

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический
университет им. И. И. Ползунова»

А. Е. Свистула

ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Допущено научно-методическим советом АлтГТУ
для внутривузовского использования в качестве учебного пособия
для студентов, обучающихся по специальности
140501 «Двигатели внутреннего сгорания»
направления подготовки 140500 «Энергомашиностроение»

Изд-во АлтГТУ
Барнаул • 2009

УДК 621.43

Свистула, А. Е. Двигатели внутреннего сгорания : учебное пособие / А. Е. Свистула; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2009. – 81 с.

ISBN 978-5-7568-0765-3

В данном пособии изложена история создания тепловых двигателей, история развития кафедры ДВС АлтГТУ, классификация ДВС, принципы работы, устройство отдельных узлов и систем двигателей, изложены методы снижения токсичности вредных выбросов. Приведен обзор предприятий и фирм, выпускающих ДВС в России и за рубежом.

Для студентов специальности 140501 «Двигатели внутреннего сгорания» направления подготовки 140500 «Энергомашиностроение».

Рецензенты:

А. Л. Новоселов, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автомобили и тракторы» АлтГТУ;

Ю. Г. Верстухин, главный конструктор ОАО «ПО Алтайский моторный завод»;

А. В. Тюняев, Заслуженный работник высшей школы РФ, к.т.н., профессор АлтГТУ

Допущено научно-методическим советом АлтГТУ для внутривузовского использования в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по специальности 140501 «Двигатели внутреннего сгорания» направления подготовки 140500 «Энергомашиностроение».

Протокол № 04 от 17 декабря 2008 г.

ISBN 978-5-7568-0765-3

© Алтайский государственный технический университет
им. И. И. Ползунова, 2009

© А. Е. Свистула, 2009

Содержание

Введение	4
1 История ДВС	4
2 Термины, понятия и определения.....	13
3 Классификация поршневых ДВС. Маркировка.....	17
4 Рабочие циклы 4- и 2-тактных ДВС и способы их осуществления ...	21
5 Топлива, смазочные масла, охлаждающие жидкости для двигателей	25
6 Устройство поршневого ДВС	33
7 Роторно-поршневые двигатели	46
8 Газотурбинные двигатели.....	50
9 Двигатели внешнего сгорания Стирлинга	58
10 Вредные выбросы ДВС. Методы снижения токсичности	61
11 Производство двигателей в России и за рубежом	69
Рекомендуемая литература.....	80

Введение

Дисциплина «Введение в специальность» является составной частью цикла специальных дисциплин, дает первоначальные сведения о выбранной специальности, предшествует изучению дисциплин «Теория рабочих процессов ДВС», «Основы научных исследований ДВС», «Системы двигателей», «Конструкция и расчет ДВС» и других.

Студенты изучают учебный план по специальности, знакомятся с научными работами ведущих ученых кафедры, историей создания тепловых двигателей, осваивают принципы работы и устройство тепловых двигателей.

Успешное освоение дисциплины предполагает самостоятельную подготовку по каждой теме по конспектам лекций, основной и дополнительной литературе и настоящей работе.

1 История ДВС

В 1765 г. паровая машина впервые была построена русским механиком И. И. Ползуновым, но ранняя смерть прервала дальнейшие его работы.

В 1786 – 1790 гг. английскому механику Д. Уатту удалось построить и приспособить паровую машину для непосредственного вращения вала. До конца XIX в. паровые машины являлись практически единственными тепловыми двигателями, применявшимися в промышленности и на транспорте. Они были громоздки и малоэкономичны, но работали на любом виде топлива. Еще в начале XX в. паровые машины использовали даже на автомобилях. Над совершенствованием паровых автомобилей работы продолжались и во второй половине прошлого столетия, продолжают они и в наше время в связи с поисками возможностей замены нефтяных топлив. На смену паровым машинам пришли более совершенные двигатели – паровые турбины и двигатели внутреннего сгорания.

Попытки создания поршневых двигателей внутреннего сгорания предпринимались еще в конце XVIII в., первый работоспособный двигатель был построен французским механиком Ж. Ленуаром только в 1860 г. Двигатель работал на светильном газе без сжатия смеси в цилиндре, вследствие чего имел низкий коэффициент полезного действия (4,6 %).

Широкое практическое применение двигатели внутреннего сгорания нашли лишь после того, как немецкий механик Н. Отто в 1877 г.

осуществил предварительное сжатие смеси в цилиндре (4-тактный цикл), благодаря чему эффективность таких двигателей резко повысилась. По показателям двигатель Отто превосходил паровые машины.

Стационарные двигатели, работавшие на керосине и тяжелых топливах, появились в 1884 – 1890 гг. Зажигание было калоризаторным. В России их называли «нефтянками».

В 1890 г. в Москве завод Бромлея начал выпуск 4-тактных калоризаторных двигателей.

В 1908 г. в России началось производство газовых двигателей на Коломенском, а затем на других заводах.

В 1892 г. Р. Дизель получил патент на двигатель внутреннего сгорания нового типа, рассчитанный на использование жидкого топлива (керосина). Изобретатель предложил нагревать воздух в цилиндре путем сжатия до температуры, при которой мелко распыленное впрыскиваемое топливо могло бы самовоспламеняться и сгорать по мере поступления в цилиндр, причем по его замыслу двигатель должен был работать без охлаждения стенок цилиндра. Последующий опыт, однако, не подтвердил возможность создания в то время двигателя без охлаждения цилиндров, но идея самовоспламенения топлива оказалась плодотворной.

В 1898 г. Г. В. Тринклер предложил заменить компрессорное распыливание топлива механическим.

Двигатель с самовоспламенением смеси за счет сжатия, работающий на нефти, впервые был построен в 1899 г. на заводе Э. Нобеля в Петербурге.

В 1885 г. немецкий инженер Г. Даймлер построил двигатель с небывалой по тому времени частотой вращения вала – 800 мин^{-1} и мощностью менее 1 кВт. Этот двигатель предназначался уже для легких самодвижущихся экипажей, т. е. для транспортных средств.

Профессор МВТУ В. И. Гриневецкий в 1906 г. создал методику теплового расчета двигателя, которая давала возможность определить основные размеры двигателя в соответствии с тепловыми процессами, протекающими в цилиндре. Дальнейшее уточнение и развитие методики теплового расчета провели Н. Р. Брилинг, Е. К. Мазинг, Б. С. Стечкин, А. С. Орлин и др.

В 1912 г. А. Н. Шелест предложил схему комбинированного двигателя.

Широкую известность получили комбинированные двигатели конструкции В. Я. Климова, В. А. Константинова, А. А. Микулина, А. Д. Чаромского, А. Д. Швецова, В. М. Яковлева и др.

В 1916 г. в России строится 4 автомобильных завода: «Автомобильное московское общество» (АМО) в Москве, «Руссо-Балт» в Филях, «Русский Рено» в Рыбинске, «Акционерное общество воздухоплавания В.А.Лебедева» в Ярославле.

В 1926 созданы авиационные двигатели: АМ – А. А. Микулина, ВК – В. Я. Климова, АШ – А. Д. Швецова.

В настоящее время в народном хозяйстве успешно используют газовые турбины, идея создания которых зародилась почти одновременно с первыми попытками создания поршневых двигателей внутреннего сгорания. Построена газовая турбина была только в 1897 г. по проекту русского инженера П. Д. Кузьминского. Газовые турбины широко используют в стационарных силовых установках, в авиации, на водном и железнодорожном транспорте. Созданы также экономичные газотурбинные двигатели для легковых и грузовых автомобилей.

В 60-х гг. прошлого века настойчиво изыскивали пути использования в качестве транспортного агрегата весьма компактного работоспособного роторно-поршневого двигателя внутреннего сгорания, т. е. двигателя с вращающимся поршнем. Попытки создания простых по идее двигателей роторного типа предпринимались еще в XIX в., но успеха не имели из-за трудностей уплотнения зазоров между ротором и статором. Только в 1957 г. немецкому инженеру Ф. Ванкелю совместно с известной фирмой «NSU» удалось создать работоспособный роторно-поршневой двигатель.

Для дальнейшего повышения эффективности двигателей внутреннего сгорания в современной практике широко применяют комбинированные двигатели, в которых поршневой двигатель и газовая турбина работают на одном и том же рабочем теле, так как в газовой турбине продолжается расширение газов, вытекающих из поршневого двигателя, и энергия от них передается потребителю.

В сложившейся кризисной ситуации с моторными топливами усиленно осваивают транспортные варианты двигателей Стирлинга, работающих на любых топливах, так как камера сгорания их размещена вне цилиндров. Созданы уже приемлемые образцы тяговых агрегатов для транспортных средств. Такие двигатели были предложены ранее других, но из-за большой сложности освоение их стало возможным только на базе современной технологии машиностроения.

История автотранспортного факультета АлтГТУ и кафедры ДВС

Датой рождения Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова (АлтГТУ) считается 23 февраля 1942 года. Именно в этот день начались учебные занятия в первом техническом ВУЗе на Алтае, созданном на базе эвакуированного в декабре 1941 г. из города Запорожье (Украина) Запорожского машиностроительного института им. Чубаря (ЗМИ). Вместе с институтом из Запорожья эвакуировалась часть преподавателей и студентов с различных факультетов и специальностей. В марте 1942 года из Москвы были направлены на обучение в Барнаул 77 студентов, обучавшихся ранее по автомобильному делу. Многие из них были отозваны с фронта, поскольку в 1942 году вышел приказ Государственного комитета обороны об отзыве с фронта и военных заводов студентов старших курсов инженерных специальностей для завершения учебы. Родине нужны были **инженеры** не в меньшей степени, чем солдаты. Эти студенты и составили ядро будущего автотракторного факультета. Среди них был и Н. А. Толчинский, будущий к.т.н., профессор, возглавлявший долгие годы кафедру «Автомобили и тракторы».

С 20 июня 1942 г. Алтайский (Запорожский) машиностроительный институт подразделяется на два факультета: автотракторный и механико-технологический.

Поэтому датой рождения Автотранспортного факультета можно считать 20 июня 1942 года.

Контингент студентов в то время был в основном приезжий, многочисленный и менялся в течение года. Девушки уходили в медицинский, юноши – в Ленинградский строительный институт, эвакуированный в Барнаул. Первый выпуск инженеров состоялся 30 апреля 1943 года. Среди них были и выпускники автотракторного факультета специальности "Автомобили и тракторы". Все выпускники были направлены для работы на предприятия оборонной промышленности.

В декабре 1943 года институт был переименован в Алтайский машиностроительный (АМИ). В апреле 1944 года создается кафедра "Автомобили и тракторы" (АТ), а в 1945 году, в результате разделения кафедры "Энергетика", создается **кафедра "Двигатели внутреннего сгорания" (ДВС)**, которые и составили **ядро** автотракторного факультета!

В 1947 году (4 сентября) АМИ был преобразован в Алтайский институт сельскохозяйственного машиностроения (АИСХМ). Определи-

лись 3 факультета: тракторостроительный, литейного производства и сельскохозяйственного машиностроения.

Таким образом, произошло переименование автотракторного факультета в факультет тракторостроения.

В 50-х гг. институт размещался в шести зданиях, пять из которых имели печное отопление. Несмотря на ограниченные учебно-производственные площади, институт не только выпускал инженеров, но и вел большой объем научно-исследовательских работ. Велась научная работа и на факультете тракторостроения. В 1958 году успешно прошла полевые испытания новая конструкция гусеницы для трактора ДТ-54, разработанная группой сотрудников кафедры АТ. На кафедре сельскохозяйственного машиностроения (СХМ) был разработан и испытан аппарат для пунктирного посева зерновых и овощных культур. Кафедра ДВС активно участвовала в разработке и испытании новых конструкций двигателей на «Алтайском моторном заводе» и «Барнаул-трансмаше».

В 1959 году правительством было принято решение о значительном увеличении объемов выпуска инженерных кадров на Алтае, поскольку край стал не только аграрным, но и промышленным. В связи с этим было принято решение организовать Алтайский политехнический институт (АлтПИ) на базе АИСХМ. В это время начато строительство главного учебного корпуса.

В 1961 году институту присваивается имя И. И. Ползунова, талантливому русскому изобретателя, создателя первого в мире теплового двигателя. Факультет тракторостроения переименовывается в машиностроительный (МСФ) со специальностями АТ, ДВС и СХМ. В этом году на машиностроительном факультете открывается собственная аспирантура **по тепловым двигателям**. Это первая аспирантура в АлтПИ.

Растет вклад ученых и преподавателей факультета в решение народнохозяйственных проблем. При кафедре ДВС под руководством А. Т. Болгова создается научная лаборатория НИЛ-4, которая ведет большие научно-исследовательские работы по совершенствованию двигателей внутреннего сгорания.

Студенты МСФ не только учатся, но и занимаются спортом, проводят фестивальные вечера. На факультете зарождается театр "Калейдоскоп" под руководством выпускника кафедры ДВС **А. И. Полетаева**, студент факультета К. М. Костенко (кафедра АиАХ) становится чемпионом мира и Европы по гребле на байдарках, заслуженным мастером спорта СССР, студент кафедры СХМ В. И. Земляков – победителем Всесоюз-

ных турниров по вольной борьбе, мастером спорта СССР (с 1972 г. – преподаватель кафедры СХМ).

В 1974 году машиностроительный факультет разделяется на два: машиностроительный и автотранспортный (АТФ). Подготовка специалистов на АТФ ведется по специальностям АТ, ДВС и АиАХ.

В 1992 году в соответствии с решением коллегии Госкомвуза и распоряжением Правительства РФ за высокие достижения в подготовке кадров и фундаментальных научных исследованиях АлтПИ преобразовывается в ***Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (АлтГТУ)***. Образуются новые факультеты: факультет информационных технологий и бизнеса, гуманитарный, инженерно-экономический, военный.

Итак, кафедра «**Двигатели внутреннего сгорания**» является одной из старейших кафедр университета. История ее появления относится к тому далекому военному времени (1942 год), когда на кафедре «Энергетики и автотракторного дела» эвакуированного из Запорожья машиностроительного института началась подготовка инженеров по специальностям «Двигатели внутреннего сгорания» и «Тракторы». В 1945 году кафедра «Энергетики» разделилась на две: «ДВС» и «Автомобили и тракторы».

В 1962 году в Алтайский политехнический институт приказом Минвуза РСФСР из Томского политехнического института была переведена специальность ДВС вместе со студентами, оборудованием, библиотечным фондом и частью сотрудников. Ежегодный выпуск специалистов по всем формам обучения вырос до 70 – 80 человек.

Заведующим кафедрой ДВС (Томск-Барнаул) был избран бывший заведующий кафедрой ДВС Томского политехнического института, известный специалист в области динамики ДВС, доктор технических наук, профессор **Вячеслав Константинович Нечаев**.

До 1965 года кафедра ДВС и ее лаборатории ютились в непригодных для таких целей классах школы № 22 по ул. Интернациональной. В 1965 году в эксплуатацию был сдан учебно-производственный корпус. Кафедра ДВС получила в нем значительные учебно-производственные площади, на которых в течение 3-х последующих лет были осуществлены: постройка двух звукоизолированных моторных боксов, монтаж ряда учебных и исследовательских установок. Кафедра к 1972 году располагала наилучшей материальной базой по сравнению со сходными кафедрами ДВС других вузов Урала и Сибири.

В конце 60-х – середине 70-х гг. благодаря широкой известности Нечаева В. К. в научных и вузовских кругах, были установлены тесные деловые и личные контакты сотрудников кафедр ДВС вузов г. Москвы (МВТУ, МАМИ, МАДИ), г. Ленинграда (ЛПИ), г. Челябинска (ЧПИ, ЧИМЭСХ), г. Харькова (ХПИ, ХИИЖТ), г. Новочеркаска и многих других городов. Возросшая научная и методическая эрудиция преподавателей кафедры, успешная деятельность аспирантуры позволила многим сотрудникам кафедры и института защитить кандидатские диссертации (Л. В. Нечаев, Д. Д. Матиевский, Э. И. Брякотин, А. Л. Новоселов, И. Ф. Ефремов, А. В. Тюняев, Ю. С. Ворона, В. А. Синицын, А. А. Балашов, А. Е. Свистула, А. В. Гладышев, В. И. Дудкин, Г. В. Пыжанкин, Г. Н. Кобелев, С. П. Кулманаков, А. Г. Кузьмин, В. Ю. Русаков, Е. А. Герман и др.). Ряд выпускников кафедры позже защитили докторские диссертации: Д. Д. Матиевский, А. Л. Новоселов, В. Е. Бажин, А. С. Павлюк, Л. М. Жмудяк, В. С. Попович, В. А. Вагнер, В. А. Синицын, В. С. Кукис, А. Е. Свистула и др.)

С 1978 года кафедру ДВС возглавляет Заслуженный деятель науки и техники, академик Академии транспорта РФ, академик Академии экологии и природопользования, д.т.н., профессор **Дмитрий Дмитриевич Матиевский**.

В 80-е гг. в системе высшего образования происходят существенные изменения, направленные на дальнейшее сближение вузов с производством и научными организациями. Следуя этим тенденциям, кафедра открывает на ОАО "ПО Алтайский моторный завод" и ОАО ХК "Барнаултрансмаш" свои филиалы и переводит проведение части занятий по специальным программам целевого назначения (ЦИПС) в эти филиалы. К ведению занятий в филиалах привлечены ведущие специалисты заводов.

В настоящее время кафедра готовит высококвалифицированных инженеров для Алтайского моторного завода, завода "Барнаултрансмаш", Алтайского завода топливной аппаратуры, Алтайского завода прецизионных изделий и др. промышленных и научных организаций Алтайского края и России.

Профессорско-преподавательский состав кафедры: д.т.н., профессор Д. Д. Матиевский (заведующий кафедрой), д.т.н., профессор В. А. Синицын (проректор по учебной работе); д.т.н., профессор А. Е. Свистула; д.т.н., профессор П. К. Сеначин; к.т.н., профессор Э. И. Брякотин; д.т.н., профессор А. А. Балашов; к.т.н., доцент Г. В. Пыжанкин (заместитель декана); к.т.н., доцент С. П. Кулманаков;

к.т.н., доцент А. Г. Кузьмин; к.т.н., доцент М. Э. Брякотин, к.т.н., доцент А. А. Зуев, к.т.н., доцент Е. А. Герман и др.

Научная работа кафедры

На настоящий момент сформировались несколько научных направлений, объединенных одной темой "Исследование быстроходных транспортных ДВС с целью повышения их мощностных, экономических, экологических показателей, увеличения надежности и долговечности":

1. Физико-технические аспекты создания экономичного и малотоксичного двигателя; рук. – академик, д.т.н., профессор Д. Д. Матиевский, д.т.н., профессор А. Е. Свистула.

2. Исследование показателей рабочего процесса и систем газобмена быстроходных дизелей с наддувом; рук. – академик, д.т.н., профессор Д. Д. Матиевский, к.т.н., доцент Г. В. Пыжанкин.

3. Исследование рабочего процесса дизелей при работе на альтернативных топливах; рук. – академик, д.т.н., профессор Д. Д. Матиевский, к.т.н., доцент С. П. Кулманаков.

4. Разработка МиниТЭЦ и энергосбережение; рук. – академик, д.т.н., профессор Д. Д. Матиевский, к.т.н., доцент А. Г. Кузьмин.

5. Исследование теплообмена и теплонапряженности ДВС; рук. – д.т.н., профессор В. А. Сеницын, к.т.н., доцент А. Г. Кузьмин.

6. Исследование и совершенствование двухтактных быстроходных бензиновых двигателей общего назначения; рук. – д.т.н., профессор А. А. Балашов, к.т.н., доцент А. Г. Кузьмин, к.т.н., доцент Е. А. Герман.

7. Математическое моделирование воспламенения и сгорания топлива в ограниченных объемах и камерах сгорания ДВС; рук. – академик, д.т.н., профессор Д. Д. Матиевский, д.т.н., профессор П. К. Сеначин, д.т.н., профессор А. Е. Свистула.

Квалификация

Инженер-механик по специальности "Двигатели внутреннего сгорания" подготовлен для проектно-конструкторской и исследовательской, производственно-технической, организационно-управленческой деятельности в области двигателестроения и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания в соответствии с полученной специализацией.

Он может работать в научных, конструкторских и проектных организациях, на промышленных предприятиях в первичных должностях,

предусмотренных типовыми номенклатурами должностей, для замещения специалистами с высшим образованием.

Учебный план

Учебный план дневной формы обучения рассчитан на 5 лет и предусматривает изучение следующих дисциплин, сгруппированных по циклам.

1. Цикл общих гуманитарных и социально-экономических дисциплин. Объем – 1800 ч.

Дисциплины: иностранный язык, физическая культура, отечественная история, философия, экономика, правоведение, социология, основы предпринимательства, культурология, русский язык и культура речи, политология.

2. Цикл общих математических и естественно-научных дисциплин. Объем – 2200 ч.

Дисциплины: математика, информатика, общая физика, термодинамика и тепломассообмен, химия, экология, теоретическая механика, геометрическое моделирование и основы САПР, инженерная компьютерная графика.

3. Цикл общепрофессиональных дисциплин. Объем – 2060 ч.

Дисциплины: начертательная геометрия и инженерная графика, материаловедение и технология конструкционных материалов, механика, механика материалов и конструкций, детали машин и основы конструирования, метрология, стандартизация и сертификация, электротехника и электроника, безопасность жизнедеятельности, механика жидкости и газа, энергетические машины и установки, экономика и управление предприятием, автотракторные установки, методы проектирования технических систем.

4. Цикл специальных дисциплин. Объем – 1752 ч.

Дисциплины: теория рабочих процессов и моделирования процессов в ДВС, конструирование ДВС, основы научных исследований и испытаний ДВС, автоматическое регулирование и управление ДВС, химмотология, динамика двигателей, системы двигателей, агрегаты наддува двигателей.

Дисциплины специализации: введение в специальность, автотракторные ДВС, технология двигателестроения, специальные ДВС, основы экологии ДВС, применение альтернативных топлив, теплообмен в ДВС, эксплуатация и ремонт ДВС, электрооборудование ДВС, техническая диагностика, техническое обслуживание ДВС.

5 Факультативы. Объем – 450 ч.

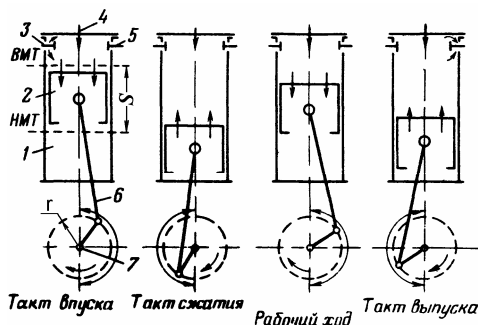
Дисциплины по военной подготовке.

Учебным планом предусмотрено прохождение учебной, производственной, преддипломной практики.

Студентам за время обучения предстоит выполнить 8 курсовых проектов, 16 расчетных заданий, сдать не менее 36 экзаменов и 41 зачет, а, в итоге, на 5 курсе выполнить и защитить выпускную квалификационную работу – дипломный проект.

2 Термины, понятия и определения

Мертвые точки. При перемещении поршня в цилиндре различают два крайних его положения: наиболее удаленное от оси коленчатого вала (рисунок 2.1) – **верхняя мертвая точка (ВМТ)**, и минимально удаленное от оси коленчатого вала – **нижняя мертвая точка (НМТ)**.



1 – цилиндр; 2 – поршень; 3, 5 – впускной и выпускной клапаны;

4 – свеча или форсунка; 6 – шатун; 7 – коленчатый вал

Рисунок 2.1 – Рабочий цикл четырехтактного ДВС

Ход поршня (S) – перемещение поршня от ВМТ до НМТ или обратно. Для нормального кривошипно-шатунного механизма ход поршня соответствует половине оборота коленчатого вала и равен двум радиусам кривошипа ($S = 2r$). При $S/D < 1$ двигатель называют *короткоходным*, при $S/D = 1$ – *квадратным*; при $S/D > 1$ – *длинноходным*.

Средняя скорость поршня $C_m = S n / 30$, м/с.

Рабочий цикл – комплекс последовательных процессов, периодически повторяющихся в каждом рабочем цилиндре и обуславливающих работу двигателя.

Такт – рабочие процессы, совершаемые в течение одного рабочего хода (часть рабочего цикла).

Рабочий объем – объем, описываемый поршнем за ход при его перемещении от ВМТ до НМТ, $V_h = (\pi D^2/4) \cdot S$, л; D – диаметр цилиндра, дм.

Объем камеры сжатия (сгорания) V_c – объем внутренней полости цилиндра при положении поршня в ВМТ.

Полный объем $V_a = V_h + V_c$ – объем внутренней полости цилиндра при положении поршня в НМТ, л.

Литраж двигателя – сумма рабочих объемов всех цилиндров $V_d = V_h \cdot i$, л; i – число цилиндров.

Степень сжатия – отношение полного объема цилиндра к объему камеры сжатия $\varepsilon = V_a/V_c$. Степень сжатия у современных бензиновых и газовых двигателей лежит в пределах $\varepsilon = 6 \dots 13$, у дизелей – $\varepsilon = 13 \dots 22$. От численных значений степени сжатия зависит мощность и экономичность двигателя.

Действительная степень сжатия ε' – отношение объема полости цилиндра в момент закрытия органов газораспределения, закрывающихся последними, к объему камеры сжатия $\varepsilon' = [V_c + (1 - \psi)V_h]/V_c$, ψ – потерянная доля хода.

Коэффициент наполнения – отношение действительно поступившего заряда в цилиндр G_o к теоретически возможному при температуре T_k и давлении P_k с плотностью ρ_k , $\eta_v = G_o/(\rho_k V_h)$.

Коэффициент избытка воздуха характеризует состав горючей смеси – отношение действительного количества воздуха, поступившего в цилиндр к теоретически необходимому для полного сгорания; $\alpha = G_o/G_{теор} = G_o/(G_T l_o)$, l_o – теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 кг топлива, $l_o = 14,96$ кг воз./кг топ. – бензин, $l_o = 14,45$ кг воз./кг топ. – дизельное топливо, G_T – часовой расход топлива, кг/ч.

Индикаторные показатели – показатели цикла.

Индикаторная диаграмма – графическая зависимость давления в цилиндре от изменения объема цилиндра, хода поршня или угла поворота коленчатого вала.

Индикаторная работа цикла L_i численно равна площади (в масштабе), ограниченной индикаторной диаграммой (рисунок 2.2).

Среднее индикаторное давление – условное постоянное давление p_i , действующее на поршень и совершающее в течение одного рабочего хода работу L_i (p_i численно равно высоте прямоугольника с ос-

нованием, равным V_h и площадью, равной площади индикаторной диаграммы), $p_i = L_i / V_h$, МПа.

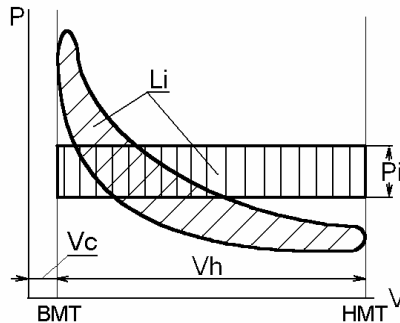


Рисунок 2.2 – Индикаторная работа цикла L_i и среднее индикаторное давление p_i

Индикаторная мощность $N_i = i V_h p_i n / (30 \tau)$, кВт.

Эффективные показатели – показатели двигателя.

Эффективная мощность N_e – мощность, получаемая на валу двигателя, кВт. $N_e = M_e n / 9550$, кВт, M_e – крутящий момент, Н·м.

Мощность механических потерь, $N_m = N_i - N_e$, кВт.

Среднее эффективное давление, $p_e = N_e 30 \tau / (i V_h n)$, МПа, τ – тактность.

Удельный эффективный расход топлива, $g_e = 1000 G_T / N_e$, г/(кВт ч), G_T – часовой расход топлива, кг/ч.

Показатели совершенства конструкции

Литровая мощность – мощность, приходящаяся на 1 л рабочего объема двигателя (литража), $N_l = N_e / V_l$, кВт/л.

Поршневая мощность – мощность, отнесенная к суммарной площади поршней,

$N_n = N_e / (i F_n)$, кВт/м², $F_n = \pi D^2 / 4$ – площадь поршня, м².

Удельная масса – масса двигателя, приходящаяся на единицу эффективной мощности, $g_N = m_{\text{дв}} / N_e$, кг/кВт, $m_{\text{дв}}$ – масса двигателя, кг.

Литровая масса – масса двигателя, отнесенная к литражу, $g_l = m_{\text{дв}} / V_l$, кг/л.

Удельная мощность – мощность, отнесенная к массе транспортного средства, $N_g = N_e / m_{\text{мп}}$, кВт/т, $m_{\text{мп}}$ – масса транспортного средства, т.

Габаритная мощность – отношение эффективной мощности к объему описанного параллелепипеда (в м³), грани которого касаются

крайних точек контура двигателя $N_{заб} = N_e / (L B H)$, кВт/м³, L, B, H – габаритные размеры, м. Однако этот показатель не является совершенным, т. к. не отражает заполненности пространства деталями и агрегатами двигателя.

Показатели токсичности

Вместе с продуктами полного сгорания в выхлопных газах (ОГ) присутствуют вредные вещества: окись углерода CO , углеводороды CH , сажа C , окислы азота NOx , соединения свинца, бенза-альфа-пирены (БАП) и др. Показателем токсичности служит концентрация вредного вещества в ОГ (% по объему или мг/м³, г/м³, мл/м³, чнм (ppm) и др.) или удельное содержание (отнесенные к 1 кВт) в г/(кВт ч).

Показатели токсичности ДВС определяются суммарными выбросами токсичных веществ на эксплуатационных режимах. Для бензиновых и газовых двигателей нормируют выбросы (концентрацию в ОГ) CO, CH, NOx , а для дизелей дополнительно – выбросы сажи (или содержание твердых частиц, т.в.ч.) или дымность.

Сравнение концентраций вредных веществ в ОГ различных ДВС приведено в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Концентрация вредных веществ в ОГ

Тип двигателя	CH , ppm	CO , %	NOx , ppm	Сажа, г/м ³
Двигатели с принудительным воспламенением	100-3500	0,2-6	400-4500	0,05
Дизели с неразделенными камерами сгорания	50-1000	0,05-0,3	200-2000	0,1-0,3
Дизели с разделенными камерами сгорания	50-300	0,03-0,05	200-1000	0,1-0,15

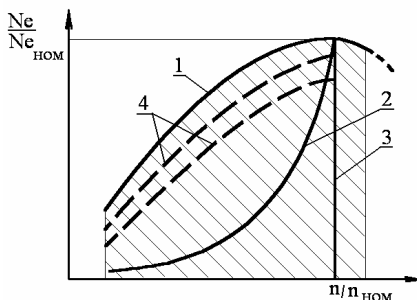
Характеристики двигателя используют для оценки мощности и экономичности двигателя при его работе в различных условиях (рисунк 2.3).

Характеристика – зависимость основных показателей двигателя (мощности, крутящего момента, расхода топлива и др.) от режима работы. Характеристики определяют опытным путем.

Режим работы характеризуют нагрузкой P_e и частотой вращения коленчатого вала n .

Скоростная характеристика – зависимость показателей двигателя при постоянном положении органов регулирования (рейки топливного насоса или дроссельной заслонки) от частоты вращения.

Внешняя скоростная характеристика – характеристика, снятая при полной подаче топлива или смеси.



1 – внешняя скоростная; 2 – винтовая; 3 – нагрузочная;
4 – частичные скоростные

Рисунок 2.3 – Характеристики двигателей внутреннего сгорания

Частичная скоростная характеристика – характеристика, снятая при неполной подаче топлива или смеси.

Винтовая характеристика – характеристика при работе двигателя на винт (авиационный или судовой).

Нагрузочная характеристика – зависимость показателей двигателя от среднего эффективного давления или мощности при постоянной частоте вращения. По нагрузочной характеристике можно определить допустимую мощность двигателя для заданной частоты вращения, выявить экономичность работы двигателя при различных нагрузках.

Регулировочные характеристики – зависимости мощности, удельного расхода топлива и др. от регулируемого параметра (угла опережения зажигания или впрыска топлива, температуры охлаждающей воды и др.)

3 Классификация поршневых ДВС. Маркировка

Поршневые ДВС можно классифицировать по наиболее характерным признакам.

1. По назначению: 1) *стационарные*, используемые для привода различного технологического оборудования; 2) *транспортные*, используемые в составе силовых агрегатов различных транспортных средств и самоходных машин.

В свою очередь, транспортные двигатели подразделяются на *судовые, тепловозные, тракторные* (включая комбайновые двигатели и

двигатели различных строительно-дорожных машин), *двигатели машин специального назначения, авиационные, автомобильные, мотоциклетные* и т. п. Каждая из этих групп отличается особенностями, обусловленными характером их эксплуатации.

2. По способу регулирования мощности: 1) с качественным регулированием; 2) с количественным регулированием.

3. По виду применяемого топлива: 1) газовые, т. е. работающие на газообразном топливе (природном, промышленном и синтетических газах); 2) двигатели, работающие на жидких топливах, имеющих легко испаряющиеся фракции (газовый конденсат, бензин, керосин, спирты, эфиры, некоторые растительные масла и другие так называемые легкие топлива); 3) двигатели, работающие на тяжелых топливах – жидких нефтяных топливах, не имеющих легко испаряющихся фракций (газойль, соляровое масло, мазут и т. п.); 4) двигатели, работающие одновременно на двух топливах с разными свойствами, например, газовом и тяжелом жидком (газодизельный процесс) или легком и тяжелом жидком топливе (бензодизельный процесс); 5) многотопливные, способные работать попеременно как на легких, так и на тяжелых нефтяных топливах. Такие двигатели называют также *всеядными*.

4. По способу смесеобразования: 1) с внешним смесеобразованием (регулирование мощности количественное); 2) с внутренним смесеобразованием (регулирование мощности качественное) (рисунок 3.1).



а – с внешним смесеобразованием; б – с внутренним смесеобразованием

Рисунок 3.1 – Схемы рабочего цикла двигателей

5. По способу воспламенения рабочей смеси: 1) с принудительным воспламенением смеси от постороннего (электрического) источника; 2) с самовоспламенением топлива от сжатия; 3) двигателя, в которых рабочую смесь легкого топлива принудительно зажигают вследствие самовоспламенения тяжелого жидкого (так называемого запального) топлива, подаваемого в цилиндр в конце хода сжатия. Такое воспламенение характерно для газо- или бензодизельного процесса.

6. По способу осуществления рабочего цикла: 1) двухтактные; 2) четырехтактные; 3) шеститактные, т. е. двигатели с двумя ходами расширения и др.

7. По способу передачи движения поршня к выходному валу: 1) с кривошипно-шатунным механизмом: тронковые и крейцкопфные; 2) без кривошипно-шатунного механизма, т. е. свободно-поршневые, с пространственным движением механизмов в виде рычагов или «качающейся» шайбы; 3) роторно-поршневые (рисунок 3.2).

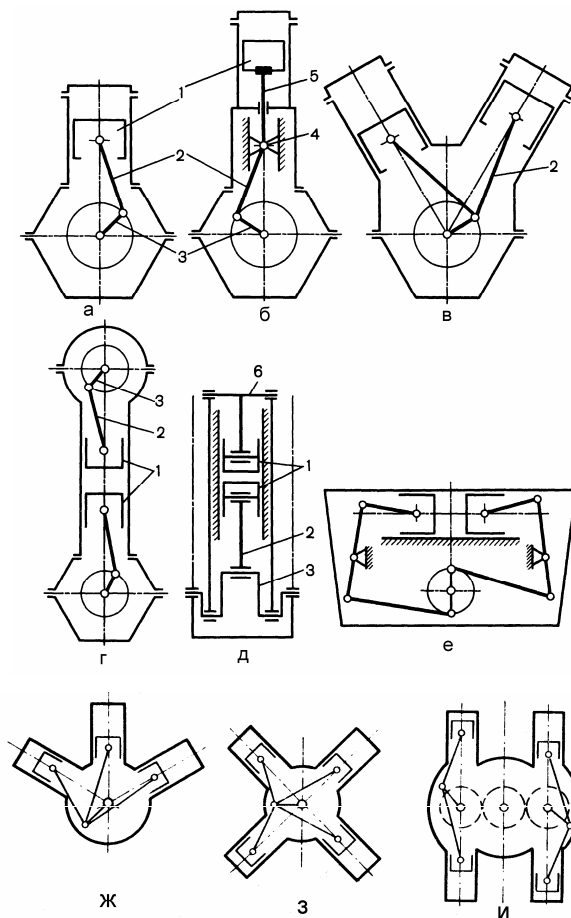
8. По способу действия: 1) двигатели простого действия, в которых рабочий цикл осуществляется только в надпоршневой полости; 2) двигатели двойного действия, в которых рабочий цикл совершается в двух полостях (с двух сторон поршня).

9. По числу и расположению цилиндров (рисунок 3.2): 1) одноцилиндровые (как правило, мотоциклетные, лодочные и др.); 2) многоцилиндровые, подразделяемые в свою очередь на однорядные одновальные (или просто рядные), многорядные (V, W, X-образные) одновальные (эти компоновки наиболее характерны для двигателей тракторного типа), однорядные двухвальные (типа «боксер»), многорядные многовальные (H, Δ, <>-образные, характерные прежде всего для двигателей быстроходных судов).

10. По способу охлаждения цилиндров: 1) с жидкостным охлаждением; 2) с воздушным охлаждением; 3) со смешанным охлаждением.

11. По степени быстроходности: 1) тихоходные двигатели со средней скоростью поршня до 10 м/с (ранее к тихоходным относили двигатели со скоростью поршня до 6 м/с); 2) быстроходные двигатели, в которых поршень имеет среднюю скорость выше 10 м/с.

12. По рабочему объему цилиндров (литражу): микролитражные автомобильные двигатели (до 1 л), малолитражные (до 2 л), среднелитражные (до 3 – 4 л) и большого литража (свыше 4 л).



1 – поршень; 2 – шатун; 3 – кривошип; 4 – крейцкопф; 5 – шток; 6 – траверса;
а – тронковый простого действия, б – крейцкопфный двойного действия;
в – двухрядный; г – двуххвальный; д, е – с пространственным КШМ;
ж – трехрядный; з – четырехрядный; и – четырехрядный двуххвальный

Рисунок 3.2 – Схемы КШМ

Маркировка

Поршневым двигателям, включая и двигатели автотракторного типа, присваивают маркировку из букв и цифр, например: 8ЧР30/38, 6ДК30/40 или 9ДКР45/60-2; 4Ч7,9/6,6 (ВАЗ – 2105) и т. д., где буквы

обозначают: Ч – четырехтактный, Д – двухтактный, ДД – двухтактный двойного действия, Р – реверсивный (направление вращения изменяется специальным реверсивным устройством), С – судовой с реверсивной муфтой, П – с редукторной передачей, К – крейцкопфный, Н – с наддувом. Первое число обозначает количество цилиндров; число над чертой – диаметр цилиндра в сантиметрах, а число под чертой – ход поршня в сантиметрах; последняя цифра в маркировке характеризует модернизацию двигателя.

4 Рабочие циклы 4- и 2-тактных ДВС и способы их осуществления

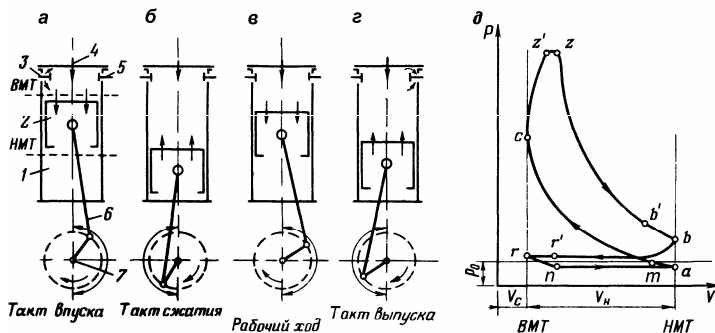
Рабочий процесс как 4-тактных, так и 2-тактных двигателей состоит из четырех элементов – газообмена, сжатия, сгорания и расширения. Все эти элементы рабочего процесса в четырехтактных двигателях осуществляются за четыре хода поршня.

При открытом всасывающем клапане и движении поршня от ВМТ к НМТ (рисунок 4.1, а, линия $r - a$) цилиндр двигателя наполняется свежей топливно-воздушной смесью (двигатели с внешним смесеобразованием) или воздухом; этот первый ход поршня называется *тактом впуска* (наполнения). Всасывающий клапан закрывается с запаздыванием (в т. m), после того как поршень пройдет НМТ и начнет движение к ВМТ. При движении поршня от НМТ к ВМТ (рисунок 4.1, б, линия $a - m - c$) осуществляются конец наполнения и сжатие при закрытых клапанах топливно-воздушной смеси до температуры T_c , меньшей температуры воспламенения топлива $T_{ст}$ (бензиновые и газовые двигатели) или воздуха до температуры T_c , большей температуры самовоспламенения топлива $T_{ст}$ (дизели). Второй ход поршня называется *тактом сжатия*.

В конце сжатия происходит воспламенение топливно-воздушной смеси от электрической искры (бензиновые, газовые двигатели) или самовоспламенение впрыснутого в цилиндр дизельного топлива (дизели). Далее поршень перемещается от ВМТ к НМТ при закрытых клапанах, осуществляются процессы сгорания $c - z' - z$, расширения $z - b$, и при открытом выхлопном клапане – выхлоп $b' - b$ (рисунок 4.1, в). Третий ход поршня называется *рабочим*.

Затем поршень двигается от НМТ к ВМТ при открытом выхлопном клапане, выталкиваются продукты сгорания (рисунок 4.1, г, линия $b - r$). Четвертый ход поршня называется *тактом выпуска* (выталкива-

ния). В конце четвертого хода при открытом выпускном клапане (он закрывается с запаздыванием в т. n после прохождения поршнем ВМТ) с опережением в т. r' , т. е. до прихода поршня в ВМТ, открывается всасывающий клапан. Таким образом, около ВМТ какой-то период времени открыты одновременно всасывающие и выпускные клапаны (перекрытие клапанов $r' - r - n$); в это время осуществляется продувка камеры сгорания цилиндра, ее интенсивная очистка от отработавших газов.



1 – цилиндр; 2 – поршень; 3, 5 – впускной и выпускной клапаны;
4 – свеча или форсунка; 6 – шатун; 7 – коленчатый вал

Рисунок 4.1 – Схемы (а – г) и рабочий процесс (д) четырехтактного ДВС

В двухтактном двигателе все четыре элемента рабочего процесса осуществляются за два хода поршня следующим образом. В начале движения поршня от НМТ к ВМТ при открытых продувочных и выпускных окнах или клапанах (рисунок 4.2, а, б) происходит продувка цилиндра (удаление оставшихся продуктов сгорания и заполнение цилиндра свежим зарядом $a - a'$). Затем продувочные, выпускные окна или клапаны закрываются, и при дальнейшем движении поршня происходит сжатие заряда ($a' - c$) до $T_c < T_{ст}$ (в бензиновых и газовых двигателях) или до $T_c > T_{ст}$ (в дизелях).

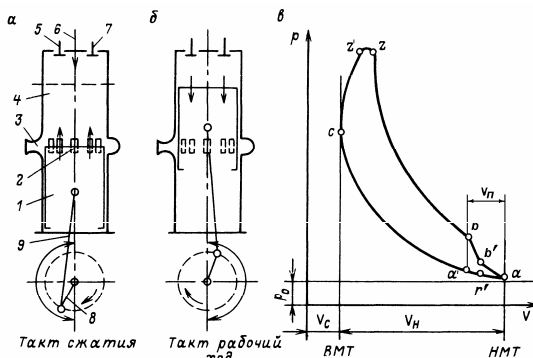
Первый ход поршня ($a - a' - c$) называется *тактом сжатия*.

В конце сжатия топливно-воздушная смесь воспламеняется от электрической искры в бензиновых и газовых двигателях, или впрыскивается дизельное топливо в цилиндр, где оно самовоспламеняется. При движении поршня от ВМТ к НМТ сначала происходит сгорание ($c - z' - z$), затем расширение ($z - b$), выхлоп и начало продувки ($b' - a$).

Второй ход поршня ($c - z - a$) называется *рабочим*.

В двухтактном двигателе с кривошипно-камерной продувкой роль продувочного (насоса) агрегата выполняет **кривошипная камера**.

Сопоставление диаграмм рабочего процесса четырехтактного и двухтактного двигателей (рисунки 4.1, д; 4.2, в) показывает, что отличаются они только процессом газообмена, который осуществляется на небольших участках хода поршня, соответствующего основным тактам расширения и сжатия.



- 1 – поршень; 2 – выпускные окна; 3 – выпускной патрубок; 4 – цилиндр;
5, 7 – продувочные клапаны; 6 – свеча или форсунка; 8 – коленчатый вал;
9 – шатун

Рисунок 4.2 – Схема (а, б) и рабочий процесс (в) двухтактного ДВС

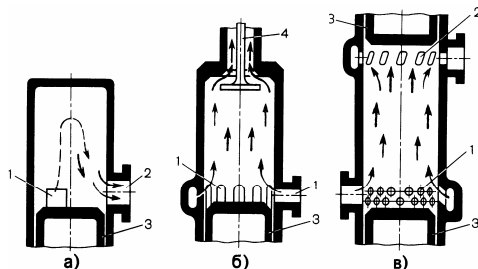
Продувка

Петлевая схема газообмена (рисунок 4.3, а) значительно упрощает конструкцию двигателя, но при этом ухудшается качество газообмена, и возникают потери воздуха или смеси при наполнении. Петлевая схема газообмена отличается большим разнообразием конструктивного выполнения и широко применяется в двигателях различного назначения (от маломощных для мопедов и до крупных мощностью в несколько десятков тысяч киловатт для судов).

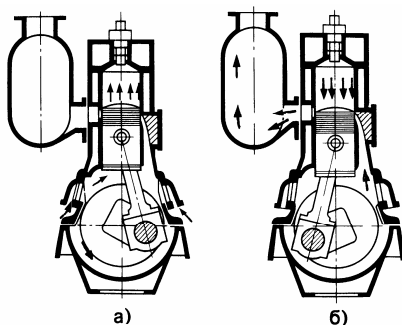
Клапанно-цельевая обеспечивает хорошее качество газообмена (рисунок 4.3, б).

Прямоточная схема газообмена с противоположно движущимися поршнями (рисунок 4.3, в), в которой один поршень управляет впускными окнами, а другой – выпускными, обеспечивает высокое качество газообмена.

Преимущество двухтактных двигателей с *кривошипно-камерной схемой газообмена* – простота устройства (рисунок 4.4). Однако при данном способе газообмена очистка цилиндра и наполнение его свежим зарядом по сравнению с другими способами происходят значительно хуже, в результате чего уменьшается мощность, а также ухудшается экономичность двигателя.



а – петлевая; б – прямоточная клапанно-щелевая;
в – прямоточная с противоположно движущимися поршнями;
1 – впускное окно; 2 – выпускное окно; 3 – поршень; 4 – выпускной клапан
Рисунок 4.3 – Схемы газообмена двухтактных двигателей



а – наполнение кривошипной камеры свежим зарядом; б – сжатие и продувка

Рисунок 4.4 – Двухтактный двигатель с кривошипно-камерной схемой газообмена

Сравнение рабочих циклов четырех- и двухтактных двигателей показывает, что при одинаковых размерах цилиндра и частотах вращения мощность двухтактного двигателя значительно больше. Учитывая увеличение числа рабочих тактов в 2 раза, следовало бы ожидать и увеличения мощности в 2 раза. В действительности мощность двух-

тактного двигателя увеличивается приблизительно в 1,5 – 1,7 раза вследствие потери части рабочего объема, ухудшения очистки и наполнения, а также затраты мощности на приведение в действие продувочного насоса.

К преимуществам двухтактных двигателей следует также отнести большую равномерность крутящего момента, т. к. полный рабочий цикл осуществляется при каждом обороте коленчатого вала (а не за два, как в четырехтактных). Существенным недостатком двухтактного процесса по сравнению с четырехтактным является малое время, отводимое на процесс газообмена. Очистка цилиндра от продуктов сгорания и наполнение его свежим зарядом более совершенно происходят в четырехтактных двигателях. Кроме того, в двухтактном двигателе температурный уровень поршня, крышки, цилиндра и клапанов выше, чем в четырехтактном.

При внешнем смесеобразовании в результате продувки цилиндра горючей смесью она частично выбрасывается через выпускные окна, поэтому двухтактный процесс применяется чаще в дизелях. Исключения составляют мотоциклетные, лодочные и другие двигатели небольшой мощности, для которых большее значение имеет простота и компактность конструкции, чем экономичность.

5 Топлива, смазочные масла, охлаждающие жидкости для двигателей

5.1 Топлива

В двигателях внутреннего сгорания используют **газообразные, жидкие и твердые топлива**. Непосредственное сжигание, например, пылевидного твердого топлива в цилиндрах двигателя технически вполне осуществимо, и на ранней стадии развития двигателей такие попытки предпринимались.

Важнейшим качеством любого топлива является **теплота сгорания**, т. е. количество теплоты, выделяемое при его полном сгорании. Различают высшую H_o и низшую H_u теплоту сгорания.

$$H_u = H_o - 2,512 W, \text{ Дж/кг (Дж/м}^3\text{)},$$

где W – количество водяных паров продуктов сгорания, полученных при сгорании 1 кг или 1 м³ топлива.

В ДВС продукты сгорания выпускаются в среду при температуре более высокой, чем температура конденсации водяных паров, следовательно, теплота парообразования не может быть использована.

5.1.1 Твердые топлива – антрацит, угли, торф, горючие сланцы, древесина, злаковые и овощные культуры и многие другие ископаемые

и растительные вещества используют для получения таких газообразных топлив, как коксовый, доменный и газогенераторный газы, а также жидких топлив в виде сланцевых, угольных и других бензинов и бензолов, метиловых и этиловых спиртов, пригодных для сжигания в двигателях внутреннего сгорания.

Особенно широко стали использовать возможности получения жидких моторных топлив из растительных веществ, т. е. из различных *биомасс*. Такой путь следует считать перспективным, так как в отличие от минерального сырья запасы **биомасс** возобновляемы.

5.1.2 Жидкие моторные топлива по исходному сырью подразделяют на две группы: **нефтяные** и **синтетические**, получаемые при переработке твердых веществ. В транспортных тепловых двигателях в основном применяют пока топлива **нефтяного** происхождения. Это *бензин, керосин, газойлевые и соляровые фракции нефти и даже мазут*, который используют в качестве тяжелого топлива.

Нефтяные топлива в основном состоят из химических элементов: углерода *C* и водорода *H*. Содержание углерода колеблется в пределах 85 – 87 %, а водорода – 13 – 15 %. В небольших количествах они содержат кислород *O*, азот *N* и серу *S*. Эти элементы входят в нефтепродукты в виде химических соединений, главными из которых являются углеводороды, составляющие следующие группы (ряды): алканы, цикланы и ароматические углеводороды бензольного ряда.

Зная элементарный состав топлива (% содержание элемента по массе), можно произвести расчет H_u по формуле Д. И. Менделеева:

$$H_u = 33,913 C + 102,995 H - 10,885 (O - S) - 2,512 \omega, \text{ МДж/кг,}$$

где ω – доля воды, содержащейся в 1 кг топлива.

Бензин. Для двигателей с **принудительным** воспламенением смеси важнейшим качеством топлива является его **детонационная стойкость**. Если топливо по этому показателю не соответствует выбранной степени сжатия, то нормальное протекание процесса сгорания нарушается. Сгорание приобретает взрывной характер, порождающий ударную волну давления, которая распространяется в цилиндре с огромной скоростью. Удары детонационной волны о стенки цилиндра и днище поршня при многократном отражении вызывают их вибрацию, воспринимаемую как характерный для детонации резкий стук. Работа двигателя с детонационным сгоранием недопустима, так как вызывает перегрев, ухудшает его показатели и приводит к прогоранию днища поршня. Детонационная стойкость топлив зависит от группового состава углеводородных соединений. Чем больше в топливе **ароматиче-**

ских соединений, тем выше его детонационная стойкость, которую оценивают **октановым числом** (О.Ч.) путем сравнения топлив с эталонами. В качестве эталонов приняты изооктан $i\text{-C}_8\text{H}_{18}$, обладающий хорошими антидетонационными свойствами, и нормальный гептан $n\text{-C}_7\text{H}_{16}$ с низкими антидетонационными свойствами. **Октановое число топлива принимается численно равным процентному содержанию изооктана в такой смеси с нормальным гептаном, которая оказывается равноценной данному топливу по детонационной стойкости при испытаниях в стандартных условиях.** Октановые числа современных бензинов находятся в пределах 70 – 100 единиц.

Детонационная стойкость топлива положена в основу классификации автомобильных (А) бензинов. В марке автомобильного бензина указывается октановое число, определенное моторным методом (А-72, А-76) или исследовательским (И) методом (АИ-93, АИ-98).

Октановое число топлив, имеющих детонационную стойкость лучшую, чем у изооктана, оценивают по условной шкале октановых чисел; при этом за эталон принимают смесь изооктана с 1,59 мг/л тетраэтилсвинца, для которой октановое число равно 120.

Дизельное топливо. Для топлив, применяемых в дизелях, важнейшим качеством является **самовоспламеняемость**, определяющая степень жесткости работы двигателя, от которой можно судить, например, по резкости характерного стука, возникающего при работе дизеля. Самовоспламеняемость дизельных топлив оценивается **цетановым числом** (Ц.Ч.), которое определяют путем сравнения работы стандартного двигателя на испытуемом топливе и на смеси эталонных топлив. В качестве эталонов используются цетан $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ из группы алканов с хорошей воспламеняемостью и альфа-метилнафталин $\text{C}_{10}\text{H}_7\text{CH}_3$, являющийся ароматическим углеводородом, стойким против самовоспламенения. **Цетановое число топлива принимается численно равным процентному содержанию цетана в такой смеси с альфа-метилнафталином, которая по воспламеняемости оказывается равноценной испытуемому топливу.** Чем выше содержание алканов в дизельном топливе, тем выше его склонность к самовоспламенению и тем мягче, без сильных стуков работают дизели. Цетановое число дизельных топлив составляет примерно 45 – 50 единиц.

Топливо для дизелей, эксплуатирующихся при температуре окружающего воздуха от 0 °С и выше, обозначают буквой Л (летнее), от – 20 °С и выше – буквой З (зимнее), от – 50 °С и выше – буквой А (арктическое). В маркировке топлива указывают также допустимую массовую долю серы (%). В обозначение дополнительно вводят для летнего

топлива температуру вспышки, характеризующую его пожарную безопасность, а для зимнего топлива – температуру застывания. Например, марка **Л-0,2-40** означает, что топливо летнее, с массовой долей серы до 0,2 % и температурой вспышки 40 °С, а марка **З-0,2-35**, что топливо зимнее, с массовой долей серы до 0,2 % и температурой застывания – 35 °С. Для арктического топлива указывают только допустимую массовую долю серы **А-0,4**.

В последнее время усиленно разрабатывают проблему перевода транспортных средств на жидкие **синтетические** топлива и, в первую очередь, на использование этанола (этилового спирта) в чистом виде или в смеси его с бензином. Используют и метанол (метиловый спирт). У спиртовых топлив меньше теплота сгорания, но выше детонационная стойкость. Спирты коррозионно активны и токсичны (особенно метанол), что обуславливает необходимость вводить в них противокоррозионные добавки, подбирать устойчивые к спиртам материалы, а также соблюдать соответствующие меры предосторожности. Добавка 10 – 20 % спирта в бензин практически не ухудшает показателей двигателя, но позволяет экономнее расходовать невозобновляемые углеводородные и другие топлива минерального происхождения.

5.1.3 Газообразные моторные топлива широко применяют для питания как транспортных, так и стационарных силовых установок, используя для этого природные, промышленные, газогенераторные и синтетические газы.

В зависимости от агрегатного состояния газы как моторное топливо подразделяют на два класса или группы: *сжимаемые* и *сжижаемые*. Эти названия групп носят условный характер, так как при глубоком охлаждении сжиженными могут быть и газы первого класса. В этом случае их относят к разряду криогенных топлив, которые сохраняют свое агрегатное состояние при температуре $t = -50$ °С.

5.1.3.1 К **сжимаемым** относят следующие газы: метан CH_4 , водород H_2 , оксид углерода CO и их смеси. Эти газы при нормальной температуре остаются в газообразном состоянии при сжатии их до любого высокого давления. Они хранятся в специальных баллонах под давлением в 20 МПа. По теплоте сгорания их подразделяют на *высококалорийные*, *среднекалорийные* и *низкокалорийные*.

Высококалорийные газы состоят в основном из метана и имеют низшую теплоту сгорания 22 – 36 МДж/м³. В эту группу входят газы природные, нефтяные (промысловые) и канализационные, получающиеся при переработке сточных вод канализационных систем. Сюда же относится метановая фракция коксового газа, а также синтетический

метан. **Среднекалорийные** газы содержат много водорода и окиси углерода; низшая теплота сгорания их составляет 14,2 – 22 МДж/м³. В основном это коксовый газ, получаемый при выжиге кокса. **Низкокалорийные** газы характеризуются небольшим содержанием горючих компонентов, состоящих в основном из окиси углерода (20 – 30 %). На инертные компоненты (балластную часть) этих газов приходится до 65 %, поэтому: низшая теплота сгорания их находится в пределах 4 – 14,2 МДж/м³. В эту группу входят доменный и различные генераторные газы.

5.1.3.2 К **сжижаемым** газам относятся этан C_2H_6 , пропан C_3H_8 , бутан C_4H_{10} и другие компоненты нефтяных (промысловых) и промышленных газов. Низшая теплота сгорания этих газов находится в пределах 56 – 104 МДж/м³, сжижаются они при обычных температурах и относительно невысоких давлениях, не превышающих 1,6 – 2,0 МПа.

Для транспортных двигателей применяют в основном **природные** сжимаемые высококалорийные газы, состоящие на 90 – 95 % из метана, и **сжиженную** пропано-бутановую смесь. Однако перспективным моторным топливом (топливом будущего) считают **водород** (сжимаемый или сжижаемый), являющийся, в сущности, энергоносителем. Его можно извлекать из воды с использованием ядерной энергии и вновь после сжигания получать воду, т. е. безвредные продукты сгорания. Запасы водорода не ограничены, но получение его, хранение на транспортных средствах и использование в двигателях – проблемы весьма и весьма сложные и далеко еще нерешенные.

Газообразные топлива по сравнению с бензином обладают более высокими октановыми числами, составляющими 90 – 120 единиц, что и позволяет повышать степень сжатия в двигателях.

Основные свойства газообразных моторных топлив приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Показатель	Водород H_2	Метан CH_4	Пропан C_3H_8	Бутан C_4H_{10}	Изооктан C_8H_{18} (~бензин)
Теплота сгорания, низшая:					
кДж/м ³	10226	33 858,6	85766	111699	213527
кДж/кг	119994	49802	45937,6	45406	43752
Октановое число (по моторному методу)	45-90	107-120	105	99,6	100

5.2 Моторные масла

Масла, применяемые в двигателях внутреннего сгорания, называются моторными и обозначаются буквой М (моторные). Они служат для уменьшения износа движущихся деталей и потерь мощности на трение в них, выполняют функцию уплотняющей среды в зоне поршневых колец, а также отводят теплоту.

В двигателях для смазывания деталей используются масла главным образом нефтяного происхождения: *дистиллятные, остаточные, смешанные и синтетические*.

Свойства масел. *Вязкость масла, маслянистость масла* (способность масла обеспечивать смазывающее действие в условиях граничного трения, когда коэффициент трения не зависит от вязкости масла), *зольность, коксуемость, моющая способность, стабильность*.

Присадки к маслам

По действию на масла присадки можно разделить на следующие группы:

- *вязкостные*, повышающие вязкость масел и улучшающие их вязкостно-температурные свойства;
- *депрессорные*, понижающие температуру застывания масел;
- *моющие*, не допускающие образования на деталях двигателей нагаров, лаков и осадков;
- *противоокислительные*, повышающие стабильность масел;
- *противокоррозионные*, защищающие цветные металлы подшипников от коррозии;
- *противоизносные*, улучшающие смазочные свойства масел и предохраняющие поверхности трущихся деталей двигателей от задира;
- *антифрикционные*, снижающие потери на трение;
- *противопенные*, предотвращающие вспенивание масел при циркуляции их в масляной системе;
- *многофункциональные*, способные одновременно улучшать эксплуатационные свойства масел.

Классификация масел

В основу классификации моторных масел для стационарных и транспортных двигателей внутреннего сгорания положены **вязкость и эксплуатационные свойства масел**.

По эксплуатационным свойствам моторные масла подразделяются на группы В, Г, Д и Е. Масла одной группы могут использоваться в двигателях различного типа, но близких по уровню тепловой и механической напряженности.

Группа масел В предназначена для среднефорсированных двигателей.

Группа масел Г предназначена для высокофорсированных двигателей.

Группа масел Д предназначена для дизелей с высокой степенью наддува, работающих в условиях резко переменных нагрузочных и скоростных режимов.

Группа масел Е предназначена для смазывания цилиндров мощных малооборотных судовых дизелей с наддувом, работающих на тяжелом дизельном топливе, в котором присутствует до 3,5 % серы.

Каждый сорт отечественного масла имеет маркировку, например, М-10Г. Буква М обозначает «моторное масло», цифра 10 – кинематическая вязкость, $\text{мм}^2/\text{с}$, при 100 °С. Буква Г показывает, что по эксплуатационным свойствам масло предназначено для высокофорсированных двигателей. Наличие цифрового индекса 1 или 2 при букве Г указывает на возможность использования масла только в высокофорсированных карбюраторных двигателях М-10Г₁ или высокофорсированных дизелях М-10Г₂. Всесезонные масла, удовлетворяющие нормам вязкости образцов летнего и зимнего масла, обозначают дробью, например, М-6з/10Г₂. Числитель показывает класс вязкости масла, которая при – 18 °С должна находиться для класса 6з в пределах 2600 – 10 400 $\text{мм}^2/\text{с}$ (для класса 4з в пределах 1300 – 2600 $\text{мм}^2/\text{с}$), индекс з означает, что масло содержит загущающие его присадки. Число 10 в знаменателе показывает, что вязкость масла при температуре 100 °С равна 10 $\text{мм}^2/\text{с}$.

Маркировка SAE

Например, 10w-40 – класс вязкости 10w при пуске (– 18 °С); класс вязкости 40 при рабочей температуре (100 °С).

API CD/SE – класс форсировки дизель/бензиновый (commercial/standard).

5.3 Охлаждающие жидкости

К основным параметрам охлаждающих жидкостей, определяемым условиями их работы в системах охлаждения, относятся следующие:

- **высокая теплоемкость**, позволяющая при небольшом количестве циркулирующей в системе жидкости поддерживать установленный температурный режим двигателя;

- **оптимальная вязкость**, не требующая больших затрат мощности на прокачивание жидкости через систему и исключая потери жидкости через уплотнения и соединения;

- **температура кипения**, превышающая на 25 – 30 °С максимально допустимую температуру в системе охлаждения, что препятствует образованию паро-воздушных пробок в системе и уменьшает потери жидкости при испарении;

- **температура замерзания** ниже температуры окружающего воздуха, что облегчает пуск и эксплуатацию двигателя.

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

Вода, обладающая значительной теплоемкостью, равной 4,186 кДж/(кг·°С), является наиболее распространенной охлаждающей жидкостью. Температура кипения воды, при нормальных условиях равная 100 °С, уменьшается с увеличением высоты над уровнем моря. Вода замерзает при минусовой температуре и образует накипь. Для уменьшения жесткости в воду добавляют хромпик 10 г/л.

Антифриз

Водный раствор этиленгликоля. Выпускают антифризы М40 и М65. Тосолы А40 и А65 содержат добавки, защищающие металлы от коррозии. Антифризы и тосолы не замерзают, а лишь превращаются в рыхлую массу, не разрушая двигатель. *Недостатки:* тосолы пригодны к эксплуатации в двигателе в течение 2 – 3 лет, так как содержащиеся в них добавки теряют стабильность; антифризы и тосолы имеют меньшую теплоемкость, чем вода; антифризы и тосолы имеют высокую текучесть, большой коэффициент объемного расширения; антифризы и тосолы крайне ядовиты.

Перспективны антифризы на основе **водных растворов солей**: они некоррозионно активны, имеют большой срок эксплуатации, например, низкотемпературная охлаждающая жидкость «Лена».

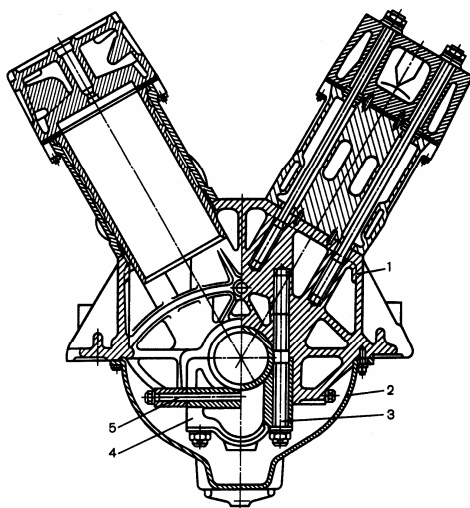
Для охлаждения головок поршней тронковых дизелей в качестве охлаждающей жидкости используют **масло** из циркуляционной смазочной системы. Теплоемкость смазочных масел примерно в 2,5 раза ниже теплоемкости воды, но конструкция системы получается сравнительно простой.

Для охлаждения форсунок обычно применяют **дизельное топливо**, а в высокофорсированных судовых дизелях для охлаждения поршней, форсунок и турбокомпрессоров – также дистиллированную воду.

6 Устройство поршневого ДВС

Двигатель внутреннего сгорания состоит из кривошипно-шатунного механизма (корпуса и движущихся деталей), механизма газораспределения и систем воздухообеспечения, питания, зажигания, смазки, охлаждения.

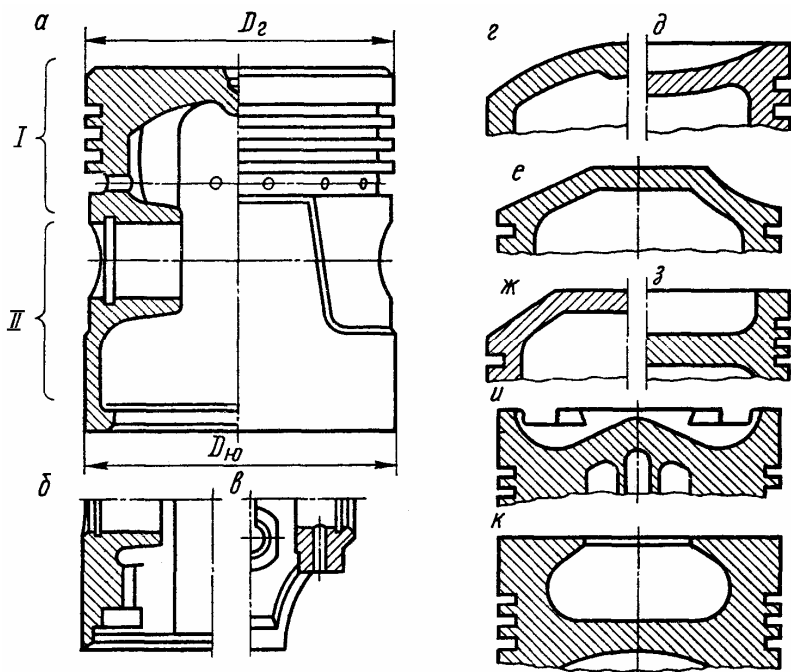
Корпус (остов) двигателя состоит из неподвижных деталей, поддерживающих движущиеся детали кривошипно-шатунного механизма. К ним относятся фундаментная рама (для мощных малооборотных судовых, тепловозных и стационарных двигателей), поддон, картер, цилиндры, крышка (головка) цилиндров (рисунок 6.1).



1 – картер; 2 – поддон; 3 – шпилька; 4 – крышка коренного подшипника;
5 – стяжной болт

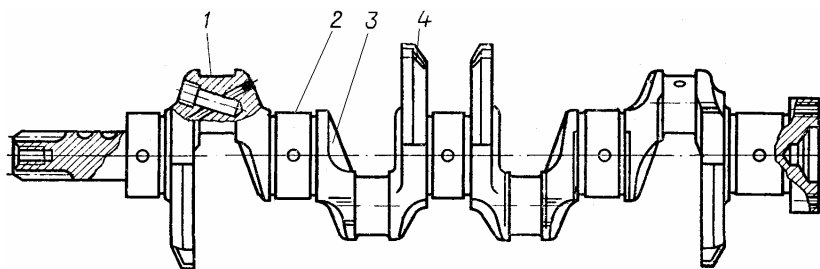
Рисунок 6.1 – Остов транспортного дизеля Д12

Движущиеся детали кривошипно-шатунного механизма воспринимают давление газов, передают возникающие силы коленчатому валу и преобразуют поступательное движение поршня во вращательное движение коленчатого вала. К этим деталям относятся поршневые комплекты, шатуны (в отдельных случаях крейцкопфный механизм), коленчатый вал и маховик (рисунки 6.2 – 6.6).



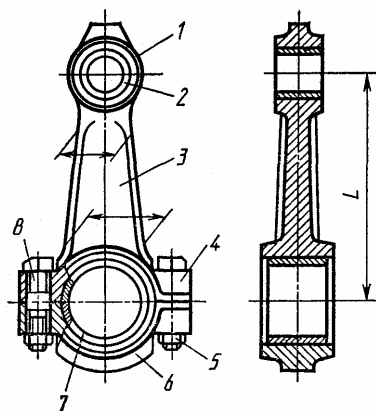
а – поршень; *б, в* – конструкция юбки; *г-к* – форма днища поршня;
I – головка; II – юбка

Рисунок 6.2 – Конструкция поршня и его элементов



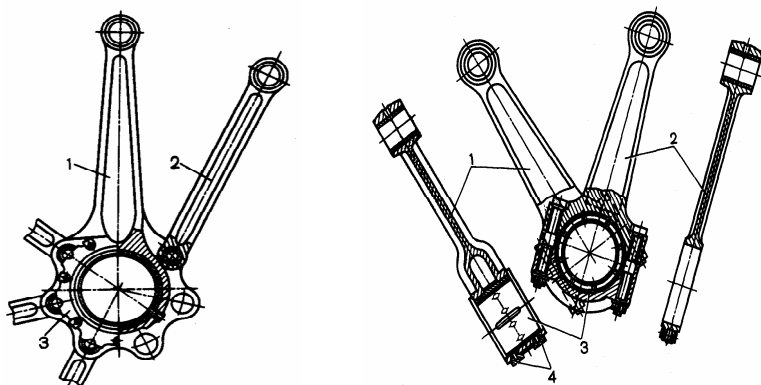
1 – шатунная шейка; 2 – коренная шейка; 3 – щека; 4 – противовес

Рисунок 6.3 – Конструкция полноопорного коленчатого вала



- 1 – верхняя головка шатуна; 2 – втулка верхней головки; 3 – стержень;
4 – нижняя головка; 5 – гайка шатунного болта; 6 – крышка нижней головки;
7 – вкладыши нижней головки; 8 – шатунный болт

Рисунок 6.4 – Шатун двигателя



- 1 – главный; 2 – прицепной;
3 – стопорная планка

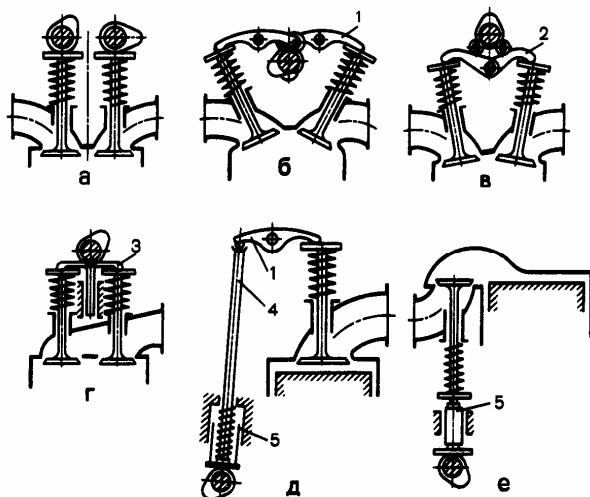
Рисунок 6.5 – Сочлененные шатуны

- 1 – главный; 2 – внутренний; 3 – вкладыш;
4 – крышки главного шатуна

Рисунок 6.6 – Вильчатый шатун

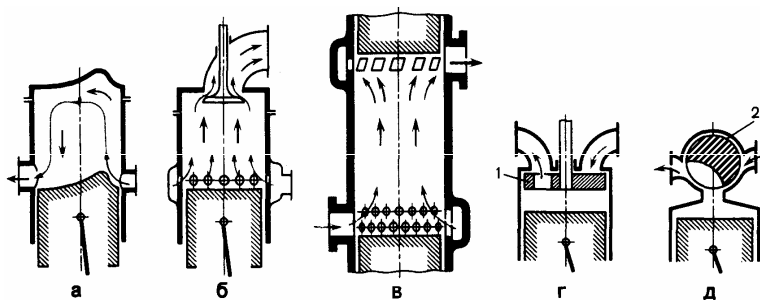
Механизм газораспределения предназначен для осуществления в определенной последовательности выпуска продуктов сгорания и впуска в цилиндры свежего заряда. Он состоит из впускных и выпускных элементов (клапанов) и деталей, передающих движение от колен-

чатого вала – шестерен, распределительных валов, толкателей, штанг и коромысел (рисунки 6.7, 6.8).



а, б, в и г – верхние клапаны с приводом от верхних распределительных валов;
 д – верхние клапаны с приводом от нижнего распределительного вала;
 е – нижний клапан; 1 – коромысло; 2 – рычаг; 3 – траверса;
 4 – штанга; 5 – толкатель

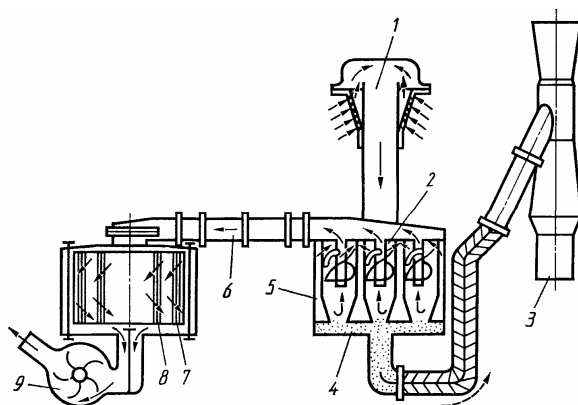
Рисунок 6.7 – Схемы установки клапанов и их привода



а – поперечно-щелевое (петлевое); б – прямоточное клапанно-щелевое;
 в – прямоточно-щелевое; г – с вращающимся плоским золотником;
 д – с вращающимся цилиндрическим золотником;
 1 – плоский золотник; 2 – цилиндрический золотник

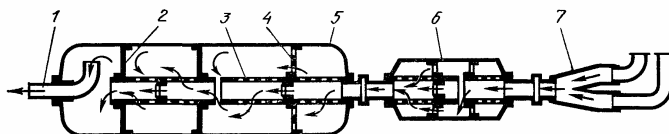
Рисунок 6.8 – Схемы золотникового газораспределения двухтактных ДВС

Система впуска и выпуска предназначена для подачи воздуха при определенных параметрах состояния и выпуска отработавших газов. К системе впуска (рисунок 6.9) относится воздушный фильтр, глушитель шума впуска, продувочный насос (в двухтактных двигателях без наддува), компрессор или турбокомпрессор, детали привода, воздушный холодильник и воздушный ресивер. Систему выпуска (рисунок 6.10) образуют выпускной трубопровод, глушитель шума выпуска с патрубками приема и выпуска отработавших газов, основные противотоксичные устройства и некоторые агрегаты наддува.



1 – воздухоподводящая труба с защитным колпаком; 2 – распределительная полость на входе в циклон; 3 – эжекторное устройство; 4 – бункер для сбора пыли; 5 – мультициклон (первая ступень очистки); 6 – соединительный трубопровод; 7 – основная кассета; 8 – предохранительная кассета; 9 – компрессор турбонаддува

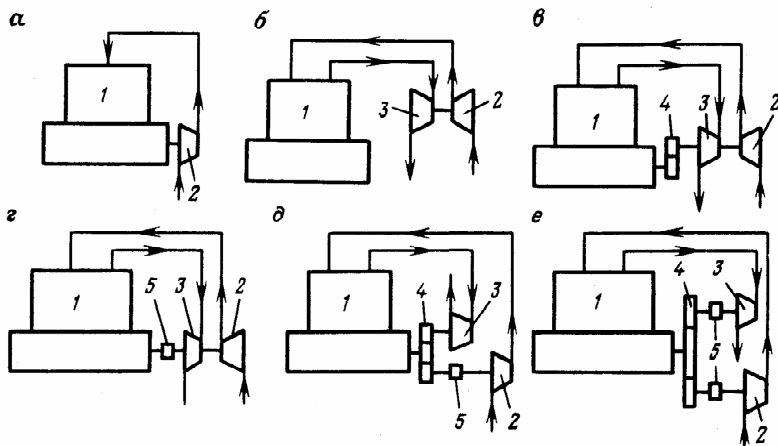
Рисунок 6.9 – Общая компоновка комбинированной системы воздухоочистки трактора К-700



1 – выпускная труба; 2 – перегородка; 3 – перфорированная труба; 4 – перфорированная перегородка; 5 и 6 – основной и вспомогательный глушители; 7 – газо-приемные трубы

Рисунок 6.10 – Глушители шума выпуска бензинового двигателя ВАЗ

Наддув, т. е. увеличение массы заряда, осуществляется сжатием его в специальном агрегате – нагнетателе (компрессоре) до поступления в цилиндр двигателя. В качестве наддувочных нагнетателей обычно используются поршневые, объемно-роторные и центробежные компрессоры. Привод наддувочных нагнетателей может осуществляться от коленчатого вала двигателя (рисунок 6.11, а), от газовой турбины (рисунок 6.11, б), работающей на отработавших газах, и может быть комбинированным (рисунок 6.11, в – е).



1 – двигатель; 2 – компрессор (нагнетатель); 3 – газовая турбина;
4 – механическая передача; 5 – гидромуфта

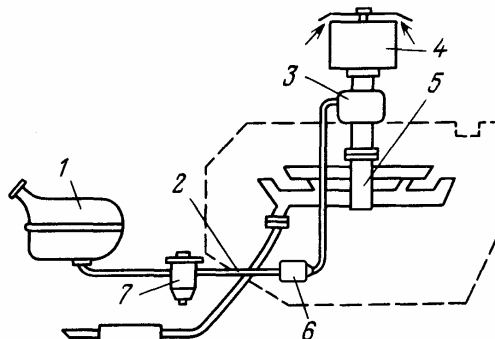
Рисунок 6.11 – Схемы наддува поршневых ДВС

Система питания обеспечивает подготовку и распыливание топлива, а также регулирование качества или количества заряда.

Система питания (рисунок 6.12) бензиновых карбюраторных и газовых двигателей состоит из карбюраторов или смесительных устройств, регуляторов, баков или баллонов, топливопроводов, топливоподающих насосов и др.

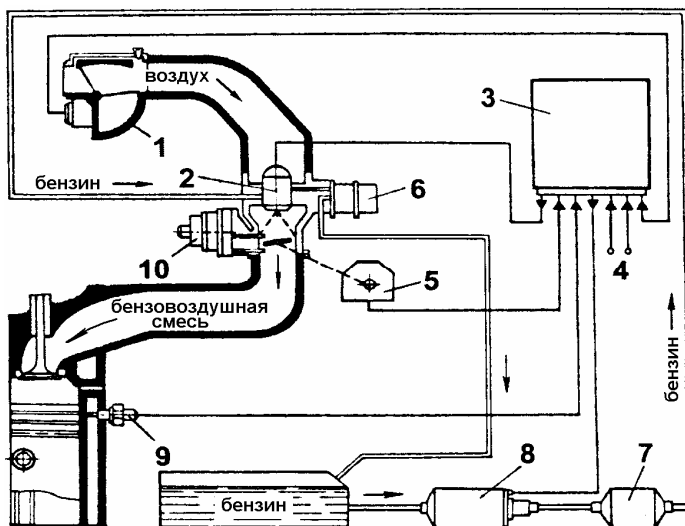
Система впрыска бензина (центральный впрыск «Mono-Jetronic») вместо карбюратора содержит форсунку и систему управления расходом топлива микропроцессором (рисунок 6.13).

Система питания дизелей разделенного типа (рисунок 6.14) включает топливные баки, топливные насосы низкого и высокого давления, фильтры, регуляторы, форсунки, топливопроводы.



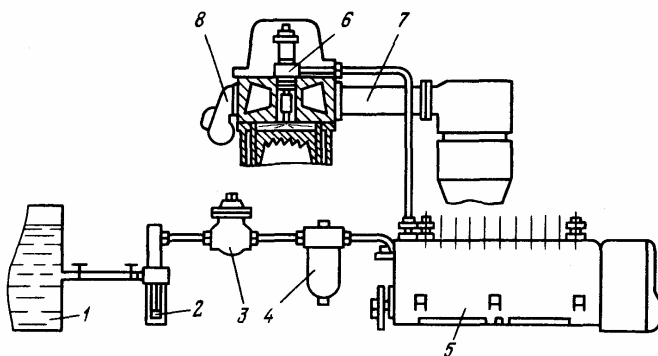
1 – топливный бак; 2 – топливопровод; 3 – карбюратор; 4 – воздушный фильтр; 5 – впускной коллектор; 6 – топливный насос; 7 – фильтр

Рисунок 6.12 – Схема системы питания карбюраторного двигателя



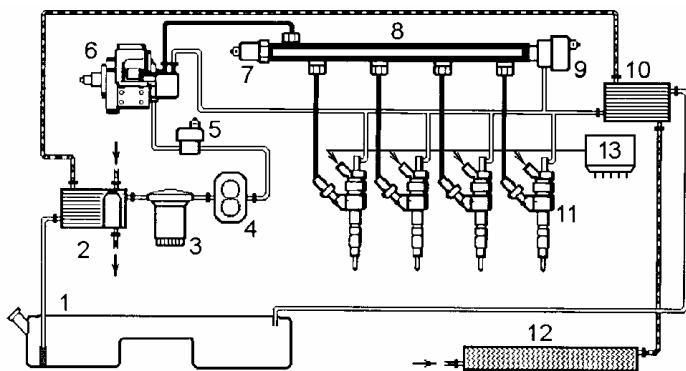
1 – измеритель расхода воздуха; 2 – форсунка; 3 – блок управления; 4 – источник тока; 5 – датчик положения и скорости открывания дроссельной заслонки; 6 – регулятор давления топлива; 7 – фильтр; 8 – топливный насос; 9 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 10 – регулятор перепуска воздуха

Рисунок 6.13 – Схема системы центрального впрыскивания бензина «Mono-Jetronic» фирмы Bosh



1 – топливный бак; 2 – расходомер; 3 – топливоподкачивающий насос;
4 – фильтр тонкой очистки; 5 – двенадцатиплунжерный топливный насос
высокого давления; 6 – многодырчатая закрытая форсунка; 7 – воздушный
фильтр; 8 – выпускной коллектор

Рисунок 6.14 – Система питания непосредственного действия
(разделенного типа) дизеля В2

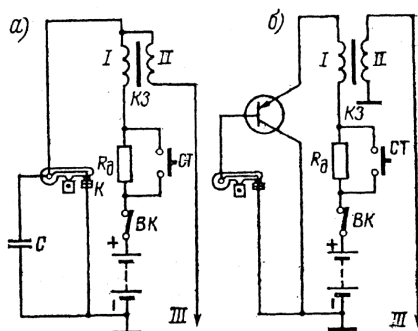


1 – бак; 2 – подогреватель топлива с термостатом; 3 – фильтр тонкой очистки;
4 – топливоподкачивающий насос; 5 – отсечной электроклапан; 6 – топливный
насос высокого давления; 7 – датчик давления; 8 – аккумулятор;
9 – электроклапан регулирования давления; 10 – охладитель топлива;
11 – электрогидравлические форсунки; 12 – низкотемпературный воздушный
радиатор; 13 – микропроцессорный блок управления

Рисунок 6.15 – Схема аккумуляторной системы питания дизеля
автомобиля Mercedes-Benz C220 CDI

Перспективная система питания дизеля аккумуляторного типа (Common Rail) в качестве основных элементов имеет топливный насос высокого давления, аккумулятор топлива, электрогидравлические форсунки, управляемые микропроцессором (рисунок 6.15). Такие системы позволяют создавать высокие давления впрыска и очень точно управлять характеристикой впрыска.

Система зажигания (рисунок 6.16) предназначена для принудительного воспламенения рабочей смеси от электрической искры, возникающей между электродами свечи под действием импульса электрического тока высокого напряжения. Система зажигания используется в карбюраторных (бензиновых) и газовых двигателях и состоит из аккумуляторной батареи, генератора, катушки зажигания, свечей зажигания, проводов и прерывателя-распределителя (коммутатора).



a – классическая система зажигания; *б* – транзисторная система зажигания с контактным управлением; КЗ – катушка зажигания: I – первичная обмотка; II – вторичная обмотка; СТ – силовое реле стартера; Рд – добавочный резистор; ВК – выключатель; К – контакты прерывателя; С – конденсатор; III – к распределителю зажигания

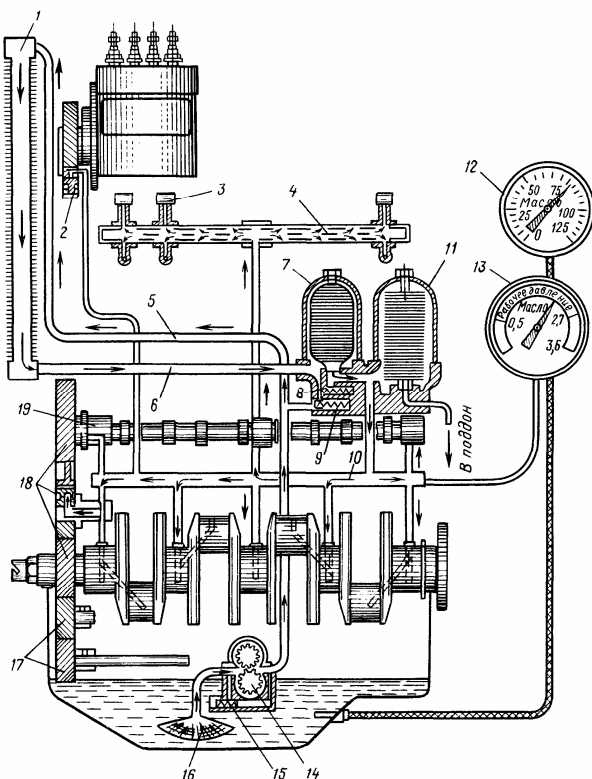
Рисунок 6.16 – Электрическая схема системы зажигания

Система смазки (рисунок 6.17) служит для подвода масла к узлам трения и к охлаждаемым им деталям. Она состоит из масляных насосов, фильтров, маслосборников, масляных холодильников, маслопроводов и т.п.

По способу подвода масла различают системы смазки разбрызгиванием, под давлением и комбинированные.

В системе смазки разбрызгиванием масло, залитое в картер до определенного уровня, при вращении коленчатого вала разбрызгивает-

ся кривошипными головками шатунов, образуется масляный туман; капельки масла оседают на трущиеся поверхности и смазывают их.



- 1 – радиатор; 2 – топливный насос; 3, 4 – детали ГРМ; 5, 6 – маслопроводы;
 7 – фильтр грубой очистки; 8, 9 – клапаны; 10 – главная магистраль;
 11 – фильтр тонкой очистки; 12, 13 – контрольные приборы; 14 – масляный
 насос; 15 – редукционный клапан; 16 – маслоприемник; 17, 18 – шестерни;
 19 – распредел

Рисунок 6.17 – Схема системы смазки дизеля с мокрым картером

В системе смазки под давлением масляный насос непрерывно подает масло к трущимся поверхностям. От узлов трения масло стекает в картер и поддон, откуда откачивается насосом.

В комбинированной системе смазки часть деталей смазывается под давлением путем циркуляционной подачи масла, а другая – разбрызгиванием.

Системы смазки в зависимости от места нахождения основного количества масла подразделяются на системы с мокрым и сухим картером.

В системах смазки с мокрым картером основное количество масла находится в поддоне. В системах смазки с сухим картером основное количество масла находится в масляных баках вне двигателя, куда откачивается масло, стекающее в нижнюю часть картера от узлов трения.

Системы смазки с сухим картером применяются в двигателях, которые по условиям эксплуатации могут занимать любое пространственное положение (автомобильные, судовые, авиационные).

Важнейшими элементами системы смазки являются агрегаты очистки масла, которые классифицируются по различным признакам.

По схеме включения в циркуляционную систему смазки они подразделяются на частичнопоточные (включаются параллельно) и полностью (включаются последовательно).

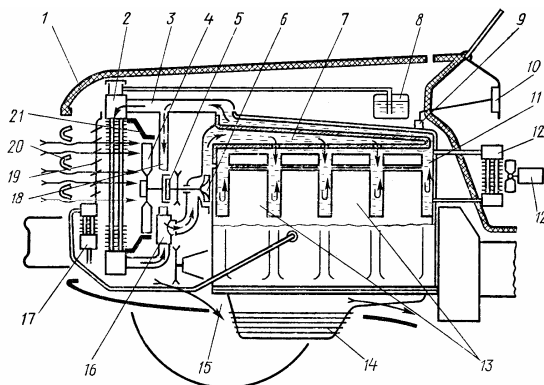
По физической сущности процесса очистки масла от загрязнений агрегаты очистки подразделяются на фильтры и силовые очистители.

В зависимости от степени очистки масла различают: фильтры-маслоприемники, отделяющие частицы примесей с размерами более 250 мкм; фильтры грубой очистки, удаляющие частицы примесей с размерами более 50 мкм; фильтры тонкой очистки, удаляющие частицы примесей с размерами более 5 – 10 мкм.

Система охлаждения обеспечивает охлаждение деталей, соприкасающихся с горячими газами. Охлаждение осуществляется водой (рисунок 6.18), специальными жидкостями, маслом (поршни), топливом (распылители, насос-форсунки) или воздухом (рисунок 6.19). К этой системе в зависимости от способа охлаждения относятся различные механизмы и устройства, обеспечивающие циркуляцию теплоносителя, и теплообменники. Например, система охлаждения водой автомобильного двигателя состоит из насоса, радиатора, вентилятора, каналов в блоке и головке цилиндров и термостата.

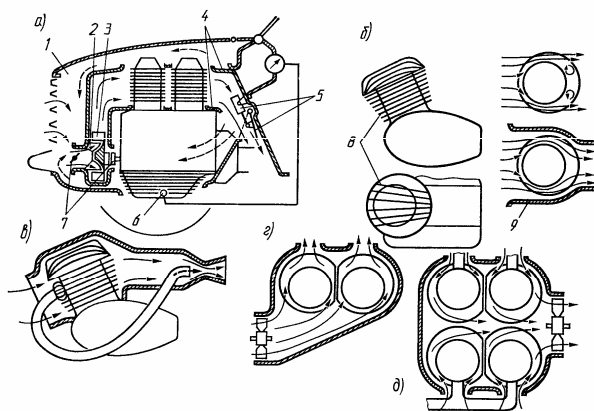
Жидкостные системы охлаждения могут быть с изменением агрегатного состояния теплоносителя (испарительные) и без изменения.

По способу осуществления циркуляции теплоносителя делятся на системы охлаждения с принудительной и термосифонной естественной циркуляцией. Системы охлаждения с принудительной циркуляцией могут быть проточными (лодочные моторы) и замкнутыми (автомобильные).



1 – капот; 2 – радиатор; 3, 7, 18 – патрубки; 4 – вентилятор; 5 – муфта привода вентилятора; 6 – насос; 8 – расширительный бачок; 9 – термодатчик; 10 – указатель температуры; 11 – рубашка охлаждения; 12 – отопитель салона; 13 – цилиндры; 14 – поддон; 15 – отвод воздуха; 16 – термостат; 17 – масляный радиатор; 19 – жалюзи; 20 – решетка радиатора; 21 – кожух вентилятора

Рисунок 6.18 – Схема жидкостного охлаждения



а – принципиальная схема; б – охлаждение напором встречного воздуха;
в – эжектирование охлаждающего воздуха потоком отработавших газов;
г – схема с нагнетающим вентилятором; д – схема с вытяжным вентилятором;
1 – подкапотное пространство; 2 – направляющий аппарат; 3 – вентилятор;
4 – направляющие панели; 5, 7 – управляемые термостатами заслонки и муфта;
6 – датчик температуры; 8 – ребра; 9 – направляющие пластины

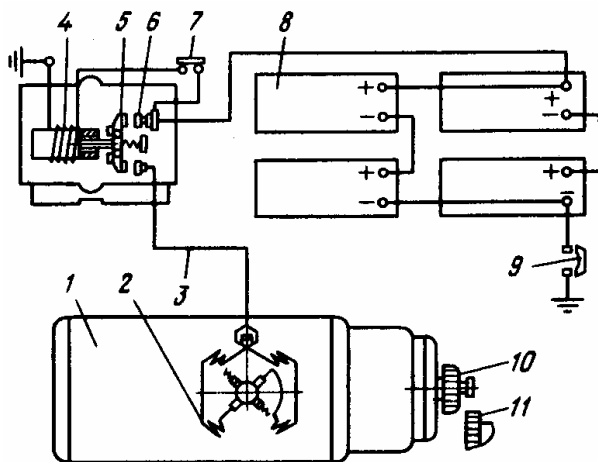
Рисунок 6.19 – Схемы воздушного охлаждения двигателей

В термосифонной системе охлаждения вода циркулирует благодаря разности плотности холодной и горячей воды.

В воздушных системах охлаждения отвод теплоты от цилиндров осуществляется встречным потоком воздуха в транспортных двигателях или же при принудительном обдуве с помощью вентилятора.

Системы пуска. При пуске двигателя его коленчатый вал следует привести во вращение от постороннего источника энергии и заставить вращаться с частотой, обеспечивающей необходимые условия протекания рабочего процесса. Пусковая частота вращения коленчатого вала бензинового двигателя составляет $50 - 75 \text{ мин}^{-1}$. Пусковая частота вращения для дизелей должна быть $100 - 200 \text{ мин}^{-1}$.

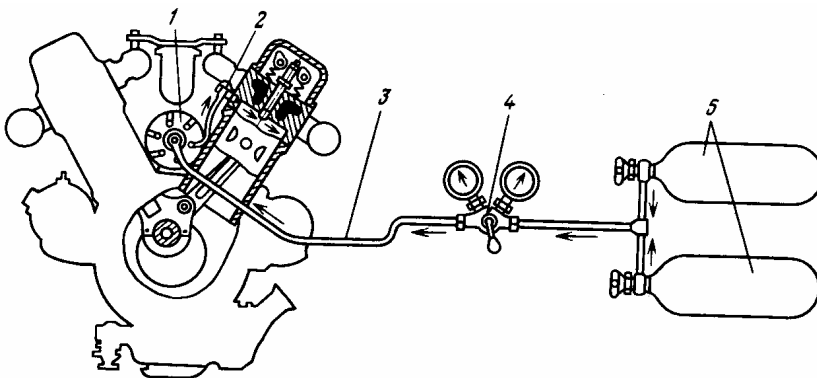
В зависимости от источника энергии, используемой при пуске, различают следующие способы пуска двигателей: от руки проворачиванием коленчатого вала рукояткой; электрическим стартером (рисунок 6.20); вспомогательным карбюраторным двигателем; сжатым воздухом. В некоторых случаях для обеспечения надежности пуска двигателя оснащаются двумя независимыми видами системы пуска, например, пневматический (воздушный) запуск и от электростартера.



- 1 – стартер; 2 – обмотка возбуждения стартера; 3 – провод от пускового реле;
 4 – втягивающая обмотка реле пуска; 5 – подвижные контакты реле пуска;
 6 – неподвижные контакты; 7 – выключатель стартера; 8 – аккумуляторные батареи;
 9 – выключатель "массы"; 10 – шестерня стартера; 11 – зубчатый венец маховика

Рисунок 6.20 – Система пуска от электростартера

В системе воздушного пуска (рисунок 6.21) сжатый воздух, пройдя каналы воздухораспределителя, поступает к воздушно-пусковому клапану. Отжав клапан, воздух во время такта расширения поступает в цилиндр и, действуя на поршень, проворачивает коленчатый вал дизеля. В других цилиндрах в это время произойдет впрыск топлива, и дизель запустится.



1 – воздухораспределитель; 2 – пусковой клапан; 3 – трубопровод;
4 – редуктор; 5 – баллоны со сжатым воздухом

Рисунок 6.21 – Система воздушного пуска

Подача воздуха в цилиндры производится на такте расширения. Минимальное давление воздуха для обеспечения пуска должно быть не менее 3 МПа, максимальное – 9 МПа.

Кроме названных механизмов и систем в конструкции двигателя могут быть и другие устройства, например, устройства для реверса, контроля, управления, утилизации теплоты отработавших газов, нейтрализации токсичных выбросов и др.

7 Роторно-поршневые двигатели

Роторные двигатели применяют в основном на автомобилях. Эти двигатели характеризуются малой удельной массой, отсутствием возвратно-поступательно движущихся частей (в отличие от поршневых ДВС), большей частотой вращения вала. Поэтому роторно-поршневые двигатели (РПД) при равной мощности обычно легче и компактнее обычных поршневых двигателей.

Первый работоспособный роторный двигатель был создан Ф. Ванкелем в 1957 г., хотя принцип использования вращающегося поршня был известен еще в XVI в.

С середины 60-х гг. прошлого столетия, когда началось серийное производство, и до последнего времени роторно-поршневые двигатели прошли путь постоянного совершенствования, пережили взлет, когда многие фирмы в 70-х гг. приступили к их производству или, по крайней мере, широкому исследованию, а в 90-х гг. произошло ослабление интереса к ним. Достаточно сказать, что двигателем Ванкеля оснащались автомобили фирмы «НСУ» («Спидер» и Ro-80, «Ситроен» «Жс-Биротор»), «Тойо Когио» (выпущено более миллиона автомобилей с двигателем Ванкеля). Легкие подвесные лодочные моторы, бензопилы и другие изделия с двигателем Ванкеля выпускала фирма «Фитчел и Саш», экспериментальные автомобили и мотоциклы с роторно-поршневыми двигателями созданы в нашей стране (ВАЗ, ВНИИмотопром), в Германии («Мерседес С-111») и ряде других стран. Ослабление интереса к РПД, свертывание производства автомобилей с такими двигателями обусловлено, прежде всего, экономическими соображениями – необходимостью кропотливых исследований по устранению недостатков, присущих РПД, и перестройкой производства, требующей больших материальных затрат.

В роторно-поршневых двигателях весь рабочий процесс – газообмен, сжатие, расширение рабочего тела – осуществляется при изменении объемов полостей, которые образуются между корпусом и треугольной формы ротором, совершающим сложное планетарное движение.

В полости III (рисунок 7.1, а) происходит сгорание смеси и расширение газов, в полости I заканчивается выпуск и начинается процесс выпуска, а в полости II смесь сжимается. Когда поршень проворачивается в положение (рисунок 7.1, б), в полости III заканчивается расширение продуктов сгорания, а в положении (рисунок 7.1, в) из полости III начинается выпуск продуктов сгорания. Одновременно электрическая искра, проскакивающая между электродами свечи, воспламеняет смесь, сжатую в полости II. На рисунке 7.1, г показано положение поршня, соответствующее началу рабочего хода в полости II.

Газораспределение в двигателе Ванкеля осуществляют путем перекрывания выпускного и впускного каналов поршнем. В положении, когда поршень одновременно открывает оба канала, происходит пере-

крытие фаз газораспределения, аналогичное перекрытию в клапанных механизмах обычных четырехтактных двигателей.

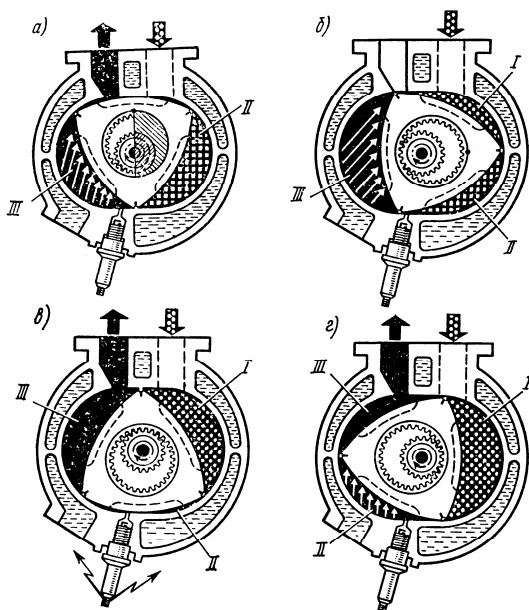


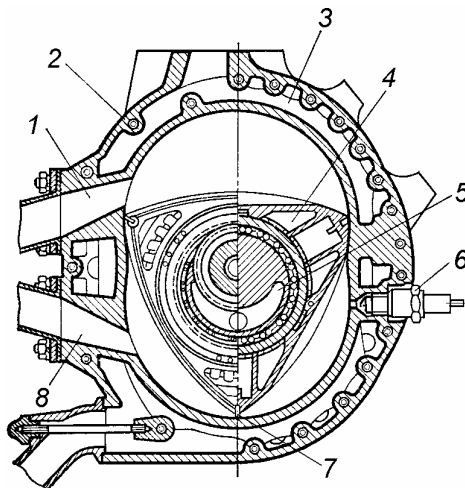
Рисунок 7.1 – Принцип работы роторно-поршневого двигателя Ванкеля

За полный оборот поршня или за три оборота вала в каждой из трех полостей последовательно совершаются все процессы рабочего цикла. Таким образом, на каждый оборот вала приходится один рабочий ход. Поэтому при сравнении литровых мощностей четырехтактного поршневого и роторно-поршневого двигателей рабочий объем последнего удваивается (в четырехтактном поршневом двигателе в каждом цилиндре рабочий ход приходится на два оборота коленчатого вала).

Под полным объемом роторно-поршневого двигателя подразумевается максимальный объем рабочей полости (камеры), заключенный между одной из граней поршня и стенкой рабочей камеры. Рабочий объем камеры равен разности между полным (максимальным) и минимальным ее объемами. Для получения высоких степеней сжатия грани поршня должны профилироваться по огибающим к эпитрахойдной поверхности статора (по гипотрохоиде). В карбюраторных двигателях

ограничиваются более простыми формами и обрабатывают грани поршня по дугам окружности.

Основными элементами роторно-поршневого двигателя (рисунок 7.2) являются корпус, эксцентриковый вал отбора мощности и установленный на нем ротор. Корпус с торцов закрыт двумя крышками. На эксцентриковом валу с двух сторон располагаются маховики-противовесы, которые служат для уравнивания центробежных сил, возникающих при вращении ротора вокруг оси эксцентрикового вала. Сложное планетарное движение ротора обеспечивается двумя шестернями, одна из которых – малая – неподвижно укреплена в корпусе двигателя, а другая – большая – соединена с ротором. Передаточное отношение передачи равно 3:2. При качении большой шестерни вокруг малой центр большой шестерни описывает окружность радиусом, равным эксцентриситету эксцентрика. Ротор при вращении эксцентрикового вала совершает сложное движение.



- 1 – впускной канал; 2 – корпус; 3 – полость рубашки охлаждения; 4 – ротор;
5 – эксцентрик; 6 – свеча зажигания; 7 – уплотнение вершин ротора;
8 – выпускной канал

Рисунок 7.2 – Конструкция роторно-поршневого двигателя автомобиля «НСУ-Спидер»

С каждой стороны ротора устанавливают по три торцевых уплотнения. Уплотняющие пластины прижимаются к поверхности корпуса пластинчатыми пружинами. Нарушение уплотнения в какой-либо по-

лости может вызвать прорыв горячих газов и воспламенение свежего заряда в соседней полости.

Вследствие непрерывного изменения наклона уплотняющей пластины относительно поверхности корпуса контакт пластины с поверхностью происходит по линии. Поэтому поверхности уплотнения и корпуса двигателя быстро изнашиваются, и срок службы роторно-поршневого двигателя меньше срока службы поршневого ДВС. Утечки рабочего тела из полости сгорания у роторного двигателя больше по сравнению с утечками в обычном двигателе. При износе уплотнений выходит из строя весь двигатель.

При работе роторно-поршневого двигателя происходит тепловая деформация корпуса вследствие неравномерного его нагрева, что приводит к увеличению износа элементов уплотнения. Для уменьшения деформации корпуса его интенсивно охлаждают в области сгорания и подбирают соответствующие материал и толщину стенок корпуса. Вследствие интенсивного нагрева ротора его тоже следует охлаждать. Для охлаждения ротора используют топливовоздушную смесь и масло. Последнее сильно нагревается, и для его охлаждения необходимо иметь мощные радиаторы. Удельный расход топлива в роторно-поршневых двигателях составляет 310 – 370 г/(кВт·ч).

Токсичность выпускных газов роторных двигателей несколько меньше токсичности выпускных газов поршневых ДВС, но выше норм для автомобильных ДВС. Особенности смазки ротора (присадка масла к топливу) и сложная форма камеры сгорания с большим отношением площади поверхности к объему обуславливают повышенный выброс углеводородов и альдегидов и необходимость установки дополнительных средств нейтрализации отработавших газов – термokatалитических или каталитических реакторов со всеми необходимыми устройствами для подачи дополнительного воздуха и контроля за их работой. Применение тех или иных способов уменьшения токсичности выпускных газов роторных двигателей приводит к их усложнению и снижению экономичности.

8 Газотурбинные двигатели

Газотурбинным двигателем (ГТД) называется двигатель, в котором рабочим телом является неконденсирующийся газ (воздух, продукты сгорания топлива, нейтральные газы), а в качестве расши-

рительной машины применяется газовая турбина. ГТД состоит из трех основных элементов: газовой турбины, камеры сгорания и компрессора.

Газовая турбина – машина, в лопаточном аппарате которой термодинамическая работа изменения давления потока превращается в кинетическую энергию рабочего тела и в механическую работу на лопатках турбины.

В компрессоре механическая работа превращается в кинетическую энергию рабочего тела с последующим превращением в термодинамическую работу повышения давления.

В зависимости от кратности использования рабочего тела различают газотурбинные установки (ГТУ) открытого и закрытого цикла.

В ГТУ открытого цикла наружный воздух после однократного осуществления элементов рабочего процесса – сжатия, подвода теплоты, расширения – выбрасывается в атмосферу, и последующие циклы происходят с новыми порциями рабочего тела.

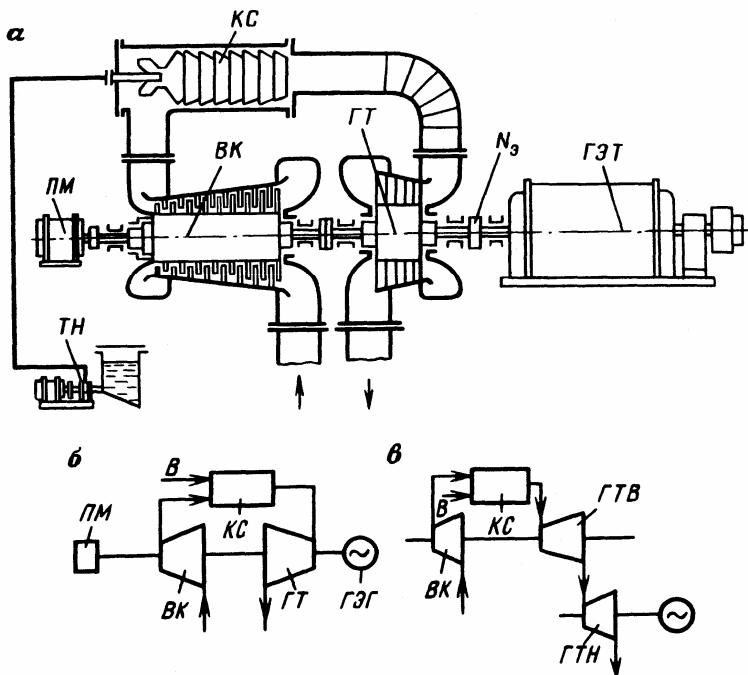
В ГТУ закрытого цикла рабочее тело не меняется, а многократно сжимается, подогревается, расширяется и охлаждается, причем подогрев и охлаждение рабочего тела осуществляются в теплообменных аппаратах поверхностного типа, и рабочее тело не смешивается с продуктами сгорания топлива и окружающим воздухом.

Наибольшее распространение на транспорте и в промышленности получили только ГТУ открытого цикла.

Простейшая ГТУ открытого цикла изображена на рисунке 8.1: техническая (а) и термодинамическая (б) схемы одновальной ГТУ, термодинамическая схема двухвальной ГТУ (в).

Рабочий процесс простейшей ГТУ осуществляется следующим образом: атмосферный воздух, сжатый до некоторого давления ($p_2 = 0,5 - 0,7$ МПа и $T_2 = 460 - 520$ К) в компрессоре, непрерывно поступает в камеру сгорания, где его температура повышается за счет сжигания топлива ($T_3 = 980 - 1130$ К) при постоянном давлении (рисунок 8.3).

Продукты сгорания на выходе из камеры сгорания (рисунок 8.2) должны иметь температуру, не превышающую заданную. При этом в газе не должно быть сажи, частиц кокса, так как они вызывают загрязнение и эрозию проточной части газовой турбины.



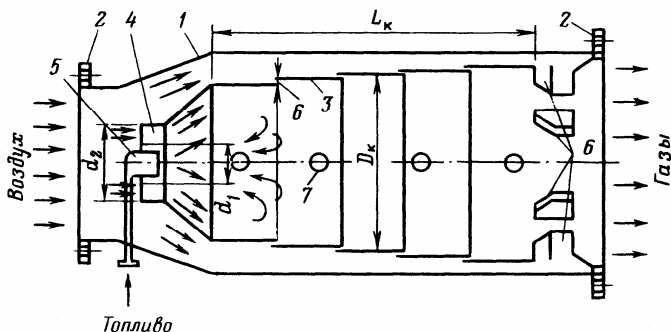
ВК – воздушный компрессор; ГТ – газовая турбина; а – техническая;
 б – термодинамическая в одновальном исполнении; в – термодинамическая
 в двухвальном исполнении; ГТВ – газовая турбина высокого давления;
 ГТН – газовая турбина низкого давления; ГЭТ – генератор электрического
 тока или другой потребитель энергии; ТН – топливный насос;
 В – подача топлива; ПМ – пусковой двигатель

Рисунок 8.1 – Схемы простейших ГТУ открытого цикла

При горении жидкого топлива и природного газа в ядре факела развивается температура около 2000 °С. Такую высокую температуру применяемые в газотурбостроении материалы выдержать не могут.

Температуру продуктов сгорания понижают, разбавляя их относительно холодным воздухом. Для этой цели поток воздуха перед входом в камеру сгорания разделяется на два – поток первичного и поток вторичного воздуха (рисунок 8.2). Первичный воздух (примерно 1/3 от суммарного количества) подается в зону горения, а вторичный – протекает между жаровой трубой и кожухом и подмешивается постепенно по ходу к продуктам сгорания, снижая их температуру до заданной.

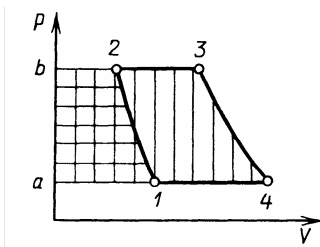
Для авиационных ГТУ коэффициент избытка воздуха на выходе из камеры сгорания $\alpha = 4 - 5$, для стационарных ГТУ $\alpha = 6 - 10$.



1 – корпус; 2 – фланцы; 3 – жаровая труба; 4 – регистр;
5 – распылитель (горелка); 6 – смеситель; 7 – смотровые отверстия

Рисунок 8.2 – Схема камеры сгорания

Продукты сгорания под давлением и при высокой температуре подводятся к газовой турбине, в которой совершается работа расширения газа.



1 – 2 – процесс сжатия в ВК; 2 – 3 – процесс сгорания в КС, подвод тепла;
3 – 4 – процесс расширения; 4 – 1 – отвод теплоты

Рисунок 8.3 – Рабочий процесс (цикл) ГТУ в координатах $p - V$

Рабочий процесс простейшей ГТУ в координатах $p - V$ представлен на рисунке 8.3. Заштрихованная вертикальными линиями площадь $b34a$ численно равна работе расширения в газовой турбине. Линия $4 - 1$ в реальном процессе условно изображает замещение отработавших газов новой порцией рабочего тела. Площадь, ограниченная линиями цикла 12341 , равна разности работ расширения в газовой турбине и сжатия в

компрессоре и представляет собой полезную работу газотурбиной установки, которая используется для привода устройств (электрических генераторов, нагнетателей, др. потребителей).

Чем выше температура газа перед турбиной, тем больше работа, тем выше экономичность двигателя.

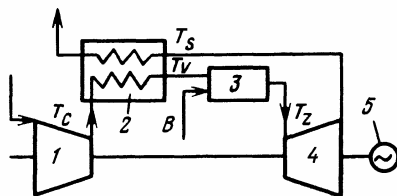
После газовой турбины продукты сгорания ($T_4 = 670 - 720$ К) выбрасываются в атмосферу.

В современных газотурбинных двигателях мощность, затрачиваемая на сжатие воздуха и привод вспомогательных агрегатов, обычно составляет 60 – 70 % работы газов при расширении. Следовательно, мощность турбины должна значительно превышать эффективную мощность двигателя.

Для эффективной работы ГТД необходима высокая температура газов перед турбиной. Высокая температура газов перед турбиной затрудняет ее использование и обуславливает применение жаропрочных сталей и сплавов. Особенно тяжелы условия работы лопаток газовой турбины. Для понижения температуры лопаток и ротора их охлаждают. Вследствие этого может быть существенно повышена начальная температура газов перед турбиной (при тех же самых материалах), что приводит к значительному увеличению КПД ГТУ. Наибольшее распространение получило воздушное охлаждение продувкой сжатым воздухом специальных каналов.

В ГТУ простейшей схемы отработавшие газы после расширения в турбине выбрасываются в атмосферу с высокой температурой, что является одной из причин низкой экономичности ГТУ. Часть теплоты уходящих газов можно использовать в теплообменных аппаратах-генераторах, в которых теплота передается сжатому компрессором воздуху.

В ГТУ с регенерацией теплоты (рисунок 8.4) воздух сжимается в компрессоре, далее сжатый воздух проходит через регенератор, где температура его повышается, затем воздух проходит камеру сгорания, в которой температура продуктов сгорания повышается.



- 1 – компрессор; 2 – регенератор; 3 – камера сгорания; 4 – турбина;
5 – потребитель энергии (генератор, нагнетатель и др.)

Рисунок 8.4 – Схема ГТД открытого цикла с регенерацией тепла

Продукты сгорания расширяются в газовой турбине, после чего проходят регенератор, в котором охлаждаются, затем выбрасываются в атмосферу. Таким образом, экономичность ГТУ с регенерацией теплоты выше, чем экономичность ГТУ простейшей схемы без регенерации.

Поверхность нагрева регенераторов образуют большое число труб малого диаметра или волнообразные пластины. По каналам между двумя волнистыми пластинами проходит нагреваемый воздух. С внешней стороны стенки этих каналов омываются отработавшими газами турбин.

Можно увеличить экономичность ГТУ, применяя промежуточный подогрев газа и охлаждение воздуха, т. е. используя сложные схемы. ГТУ с промежуточным подогревом рабочего тела и охлаждением воздуха в конструктивном отношении сложны, и их применение оправдано в стационарной теплоэнергетике.

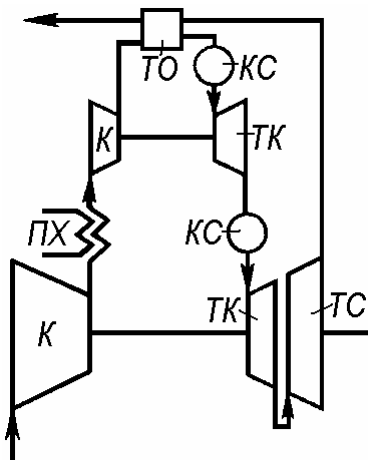
Показатели ГТД простой схемы в одновальном и двухвальном исполнении на номинальной нагрузке ничем существенно не отличаются. Применение двухвального ГТД простейшей схемы оправдывается только в условиях переменного режима работы, когда тяговая газовая турбина работает с заданной переменной скоростью и при различной нагрузке. В этом случае при переходе с номинального на частичные режимы показатели двухвального ГТД по сравнению с одновальным наиболее стабильны.

Схему одновального ГТД (рисунок 8.1, б), когда компрессор и турбина жестко соединены валом, для транспортных целей не применяют. При увеличении сопротивления движению частота вращения трансмиссии и вала ГТД уменьшается, а это связано с уменьшением массового расхода компрессора и мощности всего агрегата. Поэтому для транспортных ГТД применяют двух- или трехвальные двигатели.

В двухвальных двигателях (рисунок 8.1, в) трансмиссия автомобиля и компрессор приводятся в движение отдельными турбинами: самостоятельной силовой тяговой турбиной и турбиной привода компрессора. При этом компрессор приводится в движение от турбины высокого давления, на лопатки которой газы поступают непосредственно из камеры сгорания, а трансмиссия – от турбины низкого давления. Мощность в газотурбинных двигателях регулируется изменением подачи топлива в камеру сгорания, т. е. изменением температуры и количества газов, поступающих на лопатки рабочего колеса турбины. С уменьшением подачи топлива снижается мощность турбины привода компрессора, вследствие чего уменьшается его массовый расход, а это вызывает дальнейшее снижение мощности обеих турбин. Снижение максимальной температуры

цикла и степени повышения давления компрессора вызывает ухудшение КПД агрегата и резкое увеличение удельного расхода топлива.

Более экономичны трехвальные ГТД (рисунок 8.5), которые имеют два компрессора с приводом от самостоятельных турбин и силовую турбину низкого давления. Из компрессора низкого давления воздух поступает в промежуточный холодильник, а затем, – в компрессор высокого давления, имеющий общий вал с турбиной высокого давления. Сжатый примерно до 1,5 МПа воздух через теплообменник поступает в камеру сгорания. После турбины высокого давления в продукты сгорания, еще богатые кислородом, впрыскивается дополнительное количество топлива (во второй камере сгорания), после чего газы поступают на лопатки рабочего колеса турбины привода компрессора низкого давления и далее – на лопатки силовой турбины. Поскольку в этом случае двигатель регулируют путем изменения степени нагрева рабочего тела перед турбиной привода компрессора низкого давления, температура газов в ступени высокого давления остается практически постоянной. Это позволяет двигателю работать со сравнительно хорошими показателями на частичных нагрузках. Недостаток такого двигателя – сложность его конструкции.



К – компрессор; *ТК* – турбина компрессора; *ТС* – турбина силовая;
ТО – теплообменник; *КС* – камера сгорания; *ПХ* – промежуточный холодильник

Рисунок 8.5 – Схема трехвального ГТД

ГТУ получили распространение в металлургической промышленности, на железнодорожном и автомобильном транспорте, в качестве

судовых двигателей. Перспективно применение газовых турбин в качестве вспомогательных агрегатов (наддув) в поршневых и реактивных двигателях.

ГТД имеют ряд преимуществ перед поршневыми: рабочие органы совершают в них только вращательное движение и легко уравниваются; характеристика крутящего момента протекает весьма благоприятно (с уменьшением частоты вращения крутящий момент резко возрастает), что позволяет упростить конструкцию коробки скоростей; могут работать на любом малосернистом жидком или газообразном топливе с большим избытком воздуха, поэтому продукты сгорания их имеют меньшую концентрацию токсичных веществ; легко пускаются при низких температурах и отличаются большой габаритной мощностью.

Однако газовые турбины пока уступают по экономичности поршневым ДВС, особенно при работе с неполной нагрузкой, и, кроме того, отличаются большой теплонпряженностью лопаток рабочего колеса, обусловленной их непрерывной работой в среде газов с высокой температурой. При снижении температуры газов, поступающих в турбину, для повышения надежности лопаток уменьшается мощность, ухудшается экономичность турбины. Без теплообменника ГТД имеют низкую экономичность, существующие теплообменники громоздки и сложны в изготовлении. Рабочая частота вращения вала тяговой турбины составляет 30 – 50 тыс. мин⁻¹, что усложняет трансмиссию автомобиля. ГТД сложны и дороги в производстве.

Для осуществления высокоэффективного ГТД необходимо решить проблемы: металловедческую, связанную с изысканием жаропрочных сплавов, и аэродинамическую, заключающуюся в усовершенствовании проточных частей газовой турбины и осевого компрессора.

Повышение эффективности использования газотурбинного привода может осуществляться не только за счет повышения экономичности самого двигателя (повышение температуры газов перед турбиной, применение регенерации теплоты отходящих газов или использование других теплотехнических мероприятий), но и за счет широкой утилизации отходящих газов турбины. В частности, теплота отходящих газов ГТУ может быть эффективно использована на отопление помещений.

Применение жаростойких материалов и охлаждения лопаток, усовершенствование термодинамических схем ГТД позволяют улучшить их показатели и расширить область использования.

9 Двигатели внешнего сгорания Стирлинга

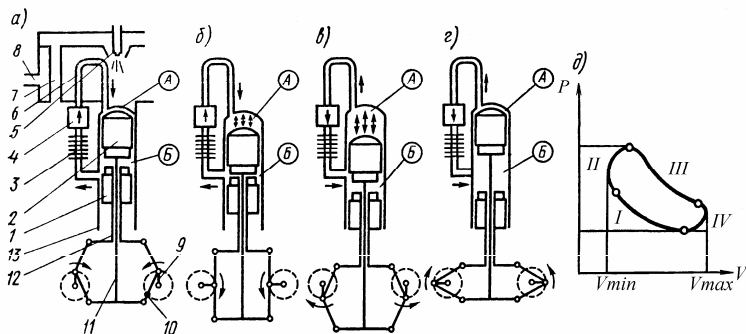
Работы, направленные на поиск **альтернативных** двигателю внутреннего сгорания энергетических установок, ведутся во всех развитых странах и обусловлены стремлением к наиболее рациональному расходованию энергии топлива и уменьшению загрязнения окружающей среды продуктами его сгорания. С этой точки зрения весьма перспективен двигатель **внешнего сгорания Стирлинга**, который может работать практически в сочетании с любым тепловым источником.

Принцип действия такого двигателя разработал и в 1861 г. запатентовал шотландский священник Роберт Стирлинг, именем которого в дальнейшем и стали называть тепловой двигатель внешнего сгорания с замкнутой циркулирующей газообразного рабочего тела. Практическая реализация такого двигателя была осуществлена, однако, только в середине 20-х гг. прошлого века, а всесторонние исследования и совершенствование конструкции далеки еще от завершения и в наши дни. Некоторые технологические особенности и используемые материалы не позволяют пока двигатель Стирлинга уверенно применять в качестве транспортной силовой установки, хотя достигнуты уже хорошие результаты и налажено широкое его применение для привода систем на космических объектах и в стационарных силовых агрегатах специального назначения.

Принцип действия двигателя Стирлинга рассмотрим на примере одноцилиндрового двухпоршневого варианта, который был исходным для последующего совершенствования конструкции (рисунки 9.1).

Двигатель состоит из цилиндра 13, в котором совершают возвратно-поступательное движение два поршня, условно называемые вытеснительным 1 и рабочим 2. Взаимное перемещение поршней и передача крутящего момента на кривошипные валы 9 осуществляется с помощью ромбовидного шатунного механизма 10 и соосных штока 12 вытеснительного поршня и штока 11 рабочего поршня.

Рабочее тело находится в полости А между верхним рабочим поршнем и головкой цилиндра и в полости Б между поршнями, а в процессе перемещения поршней оно проходит холодильник 3, регенератор 4 и теплообменник-нагреватель 6, где воспринимает теплоту продуктов сгорания топлива, подаваемого в зону горения форсункой 5. Отходящие газы 8 подогревают воздух, подводимый по каналу 7 к горелке.



а, б, в, г – такты двигателя; д – индикаторная диаграмма; I – сжатие (г, а, б – в полости Б; в, г, а – в полости А); II – подвод теплоты; III – расширение (а, б, в – в полости А; б, в, г – в полости Б); IV – отвод теплоты

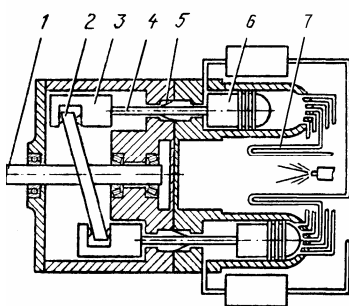
Рисунок 9.1 – Принцип действия двигателя Стирлинга

В положении (рисунок 9.1, а) рабочий поршень 2 подошел к верхней мертвой точке, а вытеснительный поршень 1 сжимает рабочее тело в полости Б (процесс изображен на нижней ветви I индикаторной диаграммы, рисунок 9.1, д), откуда оно поступает через холодильник в регенератор и к нагревателю (ветвь II). В регенераторе рабочее тело предварительно нагревается, используя для этого теплоту предыдущего рабочего цикла. При повороте кривошипов вала в направлении стрелок поршни взаимно сближаются (рисунок 9.1, б), и объем полости Б еще более уменьшается, но к тому времени происходит уже рабочий ход – расширение нагретого рабочего тела в полости А (верхняя ветвь III индикаторной диаграммы). При последующем повороте кривошипов (рисунок 9.1, в) завершается расширение в полости А, и начинается расширение в полости Б, куда и устремляется рабочее тело, проходя через регенератор 4 и отдавая ему свою теплоту, и далее охлаждаясь в холодильнике 3 (ветвь IV). В положении (рисунок 9.1, г) объем рабочего тела максимальный. При дальнейшем повороте кривошипов верхний поршень завершает движение к ВМТ, а нижний начинает ход сжатия.

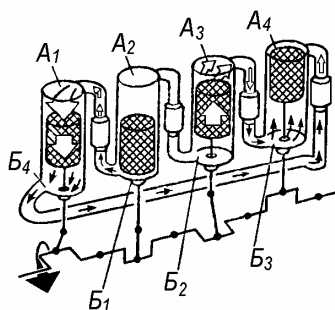
В качестве рабочего тела может быть использован воздух, но чаще применяют более легкие газы – водород или гелий, обладающие меньшей вязкостью, что снижает гидравлические потери на газообмен. Повышение термического КПД двигателей Стирлинга связано с повышением давления рабочего тела, поэтому обычно они работают с давлениями до 15,0 – 20,0 МПа при температуре в верхней части цилиндра

650 – 700 °С, а в нижней (подпоршневом пространстве) – 70 – 80 °С. Рассмотренная схема, реализованная фирмами «Филлипс» (Голландия) для зарядных станций, «ДАФ» (Дания) для автобуса (четырёхцилиндровый двигатель) и некоторыми другими, имеет ряд недостатков. Сложный и громоздкий кривошипный механизм подвержен высоким нагрузкам, а надежное уплотнение взаимно перемещающихся штоков и поршней в цилиндре связано с большими трудностями.

В начале 70-х гг. был разработан четырёхцилиндровый двигатель Стирлинга с одинарными поршнями в каждом цилиндре. На рисунке 9.2 показана конструктивная схема (а). На функциональной схеме (рисунок 9.2, б) этот двигатель представлен в виде рядного, со смещением кривошипов коленчатого вала под 90°, при этом полости А и Б здесь образованы в надпоршневом и подпоршневом пространствах смежных цилиндров. В рассматриваемом двигателе Стирлинга (рисунок 9.2, а) усилия поршней 6 передаются штоками 4 на наклонную шайбу 2, связанную с выходным валом 1. Боковые усилия воспринимаются направляющими 3 штоков. Подпоршневая полость уплотняется резиновой манжетой. Мощность двигателя регулируется перепуском части рабочего тела из зоны рабочего хода в зону расширения или откачки рабочего тела в специальный ресивер высокого давления. Для повышения термического КПД двигателя поступающий в камеру сгорания воздух предварительно нагревают от медленно вращающегося дискового керамического регенератора.



а) конструктивная схема



б) схема работы двигателя

Рисунок 9.2 – Двигатель Стирлинга фирмы «Форд»

Теплообменник 7 образован рядом бесшовных тонкостенных капиллярных трубок, способных выдерживать высокие давления. Разви-

тая поверхность множества трубок позволяет осуществлять эффективную теплопередачу от продуктов сгорания к рабочему телу.

Именно технологическая сложность изготовления теплообменника является основным препятствием для освоения двигателя Стирлинга в массовом производстве. Не решена пока и проблема оптимального регулирования мощности. Вместе с тем основным его достоинством является возможность работы с любым источником теплоты, в том числе, например, с тепловым аккумулятором, заряжаемым «сбросовой» теплотой ядерных электростанций, и т. п. На космических объектах также двигатели используют энергию солнечного излучения.

10 Вредные выбросы ДВС. Методы снижения токсичности

Состав отработавших газов (ОГ)

По характеру воздействия на живые организмы компоненты ОГ подразделяются на:

- нетоксичные N_2 , O_2 , H_2 , H_2O , CO_2 ;
- токсичные CO , NO_x , C_xH_y ;
- альдегиды $RCHO$ (малотоксичные, пахнущие углеводороды);
- сажу (C);
- канцерогенные ароматические углеводороды (бензо- α -пирены);
- токсичные соединения свинца (этилированный бензин).

Состав ОГ зависит от рода применяемого топлива, присадок и масел, режимов работы двигателя, его технического состояния и др.

Основными токсичными компонентами двигателей являются: бензинового – CO , CH , NO_x , Pb ; дизеля – C , NO_x .

Дизели менее токсичны, чем бензиновые двигатели, но выделяют большее количество сажи.

Количество токсичных веществ может достигать следующих величин (таблица 10.1):

В настоящее время наблюдается ужесточение норм на вредные выбросы. Нормы на вредные выбросы с ОГ дизелей приведены в таблице 10.2 и на рисунке 10.1.

Таблица 10.1 – Вредные выбросы с ОГ дизелей и бензиновых двигателей

Тип двигателя	Дизель	Бензиновый
Оксид углерода, CO , %	0,2	6,0
Оксиды азота NO_x , %	0,35	0,46
Углеводороды, %	0,04	0,40
Диоксид серы, %	0,04	0,007
Сажа, мг/л	0,30	0,05

Таблица 10.2 – Нормы вредных выбросов с ОГ дизелей

Нормы	Нормы выбросов, г/(кВт ч)			
	CO	CH	NO_x	Твердые частицы
EURO – 1	4,5	1,1	8	0,36
EURO – 2	4	1,1	7	0,15
EURO – 3	2	0,6	4,5	0,1
EURO – 4	1,5	0,5	3,5	0,08
EURO – 5	1	0,5	2	0,05

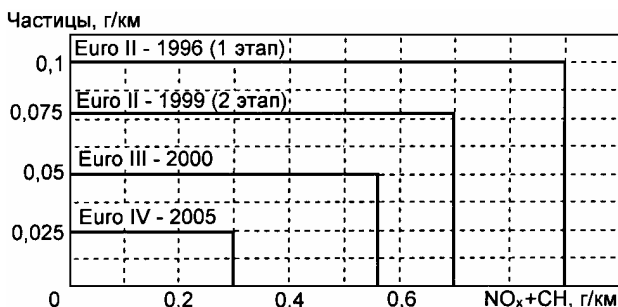


Рисунок 10.1 – Нормы вредных выбросов с ОГ для легковых автомобилей с дизельными двигателями в европейском испытательном цикле

Воздействие ОГ на организм человека и окружающую среду

Различные токсичные вещества действуют по-разному: от неприятных ощущений до серьезных заболеваний. Степень воздействия зависит от концентрации в атмосфере, состояния человека и его индивидуальных особенностей.

CO взаимодействует с гемоглобином крови и блокирует снабжение организма кислородом. Нарушает деятельность центральной нервной системы. Приводит к потере сознания, возможен смертельный исход. Наиболее опасна CO в закрытых помещениях. В боксе гаража при работе двигателя смертельная концентрация возникает через 2 – 3 мин. Допустимая концентрация – 1 мг/м³.

NO_x . NO составляет 90 – 99 % в ОГ, но еще в системе выхлопа окисляется до NO_2 . NO_2 – газ красновато-бурого цвета, в малых концентрациях не имеющий запаха. Раздражающе действует на слизистые оболочки глаз, носа, легких, т. к., соединяясь с водой, образует кислоту. Отравление организма проявляется не сразу, а постепенно. Нейтрализующих средств нет.

CH – парафины, олефины, ароматики и т. д. *CH* образует смог (фотохимический туман *CH* + *NO* + свет). Реагируя с окислами азота, образует биологически активные вещества, вызывающие раздражение глаз, горла, носа и т. д.

Сажа вызывает изменение в дыхательных органах человека, т. к. ее мелкие частицы 0,5 – 2 мкм задерживаются в легких, вызывают аллергию. Кроме этого на саже адсорбируются канцерогенные вещества (бензо- α -пирены или БАП), вызывающие раковые заболевания.

Pb входит в состав ТЭС, выбрасывается с ОГ в виде аэрозоля. Попадая в организм, вызывает отравление, приводящее к нарушениям функции органов пищеварения, нервно-мышечной системы, мозга. Свинец плохо выводится из организма и может накапливаться в нем до опасных концентраций. Свинец накапливается и в растениях. Не следует собирать растения вдоль дорог.

Кроме воздействия на организм человека ОГ действуют и на окружающую среду:

- понижается урожайность сельхозкультур;
- уменьшается ценность садовых культур;
- ухудшается качество кормовых растений;
- гибнет лес;
- разрушаются архитектурные памятники и др.

Причины появления токсичных компонентов ОГ

В условиях недостатка кислорода в рабочей смеси или плохого смесеобразования имеет место неполнота сгорания топлива с образованием сажи, углеводородов, оксида углерода и альдегидов. Недостаток кислорода в рабочей смеси характерен для бензиновых двигателей на режимах холостого хода и торможения двигателем при работе на богатых смесях. Дизели на всех режимах работают при значительном избытке воздуха, поэтому выброс *CO* у них невелик, но значительно содержание в отработавших газах углеводородов и особенно сажи, которая образуется в локальных зонах, переобогащенных топливом и имеющих высокую температуру. Сажа обуславливает дымность выхлопа.

NOx образуется при избытке кислорода в условиях высокой температуры и давления.

Методы снижения вредных выбросов

В соответствии со структурной схемой (рисунок 10.2) основными направлениями обеспечения экологической безопасности ДВС являются:

- подавление эмиссии токсичных веществ в процессе сгорания топлива;

- снижение содержания токсичных веществ в отработавших газах вне рабочей полости (нейтрализация отработавших газов);

- использование топлив, не содержащих (или содержащих допустимый минимум) токсических веществ и не образующих таковых при сгорании;

- предотвращение выброса вредных веществ помимо ОГ.

Наиболее рациональным является первое направление, которое, в свою очередь, может быть разделено на два:

- уменьшение образования продуктов неполного сгорания (CO) и частичного разложения (CH , *сажа*) топлива;

- уменьшение образования оксидов азота (NO_x).

Реализация способов уменьшения образования продуктов неполного сгорания может быть выполнена за счет обеспечения **достаточной** общей и локальной **концентрации кислорода**, а также сокращения продолжительности (увеличения скорости) сгорания. Совершенно иной подход необходим для уменьшения образования оксида азота. Последнее требует **снижения** максимальных, средних и локальных **температур продуктов сгорания**.

Отмеченные направления реализуются в современных двигателях комплексно путем:

- корректирования рабочего процесса двигателя;

- оптимизации регулировок по составу горючей смеси и углу опережения зажигания или впрыскивания топлива;

- совершенствования конструкции двигателя и его составных частей.

Комплекс этих приемов реализуется по-разному для бензиновых двигателей и дизелей.

а) Корректирование рабочего процесса современных бензиновых двигателей сводится к оптимизации состава, микро- и макроструктуры горючей смеси (улучшение качества подготовки топливно-воздушной смеси, обеспечение равномерного ее распределения по цилиндрам и полноты сжигания, например, использование системы впрыска бензина вместо карбюраторов), применению рециркуляции отработавших газов.

б) Совершенствование рабочего процесса дизелей выполняется путем:

- оптимизации временных и энергетических характеристик впрыскивания топлива, обеспечивающих наилучшую микро- и макроструктуру заряда, а также минимальную задержку воспламенения;

- оптимизации вихревого движения воздушного заряда;

- применения рециркуляции отработавших газов;

- впрыскивания воды во впускную систему или применения водотопливных эмульсий.

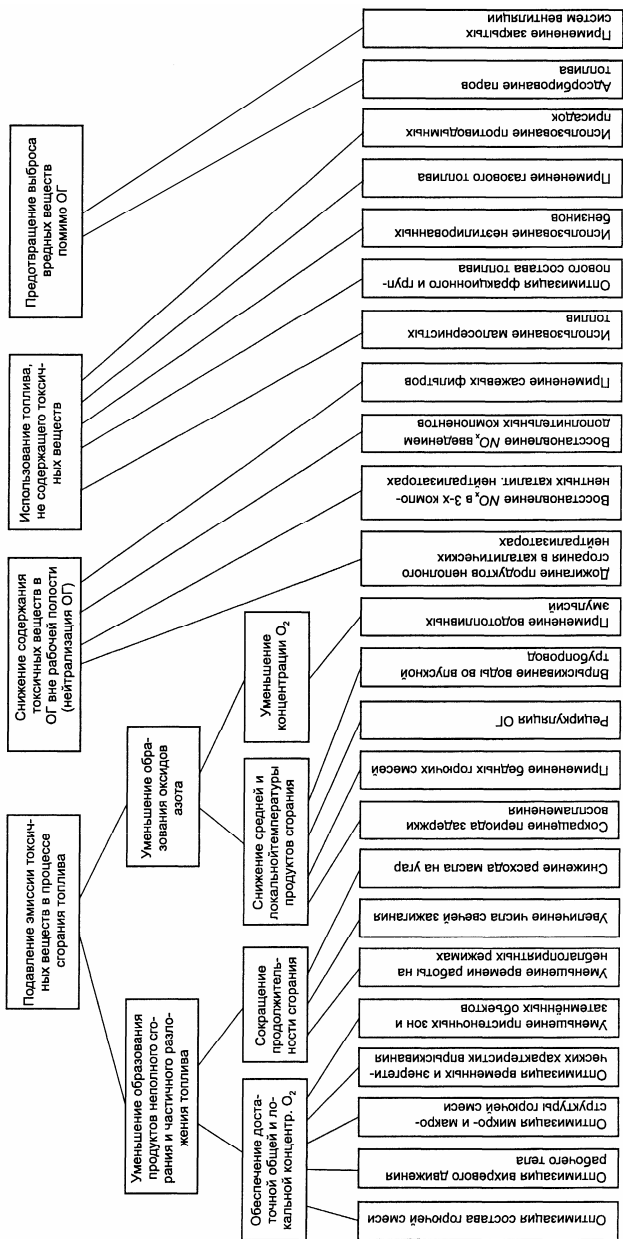


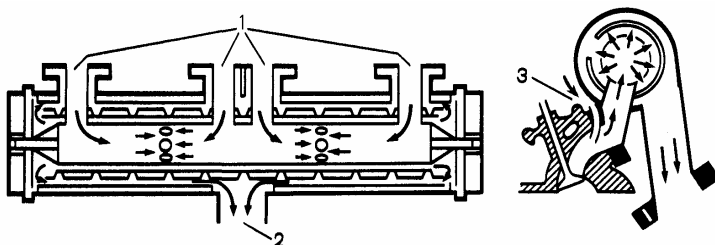
Рисунок 10.2 – Методы снижения токсичности вредных выбросов поршневых ДВС

В целом перечисленные приемы направлены на то, чтобы процесс сгорания начинался по возможности ближе к верхней мертвой точке (ВМТ) при минимальном периоде задержки воспламенения.

Перечисленные выше методы позволяют уменьшить образование вредных веществ, но они не в состоянии удовлетворить жестким нормативам Еуро-II, III и т. д. Поэтому приходится использовать методы нейтрализации токсичных веществ в отработавших газах уже после их выхода из цилиндра. В нейтрализаторах основные токсичные вещества, содержащиеся в отработавших газах (CO , CH и NO_x) в результате химических реакций с кислородом или между собой образуют нетоксичные газы.

Различают два типа **нейтрализаторов**: термические и каталитические. Все более широкое применение находит "дожигание" отработавших газов, обеспечивающее высокую степень нейтрализации.

В **термореакторе** (рисунок 10.3) осуществляется процесс пламенного дожигания оксида углерода CO и превращения его в углекислый газ CO_2 , а также сжигание несгоревших в цилиндре углеводородов и альдегидов. Термореактор устанавливается за выпускным трубопроводом. Для интенсификации процесса дожигания в камеру термореактора подается дополнительный воздух. Реакция окисления происходит при температуре $500 - 600\text{ }^{\circ}C$ и снижает наличие углеводородов примерно в 2 раза, а оксида углерода – в 2 – 3 раза.



1 – выпускные патрубки двигателя; 2 – выход выпускных газов из нейтрализатора;
3 – подвод дополнительного воздуха

Рисунок 10.3 – Термический нейтрализатор-дожигатель

Каталитические нейтрализаторы, помимо окисления CO и CH , могут осуществлять еще и разложение оксидов азота NO_x .

Испытания нейтрализаторов показали, что уровень CO в отработавших газах снижается на 80 %, CH – на 70 %, а NO_x – на 50 %. В целом токсичность отработавших газов уменьшается в 10 раз. Процесс

окисления CO и CH беспламенный и протекает при прохождении отработавших газов через слой катализатора в виде гранул. В нейтрализаторах часто в качестве катализатора используется оксид алюминия.

Как и в термореакторе, процесс окисления CO и CH требует подачи дополнительного воздуха, а процесс восстановления оксида азота NO_x не требует подачи воздуха. Современные каталитические нейтрализаторы выполняются в виде двухкамерного реактора (рисунок 10.4). В одной из камер осуществляется окисление CO и CH , а во второй – восстановление NO_x . Эти нейтрализаторы применяются на бензиновых и дизельных двигателях. На рисунке 10.5 приведена схема комбинированного нейтрализатора выпускных газов.

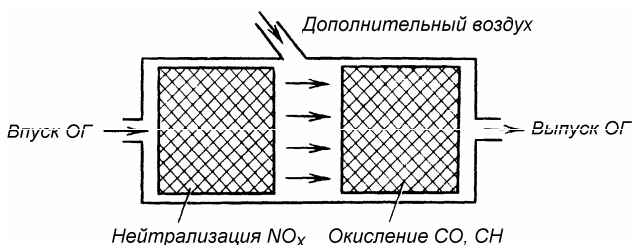


Рисунок 10.4 – Схема двухкамерного каталитического катализатора

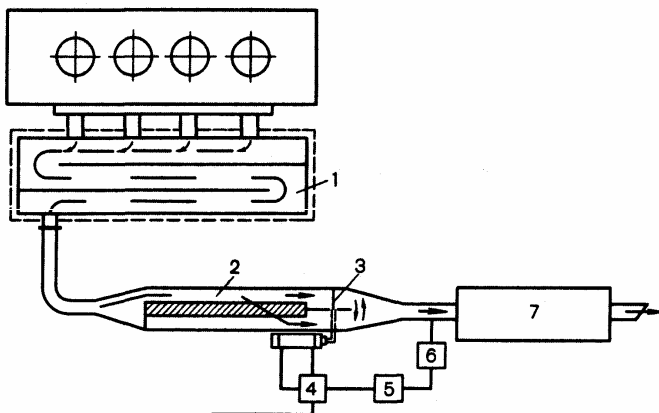
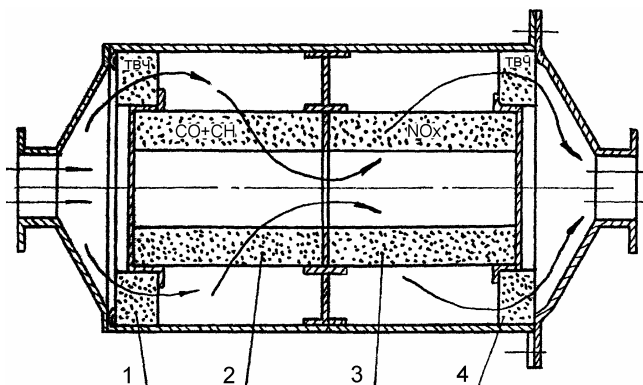


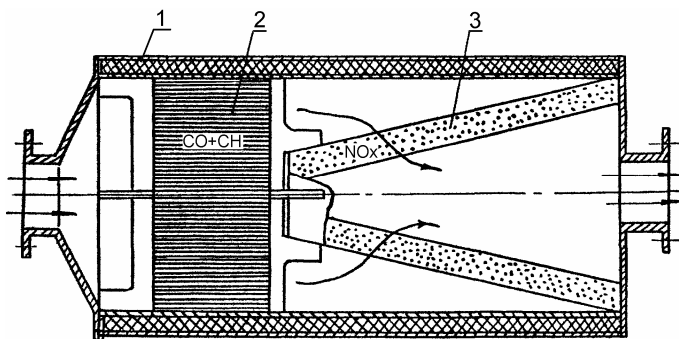
Рисунок 10.5 – Комбинированный нейтрализатор выпускных газов

На рисунках 10.6 и 10.7 приведены конструкции комбинированных многоступенчатых нейтрализаторов, разработанных в АлтГТУ на кафедрах ДВС и АТ под руководством профессора А. Л. Новоселова.



1, 4 – пористый цилиндрический металлокерамический элемент (фильтрация твердых частиц); 2 – окислительный пористый металлокерамический элемент (окисление $CO+CH$); 3 – восстановительный пористый металлокерамический элемент (восстановление NO_x)

Рисунок 10.6 – Блочный многоступенчатый каталитический нейтрализатор конструкции АлтГТУ



1 – теплоизоляция; 2 – окислительный каталитический патрон рулонного типа из гладкой и рифленой лент с покрытием из платиновой черни (окисление $CO+CH$); 3 – восстановительный пористый металлокерамический элемент (восстановление NO_x)

Рисунок 10.7 – Блочный многоступенчатый каталитический нейтрализатор конструкции АлтГТУ

В процессе эксплуатации двигателей с нейтрализаторами выявились **трудности** их применения и **недостатки**. Одна из трудностей состоит в том, что в отработавших газах дизелей содержится 10 % и более кислорода, в присутствии которого реакция восстановления оксида азота не происходит, а для окисления CO этого кислорода недостаточно. Поэтому обычные каталитические реакторы без дополнительных устройств обеспечивают у дизелей нейтрализацию несгоревших углеводородов и альдегидов, а также небольшую долю оксида углерода.

При использовании в двигателях с нейтрализаторами **этилированного** бензина происходит быстрое обволакивание поверхности катализатора свинцом. У дизелей с нейтрализаторами на катализаторе осаждаются сажа и сера, что существенно ослабляет действие катализатора, и он после некоторого времени выходит из строя. Эффективность действия каталитического нейтрализатора существенно зависит от температуры в реакторе. Низкотемпературные реакторы работают при 100–300 °C, а высокотемпературные – при 300 – 600 °C и более.

При высокой температуре в реакторе его корпус может быстро прогореть; устранение этого дефекта приводит к усложнению и удорожанию нейтрализатора.

Для уменьшения выбросов сажи применяют **сажевые фильтры**.

Для сохранения воздушного бассейна чистым автомобильные двигатели переводятся на работу на сжиженный и сжатый газ, спирт; ведутся исследования по переводу двигателей на водородное топливо.

11 Производство двигателей в России и за рубежом

11.1 Двухтактные бензиновые двигатели

Двигатели мотоциклов

ПО «ИжМаш» (г. Ижевск) освоен выпуск двигателей с $V_h = 350 \text{ см}^3$ (мотоцикл);

Завод имени Дягтерева (г. Ковров) – $V_h = 180 \text{ см}^3$ (мотоцикл);

Тульский машиностроительный завод (г. Тула) – $V_h = 200 \text{ см}^3$ (мотороллер);

г. Вятские поляны – $V_h = 150 \text{ см}^3$ (мотороллер);

Пензенское ПО «Завод им. Фрунзе» (г. Пенза) – $V_h = 50 \text{ см}^3$ (мопед);

ММВЗ (г. Минск) – $V_h = 125 \text{ см}^3$ (мотоцикл);

Велосипедно-моторный завод «Вайрас» (г. Шауляй) – $V_h = 50 \text{ см}^3$ (мопед);

«Хонда» (Япония) – $V_h = 50, 70, 80, 125 \text{ см}^3$ (мотоцикл);
«Ямаха» (Япония) – $V_h = 50-125, 250 \text{ см}^3$;
«Сузуки Мотор» (Япония) – $V_h = 50 - 250 \text{ см}^3$;
«Пьяджио-Джилера» (Италия) – $V_h = 50 - 125 \text{ см}^3$ и др.

Пусковые двигатели для тракторных дизелей разработаны на базе мотоциклетных двигателей.

ПД-8М	$V_h = 199 \text{ см}^3$;	$Ne = 5,15 \text{ кВт}$;
ПД-10У	$V_h = 346 \text{ см}^3$;	$Ne = 7,36 \text{ кВт}$;
П-350	$V_h = 346 \text{ см}^3$;	$Ne = 9,93 \text{ кВт}$.

Двигатели для снегоходов

ПО РМЗ (г. Рыбинск) – РМЗ-640 с $V_h = 635 \text{ см}^3$; $Ne = 20,6 \text{ кВт}$.

Лодочные двигатели

1-2-3 – цилиндровые, $V_h = 125-500 \text{ см}^3$; $Ne = 3,5 - 22,5 \text{ кВт}$.

Двухтактные карбюраторные ДВС широко применяются в **сельском хозяйстве** (мотоблоки, тилеры, косилки, соломорезки, подъемники, насосы, мотопилы), **строительстве** (конвейеры, компрессоры, вибраторы, трамбовки), **промышленности** (генераторы, автомобили, автокары), **авиации** (спортивные самолеты, беспилотные самолеты) и др.

Вопросы совершенствования мощностных, экономических, токсических и шумовых показателей этого класса двигателей имеют большое практическое, экономическое и социальное значение.

11.2 Быстроходные дизели отечественного производства

Дизельный двигатель на настоящий момент является основной энергетической установкой для транспортных и сельскохозяйственных машин, дорожной и строительной техники, мобильных электроагрегатов, техники специального назначения и др.

ОАО «ПО Алтайский моторный завод» (г. Барнаул) выпускает семейство 4-цилиндровых и 6-цилиндровых дизелей для тракторов, комбайнов, автогрейдеров, экскаваторов, насосных и компрессорных станций, буровых установок, электроагрегатов мощностью от 48,5 до 132 кВт (А41, Д440, Д442, А01 и др.). Это четырехтактные дизели жидкостного охлаждения с непосредственным впрыском топлива. Базовыми моделями семейств являются дизели А-41 и А-01М. Все двига-

тели имеют рядное расположение цилиндров. Диаметр цилиндра 130 мм и ход поршня 140 мм. Дизели унифицированы по основным деталям клапанного механизма с дизелями ЯМЗ. Наличие турбонаддува и муфты сцепления расширяют область использования дизелей и улучшают их технические параметры.

ОАО «Волгоградский моторный завод» (г. Волгоград) выпускает семейство мощных дизелей воздушного охлаждения, предназначенных для установки на промышленные тракторы, бульдозеры, трубоукладчики и др., 8ДВТ-330, В-400, В-500Б и В-500Д.

Все двигатели производства ОАО «ВгМЗ» с воздушным охлаждением и газотурбинным наддувом. Двигатели выполнены по V-образной схеме расположения цилиндров с углом развала 90 °, индивидуальными цилиндрами и головками цилиндров, имеют 8 цилиндров, размерность 150/160, мощность 200 – 400 кВт.

ОАО «Владимирский тракторный завод» (г. Владимир) производит 2-, 3-, 4- и 6-цилиндровые дизели (Д21, Д22, Д120, Д37, Д144, Д160), устанавливаемые на тракторы и самоходные шасси классов 0,6 и 0,9 т, выпускаемые Липецким, Ташкентским и Владимирским тракторными заводами, а также Харьковским заводом самоходных шасси. Кроме того, эти двигатели широко применяются на асфальто- и бетоноукладчиках, передвижных электросварочных и водонасосных станциях.

Размерность двигателей 105/120, мощность от 15 до 100 кВт. Все модели дизелей спроектированы с вертикальным рядным расположением цилиндров, что позволяет использовать унифицированные цилиндропоршневые отсеки. Поэтому у всех двигателей цилиндры, поршни, поршневые пальцы и кольца, шатуны, головки цилиндров и установленные на них детали клапанного механизма, а также детали крепления секций к блок-картерам унифицированы.

ОАО ХК «Барнаултрансмаш», г. Барнаул

Дизель В-2 представляет собой конструкцию, которая на долгие годы определила направление развития дизелестроительной отрасли, занимающейся производством дизелей мощностью от 100 кВт и выше. Дизели типа В-2 относятся к классу быстроходных с непосредственным впрыском топлива, жидкостного охлаждения, размерностью 150/180 (12 цилиндров, расположенных V-образно под углом 60 °).

На базе дизеля В-2 созданы семейства дизелей В-2 (ОАО «Уралтрак» г. Челябинск) мощностью 300 – 800 кВт, УД6 (г. Екатеринбург) мощностью 110 – 180 кВт и Д6 мощностью 110 – 220 кВт, Д12 мощностью 220 – 480 кВт (ОАО «Барнаултрансмаш» г. Барнаул).

Назначение: транспортные, судовые, стационарные, двойного назначения и др.

Семейство дизелей УТД-20 (транспортных быстроходных четырехтактных двигателей жидкостного охлаждения с непосредственным впрыском топлива размерностью 150/150 мм многоцелевого назначения мощностью 120-265 кВт) разработано на основе опыта создания и производства дизелей В-2, Д6 и Д12. Двигатель имеет 6 цилиндров, расположенных V-образно под углом 120 °. Изменение форсировки и применение соответствующей комплектации навесными агрегатами позволяет использовать базовую модель в различных отраслях применения (спецмашины, автомобили, тракторы, суда малого водоизмещения, дизельгенераторы и др.).

Особенностью является коленчатый вал, установленный на роликовых подшипниках.

Семейство дизелей БМД включает двигатели размерностью 150/180 мм:

- 3- и 4-цилиндровые модели БМД-3, БМД-4 с рядным расположением цилиндров, мощностью 120-235 кВт;

- 8- и 12-цилиндровые модели БМД-8, БМД-12 с V-образным расположением цилиндров, углом развала блоков 90 °, мощностью 250 – 955 кВт.

Назначение: многоцелевой дизель двойного назначения (транспортный, стационарный, судовой).

ОАО «Рыбинские моторы» (г. Рыбинск). Завод выпускает рядные четырехцилиндровые дизели (Д65, Д75, Д105 и др.) размерностью 110/130 мм, жидкостного охлаждения мощностью 40 – 80 кВт различного назначения (экскаваторы, тракторы, строительно-дорожные машины и др.)

ОАО «Челябинский тракторный завод» (г. Челябинск) выпускает рядные 4- и 6-цилиндровые дизели с турбонаддувом (модели Д108, Д160, Д180) размерностью 145/205 мм мощностью 100 – 125 кВт, предназначенные для промышленных и пахотных тракторов, тягачей и др.

Семейство двигателей «КамАЗ» (г. Набережные Челны) создавалось для комплектации большегрузных автомобилей «КамАЗ». В настоящее время двигатели «КамАЗ» используются в автомобилях «Урал», автобусах, строительной и дорожной технике, насосных агрегатах и др. технике.

Двигатели семейства «КамАЗ» (КамАЗ-740) представляют собой четырехтактные, восьмицилиндровые дизели жидкостного охлаждения с V-образным расположением цилиндров под 90°, размерностью 120/120 мм. Двигатели выпускаются как с газотурбинным наддувом, так и без него. Мощность двигателей составляет 130 – 190 кВт при частоте вращения коленчатого вала 2600 и 2200 мин⁻¹. Начато производство двигателей семейства «КамАЗ» размерностью 120/130 мм мощностью до 360 кВт.

Ярославский моторный завод (ОАО «ЯМЗ», затем ОАО «Автодизель») (г. Ярославль) большими сериями выпускает два семейства (размерности 130/140 и 140/140) четырехтактных дизелей, в которые входят 6-, 8- и 12-цилиндровые дизели мощностью от 110 до 588 кВт более 60 моделей и модификаций, 250 комплектаций. Особое место среди них занимают многоцелевые дизели размерности 130/140. Технические характеристики, универсальность, высокая степень унификации и ремонтпригодность сделали их применимыми для автомобилей БелАЗ, БЗКТ, ЗИЛ, КрАЗ, МАЗ, МоАЗ и «Урал», комбайнов «Ростсельмаша» и Красноярского завода комбайнов, тракторов сельскохозяйственного и промышленного назначения, колесной и гусеничной техники МЗКТ, КЗКТ и КМЗ, экскаваторов, дорожных машин, дизельгенераторов судовых и стационарных установок, железнодорожной техники и других изделий. За последние годы число потребителей практически удвоилось. Заказчиками стали Красноярский, Тульский, Гомельский комбайновые, Орловский и Онежский тракторные заводы, производители автобусов (ЛиАЗ, АМАЗ, ЛАЗ, МЗПА, «Волжанин»), дорожной и строительной техники. ОАО «ЯМЗ», не будучи монополистом в области дизелестроения, фактически завоевал значительную часть рынка.

Базовые модели ЯМЗ-236, 238 – 6- и 8-цилиндровые V-образные с углом развала 90°, ЯМЗ-240 – 12-цилиндровые V-образные с углом развала 75°, имеют роликовые коренные подшипники коленвала и картер туннельного типа. Разработаны рядные 6-цилиндровые модели размерностью 120/120 мм мощностью до 150 кВт для автобусов малой и средней вместимости, малотоннажных грузовых автомобилей, машин сельскохозяйственного назначения и др.

Другие дизели в России и странах бывшего СССР

На **Пензенском** дизельном заводе выпускают тепловозные, судовые и стационарные дизели Д50.

На заводе «**Дальдизель**» в г. Хабаровске – Д 16,5/20, судовые и стационарные дизели Ч и ЧН 18/22. На Троицком заводе организован выпуск дизелей Ч 25/34.

На **Брянском** машиностроительном заводе – 7ДКРН 74/160 мощностью 8750 л.с. при 115 мин⁻¹, 9ДКРН84/180-3 мощностью 15500 кВт при 110 мин⁻¹, серийное производство мощных, малооборотных крейцкопфных дизелей по лицензии датской фирмы «Бурмейстер и Вайн».

На заводе «**Звезда**» (г. С-Петербург) было освоено производство 42- и 56-цилиндровых звездообразных дизелей ЧН 16/17 для мощных быстроходных кораблей, а также двигателей М401 (12ЧН 18/20) для судов на подводных крыльях.

На заводе «**Русский Дизель**» (г. С-Петербург) создан ряд судовых дизелей и стационарных автоматизированных дизель-генераторов (ДПРН и ДПН 23/2х30), по лицензии фирмы «Пилстик» выпускались дизели 6ЧН40/46. С 1997 завод переведен на новую площадку за город (Всевожский р-н Ленинградской обл.), готовилось производство лицензионных дизелей «Вяртсиля».

На **Коломенском** тепловозостроительном заводе были разработаны тепловозные модификации дизелей 6Д49 и 5Д49, созданы двигатели для буровой установки АДГ-1000 на базе семейства дизелей ЧН 26/26, судовые агрегаты Д42 и Д43 с дизелями размерностью ЧН 30/38.

На **Рижском** дизелестроительном заводе освоен выпуск стационарных и передвижных установок с дизелем типа Ч 9,5/10.

На **Балаковском** машиностроительном и Уральском турбомоторном заводах организовано производство различных модификаций дизелей ЧН 21/21.

Коломенским (ОАО «КТЗ») и **Балаковским** (ОАО «Волгодизельмаш») заводами созданы на базе ряда ЧН 26/26, ЧН 30/38 и ЧН 21/21 различные модификации многоцилиндровых двигателей.

ОАО «Дизельпром» (г. Чебоксары) разработаны перспективные модификации дизелей (лицензия фирмы «MTU», Германия) ЧН 16,5/18,5 для тяжелых самосвалов, привода электрогенераторов и судового назначения.

11.3 Быстроходные дизели зарубежного производства

Дизели производства США

Фирма «CAMMINS ENGINE COMPANY, INC» производит дизели для грузовых автомобилей от 3 до 12 цилиндров рядные и V-образные мощностью от 50 до 1000 кВт.

Фирма «DETROIT DIESEL CORPORATION» является одним из крупных поставщиков двигателей как для армии, так и для граждан-

ских потребителей. Она изготавливает четыре серии двухтактных дизелей 4 – 12-цилиндровые как рядные, так и V-образные мощностью от 80 до 670 кВт.

Дизели производства Германии

Фирма «MTU MOTOREN UND TURBINEN-UNION FRIRICHSHAFEN GmbH» является крупнейшим в мире разработчиком и изготовителем высокооборотных дизелей (4 – 20-цилиндровых) мощностью от 30 до 7400 кВт, применяемых в качестве главных и вспомогательных двигателей на судах различной категории, в том числе и на судах ВМФ, на тепловозах, установках энергоснабжения, тяжелых грузовых автомобилях и силовых установках бронетанковой техники.

Фирма DEUTZ MOTOR INDUSTRIEMOTOREN GMBH (KHD DEUTZ) производит дизели для транспортных машин (автомобили, тягачи, тракторы и др.) в 5-, 6-, 8-, 10- и 12-цилиндровом рядном и V-образном исполнении мощностью от 85 до 400 кВт, в основном, воздушного охлаждения.

Фирма «DAIMLER-BENZ» (г. Штутгарт) изготавливает дизели различного назначения (автомобильные, тракторные, стационарные, тепловозные, судовые и др.) мощностью от 60 до 500 кВт 4-, 5-, 6-, 8-, 10- и 12-цилиндровые рядные, горизонтальные, V-образные.

Фирма «MAN» производит дизельные двигатели для грузовых и специальных автомобилей, для дизель-генераторных установок и других транспортных средств 4-, 5-, 6-, 10- и 12-цилиндровые рядные, V-образные мощностью от 75 до 735 кВт.

Фирма «VOLKSWAGEN AG» является одной из крупнейших автомобилестроительных фирм Западной Европы. С 1976 года фирма начала производить дизельные двигатели. Выпускает 3-, 4-, 6-, 8-, 12-, 16-цилиндровые дизели мощностью от 47 до 1360 кВт.

Дизели производства Англии

Большая часть производства дизелей транспортных машин в Англии сосредоточена на фирме «PERKINS». После приобретения у фирмы «ROLLS-ROYCE» отделения дизелей в г. Шрусбери фирма «PERKINS ENGINE GROUP LTD» стала единственным изготовителем высокофорсированных транспортных дизелей. Традиционным является производство высокооборотных дизелей с жидкостным охлаждением, с рабочим объемом от 12,2 до 32,7 л, 2 – 12-цилиндровые, жидкостного охлаждения, с рядным вертикальным или V-образным расположением

цилиндров мощностью от 130 до 900 кВт. Дизели серии специального назначения получили обозначение «CONDOR».

Дизели «LEYLAND» – многоцелевого назначения, устанавливаются на грузовых автомобилях и автобусах, а также на тракторах, строительно-дорожных и самоходных сельхозмашинах. В настоящее время в производстве находятся дизели шести размерностей: 73/90; 98/125; 107/121; 118/125; 127/146 и 136/142 мм, 4-, 6-, 8-цилиндровые мощностью от 50 до 260 кВт.

Фирма «DORMAN DIESELS LTD» уже много десятилетий производит дизельные двигатели многоцелевого назначения для автомобилей специальных шасси, строительно-дорожных машин, дизель-генераторных установок 4 – 12-цилиндровые мощностью 45 – 368 кВт.

Фирма «KELVIN DIESELS LIMITED» производит дизельные двигатели многоцелевого назначения для строительно-дорожных машин, дизель-генераторных установок и для различных приводных агрегатов.

Фирма «LISTER-PETTER» специализируется на выпуске мало-размерных дизелей как водяного, так и воздушного охлаждения, предназначенных для дизель-генераторных установок, лодочных двигателей и других агрегатов питания.

Дизели производства Франции

Фирма «RENAULT VEHICLES INDUSTRIES» производит двигатели для военных машин легкой категории.

Фирма «PEUGEOT CITROEN ENGINES» выпускает широкую гамму дизельных двигателей для легковых и малотоннажных автомобилей, агрегатов питания, дизель-генераторов и др. (4-цилиндровые дизели мощностью от 40 до 80 кВт).

Фирма «SACM DIESEL» уже много лет производит как во Франции, так и в США многоцелевые дизельные двигатели, используемые широко и для дизель-генераторных установок, 8 – 12-цилиндровые, мощностью 550 – 110 кВт.

Дизели производства Италии

Фирма «IVECO» производит двигатели для транспортных машин, которые могут выпускаться как в безнаддувном варианте, так и с турбонаддувом, 4 – 8-цилиндровые, мощностью от 55 до 380 кВт.

Фирма «VM» уже много десятилетий изготавливает многоцелевые дизели, в большей мере индустриальные и автомобильные, воз-

душного и жидкостного охлаждения 1 – 12-цилиндровые, мощностью 11 – 400 кВт.

Фирма «ACME-MOTORI S.P.A.» производит дизели для автомобилей малой грузоподъемности, других транспортных средств, для энергоагрегатов 1 – 2-цилиндровые мощностью от 4,5 до 12,5 кВт.

Фирма «CAME S.P.A.» выпускает два семейства дизелей многоцелевого назначения (автотракторные, стационарные, судовые): 980 (диаметр цилиндра 98 мм и ход поршня 120 мм) и 1050 (диаметр цилиндра 105 мм, ход поршня 120 мм). Каждое семейство включает в себя 2-, 3-, 4-, 5- и 6-цилиндровые модели мощностью от 25 до 92 кВт.

Фирма «LAMBORGHINI-MOTORI SPA», имеющая филиалы в США, Франции, Германии, Испании и Сингапуре, изготавливает более 30 моделей 12 размерностей (диаметр цилиндра от 70 до 102 мм и ход поршня от 68 до 105 мм) мощностью от 3,3 до 45,6 кВт.

Дизели производства Швеции

Фирма «VOLVO PENTA» изготавливает многоцелевые дизели пяти размерностей, 6-цилиндровые, рядные, жидкостного охлаждения, преобладающее большинство дизелей – с турбонаддувом, мощностью 110 – 310 кВт.

Фирма «SCANIA AB» изготавливает многоцелевые дизельные двигатели для автомобильных поездов, тягачей, автобусов, других транспортных средств, дизель-генераторных установок 6 – 8-цилиндровые мощностью от 167 до 314 кВт.

Фирма «DAF DIESEL» изготавливает многоцелевые дизельные двигатели для автомобильных поездов, автобусов и дизель-генераторных установок 6-цилиндровые мощностью 115 – 282 кВт.

Дизели производства Японии

Фирма «MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD» выпускает более 20 моделей дизелей восьми размерностей с диаметром цилиндра от 92 мм и ходом поршня от 100 до 140 мм, рабочим объемом от 2,7 до 18,6 л. Двигатели применяются на автомобилях, тракторах, строительных и сельхозмашинах, локомотивах, судах и дизель-генераторах. Большинство дизелей – рядные, 6-цилиндровые (около 67 %). Остальные двигатели – рядные 4-цилиндровые, V-образные 8- и 10-цилиндровые. Мощность 70 – 230 кВт.

Фирма «ISUZU MOTORS, LTD» изготавливает дизели более 25 моделей 12 размерностей (диаметр цилиндра от 86 до 145, ход

поршня от 84 до 150 мм, рабочий объем цилиндров от 0,86 до 16,83 л). Дизели с числом цилиндров 6 и менее только рядные, с числом цилиндров 6 и более – V-образные. Преобладающее большинство моделей 4- и 6-цилиндровые (по 32 % от общего числа моделей); 2- и 8-цилиндровые по 8 %; 3-цилиндровые – 12 %; 10- и 12-цилиндровые по 4 %. Все дизели – жидкостного охлаждения. Большинство дизелей выпускается в автомобильной, судовой модификациях и для дизель-генераторных установок мощностью от 45 до 275 кВт.

Фирма «KUBOTA CORPORATION ENGINE DIVISION» выпускает четырехтактные дизели жидкостного охлаждения транспортные, стационарные и для дизель-генераторов различного назначения 1 – 6-цилиндровые мощностью 3,7 – 74 кВт. Они характеризуются низким уровнем шумности и виброактивности, хорошими пусковыми свойствами, малыми износами и лучшими показателями материалоемкости.

Фирма «YANMAR DIESEL ENGINE CO, LTD» является одной из ведущих дизелестроительных фирм страны. Она имеет филиалы в США, Нидерландах, Сингапуре, Индонезии, Малайзии, выпускает транспортные, тракторные, судовые, стационарные дизели и дизели для ДГУ. В производстве находятся дизели более 20 размерностей (диаметр цилиндра от 70 до 280 мм, ход поршня от 70 до 340 мм) 1 – 12-цилиндровые мощностью от 2,8 до 707 кВт.

Фирма «NISSAN DIESEL MOTOR CO, LTD» производит многоцелевые дизельные двигатели для автомобилей, тягачей, других транспортных средств, индустриальные, для дизель-генераторов 3 – 10-цилиндровые мощностью от 26,5 до 353 кВт.

Фирма «KOMATSU TRADING INTERNATIONAL, INC» производит многоцелевые дизельные двигатели для широкой гаммы транспортных средств и дизель-генераторов 4 – 12-цилиндровые мощностью 40 – 736 кВт.

Фирма «HINO MOTORS, LTD» производит многоцелевые дизельные двигатели для автомобилей, тягачей, других транспортных средств 4–8-цилиндровые мощностью 85 – 272 кВт.

Другие страны

Испанская фирма «PECASO» производит многоцелевые дизельные двигатели 6-цилиндровые мощностью 100 – 330 кВт.

Акционерное общество «VALMET TRACTORS, INC» (Финляндия) – одна из крупнейших фирм в Скандинавии по производству дизельных двигателей (г. Линнавуори) 3 – 6-цилиндровых мощностью 37 – 195 кВт.

Фирма «DAEWOO DIESEL ENGINE» (Корея) производит многоцелевые транспортные дизельные двигатели, дизель-генераторные установки 3–12-цилиндровые мощностью 28 – 452 кВт.

Фирма «MARTINE DIESEL» (Словакия) производит многоцелевые дизельные двигатели (тракторы и сельхозмашины, строительные дорожные машины, дизель-генераторные установки) 4 – 6-цилиндровые мощностью 60 – 142 кВт.

Фирма «PEZETEL» (Польша) производит многоцелевые дизельные двигатели (для транспортных средств, промышленные) 1 – 12-цилиндровые мощностью 6,6 – 382 кВт.

Рекомендуемая литература

1. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей / под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – М. : Машиностроение, 1990. – 228 с.
2. Райков, И. Я. Конструкция автомобильных и тракторных двигателей / И. Я. Райков, Г. Н. Рытвинский. – М. : Высш.шк., 1986. – 352 с.
3. Романов, Б. А. Двигатели внутреннего сгорания : учеб. для техникумов / Б. А. Романов. – М. : Недра, 1989. – 172 с.
4. Грехов, Л. В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для вузов / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков. – М. : Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
5. Новоселов, А. Л. История развития двигателей внутреннего сгорания : учеб. пособие / А. Л. Новоселов, Л. В. Нечаев; Алт. политехн. ин-т. – Барнаул : Б.и., 1992. – 32 с.
6. Тракторные дизели: справочник / Б. А. Взоров, А. В. Адамович, А. Г. Арабян и др.; под общ. ред. Б. А. Взорова. – М. : Машиностроение, 1981. – 535 с.
7. Двухтактные карбюраторные двигатели внутреннего сгорания / В. М. Кондрашов, Ю. С. Григорьев, В. В. Тупов и др. – М. : Машиностроение, 1990. – 272 с.
8. Автомобильные и тракторные двигатели : в 2 ч. / под ред. И. М. Ленина. – М. : Высш.школа, 1976. – 2 ч.
9. Колеров, Л. К. Газовые двигатели поршневого типа / Л. К. Колеров. – М. : Машиностроение, 1968. – 248 с.
10. Свистула, А. Е. Быстроходные дизели производства зарубежных стран: анализ конструкций, технические показатели: учеб. пособие / А. Е. Свистула, Ю. В. Андреев; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2003. – 161 с.
11. Свистула, А. Е. Быстроходные дизели отечественного производства: анализ конструкций, технические показатели : учеб. пособие / А. Е. Свистула, Ю. В. Андреев; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2006. – 135 с.
12. Свистула, А. Е. Введение в специальность «Двигатели внутреннего сгорания» : учебное пособие / А. Е. Свистула; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2006. – 56 с.
13. Свистула, А. Е. Введение в специальность : метод. указания / А. Е. Свистула; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2004. – 31 с.

14. Свистула, А. Е. Электронные системы впрыска топлива : метод. указания / А. Е. Свистула, Д. В. Ериванов; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2000. – 23 с.
15. Свистула, А. Е. Системы зажигания автомобильных двигателей внутреннего сгорания : учеб. пособие / А. Е. Свистула, И. В. Огнев; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2002. – 56 с.
16. Балашов, А. А. Конструкция автомобильных и тракторных двигателей : метод. указания / А. А. Балашов, С. В. Новоселов; Алт. гос. техн. ун-т. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2000. – 31 с.

Андрей Евгеньевич СВИСТУЛА

ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Учебное пособие

Редактор: Н. А. Проскура
Компьютерная верстка: Н. А. Проскура

Подписано в печать 02.11.2009. Формат 60×84 1/16.
Печать – цифровая. Усл.п.л. 4,88.
Тираж 75 экз. Заказ – 608.

Издательство Алтайского государственного технического
университета им. И. И. Ползунова
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46.

Лицензия на издательскую деятельность
ЛР № 020822 от 21.09.98 г.

Отпечатано в типографии АлтГТУ,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46.
тел.: (8-3852) 36-84-61

Лицензия на полиграфическую деятельность
ПЛД № 28-35 от 15.07.97 г.