

ЛИТЕРАТУРА

1. *Джигкаев Т. С., Кайтуков Г. Ф.* Разработка и исследование рабочих органов промышленного робота для механизации сдирки катодного цинка в металлургическом производстве. В сб. Вестник ИрГТУ, № 7(47), Иркутск, 2010, с. 107–111.
2. *Хан О. А., Фульман Н. И.* Новое в электроосаждении цинка, М., Металлургия, 1979, с. 41–50.
3. *Степанов И.* Цинк высшей пробы. Уральский рынок металлов, 2002, № 11, с. 48.



УДК 620.9 (075.8)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ЦИКЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Студ. *Козаев З. Г.*,
канд. техн. наук, доц. *Цориев С. О.*
Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)
г. Владикавказ, РСО-Алания, Россия

В статье исследуются: необратимые круговые и незамкнутые циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания (бензиновых и дизельных), их индикаторные диаграммы; физические процессы, происходящие в каждом такте рабочего цикла; а также обосновывается степень перекрытия впускных и выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания.

Любой тепловой двигатель предназначен для превращения теплоты в работу. Необходимая для работы теплота получается при сгорании жидких, твердых или газообразных топлив. При этом топливо может сжигаться вне тепловой машины или непосредственно в рабочем пространстве (цилиндре) двигателя. Первый тип двигателей принято называть двигателями внешнего сгорания, второй тип – двигателями внутреннего сгорания. В данной работе исследовался только второй тип двигателей – поршневые двигатели внутреннего сгорания (ДВС). В работе сделан краткий обзор двигателей внутреннего сгорания, проведен анализ их работы.

Работу реального поршневого двигателя внутреннего сгорания исследуют при помощи индикаторных диаграмм, построенных с помощью специального прибора – индикатора. Эти индикаторные диаграммы представляют собой графическое изображение зависимости давления газов в цилиндре от их объема и позволяют проанализировать работу реального двигателя. Эти диаграммы, в отличие от теоретических диаграмм, принято называть рабочими диаграммами. В процессе работы двигателя непрерывно происходит изменение объема газа внутри цилиндра (в пространстве, ограниченном поршнем, стенками цилиндра и головкой блока цилиндров). Изменение объема газа в цилиндре происходит из-за изменения рабочего объема цилиндра в результате поступательного движения поршня в прямом и обратном направлениях.

На рис. 1 показана такая индикаторная диаграмма двигателя. На этом рисунке минимальный объем V_{01} соответствует положению поршня в верхней мертвой точке (ВМТ), а максимальный объем – положению поршня в нижней мертвой точке (НМТ). В двигателях, в которых рабочий цикл осуществляется в соответствии с представленной диаграммой, сгорание топлива происходит при постоянном объеме (или при практически постоянном объеме) в пространстве около ВМТ.

В реальном тепловом двигателе превращение тепловой энергии, выделяющейся при сгорании топлива, в механическую работу связано с некоторыми последовательно происходящими физико-химическими преобразованиями, составляющими в совокупности необратимый круговой и незамкнутый цикл. При этом на протяжении всего цикла происходит теплообмен с внешней средой. Применительно к поршневым двигателям такой цикл с теплообменом с внешней средой принято называть **действительным циклом** (рабочим циклом).

Таким образом, рабочим циклом называется ряд последовательных процессов, периодически повторяющихся в каждом цилиндре двигателя в процессе его работы. Графическое изображение рабочего цикла в виде замкнутой кривой, показывающей изменение давления газов в течение цикла в зависимости от положения поршня в цилиндре, называется индикаторной диаграммой. Такую диаграмму снимают (записывают) во время работы двигателя с использованием прибора, называемого индикатором внут-

рицилиндрового давления. Индикатором измеряют реальное значение изменяющегося давления в цилиндре над поршнем. Рабочим телом при работе такого двигателя является реальный газ переменного состава с изменяющейся теплоемкостью.

Изменение положения поршня в цилиндре приводит к изменению объема цилиндра над поршнем, поэтому индикаторные диаграммы, построенные в координатах $P - V$ позволяют оценить работу реального поршневого двигателя, изучить закономерность изменения давления в цилиндре работающего двигателя в зависимости от рабочего объема цилиндра. Диаграмма, представленная на рис. 1, является индикаторной диаграммой бензинового двигателя, в котором сгорание топлива происходит при незначительном изменении объема камеры сгорания около ВМТ (практически, при постоянном объеме камеры сгорания).

На участке 1–2 этой диаграммы, соответствующем движению поршня от верхней мертвой точки к нижней мертвой точке (при изменении объема от V_{01} до V_{02}), происходит всасывание горючей смеси, так как давление в цилиндре ниже барометрического; а на участке 2–3, соответствующем движению поршня от НМТ к ВМТ (при изменении объема от V_{02} до V_{01}), происходит сжатие горючей смеси.

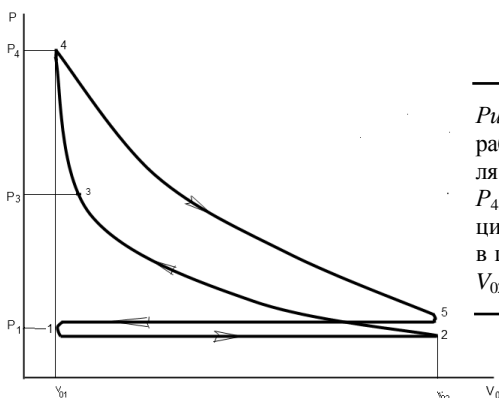


Рис. 1. Индикаторная диаграмма рабочего цикла бензинового двигателя. P_1 — барометрическое давление, P_4 — максимальное давление в цилиндре, V_{01} — минимальный объем в цилиндре (объем камеры сгорания), V_{02} — максимальный объем в цилиндре.

В точке 3, когда поршень еще не дошел до ВМТ, происходит подача электрической искры для принудительного воспламенения горючей смеси и начинается процесс горения топливовоздушной смеси. В период быстрого сгорания смеси между точками 3 и 4

объем над поршнем изменяется (уменьшается) незначительно, однако при этом происходит быстрое возрастание давления от значения p_3 до значения p_4 , что обусловлено образованием большого количества газов при сгорании топливовоздушной смеси. При этом резко возрастает и температура внутри цилиндра.

В точке 4 поршень достигает верхней мертвой точки (ВМТ) и начинается рабочий ход (движение поршня от ВМТ до нижней мертвой точки под давлением p_4). При этом на участке 4–5 давление в цилиндре по мере расширения отработавших газов и соответствующего увеличения объема над поршнем соответственно понижается. В точке 5 открывается выпускной клапан и на участке 5–1 при движении поршня от НМТ к ВМТ происходит вытеснение отработавших газов из цилиндра. Весь цикл происходит за 4 хода поршня. Двигатели, в которых рабочий процесс (цикл) совершается за четыре хода поршня, то есть за четыре такта, называются четырехтактными. При этом за один цикл коленчатый вал совершает два оборота.

В последние годы наибольшее распространение стали получать четырехтактные дизельные двигатели (дизели), которые отличаются от бензиновых двигателей более высокими топливно-экономическими показателями. Диаграмма рабочего цикла дизеля представлена на рис. 2. Точки от 1 до 11 являются характерными точками цикла, в которых начинается или заканчивается какой-либо физический процесс.

В дизеле со свободным впуском (без наддува) воздух поступает в цилиндр за счет разрежения, которое создается в нем при движении поршня от ВМТ до НМТ на участке 1–3 диаграммы, представленной на рис. 2. Дизельные двигатели устроены таким образом, что впускной клапан начинает открываться не в момент прихода поршня в ВМТ, а чуть раньше на такте выпуска в точке 11 (за 10–30° до прихода поршня в ВМТ). Градусы отсчитываются по окружности, описываемой точкой вращающегося коленчатого вала, соответствующей приходу поршня в ВМТ. Полный поворот коленчатого вала (изменение угла поворота на 360°) происходит при возвращении поршня за два такта в первоначальное положение (от ВМТ до НМТ и обратно из НМТ в ВМТ). От точки 11 до точки 1 происходит вытеснение отработавших газов

из цилиндра. В точке 1 начинается движение поршня от ВМТ до НМТ и в процессе этого движения внутри цилиндра образуется разрежение, которое сохраняется до точки 3, поэтому происходит всасывание воздуха внутрь цилиндра (впуск воздуха). Процесс впуска воздуха заканчивается в точке 3, то есть в НМТ.

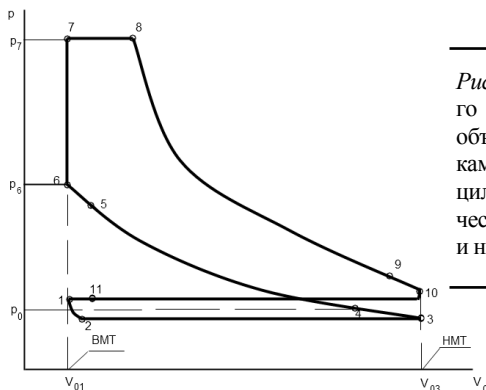


Рис. 2. Индикаторная диаграмма рабочего цикла дизельного двигателя. V_{01} – объем пространства сжатия (объем камеры сгорания), V_{03} – полный объем цилиндра, p_0 – атмосферное (барометрическое) давление, ВМТ и НМТ – верхняя и нижняя мертвые точки соответственно.

При обратном ходе поршня (на такте сжатия) на участке 3–6 происходит сжатие воздуха. На такте сжатия в точке 4 давление в цилиндре становится равным атмосферному давлению, а в точке 5 достигает такой величины, при которой может происходить самовоспламенение топлива в случае попадания его внутрь цилиндра. Поэтому в точке 5 производится впрыск топлива в цилиндр, однако горение начинается не сразу, а только в точке 6, так как имеет место некоторая задержка самовоспламенения топлива. При этом процесс сжатия воздуха продолжается до точки 6, то есть до ВМТ. Предварительное открытие впускного клапана в точке 11 до прихода поршня в ВМТ, о чем сказано выше, приводит к снижению процентного содержания остаточных газов в воздушно-газовой смеси в цилиндре, что улучшает наполнение цилиндра чистым воздухом. В двигателях с наддувом и так происходит хорошая продувка цилиндра, что способствует уменьшению количества остаточных газов, снижению температуры в цилиндре и соответствующему снижению температурных напряжений в деталях цилиндропоршневой группы. Например, в точке 3 температура становится равной 320–350 К (47–77 °С).

После впрыска топлива в точке 5 очень короткий промежуток времени, при котором происходит незначительное перемещение поршня в сторону ВМТ, между точками 5 и 6 происходит интенсивное перемешивание распыленного топлива с воздухом, его нагревание и частичное испарение. В точке 6 происходит самовоспламенение смеси за счет высокой температуры сжатого воздуха. Эта небольшая задержка в воспламенении между точками 5 и 6 необходима для достижения однородности (гомогенности) горючей смеси. На участке 6–7 происходит резкое повышение температуры и давления за счет сгорания топлива при постоянном объеме, так как объем камеры сгорания, как уже отмечено выше, практически не изменяется. Обратный ход поршня (в такте расширения) начинается в точке 7. Однако процесс горения продолжается, так как не вся горючая смесь сгорает на участке 6–7. Продолжение процесса горения топлива на участке 7–8 способствует дальнейшему повышению температуры газов в цилиндре и сохранению постоянства давления в нем вплоть до точки 8. Температура в цилиндре достигает максимального значения после поворота коленчатого вала на угол 20–35° после прохождения ВМТ, то есть в точке 8. В конце процесса сгорания основной части заряда (точка 7) в дизелях без наддува давление достигает значения 6–8 МПа (60–80 ат), а температура – 1900–2100 К (1627–1827 °С).

В процессе догорания топлива при изобарном расширении образующихся газов на участке 7–8 одновременно происходит преобразование тепловой энергии в механическую работу, то есть участок 7–8 диаграммы является частью диаграммы рабочего такта. После окончания процесса горения топлива в точке 8, соответствующей повороту коленчатого вала на угол 20–35° после прохождения ВМТ, происходит политропный процесс расширения газов, в результате которого осуществляется основной рабочий ход поршня. Рабочий ход поршня заканчивается в точке 9 в момент открытия выпускного клапана. К этому моменту давление в цилиндре успевает понизиться до 0,3–0,5 МПа (до 3–5 ат), а температура – до 1000–1500 К (727–1227 °С). В точке 9 поршень еще не успевает дойти до НМТ на 40–70°.

Выпуск отработавших газов происходит на участке 9–10–11–1 диаграммы, то есть на части такта расширения (участок 9–10) и полного хода поршня от НМТ до ВМТ (участок 10–1). На участке 9–10 происходит свободный выпуск отработавших газов, находящийся под давлением. При этом удаляется примерно 50–70 % всех отработавших газов. Начальный период выпуска газов характеризуется очень высокой скоростью истечения газов (600–700 м/с), которая выше критической скорости распространения звуковых волн в воздухе (335 м/с), а ближе к точке 10 скорость истечения газов становится равной 100–250 м/с (ниже скорости звука). Выпускной клапан остается открытым между точками 9 и 2. Несмотря на то, что выпускной клапан закрывается только в точке 2, все же в точке 11 уже открывается впускной клапан. Одновременное пребывание впускного и выпускного клапанов цилиндра в открытом состоянии в течение некоторого промежутка времени принято называть перекрытием клапанов. Перекрытие клапанов способствует лучшей очистке цилиндра от отработавших газов. В конце выпуска газов в точке 1 давление в цилиндре составляет 0,105–0,125 МПа (1,05–1,25 ат), а температура 700–1000 К. Выпускной клапан закрывается после поворота коленчатого вала на угол 10–50° после прохождения ВМТ (в точке 2).

На основании изложенного материала можно сделать следующие выводы:

1. Построение, рассмотрение и анализ индикаторных диаграмм ДВС не позволяют оценить экономические показатели двигателей внутреннего сгорания, работающих по различным циклам.
2. Для определения экономических показателей ДВС требуется построение термодинамических диаграмм циклов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудинов В. А. Техническая термодинамика. Учебное пособие. М.: Высшая школа, 2001. 261 с.
2. Котиков Ю. Г., Ложкин В. Н. Транспортная энергетика. Учебное пособие. М.: Изд-во «Академия», 2006. 272 с.
3. Котиков Ю. Г. Основы теории транспортных систем. СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2000. 216 с.

УДК 620.9 (075.8)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Асп. *Маргиев К. Г.*,канд. техн. наук, доц. *Цориев С. О.*Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)

г. Владикавказ, РСО-Алания, Россия

В статье рассматривается и анализируется идеальный термодинамический цикл двигателя внутреннего сгорания с изохорным подводом теплоты. Из анализа, изложенного в статье материала следует, что значение термического коэффициента полезного действия возрастает при увеличении степени сжатия газа в цилиндре, а также показателя адиабаты идеального цикла, что приводит к возрастанию экономичности цикла с подводом теплоты при постоянном объеме. Исследование (теоретические и экспериментальные) показали, что рассмотренный цикл с подводом теплоты при постоянном объеме в наибольшей степени подходит для двигателей внутреннего сгорания, работающих на бензине.

Анализ работы реальных бензиновых двигателей показывает, что рабочий цикл в них не является замкнутым и в них присутствуют все признаки необратимых процессов: трение, теплообмен и другие явления. Превращение теплоты в работу в таких двигателях связано с реализацией целого комплекса сложных физико-химических, газодинамических и термодинамических процессов, которые определяют различия рабочих циклов в двигателях. Эти различия, в свою очередь, определяют конструктивные особенности исполнения двигателей. В реальном тепловом двигателе указанные превращения тепловой энергии в механическую работу составляют совокупность необратимых круговых процессов, то есть незамкнутый цикл. Применительно к поршневым двигателям такой цикл принято называть рабочим или действительным. В реальных условиях работы двигателей особенность протекания отдельного процесса рабочего цикла или особенность детали конструкции двигателя могут повлиять на конечные результаты сравнения. Поэтому экономические и другие показатели двигателей внутреннего сгорания, работающих по разным циклам, сложно сравнить в реальных условиях их работы.