

ГАЖК "Ўзбекистон темир йуллари"
Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта

"Техническая термодинамика"
Методические указания
к практическим занятиям по разделам
"Решение прямого термодинамического газового цикла"
для студентов неэнергетических специальностей
высших учебных заведений

Ташкент 2005

УДК.536 (076)

В данной работе приведена методика решения прямого термодинамического газового цикла и его процессов, основанная на определении параметров переходных точек цикла, а также методика расчёта газовых процессов заданного цикла с последующим построением этого цикла в P-V и T-S координатах.

Предназначены для студентов неэнергетических специальностей высших технических учебных заведений.

Табл. 6, библи. 2 наим.

Составители: к.т.н., доцент Таджиев Ю.Д.;
к.т.н., доцент Абляимов О.С.

Методические указания одобрены на заседании кафедры "Локомотивы" и утверждены на заседании редакционно-издательского совета института.

Рецензенты: к.т.н., доцент ТАДИ Абдусаттаров Т.;
к.т.н., доцент ТашИИТа Гасанов О.Ш.

Редактор: Каюмова Х.Т.

Подписано к печати

Объем 1,25 п.л.

Формат бумаги 60x84 1/16

Тираж 50 экз.

Заказ №

Типография ТашИИТа.

г.Ташкент, ул.Адылхужаева, 1.

©Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, 2005г.

ВВЕДЕНИЕ

Техническая термодинамика изучает вопросы взаимного превращения теплоты и работы, а её основная задача заключается в обосновании теории тепловых двигателей.

При термодинамическом исследовании циклов принимается, что рабочим в них является идеальный газ и что совершаемые в двигателях процессы являются обратимыми.

Циклы, по которым работают двигатели внутреннего сгорания, различают по подводу тепла при постоянном объеме ($V=\text{const}$), с подводом тепла при постоянном давлении ($P=\text{const}$) и со смешанным подводом тепла, т.е. с подводом тепла как при $V=\text{const}$, так и при $P=\text{const}$.

При исследовании идеальных и, следовательно, обратимых явлений, процессы впуска и выпуска, как не являющиеся термодинамическими, в цикл не входят.

В действительных машинах происходят необратимые явления: рабочий процесс машины сопровождается неизбежными потерями (трение, теплопроводность при конечных разностях температур, измерение), и при исследовании принимается, что движения поршней в них происходят с конечными скоростями.

Данная работа посвящена решению прямого термодинамического газового цикла.

Решение прямого термодинамического газового цикла

1. Исходные данные

Рабочее тело - воздух (сухой).

Таблица 1.1

№ варианта	Точка 1		$C_v,$ <small>$\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$</small>	$C_p,$ <small>$\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$</small>	$R,$ <small>$\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$</small>	$\varepsilon = \frac{g_1}{g_2}$	$\lambda = \frac{p_1}{p_2}$	$\rho = \frac{g_4}{g_3}$	n_{1-2}	n_{4-5}	$Z,$ $\frac{1}{C}$
	$P_1,$ Бар	$t_1,$ $^{\circ}\text{C}$									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	1,0	27	0,723	1,012	0,287	20	1,5	1,7	1,2	1,4	10,0

1-2 - политропное сжатие (n_{1-2});

2-3 - изохорный подвод теплоты;

3-4 - изобарный подвод теплоты;

4-5 - адиабатное расширение;

5-1 - изохорный отвод теплоты.

Необходимо определить:

1. Параметры переходных точек цикла. Изменение внутренней энергии (Δi), энтальпии (Δi), энтропии (ΔS), теплоту и работу каждого процесса.

2. Полезную работу, полезную теплоту, тепловой к.п.д. и мощность установки, работающей по данному циклу.

3. Построение заданного цикла в координатах P-V и T-S с определением параметров промежуточных точек.

2. Определение параметров переходных точек цикла

2.1 Точка 1:
$$P_1 = 1 \cdot 10^5 \frac{H}{M^2};$$

$$T_1 = 300 \text{ }^0 K;$$

$$g_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 300}{10^5} = 0,861 \text{ } M^3 / \text{кг}.$$

2.2 Точка 2:
$$P_2 = P_1 \cdot \varepsilon^n = 1 \cdot 20^{1,2} = 36,41 \cdot 10^5 \frac{H}{M^2};$$

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{n-1} = 300 \cdot 20^{0,2} = 546,169 \text{ }^0 K;$$

$$g_2 = \frac{g_1}{\varepsilon} = \frac{0,861}{20} = 0,04305 \text{ } M^3 / \text{кг}.$$

Проверка:

$$R = \frac{P_2 g_2}{T_2} = \frac{36,411 \cdot 10^5 \cdot 0,04305}{546,169} = 286,998 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}};$$

2.3. Точка 3:

$$P_3 = P_2 \cdot \lambda = 36,411 \cdot 1,5 = 54,617 \cdot 10^5 \frac{H}{M^2};$$

$$g_3 = g_2 = 0,04305 \text{ } M^3 / \text{кг}$$

$$T_3 = T_2 \cdot \lambda = 546,169 \cdot 1,5 = 819,254 \text{ }^0 K;$$

Проверка:
$$R = \frac{P_3 g_3}{T_3} = \frac{54,617 \cdot 10^5 \cdot 0,04305}{819,254} = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}};$$

2.4. Точка 4:

$$P_4 = P_3 = 54,617 \cdot 10^5 \frac{H}{M^2};$$

$$T_4 = T_3 \cdot P = 819,254 \cdot 1,7 = 1392,732 \text{ }^0 K;$$

$$g_4 = g_3 \cdot P = 0,04305 \cdot 1,7 = 0,0732 \text{ } M^3 / \text{кг}.$$

Проверка:

$$R = \frac{P_4 \cdot g_4}{T_4} = \frac{54,617 \cdot 10^5 \cdot 0,0732}{1392,732} = 287,059 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}};$$

2.5. Точка 5:

$$P_5 = P_4 \cdot \left(\frac{g_4}{g_5} \right)^\kappa = 54,617 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{0,0732}{0,861} \right)^{1,4} = 1,732 \cdot 10^5 \cdot \frac{H}{M^2};$$

$$T_5 = T_4 \left(\frac{\rho_4}{\rho_5} \right)^{\kappa-1} = 1392,732 \left(\frac{0,0732}{0,861} \right)^{0,4} = 519,6^0 K;$$

$$\rho_5 = \rho_1 = 0,861 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Проверка: $R = \frac{P_5 \rho_5}{T_5} = \frac{1,732 \cdot 10^5 \cdot 0,861}{519,6} = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}};$

2.6. Сводная таблица параметров переходных точек

Таблица 2.1

Точка	P, Бар	ρ , м ³ /кг	T, °K	R, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$	Относитель- ная ошибка
Точка 1	1	0,861	300	287	-
Точка 2	36,411	0,04305	546,169	286,998	-
Точка 3	54,617	0,04305	819,254	287	-
Точка 4	54,617	0,0732	1392,732	287,059	-
Точка 5	1,732	0,861	519,6	287	-

3 Решение процессов

3.1. Процесс 1 - 2

3.1.1. Теплоемкости рабочего тела

$$C_v = 0,723 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}};$$

$$C_p = 1,012 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}};$$

$$C_n = C_v + \frac{R}{1 - \eta_{1-2}} = 0,723 + \frac{0,287}{1 - 1,2} = 0,723 - 1,435 = -0,712 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}};$$

3.1.2. Изменение внутренней энергии

$$\Delta u = C_v (T_2 - T_1) = 0,723 (546,169 - 300) = 0,723 \cdot 246,169 = +177,98 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

3.1.3. Изменение энтальпии

$$\Delta i = C_p (T_2 - T_1) = 1,012 \cdot (546,169 - 300) = +249,123 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

3.1.4.Изменение энтропии

$$\Delta S = C_n \ell_n \frac{T_2}{T_1} = (-0,412) \cdot \ell_n \frac{546,169}{300} = -0,427 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}};$$

3.1.5.Абсолютная работа

$$\alpha_{1-2} = \frac{R}{1 - n_{1,2}} (T_2 - T_1) = \frac{0,287}{1 - 1,2} (246,169) = -353,253 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

3.1.6.Техническая работа

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{1,2} \cdot n_{1-2} = (-353,253) \cdot 1,2 = -423,9 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

3.1.7.Теплота процесса

$$q_{1-2} = C_n (T_2 - T_1) = (-0,712) \cdot 246,169 = -175,272 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

3.1.8.Проверка:

$$q_{1-2} = \Delta u + \alpha_{1-2} \text{ или}$$

$$-175,272 = +177,98 - 353,253 - 175,272 = -175,273 ;$$

$$q_{1-2} = \Delta i - \alpha_{1-2}^* \text{ или}$$

$$-175,272 = +249,123 - 423,9 = -174,777 - 175,272 \approx -174,777 ;$$

$$\Delta = 0,495 \quad \Delta \% = 0,282 \%$$

3.2. Процесс 2-3

3.2.1. Теплоёмкости рабочего тела

$$C_v = 0,723 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}};$$

$$C_p = 1,012 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}.$$

3.2.2. Изменение внутренней энергии

$$\Delta u = C_v (T_3 - T_2) = 0,723 (819,254 - 546,169) = 0,723 \cdot 273,085 = +197,44 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

3.2.3. Изменение энтальпии

$$\Delta i = C_p (T_3 - T_2) = 1,012 \cdot 273,085 = +276,362 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

3.2.4. Изменение энтропии

$$\Delta S = C_v \ell_n \frac{T_3}{T_2} = 0,723 \cdot \ell_n \frac{819,254}{546,169} = +0,293 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$$

3.2.5. Абсолютная работа

$$\alpha_{2-3} = 0.$$

3.2.6. Техническая работа

$$\begin{aligned} \alpha_{2-3}^* &= v_2 (P_3 - P_2) = 0,04305 (54,617 - 36,411) \cdot 10^2 = \\ &= 0,04305 \cdot 18,206 \cdot 10^2 = +78,377 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \end{aligned}$$

3.2.7. Теплота процесса

$$q_{2-3} = \Delta u = C_v (T_3 - T_2) = +197,44 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

3.2.8. Проверка:

$$\begin{aligned} q_{2-3} &= \Delta i - \alpha_{2-3}^* \\ +197,44 &= +276,362 - 78,377 \\ +197,44 &\approx +197,985. \end{aligned}$$

3.1. Процесс 3-4

3.3.1. Теплоемкости рабочего тела

$$C_v = 0,723 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}};$$

$$C_p = 1,012 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}.$$

3.3.2. Изменение внутренней энергии

$$\begin{aligned} \Delta u &= C_v (T_4 - T_3) = 0,723 (1392,732 - 819,254) = \\ &= 0,723 \cdot 573,478 = +414,625 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \end{aligned}$$

3.3.3. Изменение энтальпии

$$\Delta i = C_p (T_4 - T_3) = 1,012 \cdot 573,478 = +580,359 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

3.3.4. Изменение энтропии

$$\Delta S = C_p \ell_n \frac{T_4}{T_3} = 1,012 \cdot \ell_n 1,7 = +0,537 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}.$$

3.3.5. Абсолютная работа

$$\begin{aligned} \alpha_{3-4} &= P_3 (v_4 - v_3) = 54,617 \cdot 10^2 \cdot (0,0732 - 0,04305) = \\ &= 5461,7 \cdot 0,03 = +164,67 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \end{aligned}$$

3.3.6. Техническая работа

$$\alpha_{3-4}^* = 0.$$

3.3.7. Теплота процесса

$$q_{3-4} = \Delta i = C_p (T_4 - T_3) = +580,359 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

3.3.8. Проверка:

$$\begin{aligned}q_{3-4} &= \Delta u + \alpha_{3-4} \text{ т.е.} \\+ 580,359 &= +414,625 + 164,67 \\+ 580,359 &\approx +579,295\end{aligned}$$

3.4. Процесса 4-5

3.4.1. Теплоемкости рабочего тела

$$\begin{aligned}C_v &= 0,723 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}; \\C_p &= 1,012 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}.\end{aligned}$$

3.4.2. Изменение внутренней энергии

$$\begin{aligned}\Delta u &= C_v (T_5 - T_4) = 0,723 (519,6 - 1392,732) = \\&= 0,723 \cdot (-873,132) = -631,274 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.\end{aligned}$$

3.4.3. Изменение энтальпии

$$\Delta i = C_p (T_5 - T_4) = 1,012 \cdot (-873,132) = -883,61 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

3.4.4. Измерение энтропии

$$\Delta S = 0 \frac{\text{г}}{\text{г}_4} = 0.$$

3.4.5. Абсолютная работа

$$\alpha_{4-5} = \frac{R}{1-k} (T_5 - T_4) = \frac{0,287}{1-1,4} \cdot (-873,132) = +626,472 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

3.4.6. Техническая работа

$$\alpha_{4-5}^* = K \cdot \alpha_{4-5} = 1,4 \cdot 626,472 = +877,061 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

3.4.7. Теплота процесса

$$q_{4-5} = 0.$$

3.4.8. Проверка:

$$q_{4-5} = \Delta i - \alpha_{4-5}^*;$$

$$\Delta i = \alpha_{4-5}^* \rightarrow -883,61 \approx -877,061.$$

3.5. Процесс 5-1

3.5.1. Теплоемкости рабочего тела

$$C_v = 0,723 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}};$$

$$C_p = 1,012 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}.$$

3.5.2. Изменение внутренней энергии

$$\Delta u = C_v (T_1 - T_5) = 0,723 (300 - 519,6) = 0,723 (-219,6) = -158,77 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

3.5.3. Изменение энтальпии

$$\Delta i = C_p (T_1 - T_5) = 1,012 \cdot (-219,6) = -222,235 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

3.5.4. Изменение энтропии

$$\Delta S = C_v \ell_n \frac{T_1}{T_5} = 0,723 \ell_n \frac{300}{519,6} = 0,723 (-0,549) = -0,397 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}.$$

3.5.5. Абсолютная работа.

$$\alpha_{5-1} = 0.$$

3.5.6. Техническая работа

$$\alpha_{5-1}^* = \nu_1 (P_1 - P_5) = 0,861 \cdot (1 - 1,732) \cdot 10^2 = 86,1 \cdot (-0,732) = -63,025 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

3.5.7. Теплота процесса

$$q_{5-1} = \Delta u = -158,77 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$$

3.5.8. Проверка:

$$q_{5-1} = \Delta i - \alpha_{5-1}^*, \text{ т.е.}$$

$$-158,77 = -222,235 + 63,025$$

$$-158,77 \approx -159,21$$

3.6. Сводная таблица процессов цикла.

Таблица 3.1

Процесс	Δi	Δi	ΔS	A	α^*	q
1-2	+177,98	+249,123	-0,427	-353,253	-423,9	-175,272
2-3	+197,44	+276,362	+0,293	0	+78,377	+197,44
3-4	+414,625	+580,389	+0,537	+164,67	0	+580,359
4-5	-631,274	-883,61	0	+626,472	+877,061	0
5-1	-158,77	-222,235	-0,397	0	-63,025	-158,77
Σ	+0,001	+0,029	+0,006	+437,889	+468,513	+443,757

4. Решение цикла

4.1. Подведенная теплота

$$q_{\text{подв}} = \Sigma + q = +777,799 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

4.2. Отведенная теплота

$$q_{\text{отв}} = \Sigma - q = -334,042 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

4.3. Полезная теплота цикла

$$q_{\text{полцик}} = |q_{\text{подв}}| - |q_{\text{отв}}| = +443,757 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

4.4. Тепловой к.п.д. цикла

$$\eta_{\text{ц}} = \frac{q_{\text{полцик}}}{q_{\text{подв}}} = \frac{443,757}{777,799} = 0,57$$

4.5. Мощность установки, работающей по заданному циклу

$$N_{\text{ц}} = |\alpha_{\text{ц}}| \cdot Z = 443,757 \cdot 10 = 4437,57 \text{ кВт}$$

5. Построение цикла в координатах P-V и T-S

5.1. При построении диаграмм рекомендуется:

- 1) Давление по оси ординат откладывать в барах, объемы по оси абсцисс – м³/кг;
- 2) Температуры по оси ординат откладывать в °К, изменения энтропии по оси абсцисс – дж/(кг·°К);
- 3) Нанести на диаграммы переходные точки цикла;
- 4) Для построения кривых процессов определить параметры промежуточных точек;
- 5) На диаграмме P-V определяются промежуточные точки в процессах 1-2 (точки а, в, с) и 4-5 (точки d, e, f).

Пример:

$$P_1 \vartheta_1^{n_1} = P_a \vartheta_a^{n_1} = P_B \vartheta_B^{n_1} = P_c \vartheta_c^{n_1} = \dots P_i \vartheta_i^{n_1}$$

Задавая численные значения $\vartheta_a, \vartheta_b, \vartheta_c$ и $\vartheta_d, \vartheta_e, \vartheta_f$, находим

P_a, P_b, P_c и P_d, P_e, P_f :

$$P_a = P_1 \left(\frac{\vartheta_1}{\vartheta_a} \right)^{n_1} = 1 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{0,861}{0,1} \right)^{1,2} = 13,25 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2};$$

$$P_B = P_1 \left(\frac{\vartheta_1}{\vartheta_B} \right)^{n_1} = 1 \cdot 10^5 \left(\frac{0,861}{0,2} \right)^{1,2} = 5,76 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2};$$

$$P_c = P_1 \left(\frac{\vartheta_1}{\vartheta_c} \right)^{n_1} = 1 \cdot 10^5 \left(\frac{0,861}{0,3} \right)^{1,2} = 354 \cdot 10^5 \frac{H}{M^2};$$

$$P_d = P_4 \left(\frac{\vartheta_4}{\vartheta_d} \right)^{n_r} = 54,617 \cdot 10^5 \left(\frac{0,0732}{0,2} \right)^{1,4} = 13,37 \cdot 10^5 \frac{H}{M^2};$$

$$P_e = P_4 \left(\frac{\vartheta_4}{\vartheta_e} \right)^{n_2} = -54,617 \cdot 10^5 \left(\frac{0,0732}{0,4} \right)^{1,4} = 5,06 \cdot 10^5 \frac{H}{M^2};$$

$$P_f = P_4 \left(\frac{\vartheta_4}{\vartheta_f} \right)^{n_2} = 54,617 \cdot 10^5 \left(\frac{0,0732}{0,6} \right)^{1,4} = 2,87 \cdot 10^5 \frac{H}{M^2}.$$

Таблица 5.1

Процессы	1-2			4-5		
Точки	а	в	С	d	е	F
$\vartheta, M^3/Kr$	0,1	0,2	0,3	0,2	0,4	0,6
$P \cdot 10^{-5} H/M^2$	13,25	5,76	3,54	13,37	5,06	2,87

5.2. На диаграмме T- S определяются промежуточные точки в процессах 1-2 (точка а), 2-3 (точки в, с), 3-4 (точки d, е), 5-1 (точки f, k, е)

Пример: Задаваясь численными значениями T_a , T_b и т.д., находим;

$$\Delta S_{1-a} = C_n \ln \frac{T_a}{T_i} = -0,712 \ln \frac{400}{300} = -0,205 \frac{kJ}{kg \cdot grad};$$

$$\Delta S_{2-b} = C_v \ln \frac{T_b}{T_2} = 0,723 \ln \frac{650}{546,17} = 0,1257 \frac{kJ}{kg \cdot grad};$$

$$\Delta S_{2-c} = C_v \ln \frac{T_c}{T_2} = 0,723 \ln \frac{750}{546,17} = 0,229 \frac{kJ}{kg \cdot grad};$$

$$\Delta S_{3-d} = C_p \ln \frac{T_d}{T_3} = 1,02 \ln \frac{1000}{819,254} = 0,203 \frac{kJ}{kg \cdot grad};$$

$$\Delta S_{3-e} = C_p \ln \frac{T_e}{T_3} = 1,02 \ln \frac{1200}{819,254} = 0,389 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}};$$

$$\Delta S_{5-f} = C_v \ln \frac{T_f}{T_5} = 0,723 \ln \frac{450}{519,6} = -0,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}};$$

$$\Delta S_{5-k} = C_v \ln \frac{T_k}{T_5} = 0,723 \ln \frac{400}{519,6} = -0,189 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}};$$

$$\Delta S_{5-e} = C_v \ln \frac{T_e}{T_5} = 0,723 \ln \frac{350}{519,6} = -0,286 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}.$$

Таблица 5.2

Процессы	1-2	2-2		3-4		5-1		
Точки	1-а	2-в	2-с	3-д	3-е	5-ф	5-к	5-е
T	400	650	750	1000	1200	450	400	350
ΔS	-2,205	0,1257	0,229	0,203	0,389	-0,1	-0,189	-0,286

Литература

1. Теплотехника. Под ред. Д.т.н., проф. Г.А. Матвеева, М.: «Высшая школа», 1981.
2. О.М. Рабинович. Сборник задач по технической термодинамике. М.: «Машиностроение», 1973.

С о д е р ж а н и е

	Стр
Введение	2
1. Исходные данные	2
2. Определение параметров переходных точек цикла	3
3. Решение процессов	4
4. Решение цикла	11
5. Построение цикла в P-V и T-S координатах	12
6. Приложение	16

Приложение

Таблица вариантов задания

№ варианта	Рабочее тело					Характеристики цикла					
	Точка 1		R, $\frac{Дж}{кг \cdot град}$	C_v , $\frac{кДж}{кг \cdot град}$	C_p , $\frac{кДж}{кг \cdot град}$	$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$	$\lambda = \frac{p_3}{p_2}$	$p = \frac{v_4}{v_3}$	n_{1-2}	n_{4-5}	$Z \cdot \frac{1}{C}$
	p_1 , бар	t_1 , °C									
1	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
2	1,15	15	264,1	0,702	0,968	22,0	1,4	1,7	1,34	1,378	2
3	1,1	16	1111	3,089	4,21	21,8	1,42	1,68	1,35	1,362	3
4	1,05	17	244,8	0,642	0,889	21,6	1,44	1,66	1,36	1,84	4
5	1,0	18	2192	5,653	7,864	21,4	1,46	1,64	1,37	1,39	5
6	0,95	19	191,7	0,586	0,779	21,2	1,48	1,62	1,28	1,329	6
7	1,9	20	284,7	0,951	1,238	21,0	1,5	1,6	1,27	1,301	7
8	1,0	21	261	0,789	1,052	20,8	1,52	1,59	1,26	1,333	8
9	1,15	22	1380	3,588	4,979	20,6	1,54	1,56	1,32	1,387	9
10	1,05	23	2625	6,762	9,409	20,4	1,56	1,54	1,33	1,391	10
11	0,95	24	242,9	0,65	0,895	20,2	1,58	1,52	1,34	1,376	11
12	0,9	25	201,9	0,633	0,836	20,0	1,6	1,5	1,35	1,321	12
13	1,05	26	1376	3,579	4,966	19,8	1,62	1,48	1,25	1,387	13
14	1,1	27	777,9	2,238	3,022	19,6	1,64	1,46	1,24	1,35	14
15	1,15	28	258,6	0,754	1,015	19,4	1,66	1,44	1,23	1,245	15
16	0,95	29	2532	6,43	8,985	19,2	1,68	1,42	1,36	1,396	16
17	0,9	30	271,7	0,853	1,127	19,0	1,7	1,40	1,37	1,32	17
18	1,15	31	1794	4,543	6,351	18,8	1,72	1,38	1,38	1,398	18
19	1,1	32	215,1	0,594	0,81	18,6	1,74	1,36	1,39	1,365	19
20	1,05	33	311,9	1,047	1,362	18,4	1,76	1,34	1,24	1,299	20
21	1,0	34	193,6	0,577	0,772	18,2	1,78	1,32	1,23	1,337	21
22	0,95	35	1127	3,025	4,162	18,0	1,8	1,3	1,22	1,375	22
23	0,9	36	1845	4,739	6,6	17,8	1,82	1,28	1,38	1,392	23
24	0,95	37	319	1,046	1,368	17,6	1,84	1,26	1,37	1,307	24
25	1,0	38	1395	3,55	4,956	17,4	1,86	1,24	1,36	1,395	25
26	1,1	39	302,9	0,978	1,283	17,2	1,88	1,22	1,35	1,311	26
27	1,15	38	1766	4,486	6,266	17,0	1,9	1,2	1,25	1,396	27
28	1,05	37	298,9	0,949	1,25	16,8	1,92	1,18	1,26	1,317	28
29	1,0	36	1378	3,521	4,91	16,6	1,94	1,16	1,27	1,394	29
30	1,1	35	291,8	0,95	1,244	16,4	1,96	1,14	1,33	1,309	30
31	0,9	34	1378	3,521	4,91	16,2	1,98	1,12	1,34	1,394	31
32	1,15	33	244,8	0,642	0,889	16,0	2,0	1,1	1,35	1,384	32
33	1,1	32	2192	5,653	7,864	15,8	1,98	1,12	1,36	1,39	33
34	1,05	31	264,1	0,702	0,968	15,6	1,96	1,14	1,26	1,378	34
35	1,0	30	1111	3,089	4,21	15,4	1,94	1,16	1,27	1,362	35
36	0,95	29	198,3	0,62	0,82	15,2	1,92	1,18	1,28	1,321	36
37	0,9	28	1361	3,492	4,864	15,0	1,9	1,12	1,35	1,392	37
38	0,95	27	1030	2,649	3,687	14,8	1,88	1,22	1,36	1,391	38

Продолжение таблицы вариантов задания

№ варианта	Рабочее тело					Характеристики цикла					
	Точка I		R, Дж кг.град	C _v , кДж кг.град	C _p , кДж кг.град	$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$	$\lambda = \frac{P_3}{P_2}$	$P = \frac{v_4}{v_3}$	η_{1-2}	η_{4-5}	Z, $\frac{1}{C}$
	P ₁ , бар	t ₁ , °C									
1	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
39	1,1	25	1532	4,157	5,702	14,4	1,84	1,26	1,38	1,371	39
40	1,15	24	242,2	0,666	0,91	14,2	1,82	1,28	1,27	1,365	40
41	0,9	23	614,8	1,661	2,281	14,0	1,8	1,3	1,28	1,372	41
42	0,95	22	245,9	0,837	1,084	14,2	1,78	1,32	1,29	1,295	42
43	1,0	21	2598	6,588	9,207	14,4	1,76	1,34	1,37	1,397	43
44	1,1	20	629,5	1,623	2,257	14,6	1,74	1,36	1,38	1,39	44
45	1,15	19	346,3	1,221	1,57	14,8	1,72	1,38	1,39	1,285	45
46	1,1	18	995,6	2,558	3,561	15,0	1,7	1,4	1,38	1,392	46
47	1,0	17	326,1	1,045	1,374	15,2	1,68	1,42	1,28	1,314	47
48	0,95	16	246,2	0,695	0,943	15,4	1,66	1,44	1,29	1,356	48
49	0,9	15	1761	4,485	6,259	15,6	1,64	1,46	1,28	1,395	49
50	1,0	14	220,2	0,656	0,878	15,8	1,62	1,48	1,39	1,337	50
51	0,9	45	2144	5,482	7,643	16,0	1,6	1,5	1,38	1,394	51
52	0,95	44	261	0,789	1,052	16,2	1,58	1,52	1,37	1,333	52
53	1,0	43	1391	3,596	4,998	16,4	1,56	1,54	1,36	1,389	53
54	1,1	42	371,5	1,168	1,542	16,6	1,54	1,56	1,24	1,32	54
55	1,15	41	1411	3,579	5,002	16,8	1,52	1,58	1,23	1,397	55
56	1,1	40	180,6	0,558	0,74	17,0	1,5	1,6	1,22	1,325	56
57	1,0	39	235,4	0,687	0,925	17,2	1,48	1,62	1,37	1,344	57
58	0,95	38	628,5	1,8	2,434	17,4	1,46	1,64	1,36	1,351	58
59	0,9	37	384,2	1,247	1,634	17,6	1,44	1,66	1,35	1,31	59
60	1,15	36	2582	6,519	9,122	17,8	1,42	1,68	1,34	1,399	60
61	1,1	35	260,7	0,713	0,975	18,0	1,4	1,7	1,22	1,368	59
62	1,05	34	235,1	0,829	1,065	18,2	1,42	1,68	1,23	1,285	58
63	1,0	33	1439	3,669	5,12	18,4	1,44	1,66	1,24	1,395	57
64	0,95	32	178,2	0,602	0,781	18,6	1,46	1,64	1,36	1,298	56
65	0,9	31	378,6	1,245	1,627	18,8	1,48	1,62	1,35	1,306	55
66	0,95	30	179,4	0,58	0,76	19,0	1,5	1,6	1,34	1,311	54
67	1,0	29	1892	4,952	6,861	19,2	1,52	1,58	1,33	1,385	53
68	1,05	28	1019	2,641	3,668	19,4	1,54	1,56	1,23	1,388	52
69	1,1	27	193,6	0,577	0,772	19,6	1,56	1,54	1,24	1,337	51
70	1,15	26	220,2	0,656	0,878	19,8	1,58	1,52	1,25	1,337	50
71	0,9	25	1845	4,739	6,6	20,0	1,6	1,5	1,35	1,392	49
72	0,95	24	311,9	1,047	1,362	20,2	1,62	1,48	1,34	1,299	48
73	1,0	23	199,5	0,598	0,799	20,4	1,64	1,46	1,33	1,335	47
74	1,05	22	1876	4,864	6,756	20,6	1,68	1,44	1,32	1,388	46

Продолжение таблицы вариантов задания

№ ва- рианта	Рабочее тело					Характеристики цикла					
	Точка 1		R, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$	C _v , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$	C _p , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$	$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$	$\lambda = \frac{P_3}{P_2}$	$p = \frac{v_4}{v_3}$	n ₁₋₂	n ₄₋₅	Z, $\frac{1}{C}$
	P ₁ , бар	t ₁ , °C									
1	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
75	1,1	21	1367	3,493	4,871	20,8	1,7	1,42	1,24	1,392	45
76	1,15	20	330,1	1,074	1,407	21,0	1,27	1,4	1,25	1,309	44
77	1,1	19	192,4	0,599	0,793	21,2	1,74	1,38	1,26	1,323	43
78	1,05	18	1494	3,901	5,407	21,4	1,76	1,36	1,34	1,386	42
79	1,0	17	186,5	0,579	0,766	21,6	1,78	1,34	1,33	1,324	41
80	0,95	16	1494	3,901	5,407	21,8	1,8	1,32	1,32	1,386	40
81	0,9	15	1391	3,596	4,998	22,0	1,82	1,3	1,33	1,389	39
82	1,15	14	371,5	1,168	1,542	21,8	1,84	1,28	1,29	1,32	38
83	1,1	13	2144	5,482	7,643	21,6	1,86	1,26	1,28	1,394	37
84	1,05	1204	261	0,789	1,052	21,14	1,88	1,24	1,27	1,333	36
85	1,0	11	180,9	0,577	0,76	21,2	1,9	1,22	1,33	1,315	35
86	0,95	10	1111	2,973	4,058	21,0	1,92	1,2	1,32	1,381	34
87	0,9	9	2192	5,653	7,864	20,8	1,94	1,18	1,33	1,39	33
88	0,95	8	274,9	0,71	0,987	20,6	1,96	1,34	1,34	1,389	32
89	1,0	7	307,2	0,926	1,235	20,4	1,98	1,14	1,23	1,334	31
90	1,05	6	564,6	1,575	2,144	20,2	2,0	1,12	1,27	1,361	30
91	1,1	5	1361	3,551	4,923	20,0	1,98	1,1	1,26	1,386	29
92	1,15	4	668,5	1,682	2,356	19,8	1,96	1,12	1,35	1,4	28
93	1,1	3	359,3	1,241	1,603	19,6	1,94	1,14	1,32	1,291	27
94	1,05	1	2609	6,615	9,246	19,4	1,92	1,16	1,33	1,397	26
95	1,0	0	224,5	0,604	0,83	19,2	1,9	1,18	1,34	1,374	25
96	0,95	1	1860	4,776	6,652	19,0	1,88	1,2	1,25	1,392	24
97	0,9	2	205,4	0,619	0,826	18,8	1,86	1,22	1,24	1,334	23
98	1,0	3	1739	4,468	6,221	18,6	1,84	1,24	1,23	1,392	22
99	1,05	4	1127	3,025	4,162	18,4	1,82	1,26	1,34	1,375	21
100	1,15	5	1761	4,485	6,259	18,2	1,8	1,28	1,33	1,395	20