

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ И АВИАЦИОННЫХ ДВС

*Утверждено Редакционно - издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

САМАРА
Издательство СГАУ
2006

УДК 621.431

ББК 31.365

Э414



**Инновационная образовательная программа
"Развитие центра компетенции и подготовка
специалистов мирового уровня в области
аэрокосмических и геоинформационных
технологий"**

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В. Н. Матвеев
д-р техн. наук А. Д. Росляков

Авторы: С. В. Лукачев, С. Г. Матвеев, М. Ю. Орлов, Ю. Л. Ковылов, А. П. Толстоногов

Э414 **Эксплуатация автомобильных и авиационных ДВС: учеб. пособие /**
Лукачев С. В., Матвеев С. Г., Орлов М. Ю., Ковылов Ю. Л., Толстоногов А. П. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. – 428 с : ил.

ISBN 5 – 7883 – 0424 – 5

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 студентов, высших учебных заведений обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания».

УДК 621.431

ББК 31.365

ISBN 5 – 7883 – 0424 – 5

© Лукачев С. В., Матвеев С. Г., Орлов М. Ю., Ковылов Ю. Л., Толстоногов А. П., 2006

© Самарский государственный аэрокосмический университет, 2006

Аннотация

В учебном пособии 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 студентов, высших учебных заведений обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания».

Введение

Роль поршневых двигателей в обеспечении транспортных потребностей населения Земли трудно переоценить. Эти двигатели помогают человеку передвигаться на автомобилях по суше, на самолетах по воздуху и на судах по воде. 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. Например, с первоначальных 6...7 единиц степень сжатия у бензиновых двигателей возросла до 10, значительно увеличился рабочий объем двигателей, усложнились системы питания, охлаждения и смазки. В современных поршневых двигателях увеличилась нагрузка на кривошипно - шатунный и газораспределительный механизмы, используются другие топлива, масла и охлаждающие жидкости.

Существующие тенденции проектирования и особенности эксплуатации автомобильных двигателей заключаются в увеличении их моторесурса и интервалов обслуживания. Все это неизбежно приводит к тому, что эксплуатация поршневых двигателей в настоящее время становится сложной задачей, справиться с которой может лишь грамотный, квалифицированный специалист. Такой специалист должен обладать высоким уровнем теоретических знаний. Решению этой проблемы и посвящена данная книга.

В объеме данного пособия невозможно охватить все многообразие проблем, возникающих в работе специалиста, поэтому авторы и не ставили перед собой такой цели. Они стремились в пределах одной книги показать основные проблемы эксплуатации со-

временных поршневых двигателей и используемые пути их решения.

Для более качественного восприятия излагаемого материала авторы включили в разделы книги схемы и описания основных систем и механизмов ДВС, характеристики рабочих жидкостей, указали основные, наиболее типичные неисправности ДВС, методы их поиска и устранения. Каждый раздел завершается списком контрольных вопросов. Таким образом, данное издание может быть использовано не только в процессе преподавания обобщающей дисциплины «Эксплуатация ДВС» по специальности «Двигатели внутреннего сгорания», но и для занятий по другим дисциплинам этой специальности.

Оглавление

Введение	8
1 Краткая история развития и классификация ДВС	10
2 Устройство и рабочий цикл двигателя	15
2.1 Принцип действия поршневого двигателя и назначение его основных систем	15
2.2 Основные размеры и геометрические характеристики поршневых двигателей	21
2.3 Индикаторные и эффективные показатели работы поршневого двигателя	22
2.4 Основные параметры поршневых двигателей	27
2.5 Характеристики ДВС	29
3 Устройство механизмов и систем ДВС. Их основные неисправности	42
3.1 Кривошипно-шатунный механизм	42
3.2 Газораспределительный механизм	51
3.3 Системы охлаждения ДВС	63
3.3.1 Основные типы систем охлаждения, их достоинства и недостатки	63
3.3.2 Система жидкостного охлаждения поршневого двигателя	70
3.3.3 Система воздушного охлаждения поршневого двигателя.	103
3.4 Система смазки	119
3.4.1 Типы систем смазки ДВС	119
3.4.2 Ассортимент, эксплуатационные свойства и классификации моторных масел	128
3.4.3 Соответствие зарубежных классификаций отечественному ГОСТу	140

3.5	Системы питания ДВС различных типов	152
3.5.1	Назначение, структура и разновидности систем топливоподачи ДВС	152
3.5.2	Краткая характеристика топлив, применяемых в ДВС	154
3.5.3	Внешний вариант подготовки топливозвдушной смеси. Схемы его реализации	174
3.5.4	Принцип работы различных схем принудительной подачи бензина в систему подготовки топливозвдушной смеси	179
3.5.5	Системы распределённого впрыска бензина с электромагнитными форсунками и микропроцессорной системой управления	181
3.5.6	Системы топливоподачи дизелей	192
3.5.7	Системы топливоподачи ДВС, работающих на газообразном топливе	200
3.5.8	Системы топливоподачи газодизельных двигателей	207
3.6	Система зажигания в бензиновых двигателях	216
3.6.1	Источники электроэнергии для автомобиля	216
3.6.2	Контактная и бесконтактная системы зажигания бензиновых ДВС	219
3.6.3	Система пуска двигателя	232
4	Взаимосвязь характеристик двигателя и автомобиля	238
5	Возникновение неисправностей и отказов ДВС	261
5.1	Причины выхода двигателей из строя	261
5.2	Нагруженность и теплонапряжённость деталей и узлов ДВС	262
5.3	Прочность и износостойкость деталей и узлов ДВС	264
5.4	Основные причины поломок и отказов ДВС	273

5.4.1	Предпосылки к возникновению неисправностей и отказов в ДВС, обусловленных рабочим циклом	273
5.4.2	Предпосылки к возникновению неисправностей и отказов в ДВС, обусловленных работой двигателя в экстремальных условиях	281
5.4.3	Неисправности и отказы ДВС, обусловленные конструктивно - производственными недостатками или эксплуатационными особенностями двигателя	284
5.4.4	Неисправности и отказы ДВС, обусловленные эксплуатацией	285
6	Основы поиска неисправностей ДВС	288
6.1	Диагностика неисправностей ДВС	288
6.2	Диагностика механической части ДВС	289
6.2.1	Диагностика неисправностей механической части ДВС по внешним признакам	289
6.2.2	Диагностика неисправностей механической части ДВС измерением компрессии	294
6.2.3	Диагностика неработающего ДВС по внешним признакам	297
6.2.4	Диагностика работы двигателя по состоянию свечей	299
6.2.5	Диагностика неисправностей двигателя по цвету выхлопных газов	302
6.2.6	Диагностика двигателя по составу выхлопных газов	303
6.2.7	Диагностика работающего двигателя по расходу топлива	305
6.2.8	Диагностика работающего двигателя по расходу масла	305

6.2.9	Определение причин возникновения неисправностей ДВС по характеру повреждения деталей	306
6.3	Поиск неисправностей в системах управления двигателем	306
6.3.1	Оборудование для определения причин отказов систем управления ДВС	306
6.3.2	Поиск неисправностей в системах впрыска топлива	309
6.3.3	Поиск неисправностей в системе зажигания	312
7	Ремонт ДВС	317
7.1	Основные сведения о ремонте поршневых двигателей	317
7.2	Контроль мощности и крутящего момента двигателя после ремонта	334
8	Особенности конструкции и эксплуатации авиационных поршневых двигателей	341
8.1	Особенности авиационных поршневых ДВС и требования к ним	341
8.2	Режимы работы авиационного поршневого ДВС	347
8.3	Общее устройство и работа основных систем авиационных поршневых двигателей	349
8.3.1	Кривошипно-шатунный механизм авиационных поршневых двигателей	352
8.3.2	Газораспределительный механизм авиационных поршневых двигателей	365
8.3.3	Системы охлаждения авиационных поршневых двигателей	369
8.3.4	Система смазки авиационных поршневых двигателей	375

8.3.5	Системы питания авиационных поршневых двигателей	382
8.3.6	Системы зажигания авиационных поршневых двигателей	396
8.3.7	Редукторы	400
8.3.8	Использование турбонаддува для обеспечения работы двигателя на высоте	402
8.3.9	Пусковые устройства	409
8.3.10	Авиационные дизельные двигатели	412
8.4	Характеристики авиационных поршневых двигателей	414
	Глоссарий	420

1 Краткая история развития и классификация ДВС

Принято считать, что изобретателем двигателя внутреннего сгорания (ДВС) является выдающийся голландский ученый **Х. Гюйгенс** (1629-1695), предложивший в 1678 г. двигатель, который должен был использовать в качестве топлива порох. В 1860 году бельгийским инженером **Э. Ленуаром** (1822-1900) был построен первый промышленный двигатель внутреннего сгорания, 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** (1833-1895) и **Н. Отто** (1832-1891) создали более эффективный газовый двигатель, а в 1876 году Н. Отто построил четырехтактный двигатель, работавший с использованием цикла, получившим название по его фамилии. Быстроходный ДВС, построенный германским инженером **Г. Даймлером** (1834-1900) в 1885 и запатентованный им в 1887, дал толчок использованию ДВС в наземном транспорте. Он же и его соотечественник **К. Бенц** (1844-1929) стали изобретателями карбюратора, позволившего перевести тогдашние ДВС с газа на жидкое топливо. Германский инженер **Р. Дизель** (1858-1913) построил в 1891 году ДВС с воспламенением смеси от сжатия.

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** (1851-1916). Поскольку двигатель предназначался для дирижабля, его в некотором роде можно считать одним из первых авиационных поршневых двигателей. И.С. Костович впервые на ДВС применил электрическое зажигание и встречное движение поршней в opposитно 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 **Б.Г.Луцкой** (1865-1920) 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.

Использование бензиновых ДВС в наземном транспорте началось с независимых работ Г. Даймлера и К. Бенца. В 1886 году К. Бенц построил первый в мире автомобиль, одноцилиндровый четырехтактный двигатель которого развивал мощность 0,85 лошадиных сил при 200 оборотах в минуту. 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 К. Бенц первым предложил годный для эксплуатации прообраз современного автомобиля, а Р. Даймлер с В. Майбахом первыми запустили в производство функциональный бензиновый автомобильный двигатель. Первый русский автомобиль был построен в 1896 г. петербургскими изо-

бретателями - отставным морским офицером **Е. А. Яковлевым** (1857-1898) и инженером **П. А. Фрезе** (1844-1918). Автомобиль оснащался двигателем конструкции Е. А. Яковлева и был построен на его заводе.

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

Таким образом, история развития ДВС насчитывает более 100 лет, на протяжении которых его конструкция претерпела значительные изменения, а характеристики существенно улучшились. В настоящее время ДВС нашли широкое применение на воздушном, наземном и водном транспорте, в различных энергетических установках.

В настоящее время ДВС классифицируются 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. 1.1), горизонтальным и наклонным расположением; двухрядные (в том числе с V –образным (рис. 1.2)

и оппозитным расположением), звездообразные (рис. 1.3);

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 пособии в основном будут рассматриваться автомобильные ДВС (относящиеся к наземно-транспортным) и авиационные.



Рис. 1.1. ДВС легкового автомобиля с однорядным вертикальным расположением цилиндров



Рис. 1.2. ДВС грузового автомобиля с V-образным расположением цилиндров



Рис. 1.3. Авиационный ДВС с звездообразным расположением цилиндров

Контрольные вопросы

1. Кем был разработан и реализован четырехтактный цикл?
2. Какой вклад внесли отечественные конструкторы и ученые в развитие ДВС?
3. По каким признакам классифицируются ДВС?
4. Как различаются ДВС по расположению цилиндров в блоке?
5. Какие основные способы воспламенения используются в ДВС?
6. Как классифицируются ДВС по назначению?
7. Какие значения степеней сжатия у двигателей высокого и низкого сжатия?

2 Устройство и рабочий цикл двигателя

2.1 Принцип действия поршневого двигателя и назначение его основных систем

Движение любого транспортного устройства (ТУ) осуществляется с помощью силы тяги. Для ее создания ТУ оснащают силовой установкой (СУ), включающей в себя два основных агрегата: движитель (ДЖ) и двигатель (ДВ).

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 ТУ. Для поддержания силы тяги движитель расходует механическую энергию. В соответствии с законом сохранения энергии, ее расход должен быть уравновешен подводом к ДЖ такого ее количества, которое компенсировало бы затраты. Причём, подводимая энергия должна быть того же вида, что и расходуемая, т.е. механической.

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

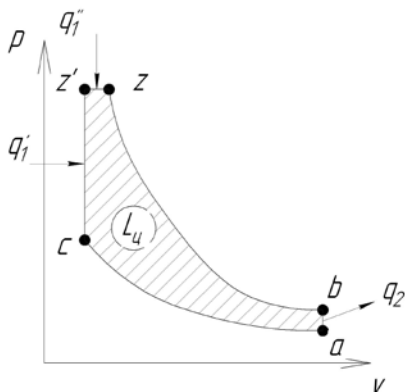


Рис. 2.1. Идеальный термодинамический цикл изменения параметров рабочего тела двигателя

Двигатель – это агрегат, предназначенный для получения механической энергии из какого-либо другого её вида. Наиболее широкое распространение на ТУ 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. 2.1) 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 ТУ должен быть запас тепловой энергии. Современные тепловые аккумуляторы не способны обеспечить ни мощности, ни продолжительности работы, которые требуются от транспортных СУ. 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.

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 ТУ 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 ТУ 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 сгора-**

ния) 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.

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. 2.2. 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 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, обладаю-

щего 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 рис. 2.2 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.

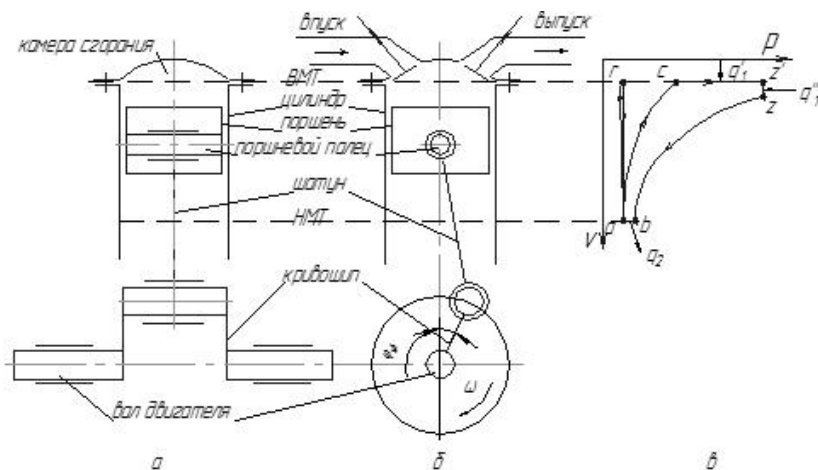


Рис. 2.2. Схема и принцип действия ЦПГ и КШМ

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. 2.1) является замкнутым, поскольку при его повторении рабочее тело не меняется. В реальном двигателе за цикл (рис. 2.2 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 (см. рис. 2.2 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 $\varphi_{кг} = 180^\circ$.

Использование в ДВС процесса горения для получения тепла накладывает заметный отпечаток на структуру этих двигателей. Чтобы химическая энергия в этом процессе за очень короткий

промежуток времени по возможности полностью преобразовалась в тепловую, необходима подготовка качественной горючей смеси топлива с воздухом (ТВС) и её чёткое воспламенение в заданный момент времени. Различают двигатели с внешним и внутренним смесеобразованием.

В ДВС с внешним смесеобразованием ТВС готовится в специальном узле – **карбюраторе**. В процессах $r-a$ и $a-c$ рабочим телом является ТВС. Как правило, в таких двигателях в качестве горючего используется бензин. Бензо-воздушная смесь при параметрах (p, v, T) в точке c не способна к самовоспламенению. Поэтому процесс горения в этих двигателях начинается с поджигания горючей смеси в нужный момент электрической искрой.

Очевидно, что в структуре бензиновых ДВС с внешним смесеобразованием должны присутствовать:

- **топливная система**, предназначенная для подачи бензина из бака в карбюратор;
- **воздушная система** для подачи воздуха в карбюратор;
- **карбюратор** (или аналогичный по назначению узел) для подготовки ТВС;
- **электрическая система**, обеспечивающая в нужный момент образование в камере сгорания электрической искры достаточной мощности.

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

Если впрыскивается бензин, то по указанным выше причинам двигатель оснащается электрической системой принудительного поджигания бензо-воздушной смеси. 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:

- **запас энергоносителя (бак) и топливная система;**
- **воздушная система, являющаяся частью впускной системы;**
- **система подготовки ТВС;**
- **выпускная система;**
- **ГРМ;**
- **система зажигания (в бензиновых ДВС);**
- **система охлаждения;**
- **система смазки;**

- система управления ДВС (включает в себя системы запуска и выключения двигателя и т.д.)

В самом общем случае принято считать, что все указанные выше элементы ДВС можно свести к **кривошипно-шатунному и газораспределительным механизмам, системам охлаждения, смазки, питания и зажигания**. В последнее время к ним также добавилась **система управления двигателем**, без которой невозможна работа двигателя, оснащенного впрыском топлива.

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.

2.2 Основные размеры и геометрические характеристики поршневых двигателей

Основными конструктивными размерами ДВС, определяющими его габариты, массу, стоимость, срок службы и другие показатели, являются диаметр цилиндра и ход поршня, иногда называемые **размерностью двигателя**.

Ходом поршня (S) называется путь, пройденный им от одной «мертвой» точки до другой. Двигатели, у которых ход поршня меньше диаметра цилиндра называются короткоходными. Диаметр цилиндра и ход поршня определяют величину рабочего объема цилиндра и литраж двигателя.

Объемом камеры сгорания называется объем, расположенный над поршнем, находящимся в ВМТ - V_c .

Рабочим объемом цилиндра называется объем, заключенный между ВМТ и НМТ - V_h .

Полным объемом цилиндра является сумма объемов камеры сгорания и рабочего объема: $V_a = V_h + V_c$.

Литраж двигателя - сумма рабочих объемов всех цилиндров двигателя, традиционно измеряемая в литрах.

Степень сжатия - отношение полного объема цилиндра к объему камеры сгорания.

2.3 Индикаторные и эффективные показатели работы поршневого двигателя

Индикаторные показатели /1...4/ 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 η_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. 2.3). 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 (рис. 2.3). 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.

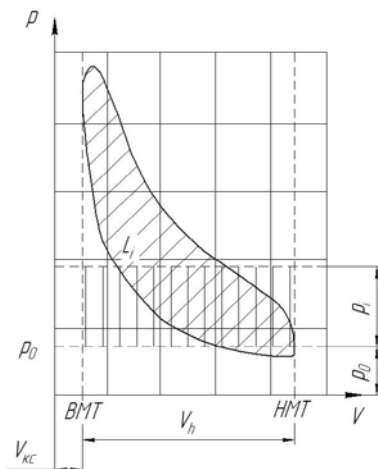


Рис. 2.3. Индикаторная диаграмма и среднее индикаторное давление

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 τ – 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, η_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 η_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:

$$G_T = g_e \cdot N_e.$$

2.4 Основные параметры поршневых двигателей

Для оценки и сравнения поршневых двигателей, кроме конструктивных размеров, применяют ряд **термодинамических, динамических, технологических параметров** /6/.

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:

$$N_l = \frac{N_e}{V_h \cdot i}$$

или

$$N_l = \frac{P_e \cdot n}{30 \cdot \tau}.$$

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:

$$G_l = \frac{G_D}{N_e}.$$

2.5 Характеристики ДВС

Работу двигателя в различных эксплуатационных условиях можно проанализировать на основе его характеристик /1...4, 7/. **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 :

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

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 полуоче-

на 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 α 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 нагруз-

кой (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 вертолётов) 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**. С учетом этих параметров подбираются оптимальные значения углов опережения зажигания и составов ТВС при любых изменяющихся условиях эксплуатации ДВС.

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** (рис. 2.4). Основной 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.

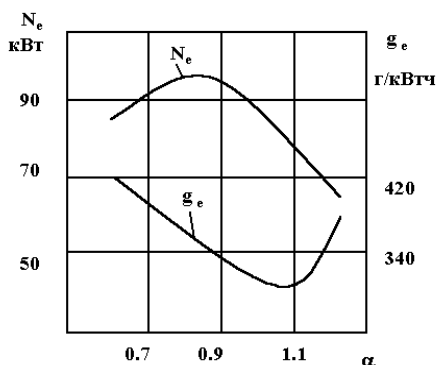


Рис. 2.4. Пример типичной регулировочной характеристики по составу смеси

Регулировочная характеристика по опережению зажигания показывает связь между эффективной мощностью, удельным расходом топлива и других показателей работы ДВС с углом опережения зажигания (рис. 2.5.).

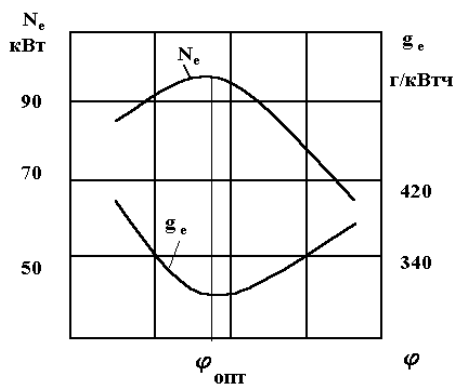


Рис. 2.5. Пример регулировочной характеристики по опережению зажигания

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. 2.6) 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 [7].

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

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

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, s^{-1} ;

n_e – частота вращения, соответствующая максимальной мощности, s^{-1} ;

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 ₁	B ₁	C ₁
Бензиновые	1	1	1	1,2	1	0,8
Дизельные:						
с непосредственным впрыском	0,87	1,4	1	1,55	1,55	1
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.

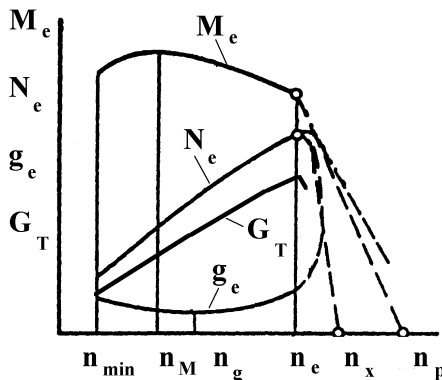


Рис. 2.6. Общий вид скоростной характеристики двигателя

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. 2.7).

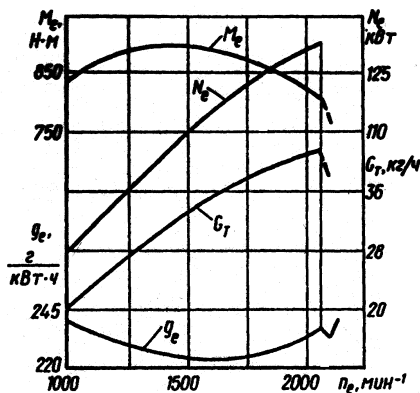


Рис. 2.7. Пример внешней скоростной характеристики

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. 2.8 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.

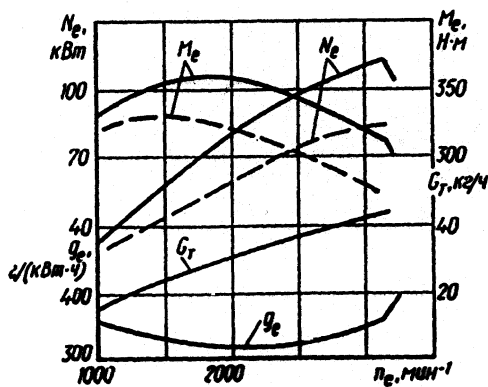


Рис. 2.8. Внешняя и частичная скоростные характеристики ДВС

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. 2.9.

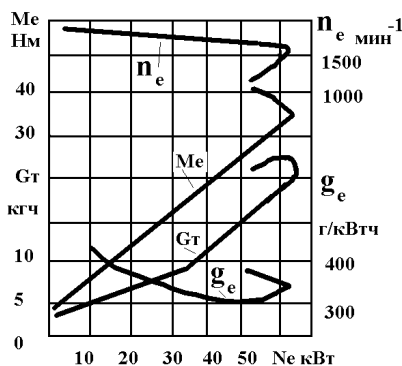


Рис. 2.9. Регуляторная характеристика дизеля

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. 2.10 приведены нагрузочные характеристики двигателей ЗИЛ-131 и ЯМЗ-236 [7]. Нагрузочные, характеристики позволяют оценить топливную экономичность двигателя при различных режимах его работы (по оборотам вала и нагрузке).

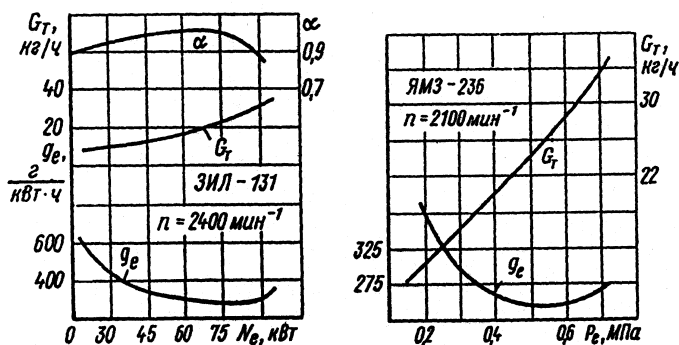


Рис. 2.10. Нагрузочные характеристики

Контрольные вопросы

1. В чем заключаются отличия двигателя и движителя?
2. Как работает четырехтактный поршневой двигатель?
3. Какие основные системы необходимы для эффективного функционирования ДВС?
4. Какими величинами определяется размерность поршневых двигателей?

5. От чего зависит назначаемый при проектировании двигателя уровень степени сжатия?
6. Назовите основные индикаторные и эффективные показатели ДВС.
7. В чем отличия эффективной и индикаторной мощностей?
8. Дайте определение и поясните суть характеристики ДВС.
9. Как экспериментально получают внешнюю скоростную характеристику ДВС на стенде?
10. Перечислите и опишите характеристики, которые используются при анализе работы ДВС.

Список использованной литературы

1. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»/ *С. И. Ефимов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин и др.*; под общ. ред. *Орлина А. С., Круглова М. Г.*. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»/ *В. П. Алексеев, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин и др.*; под ред. *Орлина А. С., Круглова М. Г.*. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980, 288 с., ил.
3. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов: Учеб./ *В. Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян и др.*; под ред. *Луканина В. Н.*. – М.: Высш. шк., 1995. – 368 с., ил.
4. Автомобильные и тракторные двигатели. (Теория, системы питания, конструкция и расчет)/ Под ред. *Ленина*

- И. М.*. Учебник для вузов по специальности “Автомобили и тракторы”. М.: Высш. шк., 1969.
5. Конструкция и расчет автотракторных двигателей. Учебник для высших технических учебных заведений/ под ред. проф. *Степанова Ю. А.*. М.: Машгиз, 1964. – 552 с., ил.
 6. *Колчин А. И., Демидов В. П.*. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. М.: Высш. шк., 2002. – 496 с., ил.
 7. Материалы сайта Петрозаводского государственного университета, кафедры тяговых машин
 8. <http://web.petrso.ru/~forest/courses/pump/Pump.htm>

Контрольные вопросы

1. В чем заключаются отличия двигателя и движителя?
2. Как работает четырехтактный поршневой двигатель?
3. Какие основные системы необходимы для эффективного функционирования ДВС?
4. Какими величинами определяется размерность поршневых двигателей?
5. От чего зависит назначаемый при проектировании двигателя уровень степени сжатия?
6. Назовите основные индикаторные и эффективные показатели ДВС.
7. В чем отличия эффективной и индикаторной мощностей?
8. Дайте определение и поясните суть характеристики ДВС.
9. Как экспериментально получают внешнюю скоростную характеристику ДВС на стенде?
10. Перечислите и опишите характеристики, которые используются при анализе работы ДВС.

Список использованной литературы

1. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»/ *С. И. Ефимов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин и др.*; под общ. ред. *Орлина А. С., Круглова М. Г.*. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»/ *В. П. Алексеев, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин и др.*; под ред. *Орлина А. С., Круглова М. Г.*. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980, 288 с., ил.
3. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов: Учеб./ *В. Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян и др.*; под ред. *Луканина В. Н.*. – М.: Высш. шк., 1995. – 368 с., ил.
4. Автомобильные и тракторные двигатели. (Теория, системы питания, конструкция и расчет)/ Под ред. *Ленина И. М.*. Учебник для вузов по специальности “Автомобили и тракторы”. М.: Высш. шк., 1969.
5. Конструкция и расчет автотракторных двигателей. Учебник для высших технических учебных заведений/ под ред. проф. *Степанова Ю. А.*. М.: Машгиз, 1964. – 552 с., ил.
6. *Колчин А. И., Демидов В. П.*. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. М.: Высш. шк., 2002. – 496 с., ил.
7. Материалы сайта Петрозаводского государственного университета, кафедры тяговых машин
8. <http://web.petrSU.ru/~forest/courses/pump/Pump.htm>

3. Устройство механизмов и систем ДВС. Их основные неисправности

3.1. Кривошипно-шатунный механизм

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. 3.1.1) 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. 3.1.2).

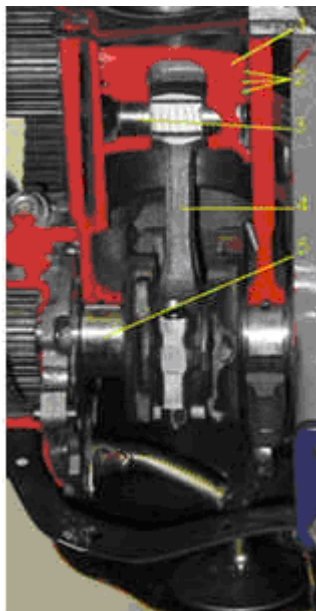


Рис. 3.1.1. Подвижные части кривошипно-шатунного механизма (внизу - поддон двигателя):
1-поршень; 2-поршневые кольца; 3-поршневой палец; 4-шатун; 5-коленчатый вал

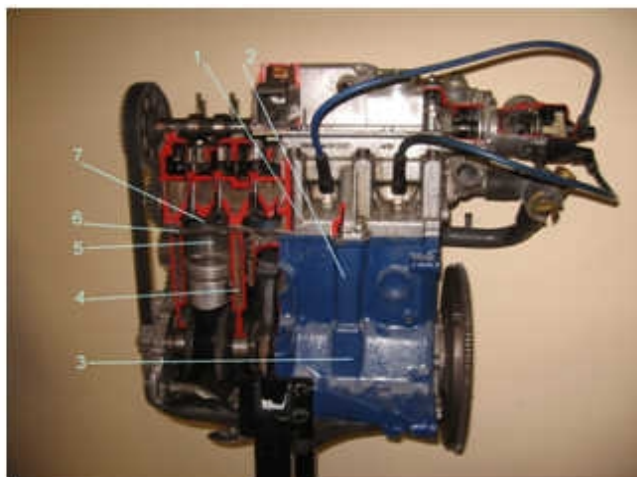


Рис. 3.1.2. Блок и головка блока цилиндров (справа на двигателе расположен маховик, относящийся к подвижным частям КШМ):
1-головка блока цилиндров; 2-блок цилиндров; 3-верхняя часть картера; 4-рубашка охлаждения; 5-цилиндр; 6-прокладка головки цилиндра; 7-камера сгорания.

Поршни перемещаются в цилиндрах и связаны шатунами с коленчатым валом, который вращается в подшипниках (см. рис. 3.1.3, 3.1.4, 3.1.6). Поршень состоит из днища, обращенного к камере сгорания, уплотняющей и направляющей части. Днище и уплотняющая часть называются головкой поршня. В головке поршня выполнены канавки для поршневых колец.

Поршневые кольца подразделяются на компрессионные и маслосъемные. Первые обеспечивают уплотнение между стенкой цилиндра и поршнем, а вторые снимают излишки масла со

стенок цилиндра, чтоб исключить его попадание в камеру сгорания. Визуально маслосъемные кольца легко отличить от компрессионных по наличию сквозных прорезей для прохода масла. Соответственно в поршне канавки для маслосъемных колец имеют отверстия для отвода масла внутрь поршня.



Рис. 3.1.3. Поршень двигателя VAZ-2105 (вид сбоку) - хорошо видны приливы для крепления пальца и канавки для колец

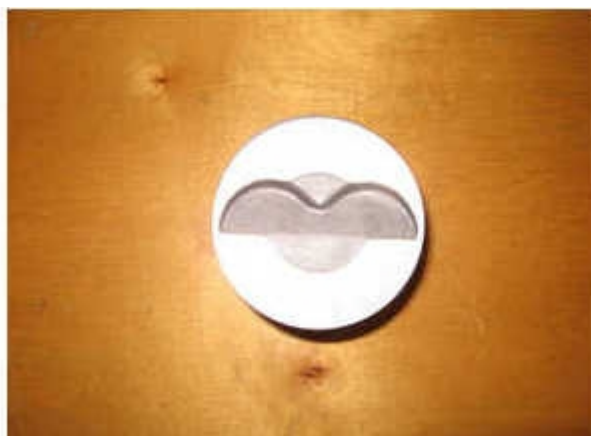


Рис. 3.1.4. Поршень двигателя VAZ-2105 (вид со стороны камеры сгорания) - хорошо видны выемки под клапаны, которые положительно влияют и на оптимизацию процесса смесеобразования

Шатун (см. рис. 3.1.5) передает усилие от поршня к коленчатому валу. Верхняя головка шатуна пальцем соединена с поршнем, а нижняя часть шатуна – с коленчатым валом. Шатун состоит из верхней головки, стержня и разъемной нижней головки, закрепляемой на коленчатом валу.



Рис. 3.1.5. Шатун двигателя VAZ-2108 (верхняя и нижняя части в сборе)

Поршневой палец служит для шарнирного соединения поршня с верхней головкой шатуна (см. рис. 3.1.6).

Коленчатый вал (рис. 3.1.7) воспринимает усилия, передаваемые от поршней шатунами, преобразуя их в крутящий момент. На коленчатом валу расположены коренные и шатунные шейки, щеки, соединяющие их, противовесы, фланец для крепления маховика. Шатунная шейка с щеками образуют кривошип. Противовесы служат для разгрузки коренных подшипников от центробежных сил, величина которых может оказаться значительной, т.к. частота вращения коленчатого вала достигает 5000 - 6000 об/мин.



Рис. 3.1.6. Поршень двигателя VAZ-2112 в сборе с шатуном (хорошо виден палец)



Рис. 3.1.7. Коленчатый вал двигателя VAZ-2101

Форма коленчатого вала и расположение его кривошипов зависят от числа и расположения цилиндров, а также от чередования рабочих ходов. Число шатунных шеек у двигателей с рядным расположением цилиндров равно числу цилиндров, а у V-образных - половине числа цилиндров. Если между двумя смежными коренными опорами размещается только одна шатунная шейка, то такой коленчатый вал называется полноопорным.

Маховик (рис. 3.1.8) предназначен для вывода КШМ из мертвых точек, повышает равномерность вращения коленчатого вала при малых частотах его вращения и передает крутящий момент с вала двигателя трансмиссии автомобиля. По ободу маховика располагаются зубья, предназначенные для вращения коленчатого вала двигателя стартером при запуске. К маховику также крепится механизм сцепления.



Рис. 3.1.8. Маховик двигателя

Блок цилиндров включает в себя цилиндры, служащие направляющими для поршней и геометрически организующие рабочий объем двигателя, стенки рубашки охлаждения и верхнюю часть картера (см. рис. 3.1.9). Как правило, блоки автомобильных двигателей изготавливаются из чугуна или алюминия. Иногда стенки цилиндров выполняются в виде съемной гильзы, что позволяет упростить ремонт блока. Поверхность цилиндра или гильзы, обращенную к поршню называют зеркалом. В блоке цилиндров также расположены постели для коренных подшипников коленчатого вала и подшипников распределительного вала.



Рис. 3.1.9. Блок - картер без поддона

Головка цилиндров (см. рис. 3.1.10) включает камеры сгорания, резьбовые отверстия свечей зажигания, впускные и выпускные каналы, запрессованные седла и направляющие клапанов. Как и блок цилиндров, головка имеет рубашку охлаждения для протока охлаждающей жидкости, сообщающуюся отверстиями с рубашкой охлаждения блока. Герметичность этого соединения обеспечивается металлоасбестовой прокладкой (рис. 3.1.11).



Рис. 3.1.10. Головка блока без крышки



Рис. 3.1.11. Прокладка между блоком и головкой

Поддон - нижняя часть картера, предохраняющая картер от попадания в него посторонних предметов и служащая резервуаром для масла. Как правило, штампованный из стали, крепится болтами к верхней части картера. Поддон в сборе с блоком составляют блок - картер двигателя.

Основные неисправности кривошипно-шатунного механизма

1. При износе поршневых пальцев, шатунных и коренных подшипников в двигатели возникают **стуки**. Для их устранения необходимо заменить изношенные детали.
2. Из-за износа поршневых колец, поршней и цилиндров, залегания поршневых колец в канавках поршней возникает **повышенная дымность выхлопных газов**, как правило, сопровождаемая **падением давления в конце такта сжатия**. Для устранения неисправности следует заменить изношенные детали.
3. 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.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение и как работает кривошипно-шатунный механизм?
2. Какие детали входят в состав кривошипно-шатунного механизма? Их назначение.
3. Для чего в двигателе существует маховик?
4. Для чего применяются компрессионные и маслосъемные поршневые кольца?
5. От каких факторов зависит давление в конце такта сжатия?
6. Для чего на некоторых двигателях гильзы цилиндров выполняются съёмными?
7. Какие неисправности кривошипно-шатунного механизма вы знаете и каковы их причины?

3.2. Газораспределительный механизм

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. 3.2.1)

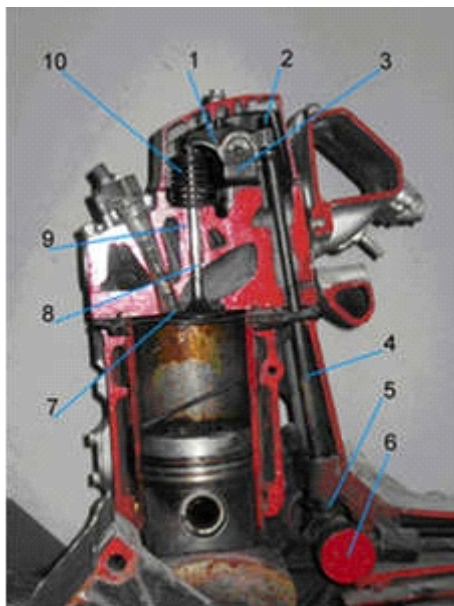


Рис. 3.2.1. Газораспределительный механизм:

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

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. 3.2.2)

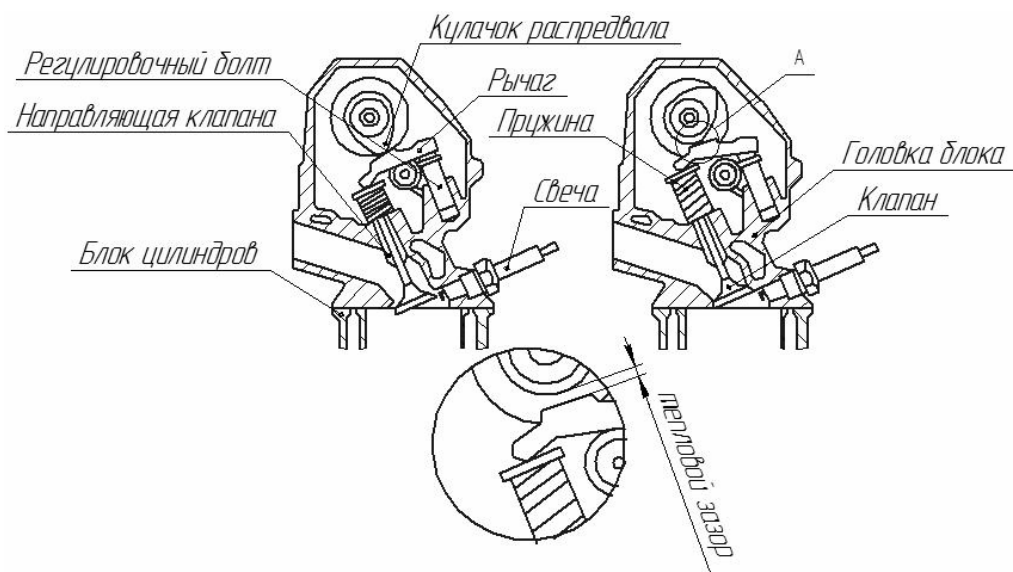


Рис. 3.2.2. Схема работы газораспределительного механизма двигателя с верхним расположением распределительного вала

В ГРМ двигателя ВАЗ-21083 вместо регулировочных винтов используются регулировочные шайбы (рис. 3.2.3).



Рис. 3.2.3. Внешний вид и устройство газораспределительного механизма двигателя ВАЗ-21083: 1 - кулачки распределительного вала, 2 - регулировочные шайбы

Рассмотрим детали, входящие в состав ГРМ.

Распределительный вал обеспечивает своевременное открытие и закрытие клапанов (см. рис. 3.2.4). Он изготавливается из стали или чугуна. Для установки в двигателе распределительный вал имеет опорные шейки. Как правило, их количество на единицу больше, чем число цилиндров. Для обеспечения установки вала в блок цилиндров диаметры опорных шеек последовательно уменьшаются, начиная с передней шейки. Обычно на распределительном валу карбюраторного ДВС располагаются: кулачки, шестерня привода масляного насоса и прерывателя-распределителя зажигания, эксцентрик привода топливного насоса.



Рис. 3.2.4. Распределительные валы ВАЗ-2101 и ВАЗ-2112

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. При вращении распределительный вал, воздействуя на кулачки, обеспечивает своевременное, согласованное с движением поршней в цилиндрах, открытие и закрытие клапанов. Распределительный вал приводится во вращение от коленчатого вала двигателя с помощью цепной передачи или зубчатого ремня (см. рис. 3.2.5 и 3.2.6). Натяжение цепи привода регулируется специальным натяжителем, а ремня - натяжным роликом. В четырехтактных двигателях рабочий цикл осуществляется за два оборота коленчатого вала. При этом впускные и выпускные клапаны открываются один раз, следовательно, распределительный вал вращается в два раза медленнее коленчатого вала. 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 (см. рис.1), 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.

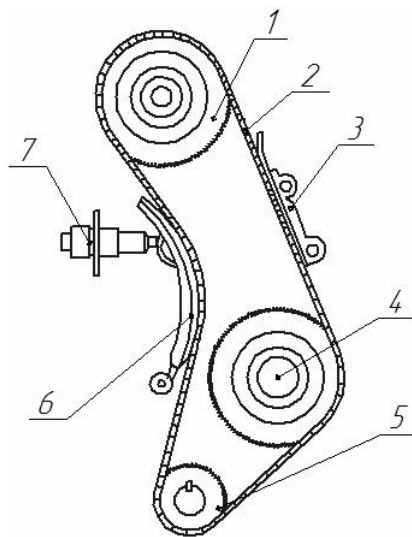


Рис. 3.2.5. Регулировка натяжения цепи привода ГРМ на автомобиле ВАЗ-2106:

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

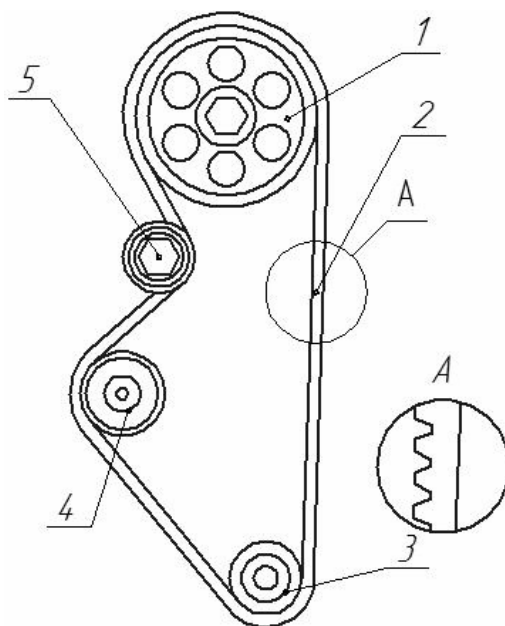


Рис. 3.2.6. Регулировка натяжения ремня привода ГРМ на автомобиле ВАЗ-2108:
1 - зубчатый шкив распределительного вала; 2 - зубчатый ремень; 3 - зубчатый шкив коленчатого вала; 4 - зубчатый шкив водяного насоса; 5 - натяжной ролик

Клапаны открывают и закрывают впускные и выпускные каналы. Они состоят из тарельчатой плоской головки и стержня (см. рис. 3.2.7). Для улучшения наполнения цилиндра топливовоздушной смесью диаметр головки впускного клапана делают больше, чем у выпускного клапана. Поверхность, по которой клапан контактирует с впускным или выпускным каналом, называется седлом клапана. Клапаны изготавливаются из легированных жаропрочных сталей. Седла клапанов часто делают вставными и изготавливают из жаростойкого чугуна. На стержне клапана крепится пружина, обеспечивающая возврат клапана в закрытое положение. На стержень клапана также устанавливают маслоотражательные колпачки из специальной маслостойкой резины для предотвращения подсоса масла.



Рис. 3.2.7. Внешний вид клапана

Толкатели предназначены для передачи усилия от кулачков распределительного вала к штангам. Торцы толкателей в месте контакта с кулачками для снижения износа выполняют сферическими. Толкатели перемещаются в направляющих отверстиях блока цилиндров.

Штанги передают усилия от толкателей к коромыслам, обычно имеют форму прутка. Одной стороной штанга упирается в толкатель, другой - в сферическую поверхность регулировочного болта, ввернутого в коромысло.

Коромысло передает усилие от штанги к клапану (см. рис. 3.2.8). Плечо коромысла со стороны клапана выполняется длиннее, для уменьшения подъема толкателя и штанги. Коромысла всех клапанов устанавливают на общую ось, укрепленную на стойках в головке цилиндров.

В зависимости от места установки клапанов относительно цилиндров, газораспределительные механизмы могут быть с нижним и верхним расположением клапанов. Продолжительность открытия впускных и выпускных клапанов, выраженная в градусах угла поворота коленчатого вала относительно мёртвых точек, называется фазами газораспределения. Фазы газораспределения изображаются круговой диаграммой, которая называется диаграммой фаз газораспределения. Период одновременного открытия впускного и выпускного клапанов называется перекрытием клапанов. Тепловой зазор (см. рис. 3.2.2) в приводе клапанов необходим для нормальной работы двигателя, поэтому он периодически проверяется и при необходимости регулируется.



Рис. 3.2.8. Ось коромысел, коромысла и пружины 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). 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 ручной регулировке зазоров клапанного механизма. Регулировка выполняется автоматически с помощью устройств, носящих название гидрокомпенсаторов.

Гидрокомпенсатор (см. рис. 3.2.9, 3.2.10) 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.

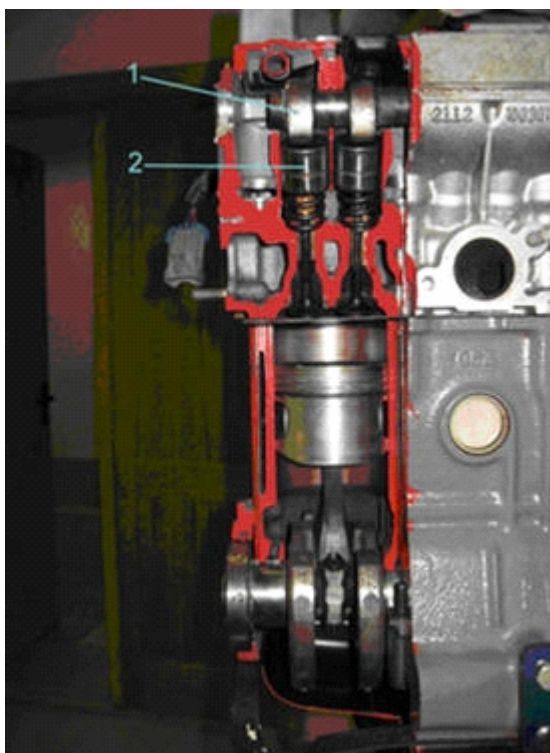


Рис. 3.2.9. ГРМ двигателя ВАЗ-2112 с гидрокомпенсаторами:
1 - распределительный вал, 2 - гидрокомпенсатор

Плунжерная пара - самая ответственная часть гидрокомпенсатора. Зазор между втулкой и плунжером составляет всего 5-8 микрон, что позволяет свободно перемещаться деталям относительно друг друга и сохранять герметичность соединения.

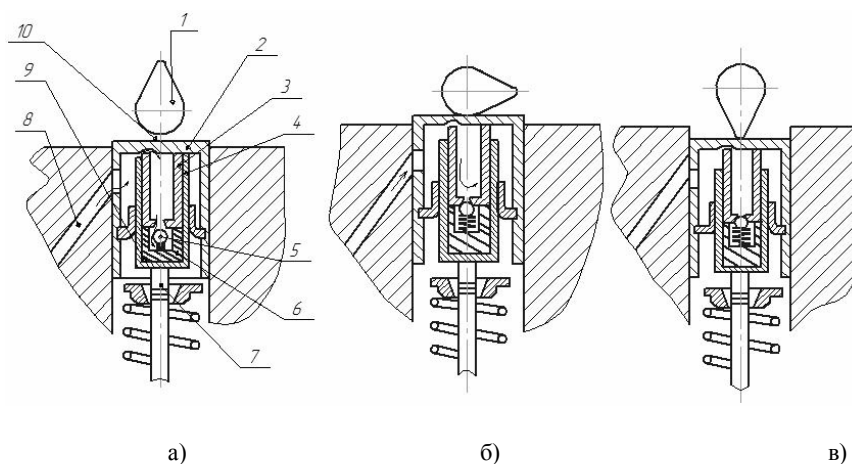


Рис. 3.2.10. Принцип работы гидрокомпенсатора:

- 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

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. Масло поступает в плунжер через масляный канал из системы смазки - рис. 3.2.10 (а). 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. 3.2.10 (б). Обратный клапан в этот момент закрывается, и плунжерная пара начинает работать как жесткий элемент, т.к. жидкость (масло) несжимаема, передавая усилие на клапан - рис. 3.2.10 (в). 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 .

Изменение фаз газораспределения в двигателе удается достичь либо поворотом

распределительного вала, либо с помощью дополнительных кулачков с измененным профилем. Такие системы при соответствующем усложнении конструкции ГРМ, повышают эффективность ДВС в довольно узких пределах. Наиболее оптимальны конструкции с индивидуальным приводом каждого клапана. В них в настоящее время используется электромагнитное управление клапанами, что позволяет использовать для управления фазами газораспределения микропроцессор.

Неисправности газораспределительного механизма

1. 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.

2. 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 регулировку натяжения цепи, ремня, либо их замену.

3. 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.

4. 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. 3.2.11). Производится замена привода и ремонт поврежденных элементов.



Рис. 3.2.11. Последствия обрыва ремня ГРМ (разрушение поршня и обрыв клапана)

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.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение газораспределительного механизма?
2. Как работает газораспределительный механизм?
3. Назовите основные детали газораспределительного механизма.
4. От чего зависит величина установленного теплового зазора в ГРМ двигателя?
5. Какие отличия имеются в конструкции газораспределительного механизма с верхним и нижним расположением распределительного вала?
6. Как производят регулировку клапанных механизмов различных ДВС?
7. Как работает гидрокомпенсатор теплового зазора в ГРМ двигателя ВАЗ-2112?
8. Назовите основные неисправности газораспределительного механизма?

3.3. Системы охлаждения ДВС

3.3.1. Основные типы систем охлаждения, их достоинства и недостатки

Оптимальное тепловое состояние поршневого двигателя должно поддерживаться при любых эксплуатационных условиях и режимах работы. Это состояние обеспечивается **системой охлаждения двигателя**, назначение которой состоит в отводе 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.

Это количество тепла подсчитывается по формулам /12, 13/:

– для бензиновых двигателей:

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

– для дизелей:

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

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;

ΔH_u - тепло, не использованное из-за неполноты сгорания топлива, Дж/кг;

α - коэффициент избытка воздуха.

Другим важным фактором является температура поверхностей наиболее теплонапряженных элементов - поршней, головок цилиндров и цилиндров.

Количество тепла $Q_{\text{охл}}$ является основной величиной, по которой определяются основные геометрические размеры теплоотводящих агрегатов (радиаторов), ребрения 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. 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3) автомобильных двигателей рассмотрим эксплуатационные преимущества и недостатки

каждой из них /1, 3, 5, 8, 9/. Система жидкостного охлаждения показана на рис. 3.3.1.

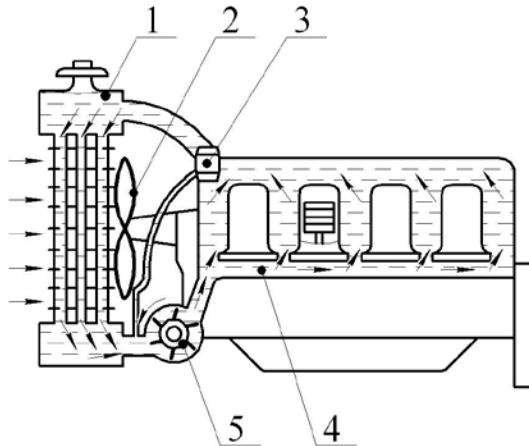


Рис. 3.3.1. Схема системы жидкостного охлаждения ДВС:

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

Преимущества системы жидкостного охлаждения:

а) более легкий пуск двигателя при отрицательных температурах окружающего воздуха, так как он более просто и быстро прогревается, а также имеет меньшие зазоры между поршнем и цилиндром;

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) пониженная надежность работы двигателя при отрицательных температурах окружающего воздуха вследствие возможного замерзания жидкости (воды) в системе;

в) относительно низкие температуры стенок цилиндров, способствующие повышенному коррозионному износу, особенно при работе на сернистых топливах;

г) повышенная трудоемкость обслуживания и ремонта, так как необходимо регулярно пополнять жидкостью и очищать систему охлаждения;

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. 3.3.2.

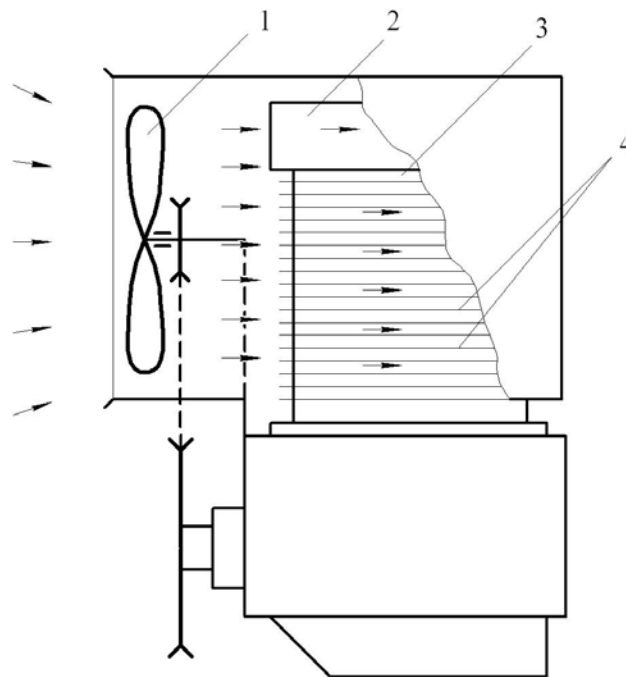


Рис. 3.3.2. Схема системы воздушного охлаждения двигателя:
1 - вентилятор; 2 - оребренная головка цилиндра; 3 - охлаждающие ребра цилиндра; 4 - дефлектор

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. 3.3.3.

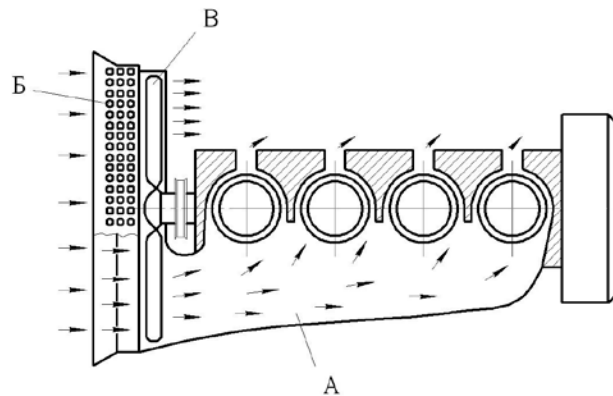


Рис. 3.3.3. Схема системы воздушно-жидкостного охлаждения:
 А - воздушный тракт охлаждения цилиндров; Б - радиатор жидкостного охлаждения головок цилиндров; В - вентилятор

Система охлаждения 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 /3/, 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.

3.3.2. Система жидкостного охлаждения поршневого двигателя

Классификация систем жидкостного охлаждения проводится по способу организации движения жидкости, омывающей охлаждаемые поверхности. Различают системы /1, 4, 9/:

а) **принудительного охлаждения**, в которых циркуляция жидкости обеспечивается специальным насосом, расположенным 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 теплоотсеивающее 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 - возможность попадания в систему взвешенных и растворенных примесей.

Схема термосифонной системы охлаждения представлена на рис. 3.3.4. Она является замкнутой и простейшей из всех систем охлаждения такого типа. Однако, вследствие малой интенсивности циркуляции жидкости, она почти не применяется.

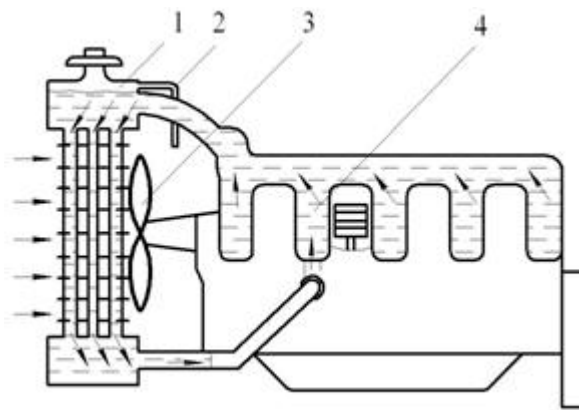


Рис. 3.3.4. Схема термосифонной системы охлаждения двигателя:
1 - радиатор; 2 - паротводная трубка; 3 - вентилятор; 4 - водяная рубашка

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 сообщаются с атмосферой, на автомобильных двигателях не применяются.

Подробная принципиальная схема жидкостной системы охлаждения показана на рис. 3.3.5.

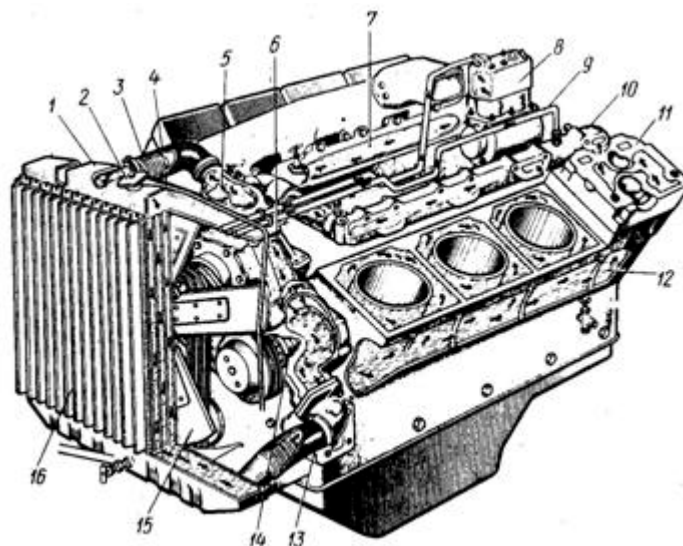


Рис. 3.3.5. Система жидкостного охлаждения автомобильного двигателя

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. Заливные горловины 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. Сливные краны располагают в самых низких точках системы охлаждения или ее элементов.

Кроме рассмотренных элементов, имеются дополнительные устройства систем жидкостного охлаждения: термометры, необходимые для контроля за тепловым состоянием двигателя; приборы сигнализации, гидромфты и др.

Часть тепла, отводимого от двигателя в жидкостную систему охлаждения, используется для обогрева кабины водителя (рис. 3.3.6).

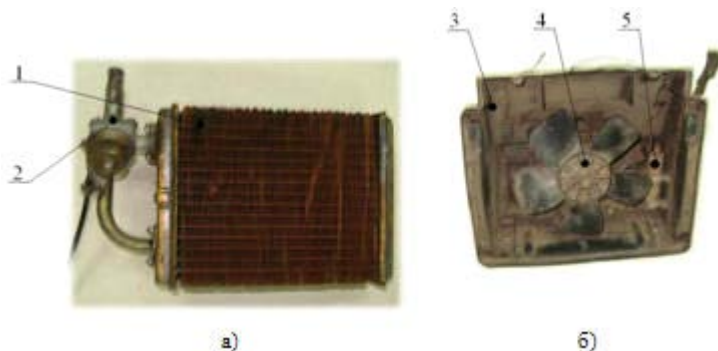


Рис. 3.3.6. Радиатор отопительной системы кабины (а) и вентилятор системы отопления кабины (б):

1 - радиатор; 2 - кран включения отопления; 3 - кожух; 4 - вентилятор с электроприводом; 5 - реостат

Конструкция обогревателей включает в себя радиатор, вентилятор и устройства включения отопления (краны, клапаны и др.) Радиатор обдувается потоком воздуха, поступающего по воздушному тракту за счет движения автомобиля или от вентилятора.

Для быстрого прогрева двигателей с жидкостным охлаждением перед пуском в систему охлаждения иногда монтируют специальные подогревательные устройства.

Предпусковой подогреватель обеспечивает прогрев двигателя перед пуском при низких температурах окружающей среды. Наряду с облегчением пуска предварительный прогрев двигателя способствует замедлению изнашивания деталей, особенно цилиндров и поршней.

Одним из основных элементов жидкостной системы охлаждения является радиатор. Элементом радиатора, в котором теплота от охлаждающей жидкости передается через стенки трубки воздуху, является остов.

Остов трубчато-пластинчатого радиатора состоит из нескольких рядов трубок, впаянных в верхний и нижний бачки. На трубки надеты тонкие охлаждающие пластины, изготовленные из латуни, алюминия или меди. Иногда охлаждающие пластины делают гофрированными, что значительно увеличивает площадь поверхности охлаждения радиатора. Широкую гофрированную ленту помещают между трубками и припаивают к ним. Такую конструкцию трубчато-ленточных радиаторов имеют многие двигатели грузовых и легковых автомобилей.

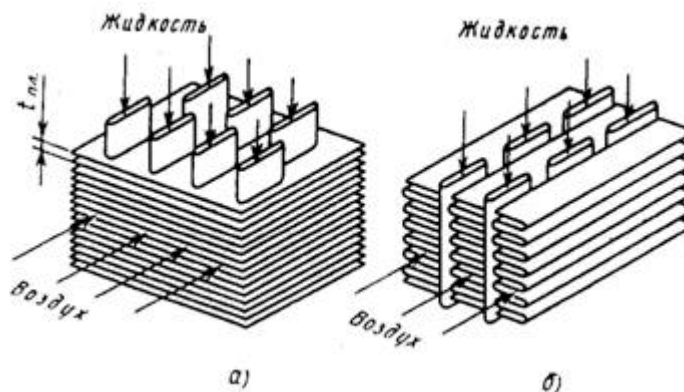


Рис. 3.3.7. Остовы охлаждающих решёток радиатора:
а - трубчато - пластинчатого; б - трубчато - ленточного

С системой жидкостного охлаждения двигателя радиатор соединен патрубками и гибкими шлангами, которые прикреплены к патрубкам стяжными хомутиками. Такое соединение допускает относительное смещение двигателя и радиатора (рис. 3.3.8, 3.3.9, 3.3.10).



Рис. 3.3.8. Радиатор с трубчато-ленточным остовом:
1 - заливная горловина; 2 - верхний бачок; 3 - остов; 4 - стойка каркаса; 5 - нижний бачок

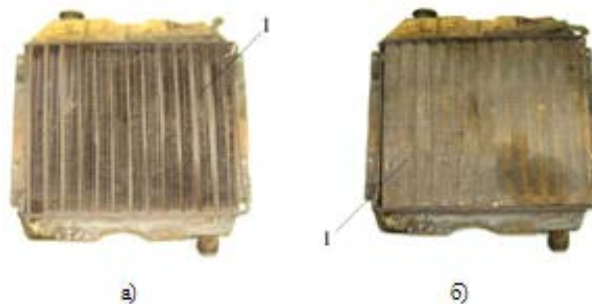


Рис. 3.3.9. Радиатор с трубчато-ленточным остовом, снабженный жалюзи:
а - жалюзи открыты; б - жалюзи закрыты; 1- жалюзи

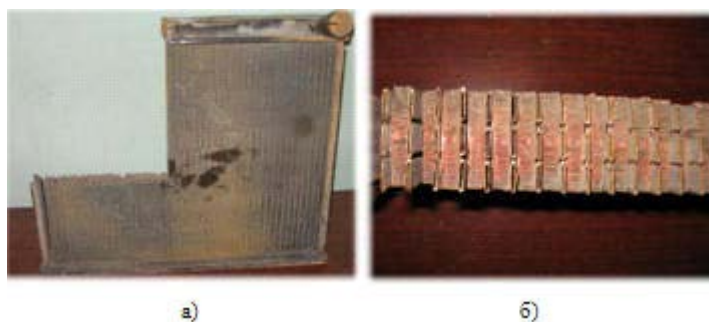


Рис. 3.3.10. Остов трубчато-ленточного радиатора:
а) остов (препарирован); б) остов в разрезе - видны плоскоовальные трубки и перфорированные ленты

Конструкция радиатора показана на рисунке 3.3.11а. Он имеет верхний 9 и нижний 15 бачки (коллекторы), соединённые остовом 12 радиатора. В верхний бачок впаяны заливная

горловина 8, закрываемая пробкой 7, и патрубок для подсоединения гибкого шланга, подводящего нагретую жидкость к радиатору. Сбоку заливная горловина имеет отверстие для пароотводной трубки. В нижний бачок впаян патрубок отводящего гибкого шланга 13. К верхнему и нижнему бачкам прикреплены боковые стойки 6, соединенные пластиной, припаянной к нижнему бачку. Стойки и пластина образуют каркас радиатора. Кран 14 служит для слива жидкости из системы. Воздушный канал образует кожух 16 (рис. 3.3.11а).

Перед радиатором могут быть установлены жалюзи 1 и 2 для регулирования количества воздуха, проходящего между трубками радиатора. При смещении штока 4, вперед до отказа створки жалюзи тросом 3 полностью открываются, и воздух свободно проходит между створками радиатора. При перемещении рукоятки назад до отказа створки закрываются, и обдув радиатора воздухом прекращается. Для поддержания определенного температурного режима двигателя шток может быть зафиксирован в любом промежуточном положении. Управление створками жалюзи может быть автоматическим, что часто применяется на маслорадиаторах.

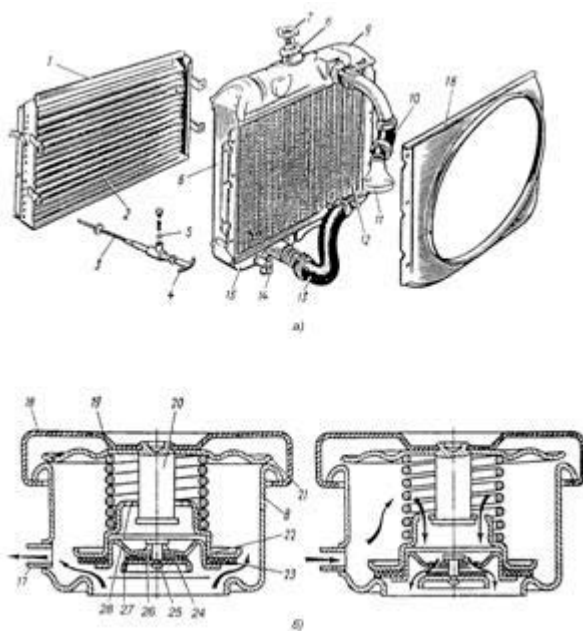


Рис. 3.3.11. Конструкция радиатора (а) и пробки заливной горловины радиатора (б)

Горловину 8 (рис. 3.3.11б) герметически закрывает пробка, изолирующая систему охлаждения двигателя от окружающей среды (см. рис. 3.3.12).

Пробка радиатора (рис. 3.3.11б и 3.3.12) состоит из корпуса 18, парового 22 и воздушного 25 клапанов и запирающей пружины 21. На стойке 20, при помощи которой к корпусу прикреплена запирающая пружина, установлен паровой клапан, прижатый пружиной 19. Воздушный клапан 25 прижимается пружиной 26 к седлу 27, запрессованному в паровом клапане. Плотное соединение клапанов с седлами достигается установкой резиновых прокладок 23 и 24. При повреждении или разрушении резиновых прокладок система охлаждения становится открытой, и вода закипает при 100 °С.



Рис. 3.3.12. Пробка к заливной горловине радиатора с системой клапанов дренажа:
1 - корпус; 2 - вентиляционный клапан; 3 - выпускной клапан

В случае закипания жидкости в системе охлаждения давление возрастает до 145...160 кПа, и тогда открывается паровой клапан 22, преодолевая сопротивление пружины 19, система охлаждения двигателя сообщается с окружающей средой, и пар выходит из радиатора в атмосферу через пароотводную трубку 17.

После остановки двигателя жидкость охлаждается, пар конденсируется, и в системе охлаждения создается разрежение. При снижении давления до 1...13 кПа открывается воздушный клапан 25, и в радиатор через отверстие 28 и клапан начинает поступать воздух, проходящий по пароотводной трубке. Таким образом, паровой и воздушный клапаны предотвращают возможное повреждение радиатора под действием как внешнего, так и внутреннего давления.

Основными характеристиками радиаторов являются согласно /7/ следующие компоновочные размеры /12, 13/:

- размеры остова (решетки) радиатора: высота L_{Γ} , ширина L_X и глубина L , м;
- фронтальная поверхность $F = L_{\Gamma} \cdot L_X$, m^2 ;
- общая площадь поверхности теплообмена H , определяемая по формуле:

$$H_{охл} = Q_{охл} / K \cdot \Delta t, m^2,$$

где K - коэффициент теплопередачи, Вт/м²·К; Δt - температурный напор - разность температуры охлаждающей жидкости $\approx 80 \pm 20^\circ C$ и температуры воздуха, проходящего через остов радиатора $\approx 20 \pm 20^\circ C$.

- объем остова $V = L_{\Gamma} \cdot L_X \cdot L$, m^3 .

Основными относительными параметрами радиатора являются:

- коэффициент объемной плотности, m^2/m^3 :

$$\Psi_v = H / V_{ост};$$

- коэффициент оребрения, m^2/m^2 :

$$f_{OP} = H / H_{TPVB} ;$$

- коэффициент использования объема остова, $1/m^2$:

$$\Psi_{\phi P} = \Psi_v / L$$

и другие.

Важными нормативными характеристиками являются также гидросопротивления воздушного и жидкостного трактов радиатора. Эти гидросопротивления Δp - регламентированы /7/ и являются контрольными величинами качества и состояния изготавливаемых радиаторов и находящихся в эксплуатации.

В процессе проектирования, производства и эксплуатации радиаторов возникает необходимость проведения их испытаний, которые проводят на специальных стендах. Цель испытаний состоит в определении соответствия характеристик и показателей надежности радиаторов требованиям действующей нормативно - технической документации.

В ходе испытаний головных образцов вновь изготовленных или отремонтированных радиаторов оценивается их техническое состояние.

Испытание радиаторов производится на специальных стендах в соответствии с требованиями РД 37.001.646-98, по которым измеряются /7/:

- расходы холодного и горячего теплоносителей;
- температуры горячего и холодного теплоносителей на входе и выходе из радиатора, а также перепад температур;
- гидравлические сопротивления со стороны холодного и горячего теплоносителей.

Полученные результаты оформляют в виде графиков для различных режимов работы радиатора. При этом температура атмосферного воздуха принимается в пределах от 15 до 30 °С, температура охлаждающей жидкости 80 ± 2 °С.

Испытания проводятся на стенде «Тепловая аэрогидравлическая труба», в котором от горячего теплоносителя, циркулирующего через радиатор, с определённой начальной температурой, поддерживаемой за счёт подвода тепла Q от постороннего источника (электроподогревателя), отводится такое же количество тепла с постоянным расходом и постоянной температурой. По измеренным составляющим теплового баланса расчётным путём оценивается теплоотдача, массовый расход, потери давления и другие функциональные характеристики.

Показатели надёжности радиатора определяются при следующих испытаниях на специальных стендах:

- герметичность (при 0,1 МПа в течение 5 минут);
- качество паяных соединений (разрушением);

- стойкость к циклическим изменениям внутреннего давления (0...0,18 МПа, 10^4 циклов);
- стойкость к внешнему вибрационному воздействию (10^6 циклов);
- стойкость к высокотемпературному ($+130\text{ }^{\circ}\text{C}$) и низкотемпературному (минус $40\text{ }^{\circ}\text{C}$) воздействиям;
- стойкость к циклическому воздействию температуры ($100\text{...}120\text{ }^{\circ}\text{C}$, 10^4 циклов);
- стойкость к скручиванию ($50\cdot 10^3$ циклов);
- стойкость к коррозионному воздействию (72 часа в растворе NaCl).

Еще одним важным элементом системы охлаждения является центробежный насос, обеспечивающий принудительную циркуляцию жидкости. На рисунках 3.3.13 (а, б, в), 3.3.14 показан внешний вид центробежного жидкостного насоса и его деталей, а на рис. 3.3.15 приведена типичная конструктивная схема насоса и вентилятора двигателей ВАЗ.

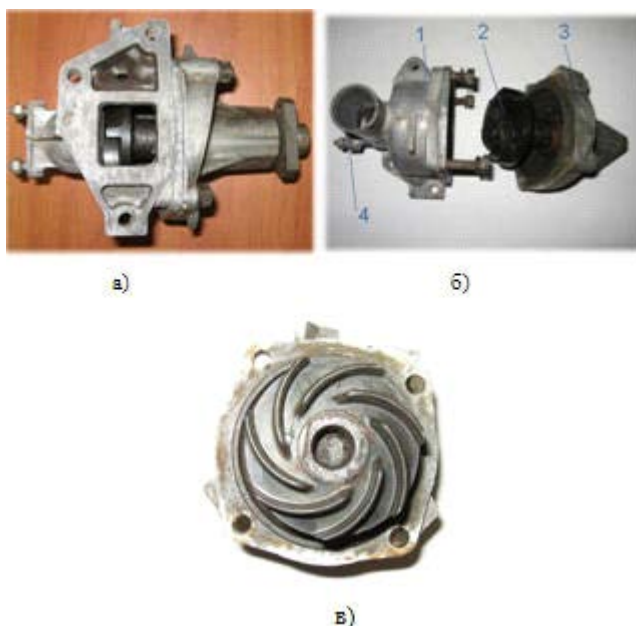


Рис. 3.3.13. Жидкостный насос:
 а) в сборе (со стороны присоединительного фланца); б) основные элементы конструкции; в) вид крыльчатки со стороны крышки:
 1 - крышка; 2 - крыльчатка (рабочее колесо); 3 - корпус; 4 - патрубков подвода жидкости;



Рис. 3.3.14. Детали конструкции жидкостного насоса:
 1 - крышка, в которую устанавливается крыльчатка; 2 - корпус

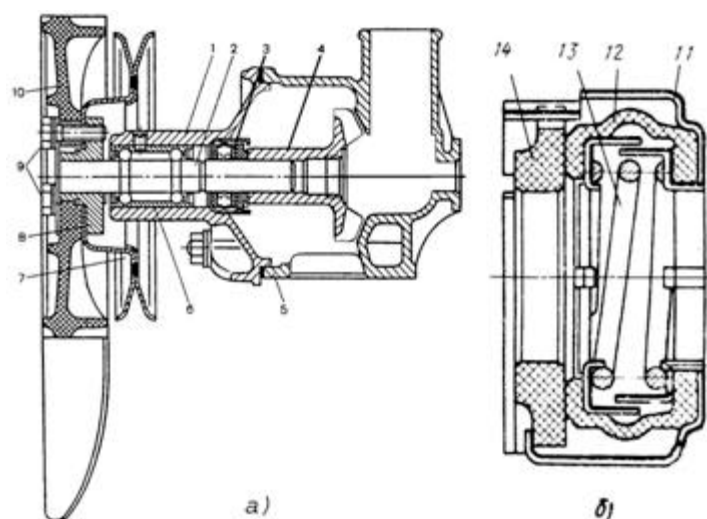


Рис. 3.3.15. Насос и вентилятор двигателей ВАЗ (а); уплотнитель жидкостного насоса (б)

Вал 2 с напрессованной на него чугунной крыльчаткой 4 насоса и стальной ступицей 8 вращается в двухрядном шариковом подшипнике 6, установленном в крышке 1 насоса 5. Крышка и корпус отлиты из алюминиевых сплавов. Полость нагнетания насоса уплотнена сальником 3, состоящим из латунного корпуса, запрессованного в крышку 1, и резиновой манжеты, прижимаемой пружиной к торцу корпуса сальника и графитовому кольцу, которое уплотняет торец крыльчатки. Подшипник заполнен смазочным материалом, который удерживается сальниками. На ступице 8 винтами 9 закреплены штампованный из стали шкив 7 клинового ремня привода и пластмассовый вентилятор 10.

Уплотнитель, герметизирующий подшипник (см. рис. 3.3.15, б), состоит из корпуса 11, резиновой уплотнительной манжеты 12, разжимной пружины 13 и графитового кольца 14. Неподвижное графитовое кольцо уплотнителя усилием пружины, находящееся в резиновой манжете, постоянно прижимается к вращающемуся торцу крыльчатки.

Из впускного патрубка насосов охлаждающая жидкость поступает в рабочее колесо и, получив там приращение энергии, поступает в диффузорное отводящее устройство, предназначенное для преобразования кинетической энергии в энергию давления.

В жидкостных насосах автомобильных двигателей отводящие устройства выполняют также в виде спирального корпуса, из которого жидкость поступает в охлаждающие полости двигателя. В двухрядных двигателях иногда предусмотрены два отвода из спирального корпуса для получения более равномерного распределения потока (причём наиболее благоприятным является симметричное расположение отводов).

Основными характеристиками насоса являются подача $G_{ж}$ (кг/с, м³/с), напор P (Н/м²), мощность, потребляемая насосом N_H (Вт), КПД насоса η_H . Все характеристики насоса соответствуют определённой частоте вращения рабочего колеса n_H .

Для создания воздушного потока, охлаждающего протекающую по трубам радиатора жидкость, служит вентилятор, состоящий из крыльчатки и ступицы со шкивом /3, 4, 5, 11, 12/.

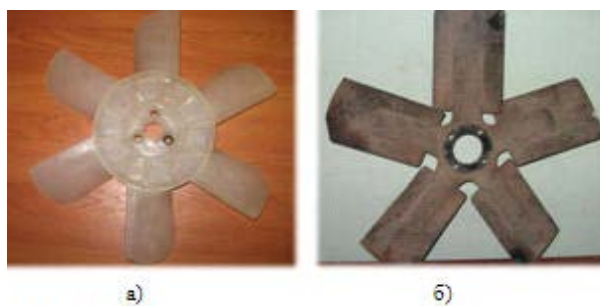


Рис. 3.3.16. Вентиляторы системы жидкостного охлаждения:

а) литой из пластмассы (лопасти аэродинамического профиля); б) клепаный металлический (лопасти простого профиля «дужка»)

Иногда к каркасу радиатора для более интенсивного охлаждения в нем жидкости присоединяют направляющий кожух (диффузор), внутри которого вращаются лопасти вентилятора (рис. 3.3.11 (а), поз. 9).

Вентиляторы жидкостных систем охлаждения устанавливаются на двигателях непосредственно около радиаторов, а при воздушном охлаждении - на двигателях или около входных или выходных отверстий моторных отделений воздушного тракта.

Внешним теплоносителем, отбирающим теплоту от охлаждающей жидкости в системах охлаждения автомобильных двигателей, является воздух. Магистраль, по которой воздух подводится к радиатору и отводится от него, называется **воздушным трактом** системы охлаждения. Одной из основных особенностей автомобильных систем охлаждения является отсутствие специальных изолированных каналов подвода и отвода воздуха в воздушном тракте. Не анализируя подробно всё многообразие конструктивных схем выполнения воздушного тракта жидкостных систем охлаждения автомобильных двигателей, можно выделить основные признаки компоновки воздушного тракта.

Радиатор и двигатель по направлению течения воздуха могут располагаться последовательно (когда воздушный поток, прошедший через радиатор, обдувает двигатель, причем двигатель может быть расположен за радиатором по потоку воздуха и перед ним) и **параллельно** (когда воздушный поток, прошедший через радиатор, не обдувает двигатель или является частью воздушного потока, обдувающего двигатель).

Направление воздушного потока через остов радиатора может быть **параллельным** продольной оси автомобиля; **перпендикулярным** продольной оси автомобиля или **направленным к продольной оси автомобиля под углом**. В первом случае радиатор может быть расположен не только в передней части автомобиля.

Таким образом, циркуляция воздуха через радиатор осуществляется за счет скоростного давления воздуха при движении автомобиля и вентилятора. Вентилятор системы охлаждения может приводиться во вращение непосредственно от двигателя через механические передачи и соединительные муфты, а также посредством специальных передач (например, электрических или гидравлических) с ременной передачей от шкива на валу к шкиву вентилятора.

Наибольшее распространение получили схемы с последовательным расположением радиатора и двигателя, при которых воздух проходит через остов радиатора (установленного в передней части автомобиля) параллельно продольной оси автомобиля, и схемы с размещением радиатора в передней части автомобиля.

В жидкостных системах охлаждения автомобильных двигателей используются

практически только осевые вентиляторы. Осевые вентиляторы - это гидравлические машины с рабочим лопаточным колесом, при вращении которого воздух перемещается между лопатками в осевом направлении, давление воздуха за лопатками увеличивается. Рабочие колеса осевых вентиляторов (рис. 3.3.16, 3.3.17) состоят из втулок и прикрепленных к ним лопаток либо формируются из пластмассы. Обычно рабочие колеса осевых вентиляторов расположены в корпусе - кожухе вентилятора, который ограждает наружные концы лопастей и соединяет проходное сечение вентилятора с воздушной магистралью. Обычно кожух крепится к остову радиатора.

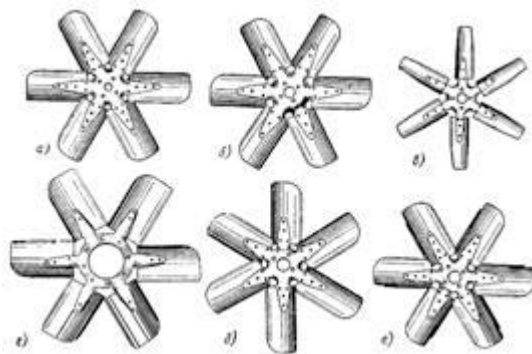


Рис. 3.3.17. Варианты металлических крыльчаток вентиляторов двигателей:
а - ЯАЗ-204; б - УАЗ-69; в - СМД-14; г - КДМ-100; д - Урал-375; е - ЗИЛ-164.

Лопастни вентиляторов (в количестве 2...12 при жидкостном охлаждении и 5...32 при воздушном) делают вогнутыми, штампованными из стали (см. рис. 3.3.16, а, б) или с профилем авиационного крыла из пластмассы и литыми из легких сплавов. Лопастни могут быть поворотными.

Применение авиационного профиля для изготовления лопастей вентиляторов в значительной мере улучшает качество и эффективность вентиляторов в системах жидкостного охлаждения двигателей.

Изготовление вентиляторов из высокопрочных пластмасс в настоящее время гарантирует точную форму профиля лопаток, гладкую поверхность и малую шумность. При высоких частотах вращения вентилятора такие лопатки деформируются, снижая тем самым расход воздуха, что является на этих режимах целесообразным, так как не допускается переохлаждение двигателя.

На двигателях ВАЗ устанавливаются также вентиляторы с электроприводом. Вентилятор монтируется на вал электродвигателя (рис. 3.3.18).

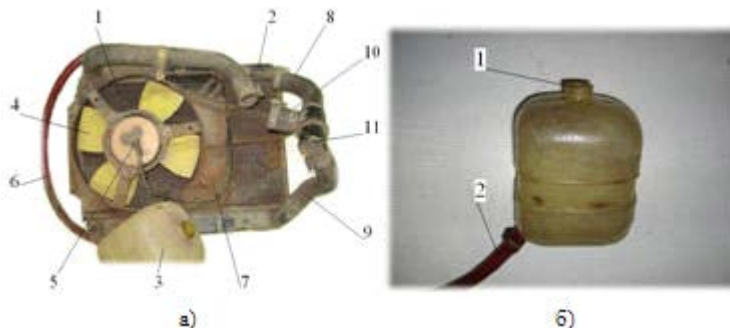


Рис. 3.3.18. Радиатор в сборе с электровентилятором (а) и расширительный бачок (б)
На рисунке 3.3.18 (а) показан трубчато-ленточный радиатор в комплекте с агрегатами

системы охлаждения: 1 - остов радиатора; 2 - верхний бачок; 3 - расширительный бачок; 4 - вентилятор; 5 - электропривод вентилятора; 6 - трубопровод к расширительному бачку; 7 - кожух вентилятора; 8 - трубопровод отвода охлаждающей жидкости из радиатора к жидкостному насосу (не показан); 9 - патрубок выхода из жидкостного насоса; 10 - патрубок байпаса; 11 - термостат; 12 - патрубок подвода жидкости к верхнему бачку радиатора; на рисунке 3.3.18 (б) - расширительный бачок системы жидкостного охлаждения: 1 - заливная горловина; 2 - соединительный шланг с системой охлаждения.

В целях повышения эффективности работы он помещается в кожух, который крепится болтами к кронштейну радиатора. Включение и выключение электровентилятора осуществляется автоматически, в зависимости от температуры охлаждающей жидкости, с помощью термодатчика, установленного на бачке радиатора. Температура замыкания контактов датчика в пределах $89...95^{\circ}\text{C}$, а размыкания - $84...90^{\circ}\text{C}$.

К основным характеристикам вентиляторов относят /12, 13/:

- конструктивные параметры: число и форма лопастей, диаметр внешний, диаметр втулки;

- производительность вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$G_{\text{ВЕНТ}} = Q_{\text{ОХЛ}} / c_p \cdot \rho_{\text{ВОЗД}} \cdot \Delta t_{\text{ВОЗД}},$$

где c_p - изобарная теплоемкость воздуха, проходящего через остов радиатора, Дж/кг·К;

$\rho_{\text{В}}$ - плотность воздуха при заданной температуре и атмосферном давлении, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\Delta t_{\text{В}}$ - температурный перепад воздуха - разность температур на входе и выходе из радиатора, $^{\circ}\text{C}$;

- мощность, затрачиваемая на привод вентилятора, кВт:

$$N_{\text{ВЕНТ}} = G_{\text{ВЕНТ}} \cdot \Delta P_{\text{ВЕНТ}} / 1000 \cdot \eta_{\text{В}},$$

где $\Delta P_{\text{ВЕНТ}}$ - давление воздуха, развиваемое вентилятором, Па;

$\eta_{\text{В}}$ - коэффициент полезного действия.

Охлаждающая жидкость в значительной мере определяет качество и эффективность работы жидкостной системы охлаждения.

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 вода и антифризы /1, 4, 5, 6, 10/.

Вода, обладающая значительной теплоёмкостью, равной 4,186 кДж/кг·К, является наиболее распространённой охлаждающей жидкостью. Температура кипения воды, при нормальных условиях равная 100 °С, уменьшается с увеличением высоты над уровнем моря. Так, на высоте 2500 м над уровнем моря атмосферное давление составляет 74,7 кПа, а температура кипения воды 91 °С. Следовательно, для работы двигателя в высокогорных условиях допустимая температура воды системе должна быть около 70 °С. Для компенсации этого недостатка прибегают к герметизации системы жидкостного охлаждения и увеличению расчетного давления в ней.

При повышении давления в системе жидкостного охлаждения до 200000 Па (1500 мм Нг) температура кипения возрастает до 119 °С. Применение герметизированной системы жидкостного охлаждения позволяет увеличить температурный перепад и повысить благодаря этому эффективность теплообменных процессов. Практически это ведет к снижению количества охлаждающей жидкости, уменьшению потребной поверхности радиатора и сокращению теплопотерь в системе охлаждения.

Относительно высокая температура замерзания воды (0 °С) затрудняет эксплуатацию поршневых двигателей в условиях низких температур окружающего воздуха. Увеличение объема воды при её замерзании (примерно на 10 %) может привести к разрушению («размораживанию») двигателя и радиатора.

Максимально допустимая температура воды в системе охлаждения зависит от концентрации растворенных в ней минеральных солей, т. е. от её жесткости.

За единицу жесткости воды принимают молекулярную массу, которая соответствует содержанию в 1л воды 20,04 мг иона кальция или 12,16 мг иона магния. Вода с жесткостью 4...8 мг/моль - средней жесткости; с жесткостью более 8 мг/моль - жесткая.

При использовании морской или жесткой пресной воды максимальная температура её в системе не должна превышать 55 °С во избежание интенсивного образования накипи вследствие выделения солей и отложения их на нагретых поверхностях системы охлаждения. Накипь - это связанный с поверхностью металла трудноудаляемый слой отложений, в состав которого входят содержащиеся в охлаждающей жидкости соли кальция, магния и т. д.. Слой накипи имеет малую теплопроводность, что ухудшает теплоотвод в окружающую среду (охлаждающую жидкость).

В целях предупреждения образования накипи, для охлаждения обычно используют мягкую воду или в жесткую воду добавляют специальные присадки, предупреждающие образование накипи. Для смягчения жесткую воду кипятят или обрабатывают специальными смягчителями /10/.

В современных поршневых двигателях применяют низкотемпературные (низкозамерзающие) охлаждающие жидкости - антифризы.

В качестве 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 °С, а температура плавления минус 11,5 °С. 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 под 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 низкозамерзающие» 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. 3.3.1 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. 3.3.2) или массовой доли этиленгликоля в растворе.

Табл. 3.3.1. Основные характеристики антифризов /5/

Марка антифриза	$t_{\text{зам}}$, не выше, °С	Плотность ρ , при 20 °С, кг/м ³	Цвет	Этиленгликоль, %	Присадки	c_p , Дж/кгК
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. 3.3.2. Температура кристаллизации ТОСОЛа и его водных растворов /5/

Массовое содержание, %		Температура кристаллизации, °С
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, Pb_xSn_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. Этиленгликолевые антифризы, таким образом, имеют следующие особенности:

- 1) большой коэффициент объемного расширения. При рабочей температуре объем антифриза увеличивается на 6...8%;
- 2) теплоемкость и теплопроводность антифриза ниже, чем воды, что сказывается на эффективности охлаждения;
- 3) при его эксплуатации испаряется только вода. Поэтому при уменьшении количества его в системе можно доливать дистиллированную воду (в небольших количествах);
- 4) высокая подвижность, проницаемость, что требует хорошей герметичности системы охлаждения;
- 5) при замерзании антифриз образует рыхлую массу, объем которой увеличивается незначительно (при содержании 60% воды изменение объема 0,25%). Это свойство благоприятно, если температура окружающей среды ниже, чем температура замерзания антифриза;
- 6) антифриз оказывает разрушающее действие на детали системы жидкостного охлаждения из резины некоторых сортов.

К недостаткам этиленгликоля, как охлаждающей жидкости, в основном относятся его токсичность и низкая температура вспышки (122 °С), т. е. возможность воспламенения при появлении течи в системе охлаждения.

Для охлаждения форсированных двигателей используют жидкости с температурой кипения выше 100 °С - высококипящие жидкости. Такие жидкости состоят из смеси высокомолекулярных спиртов гликолей и эфиров, выкипающих при температуре 77...207 °С.

Некоторые свойства этих охлаждающих жидкостей приведены в табл. 3.3.3.

Табл. 3.3.3. Характеристики высококипящих охлаждающих жидкостей /5/

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

Применение таких жидкостей обеспечивает:

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

Для обеспечения работоспособности жидкостной системы охлаждения необходимо обеспечивать регулирование температуры охлаждающей жидкости. С этой целью в конструкции жидкостных систем охлаждения двигателей предусматривает специальные устройства для регулирования теплорассеивания радиатора и поддержания температуры охлаждающей жидкости в рекомендуемых пределах, которые указываются в технических условиях на двигатель.

Количество теплоты, отдаваемой двигателем, зависящее от режима его работы, и температура окружающего воздуха являются внешними факторами. Следовательно, величиной, на которую можно воздействовать для поддержания температуры охлаждающей жидкости, является только теплоотдача радиатора. Изменяя расходы охлаждающей жидкости и воздуха, циркулирующих через радиатор, можно менять его теплоотдачу. Именно на этом принципе основаны применяемые способы регулирования температуры охлаждающей жидкости. На рисунках 3.3.19, 3.3.20 показаны классификация способов и схем регулирования температуры охлаждающей жидкости.



Рис. 3.3.19. Классификация способов регулирования температуры охлаждающей жидкости

Рассмотрим регулирование температуры охлаждающей жидкости с помощью термостатов. Существует несколько конструктивных схем термостатов. 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.

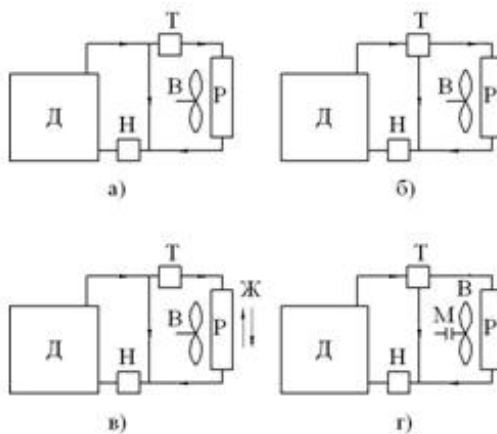


Рис. 3.3.20. Схемы регулирования температуры охлаждающей жидкости:

- а - дросселированием тракта охлаждающей жидкости;
 - б - перепуском охлаждающей жидкости;
 - в - дросселированием тракта охлаждающей жидкости и воздуха;
 - г - перепуском охлаждающей жидкости и управлением вентилятора;
- Д - двигатель; Т - термостат; Р - радиатор; Н - жидкостный насос;
Ж - жалюзи; М - муфта управления вентилятором

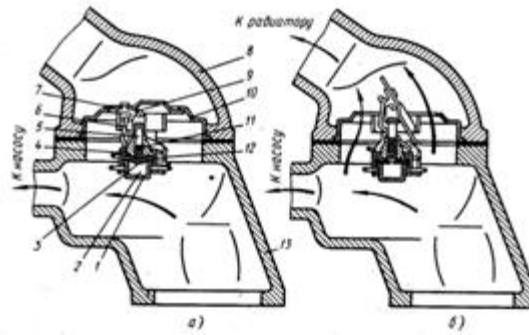


Рис. 3.3.21. Схема работы термостата:

а - клапан закрыт; б - клапан открыт;

1 - термосиловой элемент; 2 - наполнитель; 3 - мембрана; 4 - втулка; 5 - шток; 6 - возвратная пружина; 7 - клапан термостата; 8 - верхний патрубок корпуса; 9 - коромысло клапана; 10 - фланец термостата; 11 - буфер; 12 - рант; 13 - корпус термостата

На рис. 3.3.21 представлена конструкция термостата, где клапаны выполнены в виде поворотной заслонки или золотника. Это позволяет разгрузить клапан от давления жидкости.

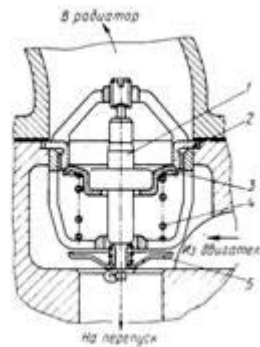


Рис. 3.3.22. Термостат с поступательным ходом клапана:

1 - термосиловой датчик; 2 - фланец термостата; 3, 5 - клапаны основной и перепускной; 4 - возвратная пружина

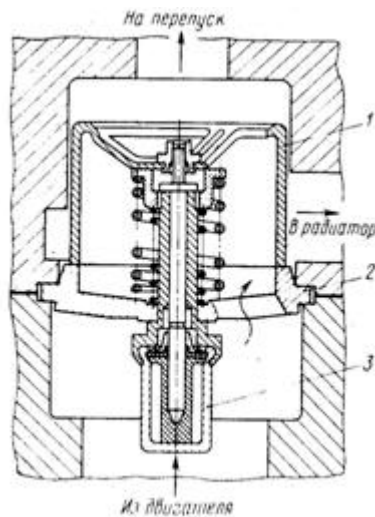


Рис. 3.3.23. Термостат с золотниковым клапаном:

1 - золотниковый клапан; 2 - фланец термостата; 3 - термосиловой элемент

Термостаты с симметричной поворотной заслонкой или золотниковым клапаном (см. рис. 3.3.23) лишены недостатка, присущего другим термостатам, у которых начало перемещения клапана при повышенном давлении начинается при температуре, отличающейся от указанной в технических требованиях в большую сторону.

Техническими характеристиками термостатов являются:

- а) присоединительные размеры;
- б) проходные сечения клапанов;
- в) температура начала открытия;
- г) перемещение клапанов (мм);
- д) инерционность срабатывания;
- е) герметичность основного клапана в закрытом состоянии.

На рисунке 3.3.24 показан термостат, применяемый в системах жидкостного охлаждения двигателей ВАЗ.



Рис. 3.3.24. Термостат (препарирован):

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

Температура охлаждающей жидкости может также регулироваться путем изменения расхода воздуха через радиатор. Наиболее простым способом регулирования расхода воздуха через радиатор является дросселирование, осуществляемое дополнительными устройствами для изменения проходного сечения воздушного тракта на входе потока в радиатор. Для этого используются жалюзи (см. рис. 3.3.9) ручного или автоматического управления, в зависимости от температуры охлаждающей жидкости. Это позволяет поддерживать температурный режим двигателя в достаточно узких пределах, обеспечивающих его экономичную работу.

На рисунке 3.3.25 показана классификация устройств управления работой вентилятора за счет изменения частоты вращения /5/.

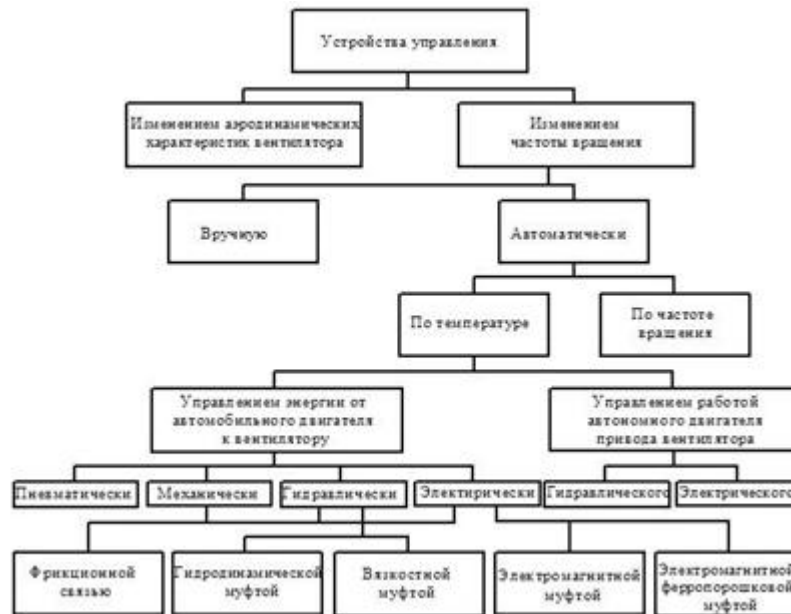


Рис. 3.3.25. Классификация устройств управления вентилятором /5/

Таким образом, учитывая разделение значений температуры охлаждающей жидкости на минимально доступные и рекомендуемые, комплект приборов регулирования ее температуры определяется следующим составом:

термостат - температура жидкости начала открытия выше минимально допустимой, но несколько ниже границы рекомендуемой;

автоматические жалюзи - температура открытия и закрытия примерно соответствует верхней и нижней границам рекомендуемой для жидкости температуры;

автоматический вентилятор - включающийся после полного открытия жалюзи.

Выбор средств терморегулирования осуществляется из условий обеспечения точности поддержания температуры охлаждающей жидкости, которые определяются характеристикой двигателя и, в частности, изменением его топливной экономичности в зависимости от температуры в системе охлаждения.

3.3.3. 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 рисунке 3.3.26 приведена типичная автоматизированная система воздушного охлаждения двигателей /6/. 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.

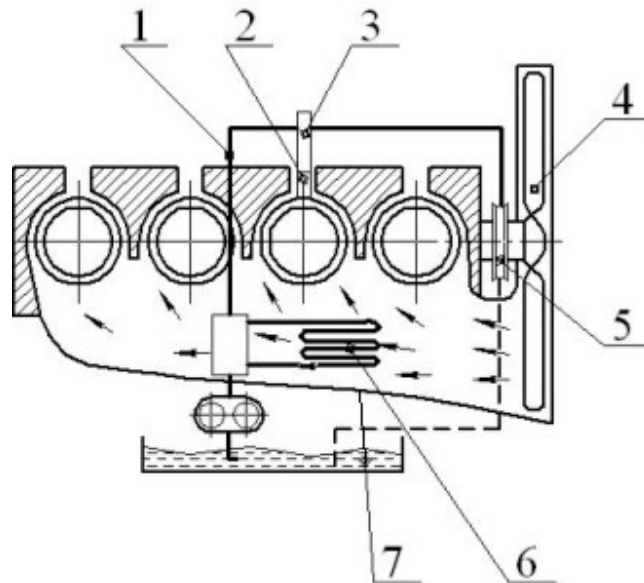


Рис. 3.3.26. Схема воздушного охлаждения дизелей с автоматическим регулированием:

1 - маслопровод; 2 - датчик; 3 - термоклапан; 4 - вентилятор; 5 - гидромуфта; 6 - масляный радиатор; 7 - капот

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° . т. е. так называемое V -

образное расположение (см. рисунок 3.3.27). При этом ребрение цилиндра и головки двигателя независимо от конструктивной схемы везде примерно одинаково (см. рисунок 3.3.28).

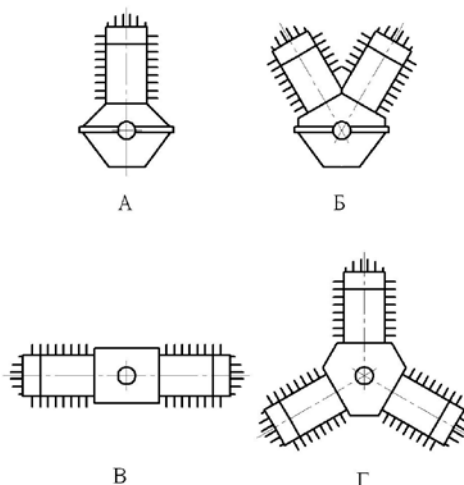


Рис. 3.3.27. Схемы двигателей с различным расположением цилиндров:
а) однорядный; б) двухрядный V-образный; в) двухрядный с противоположащими цилиндрами (опозитный); г) звездообразный



Рис. 3.3.28. Ребрение цилиндра и головки двигателя с воздушным охлаждением:
1 - ребрение головки; 2 - ребрение цилиндра

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 теплонапряжённых 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 кг/м^2).

Осевые вентиляторы двигателей с воздушным охлаждением бывают почти исключительно приводными, а центробежные примерно поровну делятся на приводные и выполняемые как одно целое с маховиком. Применение приводного вентилятора обеспечивает возможность:

1) уменьшения размеров вентилятора за счет повышения числа оборотов его рабочего колеса, что очень важно для двигателей с большим расходом охлаждающего воздуха;

2) регулирования охлаждающей способности системы путем изменения передаточного отношения в приводе вентилятора, что важно при использовании двигателя в различных климатических условиях, при сезонном изменении температуры окружающей среды, при увеличении теплоотдачи в стенке вследствие ухудшения состояния двигателя (износ, поломка части охлаждающих ребер и пр.) и при длительной работе на частичной нагрузке;

3) изменения эффективности системы охлаждения при форсировании двигателя без изменений в его конструкции.

К **недостаткам** приводного вентилятора относятся:

1) потребность в передаточном механизме;

2) возможность нарушения нормальной работы системы охлаждения при дефектах в этом механизме.

Приблизительно три четверти всех двигателей с воздушным охлаждением имеют независимые вентиляторы. Вентилятор, посаженный на одном из концов коленчатого вала и чаще всего изготовленный как одно целое с маховиком, также находит применение.

К **преимуществам** такого вентилятора относятся:

1) простота и малая стоимость конструкции из-за отсутствия передаточного механизма и вала рабочего колеса с опорами;

2) высокая долговечность и надежность работы, так как отсутствуют приводной механизм и трущиеся части;

3) устранение вредного влияния инерции рабочего колеса на работу системы охлаждения.

К **недостаткам** вентилятора, изготовленного вместе с маховиком, следует отнести:

1) увеличение габаритов картера маховика для образования спирального кожуха вентилятора (при охлаждении нагнетанием);

2) невозможность независимого от двигателя регулирования охлаждения путем изменения числа оборотов вентилятора.

Характер подачи охлаждающего воздуха (нагнетанием или просасыванием) также влияет на выбор типа вентилятора. Так, охлаждение просасыванием, как правило, связано с применением приводного осевого вентилятора. При выборе как осевого, так и центробежного вентилятора учитываются преимущества и недостатки вентиляторной установки в целом.

Осевой вентилятор имеет следующие преимущества по сравнению с центробежным:

1) большая производительность при одинаковых габаритах. Это дает возможность устанавливать один вентилятор на несколько цилиндров (дизели с числом цилиндров от 1 до 12);

- 2) более высокий КПД;
- 3) более высокий коэффициент реакции, что имеет особое значение при установке вентилятора на двигателе;
- 4) простота конструкции направляющего кожуха;
- 5) возможность изменения направления подачи воздуха при повороте лопастей без изменения направления вращения рабочего колеса, вследствие чего вентилятор можно располагать с любой стороны двигателя.

Недостатки:

- 1) повышенная шумность работы, особенно при большом числе оборотов;
- 2) необходимость, при равных с центробежным вентилятором размерах, более высокого числа оборотов для получения одинакового давления воздуха на выходе;
- 3) малое снижение или даже возрастание потребляемой мощности при дросселировании воздушного потока, наличие области неустойчивой работы;
- 4) потребность в точном изготовлении лопастей и хорошей отделке их поверхности.

Центробежный вентилятор имеет следующие преимущества по сравнению с осевым:

- 1) более высокое давление подаваемого воздуха при одинаковых с осевым вентилятором размерах рабочего колеса;
- 2) меньшая шумность работы;
- 3) отсутствие направляющего аппарата;
- 4) повышенная стабильность КПД при изменении сопротивления сети;
- 5) меньшая потребляемая мощность при дросселировании воздушного потока.

Недостатки:

- 1) большие габариты при одинаковых с осевым вентилятором размерах рабочего колеса;
- 2) наличие сложного спирального кожуха;
- 3) более низкий общий КПД.

Центробежные вентиляторы применяются почти на всех одноцилиндровых и на большинстве двухцилиндровых двигателях. Они устанавливаются также на четырехцилиндровых двигателях с противолежащими цилиндрами (см. рис. 3.3.27, в). На двигателях с вертикальным расположением цилиндров, при числе последних более двух, центробежные вентиляторы встречаются как исключение.

Для систем воздушного охлаждения поршневых двигателей применяются три основные схемы осевых вентиляторов.

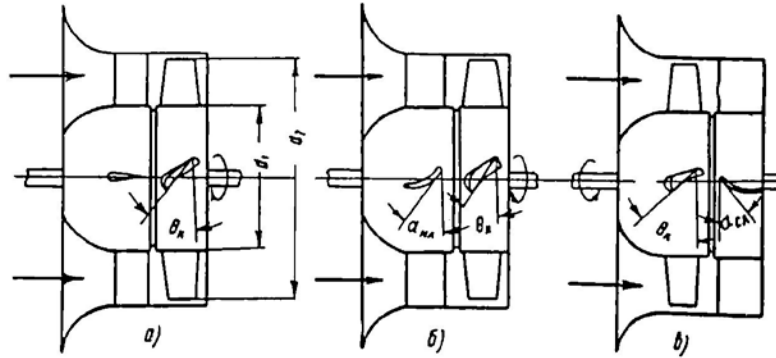


Рис. 3.3.29. Основные схемы входных устройств осевых вентиляторов

На рисунке 3.3.29 (а) представлена схема, обозначенная условно: К. На рис. 3.3.29 (б), обозначенная условно: НА+К, где перед рабочим колесом установлен направляющий аппарат с обтекателем. На рисунке 3.3.29 (в) показана схема, где после рабочего колеса с обтекателем установлен спрямляющий аппарат. Такая схема обозначается условно: К+СА.

Конструкция спрямляющего или направляющего аппаратов подобны. Их ступицы и лопасти делаются литыми профилированными и число их в 2...3 раза больше числа лопастей рабочего колеса. Кроме того, для снижения шумности оно не кратно последнему.

Рассмотрим конструкцию центробежных вентиляторов двигателей с воздушным охлаждением. Так как в центробежных вентиляторах сжатие воздуха осуществляется за счет центробежных сил, возникающих в закручиваемом лопатками рабочего колеса потоке, а также за счет адиабатного гашения высокой окружной скорости после выхода воздуха из рабочей части в безлопаточный диффузор, их рассматривают в комплекте из рабочего колеса, спирального кожуха (диффузора) и коллектора входа (см. рис. 3.3.30). Лопасти рабочего колеса имеют различную форму (отогнутые назад, радиально входящие, загнутые назад) относительно направления его вращения. Это учитывается при оценке производительности вентилятора.

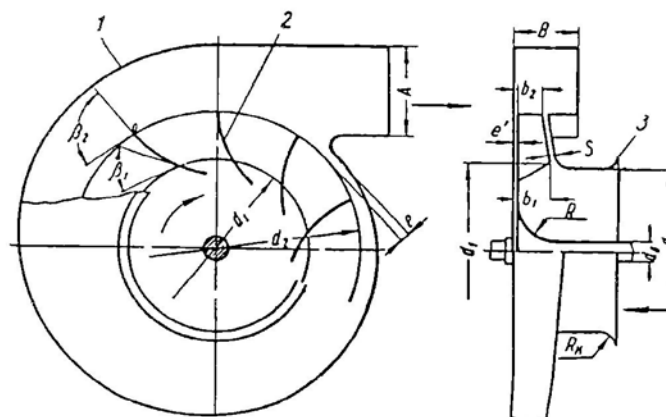


Рис. 3.3.30. Аэродинамическая схема центробежного вентилятора:

1) кожух; 2) рабочее колесо; 3) коллектор

Чаще применяются рабочие колеса с отогнутыми лопастями. Число лопастей рабочего колеса в существующих конструкциях колеблется от 12 до 32 для приводных вентиляторов и

от 32 и более для вентиляторов, выполненных как одно целое с маховиком.

Конструктивные схемы спиральных кожухов и варианты установки вентиляторов на силовой установке (см. рис. 3.3.31) могут быть различными в зависимости от задач размещения двигателя на автомобиле. Иногда кожух разделяют на две полуспирали соответственно числу рядов охлаждаемых цилиндров, что уменьшает габариты вентилятора. Такие вентиляторы называют радиально-осевыми (рис. 3.3.32, б).

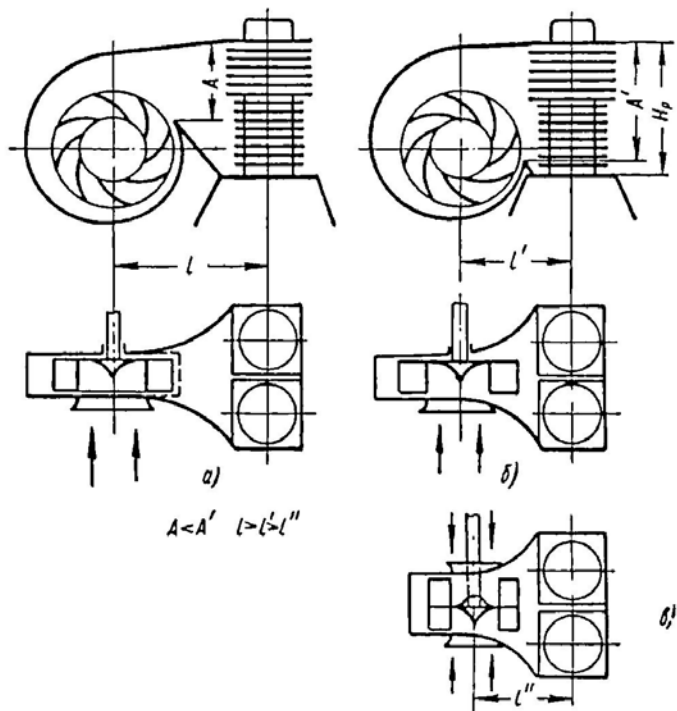


Рис. 3.3.31. Варианты установки вентилятора на двигателе:

а - нормальная; б - с близким расположением вентилятора к двигателю; в - тоже, но с двусторонним рабочим колесом

С точки зрения надежности, системы воздушного охлаждения имеют определенные преимущества перед жидкостными. Как правило, они утрачивают работоспособность при поломке небольшого числа деталей (например, вентилятора), в результате их длительной эксплуатации или нехарактерных повреждений (авария автомобиля), либо при значительном загрязнении ребер охлаждения в результате поездки по грунтовым дорогам, в дождь и т.д.. В жидкостной системе охлаждения перечень неисправностей гораздо шире. В упрощенном варианте список неисправностей выглядит следующим образом.

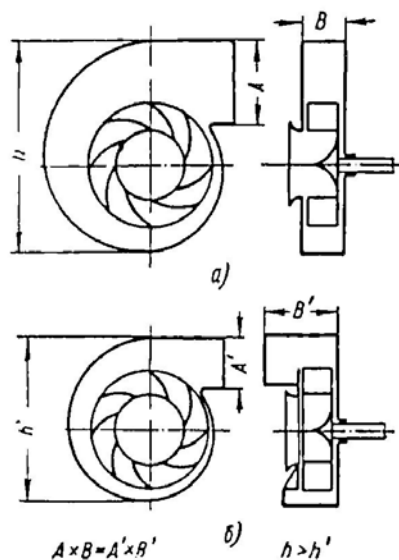


Рис. 3.3.32. Схемы спирального кожуха:
а - радиального; б - радиально-осевого

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 или его электродвигателя.** Ликвидируется заменой датчика или электродвигателя.

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. Для восстановления работоспособности системы необходимо промыть поверхность радиатора, очистить ее от грязи.

Эксплуатация систем охлаждения также в значительной мере определяется тем, к какому типу относится конкретная, рассматриваемая система. Причем и в этом случае системы воздушного охлаждения имеют преимущество, заключающееся в простоте их обслуживания.

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. Например, быстрое падение уровня при эксплуатации двигателя свидетельствует о нарушениях в работе отдельных элементов системы охлаждения или о подтекании 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 непригодности жидкости. 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 бесиликатного 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%.

В целом 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 [10,14].

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 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $1,078\pm 0,002$ 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?

Список использованной литературы

1. *Е. В. Михайловский, К. Б. Серебряков, Е. Я. Тур.* Устройство автомобиля. Изд. 6-е стер. - М.: Машиностроение, 1987. - 351 с.; ил.
2. *Мацкерле Ю.* Современный экономичный авт омобиль/ Перевод с чеш. *В. Б. Иванова*; под ред. *А. Р. Бенедикт ова* - М.: Машиностроение, 1987. - 320 с.; ил.
3. *Гаврилов А. К.* Системы жидкостного охлаждения автотракторных двигателей/ М.: Машиностроение, 1986. - 164 с., ил.
4. *Колчин А. И., Демидов В. П.* Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учебн. пособие для вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 2002. - 400 с.; ил.
5. *А. М. Кригер, М. Е. Дискин, А. Л. Новенников* и др.. Жидкостное охлаждение автомобильных двигателей. - М.: Машиностроение, 1985. - 176 с.; ил.
6. *Бурков В. В, Индейкин А. И.* Автотракторные радиаторы. - Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1978. - 216 с.; ил.
7. Автомобильные теплообменники систем охлаждения и отопления (Общие технические условия) РД 37.001.645(646)-98. Руководящий документ. НАМИ, Москва, 1998 г.
8. *Поспелов Д. Р.* Двигатели внутреннего сгорания с воздушным охлаждением (теория и расчет). Изд. 2-е перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1971. - 536 с.; ил.
9. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»/ *В. П. Алексеев, В. Ф. Воронин, Л. В. Грехов* и др.; Под общ. ред. *Орлина А. С., Круглова М. Г.* - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1990. - 288 с.; ил.
10. Эксплуатация автомобильной техники в сложных условиях. Руководство. - М.: Военное издательство, 1984. - 98 с.
11. *Толст оногов А. П.* Расчёт системы воздушного охлаждения поршневого двигателя внутреннего сгорания. / Методич. пособ. к курс. раб. - Самара. СГАУ. 2000. - 68 с.
12. *Толст оногов А. П.* Расчёт элементов системы жидкостного охлаждения поршневого двигателя внутреннего сгорания./ Методич. пособ. к курс. раб. - Самара. СГАУ. 2001. - 66 с.
13. *Толст оногов А. П.* Сборник задач по расчету элементов систем охлаждения поршневых двигателей внутреннего сгорания/ Методич. указ. к лаб. и практ. занятиям по курсу «Системы охлаждения ДВС» - Самара, СГАУ, 2006 - 96 с.
14. *Е. С. Кузнецов, В. П. Воронов, А. П. Болдин* и др.. Техническая эксплуатация автомобилей. - М.: Транспорт, 1991. - 37 с.

3.4. Система смазки

3.4.1. Типы систем смазки ДВС

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 недостаткам данных систем 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. 3.4.1) 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.

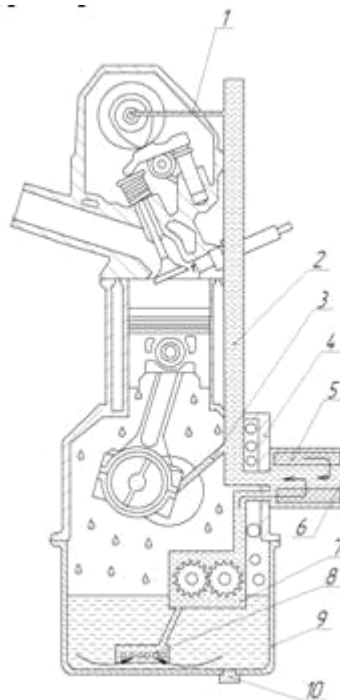


Рис. 3.4.1. Схема системы смазки двигателя с «мокрым» картером:

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

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. 3.4.2), в котором имеется сетчатый фильтр. Для слива отработанного масла в поддоне имеется пробка.



Рис. 3.4.2. 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. 3.4.3).

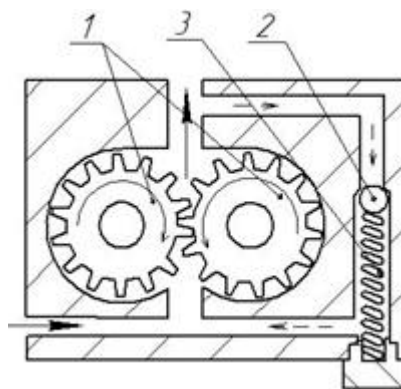


Рис. 3.4.3. Схема работы масляного насоса:

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

Масляные фильтры (рис. 3.4.4, 3.4.5) 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. 3.4.4. Внешний вид масляного фильтра



Рис. 3.4.5. 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. 3.4.6), 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.

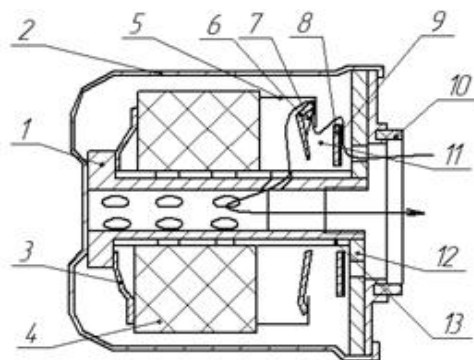


Рис. 3.4.6. Фильтр, применявшийся на ВАЗ-2101:

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

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. 3.4.7). В этой схеме полость фильтра при пуске маслом не омывается.

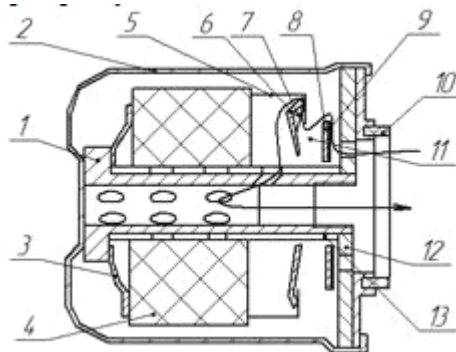


Рис. 3.4.7. Масляный фильтр с расположением перепускного клапана на входе:

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

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. 3.4.8).

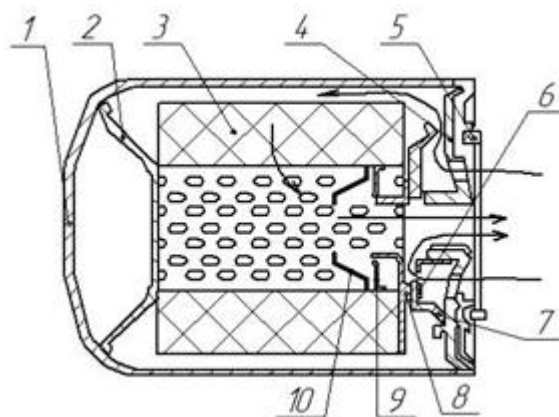


Рис. 3.4.8. Масляный фильтр с блоком, включающим перепускной и противодренажный клапаны:
 1 - корпус, 2 - тарельчатая пружина, 3 - фильтрующий элемент, 4 - основание, 5 - резиновая прокладка, 6 - втулка, приваренная к корпусу блока клапанов, 7 - резиновая манжета перепускного и противодренажного клапанов, 8 - тарелка перепускного клапана, 9 - пружина перепускного клапана, 10 - корпус блока клапанов

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. 3.4.9. Корпус воздушного фильтра соединяется с картером двигателя с помощью шланга, по которому картерные газы направляются сначала в карбюратор, а затем в цилиндры на дожигание.

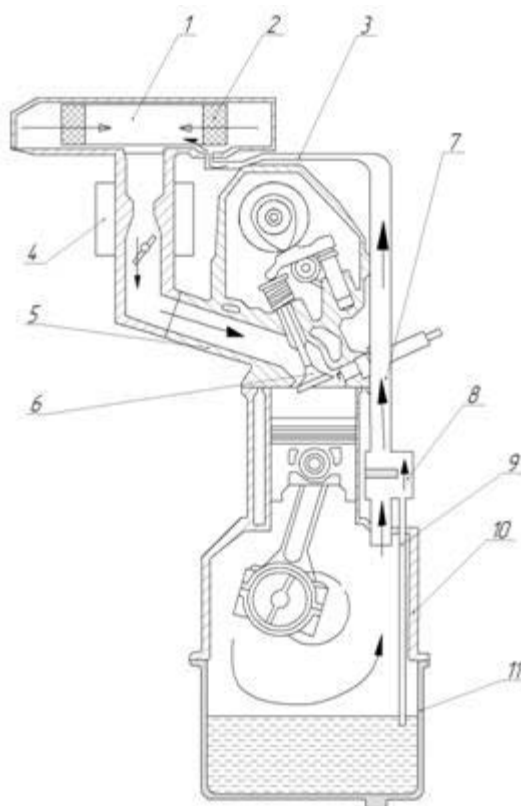


Рис. 3.4.9. Схема вентиляции картера двигателя:

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

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

Устройство системы смазки с «сухим» картером представлено на рис. 3.4.10.

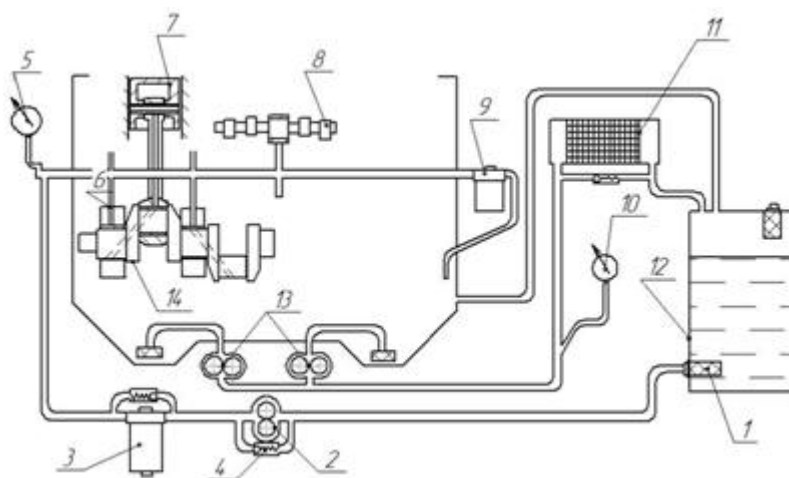


Рис. 3.4.10. Схема системы смазки с «сухим» картером:

1 - маслоприемник; 2 - нагнетающий насос; 3, 9 - фильтры; 4 - редукционный клапан; 5 - манометр; 6 - подвод масла к коленчатому валу; 7 - поршень; 8 - распределительный вал ГРМ; 10 - указатель температуры; 11 - радиатор; 12 - бак; 13 - откачивающий насос; 14 - коленчатый вал

3.4.2. Ассортимент, эксплуатационные свойства и классификации моторных масел

Применение высококачественного масла в ДВС способно на порядки снизить износ деталей при трении, в сравнении с использованием масла низкого качества. Кроме того, масло защищает детали от коррозии, уменьшает потери мощности на трение, частично отводит тепло, удаляет продукты износа деталей и посторонние примеси из двигателя. Поэтому от варианта используемого масла при эксплуатации в значительной степени зависит ресурс двигателя /1...5/.

Моторные масла обладают рядом основных свойств, позволяющих оценивать их пригодность к использованию в конкретных типах двигателя. Наиболее важными из них являются **вязкостно-температурные показатели и эксплуатационные свойства**.

Важнейшей характеристикой любого масла является его **вязкость**. **Вязкость** - физическое свойство масла, определяющее его текучесть. Различают два вида вязкости:

Динамическая вязкость - коэффициент пропорциональности касательного напряжения сдвига между слоями топлива перепаду скоростей движения этих слоев, рассчитанному на единицу расстояния между ними (измеряется в сантипуазах: $1 \text{ сП} = 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с} = 10^{-3} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$);

Кинематическая вязкость - отношение динамической вязкости к плотности топлива (измеряется в сантистоксах: $1 \text{ сСт} = 10^{-2} \text{ Ст} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$).

Для моторных масел (масел, используемых в ДВС) в качестве основного показателя используется кинематическая вязкость при 100°C , которую часто называют просто вязкостью. Выбор именно этой температуры связан с рабочим тепловым состоянием трущихся поверхностей двигателя (прежде всего пары: поршневые кольца - гильза цилиндра). Значение вязкости масла при этой температуре должно соответствовать оптимальному, в противном случае с эксплуатацией двигателя возможны проблемы. Так маловязкое масло лучше проникает в зазоры, охлаждает и фильтруется, но легче выдавливается из зон трения, что интенсифицирует их износ. Слишком густое масло при обеспечении более высокой несущей способности пар трения плохо прокачивается через систему смазки, увеличивает потери мощности в двигателе и плохо фильтруется. Такое масло ведет к износу цилиндропоршневой группы, так как хуже разбрызгивается, а также - распределительного вала, особенно, если он расположен в головке блока. В общем случае считается, что для ДВС вязкость при 100°C должна составлять около 8сСт. Проблема со свойством вязкости масла состоит в том, что оно изменяется в зависимости от режима работы двигателя и климатических условий. Как правило, с понижением температуры вязкость масла увеличивается. Поэтому при эксплуатации ДВС играет роль не только вязкость масла при определенной температуре, но ее изменение в диапазоне температур, при котором работает двигатель. Такая зависимость носит название **вязкостно-температурной характеристики масла**. Считается, что при прочих равных условиях лучшим является масло, у которого вязкость меньше зависит от температуры, т.е. вязкостно-температурная характеристика - пологая. Оценка «пологости» вязкостно-температурной характеристики производится условным показателем, который называется - **индекс вязкости**. Он представляет собой результат сопоставления данного масла с двумя эталонными. Чем индекс вязкости масла больше, тем выше температурный интервал его применения. Существует верхний предел для вязкости масла, при котором возможен пуск двигателя. Считается, что он составляет

6000...10000 сСт. При большей вязкости, из-за существенного снижения текучести масла, смазка деталей двигателя не производится, т.е. возникает слишком большое трение в сопряженных парах. Масло представляет собой многофракционную жидкость, поэтому оно не замерзает при определенной температуре, а густеет постепенно. Для оценки этого процесса введен показатель **температуры застывания** - температуры, при которой масло практически теряет подвижность. **Стабильность масла** - его способность противостоять окислению и изменению своего состава в процессе эксплуатации.

Эксплуатационные свойства подразделяют масла на классы в зависимости от условий эксплуатации двигателя.

На сегодня в мире не существует единой системы классификации масел.

В СССР с 1950 г. для масел использовалась маркировка, отражавшая тип двигателя, для которого предназначалось масло (А - карбюраторный двигатель, Д - дизель); способ очистки (С - селективный, К - кислотнo-щелочной) и вязкость в сантистоксах при 100 °С. Буква «З» говорила о том, что масло загущенное, а наличие в масле присадок отражалось нижним индексом «п» /4/. Например, по обозначению АС-8 можно было определить, что это масло для карбюраторного двигателя с селективной очисткой и вязкостью 8сСт при 100 °С. Со временем такая система перестала отражать растущие требования к маслу и в 1974 г. был введен ГОСТ 17479-72 «Масла моторные. Классификация».

В зависимости от эксплуатационных свойств, в нем было установлено шесть основных групп масел для двигателей, в зависимости от степени их форсирования и принципа действия: А - для нефорсированных, Б - для малофорсированных, В - для среднефорсированных, Г - для высокофорсированных, Д - для высокофорсированных дизелей, работающих в тяжелых условиях, и Е - для тихоходных стационарных дизелей, работающих на топливе с повышенным содержанием серы. Масла групп Б, В и Г подразделяются на масла для бензиновых двигателей (обозначались индексом «1») и масла для дизелей (индекс «2»). Масла групп Д и Е выделялись отдельно, так как они непригодны для карбюраторных двигателей.

По вязкости устанавливалось 11 групп: семь обычных и четыре для загущенных масел: 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 4₃/6, 4₃/8, 4₃/10 и 6₃/10. Цифра без индекса выражала значение вязкости в сСт при 100 °С, а цифра с индексом - условную вязкость в сСт при -18 °С.

В 1987 году был введен ГОСТ 17479.1-85, действующий в настоящее время /1/. По своей сути этот ГОСТ-дальнейшее развитие ГОСТа 17479-72.

По ГОСТу 17479.1-85 марки отечественных моторных масел начинаются с буквы М (означает «моторное»). Далее указывается класс вязкости (для всесезонных масел - двойное обозначение, разделенное знаком дроби) и завершается буквенным обозначением группы по эксплуатационным качествам (А, Б, В, Г, Д, Е) с индексом 1 - для бензиновых, или 2 - для дизельных двигателей. Если после буквы Г цифр нет, это означает, что данный сорт масла приемлем как для бензиновых, так и дизельных двигателей. Как и в предыдущем ГОСТе, в маркировку масла включаются важнейшие его показатели - вязкость при рабочей температуре (по стандарту - 100 °С) и при низкой температуре (минус 18 °С). Первый из них включается в маркировку всех сортов отечественных масел (как летних, зимних, так и всесезонных). Оба показателя указываются только в марках всесезонных масел - сначала вязкость дистиллятного масла (основы) при температуре 100 °С, которое при минус 18 °С

имеет вязкость 1300...2600 сСт или 2600...10400 сСт, а затем через дробь - номинальная вязкость масла при рабочей температуре (100 °С). Так маркировка М 6_з/10Г₁ показывает, что вязкость масла соответствует шестому классу вязкости (2600...10400 сСт при температуре 255 К) и 10 сСт при рабочей температуре (100 °С). Температура минус 18 °С выбрана из тех соображений, что она соответствует нулю американской шкалы температур по Фаренгейту. Соответствие шкал температур выражается соотношением:

$$\text{Градус Фаренгейта} = (\text{градус Цельсия} \cdot 1,8) + 32$$

Введение в состав всесезонного масла загустителей улучшает его свойства во всем интервале температур, от отрицательных, при пуске двигателя, до рабочих. В маркировке загуститель обозначается строчной буквой «з», что свидетельствует о принадлежности масла к группе всесезонных, например М6_з/10Г₁.

Классификация моторных масел, согласно ГОСТ 17479.1-85, подразделяет их на классы по вязкости и группы по значению и уровням эксплуатационных свойств. Ниже приведено описание отечественной классификации моторных масел с учетом изменения №3 к ГОСТ 17479.1-85, согласно которому увеличено число классов вязкости и изменены их границы, введены новые группы по назначению и уровням эксплуатационных свойств, а также некоторые изменения в наименованиях (см. табл. 3.4.1 и 3.4.2). Так, масла для карбюраторных двигателей теперь называются более точным термином - маслами для бензиновых двигателей.

Табл. 3.4.1. Классы вязкости по ГОСТ 17479.1-85

Классы вязкости моторных масел		
Класс вязкости	Кинематическая вязкость, мм ² /с, при температуре	
	100 °С	минус 18 °С, не более
3 _з	3,8	1250
4 _з	4,1	2600
5 _з	5,6	6000
6 _з	5,6	10400
6	св.5,6 до 7,0	10400

Продолжение табл. 3.4.1

8	от 7,0 до 9,3	10400
10	от 9,3 до 11,5	10400
12	от 11,5 до 12,5	10400
14	от 12,5 до 14,5	10400
16	от 14,5 до 16,3	10400
20	от 16,3 до 21,9	10400
24	от 21,9 до 26,1	10400
3 _з /8	от 7,0 до 9,3	1250
4 _з /6	от 5,6 до 7,0	2600
4 _з /8	от 7,0 до 9,3	2600
4 _з /10	от 9,3 до 11,5	2600
5 _з /10	от 9,3 до 11,5	6000
5 _з /12	от 11,5 до 12,5	6000
5 _з /14	от 12,5 до 14,5	6000
6 _з /10	от 9,3 до 11,5	10400
6 _з /14	от 12,5 до 14,5	10400
6 _з /16	от 14,5 до 16,3	10400

В зависимости от вязкости, согласно ГОСТу, моторные масла делят на следующие классы:

- летние масла - 8, 10, 12, 14, 16, 20, 24;
- зимние масла - 3_з, 4_з, 5_з, 6_з, 8 (масло класса 8 может использоваться как в летний, так и зимний периоды);
- всесезонные масла, обозначаемые двумя цифрами, (например 6_з/16). Буква «з» говорит о том, что масло загущено присадками типа полиизобутилена.

Табл. 3.4.2. Группы моторных масел по назначению ГОСТ 17479.1-85

Группы моторных масел по назначению		
Группа масла по эксплуатационным свойствам		Рекомендуемая область применения
А	-	Нефорсированные бензиновые двигатели и дизели
Б	Б ₁	Малофорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, которые способствуют образованию высокотемпературных отложений и коррозии подшипников.
	Б ₂	Малофорсированные дизели
В	В ₁	Среднефорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, которые способствуют окислению масла и образованию отложений всех видов.
	В ₂	Среднефорсированные дизели, предъявляющие повышенные требования к антикоррозионным, противоизносным свойствам масел и способности предотвращать образование высокотемпературных отложений.
Г	Г ₁	Высокофорсированные бензиновые двигатели, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях, способствующих окислению масла, образованию отложений всех видов и коррозии.
	Г ₂	Высокофорсированные дизели без наддува или с умеренным наддувом, работающие в эксплуатационных условиях, способствующих образованию высокотемпературных отложений.

Продолжение табл. 3.4.2

Д	Д ₁	Высокофорсированные бензиновые двигатели, работающие в эксплуатационных условиях, более тяжелых, чем для масел группы Г ₁ .
Д	Д ₂	Высокофорсированные дизели с наддувом, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях или когда применяемое топливо требует использования масел с высокой нейтрализующей способностью, антикоррозионными и противоизносными свойствами, малой склонностью к образованию всех видов отложений.
Е	Е ₁	Высокофорсированные бензиновые двигатели и дизели, работающие в эксплуатационных условиях, более тяжелых, чем для масел групп Д ₁ и Д ₂ .
	Е ₂	Отличаются повышенной диспергирующей способностью, лучшими противоизносными свойствами.

Пример обозначения масла М-6_з/10В: моторное (М), всесезонное (6_з/10), вязкость

которого повышена (при температуре 100 °С) с 6 сСт (6) введением загустителей (з) до 10 сСт (10), предназначено для среднефорсированных (В) бензиновых и дизельных двигателей (без индекса). В обозначении марки масла в скобках могут быть дополнительные индексы, характеризующие специальные свойства, состав или назначение масла. Так, в обозначении марки масла М-8Г₂(к), буква "к" означает, что масло предназначено для высокофорсированных дизельных двигателей автомобилей КамАЗ и тракторов К-701

За границей используются другие классификации моторных масел.

Так, в настоящее время единственной признанной в зарубежных странах системой классификации по вязкости автомобильных моторных масел является спецификация **SAE J300** (см. табл.3.4.3), по своей структуре схожая с ГОСТ 17479.1-85. SAE - это аббревиатура Общества Автомобильных Инженеров США (Society of Automotive Engineers).

Эта классификация подразделяет моторные масла на 6 зимних (0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W) и 5 летних (20, 30, 40, 50, 60) классов вязкости. Всесезонные масла обозначаются сдвоенным номером, первый из которых указывает максимальные значения динамической вязкости масла при отрицательных температурах и гарантирует пусковые свойства, а второй - определяет характерный для соответствующего класса вязкости летнего масла диапазон кинематической вязкости при 100 °С и динамической вязкости при 150 °С. Методы испытаний, заложенные в оценку свойств масел по SAE J300, дают информацию о предельной температуре масла, при которой возможно проворачивание двигателя стартером и масляный насос прокачивает масло под давлением в процессе холодного пуска в режиме, не допускающем сухого трения в узлах. Заметен тот факт, что для двигателей различной конструкции температурные диапазоны работоспособности масла данного класса по SAE существенно отличаются. Они зависят от мощности стартера, минимальной частоты вращения коленчатого вала, требуемой для пуска двигателя, от производительности масляного насоса, от гидравлического сопротивления маслоприемного тракта и многих других факторов.

Табл. 3.4.3. Классы вязкости моторных масел по SAE J300

Класс вязкости по SAE	Низкотемпературная вязкость		Высокотемпературная вязкость			
	Проворачиваемость ¹⁾ , МПа·с, max, при температуре, °С	Прокачиваемость ²⁾ , МПа·с, max, при температуре, °С	Кинематическая вязкость ³⁾ , мм ² /с при 100°С	min	max	При высокой скорости сдвига ⁴⁾ , МПа·с, при 150 °С и 10 ⁶ с ⁻¹ , min
0W	3250 при -30	30000 при -35	3,8	-	-	-
5W	3500 при -25	30000 при -30	3,8	-	-	-
10W	3500 при -20	30000 при -25	4,1	-	-	-
15W	3500 при -15	30000 при -20	5,6	-	-	-

Продолжение табл. 3.4.3

20W	4500 при -10	30000 при -15	5,6	-	-
25W	6000 при -5	30000 при -10	9,3	-	-
20	-	-	5,6	9,3	2,6
30	-	-	9,3	12,5	2,9
40	-	-	12,5	16,3	2,9 (классы 10W/40, 5W/40, 10W/40)
40	-	-	12,5	16,3	3,7 (классы 15W/40, 20W/40, 25W/40,40)
50	-	-	16,3	21,9	3,7
60	-	-	21,9	26,1	3,7
1) ASTM D 2602 - имитатор холодного пуска CCS; 2) ASTM D 4684 и D 3829 - мини - ротационный вискозиметр MRV; 3) ASTM D 445 - стеклянный капиллярный вискозиметр; 4) ASTM D 4683 - конический имитатор подшипника.					

Среди классификаций автомобильных масел по назначению и уровням эксплуатационных свойств широко известна классификация **API** Американского Нефтяного Института, развивающаяся с 1969 г (см. табл. 3.4.4, 3.4.5). По системе API (ASTM D 4485, SAE J183 APR96) установлены три эксплуатационные категории (три ряда) назначения и качества моторных масел:

S - категории качества моторных масел для бензиновых двигателей,

C - категории качества и назначения масел для дизельных двигателей,

ES - энергосберегающие масла.

Табл. 3.4.4. Классификация API моторных масел для бензиновых двигателей

Для карбюраторных двигателей - классы масел по шкале S			
Группа масел	Рекомендуемая область применения	Годы выпуска автомобилей	Качественные показатели
SA	Двигатели, работающие в легких условиях, используется только по требованию производителя	-	-
SB	Двигатели, работающие при умеренных нагрузках, используется только по требованию производителя	-	-
SC	Двигатели, работающие с повышенными нагрузками	1964-1967	-
SD	Среднефорсированные двигатели, работающие в тяжелых условиях	1968-1971	среднее
SE	Высокофорсированные двигатели, работающие в тяжелых условиях	1972-1979	высшее
SF	Двигатели, работающие в тяжелых условиях на неэтилированном бензине, высокофорсированные, без турбонаддува	до 1988г.	высшее для двухтактных моторов
SG	Высокофорсированные двигатели с турбонаддувом	1989-1993	высшее для четырехтактных моторов
SH	Высокофорсированные перспективные автомобили с высоким турбонаддувом	до 1996г.	высшее для моделей 1995г.
SJ	Для всех используемых моделей	1996г.	-

Табл. 3.4.5. Классификация API моторных масел для дизельных двигателей

Для дизельных двигателей - классы масел по шкале С			
Группа масел	Рекомендуемая область применения	Годы выпуска автомобилей	Качественные показатели
СА	Двигатели, работающие при умеренных нагрузках на малосернистом топливе	1940-1950	-
СВ	Среднефорсированные двигатели без наддува, работающие при повышенных нагрузках на сернистом топливе	1949-1960	-
СС	Высокофорсированные двигатели (в том числе с умеренным наддувом), работающие в тяжелых условиях	с 1961 г.	Низкие
СD	Высокофорсированные двигатели с высоким наддувом, работающие в тяжелых условиях на высокосернистом топливе	с 1955 г.	Среднее
СЕ	Высокофорсированные перспективные двигатели с высоким турбонаддувом, работающие в тяжелых условиях, может использоваться вместо масел классов СС и СD	с 1987 г.	Высшее
CF-2	Улучшенные характеристики, используется вместо СD-II для двухтактных двигателей	с 1994 г.	высшее для двухтактных моторов
CF-4	Для высокоскоростных, четырехтактных двигателей с турбонаддувом, используется вместо масел класса СЕ	с 1990 г.	высшее для четырехтактных моторов
CG-4	Для четырехтактных двигателей, работающих в тяжелых условиях, может использоваться вместо масел СD, СЕ и CF-4	с 1995 г.	высшее для моделей с 1995 г.

3.4.3. Соответствие зарубежных классификаций отечественному ГОСТу

На практике часто возникает вопрос о взаимозаменяемости отечественных и зарубежных моторных масел, например при эксплуатации отечественной техники на зарубежных маслах или, реже, зарубежной техники - на отечественных. Наиболее общепринятой в международном масштабе стала классификация моторных масел SAE J300. ГОСТ 17479.1-85 в справочных приложениях дает примерное соответствие классов вязкости и групп по назначению и эксплуатационным свойствам, изложенным в ГОСТе, классам вязкости по SAE по условиям и областям применения моторных масел.

Данные таблицы (см. табл. 3.4.6 и 3.4.7) дают возможность подбирать ориентировочные аналоги для отечественных и зарубежных масел.

Табл. 3.4.6. Перевод классификаций ГОСТа и SAE

Соответствие классов вязкости			
Класс вязкости		Класс вязкости	
ГОСТ	SAE	ГОСТ	SAE
3 ₃	5W	24	60
4 ₃	10W	3 ₃ /8	5W-20
5 ₃	15W	4 ₃ /6	10W-20
6 ₃	20W	4 ₃ /8	10W-20
6	20	4 ₃ /10	10W-20
8	20	5 ₃ /10	15W-30
10	30	5 ₃ /12	15W-30
12	30	5 ₃ /14	15W-40
14	40	6 ₃ /10	20W-30
16	40	6 ₃ /14	20W-40
20	50	6 ₃ /16	20W-40

Уровень эксплуатационных свойств и область применения масел, зарубежные производители обычно указывают по классификации API. В справочных приложениях ГОСТ 17479.1-85 приведено примерное соответствие групп по назначению и эксплуатационным свойствам, изложенным в ГОСТе, классам API по условиям и областям применения моторных масел. В таблице приведены данные, которые дают возможность, зная стандартную марку отечественного масла, выбрать его зарубежный аналог или наоборот, подобрать ближайший отечественный аналог импортного масла.

Табл. 3.4.7. Перевод классификаций ГОСТа и API

Соответствие групп моторных масел			
Группа масла		Группа масла	
ГОСТ	API	ГОСТ	API
А	SB	Г ₂	CC
Б	SC/CA	Д ₁	SF
Б ₁	SC	Д ₂	CD
Б ₂	CA	Е ₁	SG
В	SD/CB	Е ₂	CF-4
В ₁	SD	-	SH*
В ₂	CB	-	SJ*
Г	SE/CC	-	CG-4*
Г ₁	SE	-	-

* - Эти классы API не имеют аналогов в ГОСТе

3.4.3.1. Краткие сведения об ассортименте масел

Моторное масло представляет собой смесь из **базового масла** и множества **присадок**, улучшающих его свойства и продлевающих срок его службы. Базовое масло - основной ингредиент любого моторного масла, обеспечивающий его смазывающие свойства. Базовое масло может быть натуральным **минеральным**, **полусинтетическим** и **синтетическим**. В нашей стране до недавнего времени широко использовались масла из нефти, называемые **минеральными**. Эти масла получают смешиванием базовых дистиллятных и (или) остаточных масел. Кроме нефтяной основы эти масла содержали пакет присадок, обеспечивающих антивспенивание, защиту элементов двигателя от коррозии, стабильность физико-химических свойств масла и т.п.. Для получения всесезонных масел в маловязкое масло добавляли загущающую присадку, которая, не изменяя вязкости при низкой температуре, повышала ее при высокой (рабочей) температуре. Такие масла называются загущенными. Они в несколько раз более подвижны при морозе, чем обычные, при одинаковой с ними вязкости при рабочей температуре. Однако, несмотря на это, данные масла все равно отличались неоптимальной вязкостно-температурной характеристикой, т.е. их вязкость сильно изменяла свое значение от температуры.

Улучшенными вязкостно-температурными характеристиками обладают **полусинтетические моторные масла**, базовая основа которых получается смешиванием минеральных и синтетических масел (до 20...30 %).

Наконец наилучшими вязкостно-температурными показателями обладают полностью **синтетические** масла, наиболее пригодные для современных высокофорсированных моторов. Эти масла объединяют в себе свойства, присущие маловязким зимним маслам и вязким летним. Первое обеспечивает прокручивание коленчатого вала при низких температурах и уменьшает механические потери на трение, а второе - определяет повышенную вязкость и устойчивость масляной пленки к разрыву при высоких температурах.

Независимо от типа моторного масла, в настоящее время каждое из них содержит набор каких-либо дополнительных присадок, улучшающих качество масла. До начала 30-х годов XX века в ДВС использовались нефтяные масла без присадок. Однако рост степени форсированности двигателей и появление наддува вызвало проблему пригорания поршневых колец, для решения которой и были впервые разработаны специальные масла с моющими (детергентными) присадками.

Одновременно с проблемой повышения моющих свойств масел пришлось решать проблему об увеличении окислительной стабильности масел при повышенных рабочих температурах, вызванную теми же причинами. В высокофорсированных и соответственно теплонагруженных двигателях нефтяные масла начинали окисляться уже при 120 °С. Поэтому примерно с 1940 г начали использоваться антиокислительные присадки.

Растущая автомобилизация расширила области использования автомобилей, в том числе и климатические. Как уже говорилось выше, важнейшей характеристикой моторных масел является их вязкость, от величины которой зависят их смазочные свойства, расход, прокачиваемость по смазочной системе, пусковые качества двигателя и т.д.. Между тем вязкость нефтяных масел при изменении температуры в диапазоне от минус 20 °С до 100 °С уменьшается более чем в тысячу раз, следовательно, их сложно использовать при круглогодичной эксплуатации двигателя. Решение этой проблемы в начале 50-х годов XX века нашло выражение в появлении всесезонных масел, обеспечивающих как работу двигателя при высоких температурах, так и надежный его пуск при низких температурах. Для улучшения вязкостно-температурной характеристики таких масел в маловязкую базовую основу стали добавлять специальные полимерные присадки, повышающие вязкость масла с ростом температуры.

Дальнейшее совершенствование ДВС и рост их характеристик вызвало и соответствующие работы над присадками к маслам. Так появились антипенные, противоизносные, противозадирные и ряд других присадок.

Основные типы присадок, которые должно содержать современное моторное масло, и их назначение представлены в табл. 3.4.8.

Табл. 3.4.8. Назначение основных типов присадок, содержащихся в моторных маслах

Тип присадки	Назначение
Детергентно-диспергирующие	Предотвращают образование нагаров на горячих деталях двигателя (например на поверхностях поршней). Поддерживают в мелкодисперсном состоянии нерастворимые в масле продукты, предотвращая их осаждение на деталях двигателя.
Антифрикционные, противоизносные и противозадирные	Уменьшают трение и износ деталей, предотвращают появление задиров (вырывы металла в зонах трения)
Антиокислительные	Тормозят процессы окисления масла при повышенных температурах
Вязкостные	Позволяют оптимизировать вязкость масла при изменении его температуры
Депрессорные	Снижают температуру застывания масла
Противопенные	Предотвращают вспенивание масла при повышенных температурах и обеспечивают стабильность его подачи к узлам трения

Потребность в применении дополнительных присадок к моторным маслам возникает при эксплуатации двигателя в экстремальных условиях или при эксплуатации изношенного двигателя, с целью продления его ресурса. Однако, как любое лекарство имеет отрицательные стороны своего применения, так и дополнительные присадки могут нанести вред отдельным узлам ДВС (см. табл. 3.4.9). Именно поэтому зарубежные производители в инструкциях к новым автомобилям, как правило, специально оговаривают запрет на использование каких-либо дополнительных присадок к рекомендуемым маслам.

Табл. 3.4.9. Дополнительные товарные присадки к моторным маслам

Тип присадки (основное действие)	Обычный состав	Возможные отрицательные эффекты
Приработочные – абразивные и геомодификаторы	абразив (алмазный порошок, карбиды, окиси кремния и т.п.)	Повышенный износ сопряженных твердых поверхностей, ухудшение теплоотвода из-за изменения теплопроводности. Как следствие возможно: калильное зажигание, повышение расхода масла на угар, заклинивание поршней.
Металло-плакирующие	порошки пластичных металлов - меди, олова, свинца	Ускоряют окисление масла, приводят к росту отложений на свечах и клапанах, отравляют нейтрализаторы
Модификаторы трения	суспензии графита, дисульфида молибдена или тефлона	Забивают фильтры и масляные каналы, образуют отложения на поршнях и цилиндрах, ухудшают теплоотвод и приводят к локальным перегревам деталей
Чистящие и химически полирующие	химически агрессивные реагенты	Вызывают коррозию и износ деталей

Из сказанного следует, что для исправного двигателя более целесообразно сокращение сроков замены рекомендованного масла, нежели использование каких-либо дополнительных присадок. Для изношенных двигателей грамотное применение дополнительных присадок к маслу оправданно с целью продления ресурса до капитального ремонта.

3.4.3.2. 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 основные составляющие: 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. стиль 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, 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 измерения 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, 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 ВНИИ НП-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 см^3 на 100 км, а для двигателей ВАЗ-2106 - 30 см^3 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:

$$v_{\text{смеси}} = v_1 q_1 + v_2 (1 - q_1)$$

где v_1 и v_2 - вязкости соответственно первого и второго масел, сСт; q_1 - доля в смеси первого масла.

3.4.3.3. Возможные неисправности системы смазки

1. Отсутствие давления масла в системе смазки. Может быть обусловлено недостаточным уровнем масла в поддоне картера двигателя, которое имеет место при негерметичности 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, либо 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 цилиндра-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.

Контрольные вопросы

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.
7. В чём отличие системы смазки карбюраторного двигателя и инжекторного двигателя от системы смазки дизеля?
8. Чем контролируется давление в системе смазки двигателя?
9. Какое давление масла должно быть в двигателе на разных режимах работы?

Список использованной литературы

1. *Синельников А. Ф., Балабанов В. И.* Автомобильные топлива, масла и эксплуатационные жидкости. Краткий справочник. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулём», 2003. – 176 с.: ил., табл..
2. *Р. Балтенас, А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, В. Шергалис.* Моторные масла. Москва - СПб.: Альфа-Лаб, 2000. - 272 с.
3. *С. Ф. Зеленин, В. А. Молоков.* Учебник по устройству автомобиля. М: Русь Автокнига, 2003. - 80 с.
4. *Яременко О. В.* Твой друг-автомобиль. М.: Досааф, 1988. - 367 с.
5. *Колосяк Д. С., Кузнецов А. В.* Автотракторные топлива и смазочные материалы: Учеб. для вузов. - Киев: Вища шк., 1987. - 192 с., ил.

3.5. Системы питания ДВС различных типов

Одной из важнейших систем ДВС является система питания. Она снабжает двигатель топливом, которое является носителем запаса химической энергии ($E_{хим}$), которая впоследствии преобразуется в двигателе сначала в теплоту, а затем в работу ($E_{хим} \rightarrow q_1 \rightarrow L$). Термин «питание» подразумевает подачу топлива в двигатель с соответствующей подготовкой его к химическим реакциям окисления кислородом воздуха.

3.5.1. Назначение, структура и разновидности систем топливоподачи ДВС

В общем случае **система топливоподачи (СТП)** предназначена для создания и хранения некоторого запаса энергоносителя (топлива), транспортировки его в узел, где происходит образование топливовоздушной смеси (ТВС), подготовки горючей смеси и подачи её в камеру сгорания.

По определению в структуру СТП входят:

- **ёмкость**, с соответствующим оборудованием, для создания и хранения некоторого запаса горючего (бункер, бак или баллон, в зависимости от фазового состояния топлива);

- **топливная магистраль** и агрегаты (насосы, фильтры, редукторы для газообразного топлива, устройства подогрева либо охлаждения, агрегаты управления топливоподачей) обеспечивающие подачу горючего с требуемыми параметрами в устройство, обеспечивающее подготовку ТВС;

- **«карбюратор»** - устройство, в котором происходит подготовка газообразной горючей смеси из топлива и воздуха, вне зависимости от начального фазового состояния топлива.

Следует отметить, что облик СТП ДВС формируют вид топлива (в том числе его фазовое состояние) и принцип работы «карбюратора».

При использовании в ДВС твёрдого топлива в топливную магистраль включается агрегат (**газогенератор**), где происходит газификация твёрдых горючих веществ. Он располагается до «карбюратора».

Если **двигатель работает на жидком топливе** (как правило, на бензине) и **ТВС готовится в специальном узле**, где жидкость испаряется и смешивается в требуемом соотношении с воздухом до подачи в камеру сгорания, то этот узел называют **карбюратором** (без кавычек). Необходимое соотношение топлива и воздуха в карбюраторах обеспечивается за счёт подсоса (**эжекции**) жидкости потоком воздуха и величины проходных сечений для этих компонентов.

Если **в качестве топлива применяется горючий газ** (генераторный, сжатый природный или сжиженный нефтяной), то «карбюратор» называют просто **смесителем**.

Большая доля мирового парка ДВС (дизеля и двигатели с искровым зажиганием и впрыском топлива через форсунки) имеет **инжекторный тип СТП**. В этих топливных системах поступление жидкого топлива в полость «карбюратора» обеспечивается его подачей через форсунки (инжекторы) с помощью топливного насоса. Причём дозирование соотношения топлива и воздуха в ТВС происходит либо с помощью **топливного насоса высокого давления (ТНВД)**, либо с помощью управления временем открытия топливной **форсунки, представляющей собой электромагнитный клапан**, с соответствующим **блоком управления**. В современных СТП это, как правило, электронный блок управления (ЭБУ).

В качестве «карбюратора» в этих двигателях используется или часть воздушного впускного трубопровода непосредственно перед впускным клапаном цилиндра, или (и) объём камеры сгорания. В зависимости от того, какой вариант применяется, СТП разделяют на системы с **внешним** (первый вариант), либо с **внутренним** (непосредственно в цилиндре двигателя) смесеобразованием. К первому варианту относятся ДВС с искровым зажиганием (ДСИЗ) и впрыском бензина во впускной трубопровод. Ко второму варианту можно отнести все дизеля и ДСИЗ с **непосредственным впрыском бензина в цилиндры**.

3.5.2. Краткая характеристика топлив, применяемых в ДВС

В ДВС транспортных устройств в качестве топлива наиболее широко используются **жидкие и газообразные углеводороды**, что является причиной появления особенностей в структуре СТП в соответствии с фазовым состоянием рабочего тела системы. Жидкие топлива, в свою очередь, также можно разделить на два крупных класса: топлива для двигателей с принудительным зажиганием (для ДСИЗ) - **бензины**, и топлива для двигателей с воспламенением от сжатия (для дизелей) - **дизельное топливо**.

Требования к свойствам и качеству топлива /1, 3, 6, 7/.

Для любого топлива, как энергоносителя, основным свойством является его энергоёмкость, которую оценивают двумя показателями:

- плотностью ρ , кг/м³;
- теплотворностью H_u , Дж/кг.

Мощность, которую развивает двигатель, прямо пропорциональна теплотворности топлива, следовательно, величина H_u определяет его расход. По расходу топлива с учётом его плотности рассчитываются проходные сечения и размеры полостей СТП, а также объёмы баков, влияющие на величину пробега транспорта без дозаправки.

При проектировании топливной аппаратуры для жидкого энергоносителя не менее важными являются его вязкость ν , сСт и смазывающие свойства. С учётом этих показателей выбираются материалы трущихся пар в насосах и форсунках, рассчитывается количество энергии, необходимое для прокачки и распыливания топлива, а также размеры фильтров и других элементов СТП, ограничивающих скорость движения топлива в её магистралях.

С точки зрения эксплуатации ДВС, любое топливо, вне зависимости от фазового состояния и величины перечисленных выше параметров, должно обеспечивать:

- надёжный запуск двигателя в широком диапазоне изменения внешних условий;
- высокую полноту сгорания при нормально протекающем процессе горения.

Необходимо также, чтобы топливо обладало ещё рядом свойств, обеспечивающих длительную и бесперебойную работу на всех режимах как СТП, так и двигателя в целом. К таким свойствам следует отнести:

- химическую и физическую стабильность при транспортировке, хранении и перекачке по магистралям СТП;
- низкое содержание веществ, способствующих отложению нагара на горячих деталях работающего двигателя;
- неагрессивность относительно материалов деталей СТП и двигателя, в том числе неагрессивность продуктов сгорания относительно материалов выпускной системы двигателя;
- высокую степень чистоты, т.е. отсутствие в составе топлива воды и механических примесей.

Соответствие состава топлива принятым стандартам и степень его чистоты характеризуют качество энергоносителя, поставляемого потребителям.

С точки зрения условий, обеспечивающих образование качественной ТВС, к жидким энергоносителям предъявляется дополнительное требование оптимальной испаряемости.

Хорошая испаряемость топлива является гарантией того, что процесс подготовки ТВС (а это - **смесь паров топлива с воздухом**) успеет завершиться в отведённый для этого промежуток времени. На номинальном режиме работы большинства двигателей этот промежуток составляет несколько миллисекунд. Между тем, не требуется максимальная скорость испарения, поскольку в летних условиях, при высокой температуре окружающей среды, это свойство приводит к появлению паровых пробок в магистралях СТП, т.е. к неустойчивой работе двигателя.

В отдельную группу можно выделить так называемые «экологические требования», предъявляемые к топливам в связи со всё возрастающей долей выбросов поршневыми двигателями вредных веществ в общем объёме этих выбросов по причине техногенной деятельности человека. Для всех видов топлива основным, в этом плане, является требование снижения выбросов продуктов неполного сгорания (СО, сажи, несгоревших углеводородов, в том числе и полициклических ароматических), паров жидкого топлива (не только двигателями, но и нефтеперегонными заводами), окислов азота, соединений серы. Рост доли выбросов ДВС связан не с ухудшением качества работы этих двигателей, а с лавинообразным ростом их количества. По некоторым оценкам на Земном шаре в настоящее время более полутора миллиардов действующих ДВС.

Кроме перечисленных, общих для всех видов топлива требований, для каждой из основных групп (бензины, дизельные и газообразные топлива) существует ряд специфических, которые находят отражение и в экологических аспектах эксплуатации двигателей.

Бензины. С точки зрения химии бензин - это смесь легких углеводородов, получаемых при перегонке нефти (бензины прямой перегонки), а также путем коксования, крекинга и риформинга. Важнейшей характеристикой бензина как моторного топлива является октановое число, отражающее его стойкость к детонации. **Детонация** - это сгорание смеси воздуха с парами бензина, сопровождающееся самовоспламенением и горением в ударных волнах. Скорость распространения этих волн может достигать 2000 м/с в сравнении со скоростью распространения пламени равной 20...35 м/с при нормальном горении в турбулентной ТВС. Детонация может привести к разрушению деталей ЦПГ и КШМ, поэтому условия её возникновения должны быть исключены из эксплуатации ДВС. Причинами появления детонации могут быть конструктивные особенности двигателя, специфические режимы его работы, нарушения параметров регулирования, но, прежде всего, пониженные **антидетонационные свойства бензина**.

Склонность к детонационному горению любого бензина является столь важной его характеристикой, что находит отражение в его маркировке и оценивается так называемым **октановым числом (ОЧ)**. Бензин - это смесь большого числа (до 100...130) индивидуальных углеводородов. Детонационная стойкость бензина, в основном, зависит от его углеводородного состава. Наименее склонны к детонации ароматические углеводороды, наиболее склонны - углеводороды изопарафинового ряда. Варьируя при изготовлении пропорции тех или иных углеводородов, добиваются максимального значения ОЧ, т.е. максимальной стойкости бензина к возникновению детонационного горения.

Октановое число вновь разработанной марки бензина определяют при его испытании на стандартизованных лабораторных установках **моторным (ОЧ_М)** и **исследовательским (ОЧ_И)** методами. Моторный метод имитирует работу ДВС на форсированных режимах при достаточно больших и длительных нагрузках. Бензины, испытанные по этому методу, обозначают буквой **А**. Число после этой буквы означает ОЧ_М, например, А-76.

Исследовательский метод имитирует режимы работы легкового автомобиля в городских условиях. В этом случае марку обозначают буквами **АИ** с соответствующим $OЧ_{И}$, например, АИ-93, АИ-98. Ориентировочно требуемое октановое число можно подсчитать по формуле:

$$OЧ_{М} = 125,4 - \left(\frac{413}{\varepsilon} \right) + 0,183 \cdot D_{ц}$$

где $OЧ_{М}$ - октановое число по моторному методу; ε - степень сжатия; $D_{ц}$ - диаметр цилиндра, мм.

Разница между $OЧ_{И}$ и $OЧ_{М}$ у одного и того же бензина может составлять от 2 до 12 единиц ($OЧ_{И} > OЧ_{М}$). Эта величина называется **чувствительностью бензина** и характеризует возможные отклонения детонационной стойкости бензина в реальных условиях эксплуатации от стойкости, определённой лабораторными методами. Чем больше чувствительность бензина, тем выше его детонационная стойкость на неустановившихся режимах работы двигателя.

Повышения $OЧ$ добиваются не только изменением его углеводородного состава, но и введением антидетонационных присадок, таких как тетраэтилсвинец (ТЭС), метилтретичнобутиловый эфир (МТБЭ), марганцевые антидетонаторы (ЦТМ, МЦТМ), железосодержащие присадки (ферроцены).

В связи со всё возрастающими экологическими требованиями, предъявляемыми к составу продуктов сгорания различных бензинов в России и других странах мира прекращено использование присадки ТЭС, поскольку она является причиной выбросов двигателями токсичных соединений свинца. В соответствии с ГОСТ Р 51107-97 «Бензины для автомобильного транспорта» предусмотрен выпуск бензинов «Премиум -95» и «Супер-98», удовлетворяющих экологическим требованиям европейских норм EN 228.

Бензин является многофракционной жидкостью, так как в его состав входят различные углеводороды. С **фракционным составом** бензина связаны такие характеристики двигателя, как его пуск, образование паровых пробок в системе питания, прогрев и приемистость, экономичность и долговечность работы.

Наличие различных фракций в бензине характеризуется **кривой перегонки**. Она получается следующим образом. Во время перегонки записывают температуру начала кипения, затем выкипания 10%, 50%, 90% и конца перегонки. Эти данные приводят в стандартах и паспортах качества бензина и обозначаются, соответственно, $T_{н.п.}$, $T_{10\%}$, $T_{50\%}$, $T_{90\%}$, $T_{к.п.}$. Температура выкипания 10% бензина в значительной мере характеризует его пусковые качества. Чем она ниже, тем легче пустить двигатель в холодную погоду. Вместе с тем слишком низкая температура выкипания 10% бензина может осложнить запуск двигателя в жару из-за закипания бензина в бензопроводе, паровых пробок и т.д. Большое значение для эксплуатационных свойств бензина имеет интервал температур от начала кипения легких фракций, до окончания кипения тяжелых, концевых фракций. Чем уже этот интервал, тем меньше время прогрева ДВС и выше его приемистость. Эти свойства бензина определяются температурой выкипания 50% входящих в бензин фракций (медианная температура кипения бензина). Наконец, температура конца перегонки при которой полностью выкипают тяжелые фракции, определяет долговечность двигателя. Чем она выше, тем сильнее износ двигателя при его работе на этом бензине.

Давление насыщенных паров характеризует испаряемость бензиновых фракций и их пусковые качества. Давление (или упругость) паров бензина зависит от его химического и

фракционного составов. Как правило, чем больше в топливе содержится легкокипящих углеводородов, тем выше упругость паров. Использование бензина с высокой упругостью паров приводит к повышенному образованию паровых пробок в системе питания, снижению наполнения цилиндров, падению мощности.

Удельной теплотой сгорания бензина называют количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании 1 кг топлива. Различают две теплоты сгорания: высшую и низшую. Высшая теплота (H_v) - это максимально возможное количество тепла, полученное расчетным способом при допущении, что вода, содержащаяся в топливе, а также получаемая от сгорания водорода, в продуктах сгорания находится в капельно-жидком состоянии. Низшая теплота (H_U) меньше высшей на величину тепла, затраченного на испарение этого количества воды. Для расчетов пользуются эмпирическими формулами, точность которых около 2...4%, например:

$$H_U = 339 \cdot C + 1030 \cdot H [\text{кДж/кг}],$$

где C и H-содержание углерода и водорода в бензине. Для бензина с составом $C=86\%$, $H=14\%$ $H_U=43574$ кДж/кг.

Индукционный период бензина характеризует период до резкого ускорения процесса его окисления. Этот показатель, определяемый в лабораторных условиях, характеризует химическую стабильность бензина. Гарантийный срок хранения бензина (5 лет) может быть обеспечен при значении индукционного периода равном или больше 900 мин. Химически нестабильные бензины способствуют образованию на деталях двигателя отложений (осадков, лаков, нагаров), обусловленных содержанием в бензинах так называемых фактических смол.

3.5.2.1. Ассортимент бензинов

С 1 января 1999г. на территории России введен в действие новый стандарт на бензины - ГОСТ Р 51105-97 “Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированные бензины” /7/. Основой для его разработки явился европейский стандарт EN 228-1993 с таким же названием. В зависимости от октанового числа, определенного исследовательским методом, устанавливаются следующие марки неэтилированных автомобильных бензинов: “Нормаль-80” - не менее 80; “Регуляр-91” - не менее 91; “Премиум-95” - не менее 95; “Супер-98” - не менее 98. Основные показатели качества этих бензинов следующие.

Табл. 3.5.1. Основные показатели качества бензинов в соответствии с ГОСТ Р 51105-97

Наименование показателя	Нормаль-80 ОКПО 2511 2 3702	Регуляр-91 ОКПО 2511 2 3703	Премиум-95 ОКПО 2511 2 3704	Супер-98 ОКПО 2511 2 3704
Октановое число, не менее:				
По моторному методу	76	80	82,5	91
По исследовательскому методу	85	95	88	98
Плотность при 15 °С, кг/м ³	700 - 750	725 - 780	725 - 780	725 - 780
Концентрация свинца, г/дм ³ , не более		0,01	0,01	
Концентрация марганца, г/дм ³ , не более	50	18	-	-
Содержание фактических смол, мг/100 см ³ не более	5,0			
Индукционный период бензина, мин не менее	360			
Массовая доля серы, %, не более	0,05			
Испытание на медной пластине	Выдерживает, класс 1			
Внешний вид	Чистый, прозрачный			

Остальные свойства новых бензинов классифицируются иным образом, по сравнению с ранее действующими стандартами. По новому ГОСТу каждая марка бензина делится по испаряемости на пять классов (см. табл. 3.5.2) в зависимости от климатического района страны:

- 1 - для района I с 1 апреля по 1 октября;
- 2 - для районов II и III с 1 апреля по 1 октября;

3 - для районов IV и V с 1 апреля по 1 октября;

4 - для районов II и III с 1 октября по 1 апреля;

5 - для районов IV и V с 1 октября по 1 апреля.

Табл. 3.5.2. Эксплуатационные свойства классов бензинов по испаряемости

Наименование свойства	Класс бензина				
	1	2	3	4	5
Давление насыщенных паров, кПа					
min	35	45	55	60	80
max	70	80	90	95	100
Фракционный состав:					
Температура начала перегонки, °С, не ниже	35	35	Не нормируется		
Пределы перегонки, °С, не выше					
10%	75	70	65	60	55
50%	120	115	110	105	100
90%	190	185	180	170	160
Конец кипения, °С, не выше	215				

Условно принятый район I характеризуется теплым климатом с мягкой зимой. В России это побережье Черного моря, Северный Кавказ, Калмыкия и т.д.

Район II характеризуется умеренно-холодным климатом (базовый расчет на Западную Сибирь).

Район III характеризуется умеренным климатом (центральные области страны).

Район IV - с очень холодным климатом (Якутск, Оймякон и другие).

Район V - с холодным климатом (например, Салехард).

3.5.2.2. Дизельное топливо (ДТ)

Поскольку в дизелях отсутствует принудительное зажигание ТВС, то одним из важнейших и специфических требований к используемому топливу является его воспламеняемость в среде сжатого воздуха с температурой 500...800⁰ С. Это свойство дизельного топлива оценивается так называемым **цетановым числом (ЦЧ)**.

В отличие от октанового числа бензинов, ЦЧ дизельного топлива не должно быть максимальным. Его оптимум принимается на уровне 45...50. Снижение ЦЧ ДТ ниже 40 приводит к существенной задержке воспламенения первых порций топлива, поступивших в камеру сгорания. В результате в камере накапливается топливо, которое затем, вспыхнув, развивает чрезмерно высокое давление продуктов сгорания. Нагрузки на ЦПГ и КШМ двигателя возрастают, что приводит к повышенному их износу. Увеличение ЦЧ выше 50 изменяет расчётный темп выгорания ТВС, что приводит к снижению топливной экономичности двигателя и его мощности, а также вызывает повышение содержания сажи в продуктах сгорания (дымление двигателя).

Изменения величины ЦЧ добиваются вариациями углеводородного состава топлива и введением кислородосодержащих присадок. Так увеличение доли ароматических углеводородов приводит к снижению ЦЧ, а увеличение содержания непредельных углеводородов - к его росту. К повышению ЦЧ приводит и подмешивание присадок: перекиси ацетона, изоамилнитрата, этилнитрата.

Также специфичны и требования к вязкости ДТ. Для них оптимальными считаются значения $\nu = 1,5...6,0$ сСт. Снижение вязкости относительно указанного диапазона приводит к нарушению работы прецизионных пар топливных форсунок и насосов высокого давления. Повышение - к ухудшению качества распыливания топлива форсунками, следовательно, к снижению полноты его сгорания.

Поскольку ДТ имеет в своём составе тяжёлые углеводороды парафинового ряда, для него очень важными являются низкотемпературные свойства. Суть в том, что при существенно отрицательных температурах в ДТ образуются микрочастицы высокоплавких парафинов, которые забивают фильтры тонкой очистки, т.е. прекращают подачу топлива. Учитывая эту особенность ДТ, а также то, что в нашей стране большая часть территории находится в зоне холодных климатических условий, разработаны зимние и арктические марки топлив, допускающие их применение при температурах воздуха до минус 50⁰С.

Ассортимент дизельных топлив /7/

В зависимости от условий применения для быстроходных автомобильных дизелей установлены три марки дизельного топлива, согласно ГОСТ 305-82:

Л (летнее) - для эксплуатации двигателя при температуре окружающего воздуха 0⁰С и выше;

З (зимнее) - для эксплуатации двигателя при температуре окружающего воздуха минус 20...30⁰С.

А (арктическое) - для эксплуатации двигателя при температуре окружающего воздуха минус 50⁰С.

Табл. 3.5.3. Основные показатели дизельных топлив в соответствии с ГОСТ 305-82

Наименование показателя	Л	З	А
Цетановое число, не менее	45	45	45
Фракционный состав, °С:			
t _{50%} , не выше	280	280	255
t _{96%} (конец перегонки), не выше	360	340	330
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	3,0...6,0	1,8...5,0	1,5...4,0
Температура помутнения, °С, не выше:			
для умеренной климатической зоны	- 5	- 25	-
для холодной климатической зоны	-	- 35	-
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	3,0...6,0	1,8...5,0	1,5...4,0
Температура застывания, °С, не выше:			
для умеренной климатической зоны	- 10	- 35	-
для холодной климатической зоны	-	- 45	- 55
Массовая доля серы, %, не более:			
в топливе вида 1	0,2	0,2	0,2
в топливе вида 2	0,5	0,5	0,4
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,01	0,01	0,01
Температура вспышки (в закрытом тигле), °С, не ниже	40	35	30
Концентрация фактических смол, мг/100 см ³ , не более	40	30	30
Кислотность, мг КОН/100 см ³ , не более	5	5	5
Зольность, %, не более	0,01	0,01	0,01
Коэффициент фильтруемости, не более	3	3	3
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	860	840	830

Нередко обозначение ДТ встречаются в совокупности с цифровыми символами. У летнего топлива после “Л” цифры обозначают процент серы в топливе и температуру вспышки; у зимнего и арктического топлива - процент серы и температуру застывания. Например, “Л-0,1-40” или “З-0,2-35”.

3.5.2.3. Газообразное топливо

Газообразное топливо /1, 3, 6, 7/. Газы, применяемые в ДВС, могут быть классифицированы по теплотворности, способу получения и состоянию, в котором находится газ перед поступлением в смеситель (агрегат подготовки ТВС) или непосредственно в цилиндры двигателя.

По теплотворности различают **высоко, средне и низкокалорийные** газы. **Высококалорийные** газы содержат большое количество метана и имеют теплотворность 23,0...37,7 МДж/нм. К этой группе газов относятся: **естественный, нефтяной и канализационный газы**.

Средне-калорийные газы имеют теплотворность в пределах 14,7...23,0 МДж/нм³. Их основным горючим компонентом является водород, но в состав входят также метан и окись углерода. К этой группе можно отнести промышленные газы (т.е. газы, получающиеся в некоторых технологических процессах): **коксовый** (образующийся в процессе коксования углей), **светильный** (получается в результате сухой перегонки твёрдого топлива в газовых ретортах или камерах) и **синтез-газ** (представляет собой побочный продукт при синтезе аммиака из коксового газа).

Низкокалорийные газы характеризуются высоким содержанием инертных (негорючих) компонентов и имеют теплотворность в диапазоне 4,2...14,7 МДж/нм. К этой группе можно отнести **доменный** и всевозможные виды **генераторных** газов.

По способу получения, газообразные топлива разделяются на естественные (естественный газ), выделяющиеся из трещин в земной коре или добываемые из буровых скважин, и искусственные, получаемые в результате переработки исходного продукта (газификация твёрдого топлива, переработки нефти или канализационных отходов).

По состоянию, в котором газы находятся при нормальных атмосферных условиях, их разделяют на:

- газы, находящиеся под давлением, близким к нормальному (при питании двигателя непосредственно из газогенератора);
- сжатые газы;
- сжиженные газы.

Газы первой группы применяются главным образом в стационарных силовых установках, газы второй и третьей групп - в автотракторных двигателях. Наибольшее применение в качестве топлива для ДВС и у нас в стране и за рубежом находят сжатые (КПГ - компримированный природный газ) и сжиженные газы (СНГ - сжиженный нефтяной газ).

В качестве сжатых газов используются различные виды естественных и промышленных высоко- и средне-калорийных газов, состоящих из нескольких горючих и инертных компонентов. Лучшим из горючих компонентов сжатых газов является метан, обладающий высокими теплотворностью и октановым числом, а также достаточно широкими концентрационными пределами воспламенения ТВС.

При использовании таких газов есть и определённые сложности. Так при дросселировании метана в редукторе до атмосферного давления его температура снижается примерно на 2,5 градуса на каждый 1 МПа уменьшения давления. Очевидно, что редуктор или газ требуют соответствующего подогрева. Именно этот факт является препятствием для создания «чисто газового» двигателя. Для упрощения его эксплуатации запуск, особенно зимой, предпочитают производить на бензине, и лишь после прогрева двигателя его работа переводится на сжатый газ. В результате, современные ДВС, использующие газообразное топливо, являются, как правило, двухтопливными.

Горючие вещества, которые легко газифицируются, но при небольшом давлении (до 1,6 МПа) и температуре в эксплуатационном диапазоне -40...+45°С находятся в

сжиженном состоянии, принято называть сжиженными газами. К ним относятся предельные углеводороды парафинового ряда: этан, пропан и бутан и непредельные углеводороды олефинового ряда: этилен, пропилен и бутиден. Перечисленные вещества в чистом виде в качестве топлива для ДВС применяются крайне редко. Чаще их используют в виде смеси пропана (C_3H_8) и бутана (C_4H_{10}) с незначительными примесями к ним других составляющих. Физико-химические и эксплуатационные свойства газообразных топлив существенно отличаются от бензинов и дизельных топлив (см. таблицу 3.5.4).

Табл. 3.5.4. Физико-химические свойства компонентов газообразных топлив и бензина

Параметры свойств	Компоненты сжатого газа	Компоненты сжиженного газа			Бензин
	Метан CH_4	Этан C_2H_6	Пропан C_3H_8	Бутан C_4H_{10}	
Молекулярная масса	16	30	44	58	114,2
Плотность жидкой фазы при температуре кипения и давления 100 кПа, $кг/м^3$	416	546	584	600	735
Плотность газовой фазы при нормальных условиях (температура $+15\text{ }^\circ C$, давление 760 мм. рт. ст.), $кг/м^3$	0,717	1,356	2,019	2,703	5,18
Относительная плотность газа в газообразном состоянии по отношению к воздуху, $кг/м^3$	0,554	1,048	1,562	2,091	3,78
Критическое давление (абсолютное), МПа	4,58	4,88	4,20	3,60	–

При хранении сжиженных газов в баллонах часть пространства занята парами, находящимися в состоянии насыщения. Упругость этих паров находится в прямой зависимости от температуры. Для обеспечения нормальной подачи топлива в двигатель желательно иметь примерно постоянное давление в паровой подушке, вне зависимости от температуры окружающей среды. По этой причине в районах с жарким климатом используют смесь из 80...90% бутана и 20... 10% пропана. В средней полосе нашей страны весной и осенью содержание пропана в топливной смеси доводят до 50%. Зимой в качестве топлива используют только пропан. При полной ёмкости баллона для сжиженного газа 77 л и рабочем давлении 1,4 МПа объём сжиженного газа в баллоне составляет около 70 л или 85...90% его полной ёмкости.

Запуск газобаллонного автомобиля (ГБА) даже на зимней марке топлива ПА возможен лишь при температуре окружающего воздуха от минус 5 до минус 7 $^\circ C$. При более низких температурах, запуск, как правило, обеспечивается с использованием резервной бензиновой линии СТП.

Промышленность выпускает ГБА двух типов: с двигателями, работающими в основном на газе, но имеющих резервную систему питания бензином (мощность таких двигателей не уступает мощности базовых бензиновых двигателей, а топливная экономичность - выше); с универсальными двигателями, допускающими работу как на сжиженном газе, так и на бензине (в этом случае мощность двигателя снижается примерно на 10%).

Преимущества и недостатки горючих газов при использовании их в качестве топлива для ДВС

Газообразное топливо по сути своего фазового состояния упрощает процесс подготовки горючей смеси - ТВС, в сравнении с жидким, и тем более, твёрдым топливом. Очевидно, что этот факт, сам по себе, уже является определённым преимуществом.

Кроме того, преимуществами газообразных топлив являются:

- экономия нефтепродуктов, из которых изготавливаются бензины и дизельные топлива; применение комбинированной системы топливопитания (газ + бензин) при полной заправке обеих систем обеспечивает пробег автомобиля около 1000 км;

- возможность работы двигателя на обеднённых ТВС, что даёт снижение удельного расхода топлива и токсичности отработавших газов;

- увеличение срока службы масла, следовательно, уменьшения износа цилиндропоршневой группы, поскольку газ не влияет на свойства масла в картере и не смывает масляную плёнку со стенок цилиндров;

- повышенное октановое число позволяет при проектировании двигателя принимать более высокое значение степени сжатия (следствием является уменьшение удельного расхода топлива);

- за счёт «газообразности» топлива повышается равномерность качества ТВС по цилиндрам и исключается необходимость подогрева впускного трубопровода. И то, и другое ведёт к увеличению коэффициента наполнения и позволяет повысить мощность ДВС.

Эксплуатационные свойства ГБА, работающих на СНГ, в сравнении с бензиновыми оцениваются следующим образом:

- двигатель удовлетворительно (примерно также как и на бензине) запускается до температуры - 5° С. При дальнейшем понижении температуры окружающей среды для обеспечения надёжного запуска требуется применение дополнительных мероприятий;

- при проектировании двигателя можно назначить более высокую степень сжатия, что позволит получить более высокую топливную экономичность, и даже мощность;

- при оптимальной регулировке подачи газообразного топлива значительно снижается токсичность выбросов вредных веществ с отработавшими газами ДВС: по окиси углерода (СО) - в 3...4 раза, по окислам азота (NO_x) - в 1,2...2 раза, по несгоревшим углеводородам (C_nH_m) - в 1,2... 1,5 раза;

- в 2...2,5 раза увеличивается промежуток времени между заменой масла в ДВС, т.к. уменьшается интенсивность процесса смыва масла со стенок цилиндра, и его загрязнения в картере различными примесями;

- за счёт снижения износа деталей цилиндропоршневой группы, уменьшения нагарообразования и улучшения условий работы свечей зажигания увеличивается срок надёжной работы двигателя (межремонтный ресурс) в 1,5...2 раза;

- автомобили, заправленные сжиженным газом, имеют примерно такой же пробег между заправочными станциями, как и в случае заправки бензином;

- при выработке газа двигатель останавливается не сразу, а прекращает работу через 2...4 км пробега автомобиля;

- ухудшаются на 5...8% динамические свойства автомобиля. Прежде всего, здесь имеется в виду его разгон;

- трудоёмкость работ по обслуживанию ГБА примерно на 3...5% выше, чем объём традиционных работ по обслуживанию бензиновых ДВС.

При использовании **сжатого (компримированного) природного газа (КПГ)** как автомобильного топлива отмечены следующие преимущества в сравнении с бензином:

- уменьшается расход масла на 10...30%, т.к. уменьшается его загрязнение и разжижение, т.е. увеличивается продолжительность его работы между заменами в 1,5...2 раза;

- увеличивается срок работы двигателя между ремонтами более чем в 1,5 раза вследствие отсутствия детонации на всех режимах эксплуатации, а также нагара на деталях цилиндропоршневой группы и свечах зажигания;

- значительно (до 90%) снижается выброс вредных веществ с отработавшими газами (особенно окиси углерода).

Наряду с преимуществами имеются и некоторые недостатки:

- увеличивается цена автомобиля (на 4... 10%) из-за наличия дополнительной газобаллонной аппаратуры и, соответственно, трудоёмкость его обслуживания и ремонта (примерно на 5... 8%);

- при неизменной степени сжатия снижается на 10...15% мощность двигателя. Как следствие этого и других факторов ухудшаются тягово-динамические и эксплуатационные характеристики автомобилей: увеличивается время разгона на 25...30%, уменьшается максимальная скорость автомобиля на 5... 6%, уменьшаются предельные углы преодолеваемых подъёмов на 30...40%, затрудняется эксплуатация автомобиля с прицепом, уменьшается дальность ездки на одной заправке до 200...250 км (в сравнении с бензиновой заправкой - 600...700 км);

- снижается на 10.. 15% грузоподъёмность автомобилей в связи с применением тяжёлых стальных баллонов для газов, находящихся под высоким давлением;

- снижаются (в сравнении с бензином) показатели энергоёмкости единицы хранения (особенно у КПГ). Этот показатель определяется отношением теплоты сгорания топлива к массе хранения (масса топлива вместе с тарой). К этому же добавляются энергозатраты на подготовку топлива к соответствующему виду хранения. Эти затраты обычно измеряются в процентах по отношению к теплоте сгорания топлива (см. табл. 3.5.5).

Табл. 3.5.5. Эксплуатационные свойства газовых топлив

Способ хранения топлива	Температура хранения, К	Давление хранения, МПа	Теплота сгорания на единицу массы хранения, кДж/кг	Энергетические затраты на подготовку топлива к хранению (в % от теплоты сгорания)
СПГ в баллонах из углеродистой стали	273...293	20...25	3450	1,8
СПГ в баллонах из легированной стали	273...293	20...25	4940	1,8
СПГ в баллонах из углеродистой стали	273...293	32...40	3470	1,9
СПГ в баллонах из легированной стали	273...293	32...40	4970	1,9
Сжиженный природный газ (метан)	111	0,1	13670	5,0
Бензин	273...293	0,1	29880	0,8

Однако, несмотря на упомянутые недостатки, постепенный переход автомобильного транспорта на СНГ, и в большей степени на КПГ, пока не имеет альтернатив. Следовательно, необходимо тщательное изучение накопленного в этой области технического задела и его постепенное совершенствование.

Ассортимент газообразных топлив

ГОСТ 27578-87 «Газы сжиженные нефтяные. Топливо для газобаллонных автомобилей. Технические условия» предусматривает две марки газа: **зимнюю** - ПА (пропан автомобильный) и **летнюю** - ПБА (пропан-бутановая смесь автомобильная). Основные характеристики этих топлив следующие:

Табл. 3.5.6. Основные показатели качества газообразных топлив для ДВС

Наименование показателя	ПА	ПБА
Массовая доля компонентов, %:		
пропан	90±1	50±1
непредельные углеводороды, не более	0 6	0 6
Избыточное давление насыщенных паров, МПа при температуре:	1,6	1,6
+ 45 °С, не более	0,07	-
- 35 °С, не менее	-	0,07
- 20 °С, не менее		
Массовая доля серы и сернистых соединений, %, не более	0,01	0,01
В том числе сероводорода, %, не более	0,003	0,003
Содержание свободной воды и щёлочи	Отсутствуют	

Сжатый (компримированный) природный газ как топливо для автомобильных двигателей выпускается в соответствии с ГОСТ 27577-2000 «Газ природный топливный сжатый для газобаллонных автомобилей». Его основные характеристики при температуре 20 °С и давлении 0,1013 МПа показаны в следующей таблице:

Табл. 3.5.7. Свойства КПГ в соответствии с ГОСТ 27577-2000

Наименование показателя	Численное значение
Теплота сгорания объёмная, МДж/м ³	32,6...36,0
Плотность относительно воздуха	0,56...0,62
Расчётное октановое число, не менее	105
Концентрация сероводорода, г/м ³ , не более	0,02
Концентрация меркаптановой серы, г/м ³ , не более	0,036
Масса механических примесей, мг/м ³ , не более	1,0
Суммарная объёмная доля негорючих компонентов, включая кислород, %, не более	7,0
Содержание воды, мг/м ³ , не более	9,0

3.5.3. Внешний вариант подготовки топливовоздушной смеси. Схемы его реализации

Для бензиновых двигателей исторически первым был разработан внешний вариант подготовки ТВС. Для этого в воздушном тракте (во впускном трубопроводе) двигателя располагается специальный узел - карбюратор, предназначенный для смешивания в определённом соотношении жидкого топлива и воздуха и преобразования этой смеси в паровоздушное состояние. Принцип работы такого устройства основан на эжекции (подсосе) жидкого топлива из микробачка (поплавковой камеры) потоком воздуха, проходящем через сужающийся канал карбюратора. Очевидно, что в узком месте воздушного канала скорость воздуха существенно возрастает, а давление в потоке - снижается, что и является причиной истечения в эту область жидкого топлива. Необходимая пропорция между расходами воздуха и топлива поддерживается калиброванным отверстием топливного канала - топливным жиклёром и обеспечением режима его работы.

Известно, что соотношение воздух - топливо в ТВС, которое оценивается **коэффициентом избытка воздуха** - α , является основным показателем её качества и в соответствии с характеристикой ДВС по составу ТВС должно изменяться при изменении режима работы двигателя так, как это показано на рис 3.5.1. (а).

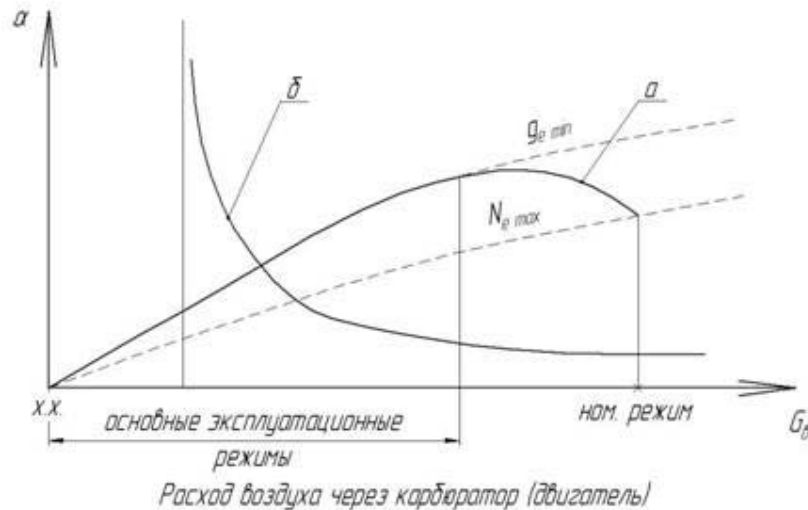


Рис. 3.5.1. Изменение коэффициента избытка воздуха в ТВС по режимам работы ДВС.
а). В соответствии характеристикой ДВС по составу ТВС (идеальная характеристика карбюратора).
б). Характеристика простейшего карбюратора.

Однако простейший карбюратор при увеличении расхода воздуха через узкое сечение его воздушного тракта увеличивает подсос топлива в такой пропорции, что коэффициент избытка воздуха при увеличении режима работы двигателя только снижается (рис. 1(б)), т.е. ТВС непрерывно обогащается. Причём на минимальном режиме и режиме холостого хода вместо необходимой величины $\alpha = 0,6...0,8$ простейший карбюратор вообще не подаёт топливо, т.е. $\alpha \rightarrow \infty$.

Поскольку это совершенно не соответствует требованиям нормальной работы двигателя, все карбюраторы ДсИЗ дополнялись рядом устройств, предназначенных для исправления характеристики ($\alpha = f(\text{режим работы двигателя})$) простейшего карбюратора. Основными из этих систем являются:

- **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 α в пределах основных режимов эксплуатации двигателя, в соответствии с идеальной характеристикой карбюратора (рис. 3.5.1 (а));

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

Постепенное совершенствование карбюраторов привело к тому, что в его состав стали включать ряд дополнительных систем. Их перечень зависит от назначения двигателя и степени совершенства его системы подготовки ТВС.

Так, для сохранения или улучшения приёмистости ДВС, т.е. поддержания необходимого состава ТВС при резком открытии дроссельной заслонки, в состав карбюратора стали включать систему под названием «**насос-ускоритель**». Назначение этого насоса заключается в подаче дополнительной порции топлива при резком увеличении расхода воздуха, что предотвращает внезапное обеднение ТВС и связанное с этим возможное выключение двигателя.

Поскольку эжекционный принцип подачи топлива в поток воздуха не обеспечивает достаточной мелкости распыливания жидкого топлива, т.е. высокого уровня качества подготовки ТВС (особенно на пониженных режимах работы двигателя), то в более совершенных конструкциях карбюраторов применяются **две (или даже четыре) камеры**, где происходит подсос топлива, **два (или три) профилированных канала** для течения воздуха.

Все эти усложнения конструкции предназначены для обеспечения высокой относительной скорости движения воздуха и топлива на всех режимах работы ДВС, что является основной причиной дробления жидкой струи топлива на капли.

При увеличении высоты (над уровнем моря) эксплуатации транспортного устройства, простейший карбюратор обогащает ТВС из-за уменьшения плотности воздуха, поступающего в двигатель. По этой причине в состав карбюраторов авиационных ДВС и двигателей автомобилей, предназначенных для эксплуатации в высокогорных условиях, включают систему, называемую «**высотный корректор**». Её назначение - компенсировать изменение коэффициента избытка воздуха с увеличением высоты за счёт изменения проходного сечения топливного канала.

Таким образом, постепенное усложнение конструкции карбюратора привело к тому, что этот узел СТП выделился в некое самостоятельное устройство, требующее специальных приёмов и технологий при его настройке, профилактике и эксплуатации (см. рис. 3.5.2).

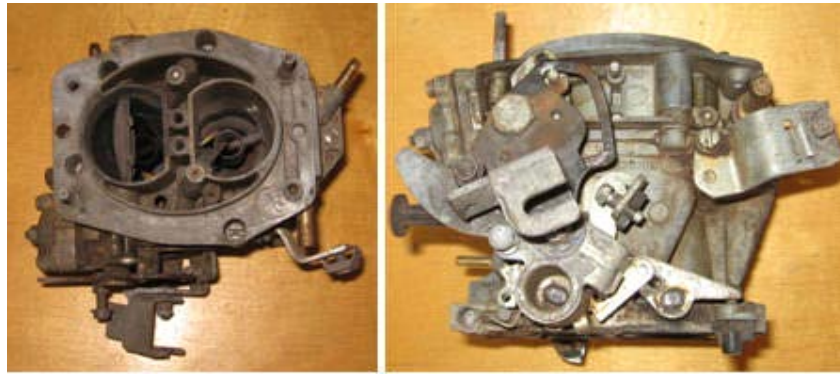


Рис. 3.5.2. Автомобильный карбюратор

Поскольку теоретически необходима постановка индивидуального карбюратора на каждый цилиндр ДВС, то становится ясной проблема конструктивного усложнения поршневого двигателя с рассматриваемой схемой подготовки ТВС.

Можно считать несомненным преимуществом карбюраторов то, что ТВС в такой схеме подготавливается **в специально для этого предназначенном узле**. Однако в такой СТП очевидны её недостатки:

1. невозможность постановки индивидуальных карбюраторов на каждый цилиндр многоцилиндрового ДВС;
2. функциональная взаимосвязь расхода воздуха и расхода топлива 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 ДсИЗ приближает их к тому уровню, который был использован Рудольфом Дизелем при создании им своего первого варианта ДВС с воспламенением от сжатия воздуха.

3.5.4. Принцип работы различных схем принудительной подачи бензина в систему подготовки топливовоздушной смеси

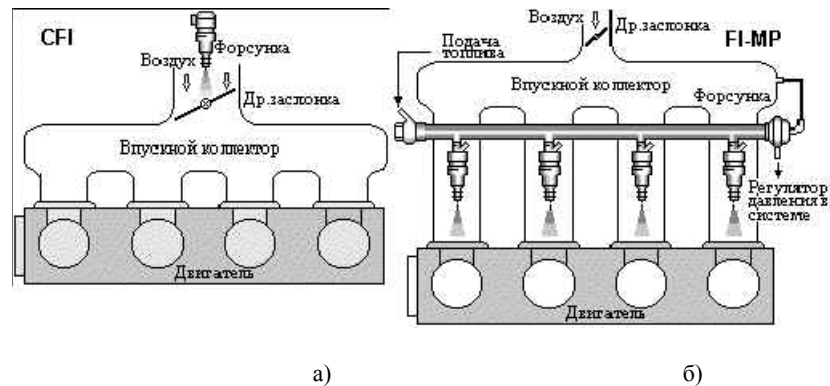


Рис. 3.5.3. Системы центрального (а) и распределенного (б) впрыска

Первоначально, на переходном этапе от использования карбюраторов к системам впрыска [13], 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. 3.5.4 показан пример четырёхцилиндрового двигателя).

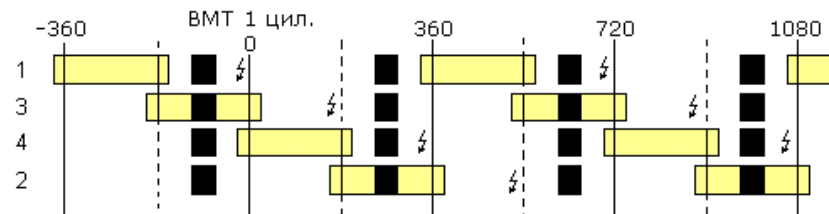


Рис. 4. Одновременный впрыск (на диаграмме работы серым обозначен впуск, черным - впрыск топлива, молнией - зажигание)

В нем за один рабочий цикл (два оборота коленчатого вала - 720°) двигателя все 4 форсунки обрабатывают два раза одновременно.

Затем, для выполнения норм Евро-2, стали применять попарно-параллельный впрыск (иногда называют групповой впрыск) (см. рис. 3.5.5).

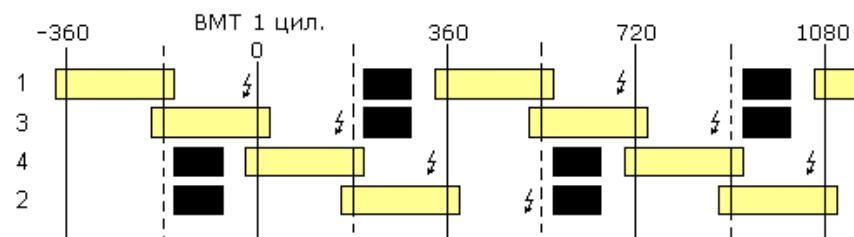


Рис. 3.5.5. Попарно-параллельный впрыск

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. рисунок 3.5.6), в котором впрыск топлива производится индивидуально по цилиндрам.

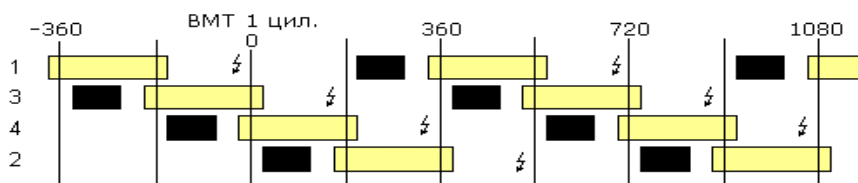


Рис. 3.5.6. Фазированный впрыск

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.

3.5.5. Системы распределённого впрыска бензина с электромагнитными форсунками и микропроцессорной системой управления

В настоящее время в мировом автомобильном парке используется несколько десятков вариантов схем инжекторных СТП бензиновых ДВС. Каждая из них обладает определёнными преимуществами и имеет свои особенности, которые следует учитывать при их техническом обслуживании. Несмотря на многообразие схем, их структура и взаимодействие отдельных элементов имеют много общего. Наиболее распространёнными являются схемы с названием, вынесенным в заголовок данного параграфа /1, 2, 4, 5, 10, 12, 13/, поэтому далее принцип действия инжекторной системы подачи бензина рассматривается на её основе.

Прежде всего, следует отметить, что существенное различие карбюраторных и инжекторных СТП не означает такое же различие в закономерности изменения оптимальных составов ТВС по режимам работы двигателя. Вне зависимости от типа применяемой СТП, на режимах запуска и холостого хода требуется существенное обогащение смеси, на средних режимах - её обеднение для получения повышенной топливной экономичности и снижения выбросов вредных веществ, а при переходе на режим максимальной мощности - умеренное обогащение до $\alpha \approx 0,9$. Это объективная закономерность, связанная с организацией рабочих процессов в бензиновых ДВС, следовательно, она должна быть заложена в блок управления любой СТП.

В рассматриваемой схеме (см. рис. 3.5.10) используется электронный блок управления на основе микропроцессора. В сочетании с датчиковой аппаратурой этот блок получил наименование **контроллера**. При доводке двигателя, в процессе его создания, в микропроцессор заносится базовая матрица дискретных значений коэффициентов коррекции оптимальных цикловых подач топлива на каждом режиме, полученных по результатам испытаний. Коррекция выполняется 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 расходу воздуха (ДРВ) и частоте вращения коленчатого вала (Д10).

При работе двигателя, по полученным сигналам от этих датчиков, датчиков давления Д1 и температуры Д2 поступающего воздуха, микропроцессор рассчитывает массовый расход воздуха, поступающего в двигатель и необходимое значение цикловой подачи топлива. Из аналогичной матрицы выбирает оптимальное значение угла опережения зажигания. Затем корректирует их в соответствии с сигналами других датчиков (прежде всего датчика Д8 теплового состояния двигателя) и выдаёт команду на длительность срабатывания электромагнитного клапана форсунки 4 и момент срабатывания прерывателя-распределителя 7 системы зажигания, следовательно, и свечи 8. Таким образом, перечисленные узлы являются основными исполнительными органами данной СТП.

Топливо из бака электронасосом погружного типа 1 (рис. 3.5.7) через фильтр 2 подаётся в форсунку 4 (рис. 3.5.8). Насос создаёт давление в топливной системе не менее 300 кПа. При этом регулятор давления 3 с точностью до ± 2 кПа, что контролируется датчиком Д4, поддерживает постоянство перепада давления топлива перед форсункой и воздуха во впускном коллекторе ($P_{впуск}$), сбрасывая излишек топлива снова в бак.



Рис. 3.5.7. Электрический топливный насос погружного типа



Рис. 3.5.8. Электромагнитная форсунка для впрыска бензина

Так удаётся обеспечить точность дозирования цикловой подачи и качество распыливания топлива вне зависимости от режима работы двигателя. Бензонасос включается по команде контроллера при включении зажигания. Регулятор давления - это 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.

Воздух с массовым расходом G_v через дроссельную заслонку 10 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 6 (рис. 3.5.9) проходного сечения для изменения состава ТВС на холостом ходу, когда дроссельная заслонка практически закрыта.



Рис. 3.5.9. Регулятор холостого хода

Согласование момента впрыска топлива и момента подачи искры с положением впускного клапана и угловым положением коленчатого вала выполняется по сигналам от датчиков Д5 и Д9 соответственно.

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 (время срабатывания форсунки 4) по входному сигналу от датчика положения и скорости движения дроссельной заслонки Д3. В случае выхода из строя основного датчика - ДРВ, расход воздуха рассчитывается по показаниям датчика температуры Д2 воздуха, входящего в двигатель. В целом, при выходе некоторых датчиков из строя контроллер использует обходные алгоритмы работы, 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.

Датчик Д1 используется при необходимости как высотный корректор, т.е. фиксирует изменение плотности воздуха с подъёмом транспортного устройства над уровнем моря. Обязательная коррекция необходимого угла опережения зажигания выполняется с учётом сигнала датчика детонации Д6. Для выполнения всё возрастающих требований по снижению выбросов вредных веществ в выхлопной системе двигателя устанавливается трёхкомпонентный нейтрализатор 9, 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 (λ - зонд) Д11.

При запуске двигателя топливо подаётся через пусковую форсунку 5, длительность срабатывания которой возрастает по мере снижения температуры двигателя, что контролируется и регулируется термовыключателем Д7.

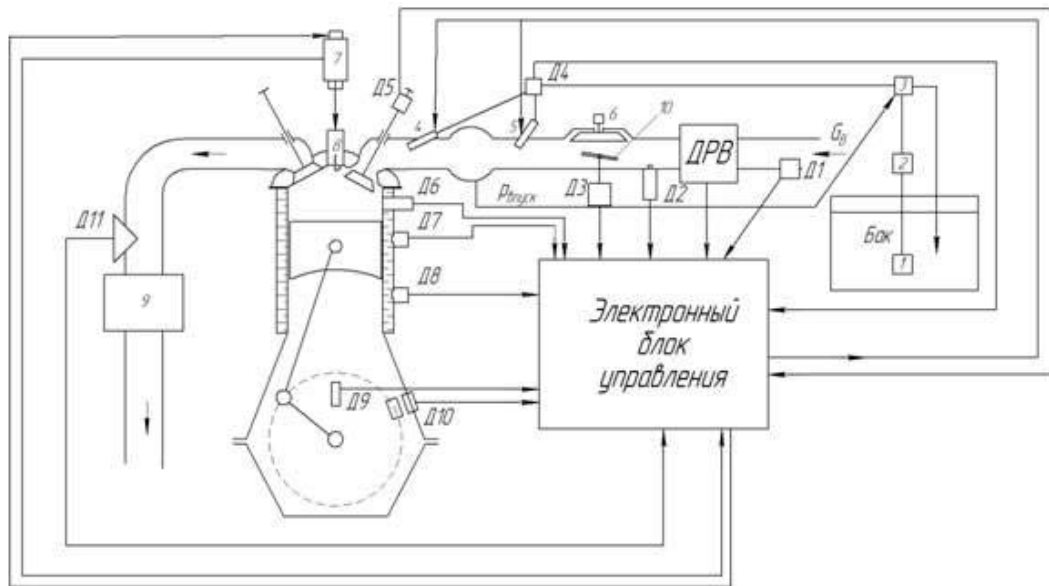


Рис. 3.5.10. Принципиальная схема СТП с впрыском бензина во впускной трубопровод:

1 - топливный насос; 2 - фильтр; 3 - регулятор давления топлива; 4 - основная форсунка; 5 - пусковая форсунка; 6 - регулятор состава смеси на холостом ходу; 7 - датчик - распределитель зажигания; 8 - свеча; 9 - нейтрализатор выхлопных газов; 10 - дроссельная заслонка.

Датчики: ДРВ - датчик расхода воздуха; Д1 - давления воздуха (высотный корректор); Д2 - температура воздуха; Д3 - положение и скорость движения дроссельной заслонки; Д4 - давление топлива; Д5 - положение впускного клапана; Д6 - датчик детонации; Д7 - термовыключатель; Д8 - температура охлаждающей жидкости; Д9 - положение коленчатого вала (фиксация ВМТ); Д10 - частота вращения; Д11 - λ - зонд

Основные элементы инжекторной системы топливоподачи

Электронный блок управления (рис. 3.5.11) - 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. 3.5.11. Внешний вид микропроцессора

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. 3.5.12) - выдает информацию о количестве проходящего через него воздуха. В современном исполнении - термоанемометрического типа, чувствительным элементом которого является либо нитевой, либо плёночный резистор.



Рис. 3.5.12. Датчик массового расхода воздуха

2) **Датчик положения КВ** (рис. 3.5.13) выдает контроллеру информацию об угловом положении КВ. Индуктивного типа, реагирует на прохождение около него зубьев шкива привода генератора (из шестидесяти - два зуба удалены).



Рис. 3.5.13. Датчик положения коленчатого вала

3) **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.

4) **Датчик положения дроссельной заслонки** (рис. 3.5.14) - установлен на оси заслонки и представляет собой потенциометр. При отказе его функции выполняет датчик массового расхода воздуха.



Рис. 3.5.14. Датчик положения дроссельной заслонки

5) **Датчик детонации** (рис. 3.5.15) - ввернут в верхнюю часть блока цилиндров. Его принцип действия основан на пьезоэффекте.



Рис. 3.5.15. Датчик детонации

6) **Датчик кислорода** или λ - зонд (рис. 3.5.16) - 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. 3.5.16. Датчик концентрации кислорода в выхлопных газах

Некоторые особенности работы системы впрыска бензина с электронным блоком управления

Состав ТВС регулируется длительностью управляющего импульса, подаваемого на форсунки. Чем больше длительность импульса, тем больше цикловая подача топлива. Топливо может подаваться синхронно и асинхронно по отношению к положению коленвала. Асинхронно топливо подается на режиме запуска двигателя.

Если при прокручивании двигателя стартером дроссельная заслонка открыта больше чем на 75%, то ситуация воспринимается контроллером как продувка. В этом случае контроллер отсекает подачу топлива. Если при продувке обороты достигнут 400 об/мин, то контроллер включает подачу топлива. При торможении двигателя контроллер обедняет смесь для снижения токсичности отработавших газов, а на некоторых режимах и вовсе отключает подачу топлива. Подача топлива также отключается при выключении зажигания.

При падении напряжения в электрической сети контроллер увеличивает время накопления энергии в катушке зажигания (для надежного воспламенения горючей смеси) и длительность времени впрыска (для компенсации увеличения времени открытия форсунки).

Контроллер также задаёт угол опережения зажигания. Кроме того, в его функцию входит включение электровентилятора системы охлаждения в зависимости от температуры ДВС, частоты вращения коленвала и работы кондиционера при его наличии.

По сигналам датчиков 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; α - коэффициент избытка воздуха в ТВС, L_0 - стехиометрический коэффициент.

Во время пуска двигателя расчет длительности впрыска выполняется без учета сигнала с ДРВ. 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°-100°С температурной коррекции нет. При перегретом ДВС (>100°С) производится обогащение смеси с одновременным уменьшением угла опережения. В системе управления ДВС с нейтрализатором в диапазоне температур 15-45°С ТВС обедняется, и устанавливаются более поздние углы опережения зажигания - для быстрого прогрева нейтрализатора.

Режимная коррекция: по сигналу датчика ДЗ (см. рис. 3.5.10) 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.

3.5.6. Системы топливоподачи дизелей

Наибольшее распространение в конструкции дизелей получили топливные системы /1, 2, 8, 9,11/ разделённого типа, в которых топливный насос высокого давления (ТНВД) и форсунка соединены линией высокого давления - нагнетательным трубопроводом (см. рис. 3.5.17).

Принцип работы такой системы следующий. Топливо из бака через фильтр грубой очистки топливоподкачивающим насосом (ТПН) подаётся в ТНВД через фильтр тонкой очистки. 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. 3.5.17, 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.

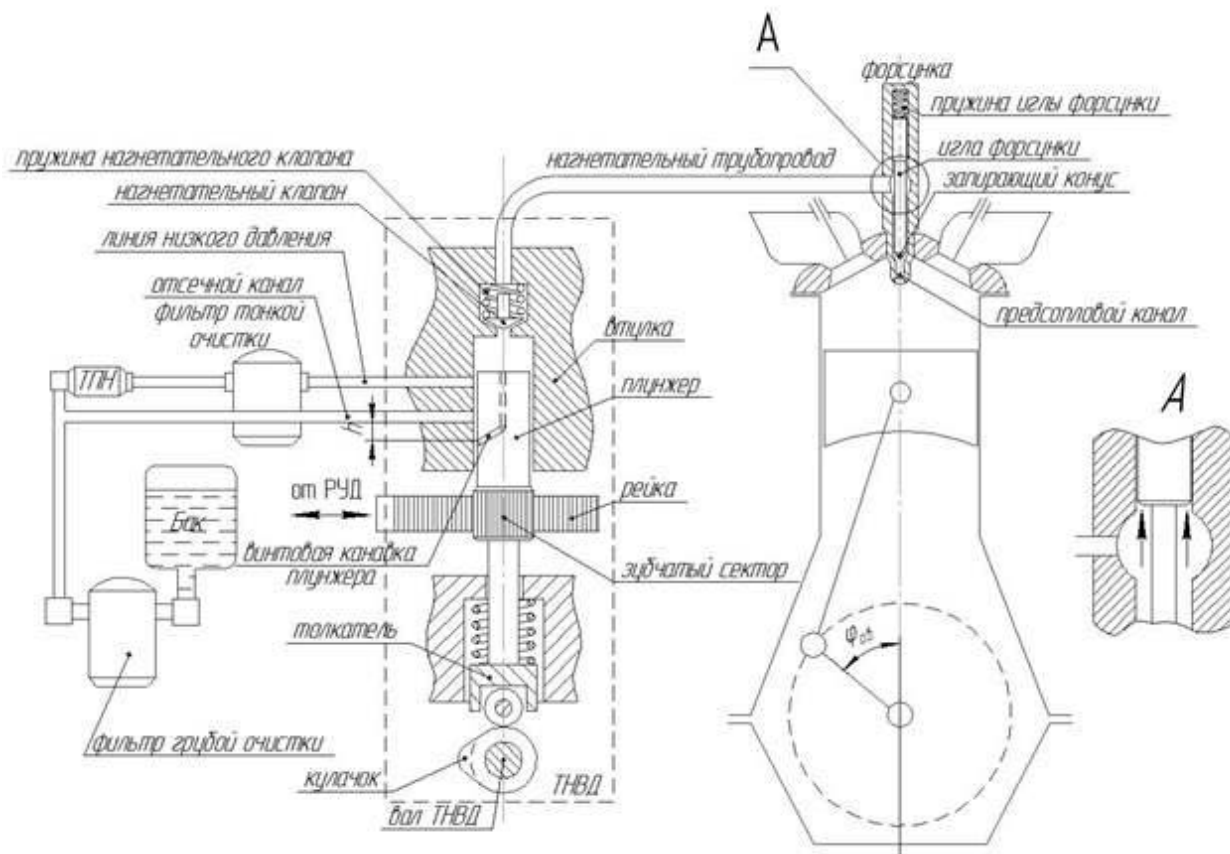


Рис. 3.5.17. Основные элементы СТП дизелей

Геометрически активный ход заканчивается, когда винтовая канавка плунжера, пойдя путь h , соединится с отверстием отсечного канала. Через сверление в плунжере (на рис. 3.5.17 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. выноску 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. 3.5.18.

В классической схеме СТП 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 ко всё большему усложнению и доводит долю в стоимости двигателя до 50% и даже выше. Очевидно, что далеко не на каждый двигатель и не на каждое транспортное устройство можно установить столь дорогую аппаратуру.

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 раздельных 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.

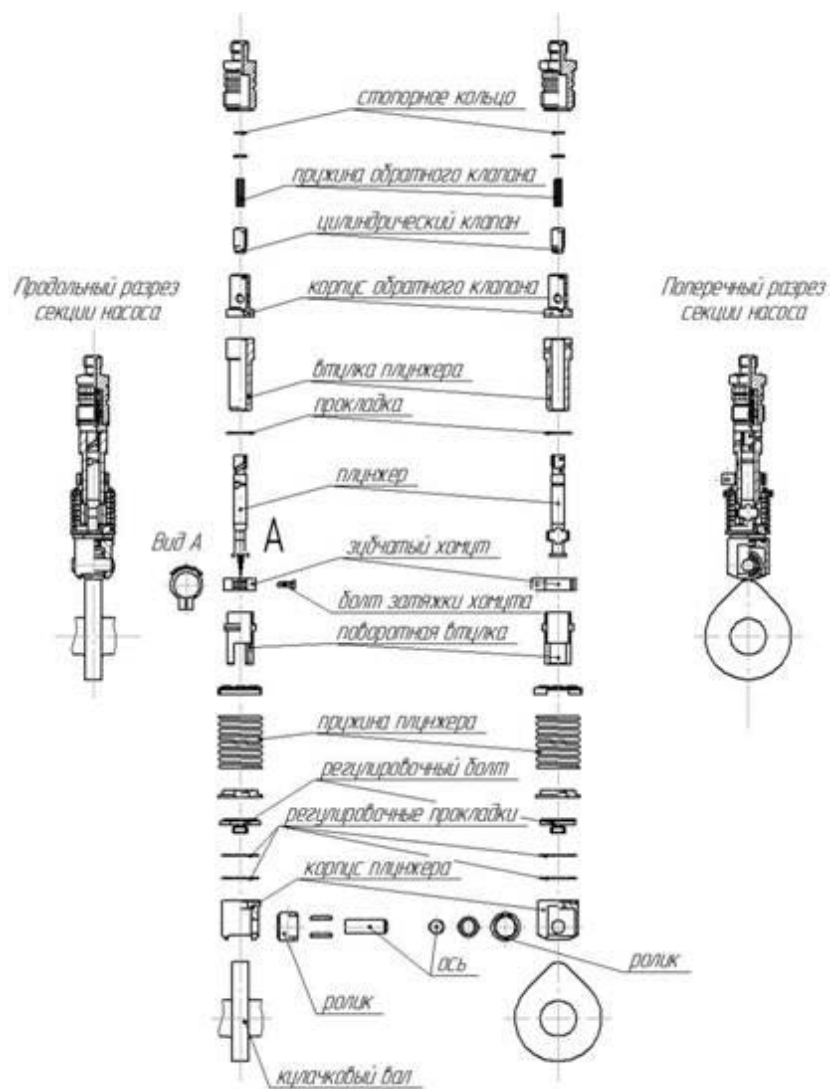


Рис. 3.5.18. Секция ТНВД дизеля

Избежать указанного недостатка удастся в конструкции, получившей название **насос-форсунка** (см. рис. 3.5.19), 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 (на рис. 3.5.19 - ЭМК) 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 (порядка 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. 3.5.20), 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.

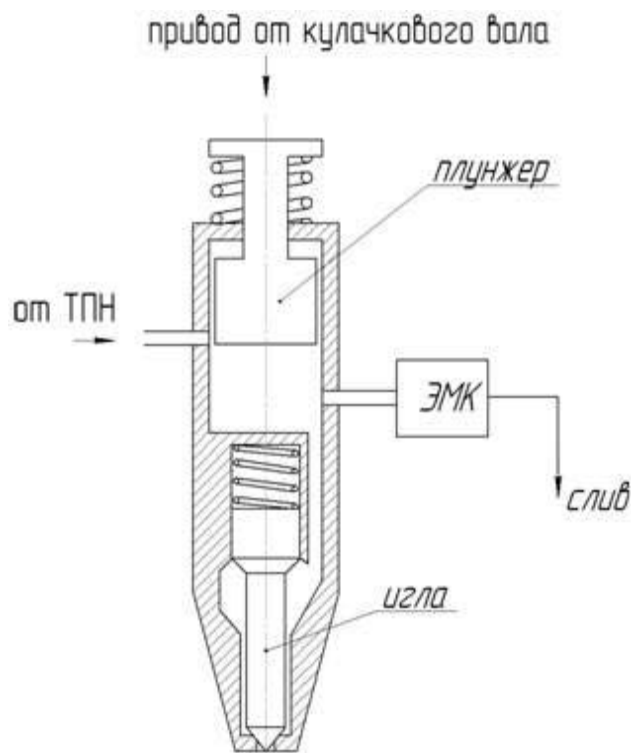


Рис. 3.5.19. Схема насос - форсунки с электромагнитным клапаном отсечки

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.

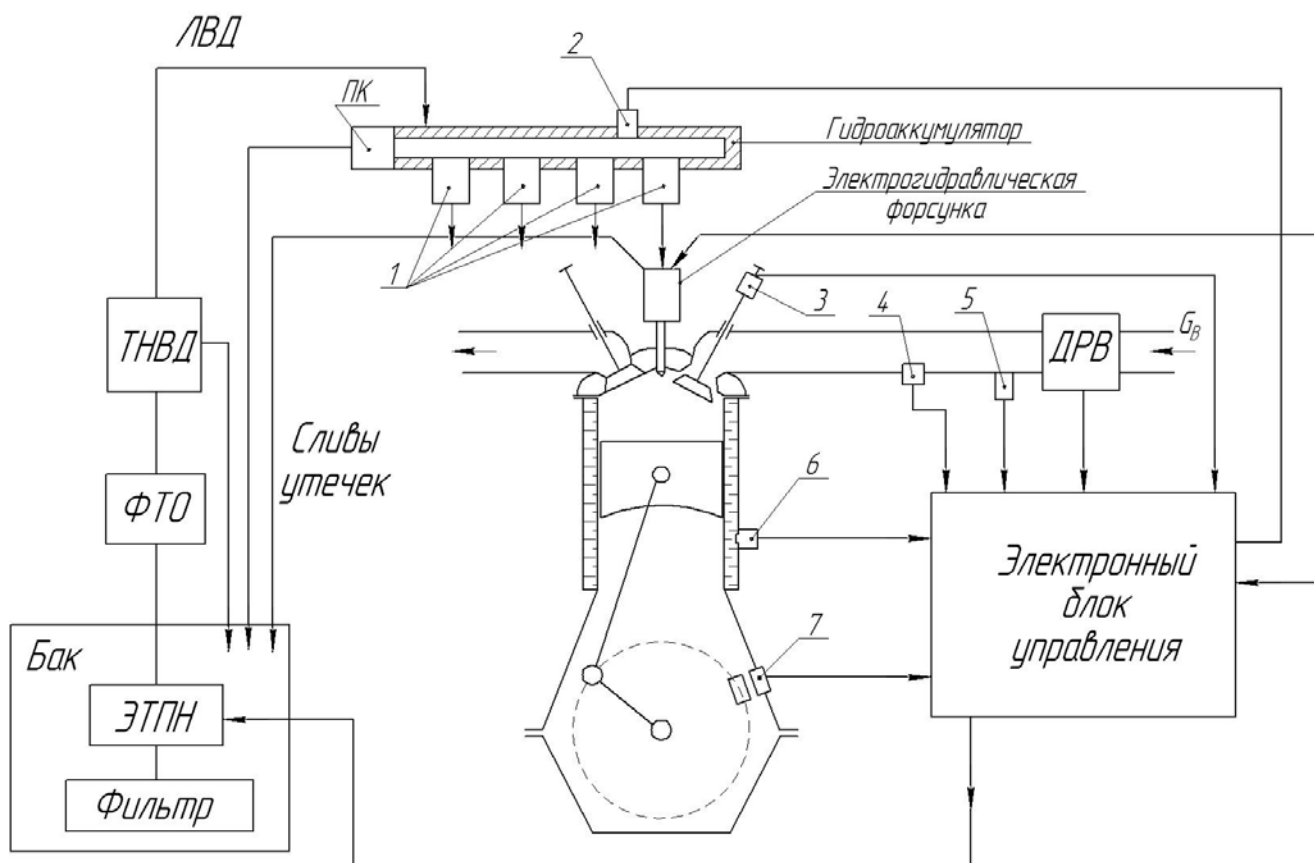


Рис. 3.5.20. Принципиальная схема СТП типа «Common Rail»:

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

3.5.7. Системы топливоподачи ДВС, работающих на газообразном топливе

Двухтопливные системы топливоподачи для двигателей с искровым зажиганием /1, 2, 6/ работают под значительным 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 (см. табл. 3.5.8). Рассмотрим наиболее употребляемое оборудование ЗАО «Автосистема» (см. рис. 3.5.21)

Табл. 3.5.8. Комплекты газобаллонного оборудования, устанавливаемые на отечественные автомобили и автобусы

Модель автомобиля	Модель газобаллонного оборудования (ГБО)	Фирма-производитель ГБО
ВАЗ-2101...2107	ГБА-210	ЗАО «Автосистема»
ВАЗ-2121	ГБА-212	ЗАО «Автосистема»
АЗЛК-2141-02	ГБА-211 Р-132	ЗАО «Автосистема» ОАО «РЗАА»

АЗЛК-2335	ГБА-212 Р-134	ЗАО «Автосистема» ОАО «РЗАА»
УАЗ-2206	А ТШ-402.800	ЗиФ (Завод им М.В. Фрунзе)
УАЗ-3303	АТШ-359.800	ЗиФ (Завод им М.В. Фрунзе)
ГАЗ-3221 «Газель» (8-местный)	«Сага-7» ИПФ	«Сага»
ГАЗ-322173 «Газель» (13-местный)	Р-131	ОАО «РЗАА»
ГАЗ-330210 «Газель»	АКТШ-410.800	ЗиФ (Завод им М.В. Фрунзе)
ГАЗ-330211 «Газель»	ГБА-240	ЗАО «Автосистема»
ГАЗ-3307	Р-117	ОАО «РЗАА»
ГАЗ-52-27, ГАЗ-52-28	ГБА-291	ЗАО «Автосистема»
ГАЗ-53-12	ГБА-291	ЗАО «Автосистема»
ЗИЛ-431410, ЗИЛ-431510	АВСТР. 454400.290	ЗАО «Автосистема»
ЗИЛ-431610	ГБА-290	ЗАО «Автосистема»
ЗИЛ-433100	ГБА-292	ЗАО «Автосистема»
КамАЗ-5320	ГБА-450	ЗАО «Автосистема»
ПАЗ-3205	ТШ-408.800	ЗиФ (Завод им М.В. Фрунзе)

ЛиАЗ-5256	ГБА-500	ЗАО «Автосистема»
ЛиАЗ-677М	ГБА-501	ЗАО «Автосистема»
ЛАЗ-695Н, ЛАЗ-699Р	ГБА-502	ЗАО «Автосистема»
ЛАЗ-42021	ГБА-500	ЗАО «Автосистема»
Икарус - 250, 260, 280, 283	Р-04462	ОАО «РЗАА»
Икарус - 260, 260.10, 280, 283	ГБА-601	ЗАО «Автосистема»

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°C , газ из баллона отбирается через расходный вентиль газовой фазы, т.е. из паровой подушки. После прогрева рабочего тела до 60°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.

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 φ_{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 газозвудушных смесей.

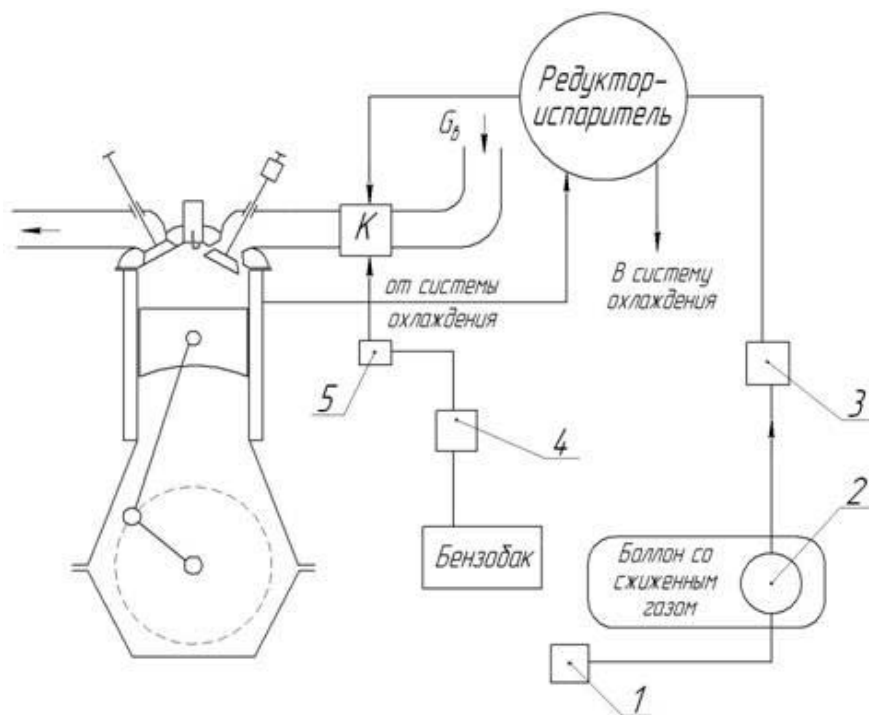


Рис. 3.5.21. Система питания ДВС сжиженным нефтяным газом:

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

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 (СО и C_xH_y).

Научно-производственная фирма «САГА» и Пермское авиационное объединение «ИНКАР» разработали и внедрили в производство автомобильную газовую топливную систему «САГА-7» для использования КПГ (см. рис. 3.5.22). 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. 3.5.22) 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 СТП двигателя.

Предусмотрена возможность работы двигателя на КПГ или на бензине. Переход на другой вид топлива осуществляется из кабины водителя трёхпозиционным (бензин - О - 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 КПГ 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.

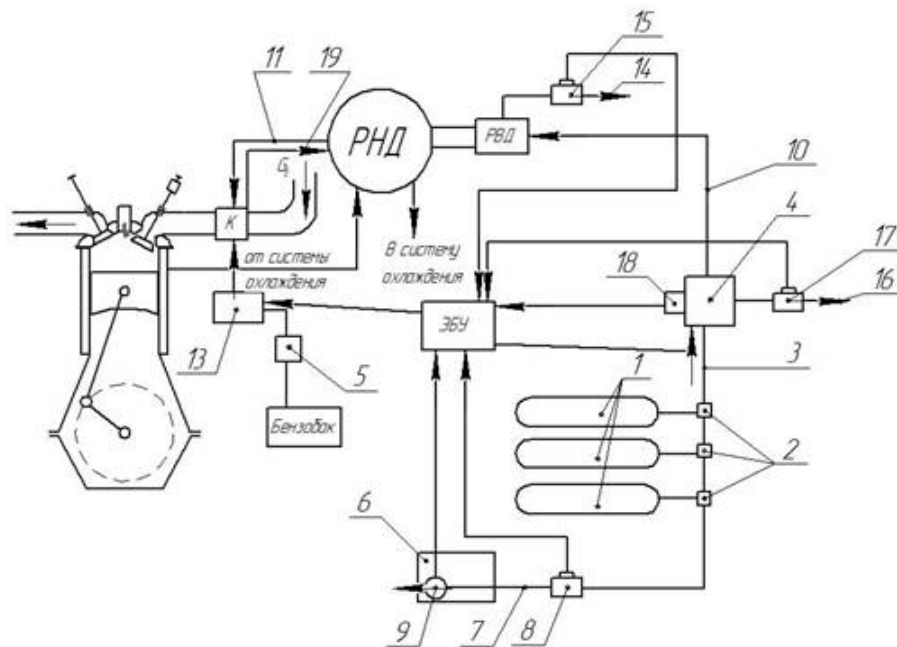


Рис. 3.5.22. Система питания ДВС компримированным природным газом:

1 - газовые баллоны; 2 - вентиль-предохранитель; 3,10 - линия высокого давления; 4 - газовый электромагнитный клапан; 5 - бензонасос; 6 - Заправочное 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 разряжению в карбюраторе
 РНД - редуктор низкого давления; РВД - редуктор высокого давления; К - карбюратор

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 φ_{03} для газа больше, чем для бензина, на высоких - наоборот.

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

3.5.8. 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 /1, 2, 3/ 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/м³ и 830...860 кг/м³ соответственно), то расчётами приходится проверять возможность базового ТНВД обеспечить изменённую величину цикловой подачи сжиженного газа. Если при максимальном ходе плунжера получается требуемый 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 τ_B . Либо наоборот, для сохранения величины τ_B - 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. 3.5.23 показана схема СТП 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.

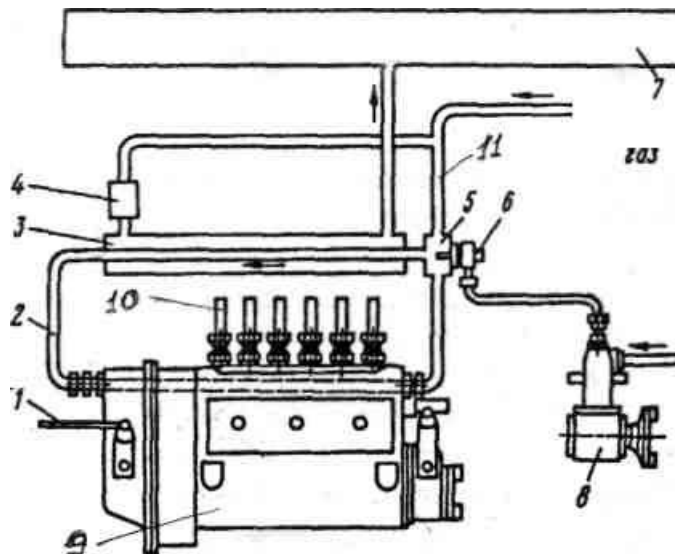


Рис. 3.5.23. Схема подачи в цилиндры дизеля сжиженного газа.

Следует отметить, что СТП 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.

Основные неисправности системы питания

Рассмотреть даже основные неисправности всех типов систем питания в рамках данного пособия не представляется возможным, поэтому остановим свое внимание на неисправностях систем питания бензиновых и дизельных двигателей, наиболее распространенных в России. Для бензиновых двигателей основными неисправностями являются следующие:

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.

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.

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.

3. Отложение нагара и лаковых плёнок на форсунках и элементах системы топливоподдачи.

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.

Основы эксплуатации системы питания

При эксплуатации системы питания необходимо проводить своевременные регулировки карбюратора, замену фильтров, чистку форсунок и следить за общим состоянием элементов системы. Особенно тщательно надо подходить к использованию топлива и выбору мест заправки им. Для использования в двигателе допускается только то топливо, которое рекомендовано заводом-изготовителем автомобиля. При подозрении на заправку некачественным топливом необходимо прекратить эксплуатацию автомобиля и провести чистку бензобака, а также хотя бы продувку всех магистралей топливопровода. Следует помнить, что хотя ГОСТ устанавливает определенный срок хранения бензина (пять лет), тем не менее при длительной (зимней) стоянке автомобиля бензин в значительной мере меняет свои свойства, в нем например образуются смолистые продукты, которые потом могут забивать отверстия в карбюраторе и форсунках, способствовать сажеобразованию при горении. Содержание в топливе серы увеличивает износ двигателя и также способно увеличить нагарообразование. Наиболее чувствительны к качеству используемого топлива двигатели с впрыском, где низкое качество топлива способно нанести вред форсункам, катализаторам и электрическому бензонасосу.

Иногда в процессе эксплуатации возникает необходимость в смешении топлив с различными октановыми числами, в этом случае октановое число смеси подсчитывается по формуле:

$$C = H + v(B-H),$$

где H и B - октановые числа по моторному методу для низко- и высокооктанового бензина,

v - доля высокооктанового бензина в смеси.

На автомобилях с впрыском топлива работоспособность системы питания сильно зависит от состояния других систем двигателя. Например, неудовлетворительное состояние свечей в системе зажигания (увеличенный зазор) ведет к выходу из строя электроники по причине увеличения напряжения в цепи, а износ масляеъемных колпачков клапанов приводит к попаданию масла на отдельные датчики (например, датчик кислорода), после чего следует не только их отказ, но иногда и выход из строя самого нейтрализатора. Последнее на двигателе с впрыском может произойти и при повышенном уровне масла в картере, откуда оно попадет во впускной коллектор через систему вентиляции картера, а затем, например, в датчик массового расхода воздуха.

Контрольные вопросы

1. Назначение и основные элементы системы питания двигателя топливом.
2. Разновидности систем топливоподдачи.
3. Основные требования к топливам ДВС.
4. Специфические требования, предъявляемые к бензинам.
5. Ассортимент бензинов.
6. Специфические требования, предъявляемые к дизельным топливам.
7. Ассортимент дизельных топлив.
8. Требования, предъявляемые к газообразным топливам ДВС.
9. Ассортимент газообразных топлив.
10. Структура системы питания двигателя с искровым зажиганием карбюраторного типа.
11. Структура системы питания двигателя с искровым зажиганием и впрыском топлива во впускной трубопровод.
12. Основные элементы системы впрыска бензина. Их назначение.
13. Разделённая система топливоподдачи дизелей. Её принцип действия.
14. Насос-форсунка. Принцип действия, достоинства, недостатки.
15. Аккумуляторная СТП дизелей. Структура, принцип действия.
16. Система питания ДВС сжиженным нефтяным газом. Структура, принцип действия.
17. Система питания ДВС компримированным природным газом. Структура, принцип действия.

18. Система питания дизелей сжиженным нефтяным газом. Структура, принцип действия.

Список использованной литературы

1. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»/ *С. И. Ефимов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин и др.*; под общ. ред. *Орлина А. С., Круглова М. Г.* – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с., ил..
2. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов: Учеб./ *В. Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян и др.*; под ред. *Луканина В. Н.* – М.: Высш. шк., 1995. – 368 с., ил.
3. *Марков В. А., Козлов С. И.* Топлива и топливоподача многотопливных и газодизельных двигателей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 296 с., ил.
4. *К. А. Морозов, С. А. Пришвин, П. В. Сафронов.* Топливные системы двигателей с искровым зажиганием: Учебное пособие/ МАДИ (ГТУ). – М., 2001. – 68 с.
5. Иллюстративный материал к лекциям по разделу «Топливные системы двигателей с искровым зажиганием». Сост. *Ю. Г. Доценко, К. А. Морозов, С. А. Пришвин, П. В. Софронов.* МАДИ (ГТУ). – М., 2002. – 66 с., ил.
6. *Золотницкий В. А.* Система питания газобензиновых автомобилей – М.: «Издательский Дом Третий Рим», 2002. – 80 с., ил.
7. *Синельников А. Ф., Балабанов В. И.* Автомобильные топлива, масла и эксплуатационные жидкости. Краткий справочник. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулём», 2003. – 176 с.: ил., табл.
8. Иллюстративный материал к лекциям по разделу «Топливные системы дизелей» (Составители: *А. С. Хачиян, Л. Н. Голубков, В. В. Синявский*) / МАДИ.- М.,

2002. – 32 с.

9. *Л. Н. Голубков, А. А. Савастенко, М. В. Эммиль.* Топливные насосы высокого давления распределительного типа: Учебное пособие/- 4-е изд., перераб. – М.: «Легион-Автодата», 2002. - 176 с. ил.
10. *Ф. И. Пинский, Р. И. Давтян, Б. Я. Черняк.* Микропроцессорные системы управления автомобильными двигателями внутреннего сгорания. Учебное пособие. – М.: «Легион-Автодата», 2002. - 136 с. ил.
11. *Грехов Л. В.* Топливная аппаратура дизелей с электронным управлением. Учебно-практическое М.: Легион-Автодата, 2003. – 176 с., ил.
12. *Росс Твег.* Системы впрыска бензина. Устройство, обслуживание, ремонт: Практическое пособие- М.: ЗАО «КЖИ «За рулём», 2003. - 144 с.
13. *С. Михайлов.* Азбука впрыска. Тематический выпуск газеты «Семь верст», Тольятти, 2004. - 32с.

3.6. Система зажигания в бензиновых двигателях

3.6.1. 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. 3.6.1.

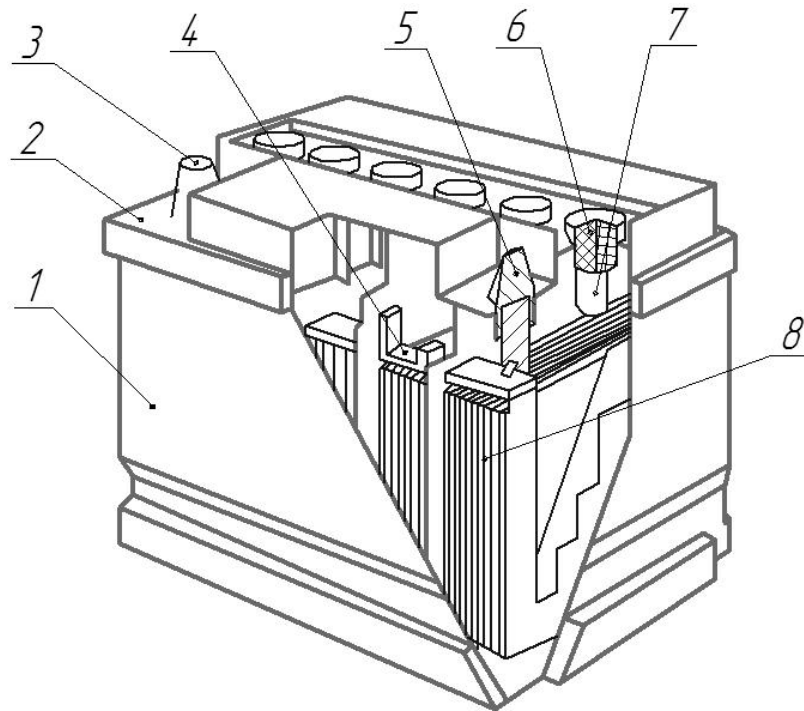


Рис. 3.6.1. Аккумуляторная батарея:

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

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. 3.6.2) 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 ВА3-21083 оснащен трехфазным генератором переменного тока типа 37.3701 со встроенным выпрямительным блоком и микроэлектронным регулятором напряжения.

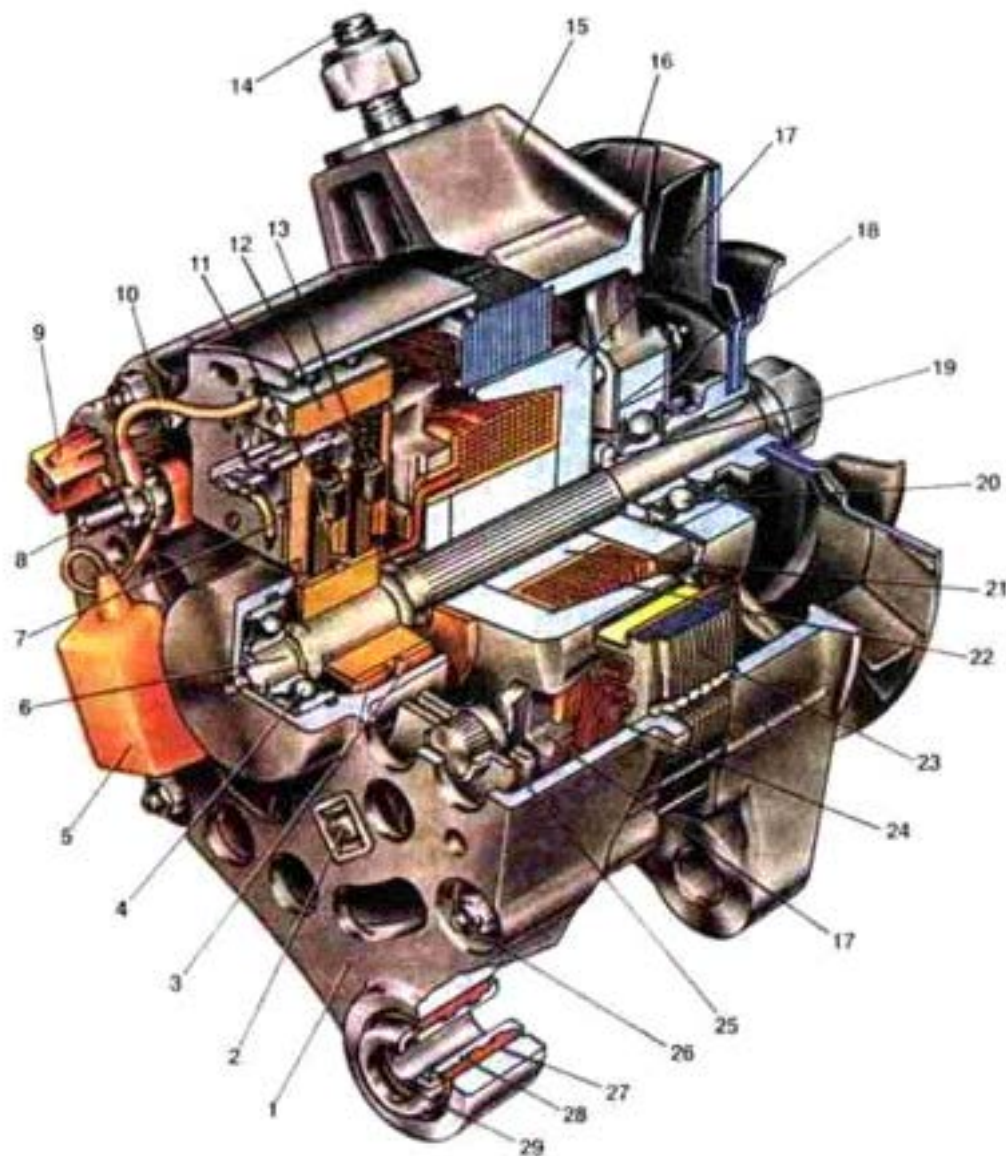


Рис. 3.6.2. Устройство генератора двигателя ВАЗ-21083:

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 "Б" 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

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. 3.6.2.

Регулятор напряжения (см. рис.3.6.3) - 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.



Рис. 3.6.3. Регулятор напряжения автомобиля ВАЗ-2108

3.6.2. Контактная и бесконтактная системы зажигания бензиновых ДВС

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

Современные ДВС имеют контактную или бесконтактную электронную системы зажигания.

Контактная система зажигания работает следующим образом. Аккумулятор и генератор вырабатывают ток низкого напряжения, выдавая в бортовую электросеть автомобиля 12 - 14 вольт (рис. 3.6.4). 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. 3.6.5), которая и обеспечивает возникновение искры.

Контактная система зажигания (рис. 3.6.4 и 3.6.5) 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, выключателя зажигания.

Катушка зажигания предназначена для преобразования тока низкого напряжения в ток высокого напряжения, располагается в моторном отсеке. Принцип работы катушки зажигания заключается в следующем. 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.

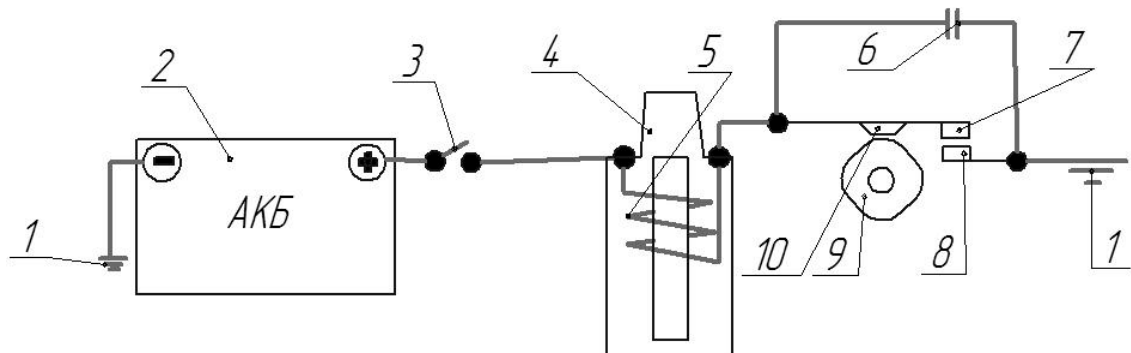


Рис. 3.6.4. Электрическая цепь низкого напряжения контактной системы зажигания:
1 - «масса» автомобиля; 2 - аккумуляторная батарея; 3 - контакты замка зажигания; 4 - катушка зажигания; 5 - первичная обмотка (низкого напряжения); 6 - конденсатор; 7 - подвижный контакт прерывателя; 8 - неподвижный контакт прерывателя; 9 - кулачок прерывателя; 10 - контакт прерывателя

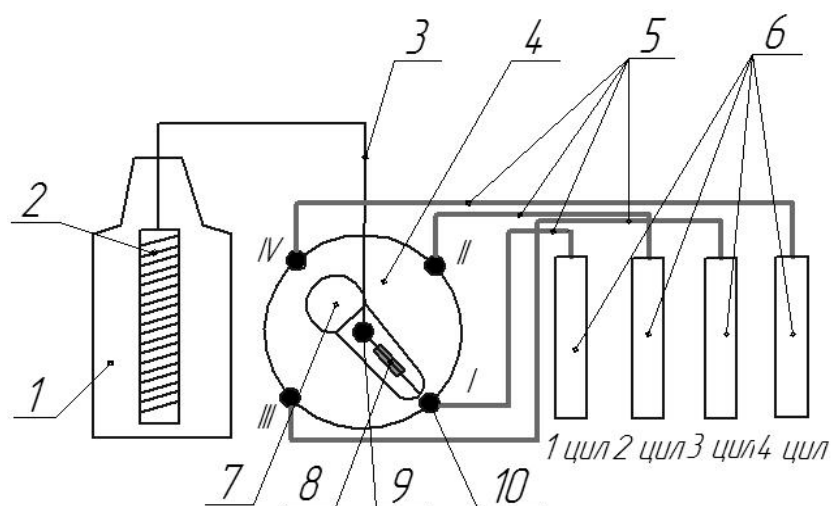


Рис. 3.6.5. Электрическая цепь высокого напряжения контактной системы зажигания:
 1 - катушка зажигания; 2 - вторичная обмотка (высокого напряжения); 3 - высоковольтный провод катушки зажигания; 4 - крышка распределителя тока высокого напряжения; 5 - высоковольтные провода свечей зажигания; 6 - свечи зажигания; 7 - распределитель тока высокого напряжения («бегунок»); 8 - резистор; 9 - центральный контакт распределителя; 10 - боковые контакты крышки

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. 3.6.6). Поэтому иногда этот узел называют **прерыватель-распределитель** или «трамблер».

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 уголок 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.

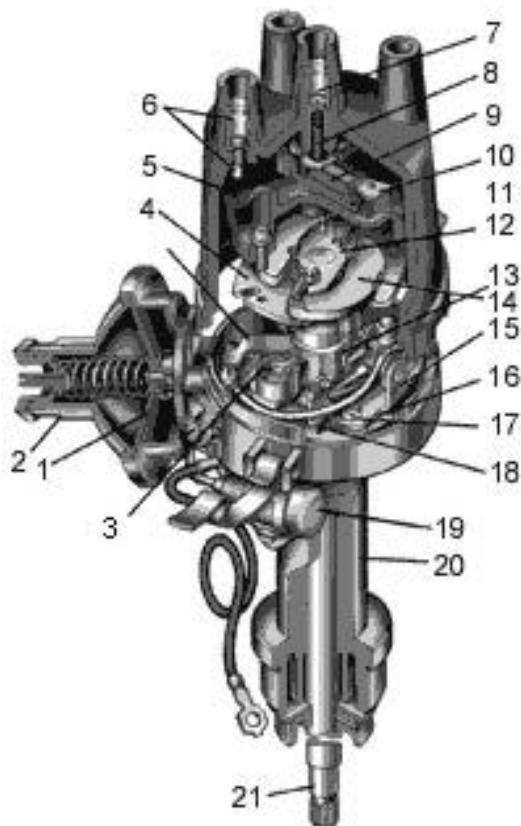


Рис. 3.6.6. Прерыватель- распределитель:

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

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. 3.6.7), 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.

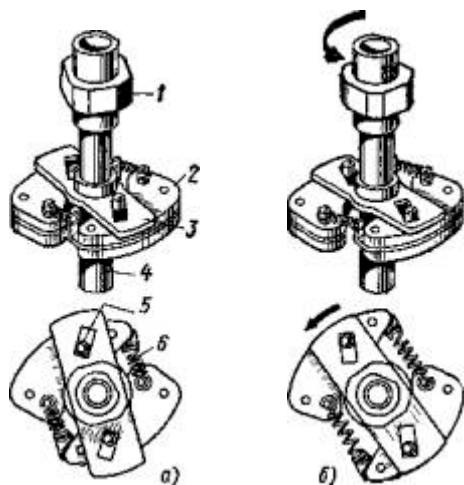


Рис. 3.6.7. Схема работы центробежного регулятора опережения зажигания
 а - положение деталей регулятора при малой частоте вращения, б - положение деталей при большой частоте вращения:

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

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. 3.6.8) 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.

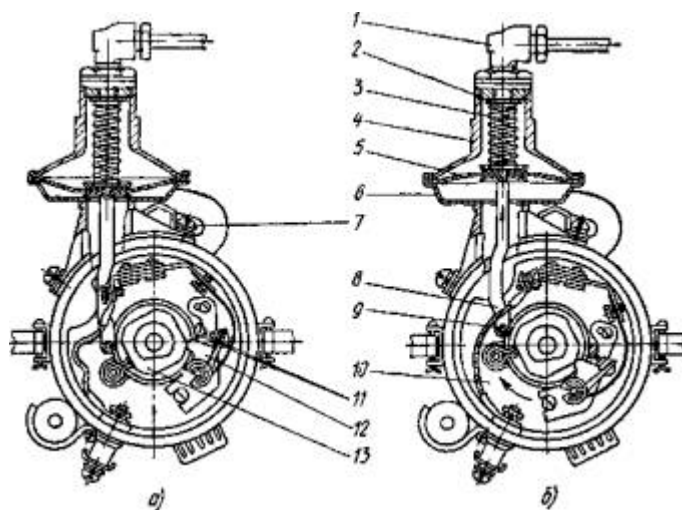


Рис. 3.6.8. Схема действия вакуумного регулятора опережения зажигания
 а - положение диафрагмы и связанных с ней деталей при малой частоте вращения коленчатого вала двигателя, б - положение деталей с увеличением частоты вращения:
 1 - штуцер трубки от карбюратора, 2 - регулировочная шайба, 3 - пружина, 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

Свеча зажигания (см. рис. 3.6.9) 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 снижает помехи радиопринимающих устройств.

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».

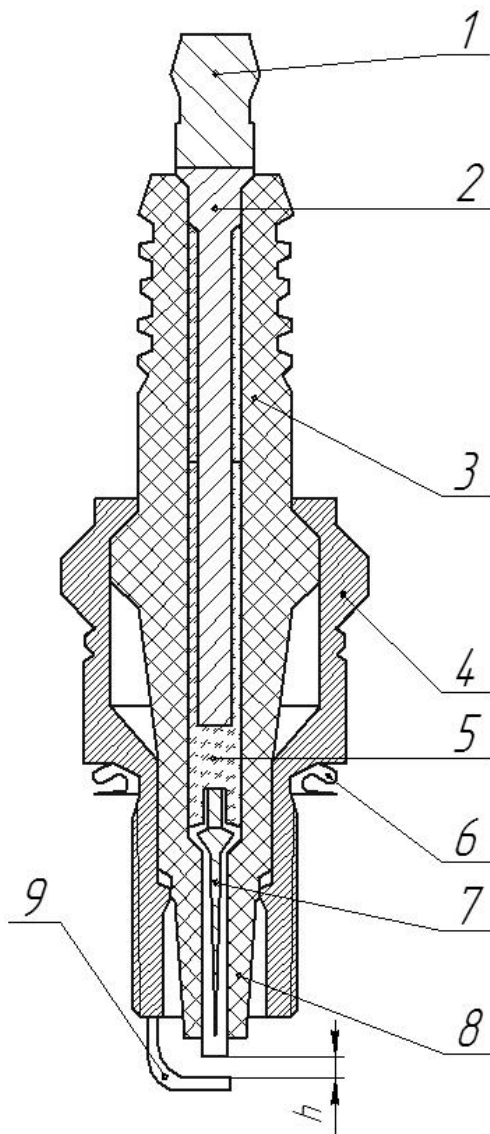


Рис. 3.6.9. Свеча зажигания:

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

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. 3.6.10.

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.

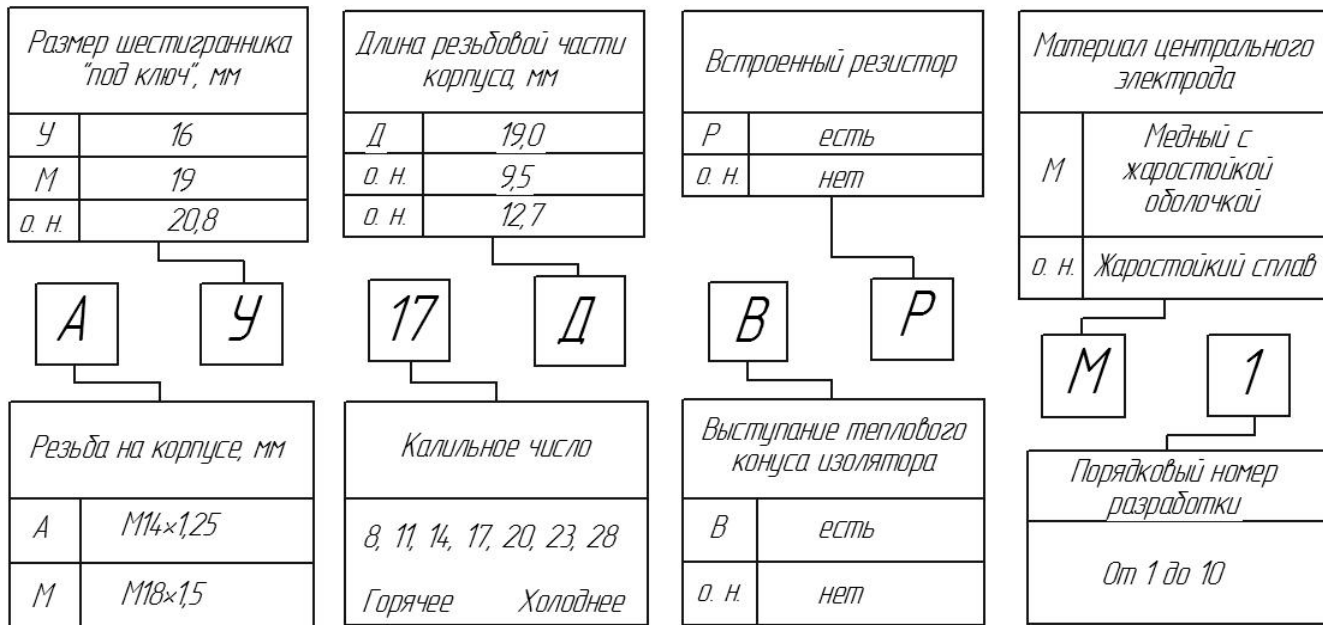


Рис. 3.6.10. Обозначение свечей зажигания по ОСТ 37.003.081

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

3.6.2.1. Основные неисправности контактной системы зажигания

1. **Отсутствие искры между электродами свечей** 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.

2. **Перебои в работе двигателя и его недостаточная мощность** могут 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.

3.6.2.2. Электронная бесконтактная система зажигания

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 топливоздушная 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 контроле 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. 3.6.11). Здесь в бесконтактной системе используются электронные устройства - коммутатор 3 и датчик-распределитель 4 (датчик Холла).

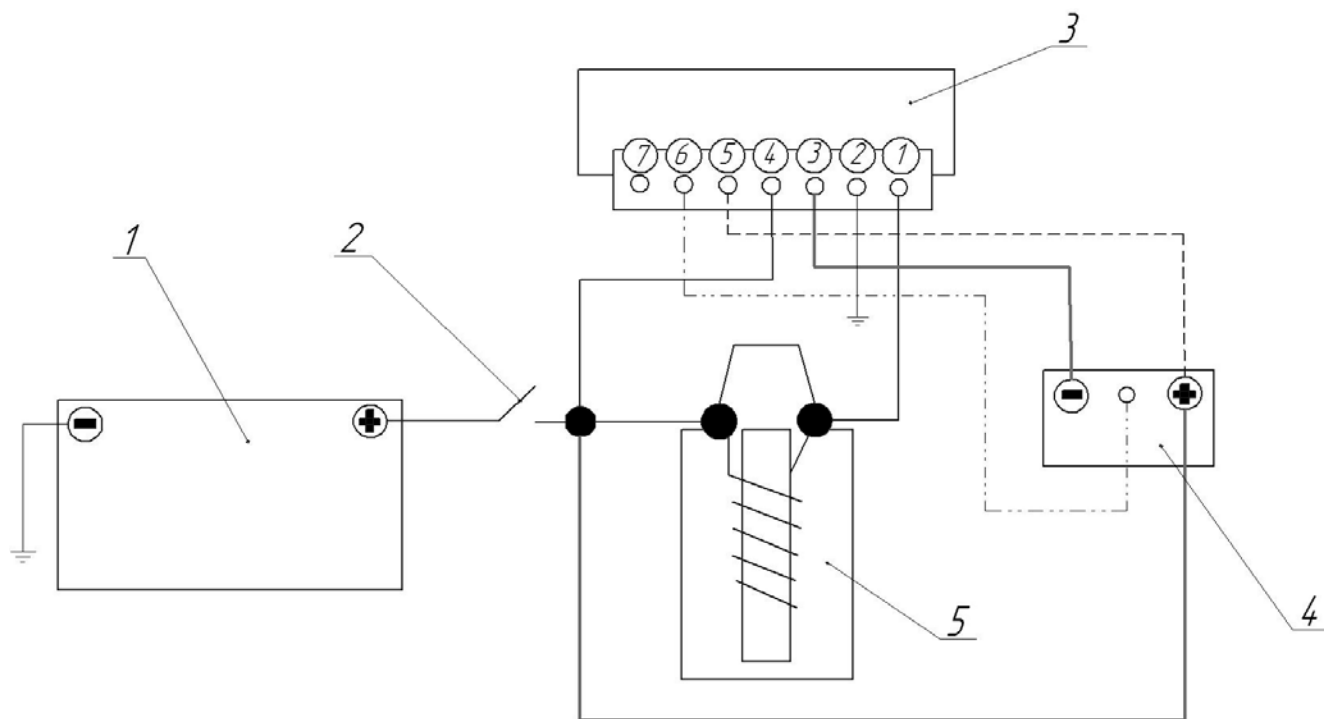


Рис. 3.6.11. Цепь низкого напряжения бесконтактной системы зажигания:

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

Основные неисправности и эксплуатация электронной бесконтактной системы зажигания

Отсутствие искры на свече зажигания может быть вызвано:

1. отсутствием контакта в соединениях электрической цепи (повреждение проводов, расстыковка разъемов и т.д.);
2. неисправностью коммутатора, крышки распределителя, бесконтактного датчика, или катушки зажигания.

3.6.2.3. 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 нежелательно) 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, не соответствующих 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.

3.6.3. Система пуска двигателя

Система пуска двигателя (см. рис. 3.6.12) 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. 3.6.13) 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.

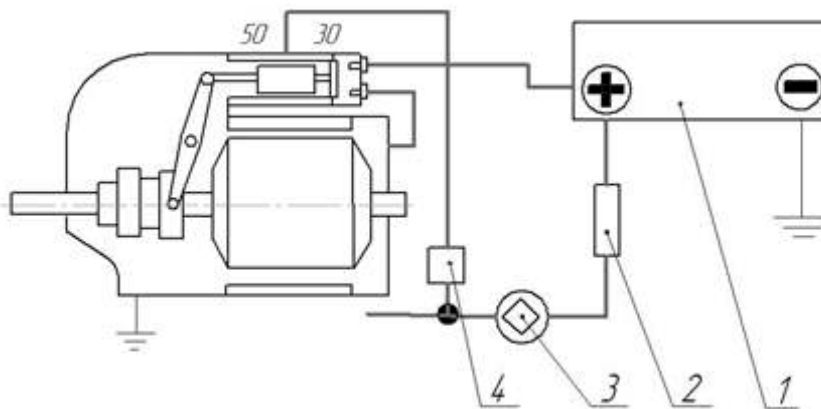


Рис. 3.6.12. Схема системы пуска двигателя:

1 - аккумуляторная батарея; 2 - предохранитель; 3 - замок зажигания; 4 - реле стартера

Генератор обеспечивает подзарядку аккумуляторной батареи во время движения автомобиля, а также снабжает автомобильные системы (в том числе и систему зажигания) электроэнергией.

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. **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.

3. **Выход из строя генератора** в конечном итоге ведет к разрядке аккумуляторной батареи и соответствующим проблемам. Необходимо выполнить ремонт или замену

генератора.

4. **Обрыв проводов в электроцепях системы пуска.** Для устранения заменяют поврежденные провода и контакты.

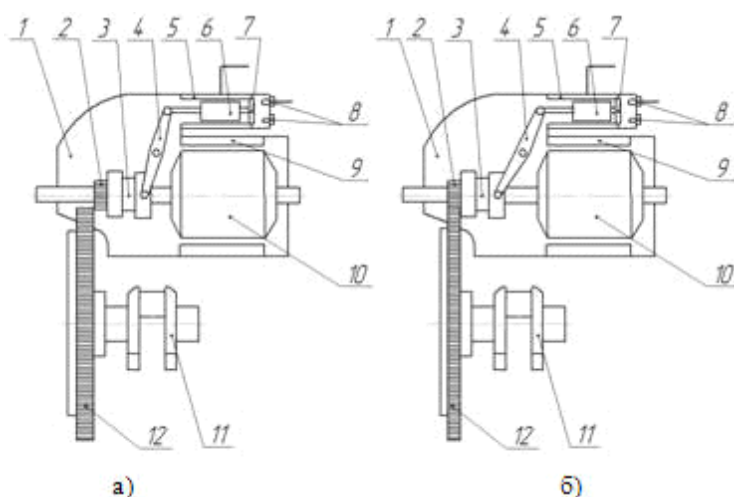


Рис. 3.6.13. Работа стартера при пуске двигателя

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

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 $1,27...1,28 \text{ г/см}^3$ (при его температуре $+25^{\circ}\text{C}$). Падение плотности на $0,01 \text{ г/см}^3$ 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) попадания 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. 3.6.14). 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.

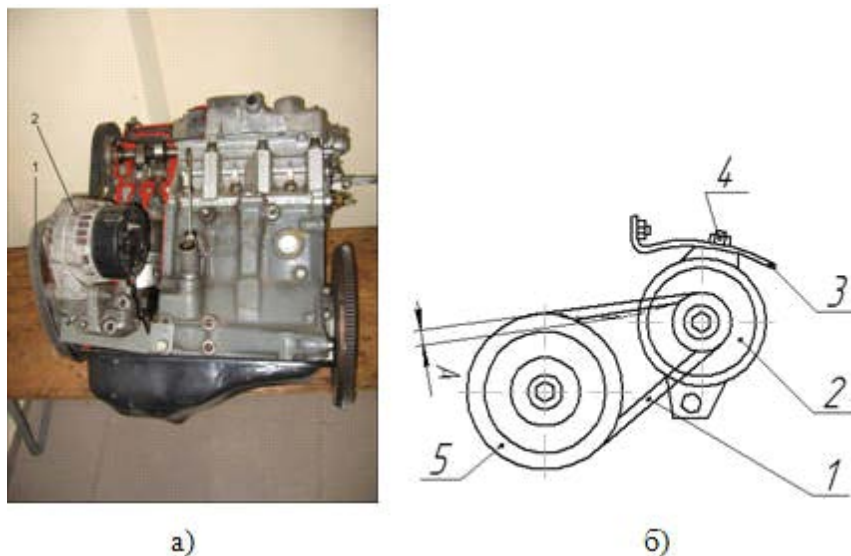


Рис. 3.6.14. Расположение генератора на двигателе (а) и схема привода генератора (б):

- 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

Список использованной литературы

1. *В. М. Кленников, Н. М. Ильин, Ю. В. Буравлев.* Автомобиль категории В. Учебник водителя. М. Транспорт, 1988. - 320 с.
2. *Зеленин С. Ф., Молоков В. А.* Учебник по устройству автомобиля. М.: Русь Автокнига, 2003. - 80 с.

4. 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, может быть выше 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. Отсюда следует, что время разгона автомобиля до определенной скорости (т.е. динамические показатели) будут зависеть от величины крутящего момента.

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 ведущего колеса 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 F и M_k в уравнение (7), находим значение ускорения автомобиля:

$$a = M_e \cdot u_T / (m \cdot D_k). \quad (6)$$

Отсюда следует, что чем выше значение крутящего момента двигателя, тем больше ускорение автомобиля. Большой крутящий момент позволяет обеспечить 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.

Крутящий момент и мощность двигателя передаются на колеса через трансмиссию. Поэтому очевидно, что и динамика разгона и максимальная скорость автомобиля зависят от передаточных чисел в КПП и в главной передаче. Эти параметры чрезвычайно важны для реализации всех потенциальных возможностей двигателя. Правильно подобранные передачи в трансмиссии способны значительно повысить эксплуатационные свойства автомобиля, а ошибки в их подборе могут нивелировать результат всех усилий по форсированию двигателя. Мощность двигателя N_e , также как и его момент M_e , имеет максимум в зависимости от

оборотов вала двигателя, который за счет влияния частоты вращения сдвинут в сторону повышенных оборотов.

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.

Самая существенная из сил, тормозящих движение автомобиля - сила сопротивления воздуха, возникающая при трении поверхностей автомобиля о набегающий поток воздуха. Далее идет сила, возникающая от трения колес о поверхность дороги - так называемого трения качения. Эти силы носят название сил сопротивления и всегда направлены в сторону, противоположную движению автомобиля. Еще одна сила образуется от внутреннего трения в трансмиссии и подшипниках колес.

Для преодоления всех этих сил, как уже отмечалось выше, затрачивается мощность двигателя и расходуется топливо. Зависимость расхода топлива от скорости движения автомобиля на преодоление каждой из этих сил представлена на рис. 4.1.

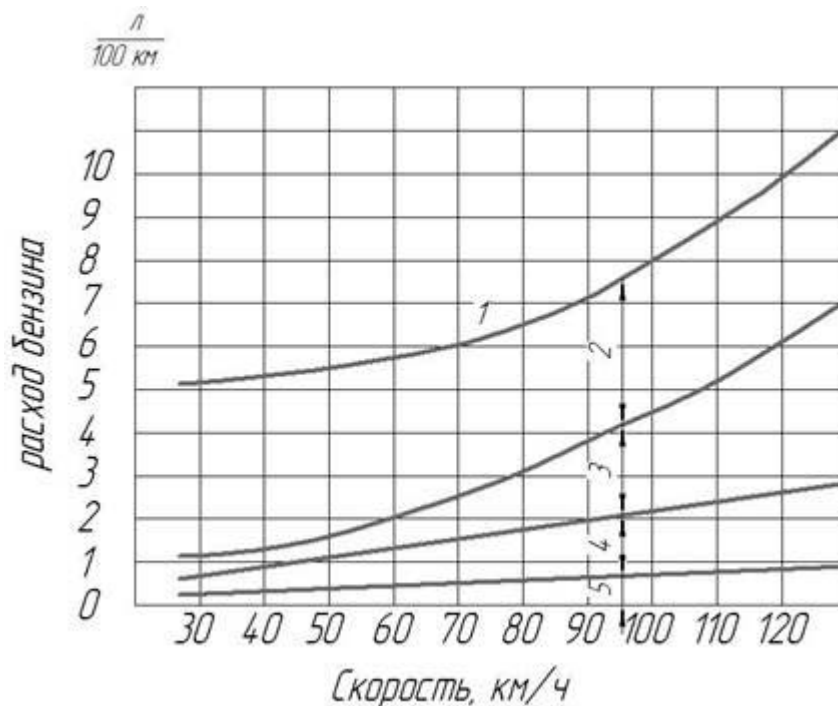


Рис. 4.1. Расход топлива автомобилем ВАЗ-2101:

- 1 - суммарный, 2 - на потери в двигателе, 3 - на сопротивление воздуха, 4 - на сопротивление качению, 5 - на потери в трансмиссии

В общем случае мощность, создаваемая двигателем для обеспечения равномерного движения автомобиля может быть определена по формуле:

$$N_e = \frac{N_{тк} + N_e}{\eta_T},$$

где $N_{тк}$ - мощность, затрачиваемая на преодоление сил качения;

N_B - мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха;

η_T - КПД трансмиссии.

Обычно потери в трансмиссии составляют от 7 до 15% мощности, развиваемой ДВС.

Составляющие N_{TK} и N_B рассчитываются по формулам:

$$N_{mk} = \frac{fgmv}{3600}; \quad N_a = \frac{c_x F v^3}{4700},$$

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. Минимальное значение этого коэффициента (0,014...0,018) соответствует асфальту, а максимальное (0,1...0,3) - движению по песку. Для булыжника $f = 0,02...0,03$; для грунтовки 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.

Табл. 4.1. 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.

Анализ приведенных формул показывает, что скорость автомобиля не прямо пропорциональна мощности двигателя, т.е. при её увеличении, например в пять раз, мы не получим соответствующего увеличения скорости.

Существует большое количество зависимостей мощности ДВС от его оборотов (см. рис. 4.2):

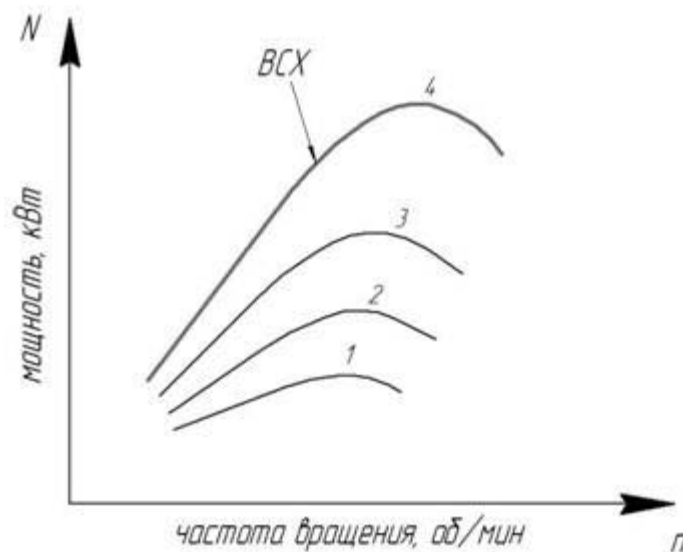


Рис. 4.2. Изменение мощности ДВС в зависимости от оборотов его коленчатого вала и различной степени открытия дроссельной заслонки (линии 1,2,3,4)

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. 4.3). 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 передач, принято называть **располагаемыми**, т.к. они позволяют установить, какими ресурсами располагает автомобиль на определенных режимах работы.

В свою очередь можно построить график, на котором будет изображена линия, соответствующая мощности, необходимой для обеспечения автомобилю максимальной скорости в данных дорожных условиях и включающая затраты на преодоление сил аэродинамического сопротивления, трения качения и сопротивления в трансмиссии. При оценке динамических возможностей автомобиля графики располагаемой мощности ДВС и потребной мощности принято строить в зависимости от скорости движения автомобиля (см. рис. 4.4).

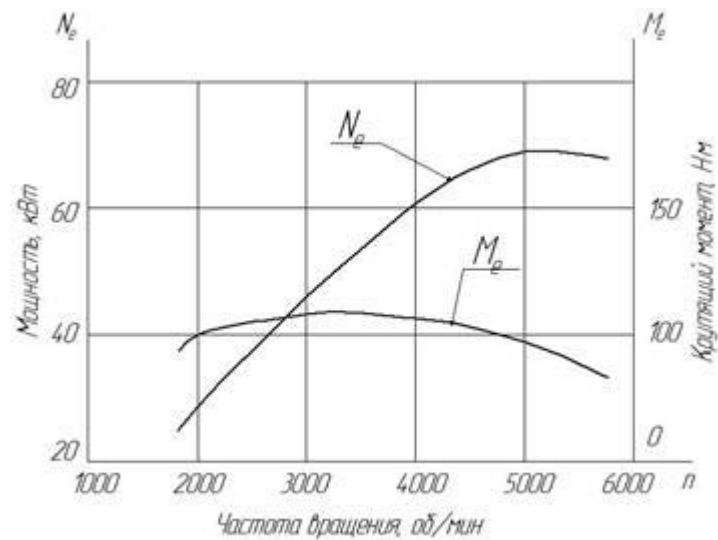


Рис. 4.3. Внешняя скоростная характеристика двигателя VA3-21083

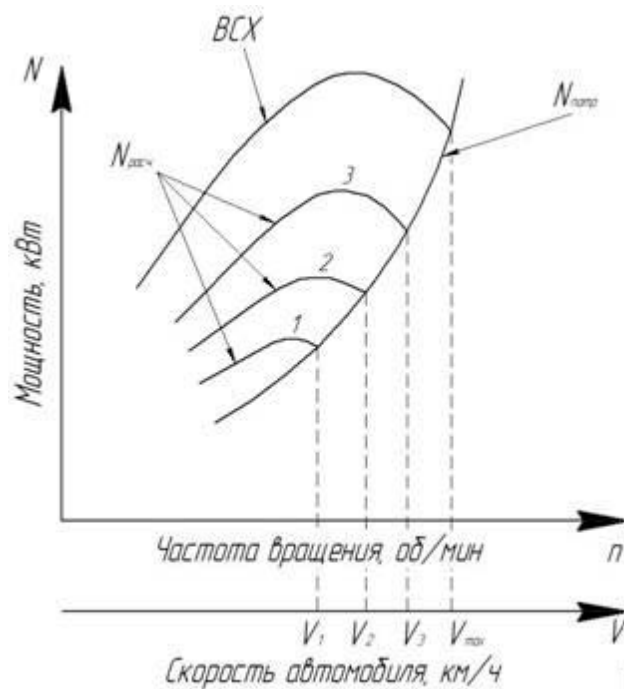


Рис. 4.4. Графики располагаемой и потребной мощностей

Если линии мощности ДВС и потребной мощности расположить на одном графике, то точки их пересечения покажут максимальные скорости автомобиля при различных положениях дросселя (см. рис. 4.4). При этом максимально возможная скорость автомобиля в данных дорожных условиях соответствует BCX . Потребная мощность - это параметр, целиком зависящий от сил сопротивления движению автомобиля, и она связана с формой кузова автомобиля, его размерами, массой и т.д.

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 потребная мощность возрастает. На спуске - наоборот, появляется сила, уменьшающая потребную 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_Ψ - 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, Н:

$$P_k = \frac{M_e \cdot u_{ki} \cdot u_0 \cdot \eta_T}{r_d},$$

где r_d - динамический радиус колеса, который в нормальных условиях движения принимаем равным $r_{ст}$, м; u_{ki} - передаточное число используемой передачи; u_0 - передаточное число главной передачи

Вторую составляющую силового баланса - силу суммарного дорожного сопротивления определяют по формуле, Н:

$$P_\Psi = \Psi G,$$

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 $\Psi = f = const$.

Сила сопротивления воздуха, Н определяется по формуле:

$$P_w = \frac{k \cdot F \cdot v^2}{3,6^2},$$

где F - лобовая площадь, 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 α - 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, Н:

$$P_j = \delta \frac{G}{g} a,$$

где δ - коэффициент, учитывающий влияние инерции вращающихся масс; a - ускорение автомобиля в поступательном движении, м/с².

При построении и анализе графиков силового баланса величина P_j не рассчитывается, а определяется как разность тягового усилия P_k и суммы сопротивлений движению ($P_\psi + P_w$).

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 $r_{ст}$.

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. 4.5.

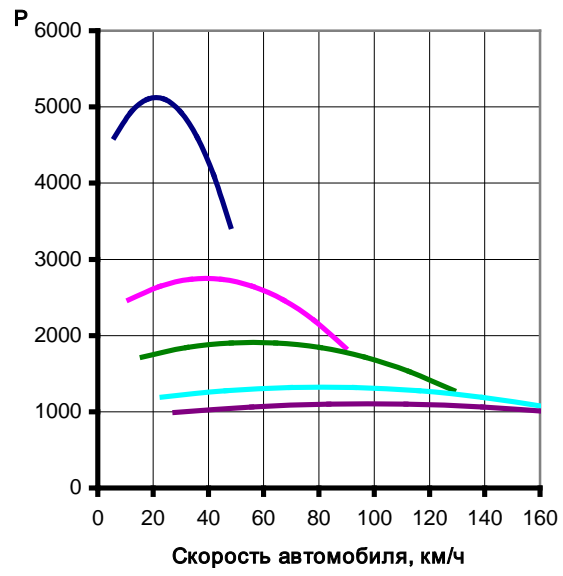


Рис. 4.5. Силовой баланс автомобиля ВАЗ - 21083

Зависимость динамического фактора от скорости автомобиля выглядит следующим образом (рис. 4.6):

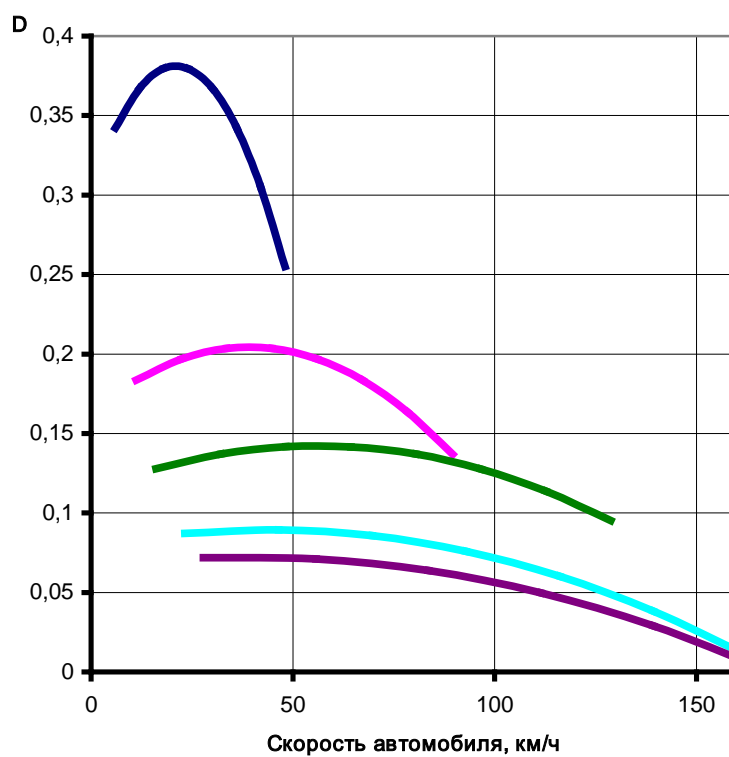


Рис. 4.6. Динамический фактор автомобиля ВАЗ - 21083

Ускорения автомобиля представлены на рис.7.

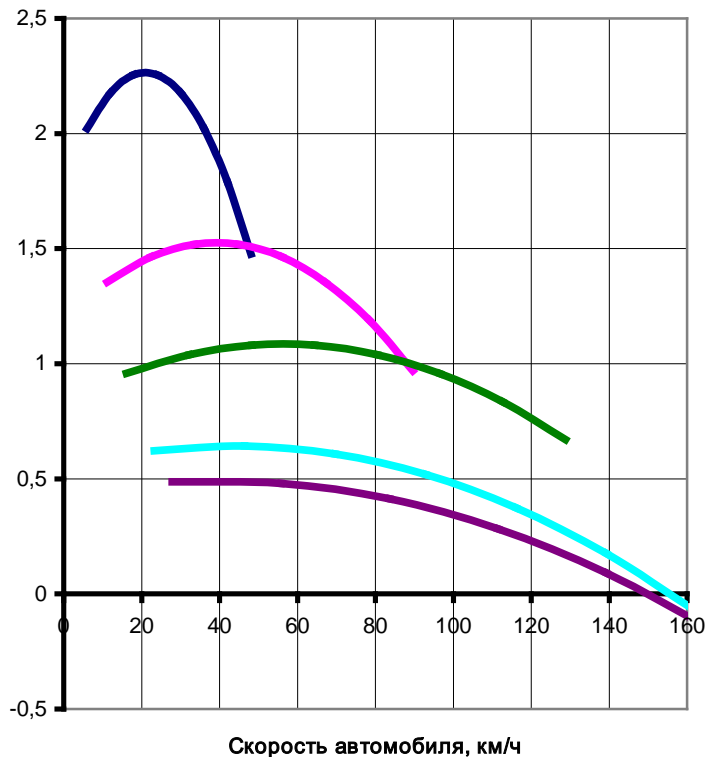


Рис. 4.7. График ускорений автомобиля ВАЗ - 21083

Также можно записать уравнения баланса мощности автомобиля. Они могут быть записаны 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_ψ , 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_ψ и N_w рассчитывают с использованием величин P_ψ 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_{ψ} и N_w суммируют.

Из рассчитанных табличных значений берут также значения скоростей движения автомобиля на всех передачах, соответствующие принятым ранее величинам частоты вращения коленчатого вали двигателя. Затем строят график баланса мощностей автомобиля (рис. 4.8).

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. 4.9):

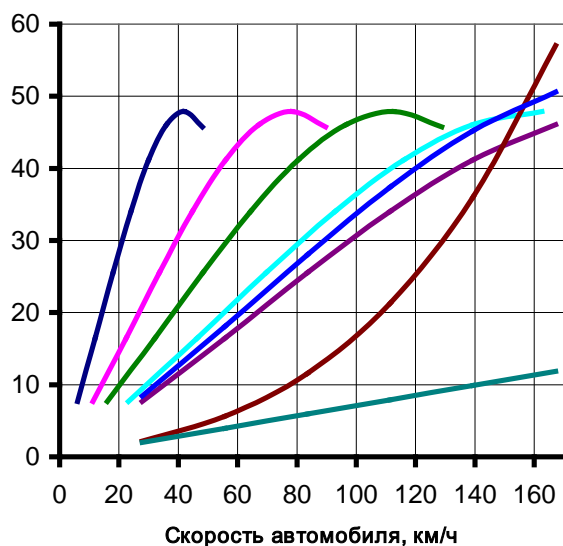


Рис. 4.8. Баланс мощностей автомобиля

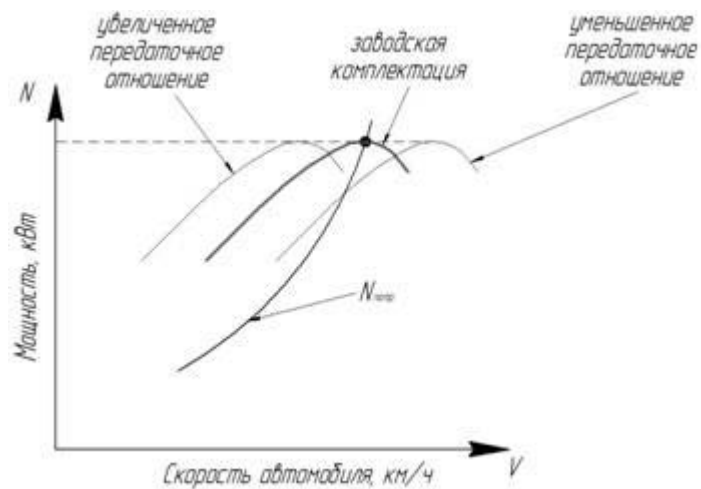


Рис. 4.9. Зависимость мощности автомобиля от передаточного числа

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.

3) влияние внешних условий (на примере изменения направления ветра) показано на рис. 4.10 и 4.11.

Внешние условия (ветер, состояние дорожного покрытия и т.д.) изменяют значение потребляемой мощности, в результате изменяется и максимальная скорость автомобиля.

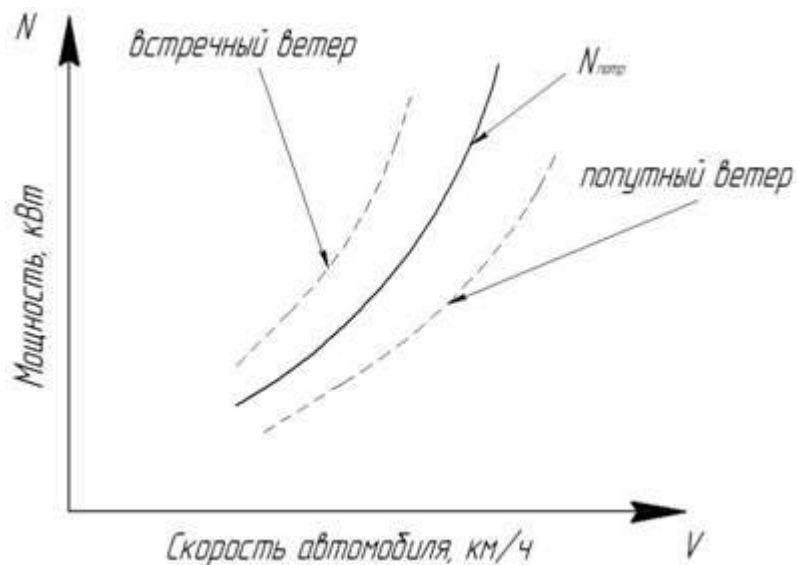


Рис. 4.10. Зависимость потребляемой мощности автомобиля от одного из внешних факторов

Внешние условия могут оказывать влияние и на динамику автомобиля:

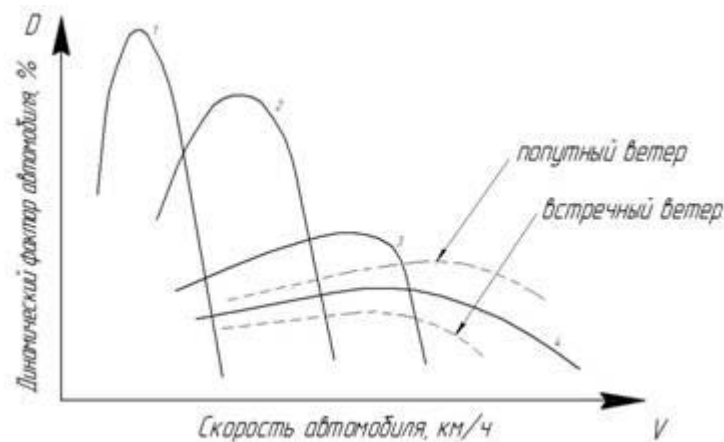


Рис. 4.11. Зависимость динамического фактора автомобиля от скорости (1, 2, 3, 4 -линии, соответствующие включенным первой, второй, третьей и четвертой передачам трансмиссии) и ветра (на примере четвертой передачи)

4) влияние исправности двигателя автомобиля показано на рис. 4.12.

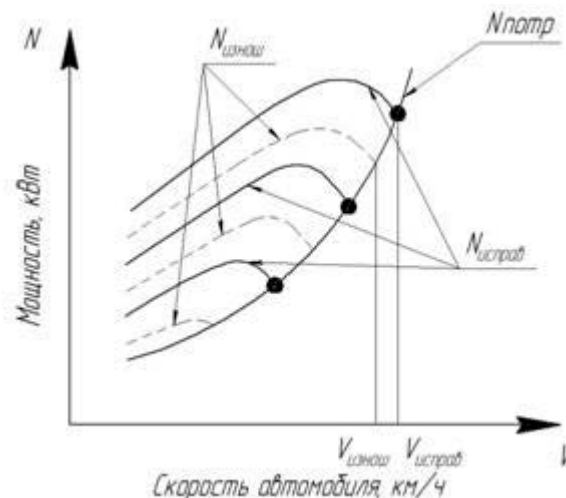


Рис. 4.12. Влияние исправности двигателя на скорость автомобиля

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. 4.13 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. 4.14 в сравнении с графиком потребной мощности ($N_{\psi} + N_w$). Из данного рисунка хорошо видна разница в максимальной скорости автомобиля в обоих случаях.

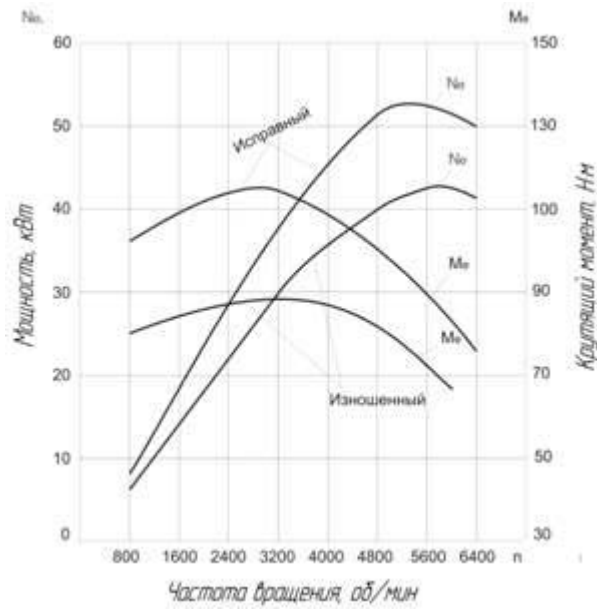


Рис. 4.13. Внешняя скоростная характеристика исправного и изношенного двигателей ВАЗ-21083

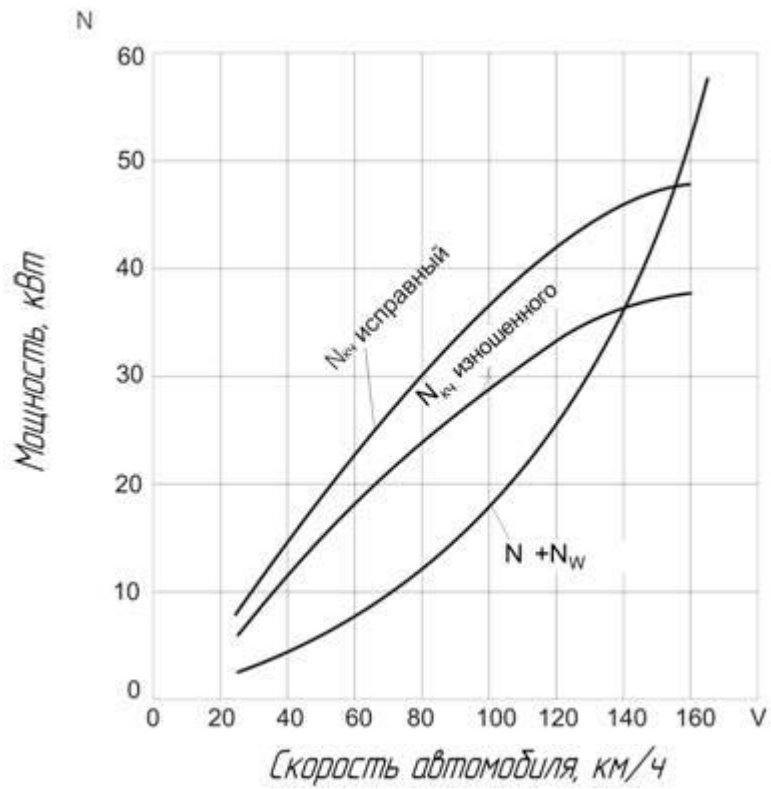


Рис. 4.14. Максимальная скорость автомобиля с исправным и изношенным двигателем ВАЗ-21083

На рис. 4.15 представлено время разгона автомобиля с изношенным двигателем, в сравнении с временем разгона автомобиля с исправным двигателем.

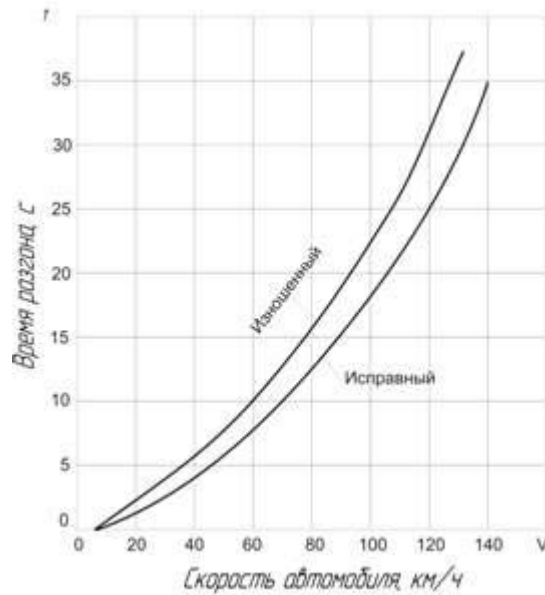


Рис. 4.15. График времени разгона автомобиля с исправным и изношенным двигателями

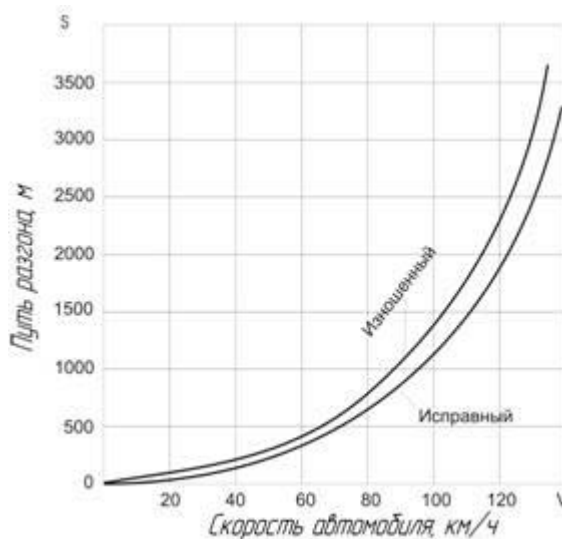


Рис. 4.16. График пути разгона автомобиля с изношенным и исправным двигателями

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. 4.17 представлено изменение расхода топлива автомобиля при некачественной регулировке газораспределительного механизма, а на рис. 4.18 - при износе цилиндропоршневой группы.

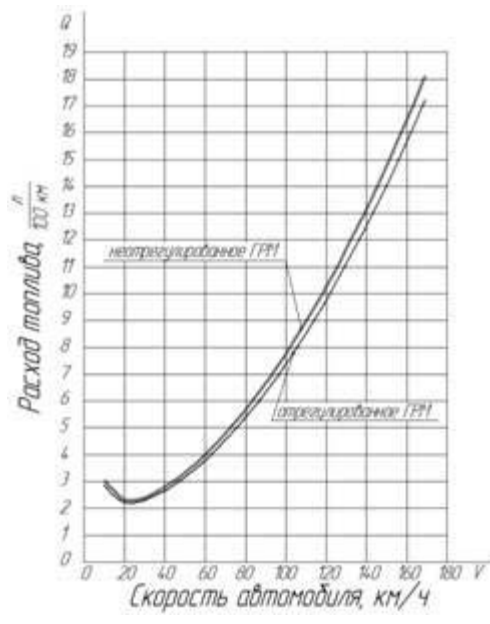


Рис. 4.18. Зависимость среднего расхода топлива автомобиля с отрегулированным и неотрегулированным ГРМ

Из рис. 4.18 видно, что неправильная регулировка газораспределительного механизма в рассматриваемом случае приводит к ухудшению топливной экономичности на 5%.

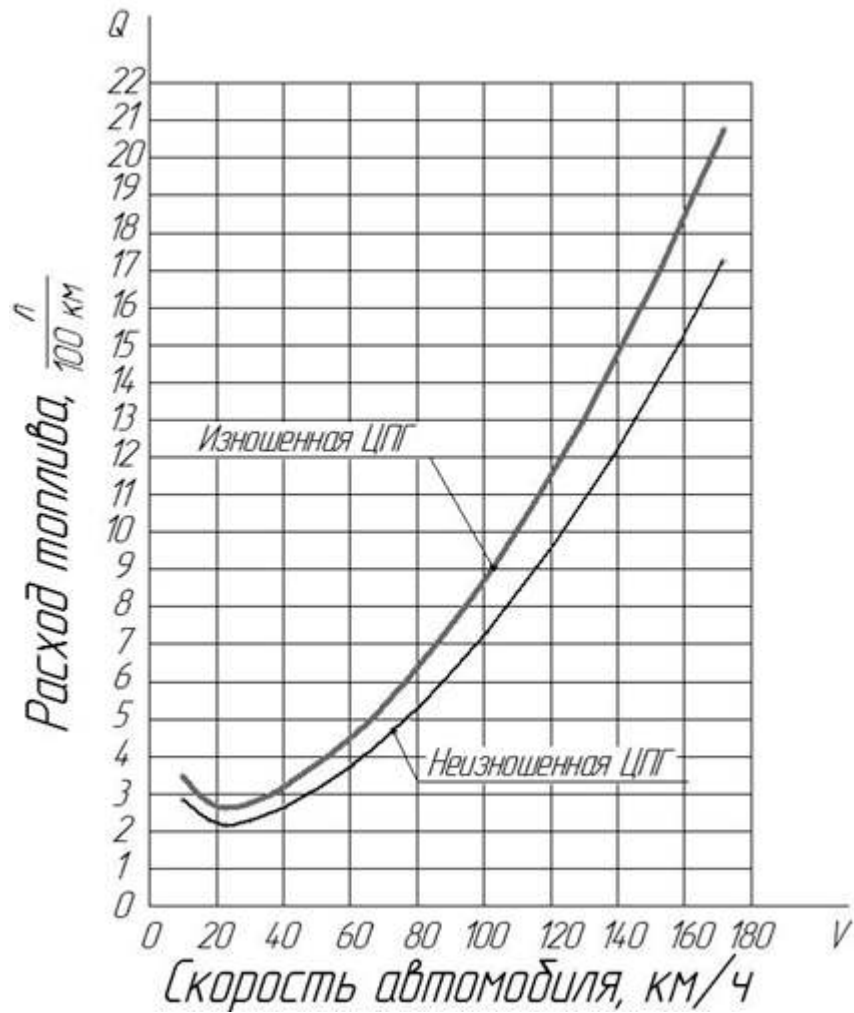


Рис 4.18. Изменение среднего расхода топлива автомобилем с исправным и изношенным двигателем

Рис. 4.18 показывает, что при износе шатунно-поршневой группы, соответствующем падению компрессии на 10 %, увеличение потребления топлива может достичь 20%.

Во взаимозависимости характеристик автомобиля и ДВС имеется и обратная связь. Например, характер эксплуатации автомобиля существенным образом отражается на работе систем двигателя, а в конечном итоге и на его состоянии.

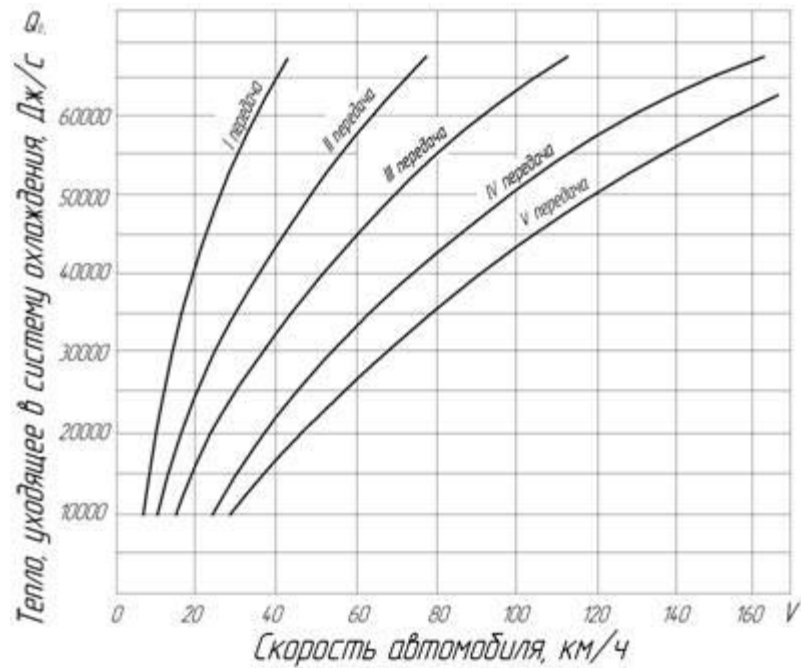


Рис. 4.19. Тепло, уходящее в систему охлаждения ВА3-2108 при его движении на разных передачах

Из рисунка 4.19 видно, что при движении автомобиля с одной и той же скоростью, но на различных передачах, в его систему охлаждения будет выделяться различное тепло. Также 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.

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. От каких характеристик ДВС зависит максимальная скорость и динамическая характеристика автомобиля?
2. Что показывает внешняя скоростная характеристика автомобиля?
3. От чего зависит мощность, необходимая для движения автомобиля с определенной скоростью?
4. Как дорожные и климатические условия влияют на максимальную скорость движения автомобиля?
5. Как исправность двигателя влияет на характеристики автомобиля?

Список использованной литературы

1. *Н. Н. Алекса, В. Н. Алексеенко, А. Б. Гредескул.* Теория эксплуатационных свойств автотранспортных средств в примерах и заданиях: Учебное пособие /К.: УМК ВО, 1990.- 100 с.
2. *Яременко О.В.* Твой друг - автомобиль. М.: ДОСААФ, 1988. - 367 с.
3. Автомобильная физика. Журнал «Мотор» / Сост. и общ. ред. *В. Дегтярев* - №№10...17, 1997.
<http://www.motorart.ru/>
4. От идеи до практики. Журнал «Автомобиль и сервис» / Сост. и общ. ред. *А. Э. Хрулев.* - /№7, 2002.
<http://www.ab-engine.ru/smi.html>

5. Возникновение неисправностей и отказов ДВС

5.1. Причины выхода двигателей из строя

Абсолютно безотказных двигателей не существует. Даже двигатели известных производителей рано или поздно выходят из строя. Тому есть несколько причин, которые, в общем могут быть сведены к трем основным группам /1/ (рис. 5.1) 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.

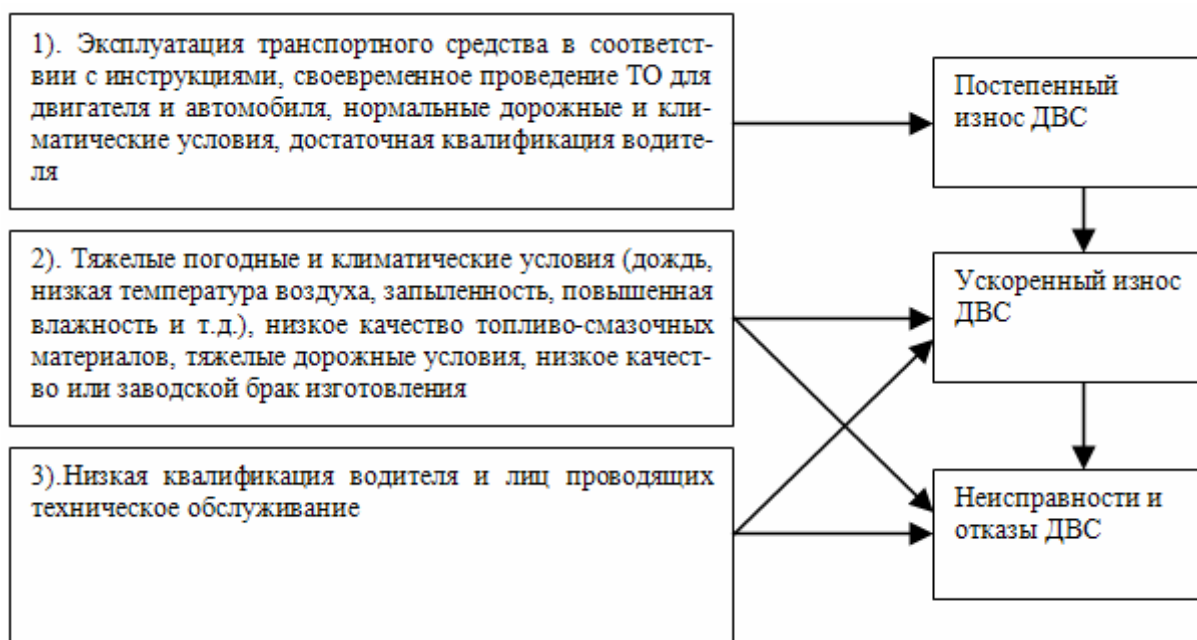


Рис. 5.1. Основные причины выхода двигателя из строя

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. 5.1) 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. **Коррозионный 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.

5.2. Нагруженность и теплонапряжённость 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, 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_{Π} - площадь поршня, дм².

Если провести сравнение этих параметров для двигателей ВАЗ-2112 и ЗМЗ-406, то получится картина, отображенная на рис. 5.2 и 5.3.

Из этих рисунков 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%. На основании этого можно было бы 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.

5.3. 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 [1]. 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 относительно друг 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 нагрузки 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).

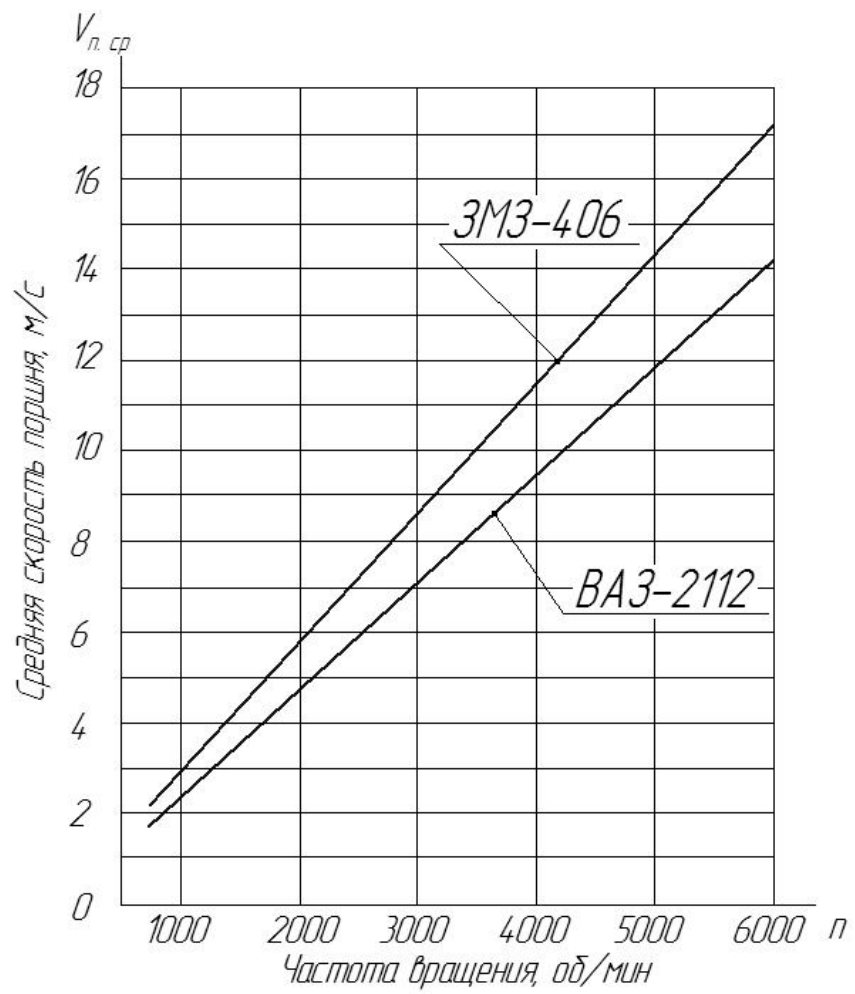


Рис. 5.2. Средняя скорость поршня двигателей VA3-2112 и 3M3-406 в зависимости от оборотов коленчатого вала двигателя

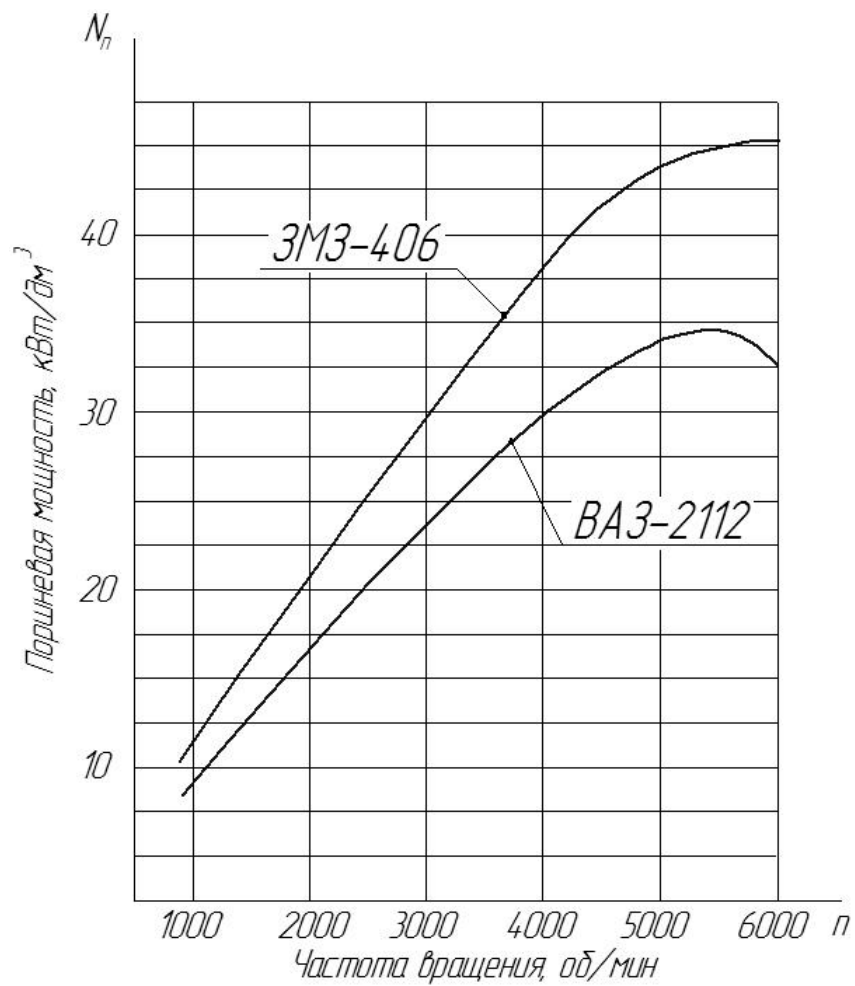


Рис. 5.3. Изменение поршневой мощности двигателей BA3-2112 и 3M3-406

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:

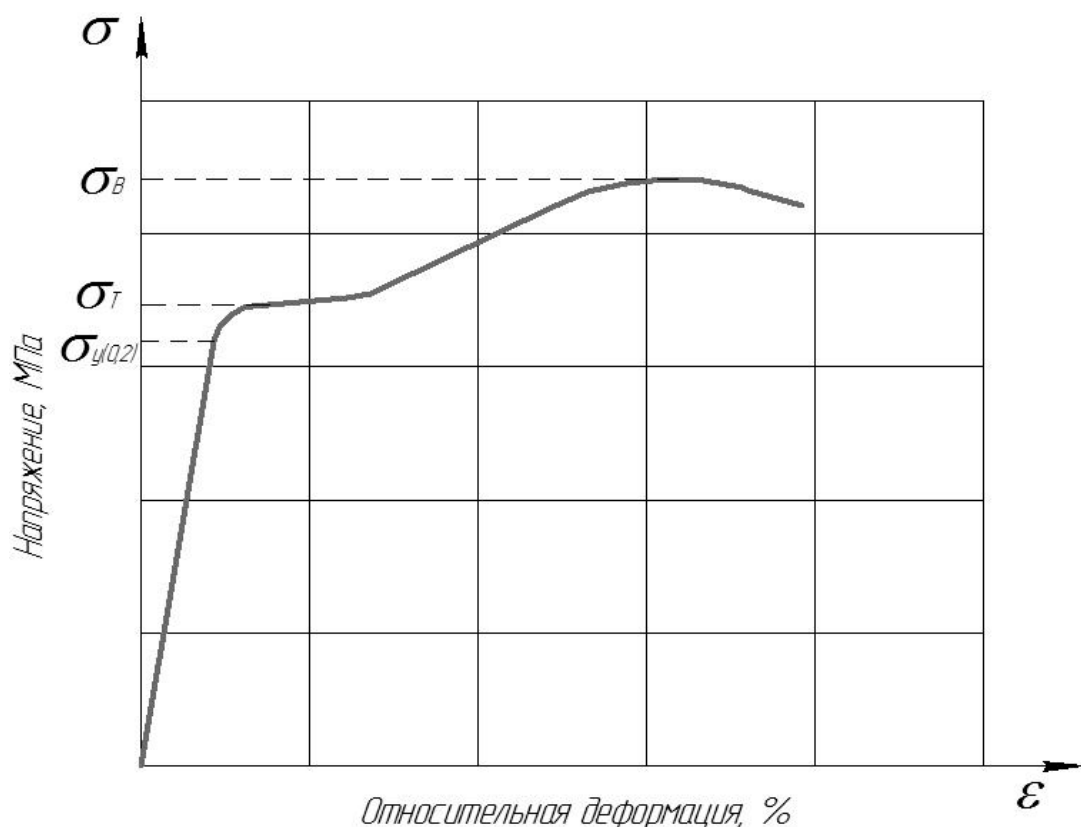


Рис. 5.4. Зависимость напряжения в образце от относительной деформации

Прочность материала при статическом нагружении характеризуется следующими величинами:

- пределом прочности при растяжении σ_B (максимальное значение);
- пределом текучести σ_T - напряжением, 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 σ_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 σ_{max} , возникающему в опасном сечении:

$$k = \frac{\sigma_B}{\sigma_{max}}$$

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 σ_{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, обозначается $\sigma_{y/t}$, например $\sigma_{0,1/1000}$. Предел длительной прочности σ_t аналогичен σ_B , но с учетом температуры детали и времени испытания t .

Таким образом σ_B и σ_t (см. рис. 5.5) 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.

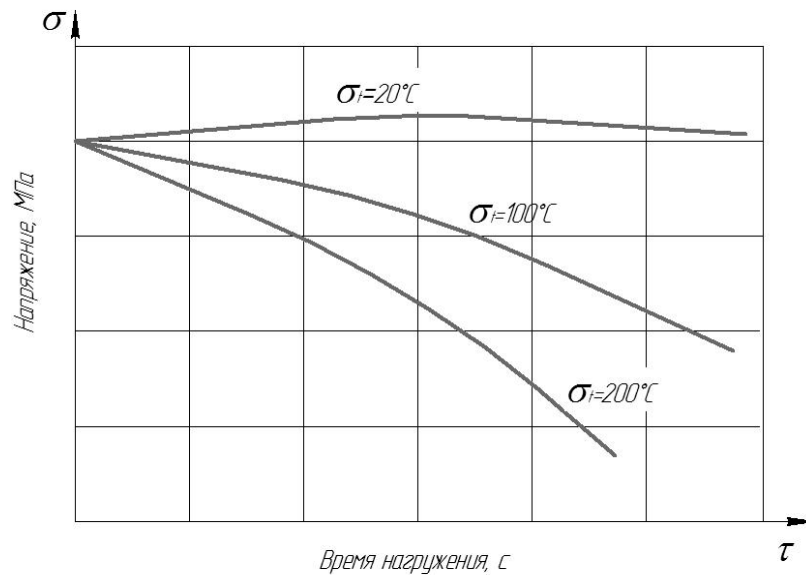


Рис. 5.5. Характеристика длительной прочности материала

Вращающиеся и поступательно движущиеся детали двигателей испытывают переменные циклические нагрузки с частотой, равной частоте вращения коленчатого вала или пропорциональной ей. В условиях циклических нагрузок характеристики прочности деталей существенно отличаются от статических при постоянной нагрузке. Для циклических нагрузок используется кривая усталостной прочности (рис. 5.6):

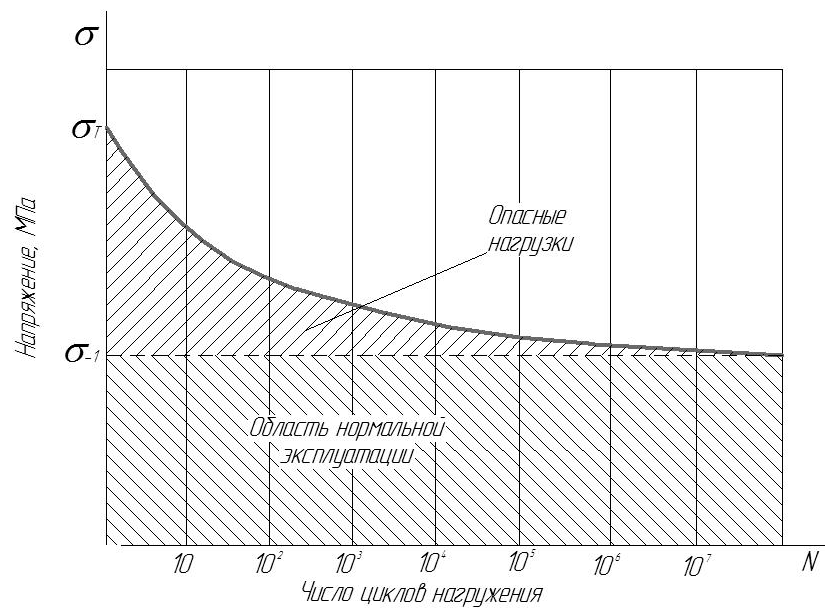


Рис. 5.6. Кривая усталостной прочности

σ_T - предел прочности (текучести);

σ_{-1} - предел усталостной прочности при числе циклов $N > 10^7$.

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 σ_{-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 σ_{\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 риска 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. 5.7.

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. 5.8).

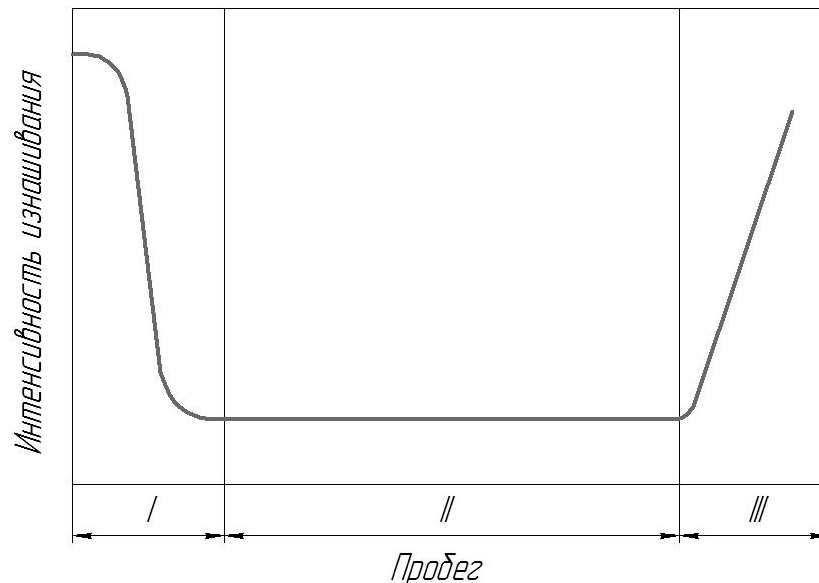


Рис. 5.7. Зависимость интенсивности изнашивания детали от времени работы (пробега)

I - период первоначальной приработки;

II - период нормальной эксплуатации;

III - ускоренное (катастрофическое) изнашивание

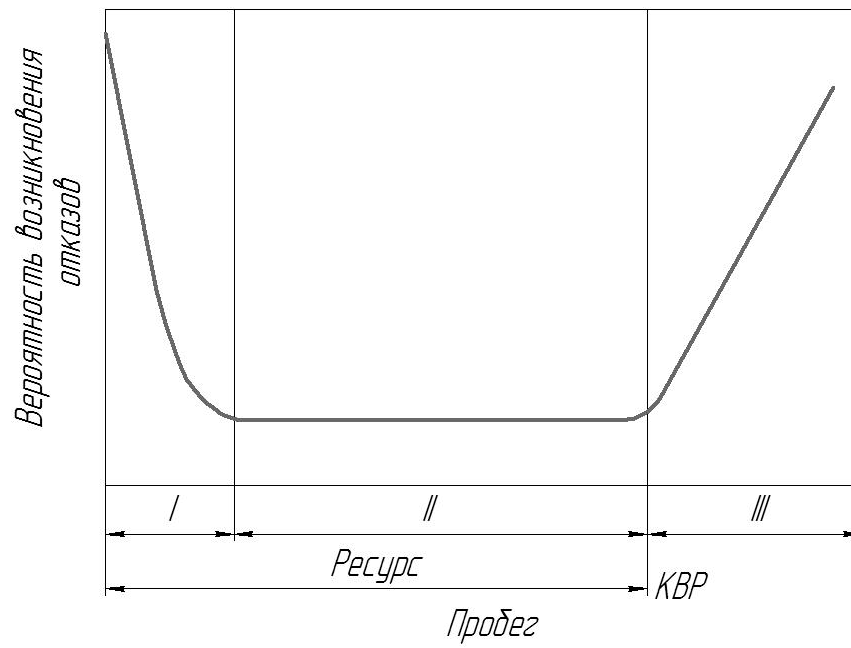


Рис. 5.8. Зависимость вероятности отказов детали от времени работы детали (пробега)
 I - период первоначальной приработки;
 II - период нормальной эксплуатации;
 III - период износа и старения

На обеих кривых период первоначальной приработки помимо прочего определяется:

- ошибками, допущенными при конструировании;
- ошибками сборки и технологии производства.

5.4. Основные причины поломок и отказов ДВС

5.4.1. Предпосылки к возникновению неисправностей и отказов в ДВС, обусловленных 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.

Такт впуска начинается с положения поршня в верхней мертвой точке (ВМТ). Затем начинается движение поршня вниз при открытом впускном клапане. При этом поршневые кольца (см. рис. 5.9) силой трения прижимаются к краям канавок на поршне:

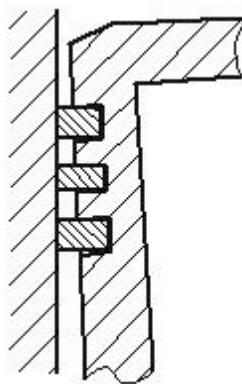


Рис. 5.9. Положение поршневых колец при такте впуска

При этом шатун и поршень будут испытывать растяжение. Эта нагрузка будет максимальной вблизи ВМТ и увеличивается с ростом оборотов коленчатого вала.

На такте впуска за счет движения поршня вниз создается значительное разрежение во впускном трубопроводе. При этом засасывание во впускной тракт посторонних предметов и жидкостей может привести к повреждению ДВС и нарушению его работоспособности. На практике наиболее часто встречающимся примером таких поломок является гидроудар, который возникает от попадания во впускной трубопровод жидкости. Чаще всего ею является обыкновенная вода, и происходит это при преодолении автомобилем водной преграды, когда воздухозаборник ДВС оказывается ниже уровня ее поверхности. В первую очередь от гидроудара страдают элементы кривошипно-шатунного механизма: поршень, шатун и т.д..

Из-за резкого увеличения оборотов коленчатого вала на такте впуска возможно 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 поршень движется вверх из нижней мертвой точки (НМТ), при этом происходит «перекладка» поршня (см. рис. 5.10).

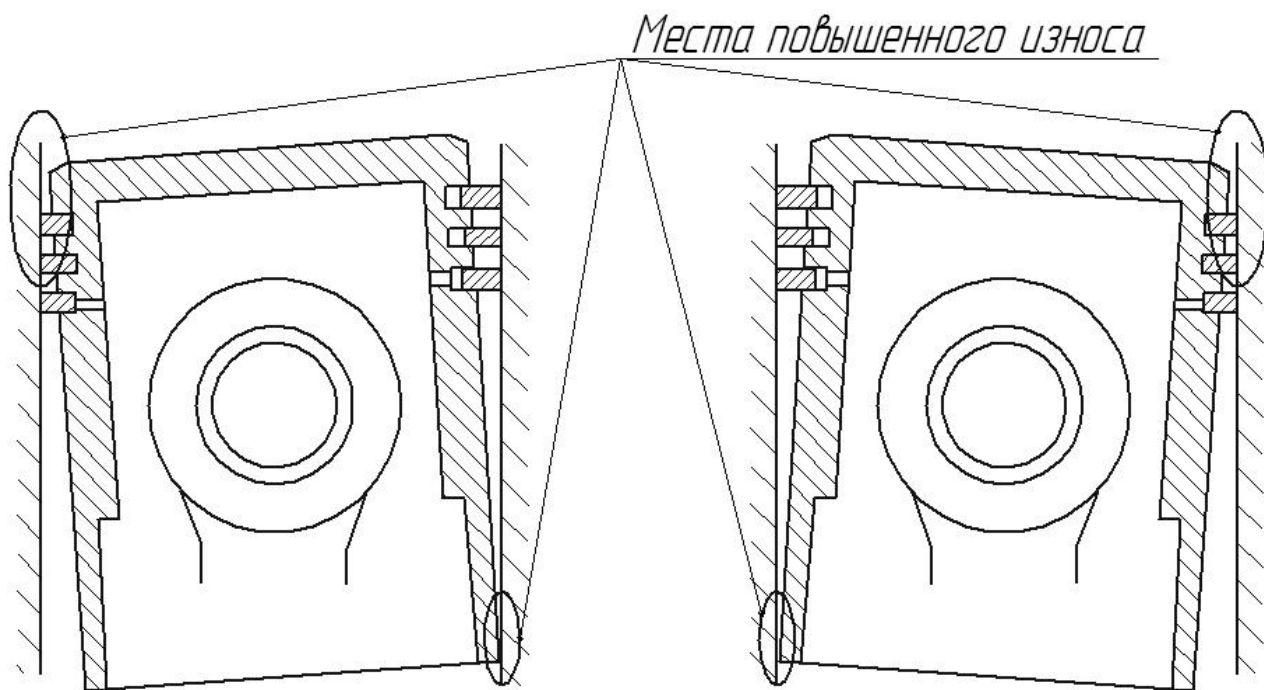


Рис. 5.10. «Перекидка» поршня

«Перекидка» поршня заключается в том, что, не доходя до НМТ, он 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 завывают.

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 $5...30^{\circ}$ 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.

Попадание посторонних предметов и жидкостей в цилиндр на такте сжатия приводит к деформации стержня шатуна и к потере устойчивости ЦПГ (см. рис. 5.11 и 5.12).



Рис. 5.11. Обрыв шатуна и его последствия для блока цилиндров



Рис. 5.12. Потеря устойчивости шатуном на такте сжатия

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 - 2500К и более. Сам процесс происходит вблизи ВМТ и длится 40...60° 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).

Выше говорилось, что часть тепла, выделившегося при работе ДВС, уходит с отработавшими газами, в стенки головки, гильзы цилиндра и поршень, что определяет его теплонапряженность. Величина этой части зависит от конструкции головки блока, камеры сгорания, организации процесса горения и режима работы ДВС.

В камере сгорания температура превышает 1800...2000°C, а детали из алюминиевых сплавов выдерживают только 300...350°C. Следовательно, конструкция поршня должна обеспечивать отвод тепла от днища, иначе возможно его прогорание. В соответствии с данными [1], тепло распределяется следующим образом (см. рис. 5.13):

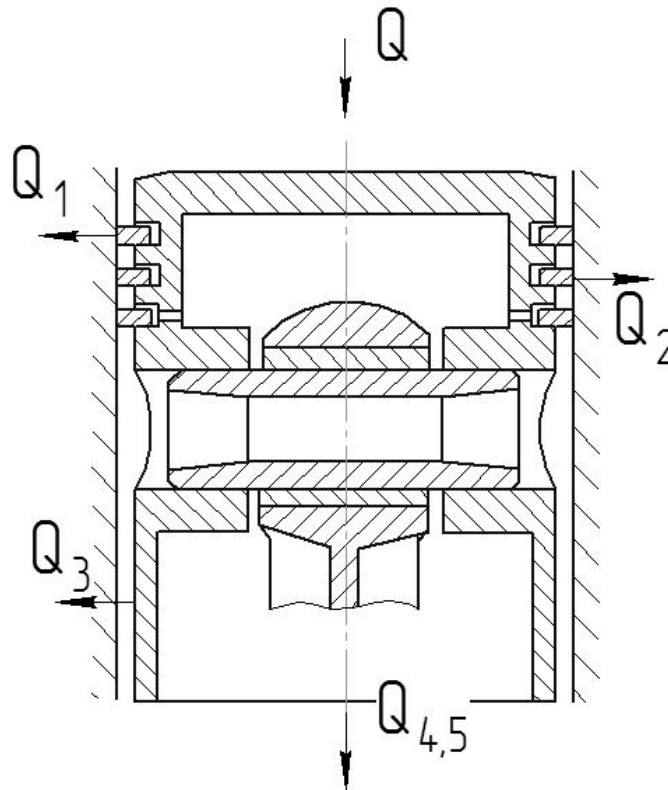


Рис. 5.13. Распределение тепла при горении ТВС

- 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 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 часто возникает при работе на низкооктановом топливе с увеличением нагрузки (при открытии дроссельной заслонки). Ее суть заключается в ненормально быстром сгорании части смеси со скоростью в сотни раз выше обычной. Образующиеся при этом ударные волны с большой скоростью распространяются по камере сгорания, приводя к скачкообразному росту давления и температуры. При этом происходит воспламенение смеси не в результате обычного распространения пламени со скоростью 20...40 м/с, а из-за её разогрева в ударной волне, движущейся со скоростью более 1000 м/с. На возникновение детонации влияет сорт применяемого топлива, форма камеры сгорания и степень сжатия. Детонация резко увеличивает максимальное давление, температуру и нагрузки на детали двигателя, что может привести к следующим повреждениям ДВС:

- а) поломке перемычек поршня между канавками колец, краев днища и поршневых колец из-за ударных нагрузок;
- б) износу сопряжения поршень-палец;
- в) повреждениям шатуна и шатунной шейки коленвала.

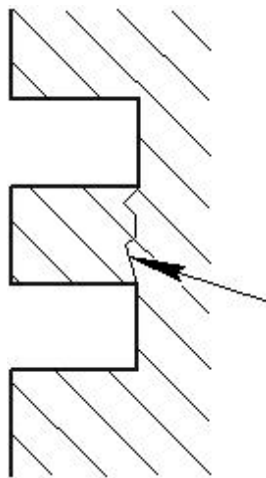


Рис. 5.14. Места разрушения перемычек поршня при детонации

Наряду с детонацией, на практике встречается и преждевременное воспламенение (калильное зажигание). При этом воспламенение ТВС происходит не от свечи, а от нагретых поверхностей камеры сгорания, температура которых может достигать 700°C . Такими источниками воспламенения могут быть электроды свечей зажигания и тарелка выпускного клапана. Появление калильного зажигания также может быть вызвано применением нестандартных свечей.

В любом случае смесь в цилиндре при калильном зажигании воспламеняется раньше, чем происходит искровой разряд. С ростом нагрузки и частоты вращения момент самовоспламенения наступает раньше, из-за чего тепловое и силовое воздействие на детали двигателя, особенно на поршень, значительно возрастают.

Такт рабочего хода начинается после прохождения поршнем ВМТ. Совершаемая при этом полезная работа зависит от давления в цилиндре при сгорании. В свою очередь это давление определяется состоянием колец, поршня и цилиндра. И наоборот, это давление с течением времени приводит к износу данных элементов. На такте рабочего хода также интенсивно изнашивается КШМ из-за больших нагрузок, величина которых зависит от величины подачи топлива. Резкое увеличение подачи топлива приводит к появлению ударных нагрузок, т.к. происходит удар шатуна по шейке коленчатого вала (см. рис. 5.15).

Далее следует такт выпуска. В момент открытия выпускного клапана вблизи НМТ давление в цилиндре еще велико (0,3...0,6 МПа), поэтому в выпускном трубопроводе за клапаном возникает ударная волна, распространяющаяся со звуковой скоростью. При этом тарелка выпускного клапана обтекается потоком с температурой 1100...1300 °С у бензиновых двигателей и 800...900 °С - у дизелей /1/. 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. 5.15. Разрушение коленчатого вала форсированного двигателя при резком открытии дроссельной заслонки

5.4.2. Предпосылки к возникновению неисправностей и отказов в ДВС, обусловленных 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 (рис. 5.16). 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°C вязкость масла резко увеличивается). В общем случае возникновение «масляного голодания» может быть обусловлено причинами, приведенными на рис. 5.16.

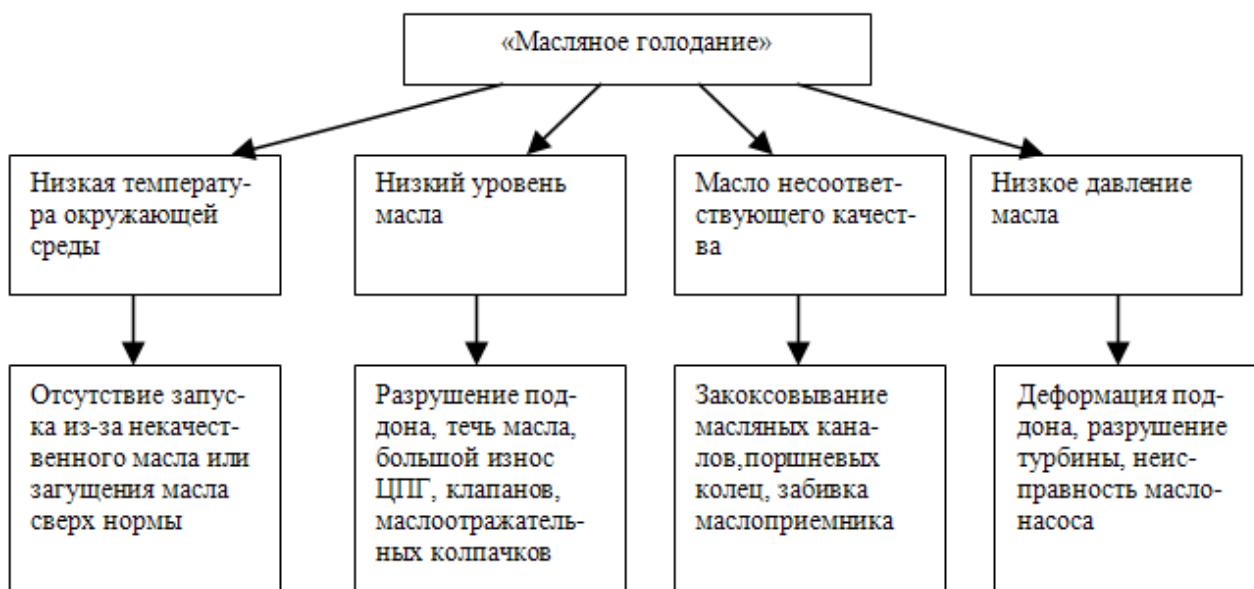


Рис. 5.16. Основные причины «масляного голодания» ДВС

Другим случаем экстремальной работы ДВС, часто встречающимся в эксплуатации,

является **перегрев двигателя**. Он обычно возникает из-за негерметичности прокладки головки блока цилиндров или неисправности системы охлаждения.

Негерметичность системы охлаждения может быть обнаружена не только по явным следам течи, но и по уменьшению эффективности работы системы отопления в холодное время года. Другие часто встречающиеся причины перегрева - отказ термостата, датчика, реле включения вентилятора, его электродвигателя. 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. 5.17.



Рис. 5.17. 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 строя 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 /1, 2/. 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.

5.4.3. Неисправности и отказы ДВС, обусловленные конструктивно-производственными недостатками или особенностями двигателя

В некоторых случаях неисправности и отказы двигателя могут возникать в результате недоработок конструкторов (не учет 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, выпуск первых двигателей ВАЗ-2101 в условиях отсутствия качественного масла породил проблему ускоренного износа распределительных валов. Двигатели «УЗАМ» иногда грешили некачественной сборкой, а у ранних двигателей ЗМЗ-406 имел место быстрый износ башмака гидронатяжителя и успокоителя цепи привода распредвалов /2/. Как правило, такие причины неисправностей не являются «хроническими», т.к. производители постоянно совершенствуют двигатели и проводят доработки проблемных узлов.

5.4.4. 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...50⁰С, 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. То же относится 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 несгоревшее 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. Как можно оценить механическую и тепловую напряженность двигателя?
2. Какие существуют виды работы двигателя в экстремальных условиях?
3. Какие виды износа двигателя вы знаете и чем они определяются?
4. Какие меры в эксплуатации ДВС может предпринять водитель для продления ресурса?

Список использованной литературы

1. *Хрулев А. Э.* Ремонт двигателей зарубежных автомобилей. М.: За рулем, 2000. - 440 с.
2. *А. Э. Хрулев.* Гидроудар в цилиндре. /Журнал «Автомобиль и сервис»№4. 2000. <http://www.ab-engine.ru/smi.html>
3. *С. Канунников, А. Чуйкин.* Своими силами. М.: За рулем, №3. 1998.
<http://www2.zr.ru/zrmagazine/zr0398/ss0398/162-164.htm>.

6. Основы поиска неисправностей ДВС

6.1. Диагностика неисправностей ДВС

В процессе эксплуатации ДВС закономерно возникновение их неисправностей и отказов. Для восстановления работоспособности двигателей необходимо не только устранять последствия появившихся дефектов, но и находить их первоначальные причины. При устранении только последствий и сохранении первопричины, 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. Кроме того, в обоих случаях возможны 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. Наиболее подробно вопросы диагностики ДВС рассмотрены в работах А.Э. Хрулева /1/, являющегося в настоящее время одним из крупнейших отечественных специалистов в области эксплуатации и ремонта ДВС.

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.). При этом, как правило, чаще всего неисправности механической части часто могут быть определены только по внешним признакам (например «на слух»), тогда как неисправности систем управления, как правило, выявляются с помощью специального диагностического оборудования. Как показывает практика, самым сложным вариантом поиска неисправностей является тот, когда двигатель не удается запустить. В таких случаях традиционные методы диагностики, как правило, неприемлемы, т.к. полноценной информации ни по внешним признакам, ни по измерениям параметров системы управления получить не удаётся.

6.2. Диагностика механической части ДВС

6.2.1. 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. 6.1. 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. Следует отметить, что при диагностике по внешним признакам, трудно, используя анализ изменения лишь одного какого-либо параметра, дать правильный ответ о причине неисправности. Это означает, что необходимо придерживаться определенного порядка проведения проверок, постепенно исключая все, не характерные для данного случая неисправности, и сужающего их круг до одной возможной причины. Сложность здесь заключается в том, что механическая часть ДВС включает в себя большое количество узлов и деталей (см. рис. 6.2). Следовательно, возможно возникновение и большого количества неисправностей, которые могут иметь сходный характер проявления (например, стук), но совершенно различные причины.



Рис. 6.1. Внешние признаки неисправностей ДВС

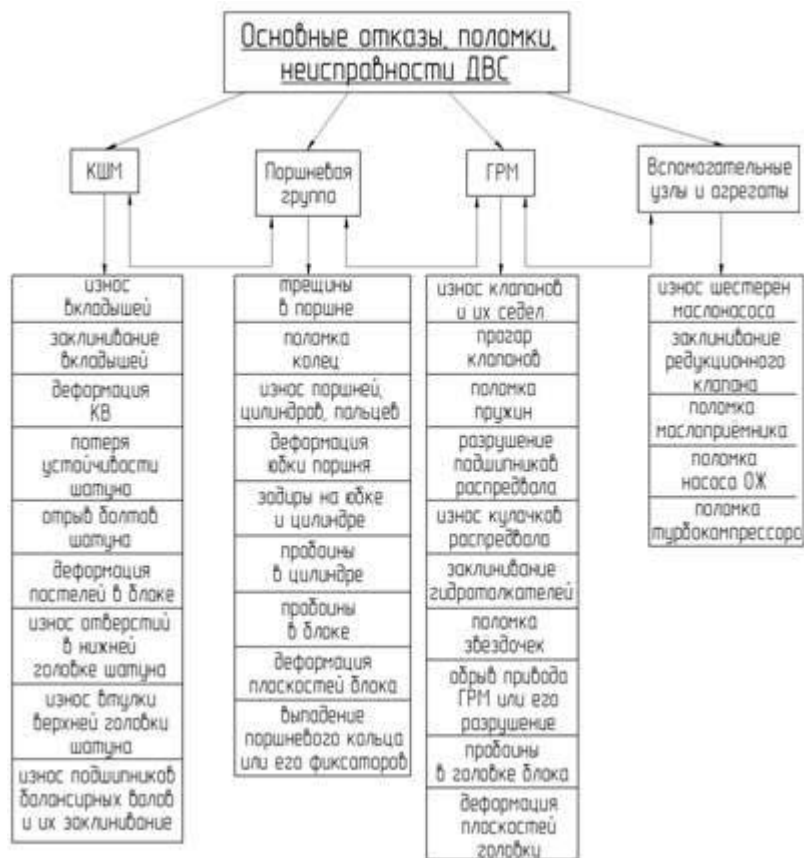


Рис. 6.2. Основные отказы, поломки и неисправности ДВС

Для решения этой проблемы в диагностике стараются разграничить возникающие стуки, разделив их на группы /1,3/: по частоте, характеру, изменению интенсивности (см. рис. 6.3), что позволяет сузить круг причин, характерных для данной неисправности.

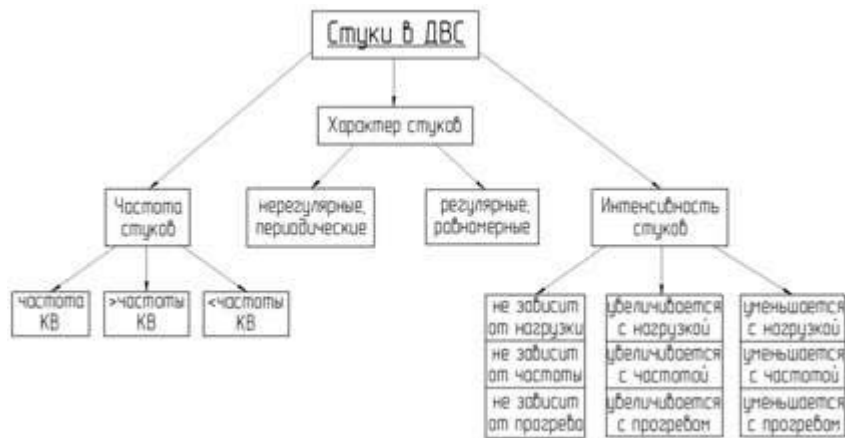


Рис. 6.3. Классификация стуков в ДВС

На основании этого составляют специальные таблицы, которые помещают в руководства по обслуживанию автомобилей и их двигателей. Эти таблицы (см. табл. 6.1) позволяют классифицировать стуки и шумы, возникающие в ДВС, на основании чего удается сузить круг вызывающих их причин.

Табл. 6.1. 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: 1) недостаточное давление масла. 2) ослаблены болты крепления маховика. 3) увеличенный зазор между шейками и вкладышами коренных подшипников.	1) замер давления масла в системе, осмотр каналов на предмет их забивки. 2) проверка затяжки болтов. 3) визуально при разборке	1) восстановить давление в системе смазки. 2) затянуть болты. 3) шлифовать шейки и заменить вкладыши.
Металлический стук в нижней части картера, прослушивающийся при резком открытии дроссельной заслонки на холостом ходу	Износ шатунных подшипников вследствие: 1) недостаточного давления масла в системе. 2) увеличенного зазора между шатунными шейками коленчатого вала и вкладышами	1) замер давления масла в системе. 2) визуально при разборке.	1) восстановить давление в системе смазки. 2) шлифовать шейки и заменить вкладыши
Незвонкий, приглушенный металлический стук в районе блока цилиндров прослушивающийся при малых оборотах и под нагрузкой	Биевание поршня в цилиндре из-за: 1) увеличенного зазора между поршнем и цилиндром. 2) увеличенного зазора между поршневыми кольцами и канавками поршня.	В обоих случаях: 1) компрессометром 2) замер размеров при разборке	1) заменить поршни, расточить и отхонинговать цилиндры. 2) замена колец или поршней с кольцами.
Равномерный стук в районе клапанного механизма с частотой вдвое ниже частоты вращения коленчатого вала	Стук впускных и выпускных клапанов, обусловленный: 1) увеличенными зазорами в клапанном механизме. 2) большим зазором между клапаном и направляющей втулкой. 3) износом кулачков распределительного вала. 4) износом втулок и опорных шеек.	Визуально при разборке двигателя и измерении размеров деталей	В зависимости от неисправности: 1) восстановить рекомендуемые зазоры или заменить гидроопоры (гидрокомпенсаторы). 2) замена изношенных деталей. 3) замена распределительного вала.
Шум, прослушивающийся при малой частоте вращения коленчатого вала или резком ее изменении	Износ привода распределительного вала: 1) ослабление цепи или вытягивание ремня. 2) поломка башмака натяжителя цепи или успокоителя 3) неисправность гидронатяжителя	1) контроль состояния цепи или ремня 2) осмотр деталей привода.	1) замена цепи, ремня или регулировка их натяжения. 2) замена башмака натяжителя или успокоителя. 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 6.4 и 6.5). Устройство первого аналогично тому, что используют врачи при прослушивании легких. Он состоит из гибкой мембраны и трубки с раздваивающимся концом для присоединения слуховых трубок. Один из вариантов устройства электронного стетоскопа показан на рис. 6.5. Его принцип действия 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 есть при нормальном зазоре. Существуют также беспроводные стетоскопы. Их основу составляет электронный блок, принимающий радиосигналы, которые подают пьезодатчики, совмещенные с радиопередатчиками. Преимущество таких приборов - возможность диагностики при движении автомобиля.



Рис. 6.4. Механический стетоскоп

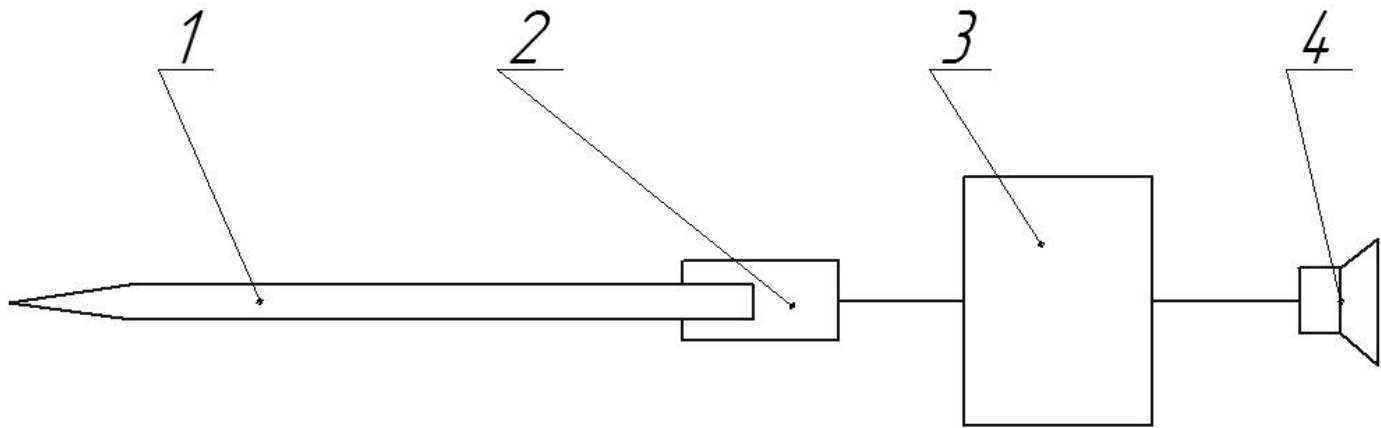


Рис. 6.5 .Устройство электронного стетоскопа:
1 - щуп; 2 - пьезоэлемент; 3 - усилитель; 4 - телефон

Несмотря на наличие стетоскопов, для точного нахождения причины стука достаточно часто приходится прибегать к разборке двигателя. При этом определение причин стуков в механической части ДВС может проводиться в несколько этапов. 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).

6.2.2. Диагностика неисправностей механической части ДВС измерением компрессии

До сих пор 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. 6.6), соединяющийся переходником со свечным отверстием у бензинового двигателя или отверстием свечи накаливания у дизеля.

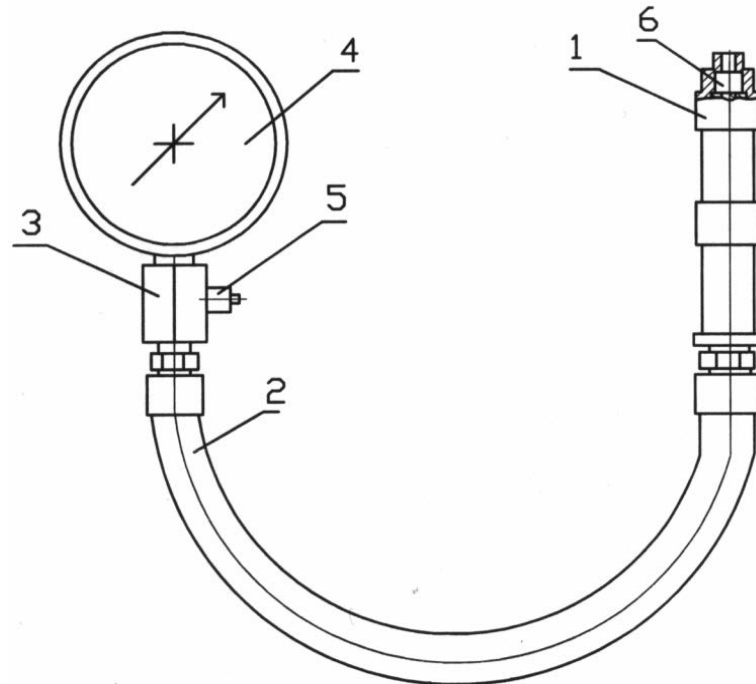


Рис. 6.6. Внешний вид компрессометра КМ-201:

1 - переходник; 2 - шланг; 3 - штуцер; 4 - манометр; 5 - клапан стравливания; 6 - впускной клапан

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. Его значение и зафиксирует манометр. 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 /1/ (см. табл. 6.2). 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. 6.2. Использование данных измерения компрессии

Неисправность	Признаки неисправности	Величина компрессии	
		Полностью открытая дроссельная заслонка (Нормальная компрессия 1,0-1,2 МПа)	Закрытая дроссельная заслонка (Нормальная компрессия 0,6-0,8 МПа)
Трещины в перемычке поршня	Синий дым выхлопа, большое давление в картере	0,6...0,8	0,3...0,4
Прогар поршня	То же + цилиндр не работает на холостом ходу	0...0,5	0...0,1
Прогар клапана	Цилиндр не работает на х.х. и малых нагрузках	0,1...0,4	0
Залипание колец в канавках	Цилиндр не работает на х.х. и малых нагрузках, синий выхлоп, большое давление в картере	0,2...0,4	0...0,2
Переобогащение ТВС	Затруднен пуск, чёрный выхлоп	0,5...0,8	0,3...0,4
Зависание клапана	Цилиндр не работает на х.х.	0,5...0,8	0,1...0,3
Нагар в КС	Увеличивается расход масла	1,3...1,6	1,0...1,4
Естественный износ поршневых колец при хороших маслоотражательных колпачках	Увеличивается расход масла, уменьшается мощность	0,6...0,9	0,4...0,6
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 дизелей приводится минимальное значение компрессии, и по её наименьшему значению считают, что присутствуют дефекты ЦПГ и ГРМ, конкретно выявляемые при разборке двигателя.

6.2.3. Диагностика неработающего ДВС по внешним признакам

Определение неисправности неработающего двигателя представляет собой более сложную задачу, чем диагностика работающего двигателя. 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/:

- 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. 6.7).

Если коленвал двигателя не вращается (рис. 6.8), то, как правило, причины этого для всех типов двигателей являются общими. При этом неисправность систем питания и зажигания не рассматривают, т.к. причины в основном кроются в механической части ДВС. Следовательно, если двигатель не запускается, либо запускается трудно, то у него либо неисправен стартер, либо в двигателе есть повреждения в ЦПГ или КШМ. Тугое вращение коленвала и его заклинивание устраняется только полной разборкой ДВС.





Рис. 6.7. Основные неисправности двигателей и способы их обнаружения, при условии, что проворачивание коленчатого вала возможно

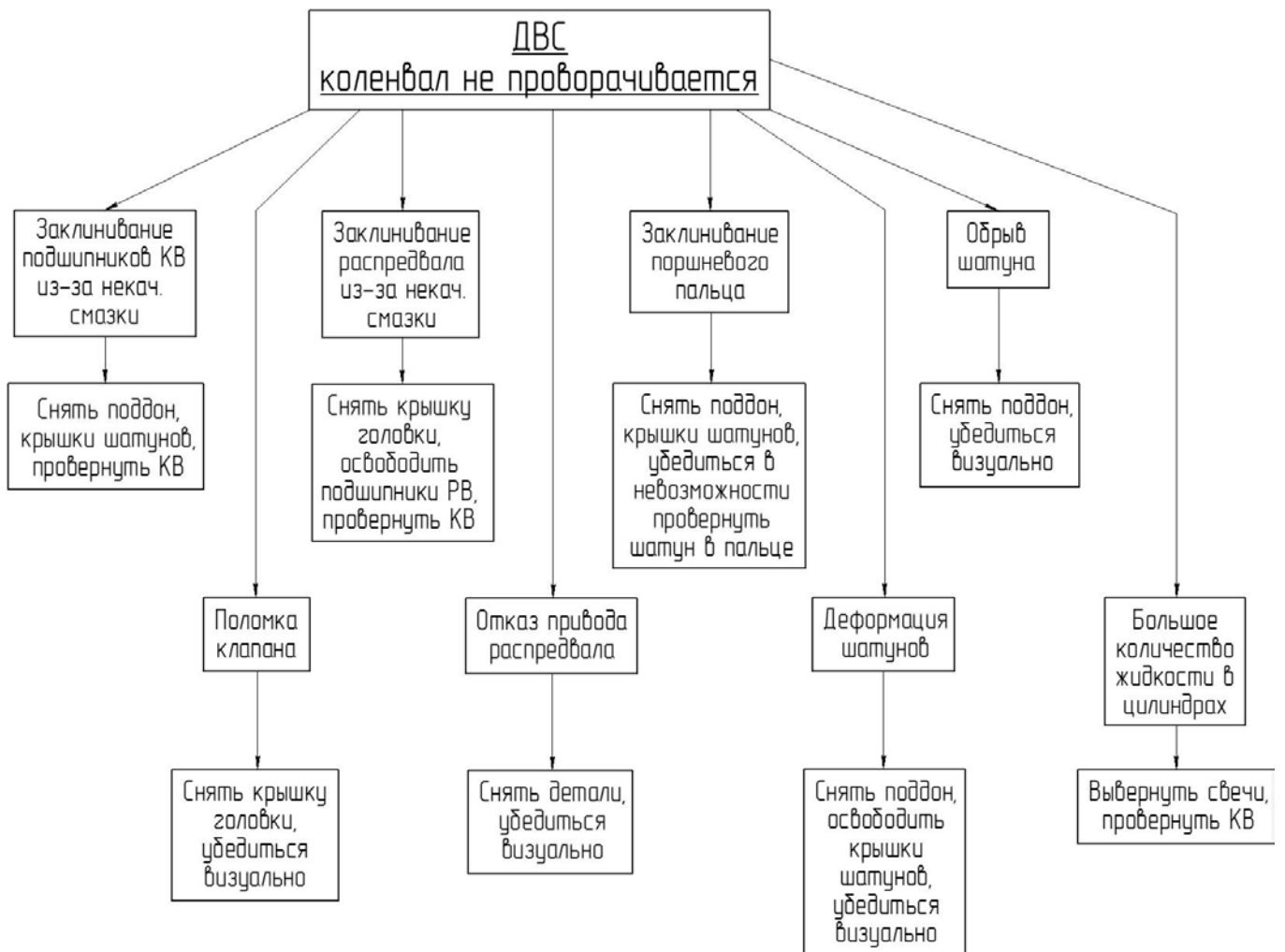



Рис. 6.8. Возможные неисправности в двигателе и способы их обнаружения при отсутствии возможности проворачивания его коленчатого вала

6.2.4. 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 нужно проводить после длительной работы двигателя, желательно с постоянной нагрузкой. Таким случаем, например, может служить поездка 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. 6.3.

Табл. 6.3. 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		<p>Центральный электрод покрыт бархатисто-черным нагаром.</p>	<p>Работа двигателя на переобогащенной топливовоздушной смеси из-за неправильной регулировки карбюратора или неисправности системы впрыска топлива.</p>
3		<p>Юбка центрального электрода имеет цвета от светло-серого до белого.</p>	<p>Работа двигателя на переобедненной топливовоздушной смеси из-за неправильной регулировки карбюратора или неисправности системы впрыска топлива.</p>
4		<p>Юбка центрального электрода имеет красноватый (кирпичный) оттенок.</p>	<p>Работа двигателя на топливе, содержащем избыточное количество присадок имеющих в своем составе металл.</p>
5		<p>Свеча имеет следы масла, как на юбке центрального электрода, так и на резьбовой части.</p>	<p>Повышенный расход масла вследствие неудовлетворительного состояния маслоотражательных колпачков.</p>

6		<p>Юбка центрального электрода покрыта слоем масла смешанного с каплями несгоревшего топлива и мелкими частицами.</p>	<p>Цилиндр не работает по причине повреждения одного из клапанов, поломки перегородок между поршневыми кольцами и т.д.</p>
7		<p>Разрушение центрального электрода.</p>	<p>Возможные причины: длительная работа двигателя с детонацией, применение топлива с низким октановым числом, раннее зажигание, бракованная свеча и т.д.</p>
8		<p>Отложения золы на центральном электроде.</p>	<p>Повышенный угар масла вследствие повреждения или задевания маслосъемных поршневых колец.</p>

6.2.5. 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 6.4.

Табл. 6.4. 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 негоревшего 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

6.2.6. Диагностика двигателя по составу выхлопных газов

Диагностика состояния двигателя может быть выполнена не только по цвету, но и по составу выхлопных газов. 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 CH (в ppm), окиси углерода CO (в %), двуокиси углерода CO_2 (в %) и кислорода O_2 (в %). Пятикомпонентный газоанализатор дополнительно позволяет измерять значение содержания окислов азота.

Табл. 6.5. Состав выхлопных газов и соответствующие ему неисправности двигателя

Компонент выхлопных газов	Возможная неисправность
CH	Поскольку несгоревшие углеводороды это продукт неполного сгорания топлива, то их повышенное содержание может возникнуть из-за переобогащенной топливоздушной 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 топливоздушной смеси.
CO_2	Низкий уровень значений свидетельствует о неполадках в системе питания (переобеднении или переобогащении смеси).
O_2	Высокие значения соответствуют переобеднению топливоздушной 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. 6.6).

Табл. 6.6. Примерные значения показаний газоанализатора для исправных двигателей

Параметр	Двигатель без нейтрализатора	Двигатель с нейтрализатором
CH_x (ppm)	не более 300	менее 50
CO , (%)	1-2	0,3-0,5
O_2 , (%)	0-2	0-2
CO_2 , (%)	от 12 и более	от 12 и более

Для понимания основ анализа состояния двигателя на рис. 6.9 приведена взаимосвязь между составом выхлопных газов и составом топливоздушной смеси.

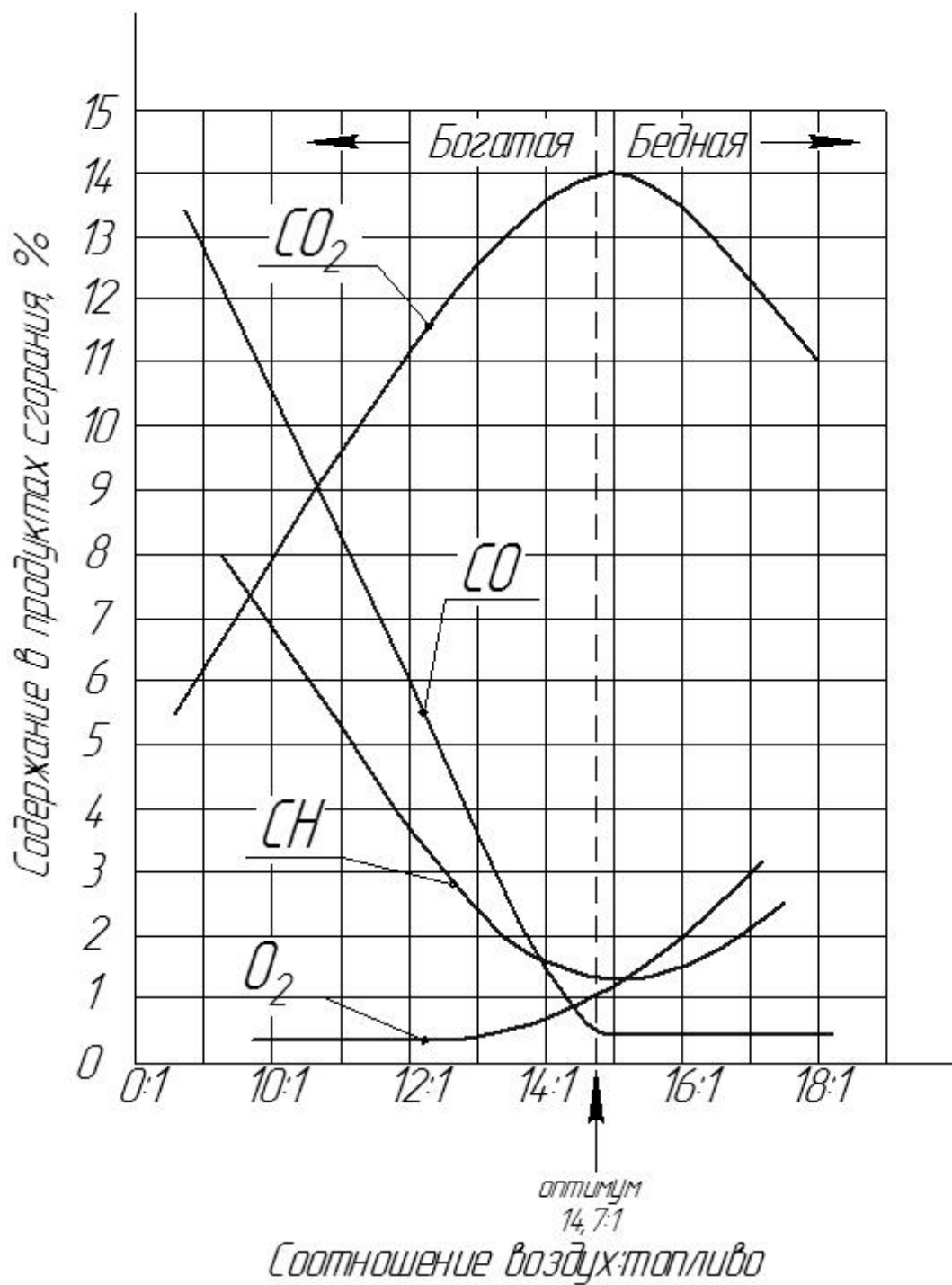


Рис. 6.9. Взаимосвязь между составами ТВС и выхлопных газов

6.2.7. 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 на ± 1 км/ч (с помощью использования бортового компьютера). 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 с указанными заводом-изготовителем двигателя на основании чего делают вывод об изношенности двигателя или состоянии его системы питания.

6.2.8. 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:

$$\frac{G_M}{L} = \frac{G_{\text{залитое}} - G_{\text{слитое}} + G_{\text{дополнит.}}}{L}; \frac{G_M}{L} \left[\frac{\text{л}}{\text{км}} \right], \left[\frac{\text{кг}}{\text{км}} \right]$$

Полученное значение сравнивают с нормальным для данного двигателя. Для современных двигателей ВАЗ это 0,4% от расхода топлива.

6.2.9. 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, 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.

6.3. Поиск неисправностей в системах управления двигателем

6.3.1. 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. 6.10. Базовый комплект поставки мотор - тестера «АВТОАС-ПРОФИ-2»

На рис. 6.10. представлена фотография внешнего вида 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 следующие графики: давления в цилиндре, пульсации давления во впускном коллекторе и на срезе выхлопной трубы, а также 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, работающим под управлением ОС Windows 95/98/NT/2000/XP. Предусмотрена совместная работа мотор-тестера «АВТОАС-ПРОФИ-2» с программным сканером «АВТОАС-СКАН» и 2-х или 4-х компонентными газоанализаторами под управлением единого программного обеспечения «АВТОАС».

Осциллограф обычно используется для регистрации и отображения изменения сигналов первичных и вторичных цепей систем зажигания.

Газоанализатор (см. рис. 6.11) - прибор, позволяющий измерить содержание различных газов в отработавших газах автомобиля и использующийся для диагностики и настройки систем питания двигателей.



Рис. 6.11. 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 ± 6 %. Время прогрева - до 30 минут, время установления показаний - не более 15 секунд, питание - 12/220 В (данные производителя).

6.3.2. 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 (работа системы впрыска топлива описана в разделе 3.5). 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.

6.3.3. 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. 6.7). 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. 6.7. Возможные неисправности бесконтактной системы зажигания

Неисправность и её причина	Метод устранения
Двигатель не запускается	
<p>1. На коммутатор не поступают импульсы напряжения от бесконтактного датчика: обрыв в проводах между датчиком-распределителем зажигания и коммутатором; неисправен бесконтактный датчик.</p> <p>2. Не поступают импульсы тока на первичную обмотку катушки зажигания: 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: неплотно посажены в гнездах, оторвались или окислены наконечники проводов высокого напряжения; провода сильно загрязнены или повреждена их изоляция; износ или повреждение контактного уголка, 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 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>1. Проверьте провода и их соединения; поврежденные провода замените; проверьте датчик с помощью переходного разъема и вольтметра; неисправный датчик замените.</p> <p>2. Проверьте провода и их соединения; поврежденные провода замените; проверьте коммутатор осциллографом; неисправный коммутатор <u>замените</u> проверьте, замените неисправную контактную часть выключателя зажигания.</p> <p>3. Проверьте и восстановите соединения, очистите или замените провода; проверьте и при необходимости замените контактный уголок; 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 порядке зажигания по цилиндрам (1-3-4-2).</p> <p>7. Проверьте и отрегулируйте момент зажигания.</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. Назовите наиболее вероятные причины стуков в ДВС?
2. Как отличается частота стуков при неисправности кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов?
3. Какое основное отличие поиска неисправностей в механической части ДВС и в системах управления им?
4. Какие неисправности могут быть причиной появления черного нагара на свечах?
5. При каких неисправностях на выходе из выхлопной системы может наблюдаться белый дым?
6. С помощью какого прибора проводится диагностика по составу выхлопных газов и на чем она основана?
7. Какой случай неисправности является самым сложным при диагностике?
8. Какие приборы применяются при поиске неисправностей в системах управления двигателем?

Список использованной литературы

1. *Хрулев А. Э.* Ремонт двигателей зарубежных автомобилей. М.: За рулем. 2000. - 440 с.
2. Загадки процесса сгорания. Журнал «Автомобиль и сервис» / Сост. и общ. ред. *А. Э. Хрулев.* - №4-5, 2000. <http://www.ab-engine.ru/smi.html>
3. Если двигатель стучит. Журнал «Автомобиль и сервис» / Сост. и общ. ред. *А. Э. Хрулев.* - №8-9, 2000. <http://www.ab-engine.ru/smi.html>

7. Ремонт ДВС

7.1. 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 устраняемое 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. О характеристиках двигателя см. раздел 2.

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 ГБЦ, коленвала и (или) блока цилиндров, а также замену или восстановление всех изношенных деталей, узлов и агрегатов.

В начале ремонта двигателя, как правило, сливают все рабочие жидкости, а затем проводят разборку соответствующего узла. При разборке двигателя перед ремонтом следует уделить особое внимание осмотру поврежденных деталей, что 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 не поврежденными. При демонтаже прокладки головки блока важно не повредить плоскость стыка. После снятия головки двигатель переворачивают и снимают поддон картера и маслоприемник или маслонасос. 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. 7.1. Затем составляют дефектную ведомость, в которой указывают состояние всех имеющихся деталей, и детали, подлежащие замене или ремонту.



Рис. 7.1. 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 /1, 2/. В этом случае, как правило, проводится замена всего узла новым изделием.

При ремонте двигателей, его детали, подверженные различным повреждениям в эксплуатации можно разделить на две группы /1/:

- 1 изнашиваемые детали (сопряжённые детали, непосредственно контактирующие по рабочим поверхностям);
- 2 не изнашиваемые детали (не контактирующие при работе с другими деталями).

В зависимости от принадлежности детали к той или иной группе ее ремонт будет иметь свои особенности. Детали первой группы обрабатываются в **ремонтные размеры** (увеличенные для отверстий и уменьшенные для валов) для сопряжения с ответными заменяемыми деталями, например обработка цилиндров под поршни увеличенного диаметра. В отличие от деталей первой группы, детали второй группы ремонтируются преимущественно с восстановлением в прежний размер. При нарушении этих подходов при ремонте потребуются нестандартные комплектующие, что увеличит объем работ по механической обработке, либо вообще ограничит возможность проведения ремонта.

Основные правила ремонта, сформулированные в /1/, 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 съём 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 сопряженные 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 сопряженные 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.

Из всего сказанного видно, что 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. 7.2). 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. 7.2. Установка гильз в блок цилиндров после их охлаждения в жидком азоте

Разъемные отверстия, как правило, пытаются восстановить в стандартный размер (см. п. б). 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 маслонасосов 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.

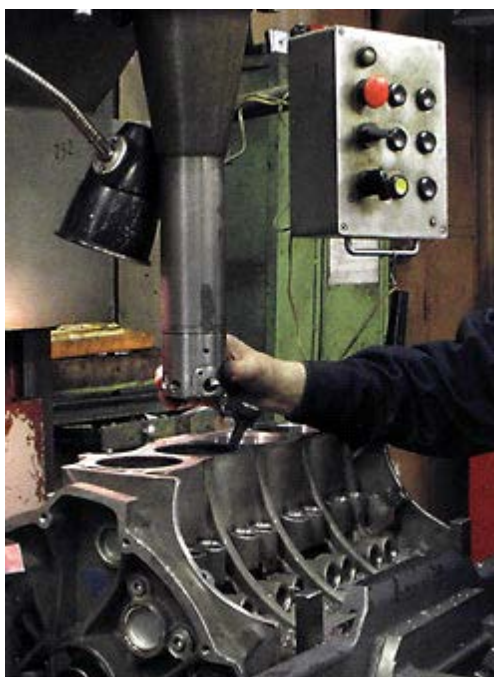


Рис. 7.3. Обработка цилиндров на вертикально-расточном станке (фирма «АБ - Инжиниринг», г. Москва)

Вертикально-расточные станки (рис. 7.3) используются для обработки сравнительно коротких отверстий: цилиндров, шатунов, крышек и корпусов маслонасосов, а горизонтально-расточные (см. рис. 7.4) - 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. 7.5), 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 .

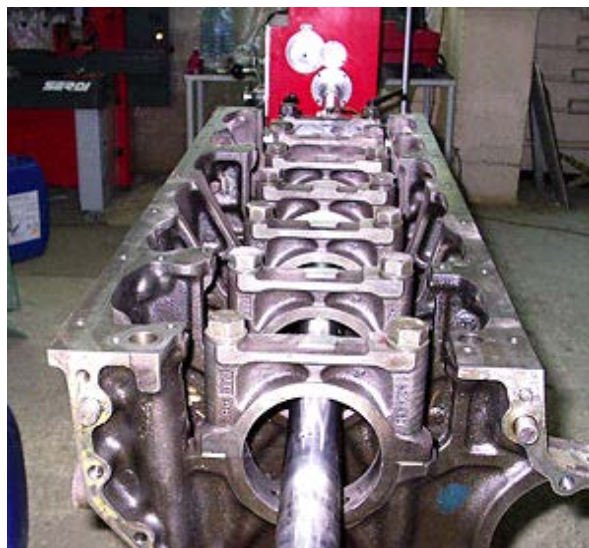


Рис. 7.4. Обработка постелей блока цилиндров на горизонтально-расточном станке (фирма «АБ - Инжиниринг», г. Москва)

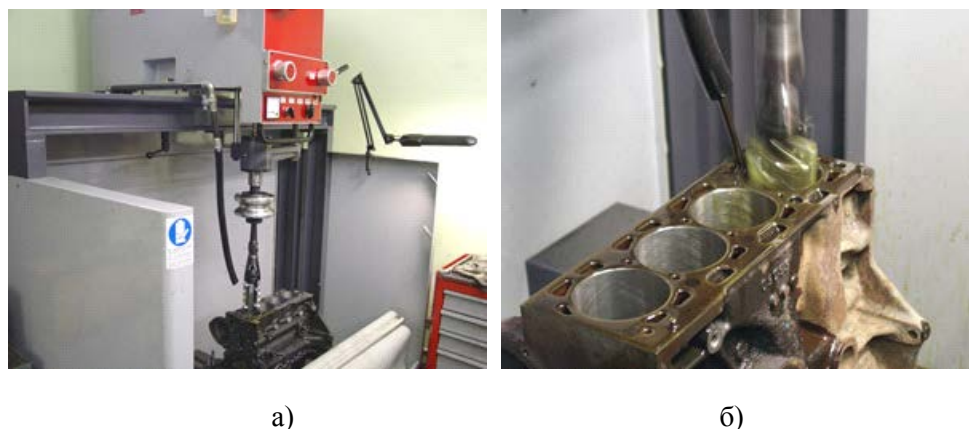


Рис. 7.5. Хонинговальный станок (а) и хонингование цилиндров (б)
(фирма «Мотор-Технология», г. Москва)

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 (шатунов) 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 /1, 4/. 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 усложняется, т.к. под одну из призм необходимо установить специальные шлифованные прокладки. В этом случае удобнее использовать другой способ - установку вала в неподвижных центрах.

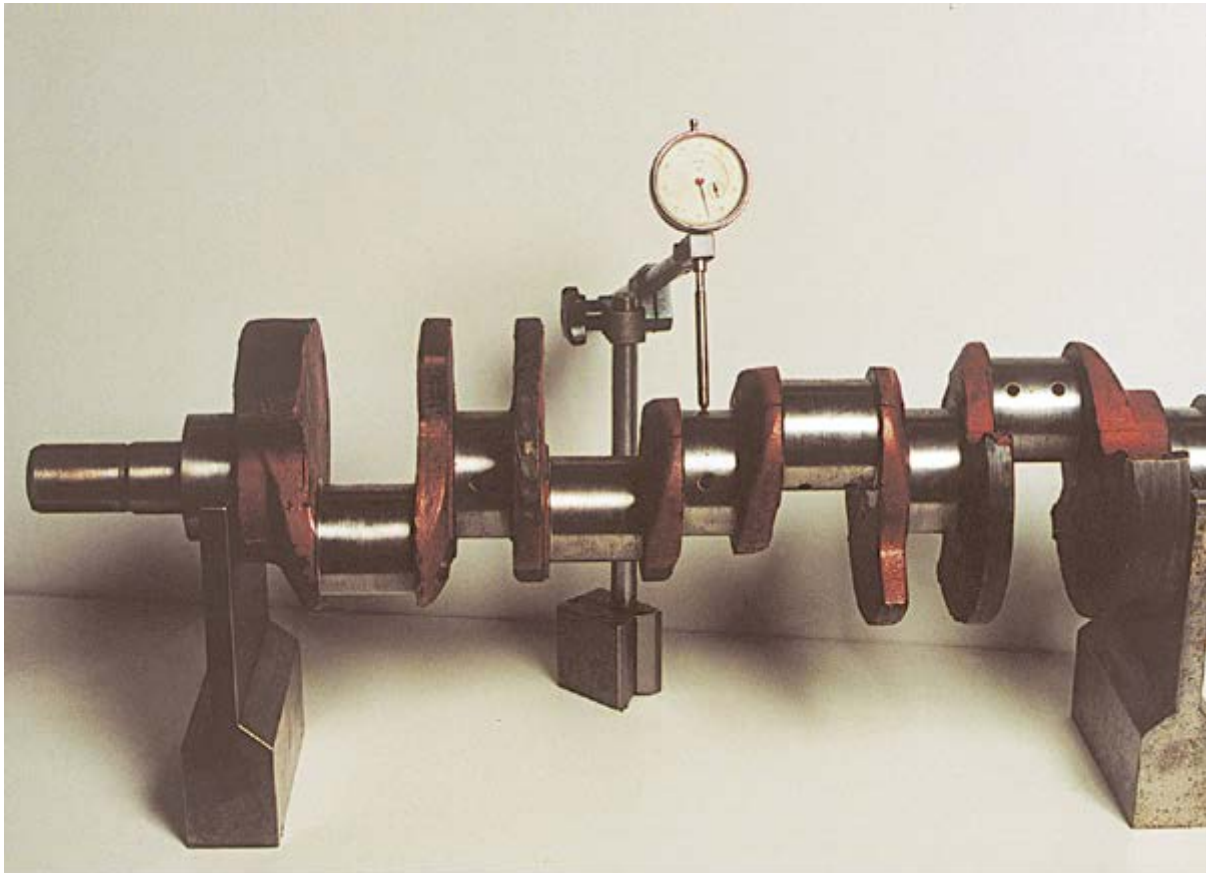


Рис. 7.6. Контроль биения коренных шеек коленчатого вала
(фирма «АБ - Инжиниринг», г. Москва)

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. Как правило, наварка, наплавка и напыление производятся на токарных станках, обеспечивающих постоянную скорость вращения вала с установкой на них специального сварочного оборудования.

Плазменное напыление - перенос металла в виде порошка от анода к детали. Электрическая дуга между катодом и анодом нагревает рабочее тело (аргон) до состояния плазмы с температурой в $15...20$ тысяч градусов, которая, выходя из сопла установки, захватывает частицы порошка металла и переносит его на деталь, где он сцепляется с поверхностью. Недостатки плазменного напыления заключаются в сильном нагреве валов (по

такой технологии невозможна обработка распределительных валов), отличии свойств напыляемого металла (никель, титан) от основного (чугун, сталь) и трудностях, связанных с их последующим шлифованием.

Газоплазменное напыление - нагрев порошка в струе пламени ацетиленово-кислородной горелки. Метод реализуется проще предыдущего, но при этом сохраняются все перечисленные выше недостатки.

Электродуговое напыление - расплавленные частицы металла образуются при прохождении сжатого газа через электрическую дугу, образующуюся между проволочными электродами. Здесь может использоваться стальная проволока, поэтому покрытие по своему составу приближается к составу детали.

Суть наплавки металла заключается в переносе металла проволоки на восстанавливаемую деталь при горении электрической дуги. При восстановлении валов обычно используется дуговая или вибродуговая наплавка. Дуговая наплавка проводится порошковой проволокой, содержащей легирующие добавки, для обеспечения высоких механических свойств покрытия (твердость, прочность) и защиту металла от окисления при сварке. Основные недостатки - сильный нагрев и деформация вала. Преимущество - самый простой способ наплавки. Вибродуговая наплавка позволяет устранить перегрев вала в ходе процесса. В этом случае сварочный механизм, подающий проволоку, создает ее колебания. Перенос металла с проволоки на деталь осуществляется за счет чередования электрической дуги и короткого замыкания. В зону наплавки подается охлаждающая жидкость, снижающая температуру и деформацию вала. Вследствие этого данный способ наиболее часто используется при ремонте валов поршневых двигателей.

Осуществлять подачу охлаждающей жидкости в зону сварки позволяет также наварка ленты на вал. При этом навариваемая лента прижимается к валу роликами, а в место контакта вала с лентой подается электрический разряд в несколько тысяч ампер. В результате происходит расплавление металла и его пластическая деформация. Подача охлаждающей жидкости позволяет также осуществить закалку металла ленты после ее нанесения на вал. Для наварки используется как стальная, так и порошковая ленты. Толщина навариваемой ленты составляет около 0,5 мм. Обычно наносят два-три слоя ленты. При большом количестве слоев возможно отслоение или появление трещин. От ранее приведенных способов, наварка отличается отсутствием деформации вала, возможностью повторной наварки и ремонта тонких валов, высокой твердостью наваренной поверхности.

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. 7.7 показана шлифовка шеек коленчатого вала.



Рис. 7.7. Шлифовка шеек коленчатого вала в фирме «Мотор - Технология» (г. Москва)

5. Балансировка

При ремонте коленчатого вала иногда возникает необходимость в проведении его балансировки. В некоторых случаях в сборе с сопряженными с ним деталями - маховиком и муфтой сцепления. Неуравновешенность вала может быть статической и динамической (рис. 7.8). Статическая неуравновешенность 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:

$$D = m \cdot e_{ст},$$

где m - масса вала, $e_{ст}$ - расстояние между осью инерции вала и осью вращения.

Кроме этого дисбаланс характеризуется направлением - углом φ 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.

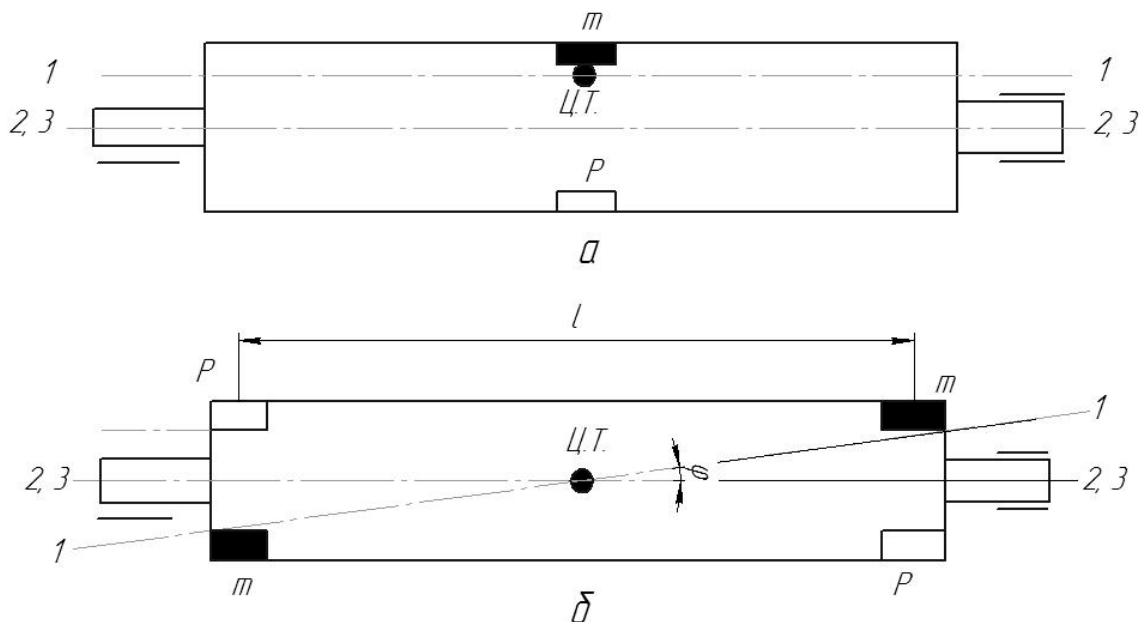


Рис. 7.8. Схемы статической (а) и динамической (б) балансировки валов:
 «1 - 1» - главная центральная ось инерции; «2 - 2» - ось вращения; «3 - 3» - ось изделия; Ц. Т. - центр тяжести; m - неуравновешенная масса; P - противовесы

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 ускоряется 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. Как правило, она 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. 7.9), шлифованием или притиркой с абразивной пастой на плите. При этом обычно допускается снимать не более 0,1...0,2 мм металла /1, 5/. Используется фрезеровка и при ремонте головок блока (см. рис. 7.10).



Рис. 7.9. Фрезерование плоскости блока цилиндров в фирме «Мотор - Технология» (г. Москва)



Рис. 7.10. 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 ($600...700^{\circ}\text{C}$), поэтому 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 /1,6/. Композиции, разработанные некоторыми зарубежными фирмами способны выдерживать температуры до 200...300 °С, 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. Последовательность операций при склейке следующая:

1. подготовка блока путем зачистки наружной поверхности вокруг отверстия на расстоянии 20...25 мм ручной дрелью с набором шарошек;
2. вырезка из стальной фольги толщиной 0,5...0,8 мм полосы перекрывающей пробоину на 20...25 мм и подгонка ее по профилю к поверхности блока;
3. сверление отверстий и нарезка в них резьбы (М6) для крепления накладки к блоку;
4. обезжиривание накладки и блока в местах контакта с накладкой ацетоном или растворителем с последующей сушкой. Нанесение композиции на накладку и блок и закрепление накладки винтами (М6);
5. удаление остатков выдавленной композиции и полимеризация композиции в месте повреждения.

Таким путем /6/ можно эффективно заделывать пробоины размером до 70 мм и трещины.

Для ремонта седел клапанов используются фрезерование (расточивание), шлифование и притирка. С помощью фрезерование форма фаски на седле клапана восстанавливается до конической.

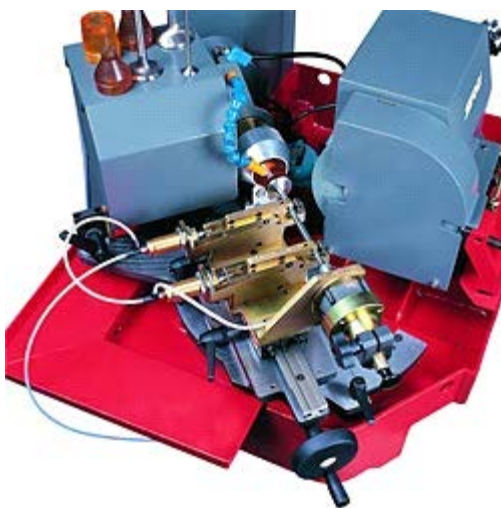


Рис. 7.11. Обработка фасок клапанов на станке фирмы Serdi в фирме «АБ - Инжиниринг», (г. Москва).

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.

7.2. 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. 7.1.

Табл. 7.1. Показатели мощности двигателей ВАЗ /7/ (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. 7.12). 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. Существуют следующие типы стендовых тормозов:

- **механический тормоз** - в нем мощность, развиваемая двигателем, расходуется на преодоление трения между барабаном, соединенным с коленвалом и тормозными колодками, или лентой. Для обеспечения постоянного коэффициента трения на поверхности трения подается определенное количество масла. Механический тормоз обладает рядом недостатков, одним из которых является его неустойчивая работа. Кроме того, при неизменной тормозной силе мощность, поглощаемая тормозом, изменяется пропорционально угловой скорости коленвала, поэтому точное определение мощности с помощью такого тормоза можно обеспечить только в определенном диапазоне частот скоростей вращения коленвала.

- **гидравлический тормоз** - принцип его действия основан на использовании сопротивления жидкости движению в ней твердого тела. Из-за простоты конструкции данный тип приобрел широкое применение. Поглощенная тормозом энергия идет на нагрев жидкости. В зависимости от конструкции выделяют: дисковые, штифтовые, лопастные и другие гидравлические тормоза.

- **индуктивный тормоз** (индукционный или электромагнитный) - мощность испытываемого двигателя в нем расходуется на образование вихревых токов, возникающих в магнитопроводе при периодическом его намагничивании и размагничивании. Так как вихревые токи нагревают тормоз пропорционально поглощенной мощности двигателя, возникает необходимость отвода тепла. Для решения этой задачи ротор делают магнитным, статор - электромагнитным. Стенд оснащают системой охлаждения. Он является простым, компактным и имеет высокую энергоёмкость.

- **электрический тормоз** - тормоза этого типа представляют собой электрические машины с балансирным управлением, вал которых соединяется с валом двигателя. Существуют электрические тормоза постоянного тока и переменного тока.



Рис. 7.12. Внешний вид стенда для испытаний автомобильных двигателей

с возможностью получения внешней скоростной характеристики (справа - тормозное устройство)

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.

Чаще всего после проведения ремонта двигателя используются обкаточные стенды (см. рис. 7.13), так как от грамотной и аккуратной обкатки двигателей после капитального ремонта 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). Приведенный на фотографии стенд позволяет контролировать давление в системе смазки ($0 \dots 10 \text{ кгс/см}^2$), температуру охлаждающей жидкости ($20 \dots 110 \text{ }^\circ\text{C}$), частоту вращения коленчатого вала ($1000 \dots 3250 \text{ об/мин}$), нагрузочный момент и развиваемую мощность. Достоинства таких стендов заключаются в их универсальности, малой энергоемкости, автоматизированном процессе обкатки, установки без специального фундамента на виброизолирующие опоры и простоте обслуживания. Способ нагружения 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 недоступности обкатки на стенде и «беговых» барабанах проводят «холодную» обкатку методом буксировки. При этом автомобиль с помощью троса длительно буксируют другой машиной, не включая двигатель, но при включенных передачах. При этом выключена подача топлива, чтобы не происходило смывание бензином масляной пленки с зеркала цилиндра, разжижение им моторного масла и т.д.

Для обкатки 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. Подобные присадки 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".

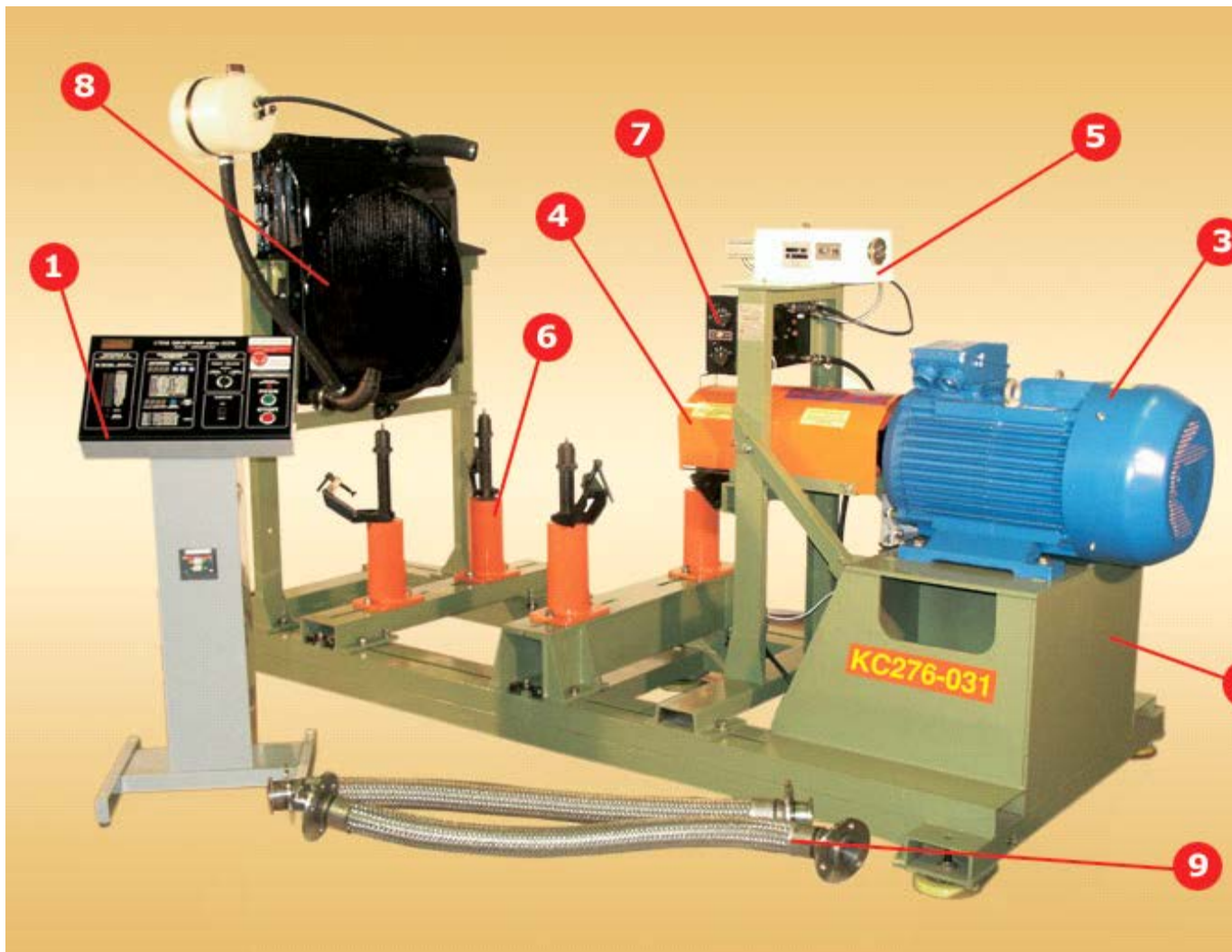


Рис. 7.13. Стенд КС-276 производства фирмы «Копис» (г. Санкт - Петербург) для обкатки двигателя:
1 - пульт управления; 2 - рама нагрузочно - приводной станции; 3 - приводной электродвигатель; 4 - защитный кожух привода; 5 - механизм управления подачей топлива; 6 - винтовая опора; 7 - электропневматический блок; 8 - автономная система охлаждения; 9 - жаропрочные рукава для удаления выхлопных газов

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.

Контрольные вопросы

1. Какую цель преследует ремонт двигателя?
2. Какие виды ремонта вы знаете?
3. В какой последовательности выполняется ремонт двигателя?
4. Почему перед дефектацией разобранного двигателя проводится мойка его деталей?
5. Какая механическая обработка может использоваться при ремонте блоков двигателей?
6. Как проводится ремонт коленчатых валов?
7. Какие проблемы встречаются при наварке трущихся поверхностей валов?
8. Какие виды балансировки валов вы знаете?
9. Для каких целей используются обкаточные стенды?

Список использованной литературы

1. Хрулев А. Э.. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей. М.: За рулем, 2000. - 440 с.
2. Сколько стоит капремонт? Журнал «Автомобиль и сервис» /Сост. и общ. ред. А. Э. Хрулев. - №6, 1999. <http://www.ab-engine.ru/smi.html>
3. Ремонт головок цилиндров: цена несоосности. Журнал «Автомобиль и сервис» /Сост. и общ. ред. А. Э. Хрулев, И. Петрищев. - №12, 2005; №1, 2006. <http://www.ab-engine.ru/smi.html>
4. Коленчатый вал: как будем ремонтировать? Журнал «Автомобиль и сервис» . /Сост. и общ. ред. А. Э. Хрулев. - №6, 2001; №10, 2001. <http://www.ab-engine.ru/smi.html>
5. Ремонтируем блок цилиндров. Журнал «Автомобиль и сервис» / Сост. и общ. ред. А. Э. Хрулев, А. Поднебеснов. - №7...12 1999. <http://www.ab-engine.ru/smi.html>
6. Ремонтируем блок цилиндров - клей вместо сварки. Журнал «Автомобиль и сервис» / Сост. и общ. ред. А. Э. Хрулев. - №1, 2000 <http://www.ab-engine.ru/smi.html>
7. Не гони лошадей! Журнал «За рулем» / Сост. и общ. ред. А. Чуйкин. - №5, 2001.

8. Особенности конструкции и эксплуатации авиационных поршневых двигателей

8.1. Особенности авиационных поршневых ДВС и требования к ним

Авиационные поршневые двигатели широко применялись в авиации с начала двадцатого века примерно по 1950 г, когда на смену им пришли воздушно-реактивные двигатели. В результате применение этих двигателей, ранее полностью покрывавших потребности авиации во всем мире, значительно сократилось. В нашей стране, как и во многих других, разработка мощных двигателей этого класса была прекращена, а в эксплуатации находились лишь ранее разработанные двигатели АШ-62ИР (самолет АН-2), АШ-82 (самолеты Ту-2, Ли-2, Ил-14, вертолеты Ми-4, Як-24), М-14П (самолеты Як-18Т, Як-50, Як-52, Як-55, СУ-26) и некоторые другие. В последние годы ситуация начинает меняться, что связано с бурным развитием легкомоторной и частной авиации, для которой потребовалась разработка новых поршневых двигателей, способных обеспечить эксплуатацию авиационной техники на новом уровне. Для решения этой проблемы ряд отечественных предприятий возобновил производство поршневых авиационных двигателей, а также вновь занялся их проектированием. Очевидно, что и процесс эксплуатации авиационных поршневых ДВС вновь приобретает актуальность.

При всей схожести основных принципов работы авиационные ДВС имеют и ряд существенных отличий от автомобильных двигателей. Основа этих отличий заключается в том, что в авиационных двигателях сочетаются большая мощность и относительно низкая масса и малые габариты. Наглядно представить себе это можно, используя такой показатель, как удельная масса двигателя, представляющий собой отношение массы «сухого» (без рабочих жидкостей) двигателя к его номинальной мощности (кг/л.с.). Для авиационного двигателя АШ-62ИР он составляет 0,7 кг/л.с., в то время как для двигателя автомобиля «Волга» ЗМЗ-402 - 1,81 кг/л.с. У судовых ДВС эта величина имеет порядок 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.. Имелись опытные экземпляры двигателей мощностью до 4000 л.с. и выше. Таким образом, видно, что авиационные двигатели всегда занимали лидирующее положение, выражавшееся как в высоких показателях, так и в более совершенной конструкции.

По мощности авиационные поршневые двигатели подразделялись на три класса: двигатели высокой, средней и малой мощности. К первому классу относились ДВС с мощностью свыше 1250 л. с.. Примерами двигателей этого класса являются советские авиационные двигатели АШ-82 конструкции А. Д. Швецова, ВК-105 конструкции В. Я. Климова, АМ-38 конструкции А. А. Микулина, английские Роллс-Ройс «Мерлин», Непир «Сейбр» и американские - Пратт-Уитни «Дабл-Уосп» и Аллисон V-1710. Все эти двигатели устанавливались на известных боевых самолетах второй мировой войны. Двигатели этой группы применялись преимущественно в военной авиации, а также на тяжелых транспортных самолетах, гидросамолетах и крупных самолетах гражданской авиации.

В класс двигателей средней мощности входили авиационные ДВС мощностью от 600 до 1250 л.с. Двигатели этого класса применялись на транспортных самолетах, самолетах гражданской авиации и на некоторых военных самолетах (разведчиках, тренировочных и т.п.).

К классу маломощных относили двигатели с мощностью от 20 до 600 л.с. Такие двигатели применяются, главным образом, на спортивных, туристических, учебных самолетах, а также на самолетах, предназначенных для использования в народном хозяйстве (санитарные, сельскохозяйственные и т.п.).

В зависимости от потребляемого топлива авиационные поршневые ДВС, как и автомобильные, подразделяются на две группы: двигатели легкого топлива (бензиновые) и

двигатели тяжелого топлива (дизельные). В зависимости от способа охлаждения их можно разделить на двигатели жидкостного охлаждения и воздушного охлаждения.

В отличие от автомобильных, авиационные двигатели воздушного охлаждения выполняются обычно звездообразными, т.е. их цилиндры располагаются в виде звезды (рис. 8.1). При этом все цилиндры хорошо обдуваются встречным потоком воздуха, что способствует их качественному охлаждению. У звездообразных двигателей большой мощности цилиндры могут быть расположены в виде двух звезд, причем вторая звезда устанавливается таким образом, что ее цилиндры размещаются между цилиндрами передней звезды и также хорошо обдуваются набегающим потоком воздуха.

У двигателей жидкостного охлаждения потребность в обдуве цилиндров воздухом отсутствует, поэтому в большинстве случаев у них используется рядное или V-образное расположение цилиндров.

Требования, предъявляемые к авиационным двигателям, по одним позициям совпадают с требованиями к автомобильным двигателям, по другим существенно отличаются. Ввиду высокоответственного назначения авиационного двигателя **первым** и главным требованием к нему является **максимально возможная мощность при минимальной массе**. Это специфически авиационное требование определяет все особенности конструкции авиационных двигателей, их достоинства и недостатки.

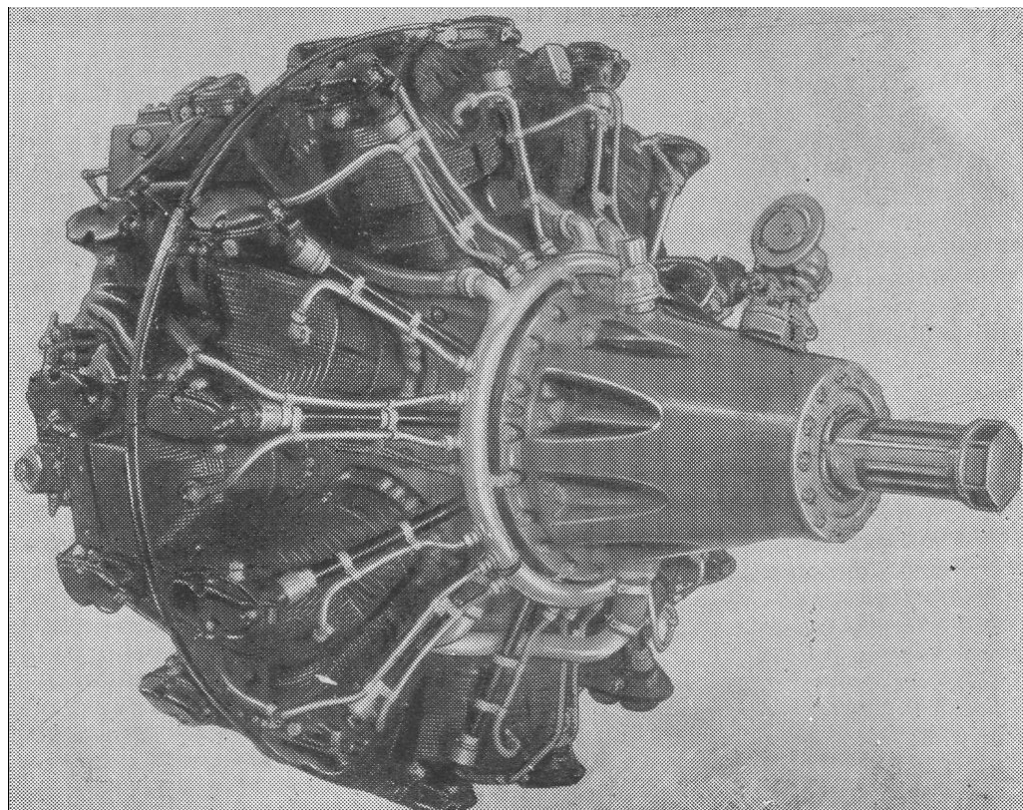


Рис. 8.1. Внешний вид звездообразного авиационного двигателя воздушного охлаждения АШ-82

Вторым важнейшим требованием, предъявляемым к авиационному двигателю, является **обеспечение надежности** в пределах установленного ресурса двигателя. Выполнение этого требования обеспечивается точностью расчетов двигателя на прочность, качеством его изготовления и проведением целого комплекса специальных испытаний для проверки всех

параметров, характеризующих его работу. Кроме того, каждый изготовленный заводом экземпляр двигателя проходил контрольное испытание, затем разборку и осмотр деталей с целью проверки их состояния. После осмотра следовала сборка, повторные испытания и лишь после этого - установка на самолет. Из каждой партии один из двигателей проходил ресурсные испытания в течение нескольких сотен часов. К тому же, через определенные промежутки времени один, произвольно выбранный, из двигателей данного типа проходил испытания на стенде до появления любого отказа, с целью определения минимального срока, в течение которого он может произойти из-за износа двигателя.

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 для гражданских самолетов составлял 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. Разница в ресурсе истребителей и штурмовиков с одной стороны и бомбардировщиков и самолетов гражданской авиации с другой также объясняется тем, что на первые обычно устанавливались новые, порой недовведенные, типы двигателей с целью получения максимальной мощности и соответствующих боевых качеств, практически в ущерб ресурсу. В гражданской и бомбардировочной авиации, где необходимо обеспечивать значительную длительность полета за счет возможно меньшего расхода топлива, использовались доведенные, хорошо отработанные двигатели. Еще одна причина отличий в ресурсах этих двух групп двигателей заключается в том, что условия эксплуатации двигателей в истребительной и штурмовой авиации из-за частой смены режима гораздо тяжелее, что сокращает их срок службы.

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.

Для сравнения рассмотрим ресурс автомобильных двигателей. Так, при проектировании двигателей семейства ВАЗ-2101 конструкторами был заложен ресурс в 125 тысяч км пробега автомобиля, а у двигателей семейства ВАЗ-2110 он был доведен до 150 тысяч км. Вместе с тем, понятие ресурса двигателя достаточно расплывчатое и наши нормативы не содержат четких критериев того, когда наступает предел технического состояния /1/. В справочной литературе, применительно к автомобильным ДВС, под ресурсом указывают пробег до капитального ремонта, то есть до момента, когда необходимо провести ремонтные работы, связанные с демонтажом коленчатого вала. Ремонтные работы без снятия КВ к капитальному ремонту не относятся и, следовательно не соответствуют наступлению предельного состояния, которым ограничивается ресурс. На практике же за критерий наступления предельного состояния двигателя чаще принимают значительное снижение мощности, появление нефункционального стука, большой расход масла или топлива. У авиационных двигателей подход к ресурсу иной. Здесь под ним понимают время, которое двигатель способен отработать без отказа по любой причине.

В любом случае, в сравнении с ресурсом других транспортных двигателей, ресурс

авиационного двигателя очень невелик. Это объясняется большой напряженностью работы его основных деталей. Такая напряженность является следствием большой мощности двигателя при малой его массе, что обусловлено особенностями его использования (установка на летательных аппаратах).

Наряду с малой удельной массой авиационные двигатели должны обладать и возможно меньшими габаритами. Это объясняется тем, что у самолетов аэродинамическое сопротивление определяется миделевым сечением, в величину которого значительную долю вносят габариты (ширина, высота или диаметр) двигателя. Таким образом, с уменьшением габаритов двигателя самолет может развивать большую скорость при той же мощности двигателя. Длина двигателя определяет конфигурацию фюзеляжа или мотогондолы и, следовательно, также влияет на аэродинамическое сопротивление самолета.

Габаритный диаметр авиационных звездообразных двигателей средней и большой мощности изменялся в пределах 900...1200 мм, длина в среднем - в пределах 1100...1500 мм. Лобовая площадь таких двигателей составляла от 60 до 150 дм². Длина рядных двигателей той же мощности равнялась 1700...2100 мм, наибольшая ширина - 600...900 мм, высота - 700...1100 мм, а лобовая площадь - 50...80 дм².

Важными характеристиками авиационного двигателя являются также расходы топлива и смазки. Чем меньше их величина, при той же мощности двигателя, тем он совершеннее, и тем большую нагрузку может взять в полет самолет, или тем больше дальность его полета при одной и той же нагрузке.

Экономичность двигателя характеризуется удельным расходом топлива, т.е. расходом топлива на создание единицы мощности. У современных автомобильных бензиновых двигателей удельный расход топлива составляет 200...220 г/(л.с.⊙ч), тогда как у наиболее совершенных авиационных поршневых двигателей начала пятидесятых 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.

Характерными требованиями к авиационным поршневым двигателям является, в частности, обеспечение **работоспособности в широком диапазоне изменения высот полета** самолета и **требование наибольшей высотности**. Для автомобильных двигателей эти требования неактуальны.

Для обеспечения требуемой высотности авиационные поршневые двигатели, как правило, выполнялись с агрегатами наддува. На автомобильных двигателях наддув стал широко использоваться позже, чем на авиационных, и его основной целью являлось повышение мощности, а не высоты полета. Наличие нагнетателя (агрегата наддува) позволяло наиболее совершенным авиационным поршневым двигателям работать без потерь мощности до высоты 8000 м.

Эффективный коэффициент полезного действия учитывает все потери в двигателе. У современных авиационных и автомобильных бензиновых двигателей без нагнетателей он составляет величину порядка 0,32, у дизельных - 0,4.

Как и автомобильный, авиационный ДВС должен обладать хорошей приемистостью, т. е. быстро и плавно увеличивать обороты вала и мощность при открывании дроссельной заслонки. Это качество двигателя важно при выполнении маневров, резком разгоне и в других случаях, когда необходимо быстро вывести двигатель на полную мощность.

К авиационному двигателю выдвигается также еще одно важное требование, не столь актуальное для автомобильного двигателя - **работоспособность при любом положении двигателя относительно земли**, в том числе и в перевернутом виде.

Таким образом, рассмотрение всего спектра требований к авиационным поршневым двигателям показывает, что конструкция этих двигателей объективно сложнее, чем автомобильных.

8.2. Режимы работы авиационного поршневого ДВС

Мощность авиационного поршневого двигателя затрачивается на вращение воздушного винта, создающего тягу. В свою очередь, требуемая 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.

Максимальную мощность двигатель без наддува выдает при полном открытии дроссельной заслонки. Номинальную же и эксплуатационную мощность получают, прикрывая дроссель.

Впоследствии, 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. 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.

8.3. Общее устройство и работа основных систем авиационных поршневых двигателей

Как уже отмечалось выше, по расположению цилиндров авиационные двигатели разделяются на рядные и звездообразные. В рядных двигателях цилиндры расположены один за другим (в ряд), и работают на коленчатый вал, у которого число колен (кривошипов) равно числу цилиндров в ряду. Обычно в ряду располагается шесть цилиндров, так как при этом достигается наилучшая динамическая уравновешенность двигателя. В легкомоторной авиации встречаются рядные двигатели и с четырьмя цилиндрами.

С целью повышения мощности двигателя, число цилиндров иногда увеличивают до 12 и располагают их в два ряда, причем все цилиндры работают на один коленчатый вал. Это так называемые V-образные двигатели. Угол развала (угол между осями цилиндров) у таких двигателей обычно равен 60° . В авиации использовались и двухрядные перевернутые двигатели, т. е. такие, у которых цилиндры расположены внизу под картером. Раньше применялись двигатели с тремя рядами цилиндров, работающих на один вал. Такие двигатели назывались W-образными. К концу 40-х годов XX века, появились 16-цилиндровые и 24-цилиндровые двигатели, в которых цилиндры располагались в виде буквы H и работали на два коленчатых вала, передающих мощность одному редуктору.

подавляющее большинство авиационных двигателей рядной схемы имело жидкостное охлаждение, так как воздушное охлаждение цилиндров, стоящих в ряд один за другим, затруднительно. Рядные двигатели сравнительно небольшой мощности иногда выполнялись с воздушным охлаждением.

В свою очередь двигатели с воздушным охлаждением имеют звездообразное расположение цилиндров. При такой схеме все цилиндры хорошо охлаждаются натекающим на них потоком воздуха. Звездообразные двигатели строятся 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 (см. рис. 8.1 - двигатель АШ-82).

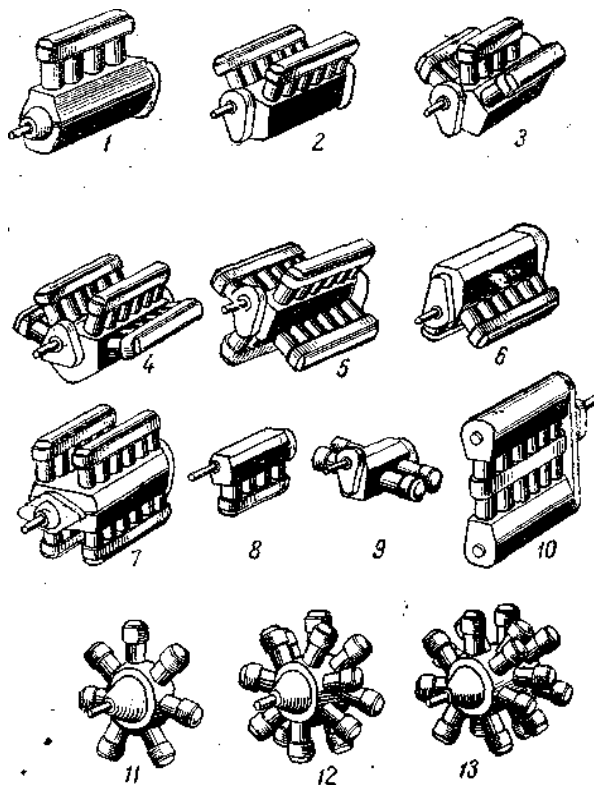


Рис. 8.2. Основные конструктивные схемы авиационных двигателей по расположению цилиндров:

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

В звездообразных двигателях цилиндры каждой звезды работают на одно колено вала. Поэтому в одиночных звездах коленчатый вал имеет одно колено, а в двойных звездах - два колена.

Двухрядные звездообразные двигатели имели 14 цилиндров в виде двух семицилиндровых звезд или 18-цилиндров в виде двух девятицилиндровых звезд. Были разработаны многорядные звездообразные двигатели, имеющие до шести звезд, по семь цилиндров в каждой. Такие двигатели являются одновременно и звездообразными, и рядными, так как в них звезды расположены одна за другой.

8.3.1. Кривошипно-шатунный механизм авиационных поршневых двигателей

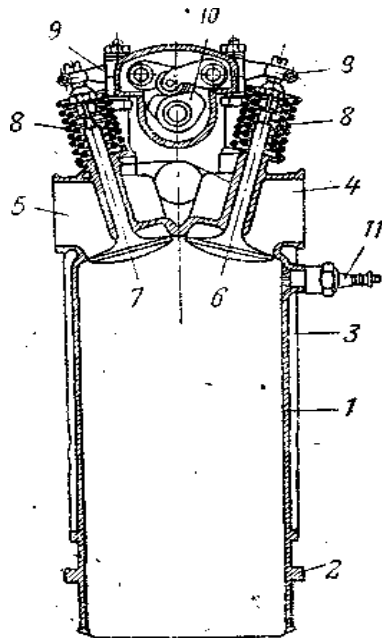


Рис. 8.3. Типичный одиночный цилиндр двигателя жидкостного охлаждения:
1 - гильза цилиндра, 2 - фланец крепления цилиндра к картеру; 3 - рубашка охлаждения; 4 - всасывающий патрубок; 5 - выпускной патрубок; 6 - всасывающий клапан; 7 - выпускной клапан; 8 - клапанные пружины; 9 - коромысла; 10 - кулачковый валик; 11 - свеча

Цилиндры двигателей жидкостного охлаждения отличаются по конструкции от цилиндров двигателей воздушного охлаждения. Поэтому рассмотрим их конструкцию отдельно /1/.

На рис. 8.3 показан часто применявшийся в первых авиационных двигателях жидкостного охлаждения одиночный цилиндр. Он представляет собой стальной стакан 1, в нижней части которого имеется фланец 2 для крепления цилиндра к картеру двигателя. К верхней части (дну) цилиндра приварены впускной 4 и выпускной 5 патрубки, к стакану приварена стальная рубашка 3. Между рубашкой и наружной поверхностью стакана проходит охлаждающая жидкость, которая подводится к нижней части цилиндра; нагреваясь, она поднимается кверху и отводится в радиатор из верхней части цилиндра.

Давление газов воспринимается стенками, дном цилиндра и шпильками, крепящими цилиндр к картеру.

Отдельные цилиндры были удобны тем, что при повреждении одного из них легко было его заменить. Но жесткость одиночного цилиндра явно недостаточна, а длина двигателя с такими цилиндрами довольно велика. Поэтому от двигателей с одиночными цилиндрами перешли к так называемым блочным системам. В двигателях блочной системы охлаждающие рубашки объединены в общий, отлитый из алюминиевого сплава блок (рис. 8.4), в который вставляются отдельные гильзы цилиндров (рис. 8.5). Головки цилиндров также отлиты заодно, образуя блок головок (рис. 8.6). При такой конструкции расстояния между осями цилиндров значительно меньше, чем в двигателях с отдельными цилиндрами, и двигатель получается короче и несколько легче. Кроме того, обработка и сборка деталей в таких моторах значительно проще.

Гильза зажимается буртиком между головкой и рубашкой. Верхним и нижним поясами 1 (см. рис. 8.5) гильза центрируется в рубашке. По наружной поверхности гильзы имеются ребра жесткости, а на нижнем конце - нарезка 2 для гайки, затягивающей кольца нижнего уплотнения.

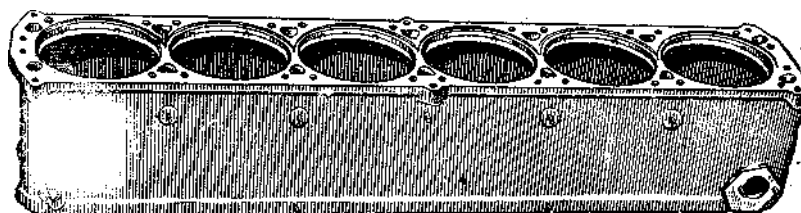


Рис. 8.4. Рубашка блока цилиндров

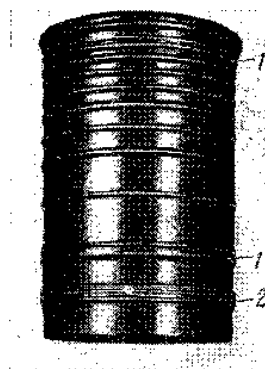


Рис. 8.5. Гильза цилиндра, вставляемая в рубашку

Блок головок вместе с блоком рубашек крепится к картеру внутренними шпильками. Давление газов при такой конструкции воспринимается блоком головок и шпильками, а гильзы разгружены от растягивающих и сжимающих усилий.

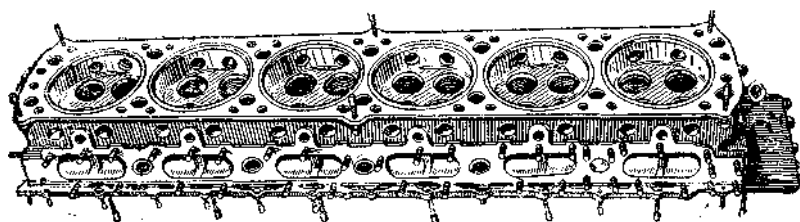


Рис. 8.6. Головка блока цилиндров

Имеются блочные двигатели, у которых блок головок и блок рубашек объединены в одно целое. Такая конструкция получается несколько легче описанной выше. Внутри блока, в верхней его части, расположено шесть головок цилиндров. Они связаны со стенками блока и между собой перемычками. В нижней части блока нарезана резьба специального профиля для ввинчивания гильзы, показанной на рис. 8.7. Гильза при заворачивании уплотняется в верхнем поясе стальным эластичным кольцом 1. В нижнем поясе гильза уплотняется резиновыми кольцами, которые затягиваются стальным кольцом и гайкой. Ребра 2 повышают жесткость гильзы.

Встречается и так называемая смешанная конструкция цилиндров, в которой головки отлиты в общий алюминиевый блок, а стальные рубашки приварены к отдельным гильзам.

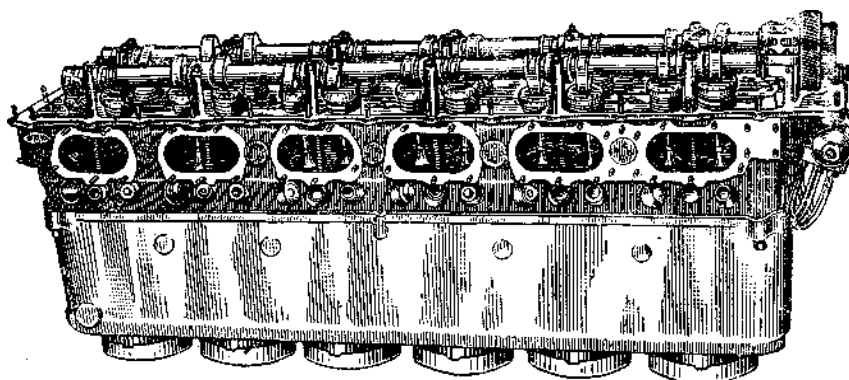


Рис. 8.6. Блок цилиндров, собранный с блоком рубашек



Рис. 8.7. Гильза блока

Цилиндр авиационного двигателя должен быть достаточно жестким и сохранять при работе свою правильную форму. Для уменьшения износа внутреннюю поверхность (зеркало) цилиндра обычно азотируют, при этом поверхностный слой стальной гильзы насыщается молекулами азота, образующими в соединении с железом нитриды железа. Это придает поверхности высокую твердость и стойкость против коррозии.

Ввиду высокой прочности сталей, которые применяют при изготовлении авиационных двигателей, толщина стенок гильзы цилиндра обычно определяется не соображениями прочности, а необходимостью обеспечения возможности шлифовки зеркала цилиндра после установленного срока эксплуатации для устранения возникающей овальности.

Типичный цилиндр авиационного двигателя воздушного охлаждения показан на рис. 8.8. Он состоит 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. Клапанные коробки закрыты алюминиевыми крышками.

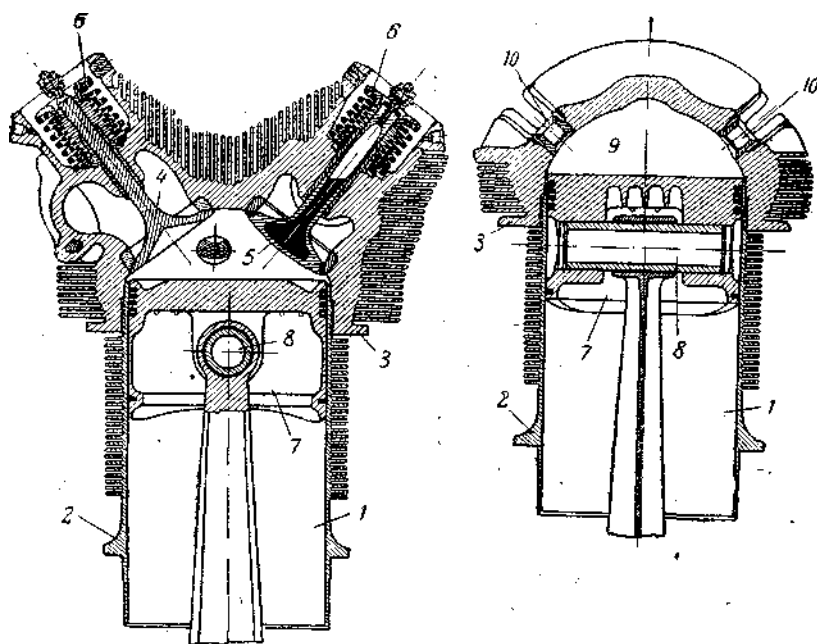


Рис. 8.8. Цилиндр двигателя воздушного охлаждения:

1 - стакан цилиндра; 2 - фланец крепления цилиндра к картеру; 3 - головка цилиндра; 4 - впускной клапан; 5 - выпускной клапан; 6 - клапанные пружины; 7 - поршень; 8 - поршневой палец; 9 - камера сгорания; 10 - отверстия для свечей

Поршни авиационных двигателей (рис. 8.8) отливают или штампуют из алюминиевых сплавов, имеющих высокую теплопроводность, что способствует снижению рабочих температур поршня. Кроме того, малый удельный вес этих сплавов позволяет снизить инерционные силы, возникающие при движении поршней. Вследствие этого, при одном и том же числе оборотов вала, нагрузки на подшипники от алюминиевого поршня значительно меньше, чем от чугунного.

Во избежание прорыва газов из камеры сгорания в авиационных двигателях, как и в автомобильных, на поршень надевают два или три поршневых кольца, изготовленных из специального чугуна. Для того чтобы кольца имели необходимую упругость, обеспечивающую их прилегание к зеркалу цилиндра, их диаметр в свободном состоянии несколько больше диаметра цилиндра. Кольца разрезаны и имеют либо косой замок, либо ступенчатый (см. рис. 8.9). Под уплотнительными поршневыми кольцами устанавливают маслосъемные. При движении поршня к НМТ эти кольца снимают со стенок цилиндра масло и через отверстия в поршне сгоняют это масло внутрь поршня, откуда оно стекает в картер.

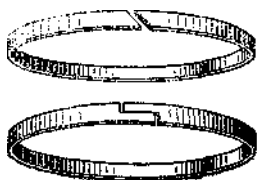


Рис. 8.9. Поршневые кольца с различными замками



Рис. 8.10. Разрез поршневого пальца

Поршень соединяется с шатуном стальным поршневым пальцем (рис. 8.10). В авиационных двигателях в основном использовались «плавающие» поршневые пальцы (аналогичные по принципу работы пальцам двигателей ВАЗ-2111 и ВАЗ-2112). Они могут свободно проворачиваться и в теле поршня, и в верхней головке шатуна. Для того чтобы пальцы не могли сдвинуться к одной стороне и коснуться стенки цилиндра, их фиксируют с обоих концов либо пружинными кольцами, либо алюминиевыми заглушками. Наружную поверхность поршневых пальцев цементируют для придания ей большей твердости с целью уменьшить износ.

Шатуны авиационных двигателей изготавливают из высокопрочной стали. Им чаще всего, как и шатунам автомобильных двигателей, придают в сечении двутавровую форму, способствующую лучшему восприятию особо опасных сжимающих усилий.

Простейшие шатуны имеют однорядные двигатели. Такой шатун показан на рис. 8.11. Он состоит из малой головки 1, стержня 2 и большой (кривошипной) головки 3, охватывающей шейку коленчатого вала. В малую головку впрессована бронзовая втулка, служащая подшипником для поршневого пальца. Кривошипная головка шатуна - разъемная и в нее вставляется вкладыш, залитый антифрикционным сплавом - баббитом, свинцовистой бронзой или же особым сплавом серебра. Отъемная часть головки, называемая крышкой, крепится к шатуну болтами. Положение крышки на шатуне фиксируется заточками на болтах в стыке или ступенчатым замком.

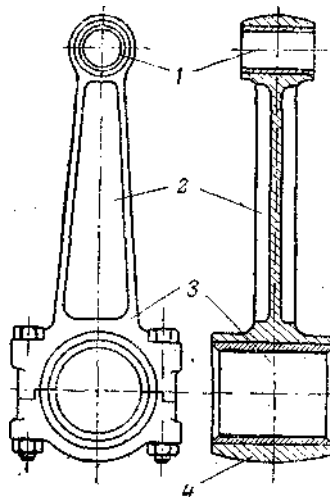


Рис. 8.11. Шатун однорядного двигателя:

- 1 - малая головка шатуна; 2 - стержень; 3 - большая головка шатуна;
4 - крышка большой головки шатуна

У двухрядных V-образных двигателей на одну шейку вала работают два цилиндра, и, следовательно, к ней должны быть присоединены два шатуна. На рис. 8.12 показан наиболее распространенный способ сочленения двух шатунов на одной шейке вала. Нижняя головка левого (главного) шатуна охватывает вал и имеет проушину, к которой посредством пальца (валика) шарнирно присоединен правый прицепной шатун.

У звездообразных двигателей своя конструкция шатунов. На рис. 8.13 показан шатун двигателя АШ-82. Кривошипная головка этого шатуна неразъемная и несет на себе шесть проушин для крепления шести прицепных шатунов. В кривошипную головку запрессована стальная втулка, залитая свинцовистой бронзой. Для таких шатунов приходится делать разъемным коленчатый вал.

Иногда в звездообразных двигателях ставят шатуны с разъемной головкой (рис. 8.14), что позволяет делать коленчатый вал неразъемным.

Верхняя головка шатуна смазывается под давлением маслом, подаваемым к ней по трубке, прикрепленной к стержню, или через канал в теле стержня шатуна. Кроме того, в теле верхней головки сверлят отверстия, через которые к поршневому пальцу может поступать масло, снимаемое маслосъемными кольцами с зеркала цилиндра и стекающее во внутреннюю полость поршня.

Кривошипная головка шатуна смазывается маслом, поступающим к ней через отверстие в шатунной шейке коленчатого вала.

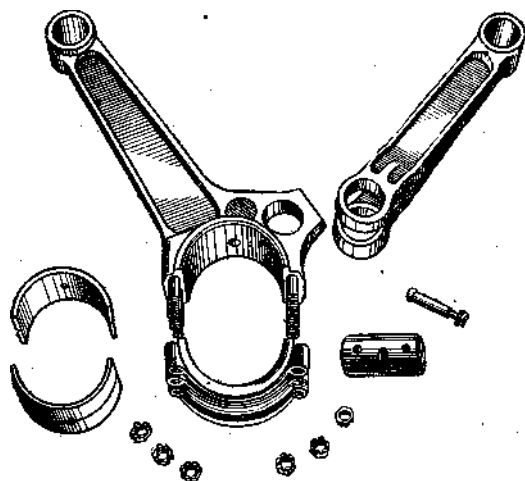


Рис. 8.12. Шатун двухрядного V-образного двигателя

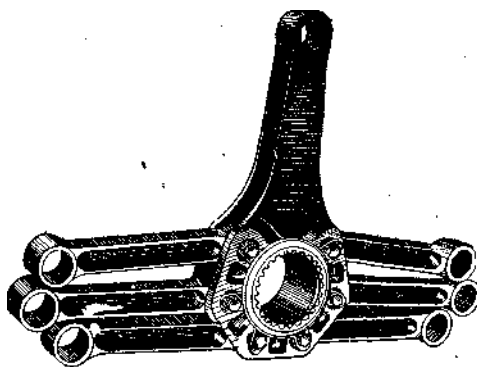


Рис. 8.13. Шатун звездообразного двигателя АИШ-82.
Главный шатун собран с прицепными шатунами

Коленчатый вал является одной из ответственных и наиболее напряженных деталей как авиационного, так и автомобильного двигателей. Он воспринимает от шатунов силу давления газов, преобразует её в крутящий момент, который и передает воздушному винту. Передающиеся от шатунов усилия изгибают шейки и щеки коленчатого вала и скручивают его. У четырёхколенного вала угол между коленами составляет 180° , у шестиколенного - 120° .

На рис. 8.15 показан коленчатый вал двухрядного V-образного 12 - цилиндрового авиационного двигателя. Шесть шатунных шеек расположены попарно под углом 120° . Эллиптические щеки соединяют шатунные шейки вала с его коренными шейками. Для облегчения вала коренные и шатунные шейки его выполнены полыми, а отверстия закрыты стальными коническими заглушками, стянутыми болтами (см. рис. 8.16). Внутренние полости используются для подачи масла к трущимся поверхностям. Масло поступает из коренных подшипников в полости коренных шеек и оттуда через каналы в щеках проходит в полости шатунных шеек. Для уменьшения массы масла в шатунных шейках и для ускорения его подачи к трущимся поверхностям иногда его подводят к шатунной шейке через трубку.

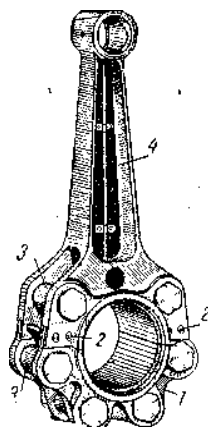


Рис. 8.14. Разъемный шатун звездообразного двигателя:

1 - отъемная крышка шатуна; 2 - штифты крепления крышки; 3 - пальцы прицепных шатунов; 4 - трубка для подвода масла к малой головке шатуна.

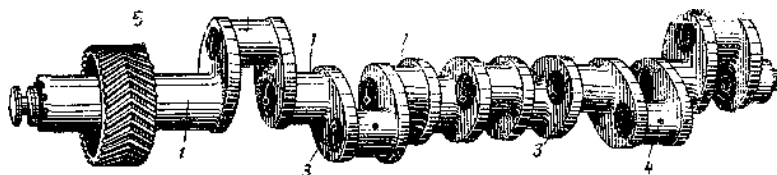


Рис. 8.15. Коленчатый вал двухрядного V-образного двигателя:

1 - коренные шейки; 2 - шатунные (мотылевые) шейки; 3 - щеки; 4 - отверстие для прохода масла; 5 - ведущая шестерня редуктора.

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. 8.15).

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 в современных рядных авиационных двигателях делают почти исключительно скользящими. Подшипники качения (шариковые или роликовые), применявшиеся ранее на некоторых двигателях, не привились из-за трудности монтажа.

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.

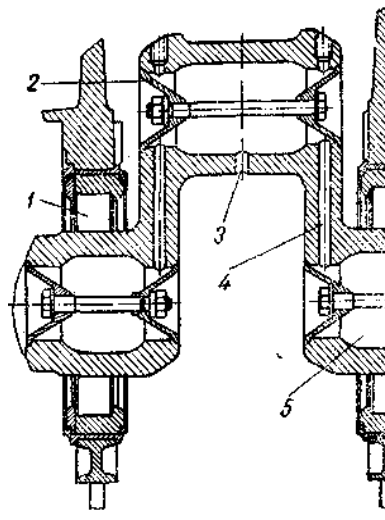


Рис. 8.16. Масляные полости коленчатого вала:

1 - гнездо в картере для роликового подшипника; 2 - заглушка; 3- отверстие для подвода масла к шатунному подшипнику; 4 - канал в колене вала; 5 - полость в шейке вала

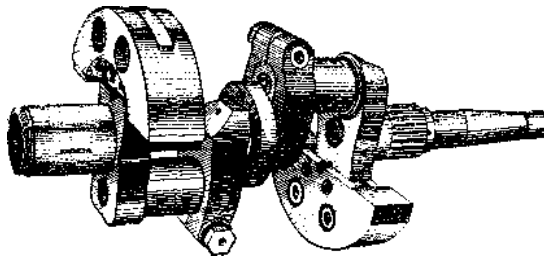


Рис. 8.17. Двухколенный коленчатый вал двухрядного звездообразного двигателя

В двухрядных звездах коленчатый вал имеет две шатунные шейки. На рис. 8.17 показан вал двигателя АШ-82 с коленами, расположенными под углом 180° . Этот вал состоит из трех частей, соединяемых двумя стяжными болтами, зажимающими шатунные шейки в проушинах щек средней части вала.

Для уравнивания сил инерции коленчатые валы двухрядных звезд снабжают двумя противовесами, устанавливаемыми на продолжениях крайних щек.

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. 8.18 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° 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 его 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 крепятся следующие агрегаты: нагнетатель, магнето, масляные и бензиновые помпы и т.д.

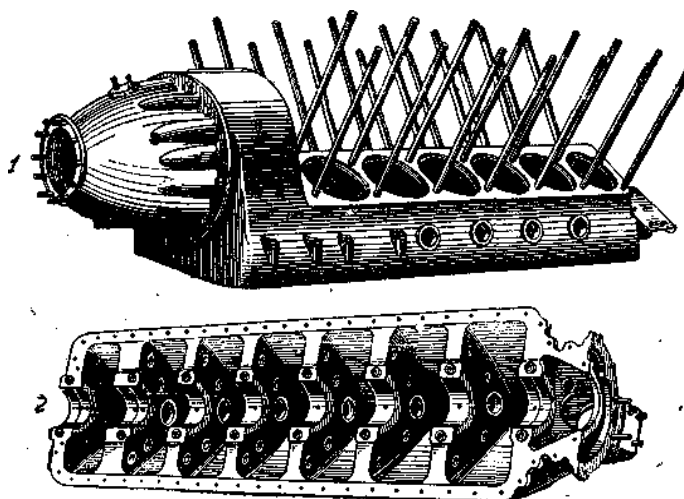


Рис. 8.18. Картер двигателя АМ-38:
1 - верхняя половина; 2 - нижняя половина

Картеры двигателей воздушного охлаждения имеют совершенно иную форму. Так, картер двигателя АШ-82 (рис. 8.19) состоит из пяти частей, расположенных друг за другом. Носок картера отлит из магниевых сплава («электрон»). В носке установлен упорно-опорный шарикоподшипник, воспринимающий осевую нагрузку - тягу винта и радиальную нагрузку от вала винта. Кроме того, в носке установлена 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 фланцев, 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 (передней и задней), отлитый из «электрона», 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 отлитая из «электрона» задняя крышка картера. На эту крышку устанавливаются два магнето, электрогенератор, масляная помпа и другие агрегаты. Передняя часть корпуса нагнетателя имеет отлитые заодно с корпусом лапы, которыми двигатель крепится к подмоторной раме самолета.

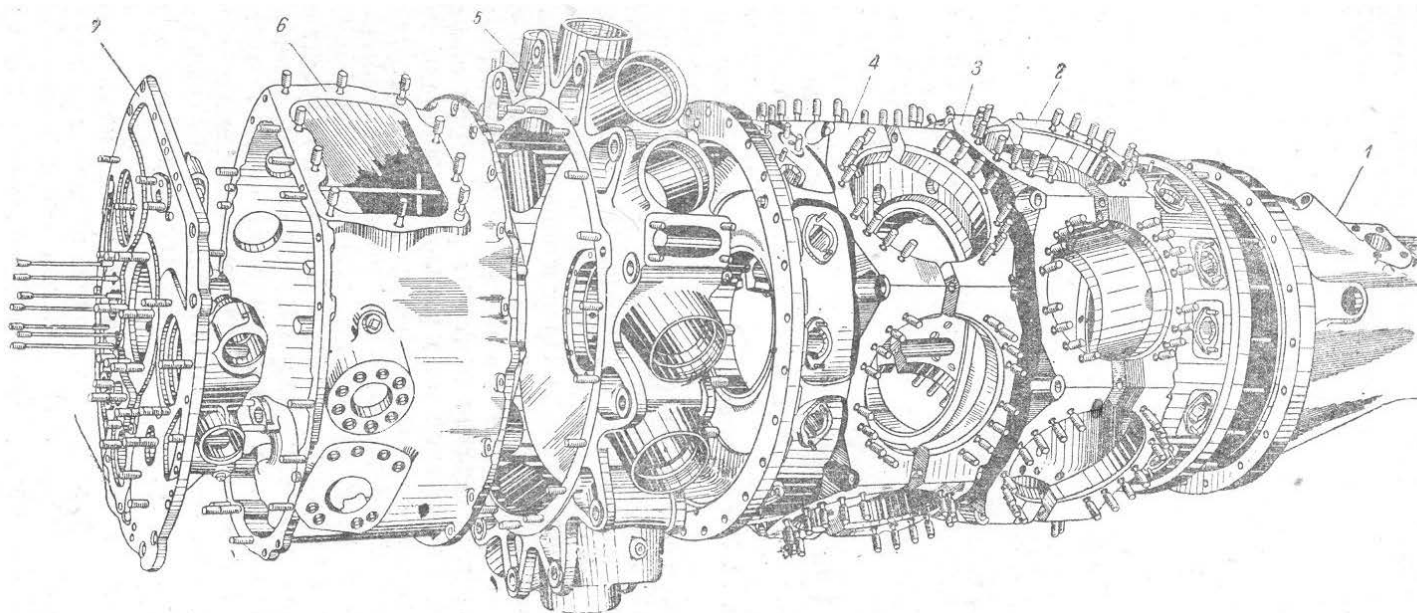


Рис. 8.19. Картер двигателя воздушного охлаждения АШ-82:

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

8.3.2. Газораспределительный механизм авиационных поршневых двигателей

Для впуска топливовоздушной смеси и выпуска отработавших газов в авиационных двигателях используются в основном подвесные клапаны, удерживаемые в закрытом положении цилиндрическими пружинами, прижимающими их к седлам /1/. Для управления клапанами над головками цилиндров установлен распределительный вал (рис. 8.20). При вращении распределительного вала его кулачки нажимают на верхний конец штока клапана, либо на промежуточный рычаг (рис. 8.21 и 8.22). Профиль кулачка спроектирован так, чтобы получить необходимое по расчету время-сечение клапана.

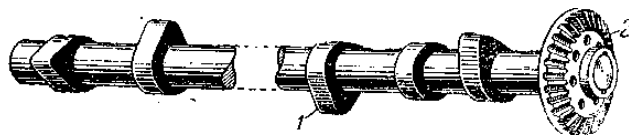


Рис. 8.20. Кулачковый (распределительный) валик:
1 - кулачки (эксцентрики); 2 - коническая (тарельчатая) шестерня привода

У однорядных звездообразных двигателей равномерность вспышек может быть соблюдена лишь при нечетном числе цилиндров. Поэтому однорядные звездообразные двигатели имеют только нечетное число цилиндров. В девятицилиндровой звезде порядок работы цилиндров, например, следующий: 1 - 3 - 5 - 7 - 9 - 2 - 4 - 6 - 8 и т.д.

В двухрядных звездообразных двигателях, представляющих собой две звезды с нечетным числом цилиндров в каждой, вспышки чередуются между передним и задним рядами.

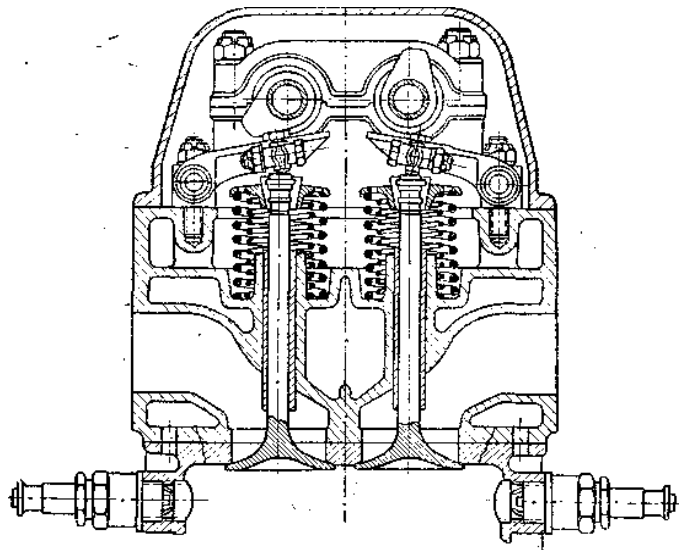


Рис. 8.21. Клапанный механизм с двумя кулачковыми валами

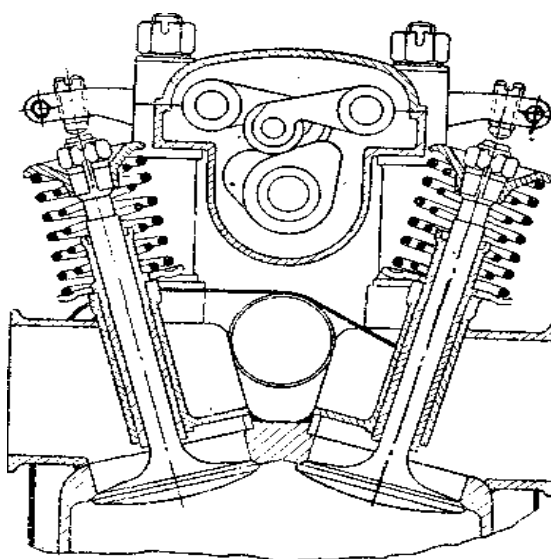


Рис. 8.22. Привод клапана посредством коромысла

Система газораспределения в звездообразных моторах следующая. Соосно с коленчатым валом двигателя вращается приводимая через систему шестеренчатых передач так называемая кулачковая или распределительная шайба (см. рис. 8.23), представляющая собой диск с несколькими кулачками. В картере мотора вокруг кулачковой шайбы расположены оканчивающиеся роликами толкатели. При набегании кулачка распределительной шайбы на ролик толкателя он приподнимается, скользя в направляющей втулке, и передает движение трубчатой 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. 8.24). В последнем случае кулачки выполняют с наклоном в сторону цилиндров, так как второй ряд цилиндров отстоит довольно далеко от шайбы. С целью улучшить условия наполнения цилиндра свежей топливоздушнoй смесью и очистки его от продуктов сгорания отверстия впускных и выпускных клапанов стараются сделать как можно больше. Число клапанов у двигателей может быть различным. В большинстве двигателей на каждом цилиндре имеются один впускной и один выпускной клапаны. Но есть двигатели с двумя впускными и с одним или двумя выпускными клапанами.

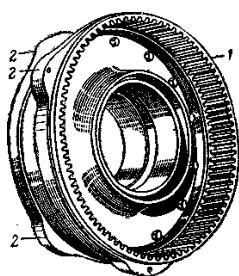


Рис. 8.23. Кулачковая шайба:
1 - шестерня внутреннего зацепления

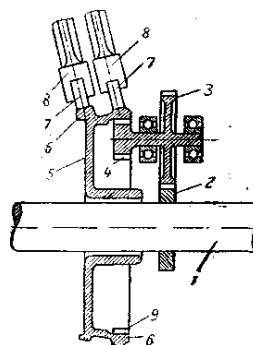


Рис. 8.24. Схема газораспределительного устройства двухрядного звездообразного

для привода шайбы; 2- кулачки
шайбой

двигателя с двойной кулачковой
шайбой

На рис. 8.25 показаны формы клапанов, которые применяют в авиационных поршневых двигателях.

Шток клапана движется в направляющей втулке, запрессованной в головку цилиндра. Обычно направляющие втулки изготавливаются из специальной бронзы или чугуна. Условия работы выхлопных клапанов в современных двигателях очень тяжёлые. Эти клапаны за время каждого цикла омываются раскаленными выхлопными газами, и поэтому температура головки и нижней части штока клапана может достигать $600...700^{\circ}\text{C}$. При такой температуре механическая прочность обычных сталей сильно понижается, поэтому для выпускных клапанов приходится применять специальные жаростойкие стали, сохраняющие прочность и хорошо сопротивляющиеся коррозии при высокой температуре. За последние годы в мощных двигателях на фаску клапана и фаску клапанного гнезда наваривают, при помощи кислородно-ацетиленового пламени, стеллит (сверхтвёрдый сплав кобальта, хрома и вольфрама).

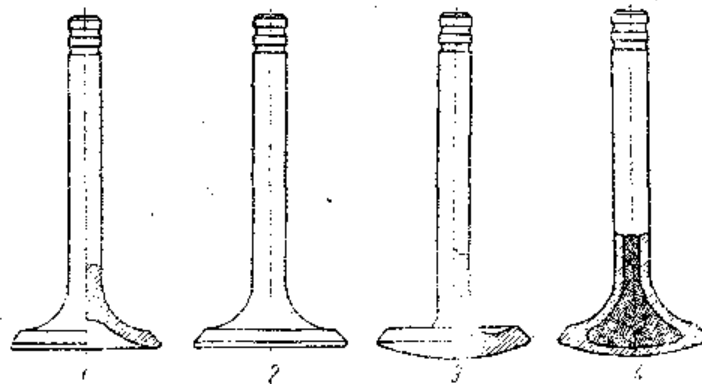


Рис. 8.25. Схемы различных типов клапанов:

1 - тюльпанный клапан; 2 - клапан с плоской головкой; 3 - клапан с выпуклой головкой; 4 - клапан с полостью, заполненной охлаждающим веществом

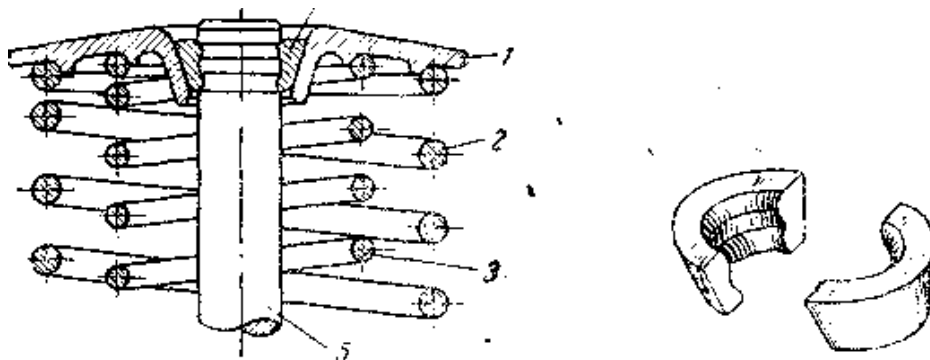


Рис. 8.26. Тарелка клапана и ее крепление:

1 - тарелка; 2 - внешняя пружина; 3 - внутренняя пружина; 4 - замок; 5 - шток клапана

С целью улучшения охлаждения выпускных клапанов их часто делают пустотелыми и заполняют внутреннюю полость до половины металлическим натрием (см. рис. 8.25), обладающим низкой температурой плавления и высокой теплопроводностью. После

заполнения натрием клапан герметически закрывают. 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.

Каждый клапан прижимается к своему седлу двумя или тремя концентрично расположенными цилиндрическими пружинами (рис. 8.26). Эти пружины опираются нижними концами на головку цилиндра, а верхними - в тарелку, укрепленную на штоке клапана при помощи разрезного замка.

8.3.3. Системы охлаждения авиационных поршневых двигателей

Система охлаждения двигателя на самолете является весьма ответственным устройством. От правильного ее функционирования зависят надежность работы двигателя и безопасность полета. Эта система при минимальном лобовом сопротивлении должна отвести от двигателя количество тепла, эквивалентное половине и более (до 60%) его мощности /1/. В конструкции систем охлаждения авиационных двигателей имеется много общего с автомобильными, но есть и ряд отличий.

Так, 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, причем не только спереди и с боков, но и сзади. На рис. 8.27 показана схема расположения дефлекторов на рядном двигателе воздушного охлаждения.

Вместе с тем, у авиационных двигателей воздушного охлаждения дополнительно к системе охлаждения относятся капоты. Назначение капота - придать обтекаемость моторной установке и обеспечить наилучшие условия охлаждения цилиндров двигателя той частью встречного потока воздуха, которая входит в капот. Разница между температурами воздуха, входящего в капот и выходящего из него, составляет от 40 до 75°.

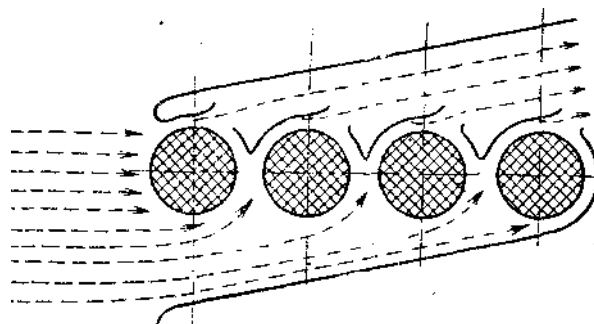


Рис. 8.27. Схема расположения дефлекторов у рядного двигателя с воздушным охлаждением

На рис. 8.28 показан капот на мощный авиационный двигатель воздушного охлаждения. Такой капот состоит из наружного и внутреннего капотов.

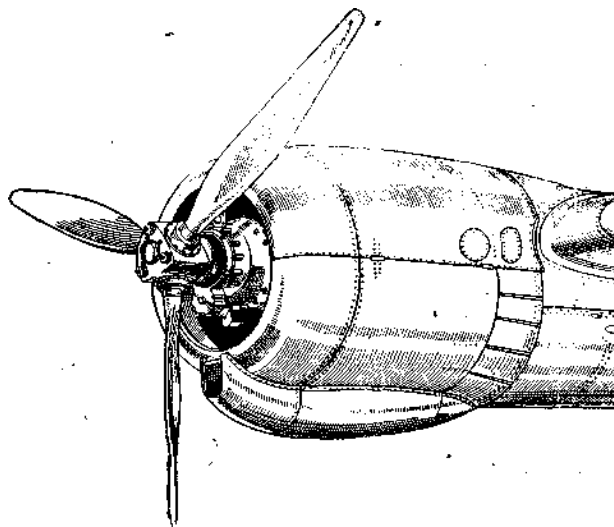


Рис. 8.28. Капот авиационного двигателя

Регулирование количества протекающего через капот воздуха a , 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 (рис. 8.29). 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. Предельный угол отклонения заслонок обычно не больше 30° , так как при большем их отклонении количество проходящего через капот воздуха не увеличивается, а отклоненные заслонки создают срыв потока с капота, вызывающий вибрации оперения или крыла самолета.

Наибольшее сечение выходной кольцевой щели капота составляет около 75%, а площадь входного сечения капота - около 60% миделевого сечения фюзеляжа или моторной гондолы. Передняя часть наружного капота представляет собой профилированное кольцо, склепанное из нескольких секций, укрепленных на каркасе из профилей. Задняя часть наружного капота состоит из отдельных крышек, также крепящихся к каркасу из профилей. В крышках делают люки для доступа к агрегатам двигателя.

Внутренний капот также состоит из передней и задней частей. Отштампованная из листа передняя часть крепится кронштейнами к болтам картера двигателя. Задняя часть внутреннего капота крепится к каркасу из профилей.

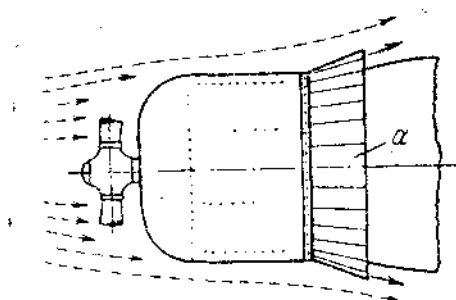


Рис. 8.29. Капот с открытыми заслонками (а)

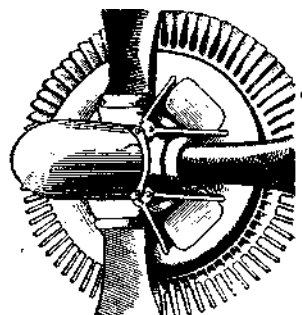


Рис. 8.30. Вентилятор для принудительного охлаждения двигателя

На некоторых двигателях воздушного охлаждения для его интенсификации, на валу воздушного винта устанавливают осевой многолопастный вентилятор (рис. 8.30).

Системы жидкостного охлаждения авиационных двигателей, как и автомобильные, могут быть открытыми или закрытыми. Основным недостатком открытой системы охлаждения на авиационном двигателе является то, что она подвержена влиянию снижения атмосферного давления по мере подъема самолета. При этом температура кипения охлаждающей жидкости снижается. Так, например для воды на высоте 6000 м она составляет 79°C , а на высоте 10 000 м - всего 65° . Поэтому открытую систему охлаждения двигателей нельзя применять на высотных самолетах.

Закрытая система охлаждения свободна от этого недостатка. Наличие повышенного давления в такой системе позволяет поднять рабочую температуру охлаждающей жидкости и, следовательно, уменьшить охлаждающую поверхность радиатора вследствие большей разницы между температурой охлаждающей жидкости и температурой обтекающего

радиатор воздуха.

Существовали и системы водяного охлаждения с испарением. В таких системах возможно дальнейшее снижение количества охлаждающей жидкости и поверхности радиатора, в сравнении с закрытыми системами. В испарительных системах охлаждающая жидкость частично испаряется, а частично нагревается до температуры кипения. Ввиду сложности, такие системы практически не нашли применения на серийных самолетах (кроме небольшого количества немецких истребителей «Хейнкель-100», выпущенных во время второй мировой войны).

В качестве охлаждающей жидкости на ранних этапах развития авиации применяли воду. Чтобы на стенках охлаждающих устройств не осаждалась накипь, применяли только мягкую (дождевую) или кипяченую воду. Позднее, как впоследствии и на автомобильных двигателях, были разработаны иные жидкости, в частности, этиленгликоль. Использование этиленгликоля позволило повысить температуру охлаждающей жидкости до $120...130^{\circ}$ (дальнейшее повышение температуры нецелесообразно ввиду снижения мощности двигателя). Для удобства зимней эксплуатации требуются охлаждающие жидкости с особо низкой температурой замерзания, поэтому зимой в авиационных двигателях применялась смесь этиленгликоля с 45% воды - так называемый антифриз, замерзающий при -40° . Антифриз имеет температуру кипения около 100° и поэтому не может применяться в качестве высококипящей жидкости. При пользовании антифризом его можно в холодную погоду после полета оставлять внутри системы, не боясь замерзания охлаждающей жидкости и разрывов трубопроводов и радиаторов.

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. 8.31). Но лобовое сопротивление таких радиаторов очень велико, поэтому их стали заменять выдвижными радиаторами. Эти радиаторы были выгоднее потому, что при повышении скорости полета можно было втянуть их в фюзеляж и оставить в потоке лишь небольшую часть, которой хватало для охлаждения ввиду 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. 8.32 показаны схемы двух типов туннельных радиаторов: крыльевого *а* и фюзеляжного *б*.

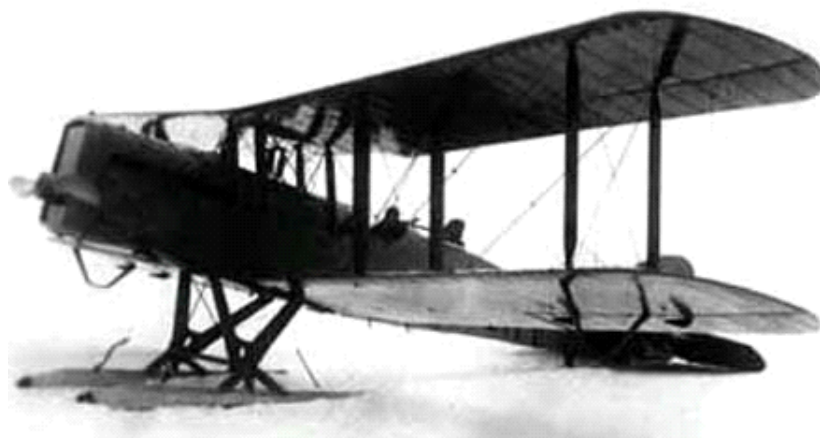


Рис. 8.31. Самолет-разведчик Р-1 с «лобовым» радиатором

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 поток воздуха выходит в атмосферу. Количество воздуха, проходящего через туннель, регулируется заслонками, установленными в концевой части туннеля.

Преимущество туннельного радиатора заключается в том, что в помещенном перед ним расширяющемся насадке-диффузоре скорость воздуха уменьшается в 5...6 раз по сравнению со скоростью полета, вследствие чего потери на сопротивление, пропорциональные квадрату скорости, с которой воздух омывает трубки, резко снижаются. Пройдя через радиатор и отняв тепло от трубок, воздух нагревается и поступает в сужающийся насадок (конфузор), где скорость его повышается.

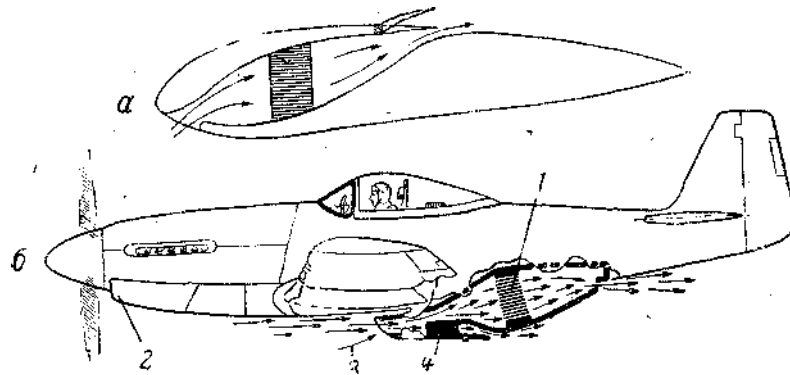


Рис. 8.32. Схемы туннельных радиаторов:

а - крыльевого; б - фюзеляжного:

1 - радиатор; 2 - заборный патрубок карбюратора; 3 - вход воздуха в радиатор;

4 - дополнительный радиатор для охлаждения масла

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.

Термостат представлял собой термоэлектрический прибор, связанный с термометром и автоматически поддерживающий в системе охлаждения нужную температуру охлаждающей жидкости, открывая заслонки туннеля при повышении температуры и закрывая их при ее понижении. Впервые такие системы стали широко применяться на военных самолетах, где в воздушном бою летчик не имеет возможности следить за работой системой охлаждения.

Капоты для двигателей жидкостного охлаждения выполняются обтекаемой формы. Они состоят из отдельных панелей, крепящихся на особых замках к легкому каркасу из профилей.

8.3.4. Система смазки авиационных поршневых двигателей

Трение, возникающее в механизмах работающего мотора, вызывает потерю мощности, а также нагрев и износ деталей. Для уменьшения трения трущиеся поверхности смазывают маслом, которое, заполняя зазоры, создает между деталями масляную пленку. Эта пленка разделяет трущиеся поверхности и изменяет характер трения. При отсутствии масляной пленки трутся одна о другую твердые поверхности - происходит сухое трение, при наличии же достаточно толстой масляной пленки происходит трение между слоями масляной пленки, так называемое жидкостное трение. Коэффициент сухого трения, в зависимости от материала, состояния и обработки трущихся поверхностей, колеблется от 0,1 до 0,5. Коэффициент же жидкостного трения, в зависимости от свойств и температуры смазывающей жидкости, толщины слоя смазки и величины нагрузки, колеблется в пределах от 0,002 до 0,05. Эти числа показывают, насколько важна хорошая смазка для любого двигателя, и тем более, для форсированного авиационного.

Добиться идеального жидкостного трения практически невозможно, так как, например, из подшипника коленчатого вала часть масла выдавливается из-за неравномерности нагрузки. В действительности детали двигателя работают в условиях так называемого полужидкостного трения, которое характеризуется частичными разрывами масляной пленки, причем в местах разрыва происходит сухое трение. При полужидкостном трении сопряженные поверхности, хотя и медленно, но все же изнашиваются, т.е. с них стираются мелкие частицы металла, образующие металлическую пыль.

Смазка не только снижает силы трения, но и охлаждает смазываемые детали, так как масло, омывая трущиеся поверхности, уносит с собой от них избыток тепла. Надобность в охлаждении трущихся деталей авиационного двигателя очень велика. Ведь воздух и вода охлаждают, главным образом, стенки цилиндра и камеры сгорания. Коленчатый вал, подшипники, шестерни, распределительный валик, направляющие не могут охлаждаться ни водой, ни воздухом по роду их работы и расположения. В то же время эти детали работают под большими нагрузками, и, если их не охлаждать, то они перегреются из-за трения. В этом случае предусмотренные конструктором зазоры изменятся и мотор может выйти из строя.

При нагревании до высоких температур масло сильно разжижается (уменьшается его вязкость) и смазывающая способность его падает. Поэтому приходится циркулирующее в системе смазки масло охлаждать, пропуская его через масляный радиатор.

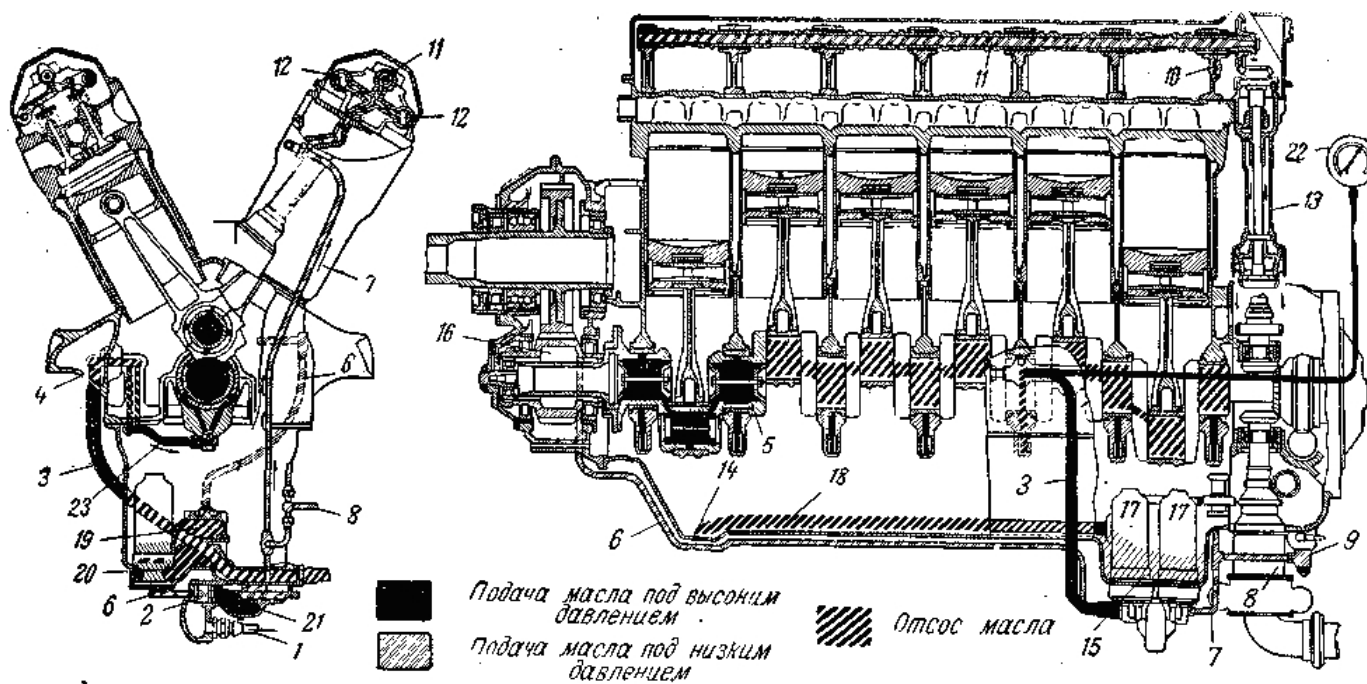


Рис. 8.33. Схема смазки авиационного двигателя жидкостного охлаждения:

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

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) /1/. Схематически эта система представлена на рис. 8.33. 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.

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 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).

Попадая на стенку цилиндра, масло частично проникает в камеру сгорания, сгорает там и выбрасывается с отработавшими газами. Кроме того, лёгкие фракции масла улетучиваются в парообразном состоянии из картера через так называемые, суфлеры. Поэтому при работе двигателя масло непрерывно расходуется. Расход масла, как и расход топлива, принято измерять, относя его к эффективной мощности, т.е. пользуясь величиной удельного расхода масла или расхода его на единицу мощности. В двигателях жидкостного охлаждения удельный расход масла составляет 6...8 г/(л.с.⊙ч), а в двигателях воздушного охлаждения - 12...16 г/(л.с.⊙ч). Повышенный расход масла в двигателе воздушного охлаждения объясняется более высокой температурой цилиндров, в результате чего масло, попадая на стенки цилиндра, сильнее разжижается и в большем количестве проникает в камеру сгорания.

К качеству авиационных масел предъявляются весьма высокие требования, что обусловлено важной ролью смазки в работе двигателя и его высокой напряженностью. Прежде всего, это отсутствие в масле механических примесей. Толщина смазывающего слоя очень мала и даже мелкие твердые частички нарушают цельность масляной пленки, резко ухудшая условия смазки.

Между тем при работе двигатель засасывает с воздухом пыль и мелкий песок из атмосферы (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 двигателями фильтрами быстро вырабатывали свой ресурс и отказывали во время боя.

Большое значение для авиационных двигателей, как и для автомобильных, играет вязкость масла. Для авиационных двигателей также непригодно масло как слишком высокой, так и слишком низкой вязкости. Для каждого конкретного типа двигателей, таким образом, 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).

Всего 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° ниже температуры пусковой вязкости. Летние масла застывают при температуре около -15°С, а зимние - около -30°С.

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°С. Поэтому можно не сливать масло из двигателя после полета и не приходится подогревать его перед запуском. Через 30...40 минут 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. 8.34).

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 часов 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. Регенерированное масло по химическому составу и смазывающим свойствам почти не отличается от свежего.

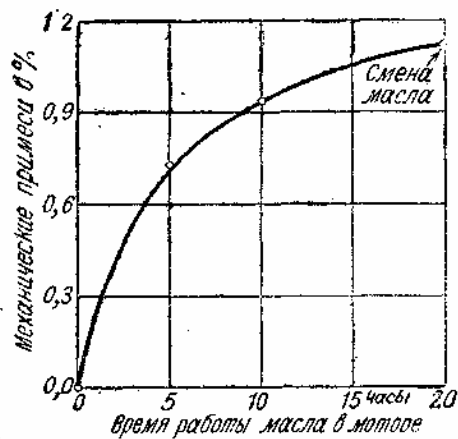


Рис. 8.34. Увеличение содержания механических примесей в масле с увеличением времени работы его в моторе

В настоящее время для отечественных авиационных поршневых двигателей в основном используется масло МС-20 (см. табл. 8.1). Его особенностью является то, что в его составе нет присадок.

Табл. 8.1. Основные характеристики масла МС-20 (ГОСТ 21743-76)

Наименование показателя	Норма
Вязкость кинематическая при 100°С, мм ² /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

8.3.5. Системы питания авиационных поршневых двигателей

Системой питания называется совокупность устройств, предназначенных для хранения топлива на самолете и для подачи его к двигателям в составе ТВС.

Запас топлива на самолете содержится в топливных баках, откуда топливо подается по трубопроводам через фильтры и отстойники к двигателям. На современных самолетах применяется исключительно подача топлива к двигателям под давлением, т. е. при помощи топливных насосов.

На рис. 8.35 показана примерная простейшая карбюраторная система питания авиационного поршневого двигателя /1/. 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. Пожарный 4 и перекрывной 10 краны 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.

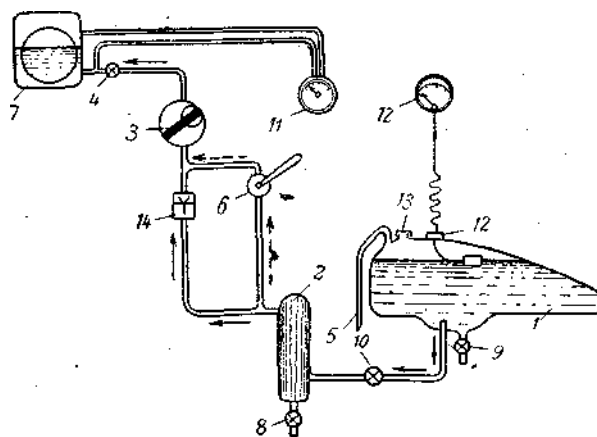


Рис. 8.35. Простейшая схема бензиновой системы самолета

Нужно иметь в виду, на рисунке 8.35 показана лишь простейшая принципиальная схема. Реальные схемы бензопитания много 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.

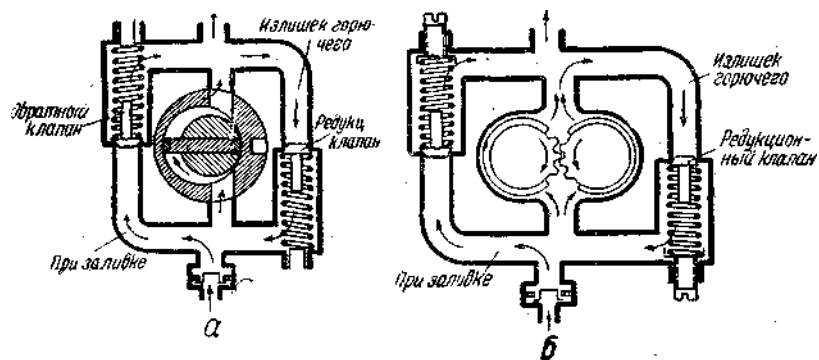


Рис. 8.36. Схемы бензиновых насосов:
а - коловратной; б - шестеренчатой

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 8.36, 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. 8.36, б). Коловратные помпы обеспечивают достаточный напор, просты в эксплуатации и ремонте, поэтому они чаще применяются в системах подачи топлива авиационных ДВС.

По организации подготовки топливоздушной смеси, системы питания авиационных двигателей, как и автомобильные, подразделяются на два крупных класса: карбюраторные и с впрыском топлива.

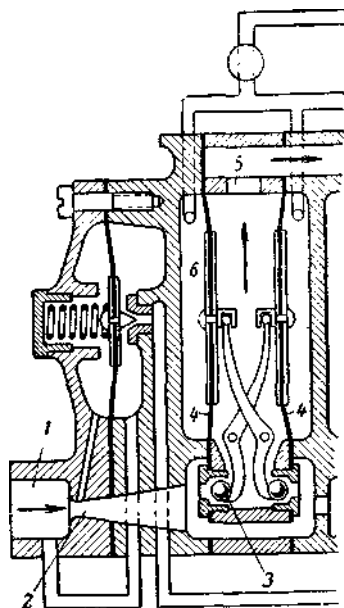


Рис. 8.37. Схема безпоплавкового карбюратора

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.

В авиации также широко использовались безоплавковые (впрыскивающие) карбюраторы, предоставляющие самолету свободно совершать все фигуры пилотажа. Такие карбюраторы, в отличие от поплавковых, обеспечивают подачу топлива независимо от положения самолета. Постоянство подачи топлива в безоплавковых карбюраторах обеспечивают упругие диафрагмы, связанные с шариковыми запорными клапанами.

На рис. 8.37 показана часть безоплавкового 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 испарение топлива в карбюраторе расходуется тепло, содержащееся в засасываемом двигателем воздухе. При этом температура воздуха может настолько понизиться, что содержащиеся в нем водяные пары конденсируются и оседающая на деталях карбюратора вода обратится в лед. Во избежание этого карбюраторы и всасывающие трубопроводы подогревают, заключая их в рубашку, по которой циркулирует вода из системы охлаждения двигателя. В двигателях воздушного охлаждения подогрев осуществляется выхлопными газами или выходящим из мотора маслом.

На мощных авиационных поршневых двигателях еще в 40-е годы XX века отказались от применения карбюраторов и заменили их системами непосредственного впрыска (см. рис. 8.38) /2/. Это было сделано с целью получить более равномерное распределение топлива по цилиндрам и более точную его дозировку.

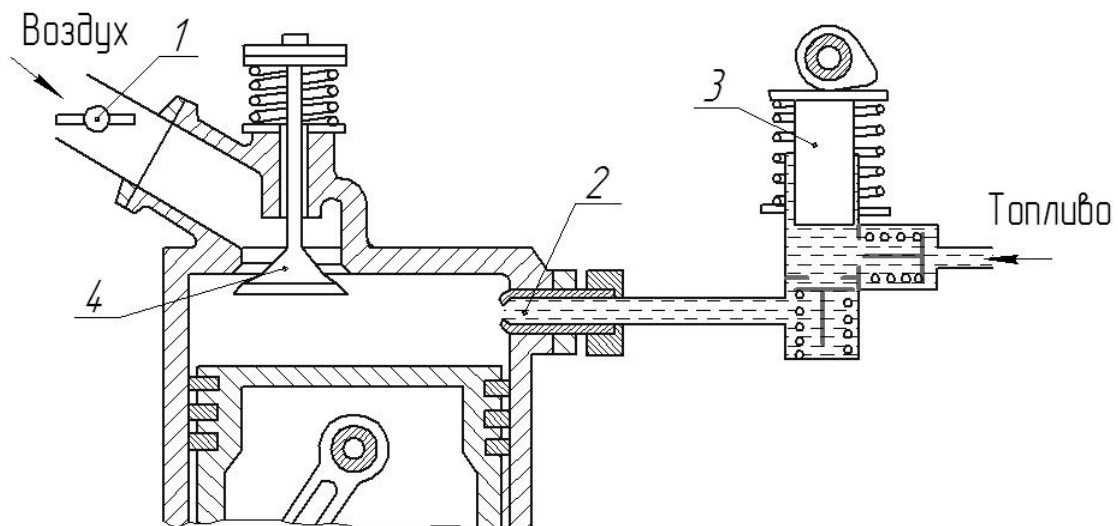


Рис. 8.38. Схема непосредственного впрыска топлива в авиационном двигателе:
1- дроссельная заслонка; 2- форсунка; 3- насос; 4- впускной клапан

В двигателях с непосредственным впрыском топлива в цилиндры засасывается только воздух, а топливо впрыскивается внутрь каждого цилиндра через форсунку, ввернутую в стенку камеры сгорания. Топливо впрыскивается насосом под давлением 15,0...30,0 МПа в такте наполнения. Такты сжатия, расширения и выхлопа протекают в этих двигателях так же, как и в карбюраторных /3/.

В систему питания двигателей с непосредственным впрыском входят /2/: насос, регулятор смеси, воздухоотделитель, форсунки и топливопроводы. На рис. 8.39 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. Этот регулятор автоматически дозирует впрыскиваемое в цилиндры количество топлива в соответствии с массовым зарядом воздуха, поступающим в данный цилиндр. Применяемые при непосредственном впрыске насосы и форсунки по устройству аналогичны насосам и форсункам авиационных дизелей.

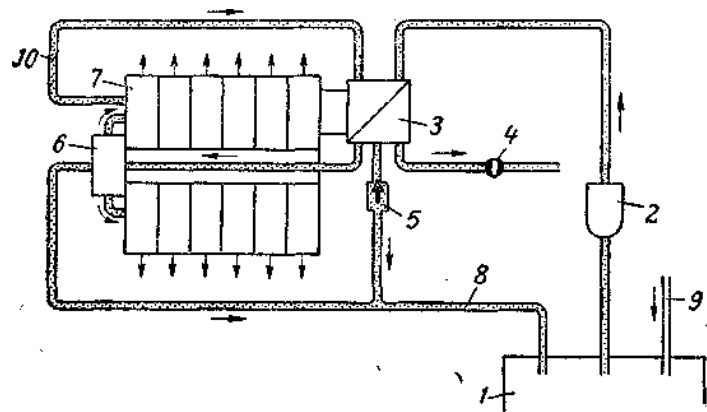


Рис. 8.39. Принципиальная схема подачи топлива в авиационном ДВС с непосредственным впрыском его в цилиндры двигателя

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 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.

Внешними признаками детонации в двигателе являются: уменьшение мощности, металлический стук (звон), черный дым на выхлопе, увеличение удельного расхода топлива, повышение температуры головок цилиндров и перегрев плохо охлаждаемых мест в камере сгорания (электроды свечей, поршень), снижение температуры выхлопных газов.

Имеется ряд способов, позволяющих довольно успешно предотвращать детонацию. Так, склонность к детонации тем меньше, чем быстрее сгорает смесь в камере сгорания. Следовательно, укорачивая пути пламени, например, располагая свечу в центре камеры сгорания или даже применяя две свечи (при большом диаметре цилиндра), можно успешно бороться с детонацией. Большое значение имеет также правильное и равномерное охлаждение камеры сгорания, при котором в камере сгорания не будет перегретых точек, что уменьшит возможность возникновения детонации. Для предупреждения детонации может быть использовано завихрение смеси при ее сгорании. Оно быстро распространяет горение по всей массе смеси в камере сгорания, и смесь сгорает в более короткое время. Наконец, благоприятно действует обогащение смеси и уменьшение опережения зажигания. Все эти методы в свое время использовались для борьбы с детонацией в авиационных двигателях.

Однако, наиболее действенной мерой является правильный подбор топлива. Склонность к детонационному горению зависит от химического состава и структуры углеводородов, входящих в состав топлива.

При одинаковом топливе, одинаковой форме камеры сгорания, при одном и том же числе оборотов, одинаковом составе смеси α , одним словом, при всех одинаковых условиях склонность топлива к детонации зависит от степени сжатия ϵ . Чем выше степень сжатия в данном двигателе, тем больше вероятность возникновения детонации.

Антидетонационные свойства топлива в авиации, как и для автомобилей, оценивают октановым числом. Современные авиационные двигатели работают на топливах с октановым числом 90...95, а иногда и выше.

Высокая теплотворная способность. Очевидно, что удельный расход высококалорийного топлива при прочих равных условиях будет ниже, чем удельный расход топлива с более низкой теплотворностью. Следовательно, ниже расход топлива и меньше величина его заправки.

Стабильность. Большинство авиационных топлив представляет собой смесь различных углеводородов. Такая смесь может с течением времени расслаиваться и менять свой химический состав в условиях эксплуатации самолетов. От авиационных топлив требуется, чтобы они оставались во всей своей массе совершенно однородными. Топливо не должно разлагаться, и в нем не должны образовываться соединения, способные оседать в системе топливоподачи.

Испаряемость. Для карбюраторных двигателей и двигателей с впрыском, работающих на легком топливе, это свойство имеет очень большое значение. От испаряемости топлива сильно зависят пусковые качества двигателя, т. е. легкость его запуска, а также надежность работы.

Низкая температура замерзания. 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 очень быстро закроют все фильтры и сечения бензопроводов, и двигатель остановится. В авиационных поршневых двигателях применяются топлива, замерзающие при температуре не

выше -60°C .

Нейтральность. Авиационное топливо не должно содержать веществ, агрессивно воздействующих на материалы деталей двигателя.

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. Добавление этилового спирта ($96\dots99^{\circ}$) к бензину и к бензино-бензоловой смеси применяется в странах, не имеющих собственных месторождений нефти. Обычно вводят в смесь не более 50% спирта. 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 с температурой кипения 152°C . Если применение ТЭС в автомобильных двигателях в большинстве стран мира запрещено, то к авиационным двигателям этот запрет формально не относится, поскольку они загрязняют верхние слои атмосферы. 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. Действие ТЭС весьма эффективно. Так, 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 содержатся, кроме ТЭС, некоторые бромистые и хлористые соединения, а также красители, добавляемые для распознавания бензина, в который добавлена эта ядовитая жидкость. 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 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 изооктаном.

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. 8.2. Характеристики авиационных бензинов

Показатели	Б-95/130 ГОСТ 1012-72	Б-91/115 ГОСТ 1012-72	Б-92 ТУ 38.401-58-47-92
Содержание тетраэтилсвинца, г/1 кг бензина, 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	42947·10 ³	42947·10 ³	42737·10 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 ³ , 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. Определение обязательно
Содержание фактических смол, мг/100 см ³ 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 параоксидафениламина, %	0,002-0,005	0,002-0,005	-
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-оксида-фениламин 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 180⁰С, 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 215⁰С, давление насыщенных паров - не более 500 мм.рт.ст. Сравнение этих данных показывает, что из-за наличия сходных низкокипящих фракций (начало кипения у обоих бензинов от 40⁰С) 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 возникать 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 АШ-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.

8.3.6. Системы зажигания авиационных поршневых двигателей

В авиационных двигателях легкого топлива зажигание ТВС производится электрической искрой. Электрический ток высокого напряжения (10000...20000 В) подается к свече от авиационного магнето (см. рис. 8.40) /1/. С целью обеспечения надежности зажигания и улучшения условий сгорания топливовоздушной смеси на двигатель устанавливают два магнето и два комплекта свечей, т. е. по две свечи на каждый цилиндр. Каждое из двух магнето питает ток один комплект свечей во всех цилиндрах. Таким образом, даже при выходе из строя одного магнето или нескольких свечей система зажигания сохраняет работоспособность.

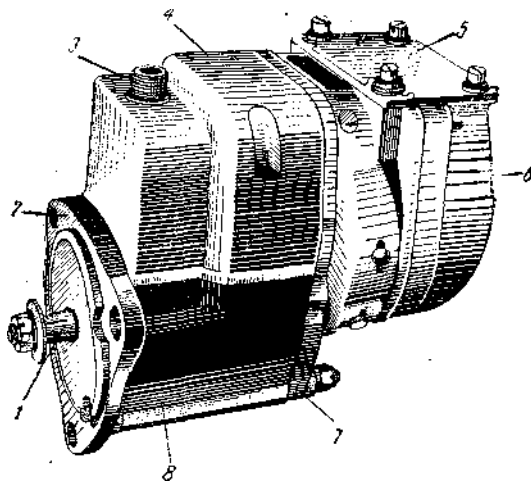


Рис. 8.40. Авиационное магнето:

1 - конец валика, вращающего ротор магнето; 2 - передняя крышка с фланцем крепления магнето к двигателю; 3 - место присоединения провода, идущего к переключателю; 4 - верхняя крышка; 5 - место присоединения экранированной проводки; 6 - экран; 7 - задняя крышка; 8 - корпус магнето

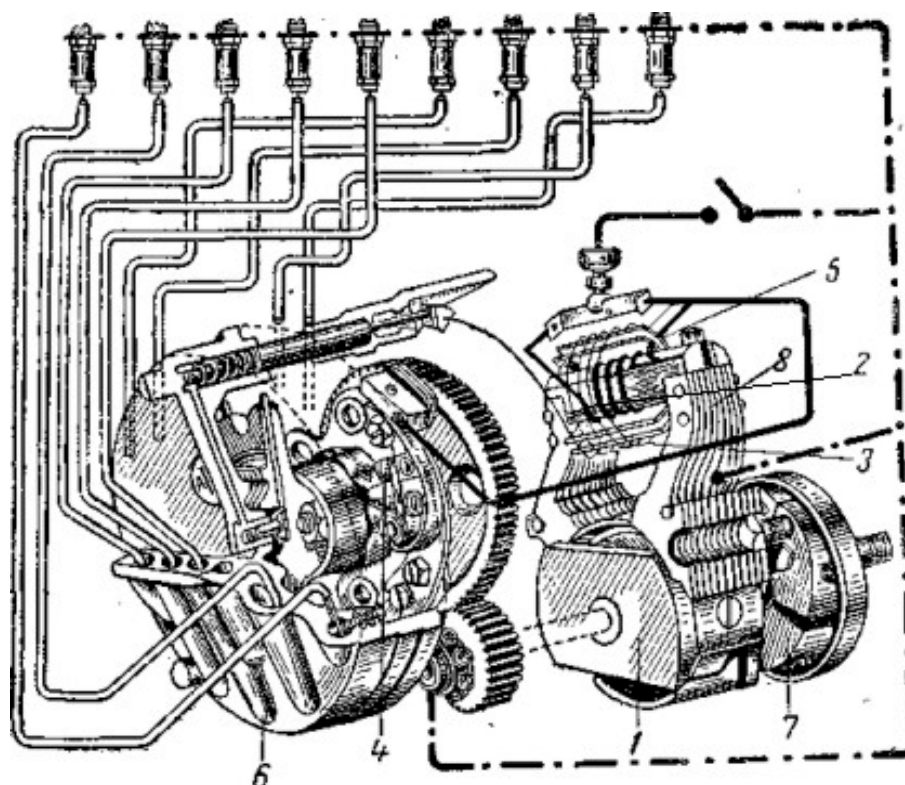


Рис. 41. Кинематическая схема магнето для 9-цилиндрового двигателя

Магнето представляет собой агрегат, в котором объединены электрический генератор тока и трансформатор с распределителем для цепи высокого напряжения. Основные части магнето следующие (рис. 8.41): ротор-магнит 1, башмаки 8, первичная обмотка 2 трансформатора, вторичная обмотка 3 трансформатора, прерыватель 4, конденсатор 5, крышка 6 распределителя и автомат опережения 7.

Ротор магнето - это постоянный магнит. При его вращении в сердечнике трансформатора создается переменный магнитный поток, возбуждающий в обмотках трансформатора электродвижущую силу. В первичной обмотке трансформатора (обмотке низкого напряжения), при замыкании контактов прерывателя на массу, возникает первичный ток низкого напряжения. В тот момент, когда сила этого тока достигает наибольшего значения, вращающийся кулачок прерывателя поворачивает рычажок прерывателя вокруг оси, и контакты прерывателя очень быстро размыкаются. При этом происходит разрыв цепи первичного тока и резкое изменение магнитного потока в сердечнике трансформатора. Конденсатор, включенный параллельно контактам прерывателя, уменьшает искрение между ними и этим способствует более резкому изменению магнитного потока, одновременно предотвращая обгорание контактов.

При изменении магнитного потока возникает (индуцируется) ток высокого напряжения во вторичной обмотке трансформатора. Этот ток подается от центрального контакта трансформатора через вывод высокого напряжения в крышку распределителя и через уголек на рабочий электрод бегунка, с которого проходит через рабочие электроды крышки распределителя по проводам к центральным электродам свечей двигателя. Между центральным и крайними электродами свечи имеется искровой промежуток – около 0,35 мм. Ток высокого напряжения пробивает этот промежуток и между электродами проскакивает электрическая искра, воспламеняющая сжатую в камере сгорания рабочую смесь. Автомат

опережения зажигания представляет собой центробежный регулятор. На рис. 8.42 показана схема зажигания 12-цилиндрового двухрядного авиационного двигателя.

При работе магнето создаются помехи для самолетного радиоприемника. С целью предотвратить эти помехи всю систему зажигания экранируют, т. е. заключают все ее части - магнето, провода и свечи - в металлические кожухи, электрически соединенные с массой двигателя.

Авиационная свеча зажигания показана на рис. 8.43. Она состоит из корпуса, изолятора и экрана. Стальной корпус 10 свечи в нижней части имеет наружную резьбу для ввертывания свечи в головку цилиндра, в верхней части - внутреннюю резьбу для установки экрана и укрепления изолятора. В нижний конец корпуса впаяны три боковых электрода 13. Для ввертывания свечи в цилиндр на корпусе имеется шестигранник. К центральному стержню 11 припаяна головка из нержавеющей стали, образующая центральный электрод 14. На центральный стержень 11 навиты тонкие слюдяные пластинки, образующие изоляционную слюдяную трубку 4. Нижнюю часть изолятора составляет комплект слюдяных шайб 12. Экран 5 представляет собой металлический цилиндр, имеющий наружную резьбу на концах и наружный шестигранник под ключ. Внутри экрана помещается слюдяная трубка 1, набранная из слюдяных пластинок. Изолятор вставляется в корпус свечи и закрепляется экраном, ввертываемым сверху в корпус.

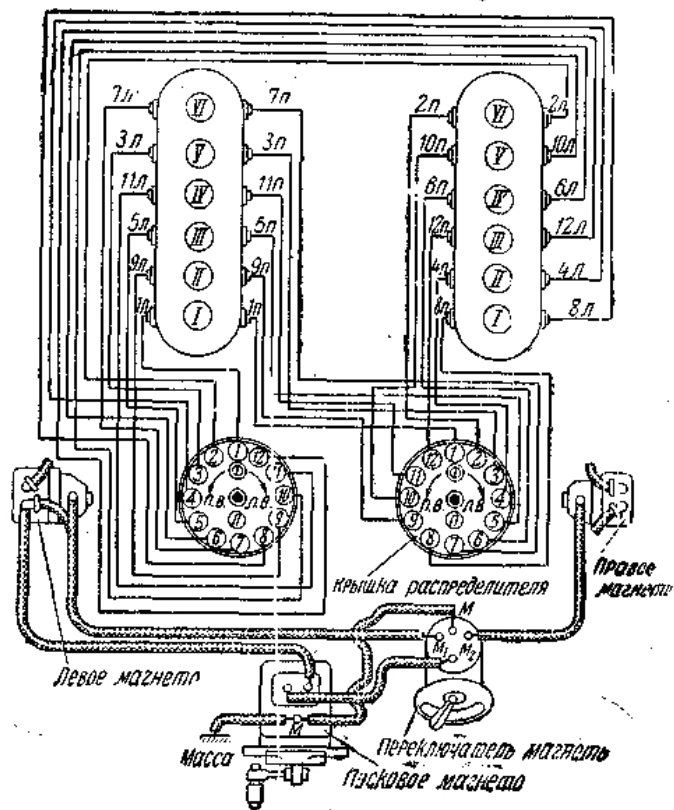


Рис. 8.42. Схема зажигания 12-цилиндрового двухрядного авиационного двигателя

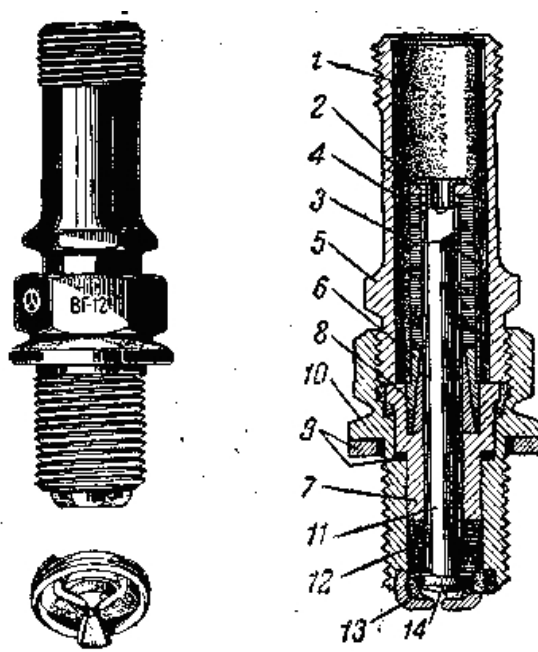


Рис. 8.43. Авиационная свеча зажигания

1 - слюдяная изоляционная трубка; 2 - стальная шайба; 3 - комплект слюдяных шайб; 4 - слюдяная изоляционная трубка; 5 - экран; 6 - стальная обжимная трубка; 7 - втулка изолятора; 8 - латунная уплотнительная трубка; 9 - прокладочные шайбы; 10 - корпус свечи; 11 - центральный стержень; 12 - комплект слюдяных шайб; 13 - боковые электроды; 14 - центральный электрод

Ток высокого напряжения от магнето поступает по проводу через контактное устройство, проходит по центральному стержню к центральному электроду 14 и далее через воздушный зазор величиной $0,3...0,4$ мм между центральным и боковыми электродами. Для изготовления изоляторов в авиационных запальных свечах применяют не только слюду, но и керамические материалы.

Ротор рабочего магнето связан шестернями с коленчатым валом, следовательно, вращается только во время работы двигателя. Поэтому для запуска двигателя приходится иметь на самолете дополнительное пусковое магнето. При запуске двигателя летчик вращает рукоятку пускового магнето, которая через шестеренчатый привод связана с ротором. По принципу работы пусковое магнето ничем не отличается от рабочего. Ток высокого напряжения от пускового магнето по проводу подводится к распределителю одного из рабочих магнето и далее идет к свече того цилиндра, в котором к этому времени должна произойти вспышка.

На более совершенных авиационных двигателях использовались контактные системы с катушками зажигания, а затем и бесконтактные системы, аналогичные описанным ранее в разделе 3.6.

8.3.7. Редукторы

Так как мощность двигателя находится в прямой зависимости от числа циклов, завершающихся в единицу времени (а значит, и от числа оборотов вала), то для повышения мощности стараются увеличивать число оборотов коленчатого вала двигателя. Авиационные двигатели работают на оборотах не меньше 2000 об/мин. Если бы воздушные винты, диаметр которых обычно не меньше 3 м, вращались с тем же числом оборотов что и коленчатый вал двигателя, то скорость концов лопастей с учетом скорости полета самолета превышала бы критическую скорость (т. е. скорость звука), из-за чего резко уменьшается КПД воздушного винта. Для избежания этого между воздушным винтом и коленчатым валом двигателя ставят редуктор, понижающий число оборотов винта.

По конструкции различают два основных типа редукторов - соосные и со смещенными осями /1/. 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.

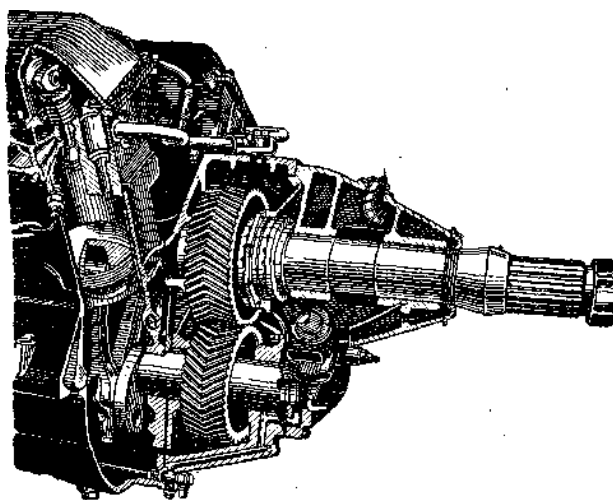


Рис. 8.44. Редуктор двигателя АМ-38

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.

На рис. 8.44 показан редуктор авиационного двигателя АМ-38, в котором передача выполнена при помощи пары цилиндрических шестерен, одна из которых (малая) напрессована на коленчатый вал двигателя, а большая упруго соединяется с валом редуктора спиральными амортизационными пружинами.

В редукторе за счёт трения теряется 1,5...2,0 % мощности двигателя, но эта потеря с избытком окупается повышением КПД воздушного винта. Поэтому все без исключения современные мощные авиационные двигатели снабжены редукторами. У автомобильных

двигателей по назначению 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.

8.3.8. Использование турбонаддува для обеспечения работы двигателя на высоте

Как известно, плотность воздуха уменьшается с высотой над уровнем моря. В двигатель, работающий на определенном режиме, поступает за каждый ход наполнения примерно постоянный объём воздуха. Следовательно, по мере увеличения высоты полёта массовый заряд воздуха уменьшается. Известно, что мощность двигателя прямо пропорциональна этому заряду, т.е. с подъёмом на высоту она будет снижаться, причём очень значительно /1/.

На рис. 8.45 показан пример изменения мощности конкретного ДВС по высоте полёта (при постоянном числе оборотов). Видно, что на высоте около 5 км мощность уменьшается вдвое, а на высоте 7 км - почти втрое. Пунктирная линия изображает изменение плотности воздуха. Эта линия проходит выше графика мощности. Следовательно, эффективная мощность авиационного двигателя с высотой уменьшается (при постоянном числе оборотов) быстрее, чем плотность воздуха. Это происходит потому, что механические потери в двигателе не зависят от высоты, и по мере снижения индикаторной мощности, составляют все большую её часть.

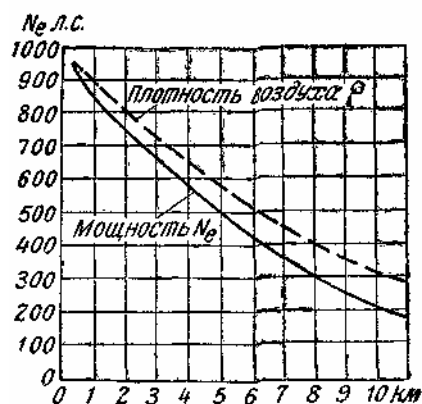


Рис. 8.45. Изменение мощности авиационного двигателя с ростом высоты полета

Вместе с тем, с точки зрения аэродинамики, на большой высоте летать выгоднее, так как из-за уменьшения плотности воздуха уменьшается и лобовое сопротивление самолета. Поскольку сила тяги воздушного винта уравнивает именно силу лобового сопротивления, то ясно, что на большой высоте и не требуется мощность двигателя, аналогичная той, которую он развивает на уровне моря. Следовательно, на большой высоте расход топлива в двигателе будет существенно ниже. Но сила лобового сопротивления самолёта с подъёмом на высоту снижается не столь значительно, как мощность ДВС.

Для решения этой проблемы необходимо повышать давление на входе в двигатель при его уменьшении в окружающей среде. Эта задача решается с помощью наддува /1/. Суть его в том, что какое-либо устройство (например, компрессор-нагнетатель), сжимает атмосферный воздух перед поступлением его в цилиндры.

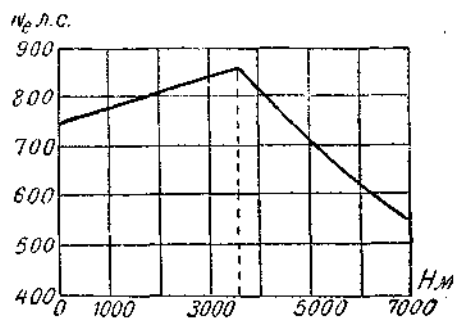


Рис. 8.46. Высотная характеристика двигателя с наддувом, действующим до высоты более 3500 м

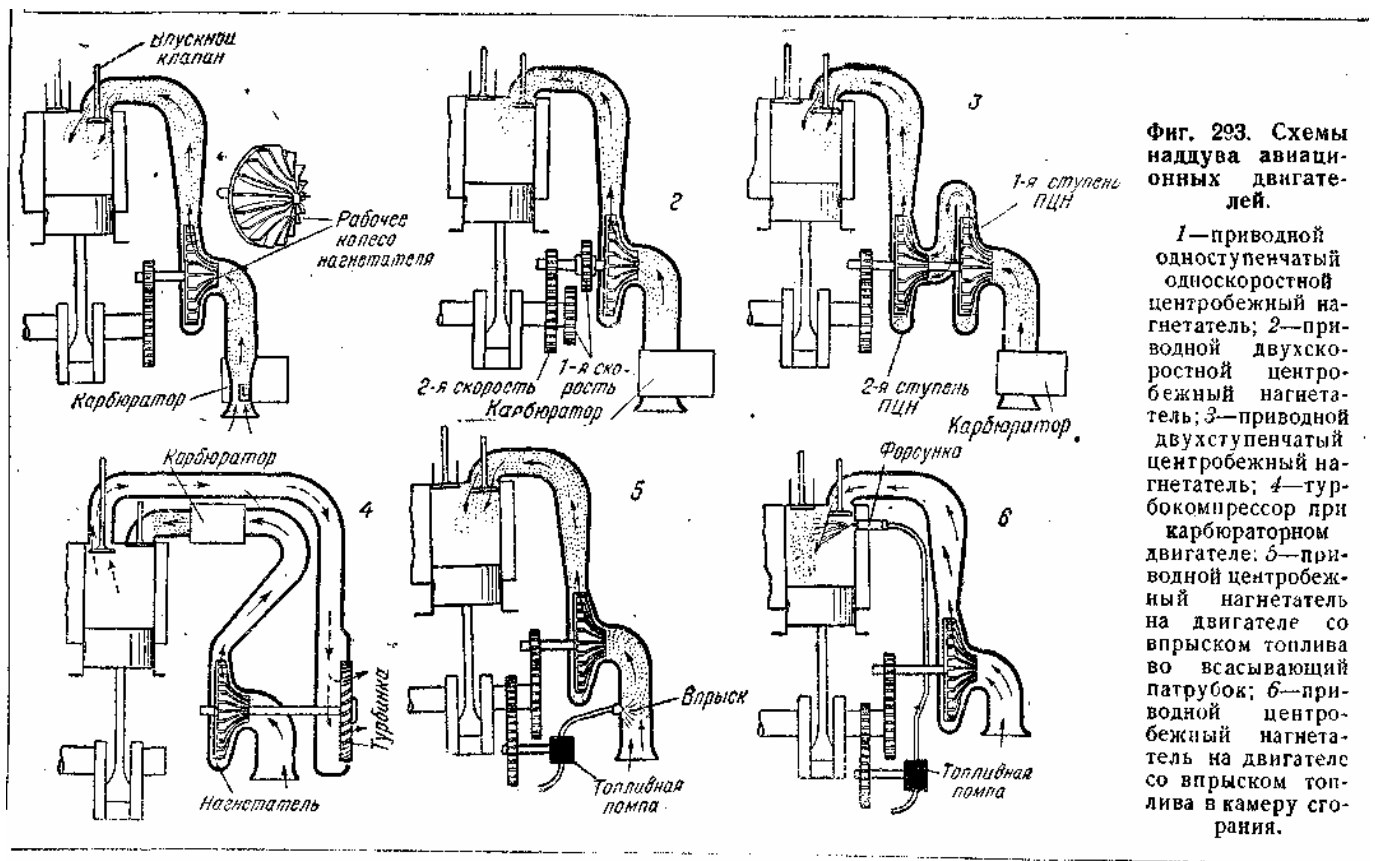
По мере усовершенствования авиационных двигателей стали использовать нагнетатели не только для увеличения высотности двигателя, но и для повышения его мощности у земли (что впоследствии было заимствовано автомобилестроением).

Высота, до которой нагнетатель при нормальном числе оборотов обеспечивает заданное давление во всасывающем трубопроводе, называется расчетной высотой или высотностью двигателя. На меньших высотах нагнетатель может создать во всасывающем трубопроводе более высокое давление. Так, если нагнетатель на высоте 5000 м повышает вдвое давление, равное на этой высоте около 0,05 МПа, и доводит его до 0,1 МПа, то у земли такой нагнетатель также повысит давление почти вдвое, т.е. доведет его почти до 0,2 МПа, что повысит мощность мотора более чем в полтора раза. На этом режиме двигатель может разрушиться, так как детали его не рассчитаны на такую нагрузку. Поэтому высотные двигатели на высотах ниже расчетной дросселируют, чтобы во всасывающем трубопроводе поддерживалось постоянное давление, предусмотренное конструкцией двигателя. Но в случаях крайней нужды (тяжелые условия взлета, воздушный бой на малой высоте) летчик располагает возможностью на короткое время повысить мощность двигателя (форсировать его), приоткрывая дополнительно дроссель и повышая тем самым давление на впуске. При этом увеличивается плотность топливоздушного заряда, поступающего в двигатель, и мощность двигателя возрастает приблизительно пропорционально повышению давления.

Мощность ДВС с наддувом при постоянном числе оборотов, с подъемом на высоту, сначала несколько увеличивается, что объясняется понижением температуры воздуха. Это увеличение мощности может составлять 3...4% на каждую тысячу метров до расчетной высоты. Расчетная высота является границей, выше которой нагнетатель уже не может поддерживать нужную величину давления на впуске, и мощность двигателя снижается.

На рис. 8.46 показана типичная высотная характеристика авиационного двигателя с высотностью около 3700 м. Наиболее типичные схемы установки нагнетателей на авиационных двигателях показаны на рис. 8.47 /1/.

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.8.48. Такие нагнетатели называются приводными центробежными нагнетателями (ПЦН).



Фиг. 293. Схемы наддува авиационных двигателей.
 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 со впрыском топлива во всасывающий патрубок; 6—приводной центробежный нагнетатель на двигателе со впрыском топлива в камеру сгорания.

Рис. 8.47. Схемы наддува авиационных двигателей:

- 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

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. Такие нагнетатели называются турбокомпрессорами. Их выгодно применять в комбинации с ПЦН в качестве второй ступени наддува.

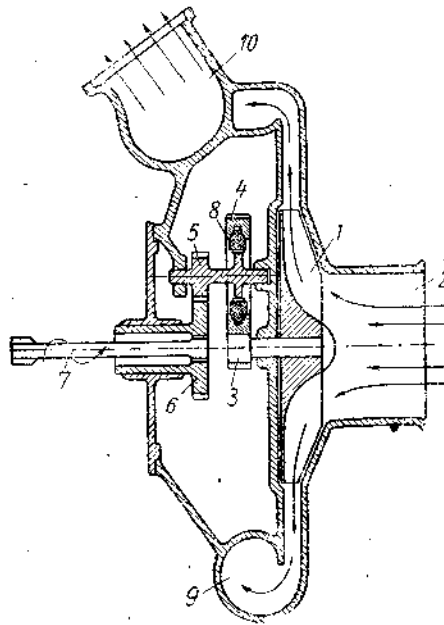


Рис. 8.48. Схема центробежного авиационного нагнетателя с приводом от коленчатого вала двигателя:

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

Турбокомпрессор (сокращенно ТК) представляет собой центробежный нагнетатель с регулируемым числом оборотов, приводимый во вращение турбиной, работающей на выхлопных газах мотора. На рис. 8.49 показана установка турбокомпрессора на V-образном двигателе. 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.

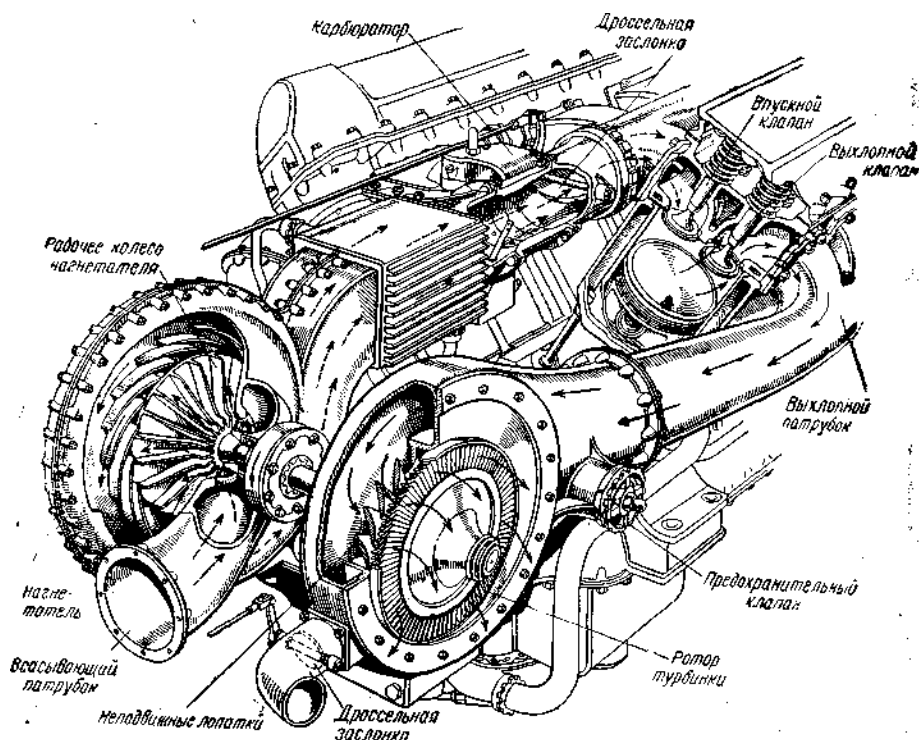


Рис. 8.49. Установка турбокомпрессора на V-образном двигателе

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.

Поднять давление на впуске также 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/ч 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.

8.3.9. Пусковые устройства

Средства запуска авиационных двигателей делятся на аэродромные и бортовые, т.е. находящиеся на борту самолета /1/.

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. 8.50). 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 часто применяется система запуска сжатым воздухом. На рис. 8.51 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.

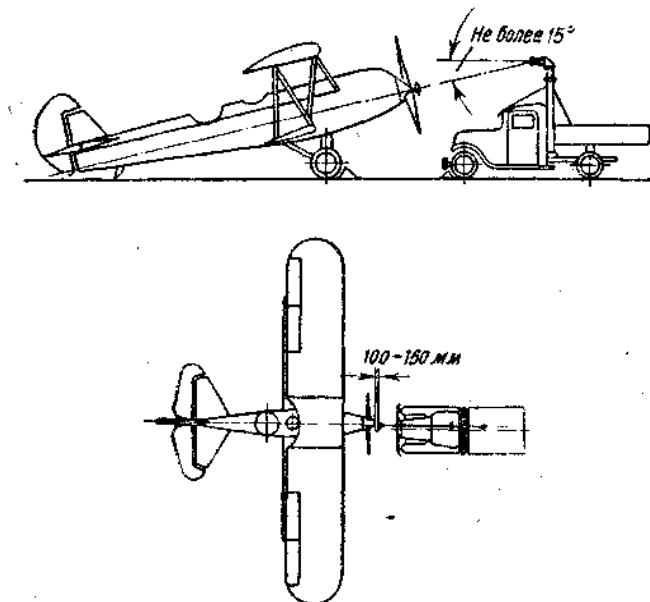


Рис. 8.50. Запуск авиационного двигателя при помощи автостартера

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.

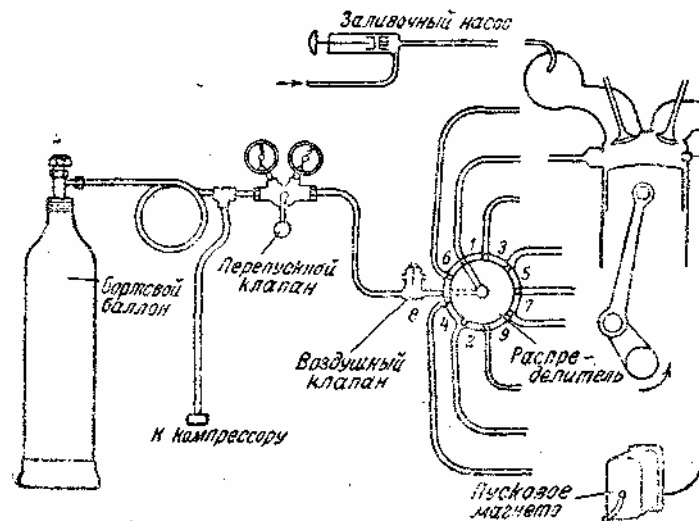


Рис. 8.51. Схема запуска авиационного двигателя сжатым воздухом

Хотя сжатый воздух поступает в распределитель под давлением 2,0...3,0 МПа, давление в цилиндре, в момент поступления туда сжатого воздуха, не превышает 1,0...1,5 МПа, поскольку происходит расширения воздуха в самом распределителе, трубопроводах и в камере сгорания. Пятилитровым баллоном, в котором воздух сжат до 15,0 МПа, можно в нормальных условиях запустить современный мощный двигатель не более 3-4 раз. Чтобы возможность запуска двигателя не была ограничена ёмкостью баллона, на двигателе устанавливают воздушный компрессор, связанный шестеренчатой передачей с коленчатым валом. Этот компрессор во время работы двигателя все время сжимает воздух, пополняя баллон. Излишек воздуха выпускается через редукционный клапан в атмосферу.

Кроме запуска сжатым воздухом, для авиационных двигателей применялись инерционные стартеры с ручным приводом или раскручиваемые электромотором.

Принцип действия инерционного стартера заключается в следующем. Массивный маховик при помощи шестеренчатого мультипликатора, с большим передаточным числом, приводится во вращение и раскручивается до тех пор, пока наберет скорость 10000...12000

об/мин. По достижении нужного числа оборотов маховик автоматически сцепляется с храповиком коленчатого вала двигателя через специальную муфту и заставляет вал проворачиваться со скоростью около 100 об/мин. На современных авиационных двигателях используются электростартеры, подобные автомобильным.

8.3.10. Авиационные дизельные двигатели

Первые попытки создания авиационного дизеля относятся к 1915...1916 гг., но летные испытания он прошел только в 1929 г. Это был американский четырехтактный девятицилиндровый авиационный дизель «Паккард» мощностью 225 л. с. (рис. 8.52). При его испытаниях было выяснено, что он расходует топлива значительно меньше, чем бензиновый двигатель такой же мощности, но надежность этого двигателя оказалась недостаточной. Поэтому дизель «Паккард» не нашел применения, хотя и явился объектом широких испытаний и исследований, положивших начало серьезным работам по созданию мощных авиационных дизелей.

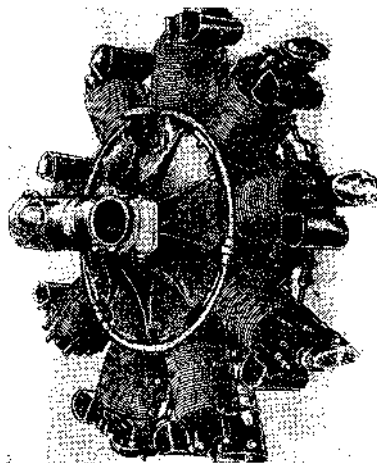


Рис. 8.52. Авиационный дизель «Паккард»

К началу второй мировой войны во многих странах с развитой авиационной промышленностью были созданы образцы авиадизелей с мощностью до 750 л.с. Но эти дизели не приняли широкого участия в боевых операциях, так как к этому времени произошел резкий скачок в развитии бензиновых авиационных двигателей, который позволил повысить их мощность и высотность. Поэтому конкурировать с ними дизели не могли.

Основным преимуществом дизельного двигателя является его топливная экономичность. Он потребляет топлива примерно на 20% меньше, чем бензиновый двигатель той же мощности. Еще одно преимущество авиационного дизеля в том, что он работает на более доступном и более дешевом топливе - на керосине или газойле. Наконец, дизельное топливо труднее испаряется, и поэтому воспламеняемость его хуже, что делает самолеты с дизелями менее опасными в отношении пожара. Известны случаи, когда при пожаре на самолетах с авиационными дизелями пламя охватывало топливные баки и на них обгорала краска, но дизельное топливо в баках не воспламенялось.

Вместе с тем авиационный дизель примерно на 50% тяжелее бензинового двигателя. Это объясняется повышенными давлениями в цилиндрах, следовательно, и повышенной прочностью и массивностью всех деталей, воспринимающих газовые нагрузки. В связи с этим этого удельная масса авиадизелей (масса, приходящаяся на единицу мощности) почти в полтора раза выше, чем у бензиновых двигателей. Но, как в авиационных, так и в автомобильных дизелях этот недостаток конструкторы сумели компенсировать улучшением рабочего процесса и усовершенствованием конструкции двигателя. В частности, в дизелях чаще использовался двухтактный цикл (см. рис. 8.53) вместо четырехтактного, что позволяло при прочих равных условиях увеличить мощность двигателя в 1,5...1,7 раза. Двухтактный

цикл не применим в бензиновых авиационных двигателях из-за высоких термических нагрузок на поршни и большого расхода топлива, так как пришлось бы продувать двигатель смесью топлива с воздухом. В дизеле, который засасывает не смесь топлива с воздухом, а чистый воздух, продувка цилиндра не вызывает повышенного расхода топлива.

Для обеспечения самовоспламенения топлива в дизелях применяют степени сжатия в 2 - 3 раза большие, чем в авиационных бензиновых двигателях. Это, по сути, и является причиной экономичности этих двигателей и высокого значения их коэффициента полезного действия. У дизелей эффективный КПД равен 0,35...0,40, в то время как у лучших бензиновых двигателей он не превышает 0,30...0,32.

Детонация в дизеле исключена в силу самой природы самовоспламенения мелко распыленного топлива от сжатия: в дизеле топливо воспламеняется сразу во многих точках, по всему объему камеры сгорания. По своему устройству авиационный дизель близок к автомобильному дизелю и значительно отличается от бензинового двигателя.

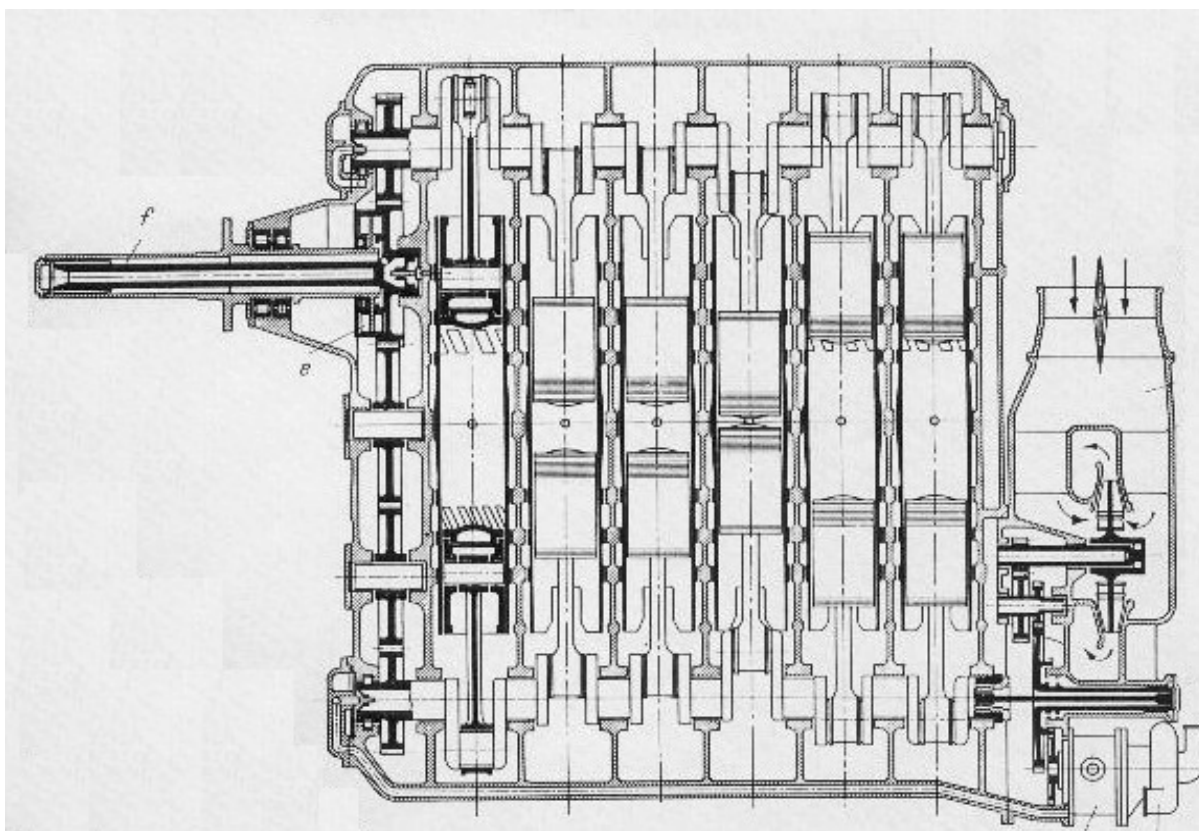


Рис. 8.53. Авиационный двухтактный 6-цилиндровый 12-поршневой двухвальный дизельный двигатель жидкостного охлаждения с вертикальным расположением цилиндров и встречно-движущимися поршнями фирмы «Юнкерс»

8.4. 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. 8.54 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.

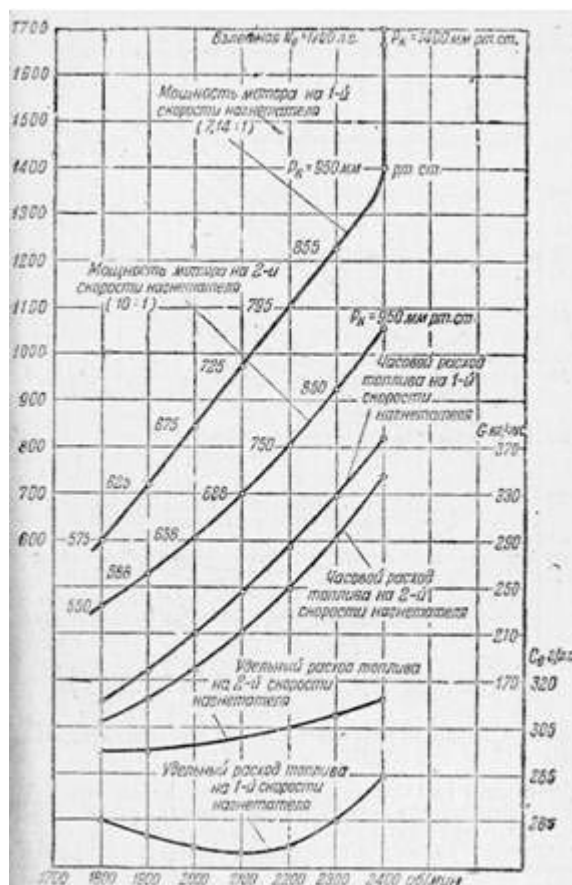


Рис. 8.54. Дроссельные характеристики двигателя АШ - 82

На рис. 8.55 и 8.56 представлены характеристики этого двигателя по давлению наддува при работе у земли. Характеристики по наддуву дают информацию о величине мощности мотора и расходе топлива в зависимости от изменения величины наддува при постоянном числе оборотов (с винтом изменяемого шага).

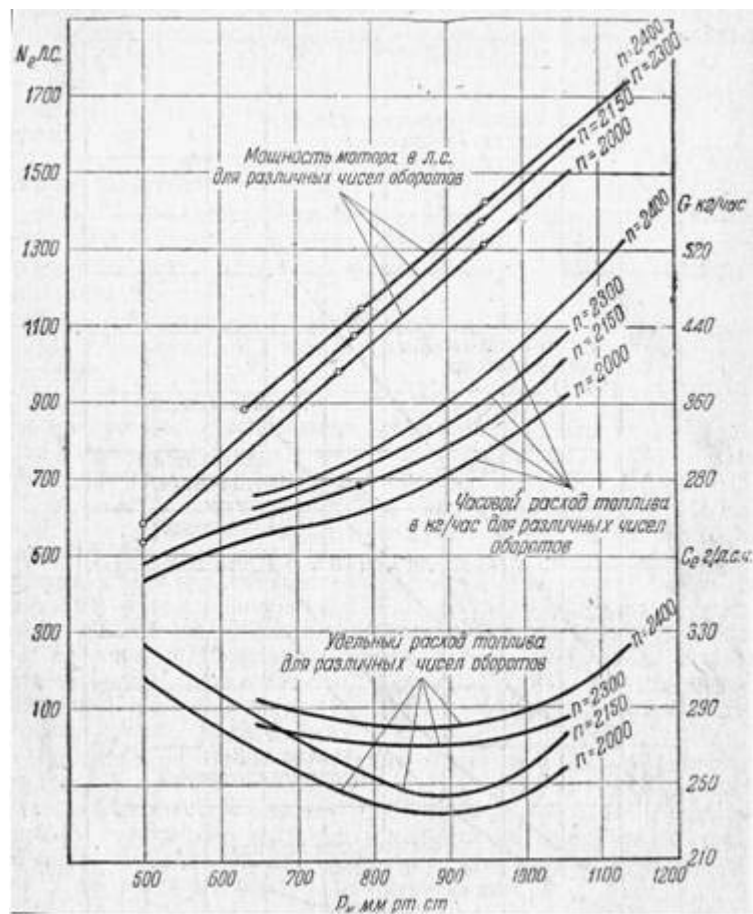


Рис. 8.55. Характеристики по наддуву при работе на первой скорости нагнетателя

На рис. 8.57 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. 8.57, 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).

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.

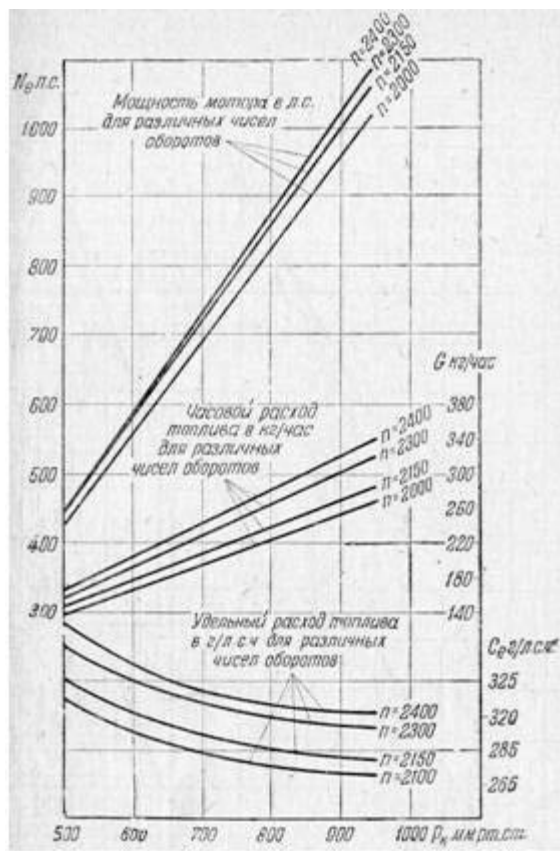


Рис. 8.56. Характеристики по наддуву при работе на второй скорости нагнетателя

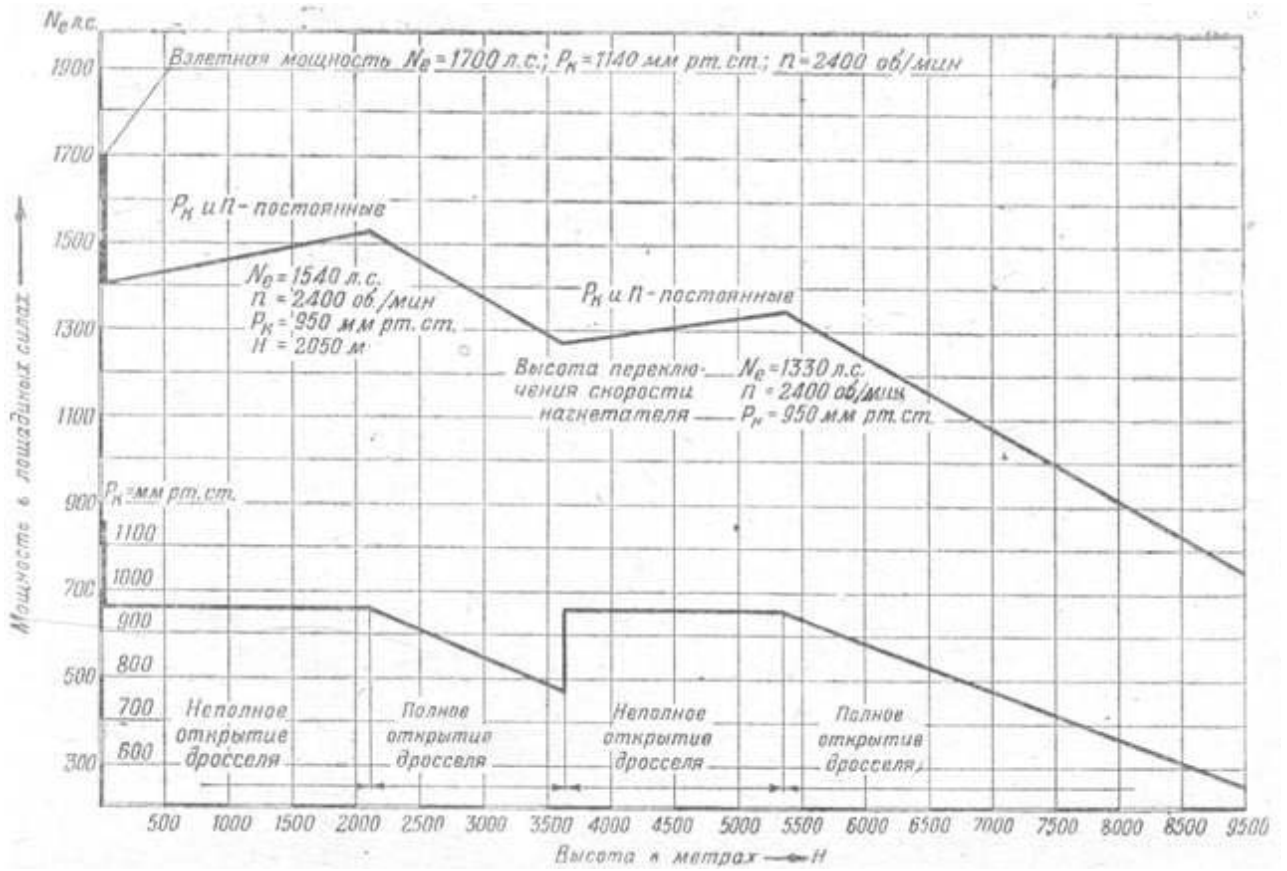


Рис. 8.57. Высотная характеристика двигателя АШ - 82

Контрольные вопросы

1. Какие требования выдвигаются к авиационным поршневым двигателям?
2. Каковы основные конструктивные отличия авиационных поршневых двигателей от автомобильных?
3. Как обеспечивается поддержание мощности авиационного двигателя на высоте?
4. Каковы режимы работы авиационного поршневого двигателя?
5. Какие схемы наддува авиационных поршневых двигателей вы знаете?
6. Какими преимуществами и недостатками обладают центробежный нагнетатель и турбокомпрессор?
7. В чем отличия авиационных и автомобильных бензинов для поршневых двигателей?
8. Какие характеристики используют для авиационного поршневого двигателя?

Список использованной литературы

1. *Попов В. А.*. Основы авиационной техники. М.: Оборонгиз. Главная редакция авиационной литературы, 1947. - 624 с.
2. *Никитин Г. А., Баканов Е. А.*. Основы авиации. М.: Транспорт, 1984. - 264 с.
3. *Кулагин И. И.*. Теория авиационных двигателей лёгкого топлива. Изд-во ЛКВВИА. Ленинград, 1946. - 287 с.
4. Ресурс двигателя автомобиля ВАЗ. Газета «Семь Верст» № 9 /(203), 2003.

Глоссарий

Б

Безотказность – свойство двигателя или его конструктивных элементов непрерывно сохранять работоспособность в течение определенного времени или пробега транспортного устройства. Для оценки безотказности применяются следующие основные показатели: вероятность безотказной работы; вероятность отказа; плотности вероятности безотказной работы; средняя наработка до отказа; средняя наработка на отказ; интенсивность отказов; параметр потока отказов; ведущая функция потока отказов.

В

Внезапный отказ – отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значений одного или нескольких параметров двигателя (например, гидроудар).

Внешняя скоростная характеристика двигателя – зависимость выходных показателей двигателя от частоты вращения коленчатого вала при полном открытии топливopодpождеющего органа и изменяющейся нагрузке на двигатель.

Восстановление – процесс перевода двигателя или его конструктивных элементов из неисправного состояния в исправное.

Восстанавливаемый конструктивный элемент – объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления предусмотрено нормативно-технической и конструкторской документацией.

Д

Деградационный отказ – отказ, обусловленный естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации.

Дефект – обобщённое событие, включающее в себя и повреждение, и отказ.

Долговечность – свойство двигателя сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, при установленной системе проведения работ ТО и ремонта.

И

Индикаторная мощность двигателя N_i – мощность, развиваемая газами в цилиндрах. Индикаторная мощность больше эффективной мощности двигателя на величину потерь на трение и привод вспомогательных механизмов.

Исправное состояние (исправность) – состояние двигателя, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

К

Конструктивный отказ – отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования или конструирования двигателя.

Конструктивный элемент – предмет определённого целевого назначения (агрегат, система, механизм, узел и деталь).

Л

Литровая мощность двигателя N_l – отношение эффективной мощности к литражу (рабочему объёму двигателя, выраженному в литрах). Характеризует интенсивность рабочих процессов в двигателе.

М

Массовая мощность двигателя N_e – отношение эффективной мощности двигателя к его массе.

Мощность “нетто” – мощность, рассчитанная для серийной комплектации двигателя.

Мощность “брутто” – мощность, рассчитанная для комплектации двигателя без некоторого серийного навесного оборудования, где расходуется мощность (воздухоочиститель, глушитель, вентилятор системы охлаждения и т.д.).

Н

Наработка – продолжительность работы двигателя или его конструктивных элементов.

Невосстанавливаемый конструктивный элемент – объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления не предусмотрено нормативно-технической и конструкторской документацией (например, разрушение блока при обрыве шатуна в местности, удаленной от сервисного центра).

Независимый отказ – отказ, обусловленный отказами других конструктивных элементов двигателя (например, задиры в цилиндропоршневой группе из-за выхода из строя системы смазки).

Неисправное состояние (неисправность) – состояние двигателя, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Необслуживаемый конструктивный элемент – объект, для которого проведение ТО не предусмотрено нормативно-технической и конструкторской документацией.

Неработоспособное состояние (неработоспособность) – состояние двигателя, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. Неработоспособный двигатель всегда неисправен, а работоспособный может быть и исправным.

Неремонтируемый конструктивный элемент – объект, ремонт которого невозможен или не предусмотрен нормативно-технической, ремонтной и (или) конструкторской (проектной) документацией (например, ремень генератора, термостат и т.д.).

Номинальная эффективная мощность двигателя $N_{e\text{ ном}}$ – эффективная мощность, гарантированная заводом-изготовителем на несколько сниженной частоте вращения коленчатого вала. По величине меньше максимальной эффективной мощности двигателя. Уменьшена за счет искусственного ограничения частоты вращения коленчатого вала по соображениям обеспечения заданного ресурса двигателя.

О

Объем камеры сгорания V_c – объем пространства над поршнем при его положении в ВМТ.

Обслуживаемый конструктивный элемент – объект, для которого проведение ТО предусмотрено нормативно-технической и (или) конструкторской документацией (например, обслуживаемая аккумуляторная батарея).

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния автомобиля. Различают следующие виды отказов: конструктивный отказ, производственный (или технологический) отказ, эксплуатационный отказ, независимый отказ, внезапный отказ и постепенный отказ, сбой, перемежающийся отказ, явный отказ, скрытый отказ, деградационный отказ, ресурсный отказ.

П

Перемежающийся отказ – многократно возникающий самоустраивающийся отказ одного и того же характера (например, пропадание-возникновение контакта в электрооборудовании двигателя).

Повреждение – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния конструктивного элемента двигателя при сохранении работоспособного состояния.

Полный объем цилиндра V_a – это объем пространства над поршнем при нахождении его в НМТ. Очевидно, что полный объем V_a цилиндра равен сумме рабочего объема V_h цилиндра и объема V_c камеры сгорания, т.е. $V_a = V_c + V_h$.

Постепенный отказ – отказ, возникающий в результате постепенного изменения значений одного или нескольких параметров двигателя (например, износ цилиндропоршневой группы при соблюдении всех правил эксплуатации).

Предельное состояние – состояние двигателя или его конструктивного элемента, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна. Наступает при превышении допустимых пределов эксплуатационных параметров, в том числе и времени эксплуатации. При достижении предельного состояния требуется ремонт конструктивного элемента или двигателя в целом. Недопустимость и нецелесообразность эксплуатации автомобильного двигателя, достигшего предельного состояния, может быть обусловлена, например, возрастанием токсичности отработавших газов (ОГ), шумов, вибраций, расходов топлива, масла и т.д..

Производственный (технологический) отказ – отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта двигателя.

Р

Работоспособное состояние (работоспособность) – состояние двигателя, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Рабочий объем цилиндра V_h – это объем пространства, освобождаемого поршнем при перемещении его от верхней мертвой точки (ВМТ) до нижней мертвой точки (НМТ).

Рабочий объем цилиндров (литраж двигателя) V_d – эта величина определяется как сумма рабочих объемов всех цилиндров, т.е. это произведение рабочего объема одного цилиндра V_h на количество цилиндров i : $V_d = V_h \cdot i$. Измеряется V_d в литрах или куб. дм.

Ремонт – процесс перевода двигателя или его конструктивных элементов из неработоспособного состояния в работоспособное.

Ремонтируемый конструктивный элемент – объект, ремонт которого возможен и предусмотрен нормативно-технической, ремонтной и (или) конструкторской (проектной) документацией.

Ремонтопригодность (или эксплуатационная технологичность) – свойство двигателя, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов (повреждений) и поддержанию (восстановлению) работоспособного (исправного) состояния путем проведения ТО и ремонтов. Для оценки ремонтопригодности применяют основные показатели: вероятность восстановления; гамма-процентное время восстановления; среднее время восстановления; интенсивность восстановления; средняя трудоемкость восстановления. Для характеристики ремонтопригодности двигателя и его конструктивных элементов используется еще частные относительные показатели – легкокость и доступность.

Ресурс – суммарная наработка двигателя или его конструктивных элементов от начала эксплуатации или её возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Ресурсный отказ – отказ, в результате которого двигатель или его конструктивный элемент достигают предельного состояния.

С

Сбой – самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством (попадание воды на элементы системы зажигания, с нарушением работы этой системы до высыхания воды).

Скрытый отказ – отказ, не обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования, но выявляемый при проведении ТО или специальными методами диагностирования.

Смена технических состояний двигателя – это повреждения, отказы, дефекты.

Сохраняемость – свойство двигателя сохранять показатели безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения или транспортирования. Для оценки сохраняемости применяют следующие основные показатели: средний срок сохраняемости и гамма-процентный срок сохраняемости. Эти показатели применяют для двигателей при длительном их хранении (консервации) и транспортировании; для топлив, масел, охлаждающих жидкостей и некоторых видов изделий и запасных частей при их хранении (резиновые изделия и аккумуляторные батареи).

Срок службы – календарная продолжительность от начала эксплуатации двигателя (его конструктивных элементов) или её возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Степень сжатия ε – это отношение полного объема V_a цилиндра к объему V_c камеры сгорания, т.е.
$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{(V_h + V_c)}{V_c}$$
. Степень

сжатия показывает во сколько раз уменьшается полный объем цилиндра двигателя при перемещении поршня из НМТ в ВМТ. Степень сжатия – величина безразмерная. В бензиновых двигателях $\varepsilon = 6,5 \dots 11$, в дизельных $\varepsilon = 14 \dots 23$.

Т

Техническая диагностика – наука, разрабатывающая методы исследования технического состояния двигателя и его конструктивных элементов, а также принципы построения и организацию использования систем диагностирования.

Техническое диагностирование – процесс определения технического состояния конструктивных элементов двигателя с определённой точностью.

Техническое обслуживание (ТО) – направленная система технических воздействий на конструктивные элементы двигателя с целью обеспечения его работоспособности.

У

Удельный эффективный расход топлива g_e – отношение часового расхода топлива к эффективной мощности двигателя (г/кВт·ч).

Х

Ход поршня S и диаметр D цилиндра определяют размерность двигателя. Если отношение S/D меньше или равно единице, то двигатель называют короткоходным, если больше – длинноходным. Большинство современных автомобильных двигателей - короткоходные.

Э

Эксплуатационный отказ – отказ, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации двигателей (например, заправка топливом марки, не предназначенной для данного двигателя).

Эффективная мощность двигателя N_e – мощность, развиваемая на коленчатом валу. Измеряется в киловаттах (кВт), но бытует и прежняя единица измерения - лошадиная сила (л.с.).
(1 л.с. = 1,36 кВт).

Эффективная мощность двигателя может быть определена по формулам:

$$\text{а) } N_e = \frac{M_{\kappa} n}{9570}, \text{ кВт;} \quad \text{б) } N_e = \frac{M_{\kappa} n}{716,2}, \text{ л. с.,}$$

где M_{κ} – крутящий момент двигателя, (Н·м) для формулы а), и (кг·м) для формулы б);

n – частота вращения коленчатого вала, мин^{-1} (об/мин)

Я

Явный отказ – отказ, обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования.

Сведения об авторах.

1. [Лукачев](#) Сергей Викторович, профессор, д. т. н., заведующий кафедрой «Теплотехника и тепловые двигатели» СГАУ.
2. [Матвеев](#) Сергей Геннадьевич, доцент, к. т. н., начальник ПФУ СГАУ.
3. [Орлов](#) Михаил Юрьевич, доцент, к. т. н., доцент кафедры «Теплотехника и тепловые двигатели» СГАУ.
4. [Ковылов](#) Юрий Леонидович, доцент, к. т. н., доцент кафедры «Теплотехника и тепловые двигатели» СГАУ.
5. [Голстоногов](#) Арлен Петрович, профессор, к. т. н., доцент кафедры «Теплотехника и тепловые двигатели» СГАУ.

Телефон контакта: 335-18-12.