ЦИКЛЫ  ПОРШНЕВЫХ  ДВИГАТЕЛЕЙ

ВНУТРЕННЕГО  СГОРАНИЯ

1.  Краткие  исторические  сведения

    Вся история развития двигателей внутреннего сгорания подвержена основной движущей силе - увеличение КПД ДВС.

  Первым, кто указал на возможность создания двигателей внутреннего сгорания, является Сади Карно. Идеи, высказанные им в работе «Размышления о движущей силе огня», в дальнейшем были полностью реализованы.

      В 1860 г. Француз Ленуар построил двигатель внутреннего сгорания (ДВС), работавший на газе. Однако он не получил широкого распространения ввиду того, что имел низкий кпд (не выше, чем кпд паровых машин).

    В 1862 г. французский инженер Бо-де-Роша предложил (запатентовал) двигатель, принципы создания которого совпадали с идеями Карно. Эти принципы были осуществлены немецким инженером Отто в созданном им в 1877 г. бензиновом двигателе.

      В 1897 г. немецким инженером Дизелем был разработан двигатель высокого сжатия, который работал на керосине. Распыление керосина осуществлялось воздухом высокого давления, полученного от компрессора.

      В 1904 г. русский инженер Г.В.Тринклер построил бескомпрессорный двигатель со смешанным сгоранием топлива - сначала при постоянном объеме, а затем при постоянном давлении. Такой двигатель получил в настоящее время широкое распространение.

2.  Классификация  ДВС

      Все современные  двигатели внутреннего сгорания подразделяются на три основные группы:

1.    Двигатели, в которых используется цикл с подводом тепла при постоянном объеме*v=const*(цикл Отто).

2.    Двигатели, в которых используется цикл с подводом тепла при постоянном давлении*p=const*(цикл Дизеля).

3.    Двигатели, в которых используется смешанный цикл с подводом тепла как при *v=const*, так и при *p=const*  (цикл Тринклера).

      При исследовании идеальных термодинамических циклов поршневых двигателей внутреннего сгорания к числу определяемых величин относятся: количество подведенной и отведенной теплоты, основные параметры состояния в характерных точках цикла, термический кпд цикла.

3.  Циклы  ДВС  с  подводом  теплоты при постоянном объеме

      Исследование работы реального поршневого двигателя целесообразно производить по так называемой индикаторной диаграмме (снятой с помощью специального прибора - индикатора). Индикаторная диаграмма двигателя, работающего со сгоранием топлива при постоянном объеме, представлена на рис.1.

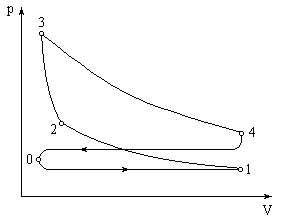


Рисунок.1

При движении поршня от верхней мертвой точки к нижней происходит всасывание горючей смеси (линия 0-1). Эта линия не является термодинамическим процессом, так как основные параметры при всасывании не изменяются, а изменяются только масса и объем смеси в цилиндре. Кривой 1-2 (линия сжатия) изображается процесс сжатия (поршень движется от нижней мертвой точки к верхней). В точке 2 от электрической искры происходит мгновенное воспламенение горючей смеси (при постоянном объеме). Этот процесс изображается кривой 2-3. В ходе этого процесса температура и давление резко возрастают. Процесс расширения продуктов сгорания на индикаторной диаграмме изображается кривой 3-4, называемой линией расширения. В точке 4 происходит открытие выхлопного клапана, и давление в цилиндре уменьшается до наружного давления. При дальнейшем движении поршня (от нижней мертвой точки к верхней) через выхлопной клапан происходит удаление продуктов сгорания из цилиндра при давлении несколько большем давления окружающей среды. Этот процесс на диаграмме изображается кривой 4-0 и называется линией выхлопа.

      В данном случае рабочий процесс совершается за четыре хода поршня (такта). Коленчатый вал делает за это время два оборота. В связи с чем, рассмотренные двигатели называются четырехтактными.

      Из анализа работы реального двигателя видно, что рабочий процесс не является замкнутым и в нем присутствуют все признаки необратимых процессов: трение, теплообмен при конечной разности температур, конечные скорости поршня и проч.

      Так как в термодинамике исследуются лишь идеальные обратимые циклы, то для исследования цикла ДВС примем следующие допущения: рабочее тело -идеальный газ с постоянной теплоемкостью; количество рабочего тела постоянно; между рабочим телом и источниками теплоты имеет место бесконечно малая разность температур; подвод теплоты к рабочему телу производится не за счет сжигания топлива, а от внешних источников теплоты. То же самое справедливо и для отвода теплоты.

      Принятые допущения приводят к изучению идеальных термодинамических циклов ДВС, что позволяет производить сравнение различных двигателей и определять факторы, влияющие на их кпд. Диаграмма, построенная с учетом указанных выше допущений, будет уже не индикаторной диаграммой двигателя, а  pv - диаграммой его цикла.

      Рассмотрим идеальный термодинамический цикл ДВС с изохорным подводом теплоты. Цикл в pvкоординатах представлен на рис. 2.

      Идеальный газ с начальными параметрами p1, v1,T1сжимается по адиабате 1-2. В изохорном процессе 2-3 рабочему телу от внешнего источника теплоты передается количество теплоты q1. В адиабатном процессе 3-4 рабочее тело расширяется до первоначального объема v4=v1. В изохорном процессе 4-1 рабочее тело возвращается в исходное состояние с отводом от него теплоты q2 в теплоприемник.

﻿Характеристиками цикла являются:

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image003.gif - Степень сжатия;

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image005.gif -Степень повышения давления;

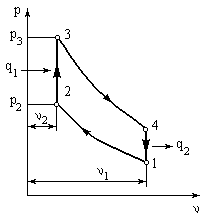


Рисунок.2

Количество подведенной и отведенной теплоты определяются по формулам:

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image008.gif

 Подставляя эти значения теплот в формулу для термического кпд, получим:

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image010.gif

Найдем параметры рабочего тела во всех характерных точках цикла.

Точка 2.

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image012.gifhttp://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image016.gifhttp://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image014.gif

откуда получаем

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image018.gif

  Точка 3.

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image020.gif http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image022.gif http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/1/image024.gif

откуда получаем

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image026.gif

Точка 4.

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/1/image028.gif http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image030.gif http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/1/image032.gif

откуда получаем

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image034.gif

С учетом найденных значений температур формула для кпд примет вид

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/1/image036.gif

Из последнего соотношения следует, что термический кпд увеличивается с возрастанием степени сжатия e и показателя адиабаты k.

      Однако повышение степени сжатия в двигателях данного типа ограничивается возможностью преждевременного самовоспламенения горючей смеси. В связи с чем, рассматриваемые типы двигателей имеют относительно низкие кпд. В зависимости от рода топлива степень сжатия в таких двигателях изменяется от 4 до 9.

Работа цикла определяется по формуле:

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image038.gif

 Циклы с подводом теплоты при постоянном объеме применяются в карбюраторных типах двигателей с использованием принудительного воспламенения от электрической искры.

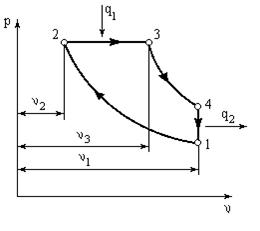
## 4.  Циклы  ДВС  с  подводом  теплоты

## при   постоянном  давлении

      Двигатели, в основу работы которых положен цикл с подводом теплоты при постоянном давлении (с постепенным сгоранием), имеют ряд преимуществ по сравнению с двигателями, работающими по циклу с подводом теплоты при постоянном объеме. Они связаны с тем, что в двигателях с постепенным сгоранием осуществляется раздельное сжатие топлива и воздуха. Поэтому здесь можно достигать значительно более высоких степеней сжатия.     Воздух при высоких давлениях имеет настолько высокую температуру, что подаваемое в цилиндр топливо самовоспламеняется без всяких специальных запальных приспособлений. Кроме того, раздельное сжатие воздуха и топлива позволяет использовать любое жидкое дешевое топливо - нефть, мазут, смолы и проч.

      В двигателях с постепенным сгоранием топлива воздух сжимается в цилиндре, а жидкое топливо распыляется сжатым воздухом от компрессора. Раздельное сжатие позволяет применять высокие степени сжатия (до e =20 ), исключая преждевременное самовоспламенение топлива. Постоянство давления при горении топлива обеспечивается соответствующей регулировкой топливной форсунки. Конструкция такого двигателя впервые была разработана немецким инженером Дизелем.

            Рассмотрим идеальный цикл двигателя с подводом теплоты при постоянном давлении в pv- диаграмме ﻿рис.3



Рисок.3

Этот цикл осуществляется следующим образом. Газообразное рабочее тело с начальными параметрами p1, v1, T1сжимается по адиабате 1-2. В изобарном процессе 2-3 телу сообщается некоторое количество теплоты  q1. В адиабатном процессе 3-4 происходит расширение рабочего тела до первоначального объема. В изохорном процессе 4-1 рабочее тело возвращается в первоначальное состояние с отводом в теплоприемник теплоты q2. Характеристиками  цикла являются :

Степень сжатия -

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image042.gif

Степень предварительного расширения -

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image044.gif

Количество подведенной и отведенной теплот определяются по формулам:

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image046.gif

Термический кпд цикла в предположении постоянства теплоемкостей cpи  cv и их отношения  k=cp/cv будет:

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image048.gif

Параметры рабочего тела в характерных точках цикла будут:

Точка 2.

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/1/image050.gif

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image014.gifhttp://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image052.gif

откуда получаем:

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/1/image054.gif

 Точка 3.

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/1/image056.gif

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image058.gif

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image060.gif

откуда получаем:

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image062.gif

Точка 4.

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image064.gif

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image066.gif

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image068.gif

Так как

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image070.gif

тоhttp://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/1/image072.gif

Подставляя полученные значения температур в формулу для кпд, получим

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image074.gif

Формула 2

Отсюда следует, что с увеличением e и k кпд увеличивается, а с увеличением r - уменьшается.

Работа цикла определяется по формуле:

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image076.gif

Сравнения кпд циклов ДВС с подводом теплоты при p = constи v = const при одинаковых давлениях и температурах, но при различных  e показывают, что

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/1/image078.gif

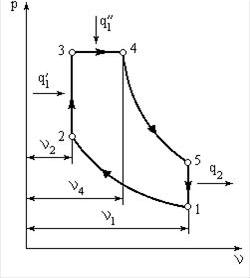
При этом степень сжатия e в циклес подводом теплоты при p = constбольше,чем в цикле с подводом теплоты при  v = const .

Величина  e в циклес подводом теплоты при постоянном давлении выбирается таким образом, чтобы обеспечивались условия самовоспламенения топлива. Таким условиям в компрессорных дизелях соответствует e =14 -18.

## 5.  Цикл  ДВС  со  смешанным  подводом  теплоты

Одним из недостатков двигателей, в которых применяется цикл с подводом теплоты при постоянном давлении, является необходимость использования компрессора, применяемого для подачи топлива. Наличие компрессора усложняет конструкцию и уменьшает экономичность двигателя, т.к. на его работу затрачивается 6-10 % от общей мощности двигателя.

      С целью упрощения конструкции и увеличения экономичности двигателя русский инженер Г.В.Тринклер разработал проект бескомпрессорного двигателя высокого сжатия. Этот двигатель лишен недостатков рассмотренных выше двух типов двигателей. Основное его отличие в том, что жидкое топливо с помощью топливного насоса подается через форсунку в головку цилиндра, где оно воспламеняется и горит вначале при постоянном объеме, а потом при постоянном давлении. На рис. 4 представлен идеальный цикл двигателя со смешанным подводом теплоты в pv -координатах.



Рисок.4

В адиабатном процессе 1-2 рабочее тело сжимается до параметров в точке 2. В изохорном процессе 2-3 к нему подводится первая доля теплоты q1 штрих , а в изобарном процессе 3-4 - вторая - q1 два штриха. В процессе 4-5 происходит адиабатное расширение рабочего тела и по изохоре 5-1 оно возвращается в исходное состояние с отводом теплоты  q2 в теплоприемник.

Характеристиками  цикла являются :

Степень сжатия -

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image042.gif

Степень  повышения давления -

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image086.gif

Степень предварительного расширения -

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image088.gif

Количества подведенной

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/1/image090.gifи отведенной q2 теплот определяются по формулам:

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image092.gifhttp://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/1/image094.gifhttp://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image096.gif

Термический кпд цикла будет:

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/1/image098.gif

Найдем параметры рабочего тела в характерных точках цикла.

Точка 2.

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image100.gifhttp://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image102.gifhttp://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image104.gif

откуда получаем

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image106.gif

Точка 3.

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image110.gifhttp://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/1/image112.gifhttp://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image114.gifhttp://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/1/image116.gif

Точка 4.

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image118.gifhttp://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image120.gif

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/1/image122.gif

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image124.gifТ

очка 5.



http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image128.gifhttp://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image130.gifhttp://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image132.gifhttp://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image134.gifhttp://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image136.gif

Подставив найденные значения температур в формулу для кпд, будем иметь:

http://avtogid4you.narod.ru/olderfiles/2/image138.gif

Формула 3

Отсюда следует, что с увеличением k, e и l кпд цикла возрастает, а с увеличением r уменьшается.

            Цикл со смешанным подводом теплоты обобщает циклы с изобарным и изохорным подводом теплоты. Если положить что лямбда = 1 (что означает отсутствие подвода теплоты при постоянном объеме ( P2 =P3 )),  то формула (3) приводится к формуле (2), т.е. к формуле для кпд цикла ДВС с изобарным подводом теплоты. Если принять p=1(что означает отсутствие подвода теплоты при постоянном давлении ( V3 = V4 )), то формула (3) приводится к формуле (1) для кпд цикла с изохорным подводом теплоты.

Цикл со смешанным подводом теплоты лежит в основе работы большинства современных дизелей.

﻿