

## Лекция 10

### Циклы двигателей внутреннего сгорания

#### Общие сведения

Цикл двигателя – представляет собой машину, способную превращать принятый к использованию вид энергии в механическую работу. Тепловой двигатель представляет собой машину, предназначенную для превращения тепловой энергии в механическую работу.

Двигатель внутреннего сгорания представляет собой тепловую машину, где подвод тепловой энергии к рабочему телу совершается в результате сгорания топливно-воздушной смеси внутри рабочего объема двигателя.

Поршневой двигатель внутреннего сгорания представляет собой тепловую машину основными деталями, которой являются: поршень, цилиндр, шатун, коленчатый вал и другие элементы дополнительных устройств. В качестве рабочего тела используется топливно-воздушная смесь и продукты ее сгорания.

Повышение температуры и давления в объеме камеры сгорания, в результате подвода теплоты при положении поршня в верхней мертвой точке (ВМТ) обеспечивает появление газовой силы, действие которой на поршень приводит к перемещению поршня к нижней мертвой точке. С использованием кривошипно-шатунного механизма, прямолинейное перемещение поршня превращается во вращательное движение коленчатого вала.

Вращательное движение коленчатого вала используется для преодоления внешнего дорожного сопротивления движению автомобиля, привода технических устройств и механизмов или совершения любой другой механической работы.

Фиксированный объем между головкой цилиндра и поршнем, при его положении в ВМТ называется объемом камеры сгорания -  $V_c$ .

Объем пространства освобождаемого при перемещении поршня от ВМТ до НМТ называется рабочим объемом цилиндра –  $V_h$ .

Общая сумма объемов ( $V_h + V_c$ ) называется полным объемом цилиндра и объемом, который занимает рабочая смесь при положении поршня в нижней мертвой точке –  $V_a$ .

По мере перемещения поршня к ВМТ рабочая смесь сжимается до минимального объема, равного объему камеры сгорания.

Отношение полного объема цилиндра –  $V_a$  к объему камеры сгорания в конце сжатия и достижения поршнем положения ВМТ –  $V_c$ , называется

степенью сжатия по объему –  $\varepsilon = \frac{V_a}{V_c}$ .

Сумма рабочих объемов всех цилиндров многоцилиндрового двигателя составляет рабочий литраж двигателя –  $V_{л}$ , или, произведение числа

цилиндров  $i$  на рабочий объем одного цилиндра  $V_h$  составляет рабочий литраж двигателя  $V_d = i \cdot V_h$ .

Теоретический цикл ДВС с предварительным сжатием включает следующие физические процессы:

1. Предварительное сжатие – происходит по мере перемещения поршня от НМТ к ВМТ.

2. Подвод теплоты к рабочему телу (газ). Для обобщенного цикла, часть теплоты подводится при постоянном объеме и положении поршня в ВМТ, вторая часть при постоянном давлении на участке предварительного расширения.

3. На участке перемещения поршня от ВМТ к НМТ подведенная часть тепловой энергии переходит в механическую силу давления и используется для перемещения поршня и превращения его прямолинейного движения во вращательное движение коленчатого вала (механическая работа).

4. По мере достижения НМТ, согласно второму закону термодинамики, часть тепловой энергии должна быть отведена от рабочего тела с резким понижением давления и температуры.

В дальнейшем процессы цикла повторяются. При этом, положительная работа расширения всегда больше работы сжатия. Избыточная часть положительной работы расширения используется для совершения полезной механической работы.

Таким образом, все физические процессы в теоретическом цикле ДВС совершаются за один оборот коленчатого вала и два хода (2 такта) поршня.

Условно принимается, что процессы сжатия и расширения при теоретическом анализе протекают без теплообмена со стенками цилиндра, и процессы условно следует принимать как адиабатными. То есть с отсутствием тепловых потерь.

Замена рабочего тела и его утечка, через не плотности сопрягаемых элементов поршень-цилиндр, не предусматривается.

Термодинамический цикл двигателя с внутренним сгоранием (цикл ДВС) представляет собой совокупность принятых термодинамических процессов, повторяющихся в установленной последовательности для превращения тепловой энергии в механическую работу.

С учетом особенностей условий и характера подвода тепловой энергии различают три основных типа таких двигателей.

1. Двигатели с подводом теплоты при постоянном объеме,  $V = \text{const}$ , двигатели Отто.

2. Двигатели с постепенным подводом теплоты при постоянном давлении, на участке предварительного расширения, двигатели Дизеля.

3. Двигатели со смешанным подводом теплоты, где первая часть теплоты –  $q_1'$  подводится при постоянном объеме, вторая часть –  $q_1''$  постепенно поступает при поддержке постоянного давления, двигатели российского инженера Тринклера.

### Термодинамический анализ цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме

Рабочий цикл рассматриваемого типа двигателя, рисунок 25, включает:

- адиабатное сжатие идеального газа с начальными параметрами  $P_1, V_1, T_1$  при перемещении поршня от НМТ к ВМТ до точки 2, рабочее тело переходит в состояние с параметрами  $P_2, V_2, T_2$ ;
- в точке 2 и положении поршня ВМТ подводится определенное количество тепловой энергии –  $q_1$ .

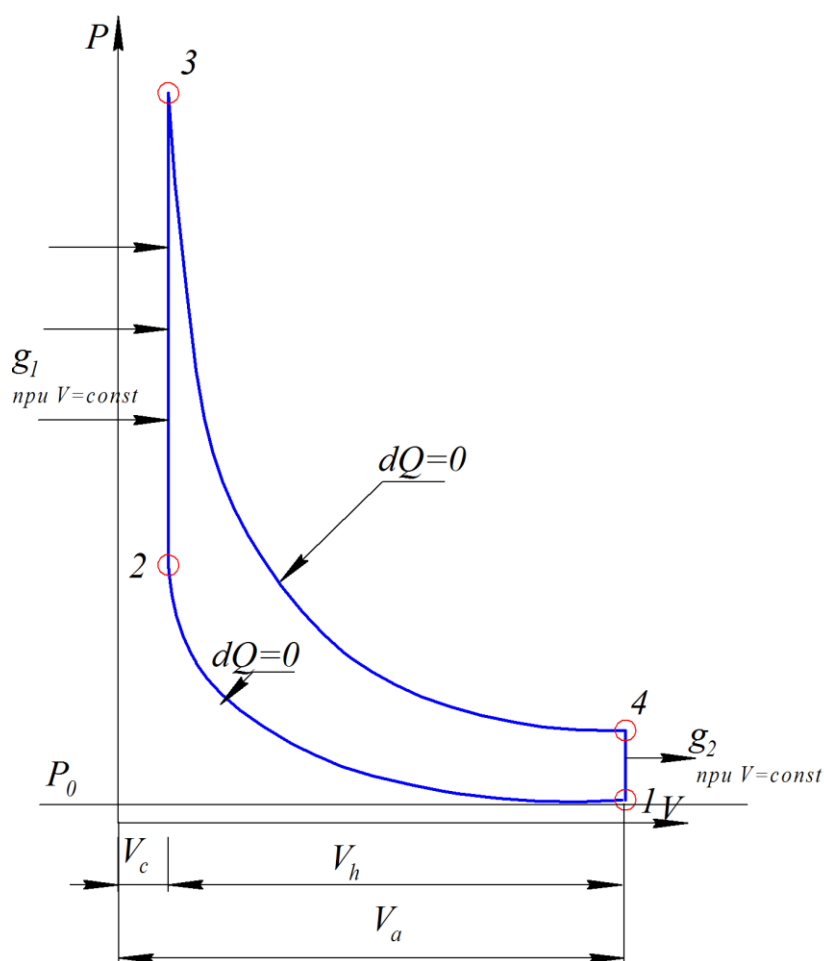


Рисунок 25 – Цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме.

Процесс сопровождается резким повышением температурного состояния рабочего тела и, соответственно, повышением давления, при неподвижном состоянии поршня и постоянном объеме. Рабочее тело переходит в состояние с параметрами  $P_3, V_3, T_3$ ;

– после завершения процесса подвода теплоты, под действием внутренней силы давления происходит процесс адиабатного расширения, процесс 3 – 4 с конечными параметрами  $P_4, V_4, T_4$ ;

-- процесс 4-1 является завершающим изохорным процессом в рабочем цикле, сопровождается отводом теплоты  $Q_2$  при постоянном объеме, при положении поршня в НМТ. Рабочее тело приходит к первоначальному состоянию с параметрами  $P_1, V_1, T_1$  и цикл повторяется.

Для установления зависимости, определяющей к.п.д. цикла

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1},$$

необходимо установить зависимости, для определения параметров в характерных точках, начала и завершения каждого из ранее перечисленных процессов и определить количество подведенной и отведенной теплоты, соответственно,  $Q_1$  и  $Q_2$ .

$$q_1 = c_v \cdot (T_3 - T_2),$$

$$q_2 = c_v \cdot (T_4 - T_1).$$

Температуру к моменту завершения адиабатного сжатия  $T_2$ , определяем из взаимозависимости параметров при совершении адиабатного процесса

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1},$$

отсюда

$$T_2 = T_1 \cdot \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}.$$

Процесс 2-3 изохорный. Температуру к моменту завершения изохорного процесса с подводом теплоты определяем с использованием исходной зависимости взаимосвязи параметров для изохорного процесса

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{P_3}{P_2}, \quad \text{отсюда} \quad T_3 = T_2 \cdot \frac{P_3}{P_2}.$$

Обозначаем отношение  $\frac{P_3}{P_2} = \lambda_{cz}$ , как степень повышения давления на участке, в результате подвода теплоты, соответственно,

$$T_3 = T_2 \cdot \lambda_{cz} = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot \lambda_{cz}.$$

Для адиабатного процесса расширения 3-4, используем зависимость взаимосвязи изменения параметров при его исполнении

$$\frac{T_4}{T_3} = \left( \frac{v_3}{v_4} \right)^{k-1} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{k-1} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}},$$

отсюда

$$T_4 = T_3 \cdot \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot \lambda_{cz} \cdot \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = T_1 \cdot \lambda_{cz}.$$

Определившись с параметрами состояния в характерных точках рабочего цикла ДВС, переходим к определению зависимости для определения к.п.д. рассмотренного цикла

$$\begin{aligned} \eta_t &= 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_v \cdot (T_4 - T_1)}{c_v \cdot (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = \\ &= 1 - \frac{T_1 \cdot \lambda_{cz} - T_1}{T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot \lambda_{cz} - T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \end{aligned}$$

Таким образом, КПД цикла определяется зависимостью:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

Анализ приведенной зависимости показывает, что к.п.д. цикла с подводом при постоянном объеме определяется принятым и допустимым значением степени сжатия  $\varepsilon$  и значением показателя адиабаты сжатия  $k$ .

Значение показателя адиабатного сжатия  $k$  зависит от природы газа, который используется в качестве рабочего тела.

Для воздуха, как газа состоящего из смеси 2-х атомных газов ( $O_2$  и  $N_2$ )  $k=1.41$ .

Для продуктов сгорания топливно-воздушной смеси среднему показателю адиабаты присваивается значение  $k=1.33 \dots 1,38$ .

С учетом особенностей организации рабочего цикла для данного типа теплосиловой установки, анализ зависимости для определения КПД цикла показывает, что основным фактором, обеспечивающим повышение его эффективности, является использование более высоких значений степени сжатия.

Однако следует иметь в виду, что для двигателей легкого топлива с внешним смесеобразованием и воспламенением от искры высокого напряжения, значения степени сжатия принимаются в диапазоне 6 ...12 единиц. Предельные значения степени сжатия ограничены,  $\epsilon=10\dots 12$  единиц. Это объясняется составом, качеством, техническими характеристиками топлива и условиями протекания сгорания. При использовании предельных значений степени сжатия, в процессе сгорания смесь не вступившая в реакции окисления, достигает температурного состояния самопроизвольного неуправляемого воспламенения, детонация.