

Задание №2. РАСЧЕТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

2.1. Общие сведения

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. [2]

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 ($v = const$). 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 ($p = const$). 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 $v = const$ и $p = const$. 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.

Рассмотрим работу цикла Отто с помощью диаграммы, изображенной 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 источника теплоты, 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 .

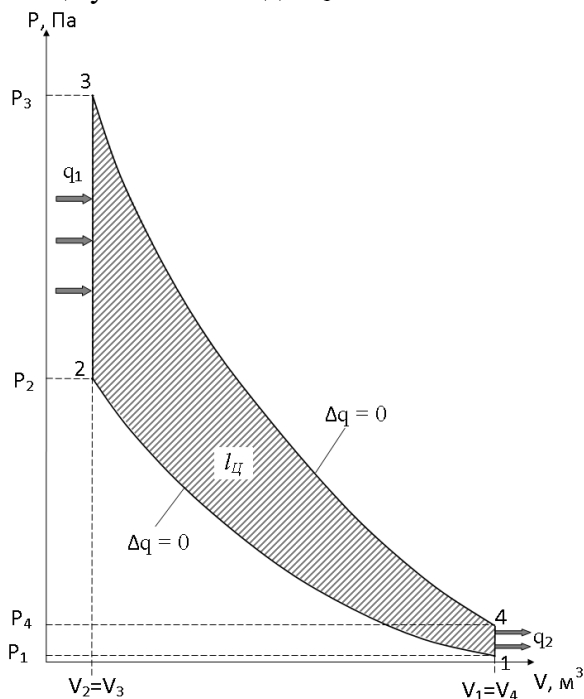


Рис. 1. Цикл Отто в p - v - координатах:

1-2 – адиабатное сжатие; 2-3 – изохорный подвод теплоты q_1 ;
3-4 – адиабатное расширение; 4-1 – изохорный отвод теплоты q_2

На рис. 2 изображена диаграмма цикла Дизеля. 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 источника теплоты, 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

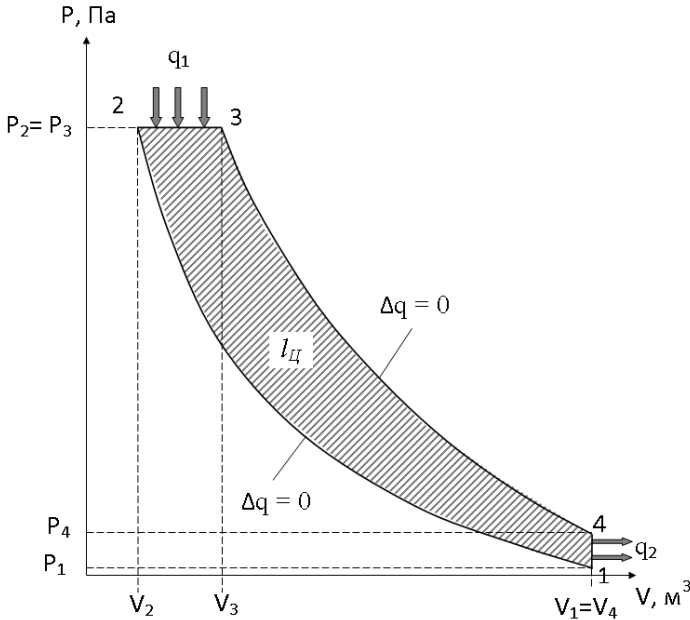


Рис.2. Цикл Дизеля в p - v - координатах:

1-2 – адиабатное сжатие; 2-3 – изобарный подвод теплоты q_1 ;
3-4 – адиабатное расширение; 4-1 – изохорный отвод теплоты q_2

Диаграмма цикла Тринклера изображена 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 $v = const$, при этом температура увеличивается до T_3 . Затем по линии 3–4 происходит подвод теплоты q_1'' при $p = const$ 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 .

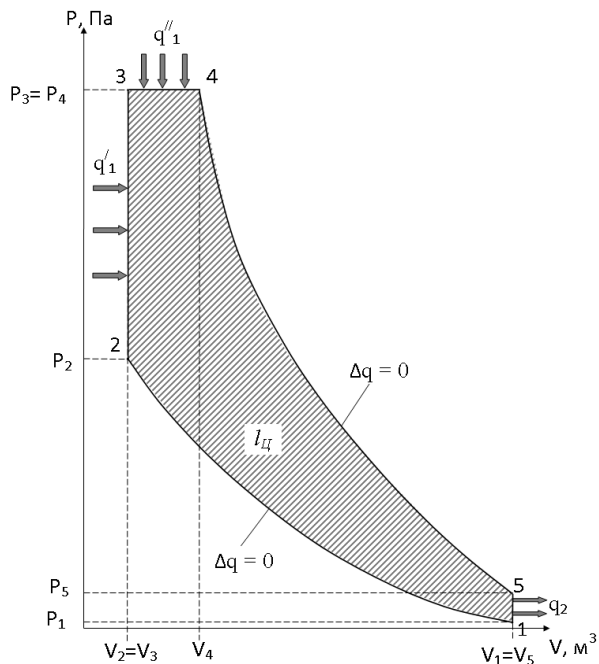


Рис.3. Цикл Тринклера в p - v - координатах:

- 1-2 – адиабатное сжатие; 2-3 – изохорный подвод теплоты q_1' ;
 3-4 – изобарный подвод теплоты q_1'' ; 4-5 – адиабатное расширение;
 5-1 – изохорный отвод теплоты q_2

2.2. Порядок выполнения задания

Рассчитать идеальный термодинамический цикл ДВС, считая рабочим телом воздух.[7]

Известными величинами являются следующие (см. приложения 1 и 2):

1. Цикл двигателя: _____

2. Начальные параметры рабочего тела:

Температура $t_1 = \text{_____} \text{ } ^\circ\text{C}$

Давление $P_1 = \text{_____} * 10^6 \text{ Па}$

3. Параметры цикла:

Степень сжатия $\varepsilon = \text{_____}$

Степень повышения давления $\lambda = \text{_____}$

Степень предварительного расширения: $\rho = \text{_____}$

4. Средняя температура для расчета теплоемкости воздуха:

$$t_{CP} = \text{_____ } ^\circ\text{C}$$

Определить для заданного цикла:

- 1) Абсолютное давление, удельный объем и абсолютную температуру во всех характерных точках цикла;
- 2) Количество подведенного и отведенного в цикле тепла;
- 3) Полезную работу цикла;
- 4) Термический КПД цикла;
- 5) Показать заданный цикл в p - v диаграмме.

Решение

1. Определим удельную изобарную C_p и изохорную C_v теплоемкости воздуха:

$$C_p = 0,9956 + 9,3 \cdot 10^{-5} \cdot t_{CP}, \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \quad (2.1)$$

$$C_v = 0,7088 + 9,3 \cdot 10^{-5} \cdot t_{CP}, \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \quad (2.2)$$

2. Коэффициент адиабатных процессов:

$$k = \frac{c_p}{c_v} > 1 \quad (2.3)$$

Коэффициент k должен быть в пределах $k = 1,2 \dots 1,4$

** Точки 1 и 2, а также кривая 1-2-адиабата сжатия, для всех трех циклов одинаковы (см. рис. 1, 2, 3).*

3. Найдем основные параметры рабочего тела в точке 1:

$$a) T_1 = t_1 + 273, \text{ К} \quad (2.4)$$

$$b) V_1 = \frac{R_B \cdot T_1}{P_1}, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (2.5)$$

где $R_B = 287 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ – индивидуальная газовая постоянная воздуха, (см. приложение 3).

4. Найдем основные параметры рабочего тела в точке 2:

$$a) V_2 = \frac{V_1}{\varepsilon}, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (2.6)$$

$$б) T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1}, \text{ К} \quad (2.7)$$

$$в) P_2 = \frac{R_B \cdot T_2}{V_2}, \text{ Па} \quad (2.8)$$

**ВНИМАНИЕ: далее при расчетах параметров не спешить и быть предельно внимательными, использовать формулы только для заданного цикла: Отто, Дизеля или Тринклера.*

5. Найдем основные параметры рабочего тела в точке 3:

5.1. В цикле Отто и Тринклера происходит изохорный подвод теплоты:

$$a) V_3 = V_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}^3/\text{кг} \quad (2.9)$$

$$б) P_3 = \lambda \cdot P_2, \text{ Па} \quad (2.10)$$

$$в) T_3 = \lambda \cdot T_2, \text{ К} \quad (2.11)$$

5.2. В цикле Дизеля происходит изобарный подвод теплоты:

$$a) P_3 = P_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Па} \quad (2.12)$$

$$б) V_3 = \rho \cdot V_2, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (2.13)$$

$$в) T_3 = \rho \cdot T_2, \text{ К} \quad (2.14)$$

6. Найдем основные параметры смеси в точке 4:

6.1. Для цикла Тринклера:

$$a) P_4 = P_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Па} \quad (2.15)$$

$$б) T_4 = \rho \cdot T_3, \text{ К} \quad (2.16)$$

$$в) V_4 = \rho \cdot V_3, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (2.17)$$

6.2. Для цикла Отто:

$$a) V_4 = V_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}^3/\text{кг} \quad (2.18)$$

$$б) T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1}, \text{ К} \quad (2.19)$$

$$в) P_4 = \frac{R_B \cdot T_4}{V_4}, \text{ Па} \quad (2.20)$$

6.3. Для цикла Дизеля:

$$a) V_4 = V_1 = \text{_____} \text{ м}^3/\text{кг} \quad (2.21)$$

$$б) T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1}, \text{ К} \quad (2.22)$$

$$в) P_4 = \frac{R_B \cdot T_4}{V_4}, \text{ Па} \quad (2.23)$$

7. Найдем параметры рабочего тела в точке 5 для цикла Тринклера:

$$a) V_5 = V_1 = \text{_____} \text{ м}^3/\text{кг} \quad (2.24)$$

$$б) T_5 = T_4 \cdot \left(\frac{V_4}{V_5} \right)^{k-1}, \text{ К} \quad (2.25)$$

$$в) P_5 = \frac{R_B \cdot T_5}{V_5}, \text{ Па} \quad (2.26)$$

8. Найдем подведенную и отведенную теплоту в цикле ($q_1 > q_2$):

8.1. Отто:

$$a) q_1 = C_V \cdot (T_3 - T_2), \text{ кДж/кг} \quad (2.27)$$

$$б) q_2 = C_V \cdot (T_4 - T_1), \text{ кДж/кг} \quad (2.28)$$

8.2. Дизеля:

$$a) q_1 = C_P \cdot (T_3 - T_2), \text{ кДж/кг} \quad (2.29)$$

$$б) q_2 = C_V \cdot (T_4 - T_1), \text{ кДж/кг} \quad (2.30)$$

8.3. Тринклера:

$$a) q_1 = q_1' + q_1'' = C_V \cdot (T_3 - T_2) + C_P \cdot (T_4 - T_3), \text{ кДж/кг} \quad (2.31)$$

$$б) q_2 = C_V \cdot (T_5 - T_1), \text{ кДж/кг} \quad (2.32)$$

9. Полезная работа цикла:

$$l_{ц} = q_1 - q_2, \text{ кДж/кг} \quad (2.33)$$

10. Термический КПД цикла ($\eta_T = 0,5 \dots 0,7$):

$$\eta_T = 1 - \frac{q_2}{q_1} < 1 \quad (2.34)$$

11. Построить заданный цикл в p - v диаграмме со своими значениями параметров p и v (см. рис. 1, 2, 3).