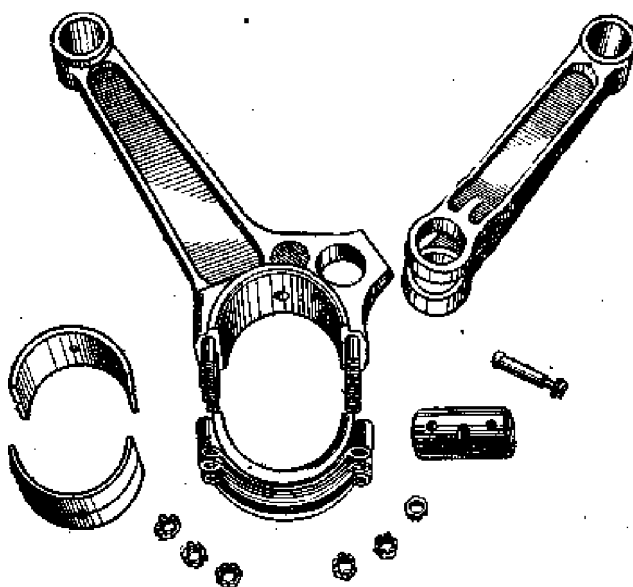


Рис. 156 Шатун двухрядного V-образного двигателя.

У звездообразных двигателей своя конструкция шатунов. На рис. 157 показан шатун двигателя АШ-82. Кривошипная головка этого шатуна



неразъемная и несет на себе шесть проушин для крепления шести прицепных шатунов. Для таких шатунов приходится делать разъемным коленчатый вал.

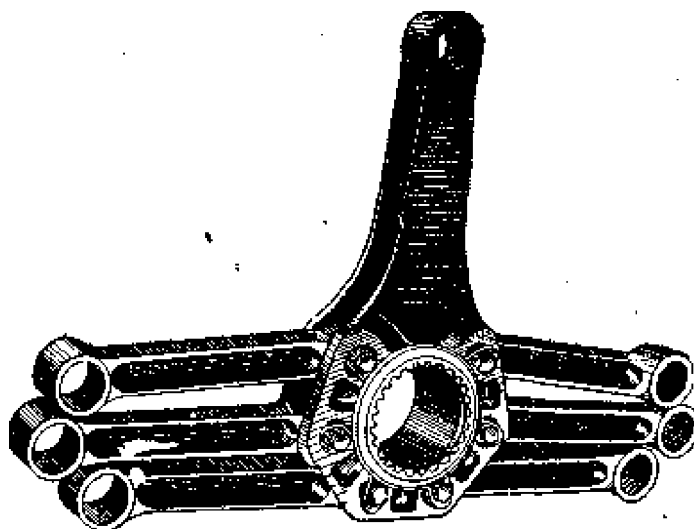
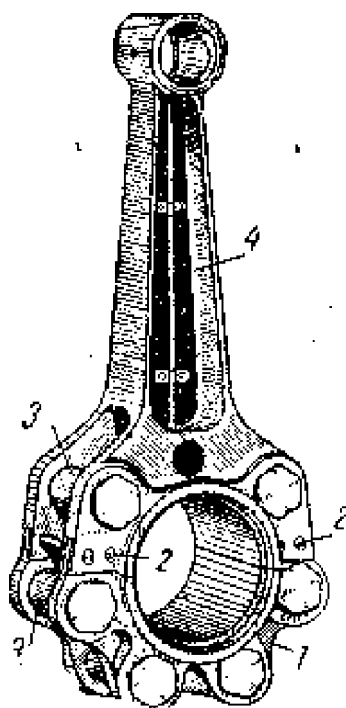


Рис. 157 Шатун звездообразного двигателя АШ-82. Главный шатун собран с прицепными шатунами.

Иногда в звездообразных двигателях ставят шатуны с разъемной головкой (рис. 158), что позволяет делать коленчатый вал неразъемным.

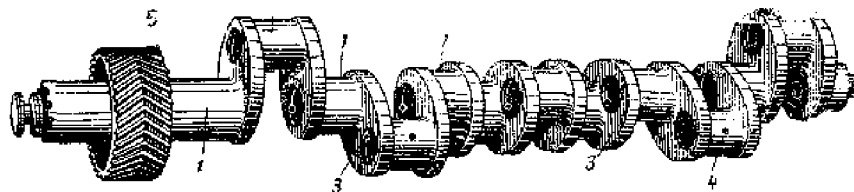


1 - отъемная крышка шатуна; 2 - штифты крепления крышки; 3 - пальцы прицепных шатунов; 4 - трубка для подвода масла к малой головке шатуна

Рис. 158 Разъемный шатун звездообразного двигателя

Коленчатый вал является одной из ответственных и наиболее

напряженных деталей как авиационного, так и автомобильного двигателя. На рис. 6 показан коленчатый вал двухрядного V-образного 12 - цилиндрового авиационного двигателя. Шесть шатунных шеек расположены попарно под углом 120°.



1 – коренные шейки; 2 – шатунные (мотылевые) шейки; 3 – щеки; 4 – отверстие для прохода масла; 5 – ведущая шестерня редуктора

Рис. 159 Коленчатый вал двухрядного V-образного двигателя:

Передний конец вала у безредукторных двигателей имеет шлицы, на которые насаживается втулка воздушного винта. В редукторных моторах на переднем конце вала находится ведущая шестерня редуктора (см. рис. 159). Осевые усилия (тяга винта) воспринимаются упорным подшипником. На задний конец вала обычно насаживается коническая шестерня для передачи вращения к распределительным валикам и для привода вспомогательных агрегатов – водяной и масляной помп, магнето, генератора тока, синхронизатора к пулеметам и пушкам и др.

Коренные и шатунные подшипники рядных авиационных двигателях в основном являются подшипниками скольжения, т.к. подшипники качения (шариковые или роликовые), значительно усложняют сборку.

Коленчатые валы однорядных звездообразных двигателей в большинстве случаев делают разъемными, для того чтобы можно было сделать неразъемной коренную головку шатуна. Такие валы имеют обычно две (иногда три) коренные шейки, лежащие на роликовых подшипниках.

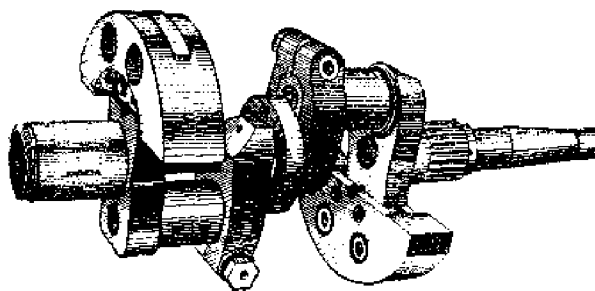
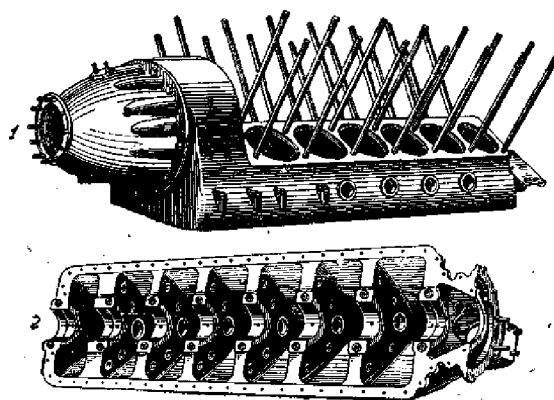


Рис. 160 Двухколенный коленчатый вал двухрядного звездообразного двигателя

В двухрядных звездах коленчатый вал имеет две шатунные шейки. На рис. 160 показан вал двигателя АШ-82 с коленами, расположенными под углом  $180^\circ$ . Этот вал состоит из трех частей, соединяемых двумя стяжными болтами, зажимающими шатунные шейки в проушинах щек средней части вала.

Картеры авиационных двигателей льют или штампуют из алюминиевого или магниевых сплава. Форма картера зависит от типа двигателя, от числа цилиндров и от их расположения. На рис. 8 показан отлитый из алюминиевого сплава картер авиационного двигателя АМ-38. Он состоит из двух соединенных на шпильках половин, причем плоскость разъема проходит по оси коленчатого вала. В верхней половине впереди имеется коробка (капюшон) редуктора, к которому крепится носок редуктора. На точно обработанные под углом  $120^\circ$  плоскости на верхней поверхности картера устанавливаются блоки цилиндров, которые крепятся длинными шпильками. Коленчатый вал лежит на восьми опорах, представляющих собой солидные перегородки.

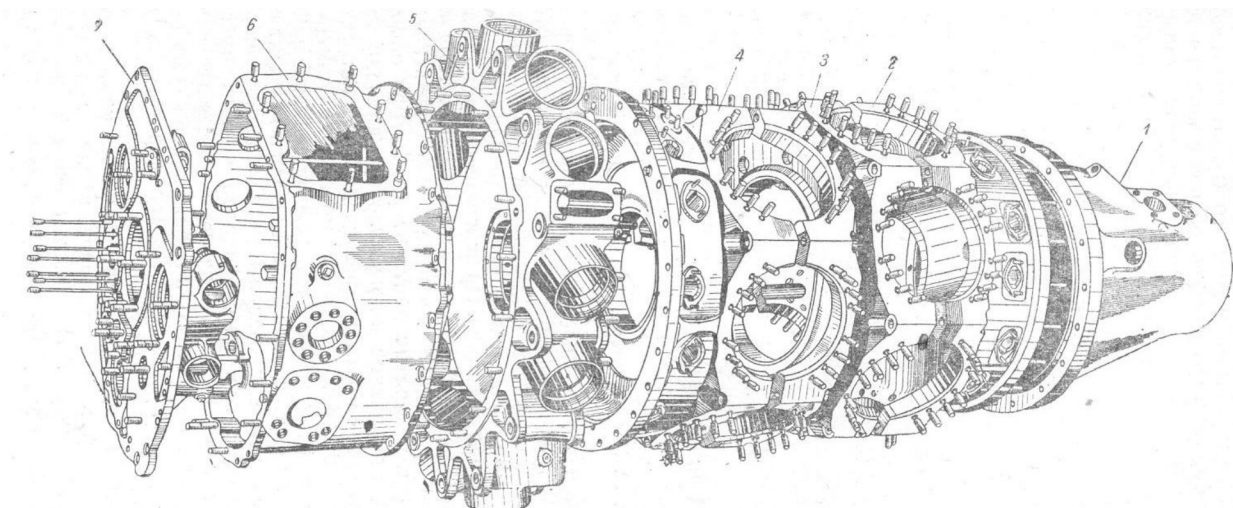
Вдоль нижней половины картера, близко к ее дну, проходит трубка, по которой подается масло от масляной помпы в переднюю часть картера, где оно через ряд отверстий проходит в коробку агрегатов. Отсюда масло поступает в коленчатый вал и смазывает вкладыши подшипников. К задней части картера крепится ряд агрегатов: нагнетатель, магнето, масляные и бензиновые помпы и т. д.



1 – верхняя половина; 2 – нижняя половина

Рис. 161 Картер двигателя АМ-38:

Картеры двигателей воздушного охлаждения имеют совершенно иную форму. Так, картер двигателя АШ-82 (рис. 9) состоит из пяти частей, расположенных друг за другом. Носок картера отлит из магниевого сплава. В носке установлен упорно-опорный шарикоподшипник, воспринимающий осевую нагрузку и неподвижная шестерня редуктора. Снаружи к носку крепятся компрессор, распределитель воздуха для запуска мотора и регулятор винта. Носок крепится шпильками к отлитому из алюминиевого сплава среднему картеру, состоящему из трех частей, стягиваемых болтами. Средний картер несет на себе два ряда цилиндров и служит опорой для коренных роликовых подшипников коленчатого вала. Разъемы среднего картера проходят по плоскостям осей цилиндров. Цилиндры устанавливаются на 14 точно обработанных фланцах, расположенных в шахматном порядке. В середине вертикальных стенок передней, средней и задней частей среднего картера расточены отверстия, в которые запрессованы стальные цементированные обоймы под коренные подшипники коленчатого вала. Состоящий из двух частей корпус нагнетателя крепится своей передней частью к задней части среднего картера. Передняя часть корпуса нагнетателя является распределительной камерой нагнетаемого воздуха, а в задней части корпуса нагнетателя - расположена крыльчатка. К задней части корпуса нагнетателя на шпильках крепится литая задняя крышка картера.



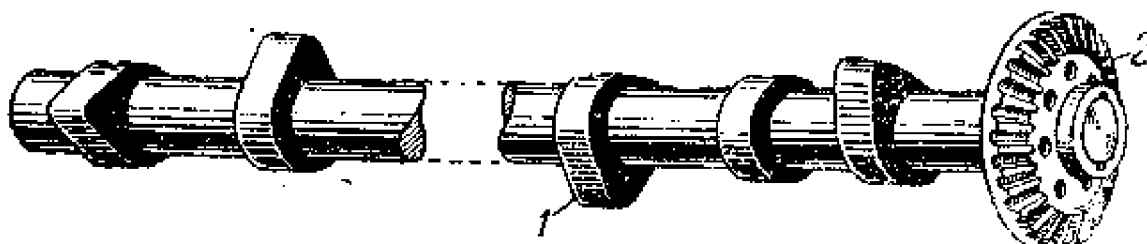
1 – носок, 2 – передняя часть главного картера, 3 – средняя часть главного картера, 4 – задняя часть главного картера, 5 – передняя половина корпуса нагнетателя, 6 – задняя половина корпуса нагнетателя, 7 – задняя крышка

Рис. 162 Картер двигателя воздушного охлаждения АШ-82

На ней установлены два магнето, электрогенератор, масляная помпа и другие агрегаты. Передняя часть корпуса нагнетателя имеет отлитые заодно с корпусом лапы, которыми двигатель крепится к подmotorной раме самолета.

### ***15.3 Газораспределительный механизм***

Как и в автомобильных двигателях, в авиационных в большинстве случаев используется клапанный механизм. Для управления клапанами в рядных двигателях используется распределительный вал (рис. 10).



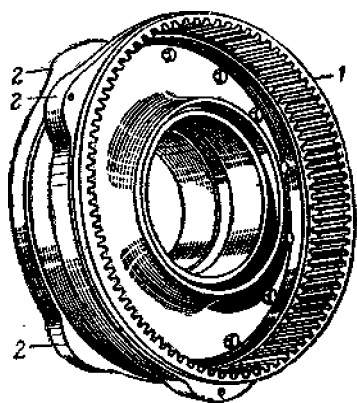
1 – носок, 2 – передняя часть главного картера, 3 – средняя часть главного картера, 4 – задняя часть главного картера, 5 – передняя половина корпуса нагнетателя, 6 – задняя половина корпуса нагнетателя, 7 – задняя крышка

Рис. 163 Кулачковый (распределительный) валик

Система газораспределения в звездообразных моторах иная. Соосно с коленчатым валом двигателя вращается приводимая через систему

шестеренчатых передач кулачковая или распределительная шайба (см. рис.11), представляющая собой диск с несколькими кулачками. В картере мотора вокруг нее расположены оканчивающиеся роликами толкатели. При набегании кулачка распределительной шайбы на ролик толкателя он приподнимается, скользя в направляющей втулке, и передает движение тяге, которая воздействует на коромысло, нажимающее на шток клапана. В двухрядных звездах иногда для каждого ряда цилиндров устанавливают отдельную распределительную шайбу, располагая их по обе стороны коленчатого вала, а иногда - одну шайбу с двумя рядами кулачков (рис.12).

С целью улучшения условий наполнения цилиндра свежей топливоздушнoй смесью, и очистки его от продуктов сгорания число клапанов у двигателей может быть различным. У большинства двигателей на каждом цилиндре имеются один впускной и один выпускной клапаны, но существуют двигатели с двумя, тремя впускными и с одним, двумя или тремя выпускными клапанами.



1 – шестерня внутреннего зацепления для привода шайбы; 2– кулачки

Рис. 164 Кулачковая шайба

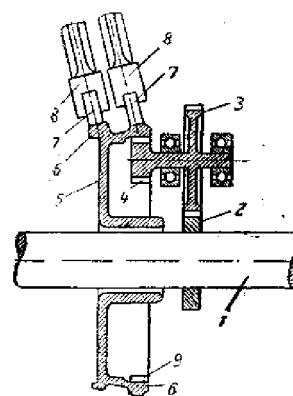
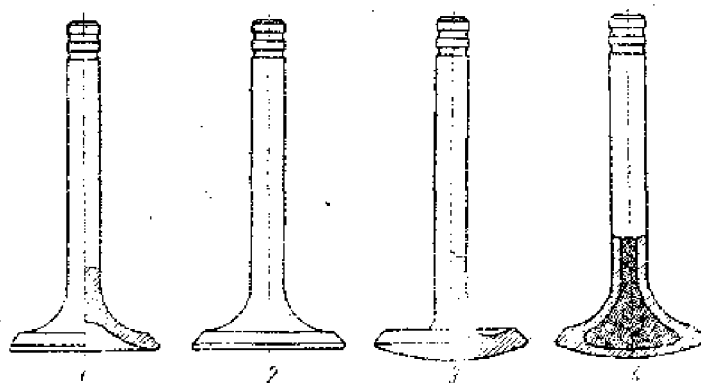


Рис. 165 Двойная кулачковая шайба двухрядного звездообразного двигателя

На рис. 164 показаны формы клапанов, которые применяют в авиационных поршневых двигателях. Условия работы выхлопных клапанов

в двигателях очень тяжёлые. Клапаны за каждый цикл омываются раскаленными выхлопными газами, поэтому температура их головки и нижней части штока может достигать 600...700°C. При этом механическая прочность обычных сталей, сильно снижается. Поэтому для выпускных клапанов приходится применять специальные жаростойкие стали, сохраняющие прочность и хорошо сопротивляющиеся коррозии при высокой температуре.



1 – тюльпанный клапан; 2 – клапан с плоской головкой; 3 – клапан с выпуклой головкой;  
4 – клапан с полостью, заполненной охлаждающим веществом

Рис. 166 Схемы различных типов клапанов

С целью улучшения охлаждения выпускных клапанов их часто делают пустотелыми и заполняют внутреннюю полость до половины металлическим натрием, обладающим низкой температурой плавления и высокой теплопроводностью. При работе двигателя натрий, заключенный в клапане, расплавляется и частично переходит в парообразное состояние. В результате непрерывных движений клапана жидкий натрий взбалтывается, сильно нагретые частицы его перемещаются из горячей головки клапана в более холодный шток и температура клапана выравнивается.

#### ***15.4 Системы охлаждения авиационных поршневых двигателей***

Система охлаждения двигателя на самолете напрямую обеспечивает надежность работы двигателя и безопасность полета. При минимальном лобовом сопротивлении она должна отвести от двигателя количество тепла

эквивалентное более половины (до 60%) его мощности. У двигателей с воздушным охлаждением, как и у автомобильных, имеются ребра охлаждения на цилиндре для увеличения площади отвода тепла, и дефлекторы, назначение которых – распределить по нужным направлениям встречный поток воздуха, с тем, чтобы обеспечить равномерное охлаждение всех цилиндров. На рис. 167 показана схема расположения дефлекторов на рядном двигателе воздушного охлаждения.

У авиационных двигателей воздушного охлаждения дополнительно к системе охлаждения относятся капоты. Назначение капота – придать обтекаемость моторной установке и обеспечить наилучшие условия охлаждения цилиндров двигателя встречным потоком воздуха. Разница между температурами воздуха, входящего в капот и выходящего из него, составляет от 40 до 75°.

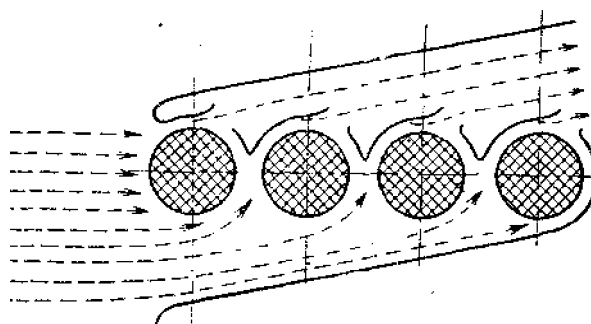


Рис. 167 Схема расположения дефлекторов у рядного двигателя с воздушным охлаждением

На рис. 168 показан капот авиационного двигателя воздушного охлаждения, состоящий из наружного и внутреннего капотов. Регулирование количества протекающего через капот воздуха, а, следовательно, и интенсивности охлаждения двигателя, производят изменением размеров выходной щели напора по всему кольцевому сечению. Для такой регулировки имеются заслонки (юбка), расположенные по периметру выходной кольцевой щели. На режимах работы двигателя, наиболее тяжелых с точки зрения охлаждения, когда он должен развивать большую мощность в то время, когда скорость полета невелика (например, на взлете и



при наборе высоты), заслонки должны быть полностью открыты. При этом, несмотря на небольшую скорость самолета, через капот будет проходить достаточное количество воздуха. По мере увеличения скорости полета заслонки прикрывают.

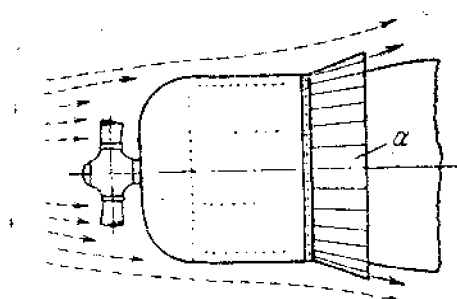


Рис.168 Капот с открытыми заслонками (а)

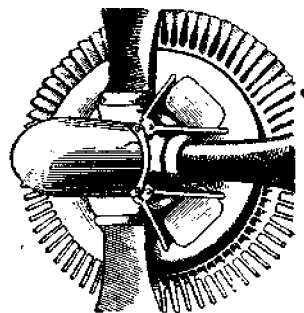


Рис.169 Вентилятор для принудительного охлаждения двигателя

На некоторых двигателях воздушного охлаждения для его интенсификации на валу воздушного винта устанавливают осевой многолопастный вентилятор (рис. 169). Авиационные двигатели воздушного охлаждения для оптимизации температурного режима также могут иметь жалюзи.

Системы жидкостного охлаждения авиационных двигателей, как и автомобильные, могут быть открытыми или закрытыми.

В качестве охлаждающей жидкости на ранних этапах развития авиации применяли воду. Позднее, как впоследствии и на автомобильных двигателях, были разработаны иные жидкости, в частности, этиленгликоль.

Важнейшим элементом систем жидкостного охлаждения авиационных двигателей, как и автомобильных, является радиатор. Раньше в авиационных двигателях применялись преимущественно лобовые радиаторы, устанавливаемые перед двигателем сразу же за воздушным винтом (рис. 170). Но лобовое сопротивление таких радиаторов очень велико и поэтому их стали заменять выдвижными радиаторами. При повышении скорости полета их можно было втянуть в фюзеляж и оставить в потоке лишь часть, которой

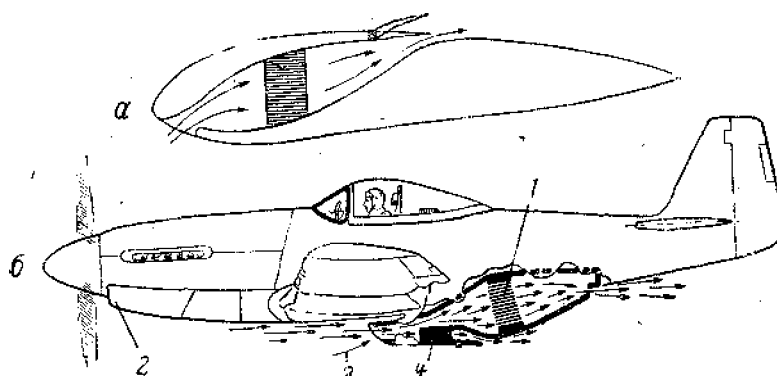
хватало для охлаждения из-за увеличившейся скорости встречного воздуха.

Для дальнейшего снижения сопротивления перешли на туннельные радиаторы, т. е. радиаторы, заключенные в туннель, образованный особыми кожухами в фюзеляже или крыле самолета. На рис. 171 показаны схемы, двух типов туннельных радиаторов: крыльевого *а* и фюзеляжного *б*.



Рис. 170 Самолет-разведчик Р-1 с «лобовым» радиатором

Встречный поток воздуха поступает в расширяющуюся часть туннеля, где скорость его несколько снижается, омывает соты радиатора, расположенные в самом широком месте туннеля, проходит в сужающуюся часть туннеля, где скорость его снова повышается, и через выходное отверстие выходит в атмосферу. Количество воздуха, проходящего через туннель, регулируется заслонками, установленными в концевой части туннеля.



*а* — крыльевого; *б* — фюзеляжного.

1 — радиатор; 2 — заборный патрубок карбюратора; 3 — вход воздуха в радиатор;  
4 — дополнительный радиатор для охлаждения масла

Рис. 171 Схемы туннельных радиаторов

С целью разгрузки летчика от наблюдения за системой охлаждения и необходимости открывать или закрывать заслонки туннеля на многих самолетах с поршневыми двигателями имеются автоматические устройства термостатного типа.

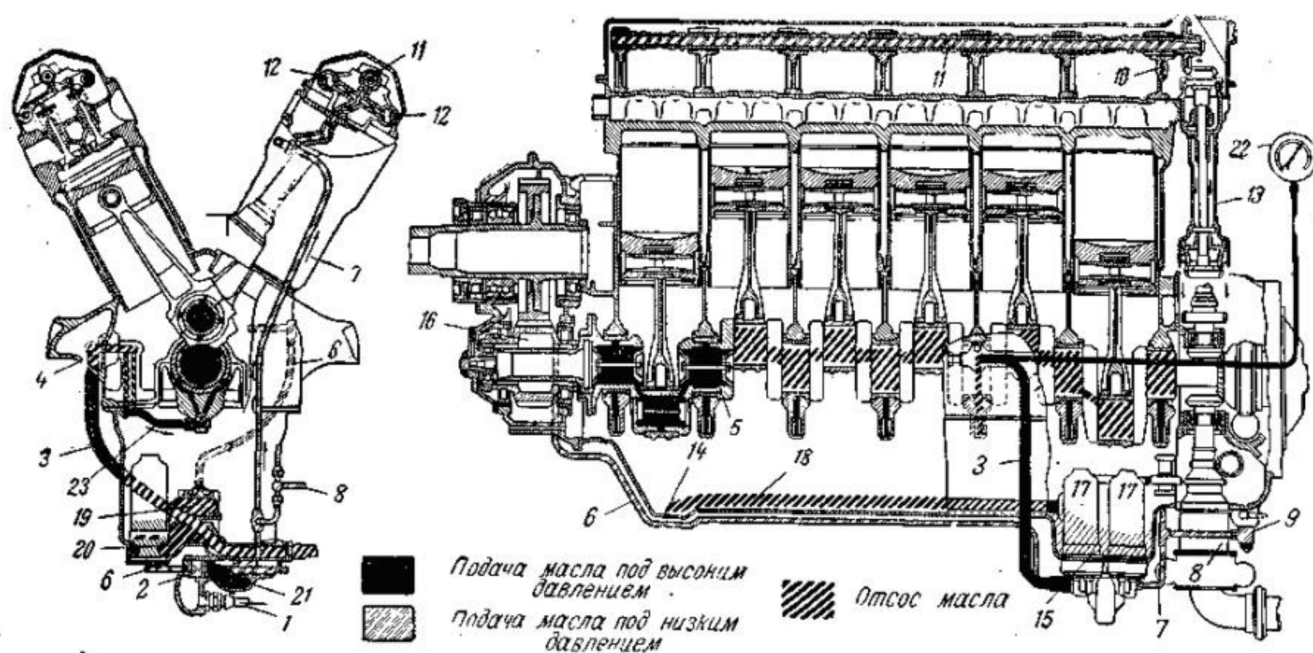
### ***15.5 Система смазки авиационных поршневых двигателей***

Принцип работы системы смазки авиационного двигателя в целом аналогичен работе подобной системы автомобильного двигателя, но имеет некоторые особенности (рис. 19). Смазка не только снижает силы трения, но и охлаждает смазываемые детали. Потребность в охлаждении деталей авиационного двигателя из-за его высокой теплонапряженности очень велика. Воздух и охлаждающая жидкость снижают главным образом температуру стенки цилиндра и камеры сгорания, а охлаждения коленчатого вала, подшипников, распределительного валика и других деталей не происходит из-за рода их работы и расположения. Поэтому в системах смазки авиационных двигателей масло подводится к большому количеству деталей и часто под давлением, а для охлаждения циркулирующего в системе смазки масла обычно используют масляный радиатор.

Смазывающее и охлаждающее двигатель масло выполняет еще одну важную функцию. Оно смывает и уносит с собой металлическую пыль, появляющуюся в результате длительной работы деталей. Так как отработавшее в двигателе масло засорено этой пылью, то в систему смазки вводят фильтры и маслоотстойники, в которых масло очищается от механических примесей.

В современных авиационных двигателях применяется исключительно циркуляционная смазка под давлением (принудительная смазка). Схематически эта система представлена на рис. 19. Масляный насос подает масло из бака по центральной магистрали к трубкам, которые подводят масло к трущимся поверхностям двигателя. Смазав детали, масло стекает в нижнюю часть картера и собирается в маслоотстойнике, откуда по обратной

магистрали откачивается вторым (откачивающим) масляным насосом через фильтр в масляный радиатор, где охлаждается встречным потоком воздуха. Из радиатора охлажденное масло подается обратно в бак, где отстаивается и откуда поступает снова в нагнетательный масляный насос.



1 — подвод масла из бака; 2 — нагнетательный масляный насос; 3 — подвод масла в масляную магистраль высокого давления; 4 — нагнетательная магистраль; 5 — масляные полости коленвала; 6 — маслопровод низкого давления для смазки редуктора; 7 — маслопровод низкого давления к головкам; 8 — маслопровод для смазки бензонасоса; 9 — подвод смазки к бензонасосу; 10 — смазка кулачков распредвала; 11 — масляная полость распредвала; 12 — смазка осей клапанных коромысел; 13 — слив масла из головки в картер; 14 — передний маслоотстойник; 15 — задний маслоотстойник; 16 — редуктор; 17 — фильтры; 18 — отсасывающий маслопровод; 19-20 — отсасывающие масляные насосы; 21 — редукционный клапан масляной системы; 22 — манометр, показывающий давление масла в нагнетательной магистрали; 23 — подвод масла в коренные подшипники

Рис. 172 Схема смазки авиационного двигателя жидкостного охлаждения:

Для нагнетания масла из бака в мотор и для отсасывания масла из картера применяются шестеренчатые насосы. Обычно в авиационных двигателях такие насосы спаривают, помещая их в общем корпусе, разделенном перегородкой. Верхний насос нагнетает масло в мотор, а нижний отсасывает

масло из маслоотстойника. Масло подается по масляной магистрали под давлением от 0,3 до 0,6 МПа и поступает обычно в первую очередь к коренным подшипникам, а оттуда через отверстия и внутренние полости коленчатого вала – к шатунным подшипникам. Цилиндры и поршни смазываются маслом, вытекающим из шатунных и коренных подшипников (смазка разбрызгиванием). Специальный маслопровод подводит под давлением 0,05...0,1 МПа масло внутрь распределительного вала, откуда оно проходит к подшипникам этого вала и к механизмам привода клапанов.

Нужное давление в системе подачи смазки поддерживает редукционный клапан, представляющий собой шариковый или плоский клапан, прижимаемый к седлу пружиной. При превышении установленного давления такой клапан преодолевает сопротивление пружины и перепускает масло в картер или непосредственно во всасывающую ступень масляной помпы.

К масляной магистрали присоединены приемники манометра и термометра, показывающие пилоту давление и температуру масла. Для надежной смазки и достаточного охлаждения подшипников прокачка масла в авиационном двигателе должна достигать весьма высоких значений. У рядных двигателей она составляет 3...6 л/(л.с.∘ч), а у звездообразных – 2...4 л/(л.с.∘ч).

### ***15.6 Системы питания авиационных поршневых двигателей***

Запас топлива на самолете содержится в топливных баках, откуда топливо подается по трубопроводам через фильтры и отстойники к двигателям. На современных самолетах, как и на автомобилях применяется подача топлива к двигателям под давлением, т. е. при помощи топливных насосов. В авиационных поршневых ДВС применяют карбюраторные и впрысковые системы питания, аналогичные автомобильным.

На рис. 20 показана примерная простейшая карбюраторная система питания авиационного поршневого двигателя. Топливный бак 1 соединен с атмосферой дренажной трубкой 5, для того чтобы давление в баке равнялось

атмосферному. При отсутствии дренажа бак был бы герметичен, и горючее из него не поступало бы в систему. Электрический бензиномер 12 поплавкового типа указывает запас топлива в баке. Топливо заливается в бак через заливочную горловину 13. Кран 9 предназначен для периодического сливания из отстойника отстоявшейся воды, образовавшейся в результате конденсации пара, содержащегося в атмосферном воздухе. Через кран 10 топливо по трубопроводу отсасывается помпой 3 и по пути проходит через фильтр-отстойник 2. Из помпы 3 топливо через пожарный кран 4 поступает в карбюратор 7 под нужным давлением, которое показывает манометр 11. На случай повреждения механической топливной помпы (весьма редкое явление) в системе предусмотрена ручная помпа 6 в сочетании с обратным клапаном 14. Этот клапан при работе механической помпы 3 пропускает топливо по направлению к помпе 3 от фильтра-отстойника 2, но не пропускает его к фильтру-отстойнику при работе ручной помпы 6. Через кран 8 сливают отстой из фильтра-отстойника. Краны 8 и 9 могут быть открыты только на земле. Краны же пожарный 4 и перекрывной 10 управляются из кабины летчика. Пожарный кран 4 является аварийным и предназначен для отключения карбюратора от бензосистемы при вспышке топлива в карбюраторе (вызванной сильным обеднением смеси при запуске двигателя), а также при пожаре в моторном отсеке.

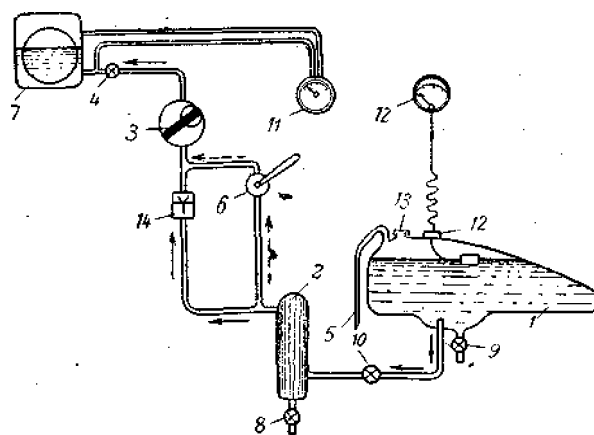
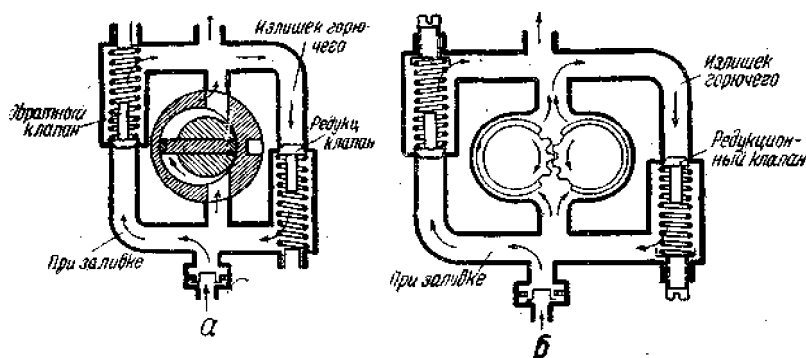


Рис. 173 Простейшая схема бензиновой системы самолета

Это лишь простейшая принципиальная схема. Реальные схемы

бензопитания намного сложнее и включают ряд дополнительных элементов, например, систему заполнения топливных баков нейтральным газом, детали аварийного слива топлива, детали для подачи топлива в цилиндры при запуске двигателя, детали для разжижения масла бензином и т. д.

Заполнение свободного объема в топливных баках нейтральным газом применяется на военных самолетах с целью предотвратить при пробивании бака пулями вспышку паров топлива, заполняющих в смеси с воздухом этот объем.



а – коловратной; б – шестеренчатой

Рис. 174 Схемы бензиновых насосов.

Назначение аварийного слива топлива – либо предотвратить гибель самолета при возгорании топлива в баке, либо (на многомоторных самолетах) облегчить самолет при повреждении одного или нескольких моторов из числа установленных на самолете.

Для подачи топлива из баков в карбюраторы применяются преимущественно коловратные помпы. Работа этой помпы понятна из схемы, приведенной на рис 21, а. Помпа снабжена редукционным клапаном, отрегулированным на давление 0,025...0,030 МПа. При избыточной подаче топливо через редукционный клапан возвращается обратно в помпу по внутренним каналам. Иногда применяются шестеренчатые насосы (рис.21, б). Коловратные помпы обеспечивают достаточный напор, просты в эксплуатации и ремонте, поэтому они чаще применяются в системах подачи топлива авиационных ДВС.

По организации подготовки топливозвоздушной смеси системы питания авиационных двигателей, как и автомобильные, подразделяются на два крупных класса: карбюраторные и с впрыском топлива.

Всасывающие карбюраторы авиационных двигателей в целом аналогичны автомобильным, но имеют еще одно дополнительное устройство, предотвращающее обогащение смеси, происходящее из-за снижения

атмосферного давления по мере подъема на высоту. Это устройство – высотный корректор – может управляться летчиком от руки или автоматически. Принцип работы высотного корректора может быть следующим. Плунжер, приводимый в движение рычагами, уменьшает проходное сечение отверстия, ведущего к главному жиклеру, и этим предотвращается излишнее обогащение смеси. Чтобы корректор работал автоматически, он снабжен герметичной anerоидной коробкой, стенки которой при изменении наружного давления прогибаются и приводят в движение рычаги.

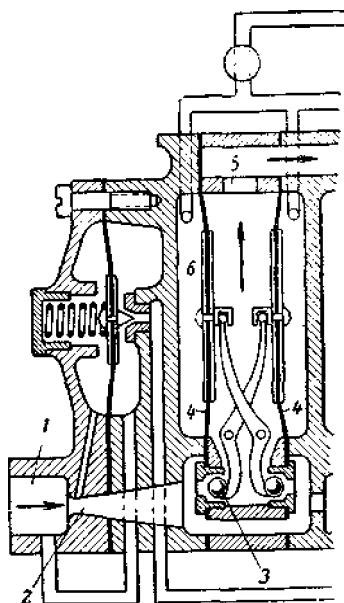


Рис. 175 Безпоплавковый карбюратор 1

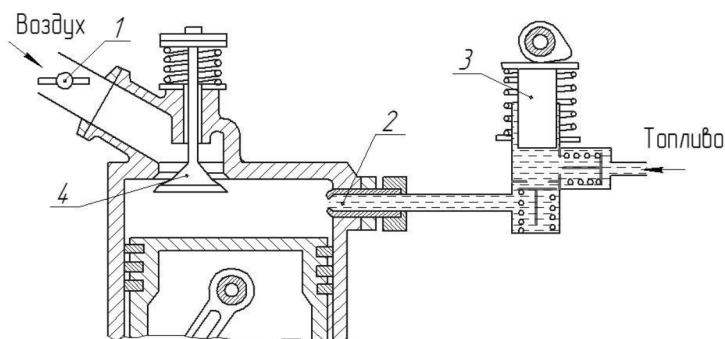
В авиации также широко использовались безпоплавковые (впрыскивающие) карбюраторы, предоставляющие самолету свободу совершать все фигуры пилотажа. Постоянство подачи топлива в безпоплавковых карбюраторах обеспечивают упругие диафрагмы, связанные с шариковыми запорными клапанами.

На рис. 175 показана часть безпоплавкового карбюратора. Топливо, поступающее под некоторым давлением из топливного насоса через штуцер 1 и насадок 2, проходит через шариковые клапаны 3, заполняет полость между двумя гибкими диафрагмами 4 и поступает через канал 5 в карбюратор. Если давление подаваемого насосом топлива слишком велико,



то диафрагмы раздаются и шариковые клапаны прекращают доступ топлива. Когда давление топлива в результате высасывания его двигателем упадет, то диафрагмы под действием атмосферного давления в полостях 6 сблизятся и снова откроют клапаны 3.

На мощных авиационных поршневых двигателях еще в 40-е годы XX века отказались от применения карбюраторов и заменили их системами непосредственного впрыска (см. рис. 176). Это было сделано с целью получить более равномерное распределение топлива по цилиндрам и более точную его дозировку.



1- дроссельная заслонка; 2- форсунка; 3- насос; 4- впускной клапан

Рис. 176 Схема непосредственного впрыска топлива в авиационном двигателе.

Топливо впрыскивается насосом под давлением 15,0...30,0 МПа в такте наполнения. В систему питания двигателей с непосредственным впрыском входят: насос, регулятор смеси, воздухоотделитель, форсунки и топливопроводы. На рис. 24 показана примерная схема подачи топлива в авиационном двигателе с непосредственным впрыском. Из бака 1 топливо через пожарный кран поступает к фильтру 2 и далее проходит к подкачивающей помпе 3. Помпа 3 подает топливо под давлением до 0,2 МПа к воздухоотделителю 6. Через редукционный насос 5 отделенный от топлива воздух возвращается в бак 1 по трубопроводу 8 вместе с избыточной частью топлива. Освобожденное от воздуха топливо подводится к отдельным секциям впрыскивающего насоса 7 и затем под высоким давлением и в точно отмеренных количествах впрыскивается через форсунки в цилиндры

двигателя. Впрыскивающий насос подает в цилиндры не все поступающее к нему топливо, так как оно подходит к нему с избытком. Излишнее топливо отводится по трубопроводу 10 снова в подкачивающий насос 3, откуда поступает или в воздухоотделитель, или в бак. Количество топлива, необходимое для различных режимов работы двигателя, автоматически устанавливается регулятором состава смеси.

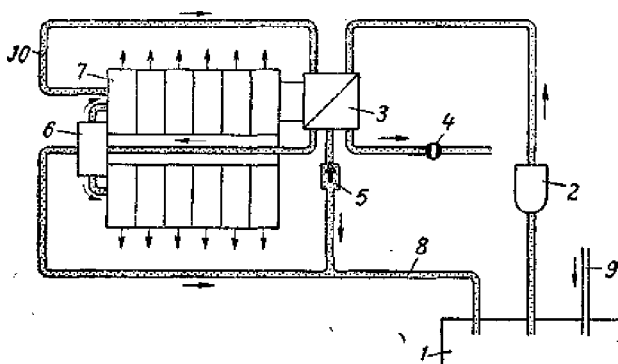


Рис. 177 Принципиальная схема подачи топлива в авиационном ДВС с непосредственным впрыском его в цилиндры двигателя

### ***15. 7 Системы зажигания авиационных поршневых двигателей***

В авиационных бензиновых двигателях вначале использовались системы зажигания с магнето, а на более совершенных двигателях стали применяться вначале контактные системы с катушками зажигания, а затем и бесконтактные системы, аналогичные автомобильным.

#### **Редукторы**

Мощность двигателя находится в прямой зависимости от числа циклов, завершающихся в единицу времени (числа оборотов коленвала). Для ее повышения авиационные двигатели работают на оборотах не меньше 2000 об/мин. Если воздушные винты, диаметр которых обычно не меньше 3 м будут вращаться с таким числом оборотов, то скорость концов лопастей с учетом скорости полета самолета превышала бы критическую скорость, что резко уменьшало бы КПД воздушного винта. Для исключения этого между воздушным винтом и коленчатым валом двигателя устанавливают редуктор, снижающий число оборотов винта.

На рис. 178 показан редуктор авиационного двигателя АМ-38.

По конструкции различают два основных типа редукторов – соосные и со смещенными осями. В соосных редукторах ось вала воздушного винта составляет продолжение оси коленчатого вала двигателя. Соосные редукторы применяются обычно в звездообразных двигателях, так как при этом воздушный поток винта равномерно обдувает головки всех цилиндров.

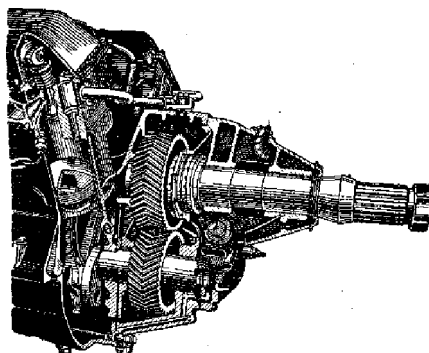


Рис. 178 Редуктор двигателя АМ-38

Редукторы со смещенными осями выгодны тем, что позволяют расположить ось воздушного винта выше оси вала двигателя, что позволяет применять воздушные винты увеличенного диаметра, создающие большую силу тяги. Кроме того, в этом случае ось воздушного винта легче совместить с осью симметрии самолета. В таких редукторах передача от коленчатого вала к валу воздушного винта осуществляется при помощи пары цилиндрических шестерен.

Вынос редуктора вверх в V-образном двигателе позволял разместить внутри такого редуктора ствол пушки, которая устанавливается в развале цилиндров.

В редукторе за счёт трения теряется 1,5...2,0 % мощности двигателя, но эта потеря с избытком окупается повышением к. п. д. воздушного винта. Поэтому современные мощные авиационные двигатели снабжены редукторами. У автомобильных двигателей аналогом редуктора можно считать коробку переключения передач, но отличие авиационных двигателей заключается в том, что в них редуктор обычно не является самостоятельным

устройством, а входит в состав двигателя.

### ***15.8 Использование турбонаддува для обеспечения работы двигателя на высоте***

Плотность воздуха уменьшается с высотой над уровнем моря. Так как в двигатель при работе на определенном режиме поступает за каждый ход наполнения примерно постоянный объем воздуха, то по мере увеличения высоты полёта, массовый заряд воздуха уменьшается. Так как мощность двигателя прямо пропорциональна этому заряду, то с подъёмом на высоту она будет снижаться. Вместе с тем, с точки зрения аэродинамики, на большой высоте летать выгоднее, так как из-за уменьшения плотности воздуха уменьшается и лобовое сопротивление самолета. Сила тяги воздушного винта уравнивает силу лобового сопротивления, поэтому на большой высоте не требуется мощность двигателя, равная той, которую он развивает на уровне моря. Следовательно, на большой высоте расход топлива в двигателе будет также ниже. Однако, сила лобового сопротивления самолёта с подъёмом на высоту снижается не так значительно, как мощность ДВС.

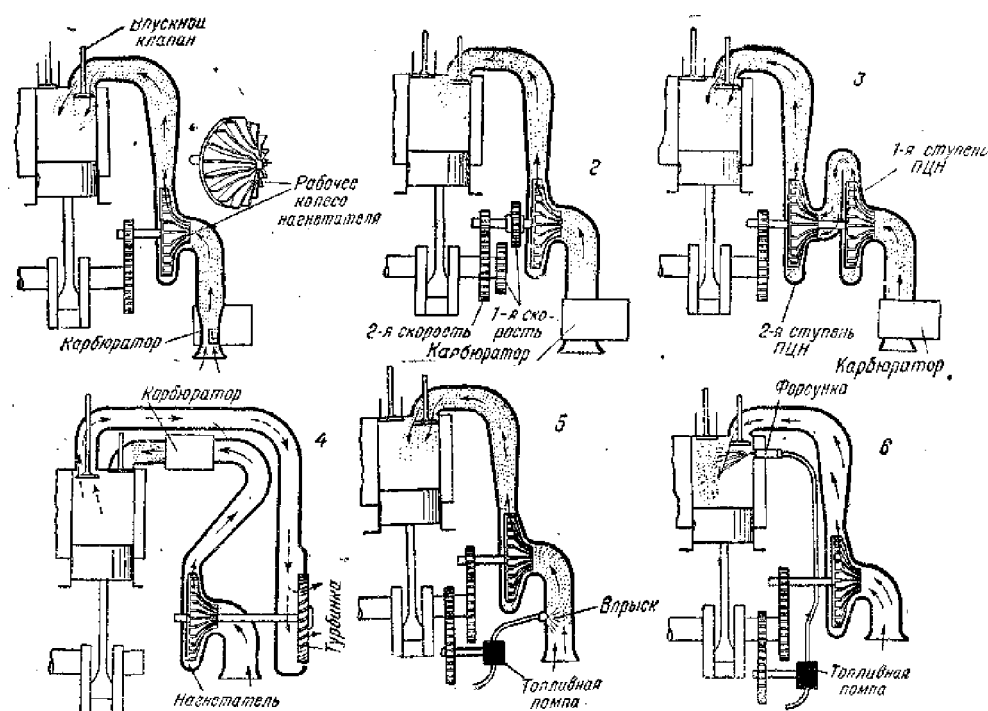
Решение этой проблемы обеспечивается повышением давления на входе в двигатель, при его уменьшении в окружающей среде с помощью наддува. Наиболее типичные схемы установки нагнетателей на авиационных двигателях показаны на рис. 179.

В качестве нагнетателей применяются преимущественно центробежные воздушные компрессоры. Схема центробежного нагнетателя, крыльчатка которого приводится во вращение от коленчатого вала двигателя через шестеренчатую передачу, показана на рис. 27. Такие нагнетатели называются приводными центробежными нагнетателями (ПЦН).

Крыльчатку нагнетателя необходимо вращать с частотой 20000...25000 об/мин. Поскольку коленчатый вал двигателя, приводящий крыльчатку в движение, вращается с частотой примерно на порядок меньше, их соединяют

мультипликатором.

Кроме приводных от мотора нагнетателей, имеются нагнетатели, приводимые во вращение выхлопными газами- турбокомпрессоры. Их выгодно применять в комбинации с ПЦН в качестве второй ступени наддува.



- 1 – приводной одноступенчатый односкоростной центробежный нагнетатель;  
 2 – приводной двухскоростной центробежный нагнетатель; 3 – приводной двухступенчатый центробежный нагнетатель; 4 – турбокомпрессор при карбюраторном двигателе; 5 - приводной центробежный нагнетатель на двигателе с впрыском топлива во всасывающий патрубок; 6 – приводной центробежный нагнетатель на двигателе с впрыском топлива в камеру сгорания

Рис. 179 Схемы наддува авиационных двигателей

Турбокомпрессор (сокращенно ТК) представляет собой центробежный нагнетатель с регулируемым числом оборотов, приводимый во вращение турбиной, работающей на выхлопных газах мотора. На рис. 28 показана установка турбокомпрессора на V-образном двигателе.

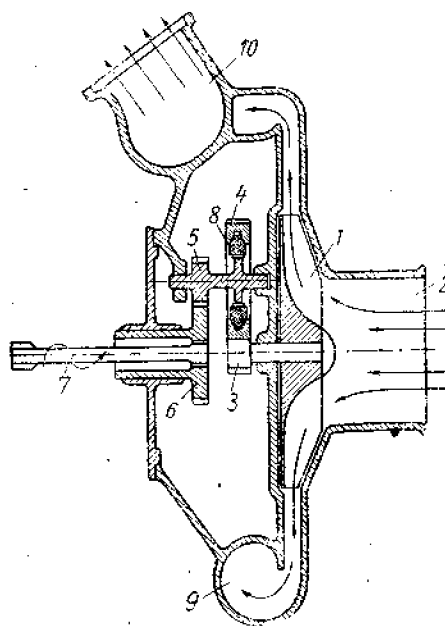


Рис. 180 Схема центробежного авиационного нагнетателя с приводом от коленчатого вала двигателя:

1 – рабочее колесо (крыльчатка); 2 – всасывающий патрубок; 3 – шестерня валика крыльчатки; 4 – большая шестерня перебора; 5 – малая шестерня перебора; 6 – приводная шестерня; 7 – приводной упругий валик; 8 – фрикционная муфта; 9 – выходная улитка; 10 – выходной патрубок.

Выхлопные газы мотора поступают в герметичный выхлопной коллектор, откуда они через сопловой аппарат направляются на лопатки рабочего колеса турбины, приводя ее во вращение. Крыльчатка центробежного нагнетателя расположена на одном валу с рабочим колесом турбины. Вал, крыльчатка и рабочее колесо турбины представляют собой основной узел - ротор ТК. Число оборотов ротора регулируется дроссельной заслонкой, установленной в выхлопном трубопроводе до турбины или за ней. Когда дроссельная заслонка открыта, выхлопные газы свободно выходят в атмосферу. Когда же дроссель прикрыт, то выхлопные газы направляются на лопатки рабочего колеса турбины.

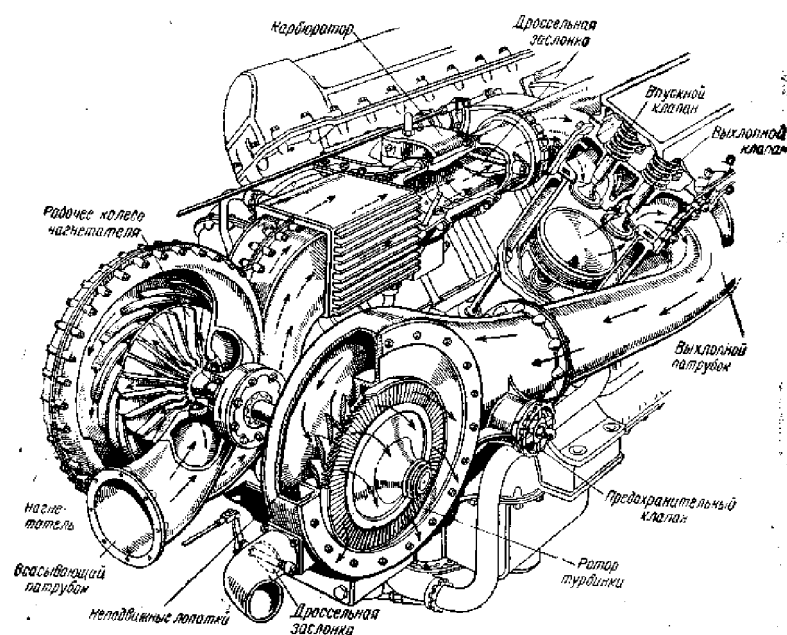


Рис. 181 Установка турбокомпрессора на V-образном двигателе

Изменяя положения дроссельной заслонки, можно направлять к рабочему колесу большую или меньшую часть выхлопных газов и этим регулировать число оборотов крыльчатки, т. е. степень наддува, нужную для той или иной высоты. У авиационного ТК, как и у ПЦН, имеется автоматический регулятор наддува, устанавливающий дроссельную заслонку в нужное положение в зависимости от высоты полета. Чувствительным элементом этого регулятора является anerоидная коробка, реагирующая на изменение давления.

Так как при сжатии воздуха температура его повышается, то это отрицательно сказывается на увеличении плотности. В связи с этим воздух приходится охлаждать, пропуская его через специальный радиатор. Сам ТК также охлаждается струей воздуха, для чего на нем имеется особый воздушный насадок.

Сохранение с помощью ТК заданного давления воздуха на впуске теоретически возможно до высоты, на которой потребляемая крыльчаткой компрессора энергия равна энергии, вырабатываемой турбиной при прохождении через нее всех выхлопных газов двигателя, т. е. при полностью закрытой дроссельной заслонке на выхлопном коллекторе. Практически

расчетная высота двигателя несколько меньше теоретической. На высотах выше расчетной, мощность двигателя уменьшается.

Ротор ТК вращается со скоростью 15000...20000 об/мин. Устанавливать ТК можно не только на самом двигателе, но и в любом месте самолета отдельно от двигателя и соединять мотор с ТК гибкими шлангами во избежание передачи на ТК вибраций или смещений моторной установки. Впервые использованные в авиации, турбокомпрессоры нашли широкое применение и в автомобильных двигателях.

На вращение приводного нагнетателя затрачивается часть мощности двигателя. Установка ТК также несколько снижает мощность двигателя из-за повышения противодавления на выхлопе, что ухудшает очистку цилиндров от отработавших продуктов сгорания. В связи с этим расход топлива у двигателей с нагнетателями несколько выше, чем у «атмосферных» двигателей. У авиационных высотных двигателей с высотностью 3500...4000 м удельный расход топлива составляет 0,250...0,270 кг/л.с.ч. С увеличением высотности удельный расход топлива возрастает. Применение нагнетателей, автоматически выключающихся на малых высотах, позволяет снизить удельный расход двигателей у земли и на малых высотах.

Кроме применения нагнетателей, поднять давление на впуске можно с помощью скоростного наддува, заключающегося в том, что воздухозаборный патрубок всасывающего трубопровода выводят навстречу набегающему на самолет потоку воздуха. При этом скорость набегающего на самолет встречного потока воздуха преобразуется в давление, которое и используется для увеличения высотности двигателя.

При скоростях самолетов с поршневыми двигателями 600...700 км/час скоростной наддув позволяет сохранить мощность, развиваемую у земли, до высоты 1000...1600 м. Хотя эта величина представляется небольшой, все же использование скоростного наддува позволяет несколько увеличить высотность двигателя и снизить мощность, затрачиваемую на привод



нагнетателя.

### ***15.9 Пусковые устройства***

Средства запуска авиационных двигателей делятся на аэродромные и бортовые, т. е. находящиеся на борту самолета.

Наиболее распространенным аэродромным средством запуска является автостартер, представляющий собой автомашину, оборудованную устройством для передачи мощности от двигателя автомобиля к высоко расположенному горизонтальному трубчатому валу (рис. 29). На конце этого вала-хобота имеется стальной палец, который при запуске вводят в зацепление с зубцами храповика, укрепленного на лобовой стороне втулки воздушного винта самолета.

При включении эластичной фрикционной муфты, передающей вращение от вала автомобильного двигателя к горизонтальному пусковому валу, последний приводится в быстрое вращение и заставляет проворачиваться коленчатый вал авиационного двигателя, причем летчик вращает пусковое магнето, далее нажимает кнопку пусковой бобины. По достижении достаточного числа оборотов коленвала карбюратор начинает подавать в цилиндры топливовоздушную смесь нужного состава, и двигатель начинает работать. Как только число оборотов воздушного винта станет больше числа оборотов пускового вала (хобота) автостартера, палец хобота выходит из зацепления с храповиком винта и конец хобота пружиной оттягивается назад.

Из бортовых устройств для запуска двигателей наиболее чисто применяется система запуска сжатым воздухом. На рис. 30 показана схема такой системы. Основными частями системы являются баллон со сжатым воздухом, дисковые распределители воздуха (в двухрядных двигателях – по одному распределителю на каждый ряд из шести цилиндров), воздушные клапаны, компрессор и заливочный бак с бензином. В баллоне объемом обычно 5 - 6 л воздух содержится под давлением 15,0...18,0 МПа. Перепускной кран с редуктором предназначены для подачи сжатого воздуха

из баллона к распределителю и для снижения при этом давления до 2,5....3,0 МПа. На перепускном клапане имеются два манометра. Один из них показывает давление в баллоне, а другой – давление воздуха, поступающего в систему запуска.

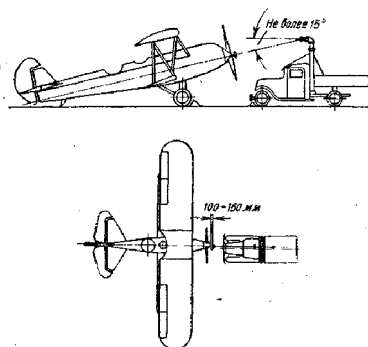


Рис. 181 Запуск авиационного двигателя при помощи автостартера

Распределитель сжатого воздуха, соединенный стальными трубками со всеми цилиндрами мотора, представляет собой золотник, связанный шестеренчатым приводом с коленчатым валом двигателя, и вращающийся вдвое медленнее коленчатого вала. Вращаясь, золотник открывает в нужной последовательности доступ сжатому воздуху в цилиндры мотора. Сжатый воздух поступает в цилиндры в момент, соответствующий началу рабочего хода.

Процесс запуска двигателя, оборудованного такой системой, происходит следующим образом. После того как двигатель подготовлен к запуску и в цилиндры его ручным заливочным насосом впрыснуто пусковое топливо, летчик открывает вентиль воздушного баллона и поворачивает рукоятку перепускного крана. При этом второй манометр должен показать давление от 2,0 до 3,0 МПа. Под этим давлением воздух, через распределитель проходит к клапану, ввернутому в головку цилиндра, преодолевает сопротивление слабой пружины клапана, проходит в камеру сгорания, давит на поршень и заставляет его двигаться. Таким образом, коленчатый вал двигателя раскручивается до тех пор, пока двигатель заработает. После этого подачу сжатого воздуха прекращают.



авиационных двигателях используются электростартеры, подобные автомобильным.

### ***Контрольные вопросы***

1. При прочих равных условиях лучшее охлаждение у звездообразного двигателя с воздушным охлаждением в эксплуатации будет иметь место при размещении в одной плоскости :

**а) Трех цилиндров (правильно);**

б) Пяти цилиндров;

в) Девяти цилиндров.

2. Шатуны авиационных двигателей:

а) Как правило, имеют такую же конструкцию, что и автомобильные;

**б) Обычно имеют более сложную конструкцию, чем автомобильные (правильно);**

в) Имеют более простую конструкцию, чем автомобильные.

3. Картер авиационного двигателя воздушного охлаждения

а) Имеет более простую конструкцию, чем автомобильный;

**б) Имеет более сложную конструкцию, чем автомобильный (правильно);**

в) Имеет такую же конструкцию, как и автомобильный.

4. Как правило:

**а) Авиационные поршневые двигатели имеют более высокую напряженность и сложную конструкцию, чем автомобильные, что выдвигает повышенные требования к их эксплуатации (правильно);**

б) Конструкция авиационных поршневых двигателей аналогична конструкции автомобильных двигателей, как и их эксплуатация;

в) Эксплуатацию современных авиационных поршневых двигателей

осуществить проще, чем автомобильных двигателей.

5. В многорядных звездообразных двигателях по отношению к рядным:

**а) Имеет место более сложная конструкция газораспределительного механизма и следовательно сложнее обеспечить ее надежность в эксплуатации и ремонт (правильно);**

б) Эксплуатация и ремонт газораспределительного механизма не имеет принципиальных отличий;

в) Эксплуатация и ремонт проще вследствие использования качественных сплавов.

6. В авиационных поршневых двигателях редуктор:

а) Вообще не нужен;

**б) Входит в состав двигателя (правильно);**

в) Конструктивно не входит в состав двигателя и является аналогом коробки переключения передач автомобиля.

7. Расход топлива при эксплуатации у авиационных двигателей с приводными нагнетателями:

а) Такой же, как у двигателей без нагнетателей;

**б) Выше чем у двигателей без нагнетателей (правильно);**

в) Меньше чем у двигателей без нагнетателей.

8. Расход топлива при эксплуатации у авиационных двигателей с турбокомпрессорами:

а) Такой же, как у двигателей без турбокомпрессора;

б) Меньше чем у двигателя без турбокомпрессора;

в) У земли и на малых высотах при отключении турбокомпрессора такой же, как у двигателя без него, а на больших высотах-выше чем у двигателя без турбокомпрессора.

9. В эксплуатации запуск авиационного поршневого двигателя осуществляется с помощью:

**а) Бортовых и аэродромных средств (правильно);**

б) С помощью системы бортовых систем;

в) С помощью баллонов с сжатым воздухом.

10. Эксплуатация системы охлаждения авиационного двигателя:

а) Не имеет отличий от эксплуатации системы охлаждения автомобильного двигателя;

**б) Имеет принципиальные отличия от эксплуатации системы охлаждения автомобильного двигателя (правильно);**

в) Проще, чем эксплуатация системы охлаждения автомобильного двигателя, так как в ней все механизировано.

## **ЛЕКЦИЯ 16 ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННЫХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Эксплуатация авиационных двигателей имеет свои особенности, что вызвано как их конструктивными отличиями от автомобильных двигателей, так и требованиями со стороны транспортного средства, которое ими оснащается.

Основа этих отличий заключается в том, что в авиационных двигателях сочетаются большая мощность и относительно низкая масса и малые габариты. Так, удельная масса двигателя, представляющая собой отношение массы «сухого» (без рабочих жидкостей) двигателя к его номинальной мощности (кг/л.с.), для авиационного двигателя АШ - 62ИР составляет 0,7 кг/л.с., двигателя автомобиля «Волга» ЗМЗ-402 - 1,81 кг/л.с, для судовых ДВС эта величина 5-10 кг/л.с., а у стационарных двигателей 10 – 20 кг/л.с. Мощность последних серийно выпускаемых авиационных двигателей

доходила до 2500...3000 л. с., а у опытных до 4000 л.с. и выше. Авиационные двигатели, лидируя по более высоким показателям, должны были иметь и как более сложную, так и более совершенную конструкцию. Обеспечение надежности авиационных двигателей проводилось за счет более тщательных подходов к их производству. В отличие от автомобильных двигателей более распространены были испытания до появления первого отказа и ресурсные испытания для выборки из партии или серии.

Назначение ресурса авиационного поршневого двигателя проводилось после приобретения опыта его эксплуатации, так как на самолете двигателю приходится работать в иных условиях, чем на испытаниях. В отличие от ресурса автомобильных двигателей, назначаемых в километрах пробега автомобиля, ресурс авиационного двигателя измеряется в часах его работы.

Ресурс лучших отечественных авиационных поршневых двигателей, предназначенных для тяжелых бомбардировщиков и гражданских самолетов, находился в диапазоне от 500 до 800 час. Ресурс двигателей истребителей и штурмовиков был значительно меньше и составлял от 150 до 400 часов, что объясняется напряженностью и высокой степенью форсирования этих двигателей. Во время Великой Отечественной войны ресурс двигателей боевых самолетов в 40 часов полагали достаточным, что объяснялось малым жизненным циклом всего изделия в боевых условиях. По выработке ресурса авиационный поршневой двигатель проходил переборку, ремонт и замену изношенных деталей, после чего мог вновь устанавливаться на самолет. Общий срок его службы в зависимости от условий работы, качества ухода и ремонта мог составлять от 3000 до 5000 час.

В справочной литературе применительно к автомобильным ДВС под ресурсом указывают пробег до капитального ремонта (ремонтные работы, связанные с демонтажом коленчатого вала). На практике за критерий наступления предельного состояния автомобильного двигателя часто принимают значительное снижение мощности, появление

нефункционального стука, большой расход масла или топлива. У авиационных двигателей подход к ресурсу иной, под ним понимают время, которое двигатель способен отработать без отказа по любой причине. В противном случае, как следствие отказов возможны аварии, утрата техники и гибель людей см. рис.183 и 184.

В настоящее время под ресурсом авиационного двигателя понимается срок его службы, исчисляемый в часах до очередного капитального ремонта. В течение этого срока гарантируется надежная его работа при условии соблюдения установленных правил его технической эксплуатации и хранения. Эксплуатация авиационного двигателя сверх установленного ресурса не допускается. При подсчете расхода ресурса авиационного двигателя и его агрегатов работа в воздухе принимается за 100%, а на земле - за 20% фактической.



Рис. 183 Аварийная посадка Ан-2 на воду из-за отказа двигателя 27.6.10г.  
р.Варнава у г.Вознесенск Нижегородской обл.





Рис.184 Катастрофа Ан-2 в Туве 22.08.11г. (погиб один человек)

В сравнении с ресурсом других транспортных двигателей, ресурс авиационного двигателя очень невелик, что объясняется большой напряженностью работы его основных деталей. Важными характеристиками авиационного двигателя являются также расходы топлива и смазки. У современных автомобильных бензиновых двигателей удельный расход топлива составляет 200...220 г/(л.с.·ч), тогда как у наиболее совершенных авиационных поршневых двигателей начала пятидесятих годов двадцатого века он был существенно ниже - 140...160 г/(л.с.·ч). Удельный расход масла у современных автомобильных двигателей составляет 0,4% от расхода топлива, тогда как из-за более высокой тепловой и механической напряженности у авиационных двигателей эта величина лежит в пределах от 3 до 6% расхода горючего.

Как и у автомобильных двигателей, у авиационных ДВС большое значение имеет простота и удобство эксплуатации двигателя: двигатель должен легко запускаться в любую погоду; в его конструкции должна быть предусмотрена возможность удобного осмотра и регулировки и т.д.

Эксплуатация авиационных поршневых ДВС на территории России имеет ряд особенностей. Так, например, из-за отсутствия небольших аэродромов с искусственным покрытием самолеты часто базируются на грунтовых площадках, что приводит к росту количества пыли и других инородных частиц, поступающих в двигатель на такте впуска. Это способствует повышенному износу авиационного поршневого двигателя без специальных противопыльных фильтров и снижению его ресурса. Отсутствие доступных качественных топлив и большой диапазон колебания температур от  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  зимой до  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  и более летом, также не способствует нормальной эксплуатации авиационных поршневых двигателей, особенно импортных.

### ***16.1 Режимы работы авиационного поршневого ДВС***

Мощность авиационного поршневого двигателя затрачивается на вращение воздушного винта, создающего тягу. Тяга двигателя зависит от условий полета самолета. Так, для достижения наибольшей скорости полёта нужна максимальная тяга и, следовательно, максимальная мощность двигателя. При выполнении же посадки, тяга самолету практически не нужна, но мотор выключать нельзя, так как в случае ошибки в расчете на посадку летчик должен иметь возможность уйти на второй круг и совершить новый заход на посадку. В этом случае двигатель должен развивать минимальную мощность.

Режим работы характеризуется определенными значениями мощности и частоты вращения вала, от которых в конечном итоге зависят состояние и работа двигателя.

В начальные периоды развития авиации различали следующие режимы поршневых ДВС:

**Режим максимальной мощности.** На этом режиме двигатель развивает наибольшую мощность и обороты, при которых в течение короткого времени (до 5 мин.) не происходит его повреждения. Так как при работе на этом режиме двигатель быстро изнашивается, этот режим используется лишь

в случае крайней необходимости: в критические минуты воздушного боя, при взлете с короткой площадки, для срочного набора высоты перед препятствием и т. д.

**Режим номинальной мощности.** Номинальной называют ту предельную мощность и то число оборотов, с которыми двигатель может длительно работать без поломки. Номинальная мощность обычно на 10...15% меньше максимальной. Номинальная мощность является основным параметром авиационного поршневого двигателя, так как подбор двигателя к данному самолету и расчет всех деталей мотора проводится именно по его величине. Работа без перерыва на номинальной мощности не должна превышать одного - двух часов.

**Режим эксплуатационной (крейсерской) мощности.** Двигатель нецелесообразно длительно эксплуатировать на режимах максимальной и номинальной мощности, так как при этом происходит наибольший его износ. Поэтому в обычных условиях его эксплуатируют на так называемой эксплуатационной, или крейсерской, мощности, которая на 20...35% ниже максимальной. На режиме эксплуатационной мощности двигатель может в пределах срока его службы работать неограниченно долгое время. Удельный расход горючего на этом режиме наименьший и, следовательно, двигатель на эксплуатационном режиме наиболее экономичен.

**Режим малого газа.** Это режим работы двигателя, на котором его мощность и число оборотов минимальны, при условии обеспечения устойчивой работы. На этом режиме двигатель работает во время планирования самолета при его посадке или при движении самолета по аэродрому. Длительная работа на этом режиме нежелательна, т.к. происходит забрызгивание свечей маслом и быстрое образование нагара на стенках камеры сгорания.

В конце второй мировой войны, в основном для боевых самолетов, были введены **боевой и чрезвычайный режимы**.

Боевой режим предназначен для воздушного боя и по мощности примерно

соответствует максимальной мощности, но непрерывное время работы на нем увеличено до 10...15 мин, а общее время работы на этом режиме в отличие от режима максимальной мощности было увеличено с 5% до 15...25% от общего срока службы двигателя. С введением боевого режима режим максимальной мощности на военных самолетах стали называть **взлетным**.

Чрезвычайный режим предназначен для работы двигателя в особых, исключительных случаях (отказ второго двигателя, необходимость отрыва от противника любой ценой и т.д.). Мощность на этом режиме составляет 130...160% от номинальной, и в основном достигается применением наддува. Применение данного режима ведет к резкому снижению ресурса двигателя, поэтому время работы на нем составляет для различных двигателей от 1 до 5 мин., а общее время работы на этом режиме - не более 3% от срока службы двигателя.

Максимальную мощность двигатель без наддува выдает при полном открытии дроссельной заслонки. Номинальную же и эксплуатационную мощность получают, прикрывая дроссель. Иногда режимы с мощностью меньше номинальной называют крейсерскими, а с большей - форсажными. На крейсерских режимах авиационные двигатели используют бедные смеси, чтобы увеличить топливную экономичность, а на форсажных - богатые, чтобы отодвинуть границу детонации при использовании наддува и улучшить температурный режим двигателя. При эксплуатации на крейсерских режимах ресурс, в сравнении с работой двигателя на режиме номинальной мощности, возрастает, а при эксплуатации на форсажном режиме - уменьшается.

### ***16.2 Характеристики авиационных поршневых двигателей***

При эксплуатации авиационных поршневых двигателей для расчётов заправки, режимов и дальности полёта, полезной нагрузки используются **характеристики двигателей**, т.е. зависимости, показывающие изменение

мощности и удельного расхода топлива в зависимости от числа оборотов, давления наддува или изменения высоты.

На рис. 3 для примера представлены дроссельные характеристики двигателя АШ-82 при его работе на уровне моря. **Дроссельная характеристика** дает представление о характере и величине изменения мощности при изменении числа оборотов (при винте фиксированного шага), в зависимости от степени открытия дроссельных заслонок карбюратора. **График удельного расхода топлива** характеризует правильность регулировки карбюратора для различных режимов работы мотора и служит критерием его экономичности. На рис. 185 и 186 представлены характеристики этого двигателя по давлению наддува при работе у земли. Характеристики по наддуву дают информацию величине мощности мотора и расходе топлива в зависимости от изменения величины наддува при постоянном числе оборотов (с винтом изменяемого шага).

На рис. 187 показана **высотная характеристика двигателя**. Высотной характеристикой двигателя называется зависимость изменения мощности и других параметров от изменения высоты полёта при постоянном числе оборотов. Характеристика двигателя, показанная на рис. 6, получена на первой и второй скоростях нагнетателя. Мощность двигателя приведена к стандартной температуре воздуха (288 К). Из характеристики видно, что при сохранении постоянного (номинального) числа оборотов и постоянного давления наддува  $P$  мощность мотора АШ-82 с подъемом на высоту 2050 м увеличивается на 150 л. с., что происходит вследствие изменения температуры и давления окружающей среды, которое повышает коэффициент наполнения двигателя (за счёт уменьшения противодавления выхлопу и понижения температуры всасываемого в мотор воздуха).

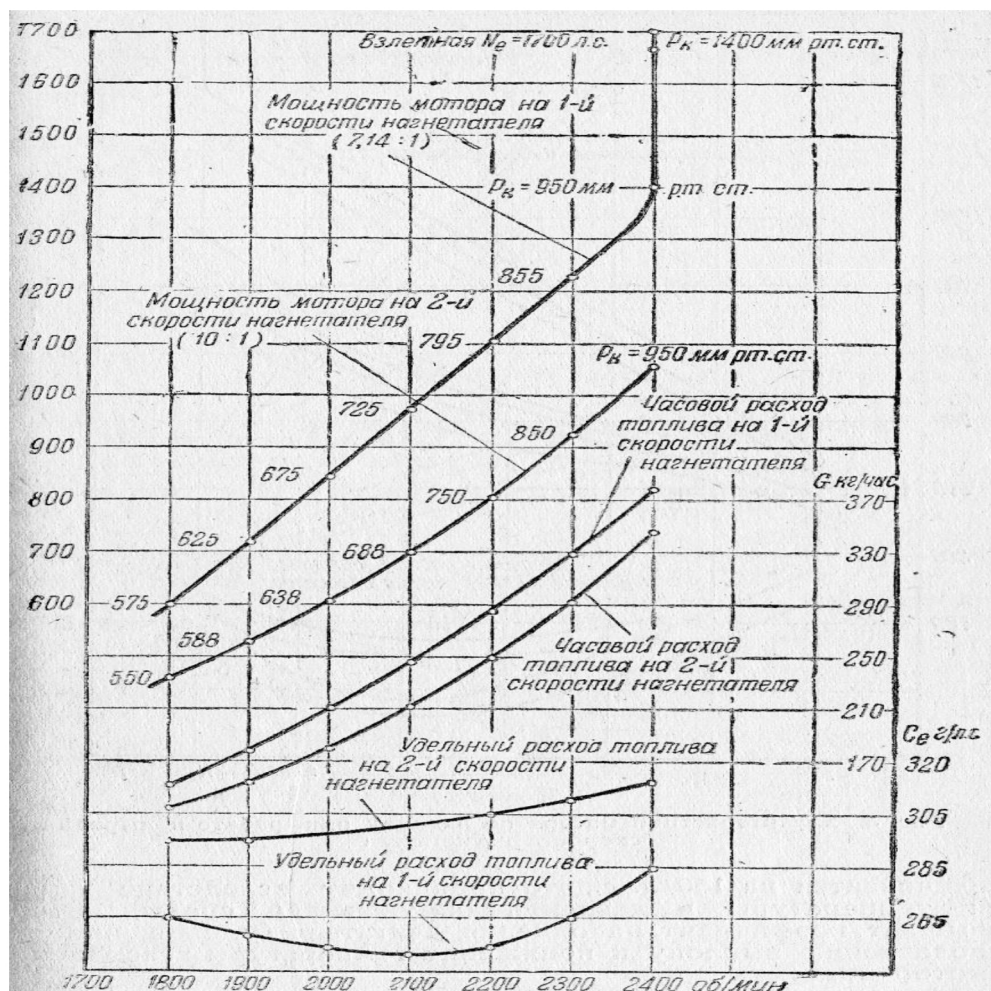


Рис. 185 Дроссельные характеристики двигателя АШ – 82

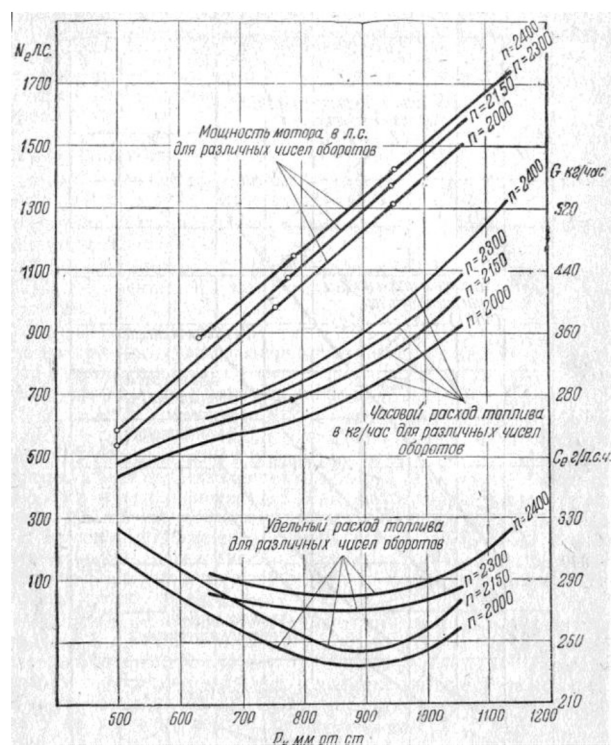


Рис. 186 Характеристики по наддуву при работе на первой скорости нагнетателя

Все приведенные характеристики получены при испытании двигателя на стенде с использованием винта изменяемого шага. При его работе на самолете (на земле или на высоте), характеристики будут несколько изменяться в зависимости от типа самолета и применяемого винта.

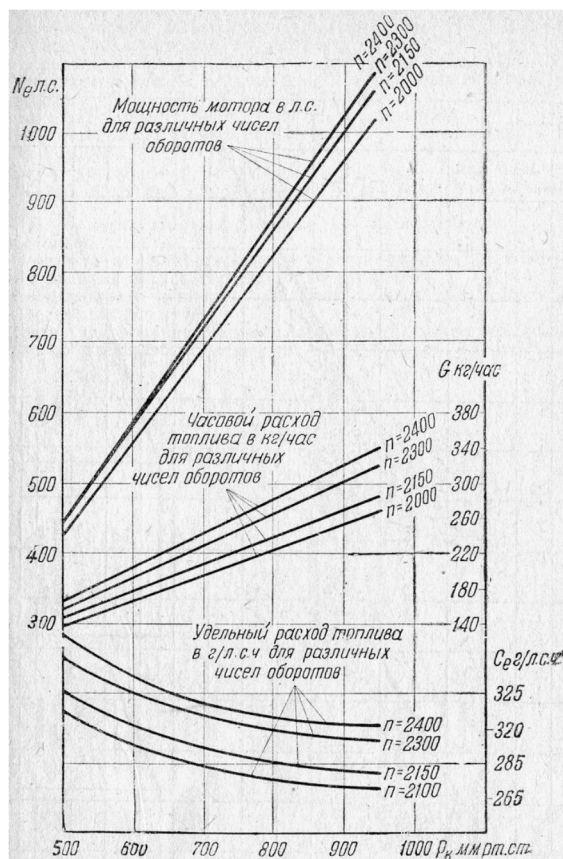


Рис. 187 Характеристики по наддуву при работе на второй скорости нагнетателя

Эксплуатация конкретных конструкций двигателей для всех двигательных механизмов и систем имеет свои особенности. Так, у некоторых авиационных из-за отсутствия баббитовых вкладышей велики нагрузки на коренные подшипники коленчатого вала. Поэтому при перегреве и чрезмерном износе сопряжения коленчатый вал-картер приходится производить замену этих достаточно дорогостоящих деталей. Использование алюминиевых блоков с никасиловым покрытием (Rotax, BMW 1150 RS) при нарушении нормальной работы систем смазки и охлаждения ведет к быстрому отслаиванию названного покрытия и заклиниванию двигателя. Одна из фирм, производящих такие моторы указывает в руководстве по эксплуатации, что летать на самолетах, оснащенных ее моторами можно



только в условиях, когда после внезапной остановки двигателя возможна безопасная посадка.

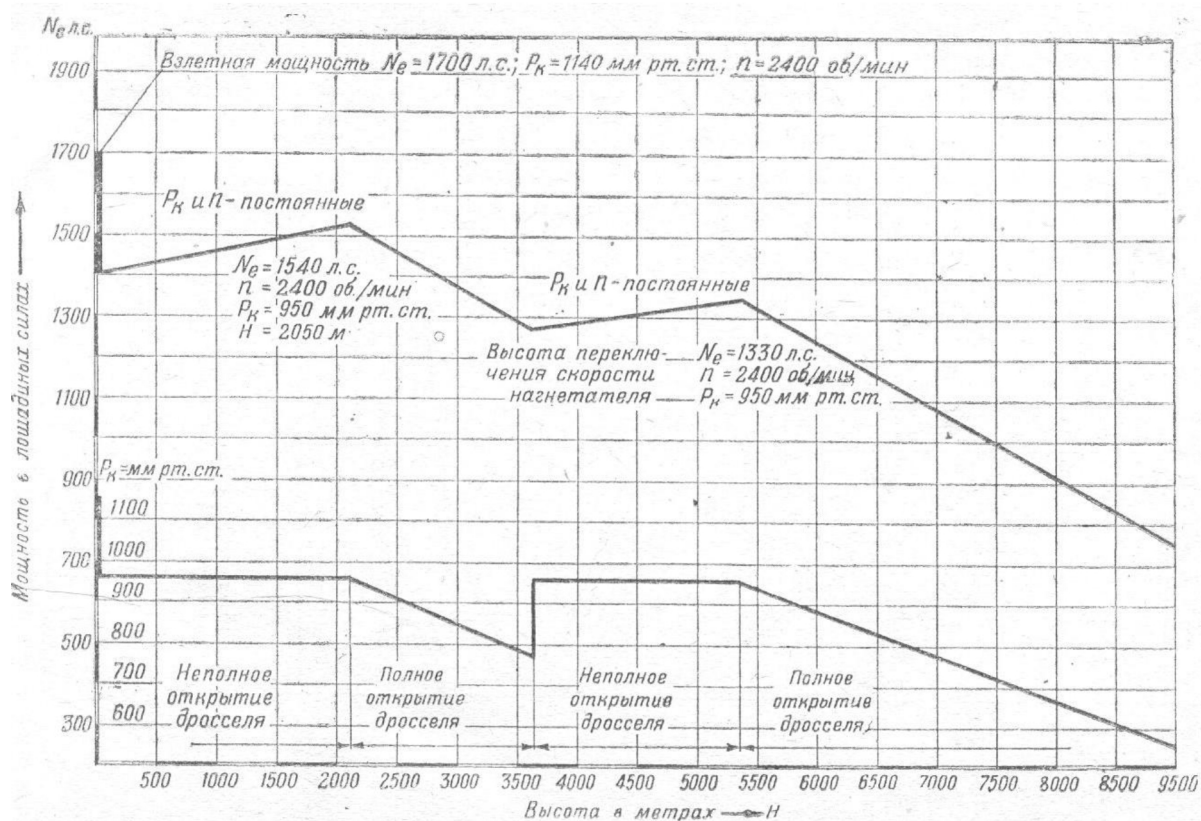


Рис. 188 Высотная характеристика двигателя АШ – 82

Опыт эксплуатации самолетов с поршневыми двигателями показывает, что наиболее характерными отказами силовой установки являются отказы двигателей, обусловленные повреждением механической части, перегревом и неисправностью топливной и масляной систем.

Статистические данные по отказам авиационных двигателей свидетельствуют, что они часто возникают из-за конструктивно-производственных и эксплуатационных причин. Первые необходимо выявлять в эксплуатации и устранять (часто в заводских условиях), тогда как вторые как правило являются следствием допущенных при обслуживании и эксплуатации авиационной техники нарушений, а иногда — случайного стечения обстоятельств. Так, сюда например можно отнести попадание воды, грязи и других посторонних предметов при запуске и движении самолета по рулежным дорожкам или ВПП, а также заправку некондиционными горюче-



смазочными и охлаждающими жидкостями. Среди отказов авиационных ДВС различают **параметрические (постепенные)**, обусловленные выходом какого-либо параметра за установленный допуск, и **внезапные**, обусловленные разрушением отдельных деталей и узлов двигателей.

Очень часто причиной, как первых, так и вторых вышеназванных видов отказов авиационных поршневых двигателей являются нарушения в работе их системы смазки. К качеству авиационных масел предъявляются очень высокие требования, что обусловлено важной ролью системы смазки в работе авиационного ДВС, а также его высокой тепловой и механической напряженностью. Так, например, в масле должно обеспечиваться отсутствие любых механических примесей. Толщина смазывающего слоя очень мала и даже мелкие твердые частички нарушают цельность масляной пленки, резко ухудшая условия смазки. Между тем, из-за отсутствия соответствующих аэродромов, при работе авиационный двигатель часто засасывает из атмосферы с воздухом пыль и мелкий песок (при рулении по земле из-за работы винта), которые попадают затем в масло. Поэтому воздухозаборный патрубок двигателя на самолетах стараются располагать так, чтобы он засасывал по возможности чистый воздух. При работе на пыльных и песчаных аэродромах на самолетах устанавливают воздушные фильтры, иначе износ двигателя резко интенсифицируется. Примером этого может служить тот факт, что английские истребители «Харрикейн» во вторую мировую войну поставляемые в СССР и использовавшиеся не с бетонных, а грунтовых взлетно-посадочных полос без оснащения их двигателей фильтрами (рис.189) быстро вырабатывали свой ресурс и отказывали во время боя.

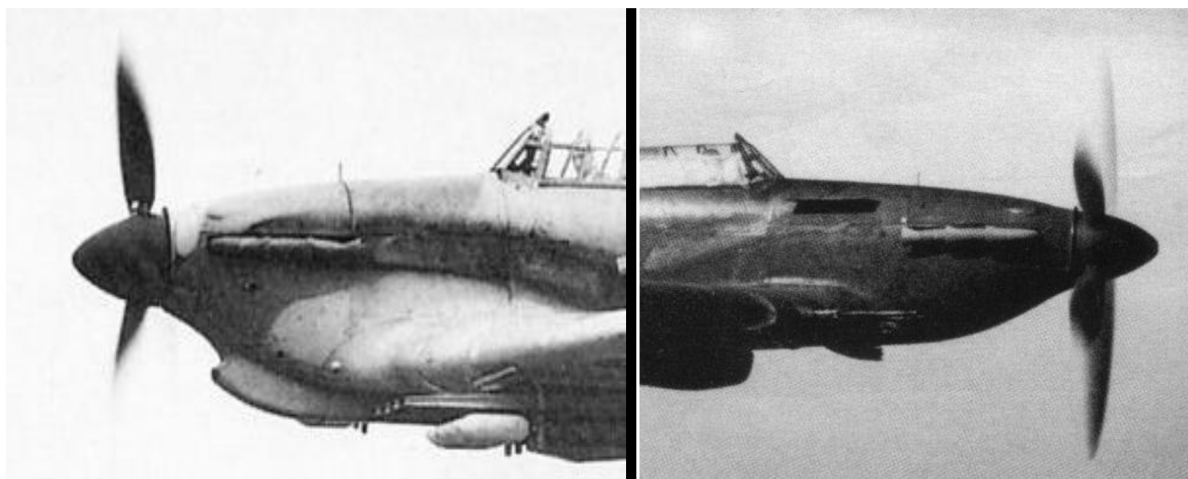


Рис. 189 Внешний вид моторного отсека истребителя «Харрикейн» с противопыльным фильтром (слева) и без него (справа).

Подобная проблема имела место и для отечественного Ла-7 с двигателем АШ-82. Из-за конструктивного недостатка в двигатель попадало много пыли и мелкого песка, что снижало мощность двигателя, повышало расход масла и в конечном итоге вело к отказам. Этот дефект оставался настоящим бичом Ла-7 до самого конца войны и был связан с переносом воздухозаборника, стоящего на Ла-5 с капота мотора в корни плоскостей крыла - места, более уязвимые с точки зрения попадания пыли на взлете и посадке. Зимой, когда Ла-7 проходил Государственные испытания, пыли на аэродромах не было, поэтому дефект вовремя выявить не смогли. Попыткой избавиться от дефекта стал монтаж фильтров на воздухозаборники и появление дополнительных воздухозаборников на нижней поверхности плоскостей крыла перед колodцами уборки колес основных опор шасси, но полного решения проблемы достичь не удалось.

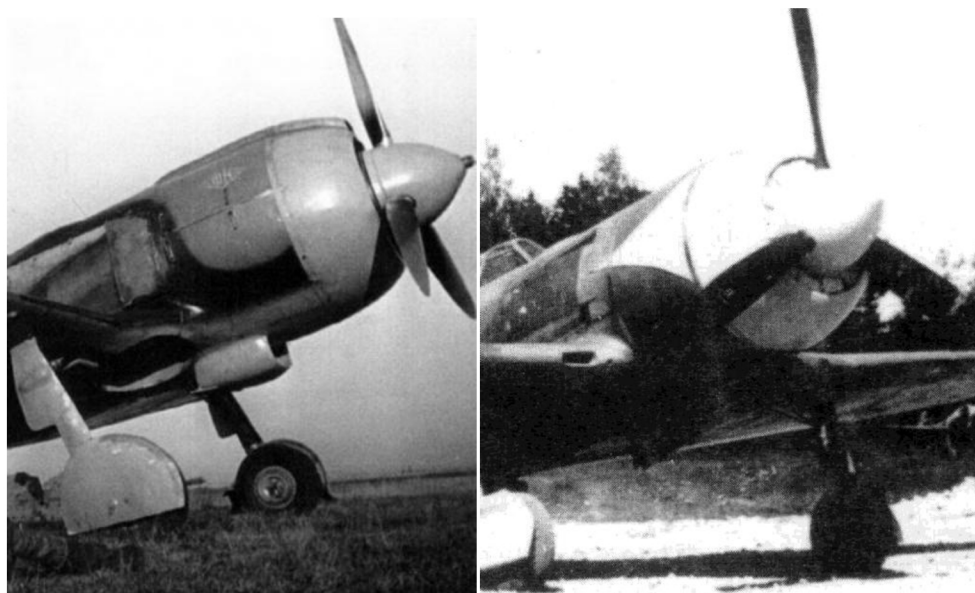


Рис. 190 Винтомоторная установка Ла-5 (слева) и Ла-7 (справа)

Большое значение для авиационных двигателей, как и для автомобильных, играет вязкость масла. Для авиационных двигателей непригодно масло как слишком высокой, так и слишком низкой вязкости, поэтому для каждого конкретного двигателя должно использоваться масло, рекомендуемое предприятием-изготовителем двигателя.

Смазочное масло авиационного двигателя (как и автомобильное) не должно содержать веществ, способствующих возникновению коррозии на деталях двигателя, т. е. не должно содержать свободных кислот и продуктов окисления. При непрерывной циркуляции через двигатель масло должно в минимальной степени подвергаться физико-химическим изменениям и выделять при этом наименьшее количество осадков. При сгорании смазочного масла, попадающего в камеру сгорания, должно образовываться наименьшее количество твердых остатков (сажи).

В России существует около 20 сортов и марок авиационных масел (с учетом реактивных двигателей), от самых легких, с вязкостью 3...4 сСт до тяжелых, с вязкостью 22 сСт при 100 °С. Для отечественных поршневых двигателей к началу 50-х годов XX века преимущественно применялись четыре сорта минеральных масел – МК, МС, МЗ, МЗС и один сорт

растительного масла – касторовое. Масла МК и МС предназначались для эксплуатации весной, летом и осенью, а масла МЗ и МЗС – зимой. Касторовое масло применялось только при температуре выше нуля. Требования к качеству авиационных масел были очень высокими. От автомобильных, авиационные масла для поршневых двигателей отличались повышенной чистотой, более узким фракционным составом и высоким качеством.

Для авиации имеет большое значение не только вязкость масел при рабочих температурах, но и вязкость при температуре запуска двигателя, что наиболее важно в зимнее время. Поэтому для оценки масла введено дополнительное понятие о так называемой пусковой вязкости, т.е. той, при которой еще возможно запустить холодный двигатель (см. аналогичную величину у автомобильных двигателей). Температура застывания, при которой масла теряют свою подвижность, примерно на  $8...10^{\circ}$  ниже температуры пусковой вязкости. Летние масла застывают при температуре около  $-15^{\circ}\text{C}$ , а зимние около  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Для облегчения запуска двигателей в холодную погоду используется разжижение масла бензином. Разжижение заключается в том, что после полета добавляют в масло от 8 до 12% бензина и заставляют двигатель несколько минут работать на этом разжиженном масле, для того чтобы оно проникло во все зазоры между деталями двигателя. Такая смазка не замерзает даже в очень холодную погоду, ибо пусковая вязкость масел МЗ и МЗС, разбавленных 8% бензина, будет соответствовать температуре около  $-30^{\circ}\text{C}$ . Поэтому можно не сливать масло из двигателя после полета и не приходится подогревать его перед запуском. Через 30...40 мин. после запуска двигателя бензин из горячего масла испаряется, и в дальнейшем двигатель работает на нормальном масле.

При непрерывной циркуляции масла через мотор оно загрязняется мельчайшими механическими примесями, и в нем происходят значительные

физико-химические изменения, приводящие к сильному снижению смазывающей способности. Даже по внешнему виду масло после двух-трех часов работы в моторе резко отличается от свежего масла, оно сильно темнеет. Количество механических примесей в масле заметно возрастает с увеличением времени его работы (рис. 191).

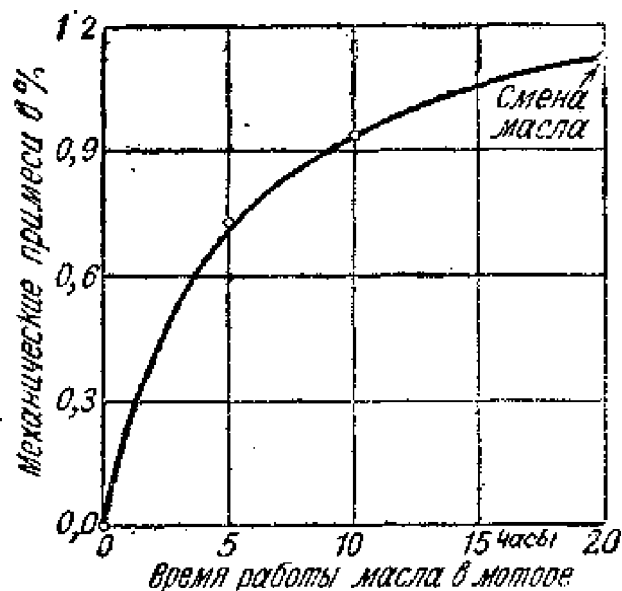


Рис. 191 Увеличение содержания механических примесей в масле с увеличением времени работы его в моторе

Во избежание повышенного износа деталей двигателя отработавшее в системе смазки масло необходимо через некоторое время сливать и заменять новым. Обычно полную замену масла у авиационных двигателей производят через каждые 20...25 час работы двигателя. Иногда слитое масло направляется в регенерирующие установки, где его подогревают до температуры около 100° и фильтруют под давлением через бумагу; при этом масло полностью освобождается от механических примесей и загрязняющих его асфальтно - смолистых, углеродистых и кислых соединений и осветляется. В настоящее время для отечественных авиационных поршневых двигателей в основном используется масло МС-20 (см. табл. 1). Его особенностью является то, что в его составе нет присадок.

Следствием дефектов в механической части двигателя является появление стружки в масле, поэтому в настоящее время в эксплуатации двигателей используется диагностирование технического состояния смазываемых узлов трения лабораторным спектральным анализом продуктов изнашивания, содержащихся в смазочном масле.

Табл. 1. Основные характеристики масла МС-20 (ГОСТ 21743-76)

| Наименование показателя                                         | Норма |
|-----------------------------------------------------------------|-------|
| Вязкость кинематическая при 100°С, мм <sup>2</sup> /с, не менее | 20,5  |
| Индекс вязкости, не менее                                       | 80    |
| Коксуемость, %, не более                                        | 0,29  |
| Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С, не ниже | 265   |
| Температура застывания, °С, не выше                             | -18   |

Также о состоянии двигателя можно судить по различным типам стружкосигнализаторов и визуальному осмотру фильтров и магнитных пробок.

Большую роль в безотказной работе авиационного двигателя играет состояние и работа системы питания. С точки зрения систем питания, к авиационным (как и к автомобильным) топливам выдвигаются следующие требования: высокая антидетонационная стойкость, высокая теплотворная способность, механическая и химическая стабильность, хорошая испаряемость, низкая температура замерзания, нейтральность к материалам деталей двигателя. Кроме того, топливо не должно содержать твердых частиц, которые могли бы, оседая, засорять бензопроводы и малые

калиброванные отверстия в форсунках и карбюраторах.

Одним из важнейших свойств авиационного топлива является его **антидетонационная стойкость**. Детонация ограничивает возможность повышения наддува и, следовательно, представляет препятствие к повышению мощности двигателя при сохранении его размеров.

Большинство авиационных топлив представляет собой смесь различных углеводородов, которая с течением времени может расслаиваться и менять свой химический состав в условиях эксплуатации самолетов. При этом образуются соединения, способные оседать в системе топливоподачи. Кроме нарушения работы системы питания, эти соединения, как правило, способствуют образованию нагара на днище поршня, стенках камеры сгорания, выпускных клапанах, нарушая их нормальную работу и способствуя появлению отказов двигателя.

Авиационные двигатели эксплуатируются в диапазоне температур окружающей среды от +40 до - 56,5°C (стратосфера). Если топливо при такой температуре начнет хотя бы частично замерзать, то выпадающие при этом твердые частицы могут перекрыть все фильтры и сечения бензопроводов и двигатель остановится. Поэтому в авиационных поршневых двигателях применяются топлива, замерзающие при температуре не выше -60°C.

В настоящее время основным топливом для авиационных ДВС является бензин, получаемый перегонкой нефти, либо более сложной технологией ее обработки. Так, авиационный бензин Б-70 получается из более тяжелых бензинов в результате так называемого риформинг-процесса или крекинга, при котором тяжелый бензин или лигроин подвергаются одновременному воздействию высоких температур и давлений.

Для повышения антидетонационных качеств бензина к нему часто примешивают бензол, толуол, ксилол, а иногда и этиловый спирт. Высокая антидетонационная стойкость спирта позволяет при добавлении всего 20% спирта к бензину прямой перегонки получить топливо с октановым числом

80. В качестве авиационного топлива иногда применяют также спирто-бензоло-бензиновые смеси, обладающие лучшей стабильностью при низких температурах.

Для получения топлив с высокими октановыми числами (до 90 и выше) применяют присадки-антидетонаторы. Из всех известных антидетонаторов наиболее широко в авиационных топливах применялся тетраэтиловый свинец (ТЭС), представляющий собой бесцветную, тяжелую (плотность  $1,62 \text{ г/см}^3$ ), сильно ядовитую жидкость. Действие ТЭС как антидетонатора заключается в том, что он замедляет образование неустойчивых соединений топлива с кислородом воздуха, разлагая их и присоединяя к себе их избыточный кислород, и тем самым предотвращает детонационное сгорание топлива. Бензин Б-78, имеющий в чистом виде октановое число 78, с добавлением всего 0,3% ТЭС повышает свое октановое число до 94. Прибавление чистого ТЭС к топливу вызывает осаждение окиси свинца на стенках камеры сгорания и на электродах свечей, что довольно быстро нарушает нормальную работу двигателя. Поэтому ТЭС применяют в виде так называемой этиловой жидкости, в которой также содержатся некоторые бромистые и хлористые соединения, а также красители, добавляемые для распознавания этилированного бензина. В СССР использовалась этиловая жидкость Р-9 (красного цвета) содержащая около 49% по объему, или 55% по массе ТЭС и жидкость 1-Т-С (содержит 61% ТЭС по массе, окрашена в зеленый цвет).

Этиловую жидкость добавляют в авиационное топливо в количестве 2 – 4  $\text{см}^3$  на 1 кг бензина. При этом октановое число топлива повышается на, 13... 18 единиц.

Детонационная стойкость авиационных бензинов определяется по моторному и температурным методам, а также сортностью. Температурный метод использовался для оценки бензинов с октановым числом более 95 по моторному методу. Сортность показывает детонационные свойства авиационных бензинов на форсированных режимах на обогащенной смеси



(например, на взлете). Она представляет собой число, показывающее в процентном отношении, какую мощность может развить двигатель на испытываемом бензине в сравнении с изоктаном.

Для всех авиационных бензинов (кроме Б-70) использовалась следующая маркировка: в числителе - октановое число по моторному методу, в знаменателе - сортность (например, Б-91/115; Б-95/130 и др.). Более высокие требования к качеству авиационных бензинов определяются также жесткими условиями их применения. ГОСТ 1012-72 ограничил марки авиационных бензинов двумя: Б-91/115 и Б-95/130. Бензин Б-91/115 предназначен для эксплуатации двигателей АШ-62Ир, АИ-26В, М-14Б, М-14П и М-14В-26, а Б-95/130 - двигателей АШ-82Т и АШ-82В. В течение 1988...1992 гг. был проведен большой комплекс исследований и испытаний, в результате чего разработан единый бензин Б-92 без нормирования показателя "сортность на богатой смеси", вырабатываемый по ТУ 38.401-58-47-92. Как показали испытания, бензин Б-92 может применяться взамен бензина Б-91/115 в двигателях всех типов. Использование авиабензина Б-92 без нормирования показателя сортности позволяет наряду с обеспечением нормальной работы двигателей на всех режимах значительно расширить ресурсы авиабензинов и снизить содержание в них токсичного тетраэтилсвинца.

В настоящее время в России производятся две марки авиабензинов: Б-91/115 и Б-92 (табл.2).

Табл. 2 Характеристики авиационных бензинов

| Показатели                                              | Б-95/130<br>ГОСТ<br>1012-72 | Б-91/115<br>ГОСТ<br>1012-72 | Б-92<br>ТУ 38.401-58-47-92 |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Содержание тетраэтилсвинца, г/1 кг бензина,<br>не более | 3,1                         | 2,5                         | 2,0                        |
| Детонационная стойкость:                                |                             |                             |                            |

|                                                                       |                    |                    |                                             |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------------|
| октановое число по моторному методу, не менее                         | 95                 | 91                 | 91,5                                        |
| сортность на богатой смеси, не менее                                  | 130                | 115                | -                                           |
| Удельная теплота сгорания низшая, Дж/кг, не менее                     | $42947 \cdot 10^3$ | $42947 \cdot 10^3$ | $42737 \cdot 10^3$                          |
| Фракционный состав:                                                   |                    |                    |                                             |
| температура начала перегонки, °С, не ниже                             | 40                 | 40                 | 40                                          |
| перегоняется при температуре, °С, не выше:                            |                    |                    |                                             |
| 10 %                                                                  | 82                 | 82                 | 82                                          |
| 50 %                                                                  | 105                | 105                | 105                                         |
| 90 %                                                                  | 145                | 145                | 145                                         |
| 97,5 %                                                                | 180                | 180                | 180                                         |
| остаток, %, не более                                                  | 1,5                | 1,5                | 1,5                                         |
| Давление насыщенных паров, Па                                         | 33325-45422        | 29326-47988        | 29326-47988                                 |
| Кислотность, мг КОН/100 см <sup>3</sup> , не более                    | 0,3                | 0,3                | 1,0                                         |
| Температура начала кристаллизации, °С, не выше                        | -60                | -60                | -60                                         |
| Йодное число, г йода/100 г бензина, не более                          | 6,0                | 2,0                | 2,0                                         |
| Массовая доля ароматических углеводородов, %, не более                | 35                 | 35                 | Не нормируется.<br>Определение обязательно. |
| Содержание фактических смол, мг/100 см <sup>3</sup> бензина, не более | 4,0                | 3,0                | 3,0                                         |

|                                       |                 |                 |         |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|---------|
| Массовая доля серы, %, не более       | 0,03            | 0,03            | 0,05    |
| Цвет                                  | Желтый          | Зеленый         | Зеленый |
| Массовая доля параоксидифениламина, % | 0,002-<br>0,005 | 0,002-<br>0,005 | -       |
| Период стабильности, ч, не менее      | 12              | 12              | 8       |

Базовым компонентом для выработки авиационных бензинов марок Б-92 и Б-91/115 обычно являются бензины каталитического риформинга. В качестве высокооктановых компонентов могут быть использованы алкилбензин, изооктан, изопентан и толуол.

Бензины каталитического риформинга обладают высокой детонационной стойкостью на богатых и бедных смесях. Чем больше суммарное содержание в бензине ароматических углеводородов, тем выше его сортность на богатой смеси. Для обеспечения требований ГОСТ и ТУ по детонационной стойкости, теплоте сгорания, содержанию ароматических углеводородов к базовым бензинам добавляют изопарафиновые и ароматические компоненты - алкилбензин, изомеризат и толуол. В целях обеспечения требуемого уровня детонационных свойств к авиационным бензинам добавляют антидетонатор тетраэтилсвинец (от 1,0 до 3,1 г на 1 кг бензина) в виде этиловой жидкости. Для стабилизации этиловой жидкости при хранении авиабензинов добавляется антиокислитель 4-оксидифениламин или Агидол-1. Как и все этилированные топлива, для безопасности в обращении и маркировки, авиационные бензины должны быть окрашены. Бензины Б-91/115 и Б-92 окрашиваются в зеленый цвет. С 1 июля 2003 года в России Федеральным законом от 22 марта 2003 г. № 34-ФЗ запрещено производство и оборот этилированного автомобильного бензина. Авиационные этилированные бензины в сферу его действия формально не попадают, хотя такая ситуация не может сохраняться бесконечно долго. Поэтому отдельные страны обратили свое внимание на использование в авиационных поршневых

двигателях автомобильных высокооктановых бензинов. По детонационной стойкости лишь автомобильный бензин АИ-98 приближается к Б-91/115. Применение других автомобильных бензинов в поршневых авиационных ДВС может привести к снижению номинальной мощности двигателя, повышению рабочей температуры головок цилиндров двигателя и склонности к детонации.

Дополнительным отличием автомобильных бензинов от авиационных является повышенное содержание ароматических и олефиновых углеводородов (до 60%, почти в два раза выше, чем в Б-91/115 – 35%), а также смолистых веществ. Это в авиационных ДВС может привести к повышенному нагарообразованию в цилиндро - поршневой группе двигателя и вызвать перегрев двигателя. Повышается возможность возникновения калильного зажигания, снижения мощности и перебоев в работе двигателя, а также увеличения смолистых отложений в топливной системе двигателя.

Большее содержание серы, сернистых и органических соединений кислотного характера в автомобильных бензинах может вызвать коррозию деталей. Продукты сгорания сернистых соединений – оксиды серы могут привести к коррозионному повреждению выхлопного тракта двигателя. Это, возможно, потребует применения в поршневых авиационных двигателях масел, содержащих антикоррозионные присадки.

Из-за более низкой плотности и калорийности, а также из-за более низкого октанового числа по моторному методу (у АИ-95 – 85 ед., у АИ-98 – 89 ед., а у Б-91/115 – 91 единица) при применении автомобильных бензиновых в авиадвигателях наблюдается больший, на 10-15% расход бензина.

У авиабензина Б91/115 пределы выкипания, характеризующие фракционный состав находятся в пределах от 40 до 180<sup>0</sup>С, давление насыщенных паров: не менее 220 мм рт.ст. и не более 360 мм. рт. ст., у автомобильного бензина АИ-95 пределы выкипания от 40 до 215<sup>0</sup>С, давление насыщ.паров - не более 500 мм.рт.ст. Сравнение этих данных

показывает, что из-за наличия сходных низкокипящих фракций (начало кипения у обоих бензинов от 40<sup>0</sup>С) оба бензина имеют примерно одинаковые пусковые качества. Вместе с тем различие в давлении насыщенных паров показывает, что для авиационного бензина склонность к образованию паровых пробок ниже (чем выше давление насыщенных паров, тем больше и степень испарения бензина). Поэтому при использовании в авиационных ДВС автомобильных бензинов могут иметь место проблемы с горячим запуском. Кроме того, это способствует развитию кавитации, особенно при высотных полетах, которая может вызывать самовыключение двигателей, что в авиации недопустимо.

Важен также тот факт, что конструкция самих авиадвигателей не всегда позволяет использовать автомобильный бензин. Так используемый в двигателе АИШ-62ИР авиационный бензин Б-91/115 в качестве антидетонационной присадки содержит тетраэтилсвинец. Последний помимо придания бензину необходимой антидетонационной стойкости, при температурном разложении выделяет свинец, который играет роль смазки, смягчающей нагрузки на выпускной клапан и его седло. Автомобильный неэтилированный бензин Аи-95 этой функции выполнить не может, в результате чего ресурс авиадвигателя при его применении снизится.

На форсажных режимах в боевых самолетах использовались специальные форсажные жидкости. В целом их можно разделить на две группы. К первой относится вода и водоспиртовые смеси, а ко второй - закись азота. Первая группа увеличивает заряд, поступающий в цилиндры, отодвигает детонацию и улучшает охлаждение. Используется для форсирования на малых высотах. Вторая группа увеличивает количество кислорода, которого не хватает на больших высотах, где она и используется для форсирования.

Авиационный бензин 100 LL спецификаций Derd 2485 и ASTM D 910 был допущен к применению на отечественной авиационной технике как взаимозаменяемый с авиационным бензином Б-91/115 при выполнении

полетов за рубежом в соответствии с "Перечнем зарубежных ГСМ, допущенных к применению на авиатехнике советского производства", разработанным ЦИАМ им. П.И. Баранова и утвержденным заместителем министра авиационной промышленности СССР 02 апреля 1987 г., и имеет более высокие эксплуатационные свойства по сравнению с отечественным аналогом.

Применение наддува на авиационных поршневых двигателях повышает требования к топливу. Степень сжатия эксплуатирующихся отечественных авиационных поршневых двигателей находится в пределах 6-7 единиц, тогда как у современных автомобильных двигателей этот параметр находится в диапазоне 9,5-10,5. Несмотря на это, при применении наддува для авиационных двигателей с более низкой степенью сжатия, по сравнению с автомобильными, применяется бензин с более высоким октановым числом. Это объясняется тем, что авиационные поршневые двигатели имеют в конце такта сжатия более высокую температуру и давление топливо-воздушной смеси. Применение наддува для авиационного двигателя выгоднее повышения степени сжатия, поскольку наддув не только увеличивает мощность, но и способен поддерживать ее до расчетной высоты. Повышение же степени сжатия ведет к значительно более интенсивному росту давления в цилиндрах, чем мощности. Поэтому для исключения детонации при применении АИ-95 необходимо ограничивать давление наддува для АШ-62ИР. Двигатель М-14П имеет на взлетном режиме сравнительно низкий наддув, поэтому при работе на АИ-95 он не ограничивается.

В авиационном бензине смол образуется меньше, чем в автомобильном. Поэтому эксплуатация авиационного двигателя на АИ-95 приводит к увеличению отложения нагара на деталях двигателя (например на фасках выпускных клапанов, что вызывает опасность их прогара и заклинивания клапанов). Это явление характерно, например, для АШ-62ИР. При эксплуатации этого двигателя повышенное внимание необходимо проявлять

к компрессии в цилиндрах и не пренебрегать процедурой очистки клапанов выпуска от нагара. Рекомендуется проверка компрессии через каждые 10 часов наработки двигателя. Заправлять самолет автомобильным топливом лучше через отдельные фильтры, не полагаясь на имеющиеся в системе, которые могут забиться отложениями. Смешивать автомобильный и авиационный бензины не рекомендуется. На самолетах АН-2 удобно в одну группу баков заправлять, например Б91/115, а во вторую - АИ-95 и пользоваться четырехходовым краном.

Эксплуатация таких систем, как зажигания и охлаждения для авиационных поршневых двигателей не имеет каких-либо значительных отличий от эксплуатации аналогичных автомобильных систем.

В эксплуатации авиационных поршневых двигателей большую роль играет уровень подготовки и внимательность летного и технического состава. Так, например гибель известного летчика Валерия Чкалова 15 декабря 1938 г. при испытаниях истребителя И-180 по заключении комиссии по расследованию ее обстоятельств явилась следствием «отказа мотора в результате его переохлаждения и ненадежной конструкции управления газом» , а также решения о вылете на неисправном самолете, принятом конструктором Н.Н.Поликарповым и самим пилотом. При отсутствии у двигателя элементов системы регулируемого охлаждения (жалюзи), опытных, неопробованных, винте и карбюраторе и температуре окружающего воздуха  $-25^{\circ}$  двигатель вышел из строя, хотя большой опыт конструктора и пилота позволял им это предотвратить.

В заключение лекционного курса хочется отметить следующее. Высокая термодинамическая эффективность рабочего цикла поршневого ДВС (в отличие, например от ГТД), а также отлаженность технологии их производства (поршневой ДВС является самой распространенной тепловой машиной при более низкой себестоимости производства) позволяет предположить, что в ближайшие годы вновь появится интерес к этому типу

авиационного двигателя. В его эксплуатации есть много общего с автомобильными двигателями, что позволит обеспечить ее должный уровень.

### ***Контрольные вопросы***

1. Ресурс авиационного двигателя измеряется:

**а) В часах его работы (правильно);**

б) В часах налета самолета за его жизненный цикл;

в) В часах работы на больших оборотах.

2. Ресурс лучших отечественных авиационных поршневых двигателей находился в диапазоне:

а) 100000 часов;

**б) Около 800 часов (правильно);**

в) 50 часов.

3. Эксплуатация сверх назначенного ресурса авиационного двигателя:

А) Не допускается;

**Б) Допускается после ремонта (правильно);**

В) Разрешена при соблюдении правил безопасности.

4. Авиационный поршневой двигатель развивает большую мощность на режиме:

а) Номинальной мощности;

б) Крейсерской мощности;



**в) Взлётном (правильно).**

5. При эксплуатации авиационных поршневых двигателей должно использоваться:

а) Масло с высокой вязкостью;

б) Масло с низкой вязкостью;

**в) Масло, рекомендованное заводом-изготовителем двигателя (правильно).**

6. В авиационном поршневом двигателе автомобильный бензин:

**а) Не может использоваться без внесенных изменений в конструкцию (правильно);**

б) Легко может использоваться вместо авиационного;

в) Может использоваться в летнее время.

7. В авиационных бензинах использование тетраэтилсвинца:

**а) Продолжается (правильно);**

б) Запрещено;

в) Ограничено условиями полета.

8. Подготовка летного состава:

а) Не влияет на эксплуатацию авиадвигателя;

**б) Является одним из факторов, определяющих эксплуатацию авиадвигателя (правильно);**

в) Позволяет увеличивать значение назначенного ресурса.

9. Содержание механических примесей в авиационном масле:

а) Способно увеличить ресурс;

**б) Повышает вероятность отказа двигателя (правильно);**

в) Снижает время работы двигателя на земле.

10. Какие отказы авиационных двигателей труднее спрогнозировать:

**а) Внезапные (правильно);**

б) Параметрические;

в) Полётные.