

Задача 4. Термодинамический расчет идеального цикла двигателя внутреннего сгорания (ДВС)

Рассчитать цикл ДВС со смешанным подводом тепла (цикл Тринклера). Рабочее тело - CO_2 . Газовая постоянная $R=0,189 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, теплоемкости принять постоянными: $C_p = 0,856 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, $C_v = 0,667 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$. Начальное давление газа $P_1 = 0,1 \text{ МПа}$. Определить: 1) параметры в характерных точках цикла; 2) полезную работу; 3) количество подведенной, отведенной и полезной теплоты; 4) термический КПД; 5) рабочий объем цилиндра двигателя; 6) расход топлива на двигатель; 7) среднее индикаторное давление в цикле.

Принять низшую теплоту сгорания топлива равной $Q_H^P = 45\,000 \text{ кДж/кг}$.

Изобразить в масштабе цикл ДВС в P, v - диаграмме.

Данные для расчета взять из таблицы 1.

Таблица 1

Данные для расчета цикла ДВС

№ варианта	$t_1, ^\circ\text{C}$	ε	λ	ρ	$n, \text{об/мин}$	$N, \text{кВт}$
1	20	20	1,8	2,0	2000	150
2	15	18	1,8	2,2	2100	150
3	18	16	1,6	1,7	2200	150
4	25	14	1,2	1,3	2300	150
5	14	12	1,5	1,4	3000	180
6	10	15	1,7	1,8	2900	180
7	20	8	1,4	1,9	2800	110
8	12	13	1,4	1,5	2500	110
9	5	16	1,7	1,4	3100	130
10	16	22	1,5	1,9	2750	130
11	8	9	1,5	1,2	2400	160
12	26	19	1,6	1,8	2100	160
13	30	11	1,9	2,5	2650	140
14	11	20	1,6	2,0	1900	140
15	3	17	1,3	1,7	1800	140
16	-5	14	1,2	1,25	3250	100
17	0	16	1,5	1,3	2850	100
18	-10	18	1,6	1,6	2550	100
19	2	20	1,8	1,9	3050	90
20	4	12	1,3	2,0	1950	90
21	6	18	1,5	1,7	2150	90
22	-3	12	1,6	1,6	2750	120
23	9	16	1,8	1,5	3150	120
24	-15	13	1,4	1,4	2200	170
25	21	10	1,5	1,5	2250	170

По способу подвода теплоты ДВС различают:

- 1) при постоянном объеме – цикл ОТТО;
- 2) при постоянном давлении – цикл Дизеля;
- 3) при постоянном объеме и постоянном давлении (смешанный подвод тепла) – цикл Тринклера.

На рис. 1 изображен цикл Тринклера в p, v - и T, S - диаграммах.

Процесс 1-2 адиабатного сжатия воздуха в цилиндре характеризуется степенью сжатия $\varepsilon = v_1/v_2$

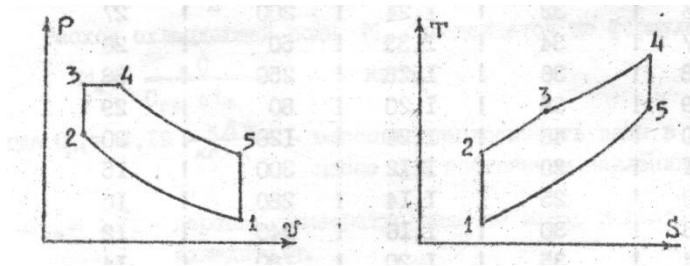


Рис. 1. Цикл Тринклера в p, v - и T, S - диаграммах.

Теплота частично подводится при постоянном объеме (в форкамере) в процессе 2-3, характеризующемся степенью повышения давления $\lambda = P_3/P_2$, и частично, при постоянном давлении (в цилиндре) в процессе 3-4, характеризующемся степенью предварительного расширения $\rho = v_4/v_3$. Рабочее тело в процессе 4-5 адиабатно расширяется, совершая рабочий ход, а затем в изохорном процессе 5-1 возвращается в первоначальное состояние, при этом теплота отводится в окружающую среду.

Для определения термического КПД и работы цикла необходимо найти температуры в характерных точках цикла, при условиях, что теплоемкости C_p и C_v , газовая постоянная R , показатель адиабаты $K = C_p/C_v$ постоянны.

Адиабатный процесс 1-2

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{K-1}, \quad T_2 = T_1 \varepsilon^{K-1} \quad (3.1)$$

Изохорный процесс 2-3

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{P_3}{P_2} = \lambda, \quad T_3 = \lambda T_2 = \lambda T_1 \varepsilon^{K-1} \quad (3.2)$$

Изобарный процесс 3-4

$$\frac{T_4}{T_3} = \frac{v_4}{v_3} = \rho, \quad T_4 = \rho T_3 = \rho \lambda T_1 \varepsilon^{K-1} \quad (3.3)$$

Адиабатный процесс 4-5

$$\frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{v_4}{v_5} \right)^{K-1}, \quad \text{так как } v_5 = v_1, \quad v_4 = v_3 \rho = v_2 \rho = \frac{v_1}{\varepsilon} \rho, \text{ то}$$

$$\frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{K-1}, \quad T_5 = T_4 \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{K-1} = \rho^K \lambda T_1 \quad (3.4)$$

Количество подведенной теплоты, $\kappa\text{Дж}/\text{кг}$

$$q_1 = q_1' + q_2' = C_v(T_3 - T_2) + C_p(T_4 - T_3), \quad (3.5)$$

Количество отведенной теплоты, $\kappa\text{Дж}/\text{кг}$

$$q_2 = C_v(T_5 - T_1), \quad (3.6)$$

Полезная теплота цикла, $\kappa\text{Дж}/\text{кг}$

$$q_0 = q_1 - q_2 = l_0, \quad (3.7)$$

Полезная работа цикла, $\kappa\text{Дж}/\text{кг}$

$$l_0 = l_{\text{расш}} - |l_{\text{сж}}| = R(T_4 - T_3) + \frac{R}{K-1}(T_4 - T_5) - \frac{R}{K-1}(T_1 - T_2). \quad (3.8)$$

Термический КПД цикла с учетом (3.1)...(3.6)

$$\eta_t = \frac{l_0}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{\rho^K \lambda - 1}{\varepsilon^{K-1}[(\lambda - 1) + K\lambda(\rho - 1)]}. \quad (3.9)$$

Рабочий объем цилиндра двигателя определится из формулы для мощности двигателя, $\kappa\text{Вт}$

$$N = \frac{l_0 \cdot n \cdot n_1 \cdot V_u}{2 \cdot v_1}, \quad (3.10)$$

Где: n - число оборотов двигателя, $\text{об}/\text{с}$;

n_1 - число цилиндров двигателя (Число цилиндров n_1 можно ориентировочно выбрать по величине мощности N : при $N < 100 \kappa\text{Вт}$ $n_1 = 4-6$, при $N > 100 \kappa\text{Вт}$ $n_1 = 6-8$);

V_u - рабочий объем цилиндра, м^3 .

Расход топлива на двигатель, $\text{кг}/\text{с}$

$$B_T = \frac{Q_1}{Q_H^P} = \frac{N}{\eta_t \cdot Q_H^P}, \quad (3.11)$$

где Q_H^P - низшая теплота сгорания топлива, $\kappa\text{Дж}/\text{кг}$

Среднее индикаторное давление в цикле, Па

$$P_i = \frac{l_0}{v_1 - v_2}. \quad (3.12)$$