

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ НИЖЕГОРОДСКОЙ  
ОБЛАСТИ  
ГБОУ СПО «НИЖЕГОРОДСКИЙ АВТОМЕХАНИЧЕСКИЙ ТЕХНИКУМ»**

Методические указания для самостоятельной подготовки  
по теме «Рабочие циклы»

ПМ.01. Техническое обслуживание и ремонт автотранспорта  
МДК 01.01 Устройство автомобилей

ПМ.01. Подготовка и осуществление технологического процесса  
изготовления деталей, сборка изделий автомобиле – и  
тракторостроения, контроль за соблюдением технологической  
дисциплины на производстве  
МДК.01.02 Двигатели автотракторной техники

ПМ.06 Техническое обслуживание, эксплуатация и наладка  
электрооборудования автомобильного транспорта  
МДК. 06.01 Устройство и основы теории подвижного состава  
автомобильного транспорта

Методические указания для самостоятельной подготовки по теме: «Рабочие циклы» может быть использована студентами специальностей 23.02.03 Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта; 23.02.02 Автомобиле- и тракторостроение; 23.02.05 Эксплуатация транспортного электрооборудования и автоматики (по видам транспорта, за исключением водного)

Организация-разработчик: ГБОУ СПО "Нижегородский автомеханический техникум"

Разработчики:

Зеленцов С.А. –преподаватель ГБОУ СПО «Нижегородский автомеханический техникум»"

Рекомендована предметной (цикловой)  
комиссией «Автомобилестроения и охраны  
труда»

Протокол №\_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2015 г.

Председатель ПЦК

\_\_\_\_\_ / В.А. Булашов

## Содержание.

1. Рабочий цикл поршневых двигателей	4
2. Рабочий цикл четырехтактного бензинового двигателя	4
3. Рабочий цикл четырехтактного дизельного двигателя	5
4. Индикаторная диаграмма рабочего цикла четырехтактных двигателей	6
5. Рабочий цикл двухтактного карбюраторного двигателя	9
6. Сравнительная характеристика двухтактных и четырехтактных двигателей	10
Преимущества и недостатки	10
7. Сравнительная характеристика карбюраторных и дизельных двигателей, преимущества и недостатки	10
8. Дизелизация автотранспорта и ее значение	10
Литература	12

## 1. Рабочий цикл поршневых двигателей

*Рабочий цикл двигателя* — это комплекс последовательно чередующихся процессов внутри цилиндра, в результате которых энергия топлива преобразуется в механическую работу.

Двигатели, в цилиндрах которых рабочий цикл совершается за два оборота коленчатого вала (за четыре хода поршня), называют *четырёхтактными*. Если рабочий цикл совершается за один оборот коленчатого вала (за два хода поршня), то двигатели называют *двухтактными*.

## 2. Рабочий цикл четырёхтактного бензинового двигателя

*Такт впуска* (рис. 1, а). При вращения коленчатого вала 8 (за пол-оборота) поршень перемещается от ВМТ к НМТ. При этом впускной клапан 4 открыт, а выпускной клапан 6 закрыт. При движении поршня вниз объем над ним увеличивается, поэтому в цилиндре 2 создается разрежение, равное  $0,07 \div 0,095$  МПа, в результате чего свежая горючая смесь, состоящая из паров бензина и воздуха, засасывается через впускной газопровод 3 в цилиндр. Свежая рабочая смесь в результате соприкосновения с нагретыми деталями и остаточными газами имеет температуру в конце такта впуска  $75 \div 125^\circ\text{C}$ .

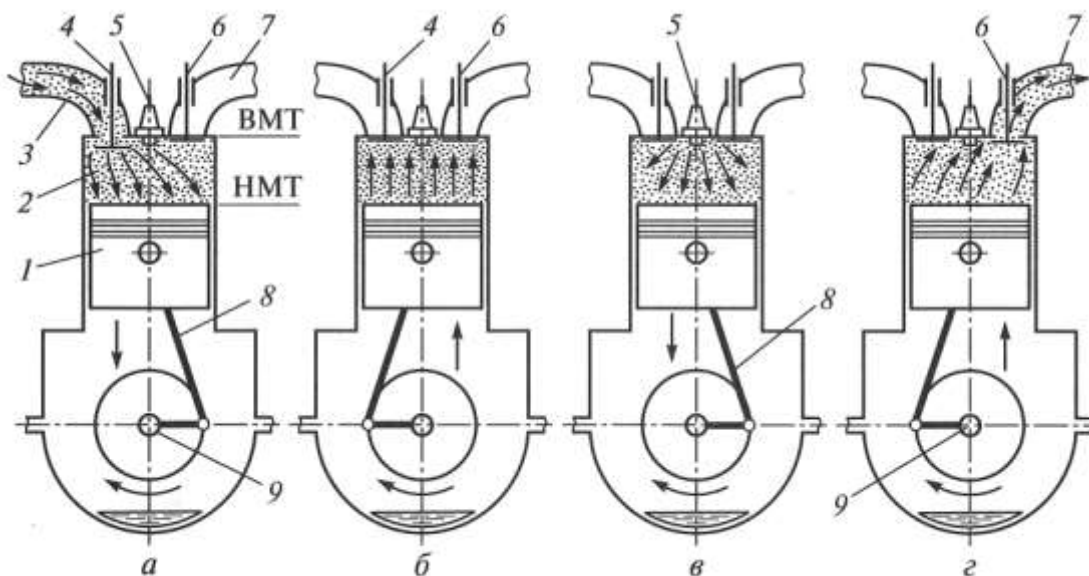


Рисунок 1 - Рабочий цикл четырёхтактного одноцилиндрового карбюраторного двигателя:

а — такт впуска; б — такт сжатия; в — такт расширения (рабочий ход); г — такт выпуска; 1 — поршень; 2 — цилиндр; 3 — газопровод; 4 — впускной клапан; 5 — свеча зажигания; 6 — выпускной клапан; 7 — газопровод; 8 — шатун; 9 — коленчатый вал.

*Такт сжатия* (рис. 1, б). При дальнейшем вращении коленчатого вала поршень перемещается от НМТ к ВМТ. При этом впускной клапан 4 закрывается, а выпускной клапан 6 закрыт. По мере сжатия горючей смеси повышается ее температура и давление. В зависимости от степени сжатия давление в цилиндре в конце такта сжатия может составлять  $0,8 \div 1,5$  МПа, а температура газов —  $300 \div 450^\circ\text{C}$ .

*Такт расширения, или рабочий ход* (рис. 1, в). В конце такта сжатия горючая смесь воспламеняется от электрической искры, возникающей между электродами свечи зажигания 5, и быстро сгорает, в результате чего температура и давление образующихся газов резко возрастают и поршень перемещается от ВМТ к НМТ. Максимальное давление газов на поршень при сгорании для карбюраторных двигателей составляет  $3,5 \div 5$  МПа, а температура газов -  $2100 \div 2400^\circ\text{C}$ .

При такте расширения шарнирно связанный с поршнем шатун 8 совершает сложное движение и через кривошип передает вращение коленчатому валу. При расширении газы совершают полезную работу, поэтому ход поршня при этом такте коленчатого вала называют рабочим ходом. В конце рабочего хода поршня давление в цилиндре составляет  $0,3 \div 0,75$  МПа, а температура —  $900 \div 1200^\circ\text{C}$ .

*Такт выпуска* (рис. 1, г). Коленчатый вал 9 через шатун перемещает поршень от НМТ к ВМТ. При этом выпускной клапан 6 открыт, и продукты сгорания выталкиваются из цилиндра в атмосферу через выпускной газопровод 7. В начале такта выпуска продуктов сгорания давление в цилиндре значительно выше атмосферного, но к концу такта оно составляет  $0,105 \div 0,120$  МПа. Температура газов в начале такта выпуска составляет  $750 \div 900^\circ\text{C}$ , а в конце —  $500 \div 600^\circ\text{C}$ . Полностью очистить цилиндры двигателя от продуктов сгорания практически невозможно (слишком мало времени), поэтому при последующем впуске свежая горючая смесь перемешивается с остаточными отработавшими газами и называется рабочей смесью. По отношению к рабочему ходу такты впуска, сжатия и выпуска являются вспомогательными.

### 3. Рабочий цикл четырехтактного дизельного двигателя.

*Такт впуска* (рис. 2, а). При движении поршня 7 от ВМТ к НМТ, вследствие образующегося разрежения, из воздухоочистителя 3 в полость цилиндра 6 через открытый впускной клапан 4 поступает атмосферный воздух. Давление воздуха в цилиндре составляет  $0,08 \div 0,095$  МПа, а температура  $40 \div 60^\circ\text{C}$ .

*Такт сжатия* (рис. 2, б). Поршень движется от НМТ к ВМТ. Впускной 4 и выпускной 5 клапаны закрыты, вследствие этого перемещающийся вверх поршень 7 сжимает имеющийся в цилиндре воздух. Для воспламенения топлива необходимо, чтобы температура сжатого воздуха была выше температуры самовоспламенения топлива. Из-за высокой степени сжатия температура воздуха достигает  $550 \div 700^\circ\text{C}$  при давлении воздуха внутри цилиндра  $4,0 \div 5,0$  МПа.

*Такт расширения, или рабочий ход* (рис. 2, в). При подходе поршня к ВМТ в цилиндр через форсунку 2 впрыскивается дизельное топливо, подаваемое топливным насосом 1. Впрыснутое топливо, перемешиваясь с нагретым воздухом, самовоспламеняется, и начинается процесс сгорания, характеризующийся

быстрым повышением температуры и давления. При этом максимальное давление газов достигает  $6 \div 9$  МПа, а температура —  $1800 \div 2000$  °С. Под действием давления газов поршень 7 перемещается от ВМТ к НМТ. Совершается рабочий ход. Около НМТ давление составляет  $0,3 \div 0,5$  МПа, а температура —  $700 \div 900$  °С.

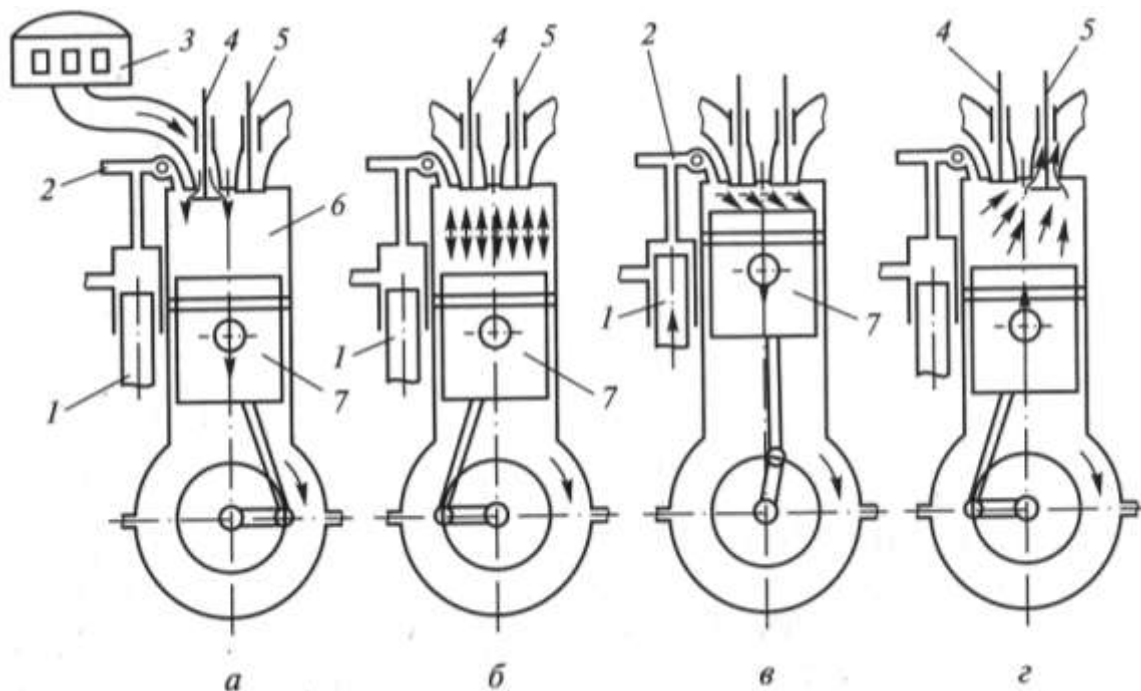


Рисунок 2 - Рабочий цикл четырехтактного дизеля:

а — такт впуска; б — такт сжатия; в — такт расширения (рабочий ход); г — такт выпуска; 1 — топливный насос; 2 — форсунка; 3 — воздухоочиститель; 4 — впускной клапан; 5 — выпускной клапан; 6 — цилиндр; 7 — поршень.

*Такт выпуска* (рис. 2, г). Поршень перемещается от НМТ к ВМТ, и через открытый выпускной клапан 5 отработавшие газы выталкиваются из цилиндра. Давление газа составляет  $0,11 \div 0,12$  МПа, а температура —  $500 \div 700$  °С.

#### 4. Индикаторная диаграмма рабочего цикла четырехтактных двигателей

Графическое представление о давлении газов при изменении объема в цилиндре за цикл дает индикаторная диаграмма. Она может быть построена по данным теплового расчета или снята при испытании двигателя с помощью специального прибора — индикатора. Площадь индикаторной диаграммы (рис. 3) в принятом масштабе характеризует работу, совершаемую газами в цилиндре за один цикл.

При построении индикаторной диаграммы по оси абсцисс в принятом масштабе откладывают объем цилиндра  $V$ , а по оси ординат — абсолютное давление газа  $p$ . Характерными точками индикаторной диаграммы являются точки  $a, c, z, b, r$ .

Процесс впуска горючей смеси (для карбюраторных двигателей) или очищенного воздуха (для дизелей) на индикаторных диаграммах характеризуется кривой  $ra$ , которая расположена ниже линии атмосферного давления  $p_0$ . Это указывает на то, что процесс впуска происходит при некотором почти постоянном разрежении в цилиндре.

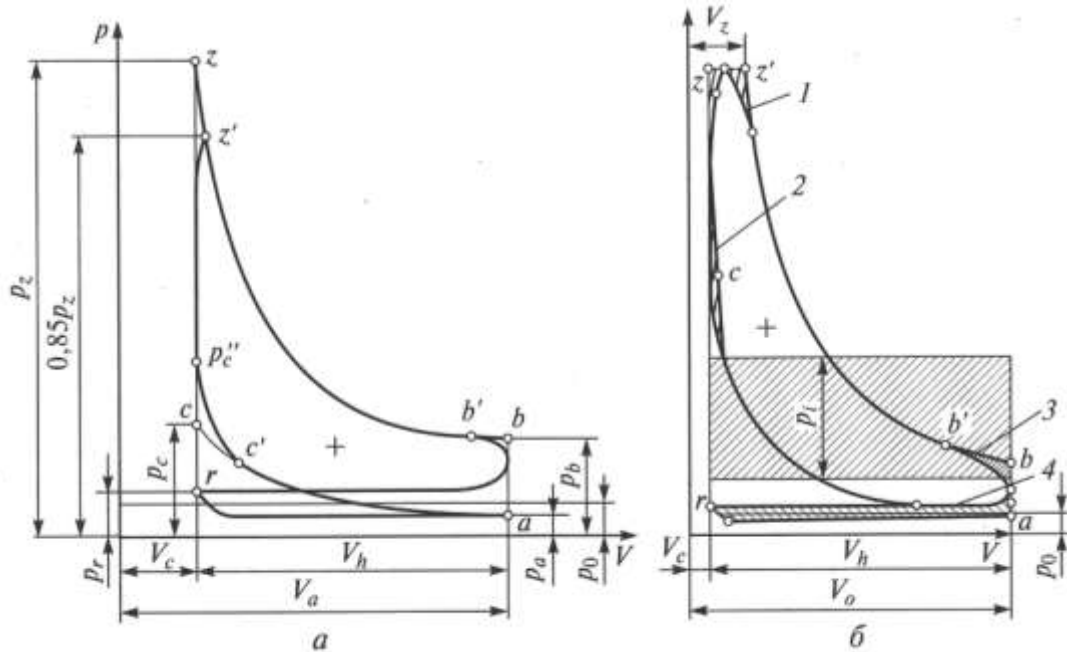


Рисунок 3 - Индикаторные диаграммы четырехтактных двигателей:

а — карбюраторного; б — дизеля;  $p_0$  — атмосферное давление;  $r$  — конец процесса выпуска;  $p_r$  — давление в конце выпуска; точка  $a$  — конец процесса впуска;  $p_a$  — давление в конце впуска; точка  $c$  — конец процесса сжатия;  $p_c$  — номинальное давление по степени сжатия; точка  $c'$  — начало горения рабочей смеси;  $p_{c''}$  — действительное давление в конце процесса сжатия; прямая  $cz$  — процесс сгорания; точка  $z$  — соответствует расчетному давлению газов ( $p_z$ ); точка  $z'$  — соответствует действительному давлению газов ( $p_z$ ); точка  $b'$  — начало открытия выпускного клапана и удаления отработавших газов; точка  $b$  — конец процесса расширения;  $p_b$  — давление в конце расширения;  $V_z$  — изменяющийся объем над поршнем (точки  $z, \dots, z$ ) в цилиндре дизеля при постоянном давлении  $p$ ;  $p_i$  — среднее индикаторное давление; 1, 2, 3, 4 — площади скруглений индикаторной диаграммы.

Процесс сжатия на индикаторной диаграмме характеризуется кривой  $ac$ , которая показывает, как увеличивается давление в цилиндре по мере уменьшения объема рабочей смеси при такте сжатия.

Начало горения рабочей смеси (точка  $c'$ , рис. 3, а) определяется углом опережения зажигания и влияет на давление в конце такта сжатия (точка  $p_{c''}$ ). Практически давление  $p_{c''}$  равно  $1,15 \div 1,25 p_c$ .

Процесс сгорания рабочей смеси на индикаторной диаграмме изображается прямой линией  $cz$ , которая показывает, что процесс сгорания происходит с быстрым (за несколько миллисекунд) повышением давления газов при почти

постоянном их объеме. Действительное максимальное давление  $p'_z$  в карбюраторных двигателях составляет  $0,83 \div 0,88 p_z$  при одновременном смещении точки  $z'$  вправо от линии  $cz$  (в ВМТ) на  $10 \div 15^\circ$  угла поворота коленчатого вала.

*Процесс расширения* характеризуется на индикаторной диаграмме кривой  $zb$ , показывающей, как уменьшается давление в цилиндре по мере увеличения объема вследствие перемещения поршня при такте расширения.

*Процесс выпуска* отработавших газов из цилиндра на индикаторной диаграмме изображается кривой  $b'r$ , которая проходит выше линии атмосферного давления  $p_0$ . Это означает, что давление при такте выпуска больше атмосферного и газы за счет повышенного давления выходят из цилиндра в атмосферу, однако полностью очистить цилиндры двигателя от продуктов сгорания практически невозможно.

Поэтому введено следующее понятие: коэффициент остаточных газов, который характеризует степень загрязнения свежего заряда (горючей смеси) отработавшими газами и представляет собой отношение массы продуктов сгорания, оставшихся в цилиндрах, к массе свежей горючей смеси. Для карбюраторных двигателей коэффициент остаточных газов равен  $0,06 \div 0,12$ , а для дизелей  $0,03 \div 0,06$ .

Площадь полезной (действительной) индикаторной диаграммы несколько меньше площади теоретической индикаторной диаграммы. Это обусловлено постепенным переходом одного такта в другой, соответственно происходит скругление диаграммы (на рисунке 3, б показано штриховкой 1, 2, 3, 4). Уменьшение площади действительной диаграммы происходит по следующим причинам:

при увеличении угла опережения зажигания или впрыскивания топлива линия сжатия более плавно переходит в линию сгорания, при этом теряется часть площади теоретической диаграммы (площадь 2);

вследствие того, что процесс сгорания начинается до прихода поршня в ВМТ (точка  $c'$ ), а заканчивается при повороте коленчатого вала на  $15 \div 20^\circ$  после прохождения ВМТ. В результате максимальное давление цикла снижается на  $10 \div 15\%$  и полезная площадь диаграммы уменьшается, причем у карбюраторных двигателей несколько больше, чем у дизелей (площадь 1);

выпускной клапан открывается за  $40 \div 70^\circ$  до прихода поршня в НМТ, вследствие чего линия расширения с точки  $b'$  плавно переходит в линию выпуска, при этом теряется часть полезной площади диаграммы (площадь 3).

Работа, затрачиваемая на осуществление процессов впуска и выпуска, на индикаторной диаграмме определяется площадью 4, заключенной между линиями впуска и выпуска. Эту работу называют насосными потерями и относят ее к механическим потерям двигателя.

Отношение площади действительной индикаторной диаграммы (отмеченной знаком «+») к площади теоретической индикаторной диаграммы называется *коэффициентом полноты диаграммы*, который равен  $0,92 \div 0,96$ . Если полезную площадь индикаторной диаграммы заменить площадью равновеликого прямоугольника, у которого основание прямо пропорционально рабочему объему цилиндра, то высота прямоугольника будет пропорциональна среднему



индикаторному давлению  $p_i$ , представляющему собой условное постоянное давление газов, под действием которого во время рабочего хода поршень совершает работу, равную индикаторной работе газов за цикл.

Средним индикаторным давлением  $p_i$  обычно пользуются для определения индикаторной мощности, которая представляет собой работу, совершаемую газами в единицу времени внутри цилиндра двигателя.

Таким образом, основным показателем, определяющим индикаторную мощность двигателя при прочих равных условиях, является среднее индикаторное давление, которое для карбюраторных двигателей лежит в пределах  $0,7 \div 1,5$  МПа, а для дизелей -  $0,75 \div 1,8$  МПа.

## 5. Рабочий цикл двухтактного карбюраторного двигателя

*Первый такт.* Поршень 5 (рис. 3.4, а) перемещается снизу вверх и боковой поверхностью сначала закрывает перепускное окно 6, а затем и выпускное 2. В цилиндре происходит сжатие рабочей смеси, а в картер вследствие разрежения из карбюратора поступает горячая смесь. При подходе поршня к ВМТ между электродами свечи зажигания появляется электрическая искра, в результате чего рабочая смесь в цилиндре воспламеняется и сгорает.

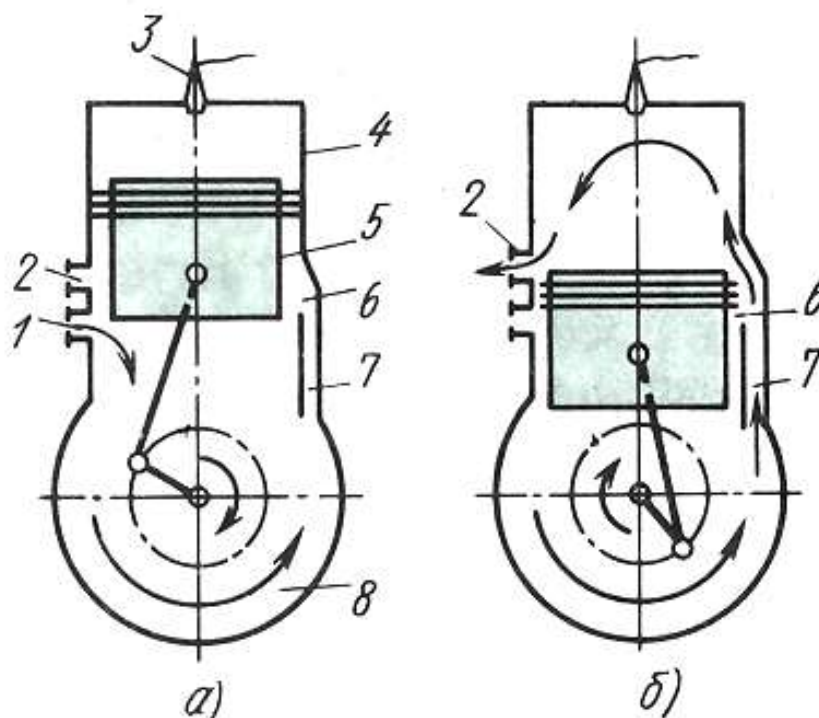


Рисунок 4 - Схема работы двухтактного карбюраторного двигателя:  
 а — сжатие рабочей смеси и впуск горячей смеси в картер; б — рабочий ход, выпуск отработавших газов и перепуск смеси из картера в цилиндр; 1 — впускное окно; 2 — выпускное окно; 3 — свеча зажигания; 4 — цилиндр; 5 — поршень; 6 — перепускное окно; 7 — канал; 8 — герметичный картер.

*Второй такт.* Образовавшиеся горячие газы расширяются и давят на поршень, вследствие чего он опускается вниз, совершая рабочий ход (рис. 4, б). В конце рабочего хода поршень сначала открывает выпускное окно 2, и отработавшие газы выходят из цилиндра через глушитель в атмосферу. Опускаясь ниже, поршень открывает перепускное окно 6, и горючая смесь по каналу 7 поступает в цилиндр, заполняет его и вытесняет отработавшие газы. Незначительная часть горючей смеси вместе с отработавшими газами выходит в атмосферу и не принимает участия в рабочем цикле.

## 6. Сравнительная характеристика двухтактных и четырехтактных двигателей. Преимущества и недостатки

Сравнение рабочих циклов четырех - и двухтактных двигателей показывает, что при одинаковых размерах цилиндра и частоте вращения мощность двухтактных двигателей выше в  $1,5 \div 1,7$  раза при более равномерном крутящем моменте; это объясняется тем, что рабочий цикл протекает за один оборот коленчатого вала. Такой двигатель проще по конструкции и компактнее.

К недостаткам двухтактного двигателя следует отнести малое время на газообмен, что ухудшает очистку цилиндра от отработавших газов. При этом теряется часть свежего заряда, увеличивается количество несгоревшей смеси, выбрасываемой с отработавшими газами, что снижает экономичность работы. Рабочий объем цилиндра меньше, вследствие наличия продувочных и выпускных окон. Это не позволяет получить на практике двукратного увеличения мощности.

## 7. Сравнительная характеристика карбюраторных и дизельных двигателей, преимущества и недостатки

Дизель по сравнению с карбюраторным двигателем имеет следующие преимущества: для выполнения единицы работы расходуется в среднем на  $25 \div 30$  % (по массе) меньше топлива; используемое топливо дешевле и менее огнеопасно. Хорошие экономические показатели дизелей обеспечили им широкое применение. Однако вследствие более высокого давления газов в цилиндре дизеля некоторые детали его должны быть повышенной прочности, что приводит к увеличению размеров и массы дизеля. Пуск его труднее, особенно в зимнее время.

Двигатели с впрыскиванием бензина на  $15 \div 20$  % экономичнее карбюраторных двигателей.

## 8. Дизелизация автотранспорта и ее значение

Дизели чаще устанавливают на автомобили повышенной грузоподъемности, хотя в настоящее время существует тенденция применения дизелей на автомобилях средней и даже малой грузоподъемности. В качестве примера можно привести новые, автомобили ЗИЛ-433100 с дизелем ЗИЛ-645, ЗИЛ – 5301 с

дизелем Д – 245, ГАЗ-4301 с дизелем ГАЗ-542, ГАЗ – 3309 с дизелем Д – 245. Находят применение дизели и на легковых автомобилях и на автомобилях семейства «Газель».

## Литература.

### Основные источники:

#### 1. Учебники

1. Тракторы и автомобили: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.М.Котиков, А.В.Ерхов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008.
2. Тракторы и автомобили / Под ред. А.В.Богатырева. – М.: КолосС, 2007.

#### 2. Справочники:

1. Краткий автомобильный справочник. Том 2. Грузовые автомобили / Кисуленко Б.В. и др. - М.: Автополис-Плюс, ИПЦ «Финпол», 2007.

### Дополнительные источники:

#### 1. Учебники и учебные пособия:

1. Конструкция тракторов и автомобилей. – М.: КолосС, 2007.
2. Техническая эксплуатация автомобилей: Теоретические и практические аспекты: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.С. Малкин. – М.: Издательский центр «Академия», 2007.
3. Устройство автомобилей: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / А.П.Пехальский, И.А.Пехальский. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008.
4. Устройство и техническое обслуживание грузовых автомобилей: учебник водителя автотранспортных средств категории «С» / В.А.Родичев. -6-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008.