

Расчет термодинамического цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания

Рассчитать термодинамический цикл поршневого ДВС (рисунок 1), если рабочим телом является 1 кг смеси идеальных газов следующего состава:

- кислород O_2 $m_{O_2} = 0,113$;
- азот N_2 $m_{N_2} = 0,73$;
- углекислый газ CO_2 $m_{CO_2} = 0,1$;
- водяные пары H_2O $m_{H_2O} = 0,057$.

Процессы сжатия и расширения в цикле политропные. Показатель политропы в процессе сжатия (1-2) равен $n_1 = 1,39$, а в процессе расширения (4-5) $n_2 = 1,36$. Температура и давление рабочего тела в начале процесса сжатия равны соответственно $t_1 = 60^\circ C$ и $p_1 = 0,105$ МПа .

Кроме того, заданы степень сжатия $\varepsilon = v_1/v_2 = 15$, степень повышения давления $\lambda = p_3/p_2 = 1,4$ и степень предварительного расширения $\rho = v_4/v_3 = 2$ в процессе подвода теплоты.

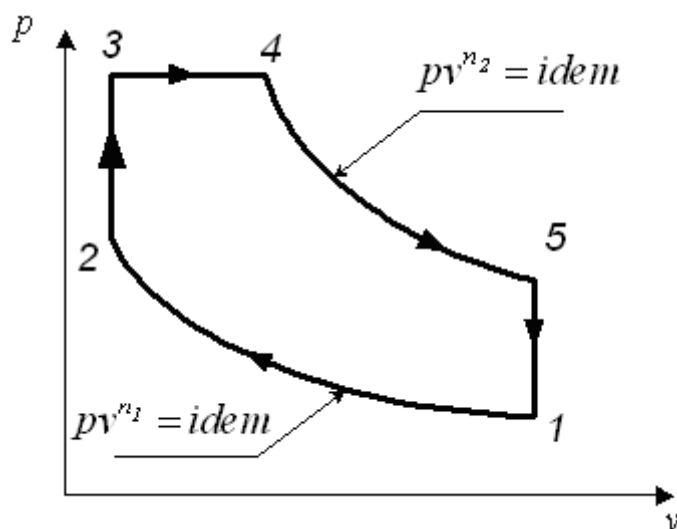


Рис. 5. Термодинамический цикл ДВС

со смешанным подводом теплоты

Определить:

1. Значения параметров и функций состояния в характерных точках цикла p, v, t, u, h, s .
2. Изменения функций состояния $\Delta u, \Delta h, \Delta s$, термодинамическую l и потенциальную W работы и теплообмен Q во всех процессах цикла.
3. Работу цикла $l_{ц}$, его термический КПД η_t и КПД цикла Карно η_t^K , осуществляемого в том же интервале температур.

4. Как измениться термический КПД цикла и его термодинамическое совершенство, если политропный процесс расширения (4-5) заменить на изотермический?

Изобразить цикл в координатах $P - v$ и $T - s$.

1. Определение характеристик рабочего тела.

Из справочной литературы определяются молярные массы компонентов газовой смеси μ_i (кг / кмоль) (Приложение. Табл. 1) [3]

$$\mu_{O_2} \cong 32; \quad \mu_{N_2} \cong 28; \quad \mu_{CO_2} \cong 44; \quad \mu_{H_2O} \cong 18$$

Средняя молярная масса смеси

$$\mu_m = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\mu_i}} = \frac{1}{\frac{0,113}{32} + \frac{0,73}{28} + \frac{0,1}{44} + \frac{0,057}{18}} = 28,54 \text{ кг/кмоль}$$

Газовая постоянная смеси

$$R = \frac{\bar{R}}{\mu_m} = \frac{8314}{28,54} = 291,3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$$

Интерполируя справочные данные (Приложение. Табл. 1) [3], находятся значения изобарной теплоемкости идеальных газов – компонентов смеси c_{pm_i} (кДж/(кг · К)) при температуре рабочего тела в начале процесса сжатия $t_1 = 60^\circ \text{C}$

$$c_{pm(O_2)} = 0,926; \quad c_{pm(N_2)} = 1,042; \quad c_{pm(CO_2)} = 0,883; \quad c_{pm(H_2O)} = 1,867,$$

а затем определяются *средняя удельная изобарную теплоемкость*

$$c_{pm} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot c_{pm_i} = 0,113 \cdot 0,926 + 0,73 \cdot 1,042 + 0,1 \cdot 0,883 + 0,057 \cdot 1,867 = 1,06 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)},$$

средняя удельная изохорная теплоемкость

$$c_{vm} = c_{pm} - R = 1,06 - 0,291 = 0,769 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$$

и *показатель адиабаты смеси идеальных газов*

$$k = \frac{c_{pm}}{c_{vm}} = \frac{1,063}{0,769} = 1,378$$

2. Расчет термодинамических параметров состояния рабочего тела в характерных точках цикла (рис. 5).

Точка 1

$$T_1 = t_1 + 273 = 60 + 273 = 333 \text{ K} ;$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{291,3 \cdot 333}{0,105 \cdot 10^6} = 0,924 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Точка 2

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,924}{15} = 0,062 \text{ м}^3/\text{кг} ;$$

$$p_2 = p_1 (v_1/v_2)^{n_1} = 0,105 \cdot 15^{1,39} = 4,53 \text{ МПа} ;$$

$$T_2 = \frac{p_2 v_2}{R} = \frac{4,53 \cdot 10^6 \cdot 0,062}{291,3} = 964,2 \text{ K} ;$$

$$t_2 = T_2 - 273 = 964,2 - 273 = 691,2^\circ \text{C} .$$

Точка 3

$$v_3 = v_2 = 0,062 \text{ м}^3/\text{кг} ;$$

$$p_3 = \lambda \cdot p_2 = 1,4 \cdot 4,53 = 6,34 \text{ МПа} ;$$

$$T_3 = \frac{p_3 v_3}{R} = \frac{6,34 \cdot 10^6 \cdot 0,062}{291,3} = 1349,4 \text{ K} ;$$

$$t_3 = T_3 - 273 = 1349,4 - 273 = 1076,4^\circ \text{C} .$$

Точка 4

$$p_4 = p_3 = 6,34 \text{ МПа} ;$$

$$v_4 = \rho \cdot v_3 = 2 \cdot 0,062 = 0,124 \text{ м}^3/\text{кг} ;$$

$$T_4 = \frac{p_4 v_4}{R} = \frac{6,34 \cdot 10^6 \cdot 0,124}{291,3} = 2698,8 \text{ K} ;$$

$$t_4 = T_4 - 273 = 2698,8 - 273 = 2425,8^\circ \text{C} .$$

Точка 5

$$v_5 = v_1 = 0,924 \text{ м}^3/\text{кг} ;$$

$$p_5 = p_4 (v_4/v_5)^{n_2} = 6,34 \cdot \left[\frac{0,124}{0,924} \right]^{1,36} = 0,413 \text{ МПа} ;$$

$$T_5 = \frac{p_5 v_5}{R} = \frac{0,413 \cdot 10^6 \cdot 0,924}{291,3} = 1310 \text{ K};$$

$$t_5 = T_5 - 273 = 1310 - 273 = 1037^\circ \text{C}.$$

Результаты расчета заносятся в таблицу 1.

Таблица 1

Значения параметров и функций состояния в характерных точках цикла

Номер точки	p , МПа	v , м ³ /кг	t , °С	T , К	u , кДж/кг	h , кДж/кг	s , кДж/(кг · К)
1	0,105	0,924	60	333,0	256,1	353,0	0,199
2	4,53	0,062	691,2	964,2	741,5	1022,1	0,230
3	6,34	0,062	1076,4	1349,4	1037,7	1430,4	0,489
4	6,34	0,124	2425,8	2698,8	2075,4	2860,7	1,223
5	0,413	0,924	1037,0	1310,0	1007,4	1388,6	1,252

3. Определение функции состояния рабочего тела в характерных точках цикла (J).

а) Внутренняя энергия ($u_j = c_{vm} T_j$):

$$\begin{aligned} u_1 &= \begin{matrix} \square \\ \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{matrix} 333 = 256,1 \text{ кДж/кг;} \\ u_2 &= \begin{matrix} \square \\ \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{matrix} 964,2 = 741,5 \text{ кДж/кг;} \\ u_3 &= 0,769 \times \begin{matrix} \square \\ \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{matrix} 1349,4 = 1037,7 \text{ кДж/кг;} \\ u_4 &= \begin{matrix} \square \\ \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{matrix} 2698,8 = 2075,4 \text{ кДж/кг;} \\ u_5 &= \begin{matrix} \square \\ \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{matrix} 1310 = 1007,4 \text{ кДж/кг.} \end{aligned}$$

б) Энтальпия ($h_j = c_{pm} \cdot T_j$):

$$\begin{aligned} h_1 &= \begin{matrix} \square \\ \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{matrix} 333 = 353,0 \text{ кДж/кг;} \\ h_2 &= \begin{matrix} \square \\ \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{matrix} 964,2 = 1022,1 \text{ кДж/кг;} \\ h_3 &= 1,06 \times \begin{matrix} \square \\ \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{matrix} 1349,4 = 1430,4 \text{ кДж/кг;} \\ h_4 &= \begin{matrix} \square \\ \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{matrix} 2698,8 = 2860,7 \text{ кДж/кг;} \\ h_5 &= \begin{matrix} \square \\ \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{matrix} 1310 = 1388,6 \text{ кДж/кг.} \end{aligned}$$

в) Энтропия ($s_j = c_{mp} \cdot \ln(T_j/T_0) + R \cdot \ln(p_0/p_j)$).

Принимаем, что теплоемкость рабочего тела не зависит от температуры, тогда $c_{pm} = c_{mp}$, $c_{vm} = c_{mv}$, и:

$$s_1 = 1,06 \cdot \ln \frac{333}{273,15} + 0,291 \cdot \ln \frac{0,101}{0,105} = 0,199 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) ;$$

$$s_2 = 1,06 \cdot \ln \frac{964,2}{273,15} + 0,291 \cdot \ln \frac{0,101}{4,53} = 0,230 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) ;$$

$$s_3 = 1,06 \cdot \ln \frac{1349,4}{273,15} + 0,291 \cdot \ln \frac{0,101}{6,34} = 0,489 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) ;$$

$$s_4 = 1,06 \cdot \ln \frac{2698,8}{273,15} + 0,291 \cdot \ln \frac{0,101}{6,34} = 1,223 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) ;$$

$$s_5 = 1,06 \cdot \ln \frac{1310}{273,15} + 0,291 \cdot \ln \frac{0,101}{0,413} = 1,252 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

Найденные значения функций состояния рабочего тела заносятся в таблицу 1.

4. Изменение функций состояния в каждом процессе цикла Δu , Δh , Δs определяются как разность значений этих функций в конечной (j) и начальной (i) точках процесса $\Delta z_{i-j} = z_j - z_i$.

Результаты этих вычислений заносятся в таблицу 2.

Таблица 2

Изменение функций процесса и состояния в процессах цикла

Процесс	Δu ,	Δh ,	l ,	w ,	q ,	$\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
	$\text{кДж}/\text{кг}$	$\text{кДж}/\text{кг}$	$\text{кДж}/\text{кг}$	$\text{кДж}/\text{кг}$	$\text{кДж}/\text{кг}$	
1-2	485,4	669,1	- 471,7	- 655,7	15,0	0,031
2-3	296,2	408,3	0	- 112,2	296,2	0,259
3-4	1037,7	1430,3	393,1	0	1430,3	0,734
4-5	- 1068,0	- 1472,1	1124,7	1529,6	53,6	0,029
5-1	- 751,3	- 1035,6	0	284,6	- 751,3	- 1,053
Σ	0	0	1046,1	1046,3	1043,8	0

5. Находим термодинамическую l , потенциальную w работы и теплообмен q во всех процессах цикла.

Процесс 1-2 – политропное сжатие.

Характеристика сжатия

$$\tau_{1-2} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{964,2}{333} = 2,896 ;$$

$$l_{1-2} = \frac{p_1 v_1}{n_1 - 1} \cdot (1 - \tau_{1-2}) = \frac{0,105 \cdot 10^6 \cdot 0,924}{1,39 - 1} \cdot (1 - 2,896) = -471,7 \text{ кДж/кг} ;$$

$$w_{1-2} = n_1 \cdot l_{1-2} = 1,39 \cdot (-471,7) = -655,7 \text{ кДж/кг} ;$$

$$q_{1-2} = \frac{k - n_1}{k - 1} \cdot l_{1-2} = \frac{1,378 - 1,39}{1,378 - 1} \cdot (-471,7) = 15,0 \text{ кДж/кг}$$

Процесс 2-3 – изохорный подвод теплоты.

$$l_{2-3} = 0 ;$$

$$w_{2-3} = -v_2 \cdot (p_3 - p_2) = -0,062 \cdot (6,34 \cdot 10^6 - 4,53 \cdot 10^6) = -112,2 \text{ кДж/кг} ;$$

$$q_{2-3} = \Delta u_{2-3} = 296,2 \text{ кДж/кг} .$$

Процесс 3-4 – изобарный подвод теплоты.

$$l_{3-4} = p_3 \cdot (v_4 - v_3) = 6,34 \cdot 10^6 \cdot (0,124 - 0,062) = 393,1 \text{ кДж/кг} ;$$

$$w_{3-4} = 0 ;$$

$$q_{3-4} = \Delta h_{3-4} = 1430,3 \text{ кДж/кг} .$$

Процесс 4-5 – политропное расширение.

Характеристика расширения

$$\tau_{4-5} = \frac{T_5}{T_4} = \frac{1310}{2698,8} = 0,485 ;$$

$$l_{4-5} = \frac{p_4 v_4}{n_2 - 1} \cdot (1 - \tau_{4-5}) = \frac{6,34 \cdot 10^6 \cdot 0,124}{1,36 - 1} \cdot (1 - 0,485) = 1124,7 \text{ кДж/кг}$$

$$w_{4-5} = n_2 \cdot l_{4-5} = 1,36 \cdot 1124,7 = 1529,6 \text{ кДж/кг} ;$$

$$q_{4-5} = \frac{k - n_2}{k - 1} \cdot l_{4-5} = \frac{1,378 - 1,36}{1,378 - 1} \cdot 1124,7 = 53,6 \text{ кДж/кг}$$

Процесс 5-1 – изохорный отвод теплоты.

$$l_{5-1} = 0 ;$$

$$w_{5-1} = -v_5 \cdot (p_1 - p_5) = -0,0924 \cdot (0,105 \cdot 10^6 - 0,413 \cdot 10^6) = 284,6 \text{ кДж/кг};$$

$$q_{5-1} = \Delta u_{5-1} = -751,3 \text{ кДж/кг}.$$

Результаты вычислений заносятся в таблицу 2.

Проверка полученных результатов проводится по первому началу термодинамики для каждого процесса и цикла в целом

$$q_{i-j} = \Delta u_{i-j} + l_{i-j} = \Delta h_{i-j} + w_{i-j},$$

$$\oint \delta q = \oint \delta l = \oint \delta w.$$

Проверка полученных результатов показывает, что относительная погрешность расчетов, наличие которой связано с проводимыми округлениями, составляет $< 1\%$, что допустимо для приближенных термодинамических расчетов.

6. Определяем работу цикла $l_{ц}$, термический КПД цикла η_t и КПД цикла Карно η_t^K :

$$\begin{aligned} l_{ц} &= l_{1-2} + l_{2-3} + l_{3-4} + l_{4-5} + l_{5-1} = \\ &= -471,7 + 0 + 393,1 + 1124,7 + 0 = 1046,1 \text{ кДж/кг}; \end{aligned}$$

$$\eta_t = \frac{l_{ц}}{q_1} = \frac{1046,1}{1795,1} = 0,58 \text{ или } 58\%,$$

где q_1 – удельное количество подведенной теплоты,

$$q_1 = q_{1-2} + q_{2-3} + q_{3-4} + q_{4-5} = 15,0 + 296,2 + 1430,3 + 53,6 = 1795,1 \text{ кДж/кг};$$

$$\eta_t^K = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{333}{2698,8} = 0,88 \text{ или } 88\%.$$

7. Изобразим цикл поршневого ДВС в координатах $P - v$ и $T - s$ (рис. 6). Для этого определим координаты промежуточных точек в процессах цикла.

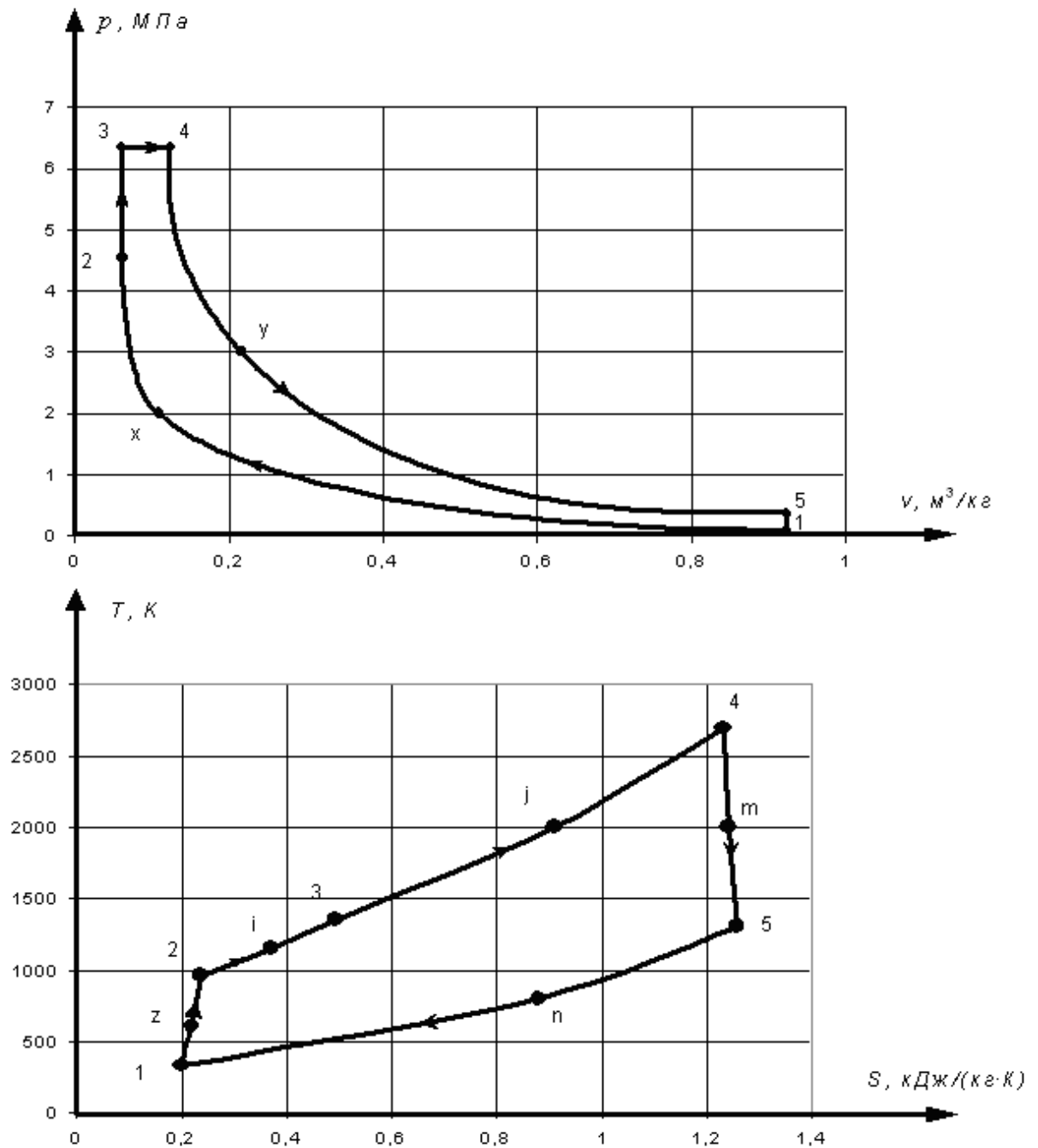


Рис. 6. Термодинамический цикл поршневого ДВС

со смешанным подводом теплоты

а) Расчет промежуточных точек для построения цикла в координатах $p - v$.

Промежуточная точка X в процессе политропического сжатия 1-2

Выбираем $p_x = 2 \text{ МПа}$ ($p_1 < p_x < p_2$), тогда из уравнения политропы

$$v_x = v_1 \cdot \left(\frac{p_1}{p_x} \right)^{1/n_1} = 0,924 \cdot \left(\frac{0,105}{2} \right)^{1/1,39} = 0,11 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Промежуточная точка $У$ в процессе политропического расширения 4-5

Принимаем $p_y = 3 \text{ МПа}$ ($p_4 < p_y < p_5$), тогда из уравнения политропы

$$v_y = v_4 \cdot \left(\frac{p_4}{p_x} \right)^{1/n_2} = 0,124 \cdot \left(\frac{6,34}{3} \right)^{1/1,36} = 0,215 \text{ м}^3/\text{кг}$$

б) Расчет промежуточных точек для построения цикла в координатах $T - s$.

Промежуточная точка Z в процессе 1-2

Принимаем $T_z = 600 \text{ К}$ ($T_1 < T_z < T_2$), тогда:

$$\tau_{1-z} = \frac{T_z}{T_1} = \left(\frac{p_z}{p_1} \right)^{(n_1-1)/n_1}$$

$$p_z = p_1 \cdot \left(\frac{T_z}{T_1} \right)^{n_1/(n_1-1)} = 0,105 \cdot \left(\frac{600}{333} \right)^{1,39/(1,39-1)} = 0,858 \text{ МПа}$$

$$s_z = c_{mp} \cdot \ln \frac{T_z}{T_0} + R \cdot \ln \frac{p_0}{p_z} = 1,06 \cdot \ln \frac{600}{273,15} + 0,291 \cdot \ln \frac{0,101}{0,858} = 0,211 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

Промежуточная точка i в процессе изохорного подвода теплоты 2-3

Принимаем $T_i = 1150 \text{ К}$ ($T_2 < T_i < T_3$). Так как $v_i = v_2 = 0,062 \text{ м}^3/\text{кг}$,

$$p_i = \frac{RT_i}{v_i} = \frac{291,3 \cdot 1150}{0,062} = 5,4 \text{ МПа}$$

$$s_i = c_{mp} \cdot \ln \frac{T_i}{T_0} + R \cdot \ln \frac{p_0}{p_i} = 1,06 \cdot \ln \frac{1150}{273,15} + 0,291 \cdot \ln \frac{0,101}{5,4} = 0,366 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

Промежуточная точка J в процессе изобарного подвода теплоты 3-4

Принимаем $T_j = 2000 \text{ К}$ ($T_3 < T_0 < T_4$), при этом:

$$p_j = p_3 = 6,34 \text{ МПа}$$

$$s_j = c_{mp} \cdot \ln \frac{T_j}{T_0} + R \cdot \ln \frac{p_0}{p_j} = 1,06 \cdot \ln \frac{2000}{273,15} + 0,291 \cdot \ln \frac{0,101}{6,34} = 0,905 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

Промежуточная точка m в процессе 4-5

Принимаем $T_m = 2000 \text{ К}$ ($T_4 < T_m < T_5$). При этом:

$$p_m = p_4 \left(\frac{T_m}{T_4} \right)^{\frac{n_2}{n_2-1}} = 6,34 \cdot \left(\frac{2000}{2698,8} \right)^{1,36/(1,36-1)} = 2,04 \text{ МПа}$$

$$s_m = c_{mp} \cdot \ln \frac{T_m}{T_0} + R \cdot \ln \frac{p_0}{p_m} = 1,06 \cdot \ln \frac{2000}{273,15} + 0,291 \cdot \ln \frac{0,101}{2,04} = 1,235 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

Промежуточная точка n в процессе изохорного отвода теплоты 5-1

Принимая $T_n = 800 \text{ К}$ ($T_5 < T_n < T_1$), и учитывая, что $v_n = v_5 = 0,924 \text{ м}^3/\text{кг}$, получим:

$$p_n = \frac{RT_n}{v_n} = \frac{291,3 \cdot 800}{0,924} = 0,252 \text{ МПа}$$

$$s_n = c_{mp} \cdot \ln \frac{T_n}{T_0} + R \cdot \ln \frac{p_0}{p_n} = 1,06 \cdot \ln \frac{800}{273,15} + 0,291 \cdot \ln \frac{0,101}{0,252} = 0,873 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$$

8. Проведем расчет термодинамического цикла поршневого ДВС с изотермическим расширением рабочего тела в процессе 4-5.

При данном изменении в цикле определяем термодинамические параметры состояния в точке 5':

$$T_{5'} = T_4 = 2698,8 \text{ К};$$

$$v_{5'} = v_1 = 0,924 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$p_{5'} = \frac{RT_{5'}}{v_{5'}} = \frac{291,3 \cdot 2698,8}{0,924} = 0,85 \text{ МПа}$$

Рассчитываем термодинамическую работу l и теплообмен q .

Процесс 4-5'

$$l_{4-5'} = q_{4-5'} = RT_4 \cdot \ln \frac{p_4}{p_{5'}} = 0,291 \cdot 2698,8 \cdot \ln \frac{6,34}{0,85} = 1578,1 \text{ кДж/кг}$$

Процесс 5'-1

$$l_{5'-1} = 0;$$

$$q_{5'-1} = \Delta u_{5'-1} = c_{vm} \cdot (t_1 - t_{5'}) = 0,769 \cdot (60 - 2425,8) = 1819,3 \text{ кДж/кг}$$

Находим работу цикла

$$l'_y = \sum_{i=1}^n l_i = -471,7 + 393,1 + 1578,1 = 1499,5 \text{ кДж/кг}$$

где n – число процессов в цикле,

удельное количество теплоты, подведенной к рабочему телу

$$q_1' = 15,0 + 296,2 + 1430,3 + 1578,1 = 3319,6 \text{ кДж/кг},$$

термический КПД цикла

$$\eta_t' = \frac{l_{ц}}{q_1'} = \frac{1499,5}{3319,6} = 0,45 \text{ или } 45 \%$$

КПД цикла Карно остался неизменным, так как не изменились минимальная T_{min} и максимальная T_{max} температуры рабочего тела в цикле.

9. Замена политропического процесса расширения с показателем политропы $n_2 > 1$ на изотермический, приводит к снижению термического коэффициента полезного действия. Кроме того, снижается и термодинамическое совершенство цикла, так как в первом случае работа цикла $l_{ц}$ составляет 66% от теоретически возможной работы цикла $l_{ц.т.} = q_1 \cdot \eta_t^K$, а во втором случае этот показатель, называемый коэффициентом заполнения, снижается до 51%.

Самостоятельная работа №1

Рассчитать термодинамический цикл поршневого ДВС (рисунок 1), если рабочим телом является 1 кг смеси идеальных газов следующего состава:

- кислород $O_2 - m_{O_2} = 0,113$;
- азот $N_2 - m_{N_2} = 0,73$;
- углекислый газ $CO_2 - m_{CO_2} = 0,1$;
- водяные пары $H_2O - m_{H_2O} = 0,057$.

Процессы сжатия и расширения в цикле политропные. Показатель политропы в процессе сжатия (1-2) равен n_1 , а в процессе расширения (4-5) – n_2 . Температура и давление рабочего тела в начале процесса сжатия равны соответственно t_1 и p_1 .

Кроме того, заданы степень сжатия $\varepsilon = v_1/v_2$, степень повышения давления $\lambda = p_3/p_2$ и степень предварительного расширения $\rho = v_4/v_3$ в процессе подвода теплоты.

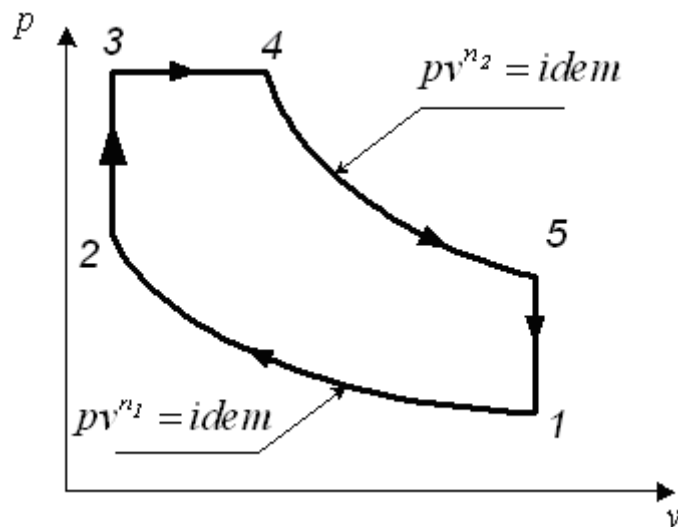


Рисунок – Термодинамический цикл ДВС со смешанным подводом теплоты

Определить:

1. Значения параметров и функций состояния в характерных точках цикла p, v, t, u, h, s .
2. Изменения функций состояния $\Delta u, \Delta h, \Delta s$, термодинамическую l и потенциальную W работы и теплообмен Q во всех процессах цикла.
3. Работу цикла $l_{ц}$, его термический КПД η_t и КПД цикла Карно η_t^K , осуществляемого в том же интервале температур.
4. Как измениться термический КПД цикла и его термодинамическое совершенство, если политропный процесс расширения (4-5) заменить на изотермический?

Изобразить цикл в координатах $P - v$ и $T - s$.

Варианты заданий:

№	Показатель политропы в процессе сжатия (1-2), n_1	Показатель политропы в процессе расширения (4-5), n_2	Температура рабочего тела в начале процесса сжатия, t_1 , С	Давление рабочего тела в начале процесса сжатия, P_1 , МПа	Степень сжатия, ε	Степень повышения давления, λ	Степень предварительного расширения, ρ
1	1,39	1,35	70	0,105	16	1,5	1,9
2	1,40	1,36	60	0,115	15	1,4	2,0
3	1,39	1,35	80	0,105	16	1,5	1,9
4	1,40	1,36	90	0,115	15	1,4	2,0
5	1,39	1,36	50	0,115	14	1,6	2,1
6	1,38	1,34	70	0,100	16	1,5	1,9
7	1,39	1,35	70	0,105	14	1,5	1,9
8	1,40	1,36	60	0,115	16	1,4	2,0
9	1,39	1,35	80	0,105	17	1,5	1,9
10	1,40	1,36	90	0,115	17	1,4	2,2
11	1,39	1,36	50	0,115	15	1,6	2,1
12	1,38	1,34	70	0,100	15	1,5	1,9
13	1,39	1,35	50	0,105	16	1,5	1,9
14	1,40	1,36	70	0,115	15	1,4	2,0
15	1,39	1,35	60	0,105	16	1,5	1,9
16	1,40	1,36	70	0,115	15	1,4	2,0
17	1,39	1,36	90	0,115	14	1,6	2,1
18	1,38	1,34	70	0,100	16	1,7	1,9
19	1,39	1,35	60	0,115	14	1,5	1,9
20	1,40	1,36	50	0,115	16	1,6	2,1
21	1,39	1,35	70	0,105	17	1,4	1,8
22	1,40	1,36	80	0,115	18	1,4	2,0
23	1,39	1,36	60	0,115	16	1,7	2,1
24	1,38	1,34	80	0,100	15	1,5	1,8