

Практическое занятие №2

Расчет параметров газа и характеристик циклов тепловых двигателей.

термодинамических процессов.

Решение задач под руководством преподавателя:

Задача №1

Задача №2

Задача №3

Задачи для самостоятельного решения.

Задача 2.1. Рассчитать смешанный цикл двигателя внутреннего сгорания, т.е. найти параметры p , v и t для характерных точек цикла, изменение внутренней энергии, энтальпии, энтропии, а также работу в отдельных процессах и цикле. Определить также степень предварительного расширения, степень повышения давления и термический КПД цикла. Параметры выбрать из табл. 2.1.

Дополнительные данные для расчета: начальный объем - $V_1 = 0,001 \text{ м}^3$; количество теплоты, подводимой в изобарном процессе - $Q_p = 1,05 \text{ кДж}$; количество теплоты, подводимой в изохорном процессе - $Q_v = 0,65 \text{ кДж}$; средние теплоемкости - $c_p = 1,15 \text{ кДж/(кг·К)}$, $c_v = 0,85 \text{ кДж/(кг·К)}$; показатель адиабаты k равен 1,4; газовая постоянная $R = 330 \text{ Дж/(кг·К)}$. Степень сжатия ϵ . Изобразить цикл в p - v и T - s диаграммах.

Таблица 2.1

Варианты и исходные данные										
Параметры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p_1 , МПа	0,08	0,085	0,09	0,1	0,11	0,12	0,095	0,085	0,08	0,9
t_1 , °С	57	47	77	87	97	67	87	77	67	57
ϵ	16	14	15	17	18	14.5	15.5	16.5	17.5	16

Методические указания к решению задачи.

Предварительно следует изобразить схематично смешанный цикл ДВС в координатах PV , нанести характерные точки цикла, обозначить газовые процессы, подвод и отвод теплоты в указанных процессах.

1. Для адиабатного процесса 1-2 определить параметры состояния в точках 1 и 2:

$$\text{Точка 1. } P_1, T_1, V_1 - \text{ из условия задачи, } M_1 = \frac{P_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1};$$

$$\text{Точка 2. } P_2 = P_1 \cdot \epsilon^k; T_2 = T_1 \cdot \epsilon^{k-1}; V_2 = \frac{M_1 \cdot R \cdot T_2}{P_2}.$$

2. Для изохорного процесса 2-3 определить параметры состояния в точках 2 и 3, принимая $V_2 = V_3 = \text{const}$ и Q_v - подвод теплоты из условия задачи:

Точка 3. Из уравнения $Q_v = M \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2)$ определяем

$$T_3 = \frac{Q_v}{M \cdot c_v} + T_2; \quad \frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} = \lambda \Rightarrow P_3 = P_2 \cdot \lambda,$$

- степень повышения давления.

3. Для изобарного процесса 3-4 определить параметры состояния в точках 3 и 4, принимая $P_3 = P_4 = \text{const}$ и Q_p - подвод теплоты из условия задачи:

Точка 4. Из уравнения $Q_p = M \cdot c_p \cdot (T_4 - T_3)$ определяем

$$T_4 = \frac{Q_p}{M \cdot c_p} + T_3; \quad \frac{V_4}{V_3} = \frac{T_4}{T_3} = \rho \Rightarrow V_4 = V_3 \cdot \rho,$$

где ρ - степень предварительного расширения.

4. Для адиабатного процесса 4-5 определить параметры состояния в точках 4 и 5, принимая $V_5 = V_1$ и $dq = 0$ - процесс протекает без теплообмена с окружающей

средой: $T_5 = T_4 \cdot \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^k; P_5 = P_4 \cdot \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^k.$

5. Для изохорного процесса 5-1, принимая $V_5 = V_1 = \text{const}$, определить количество отводимой теплоты: $Q_{5-1} = M \cdot c_v \cdot (T_5 - T_1)$.

6. В соответствии с первым законом термодинамики, определить для каждого процесса изменение внутренней энергии (du), энтропии (ds), энтальпии (dh), работу (L) и термодинамический КПД цикла:

$$du_{x-(x+1)} = M \cdot c_v \cdot (T_{x+1} - T_x); \quad dh_{x-(x+1)} = c_p \cdot (T_{x+1} - T_x);$$

$$ds_{x-(x+1)}^{v=\text{const}} = M \cdot c_v \cdot \ln T_{x+1} / T_x = M \cdot c_v \cdot \ln P_{x+1} / P_x;$$

$$ds_{x-(x+1)}^{p=\text{const}} = M \cdot c_p \cdot \ln T_{x+1} / T_x = M \cdot c_p \cdot \ln P_{x+1} / P_x;$$

Работа сжатия:

в процессе 1-2 - $L_{1-2} = \frac{M \cdot R}{K-1} \cdot (T_1 - T_2);$

в процессе 2-3 - $L_{2-3} = 0$, т.к. $dv = 0;$

в процессе 3-4 - $L_{3-4} = M \cdot R \cdot (T_4 - T_3);$

в процессе 4-5 - $L_{4-5} = \frac{M \cdot R}{K-1} \cdot (T_4 - T_5);$

в процессе 5-1 - $L_{5-1} = 0.$

Термический КПД цикла:

$$\eta_t = \frac{Q_{\text{подв}} - Q_{\text{отв}}}{Q_{\text{подв}}} \quad \text{или} \quad \eta_t = 1 - \frac{\lambda \cdot \rho^k - 1}{\lambda - 1 + \lambda \cdot k \cdot (\rho - 1)} \cdot \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}.$$

Задача 2.2. Определить термический КПД цикла двигателя внутреннего сгорания с изобарным подводом теплоты, если начальное давление $P_1 = 0,98$ МПа,

количество подведенной теплоты составляет q_1 , температура рабочего тела (воздуха) в конце сжатия t_2 , степень сжатия ϵ . Сжатие и расширение происходит по адиабатам.

Как изменится термический КПД цикла, если при том же общем количестве подведенной теплоты, часть q_1 (в %) подвести по изохоре? Цикл изобразить в P-v и T-s диаграммах. Данные для решения задачи выбрать из табл. 2.2.

Таблица 2.2

Варианты и исходные данные										
Параметры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
q_1 , МДж/кг	1,12	1,2	1,24	1,4	1,6	1,44	1,64	1,36	1,16	1,68
t_2 , °C	450	500	910	1000	850	1050	900	920	1000	600
ϵ	12	13	14	15	16	14	12	16	15	11
q_1 , %	25	20	30	25	20	27	24	28	30	29

Методические указания к решению задачи.

Предварительно изобразить схематично цикл ДВС с подводом теплоты при $P = \text{const}$ в координатах P-V и T-S, на которой обозначить характерные точки и процессы подвода и отвода теплоты.

1. Термический КПД цикла с подводом теплоты при $P = \text{const}$ определяется по формуле: $\eta_1^P = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \cdot \frac{\rho^k - 1}{k \cdot (\rho - 1)}$,

где $\rho = V_3 / V_2 = T_3 / T_2$ - степень предварительного расширения, неизвестна.

2. Определить температуру в точке 3 из соотношения

$$q_1 = c_p \cdot (T_3 - T_2) \Rightarrow T_3 = T_2 + \frac{q_1}{c_p},$$

где $c_p = 1000$ Дж/(кг·К) - изобарная теплоемкость воздуха.

3. Степень предварительного расширения составит: $\rho = \frac{T_3}{T_2}$.

4. Принимая для воздуха $k = 1,4$, по известным значениям степени сжатия ϵ и ρ , находим η_1^P при подводе теплоты q_1 при $P = \text{const}$.

5. Если часть теплоты q_1^I подвести при $V = \text{const}$, то получим цикл со смешанным подводом теплоты. Необходимо изобразить этот цикл в координатах P-V и T-S. Термический КПД цикла со смешанным подводом теплоты определяется по формуле:

$$\eta_1^{PV} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \cdot \frac{\lambda \cdot \rho^k - 1}{(\lambda - 1) + \lambda \cdot k \cdot (\rho - 1)},$$

где $\lambda = P_3^I / P_2 = T_3^I / T_2$ - степень повышения давления;