

Тема: ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

1. Классификация термодинамических циклов ДВС и основные условия их работы.
2. Цикл Отто
3. Цикл Дизеля
4. Цикл Тринклера

1. Классификация термодинамических циклов ДВС и основные условия их работы.

С точки зрения термодинамики тепловые двигатели представляют собой совокупность взаимодействующих между собой рабочего тела, источника теплоты и охладителя.

Рабочее тело находится в термодинамическом равновесии соответственно с источником теплоты и охладителем.

В реальных тепловых двигателях источником теплоты служат продукты сгорания топлива, либо теплота, а охладителем — окружающая среда.

*{Двигатель внутреннего сгорания — наиболее распространенный тепловой двигатель в мире. Он занимает лидирующее положение в автомобильном, железнодорожном и водном транспорте, в дорожных машинах и т. п. Исключительна роль двигателей внутреннего сгорания в энергетике сельского хозяйства — неотъемлемый элемент тракторов, комбайнов, автотранспорта, резервных дизельных электростанций и многих других агрегатов, используемых в сельскохозяйственном производстве.

Работа поршневых газовых двигателей основана на преобразовании энергии давления расширяющихся газов при горении топлива в возвратно-поступательное движение поршня и далее во вращательное движение коленчатого вала.

В зависимости от способа подвода теплоты различают три термодинамических цикла двигателей внутреннего сгорания:

а) Цикл Отто – это теоретический цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме ($v = \text{const}$). Он характерен для бензиновых и газовых двигателей с внешним смесеобразованием в карбюраторах и принудительным искровым зажиганием горючей смеси. Такие ДВС применяют на легковом и грузовом автотранспорте.

б) Цикл Дизеля - это теоретический цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении ($p = \text{const}$). Он характерен для дизельных двигателей, в которых топливо распыляется высоким давлением воздуха, подаваемого в цилиндр специальным компрессором. Из-за больших габаритов и веса компрессорные дизели применяются на судах и в качестве стационарных установок электростанций.

в) Цикл Тринклера – это цикл со смешанным подводом теплоты при $v = \text{const}$ и $p = \text{const}$. Он является теоретическим циклом всех современных транспортных и стационарных дизельных двигателей (тракторных, комбайновых и др.). В этих ДВС происходит механическое распыление горючего, смесеобразование в цилиндре и самовоспламенение от сжатого до высокой температуры воздуха.

При анализе термодинамических циклов тепловых машин допускают, что;

- химический состав и количество рабочего тела не меняются;
- процесс сгорания топлива заменяется обратимым процессом подвода теплоты;
- выпуск продуктов сгорания заменяется обратимым процессом отвода теплоты в охладитель;
- процессы расширения и сжатия рабочего тела являются адиабатными;
- теплоемкость рабочего тела не зависит от температуры.

2. ЦИКЛ ОТТО

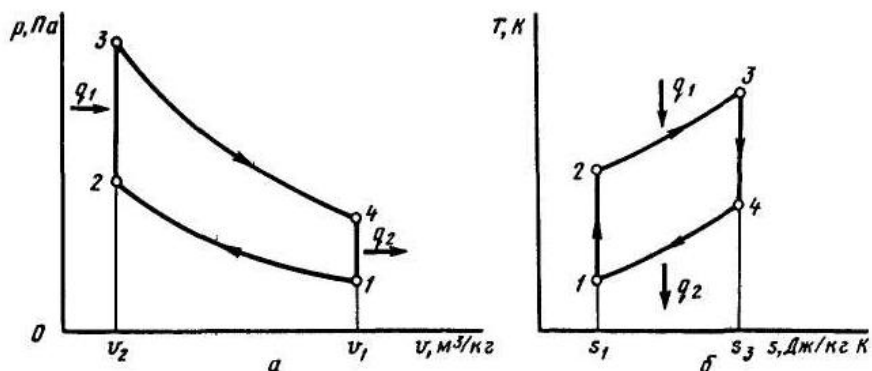


Рис. 1. Диаграммы цикла Отто с подводом теплоты при $v = \text{const}$.

Рассмотрим работу цикла Отто с помощью диаграмм, изображенных на рис. 1

По кривой 1—2 происходит адиабатное сжатие рабочего тела, при этом температура возрастает до T_2 . Изохора 2—3 соответствует процессу подвода теплоты q_1 от горячего источника, при этом температура увеличивается до T_3 . Затем следует процесс адиабатного расширения 3—4, температура при этом понизится до T_4 . В изохорном процессе 4—1 от рабочего тела в окружающую среду отводится теплота q_2 , а температура еще уменьшится до T_1 .

Количество теплоты, подводимое к рабочему телу определяется по формуле:

$$q_1 = C_V \cdot (T_3 - T_2), \text{ кДж/кг} \quad (1)$$

где C_V — теплоемкость изохорного процесса, кДж/кг·К

Количество теплоты, которое отводится определяется по формуле:

$$q_2 = C_V \cdot (T_4 - T_1), \text{ кДж/кг} \quad (2)$$

Полезная работа цикла будет определяться:

$$l_{\text{ц}} = q_1 - q_2, \text{ кДж/кг} \quad (3)$$

Введем безразмерные параметры, характеризующие цикл Отто.

Степень сжатия — это отношение объема рабочего тела вначале процесса сжатия к объему рабочего тела в конце сжатия:

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} \quad (4)$$

Степень изохорного повышения давления — это отношение давления рабочего тела в конце процесса подвода теплоты при $v = \text{const}$ к давлению в начале процесса подвода теплоты при $v = \text{const}$:

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2} \quad (5)$$

Термический КПД цикла Отто будет определяться так:

$$\eta_{\text{т.о.}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (6)$$

Где k — коэффициент адиабатного сжатия

Из формулы видно, что термический КПД цикла Отто будет тем больше, чем больше будет степень сжатия ε .

3. ЦИКЛ ДИЗЕЛЯ

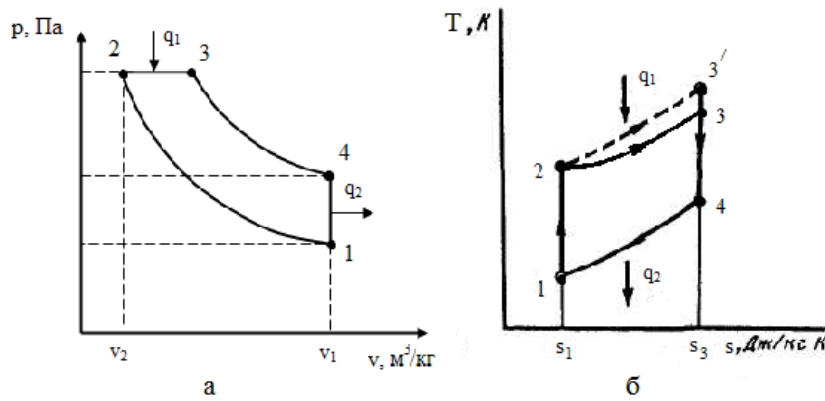


Рис. 2. Диаграммы цикла Дизеля с подводом теплоты при $p = \text{const}$

Рассмотрим работу цикла Дизеля с помощью диаграмм, изображенных на рис.2.

По кривой 1—2 происходит адиабатное сжатие рабочего тела, при этом температура возрастает до T_2 . Изобара 2—3 соответствует процессу подвода теплоты q_1 от горячего источника, при этом температура увеличивается до T_3 . Затем следует процесс адиабатного расширения 3—4, температура при этом понизится до T_4 . В изохорном процессе 4—1 от рабочего тела в окружающую среду отводится теплота q_2 , в результате а температура станет T_1

*{Для сравнения на Ts-диаграмме приведена штриховая линия 2-3', соответствующая изохорному подводу теплоты в цикле Отто.}

Количество теплоты, подводимое к рабочему телу определяется по формуле:

$$q_1 = C_p \cdot (T_3 - T_2), \text{ кДж/кг} \quad (7)$$

где C_p —теплоемкость изобарного процесса, кДж/кг·К

Количество теплоты, которое отводится определяется по формуле:

$$q_2 = C_v \cdot (T_4 - T_1), \text{ кДж/кг} \quad (8)$$

Полезная работа цикла будет определяться:

$$l_{ц} = q_1 - q_2, \text{ кДж/кг} \quad (9)$$

Цикл Дизеля характеризуется таким безразмерным параметром, как степень предварительного расширения ρ , который представляет собой отношение объема рабочего тела в конце процесса подвода теплоты при $p = \text{const}$ к объему в начале подвода теплоты при $p = \text{const}$:

$$\rho = \frac{v_3}{v_2} \quad (10)$$

Термический КПД цикла Дизеля будет определяться по формуле:

$$\eta_{т.д.} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\rho^{k-1}}{k(\rho - 1)} \quad (11)$$

Из формулы видно, что термический КПД цикла Дизеля будет больше с увеличением степени сжатия ε и уменьшением степени предварительного расширения ρ .

4. ЦИКЛ ТРИНКЛЕРА

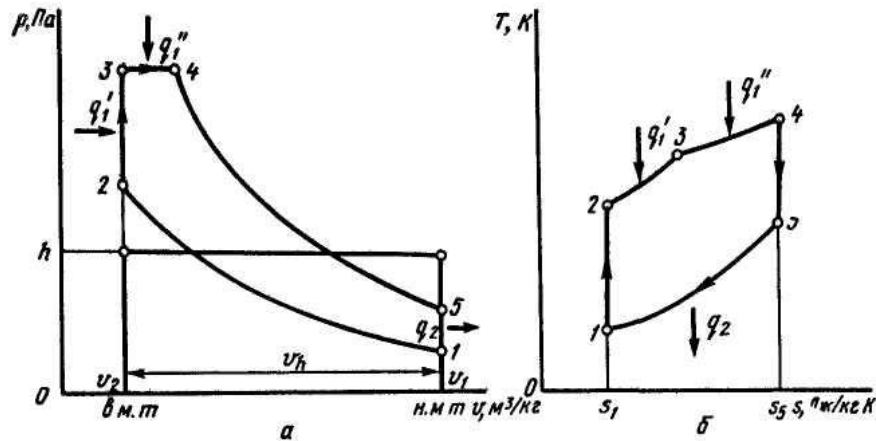


Рис. 3. Диаграммы цикла Тринклера со смешанным подводом теплоты

Рассмотрим работу цикла Тринклера с помощью диаграмм, изображенных на рис.3

Кривая 1—2 соответствует процессу адиабатного сжатия рабочего тела, при этом температура возрастает до T_2 . Далее сначала по линии 2—3 происходит подвод теплоты q_1' при $V=\text{const}$, при этом температура увеличивается до T_3 . Затем по линии 3—4 происходит подвод теплоты q_1'' при $p=\text{const}$ с повышением температуры до T_4 . Кривая 4—5 соответствует процессу адиабатного расширения рабочего тела с понижением температуры до T_5 . Участок 5—1 характеризует изохорный процесс отвода теплоты q_2 в охладитель и понижение температуры до T_1 .

Количество теплоты, подводимое к рабочему телу определяется по формулам:

$$\left. \begin{aligned} q_1' &= C_V \cdot (T_3 - T_2), \text{ кДж/кг} \\ q_1'' &= C_P \cdot (T_4 - T_3), \text{ кДж/кг} \end{aligned} \right\} (13)$$

При этом общая подведенная теплота будет равна:

$$q_1 = q_1' + q_1'' \quad (14)$$

Количество теплоты, которое отводится определяется по формуле:

$$q_2 = C_V \cdot (T_5 - T_1) \quad (15)$$

Полезная работа цикла будет определяться:

$$l_{ц} = q_1 - q_2 = (q_1' + q_1'') - q_2 \quad (16)$$

Степень предварительного расширения ρ для цикла Тринклера будет:

$$\rho = \frac{v_4}{v_3} \quad (17)$$

Термический КПД цикла Тринклера будет определяться по формуле:

$$\eta_{т.т.} = 1 - \frac{c_V \cdot T_1 (\lambda \cdot \rho^k - 1)}{c_V \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} [\lambda - 1 + k \cdot \lambda (\rho - 1)]} = 1 - \frac{\lambda \cdot \rho^k - 1}{\lambda - 1 + k \cdot \lambda (\rho - 1)} \cdot \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (18)$$

Из приведенной формулы следует, что термический КПД цикла со смешанным подводом теплоты возрастает с увеличением степени сжатия ε и степени повышения давления λ и с уменьшением степени предварительного расширения ρ .

Термический КПД различных циклов двигателей внутреннего сгорания колеблется в пределах 0,45... 0,60. Степень сжатия двигателей с внутренним смесеобразованием выше ($\varepsilon = 12... 18$), чем у двигателей с внешним смесеобразованием ($\varepsilon = 6... 8$), и поэтому первые двигатели имеют более высокие значения термического КПД и их экономичность выше, чем у двигателей с внешним смесеобразованием.