Практическое занятие

РАСЧЕТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

(решить задание, см. контрольную)

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* 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.

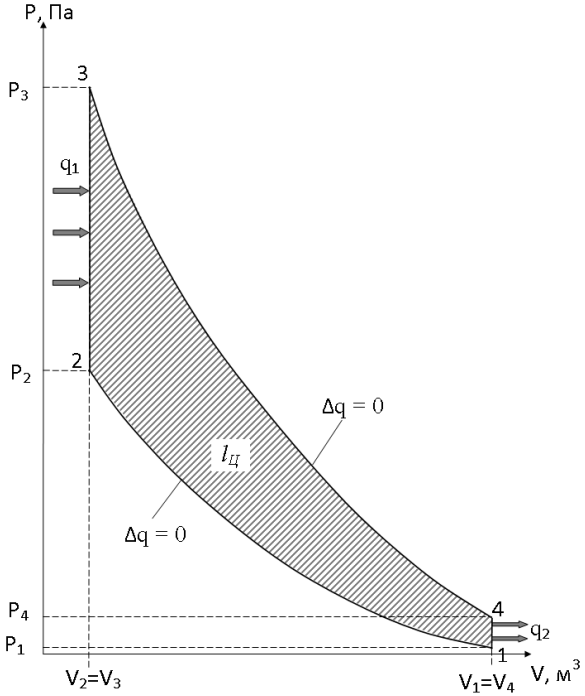

Рис.1. Цикл Отто в p-v- координатах:
1-2 – адиабатное сжатие; *2-3* – изохорный подвод теплоты q_1;
3-4 – адиабатное расширение; *4-1* – изохорный отвод теплоты q_2

На рис. 2 изображена диаграмма цикла Дизеля. По кривой *1–2* происходит адиабатное сжатие рабочего тела, при этом температура возрастает до *T* 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

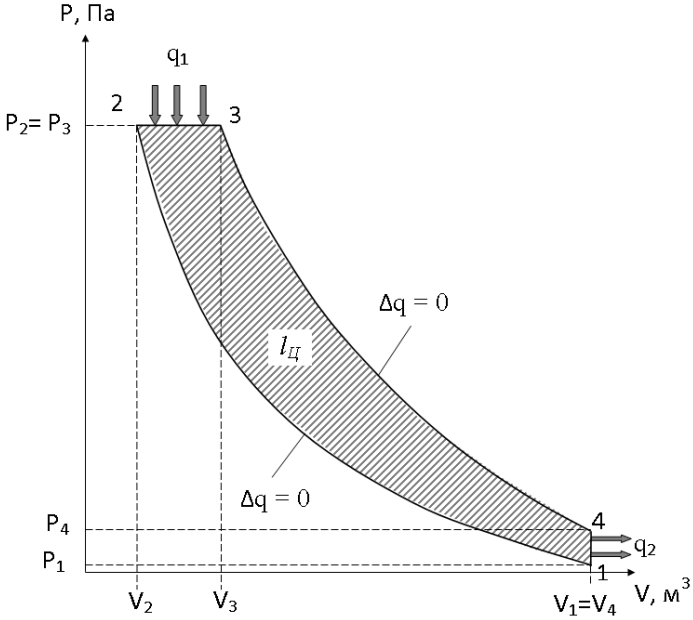

Рис. Цикл Дизеля в p-v- координатах:
1-2 – адиабатное сжатие; *2-3* – изобарный подвод теплоты q_1;
3-4 – адиабатное расширение; *4-1* – изохорный отвод теплоты q_2

Диаграмма цикла Тринклера изображена на рис. 3. Кривая *1–2* соответствует процессу адиабатного сжатия рабочего тела, при этом температура возрастает до *T* 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.

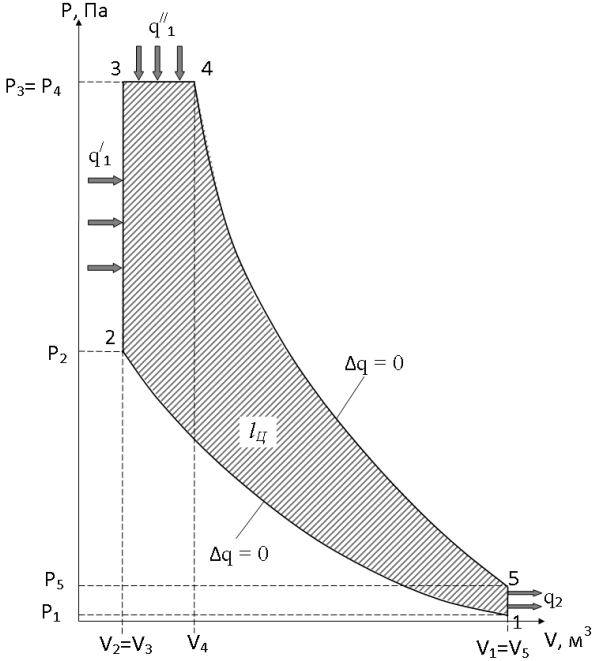

Рис.3. Цикл Тринклера в p-v- координатах:
1-2 – адиабатное сжатие; *2-3* – изохорный подвод теплоты q_1';
3-4 – изобарный подвод теплоты q_1''; *4-5* – адиабатное расширение;
5-1 – изохорный отвод теплоты q_2

2. 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 = _____ ºС

Давление P_1 = _____$*10^6$ Па

3. Параметры цикла:

Степень сжатия ε = _____

Степень повышения давления λ = _____

Степень предварительного расширения: ρ = _____

4. Средняя температура для расчета теплоемкости воздуха:

t_{CP} = _____ ºС

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:

$$C_P = 0{,}9956 + 9{,}3\cdot 10^{-5}\cdot t_{CP},\ \text{кДж/(кг·К)} \qquad (1)$$

$$C_V = 0{,}7088 + 9{,}3\cdot 10^{-5}\cdot t_{CP},\ \text{кДж/(кг·К)} \qquad (2)$$

2. Коэффициент адиабатных процессов:

$$k = \frac{c_P}{c_V} \succ 1 \qquad (3)$$

Коэффициент k должен быть в пределах $k = 1{,}2 \ldots 1{,}4$

** 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:

$$а)\ T_1 = t_1 + 273,\ \text{К} \qquad (4)$$

$$б)\ V_1 = \frac{R_B \cdot T_1}{P_1},\ \text{м}^3/\text{кг} \qquad (5)$$

где R_B = 287 кДж/(кг·К) – индивидуальная газовая постоянная воздуха, (см. приложение 3).

4. Найдем основные параметры рабочего тела в точке 2:

$$а)\ V_2 = \frac{V_1}{\varepsilon},\ м^3/кг \qquad (6)$$

$$б)\ T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1},\ К \qquad (7)$$

$$в)\ P_2 = \frac{R_B \cdot T_2}{V_2},\ Па \qquad (8)$$

**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:

$$а)\ V_3 = V_2 = _____\ м^3/кг \qquad (9)$$

$$б)\ P_3 = \lambda \cdot P_2,\ Па \qquad (10)$$

$$в)\ T_3 = \lambda \cdot T_2,\ К \qquad (11)$$

5. В цикле Дизеля происходит изобарный подвод теплоты:

$$а)\ P_3 = P_2 = _____\ Па \qquad (12)$$

$$б)\ V_3 = \rho \cdot V_2,\ м^3/кг \qquad (13)$$

$$в)\ T_3 = \rho \cdot T_2,\ К \qquad (14)$$

6. Найдем основные параметры смеси в точке 4:

6.1. Для цикла Тринклера:

$$а)\ P_4 = P_3 = _____ Па \qquad (15)$$

$$б)\ T_4 = \rho \cdot T_3,\ К \qquad (16)$$

$$в)\ V_4 = \rho \cdot V_3,\ м^3/кг \qquad (17)$$

6. Для цикла Отто:

$$а)\ V_4 = V_1 = _____\ м^3/кг \qquad (18)$$

$$б)\ T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1},\ К \qquad (19)$$

$$в)\ P_4 = \frac{R_B \cdot T_4}{V_4}, \text{ Па} \qquad (20)$$

6.3. Для цикла Дизеля:

$$а)\ V_4 = V_1 = _____ \text{ м}^3/\text{кг} \qquad (21)$$

$$б)\ T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1}, \text{ К} \qquad (22)$$

$$в)\ P_4 = \frac{R \cdot T_4}{V_4}, \text{ Па} \qquad (23)$$

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

$$а) V_5 = V_1 = _____ \text{ м}^3/\text{кг} \qquad (24)$$

$$б)\ T_5 = T_4 \cdot \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^{k-1}, \text{ К} \qquad (25)$$

$$в)\ P_5 = \frac{R_B \cdot T_5}{V_5}, \text{ Па} \qquad (26)$$

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

8.1. Отто:

$$а)\ q_1 = C_V \cdot (T_3 - T_2), \text{ кДж/кг} \qquad (27)$$

$$б)\ q_2 = C_V \cdot (T_4 - T_1), \text{ кДж/кг} \qquad (28)$$

8. Дизеля:

$$а)\ q_1 = C_P \cdot (T_3 - T_2), \text{ кДж/кг} \qquad (29)$$

$$б)\ q_2 = C_V \cdot (T_4 - T_1), \text{ кДж/кг} \qquad (30)$$

8.3. Тринклера:

$$а)\ q_1 = q_1' + q_1'' = C_V \cdot (T_3 - T_2) + C_P \cdot (T_4 - T_3), \text{ кДж/кг} \qquad (31)$$

$$б)\ q_2 = C_V \cdot (T_5 - T_1), \text{ кДж/кг} \qquad (32)$$

9. Полезная работа цикла:

$$l_Ц = q_1 - q_2, \text{ кДж/кг} \qquad (33)$$

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

$$\eta_T = 1 - \frac{q_2}{q_1} \prec 1 \qquad (34)$$

11. Построить заданный цикл в *p-v* диаграмме *(см. рис.1, 2, 3).*