



БРОННИЦКИЙ ФИЛИАЛ
«МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО
ДОРОЖНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(МАДИ)»

Утверждаю
Зав.кафедрой
общетехнических дисциплин
 Авуза А.Н.

В. И. ЕРЕМИН
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО
ДИСЦИПЛИНЕ ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

БРОННИЦЫ 2017

Задача №6

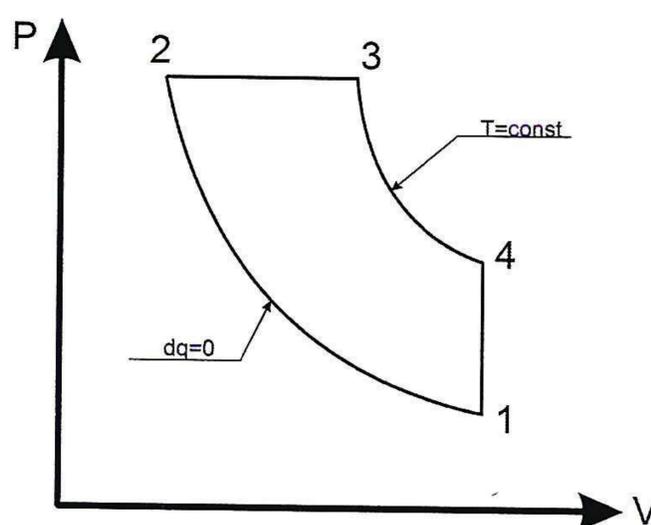
Общее условие. Определить параметры P (давление, Бар), V (объём, м³/кг), T (температура, К), t (температура, °С) во всех характерных точках заданного цикла, во всех процессах цикла определить приведенные к 1 кг параметры q , (теплоту кДж/кг); ΔU , (изменение внутренней энергии кДж/кг); Δh , кДж/кг; l , (работу кДж/кг); ΔS (изменение энтропии), кДж/кг·град. Построить графики цикла в P - V координатах и в T - S координатах. Определить параметры цикла термич. КПД (η_t), работу $l_{ц}$ (кДж/кг), среднее давление P_t .

В качестве рабочего тела принять воздух, массой 1 кг ;

считать теплоёмкость воздуха постоянной $C_p=1,005$ кДж/кг·град

$C_v=0,718$ кДж/кг·град

Пример выполнения задачи №6



Дано: $V_1=1,1$ м³/кг ; $t_1=80$ °С ; $E=V_1/V_2=14$; $q_{2-3}=840$ кДж/кг.

Часть 1.

Процесс 1-2: адиабатный $P_1 V_1^k = P_2 V_2^k$

Процесс 2-3: изобарный $V_2/V_3 = T_2/T_3$

Процесс 3-4: изотермический $V_3/V_4 = P_4/P_3$

Процесс 4-1: изохорный $P_4/P_1 = T_4/T_1$

$K=C_p/C_v=1,4$ $V_1=V_4$; $P_2=P_3$; $T_3=T_4$.

$R=287,2$

Уравнение Менделеева-Клапейрона:

$P_1 V_1 = RT_1 \rightarrow P_1 = RT_1/V_1 = 287,2 \cdot 353 / 1,1 \cdot 10^5 = 0,92$ бар;

$V_1/V_2 = 14 \rightarrow V_2 = V_1/14 = 1,1/14 = 0,0785$ м³/кг;

$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k \rightarrow P_2 = P_1 V_1^k / V_2^k = P_1 (V_1/V_2)^k = 0,92 (1,1/0,0785)^{1,4} = 37,061$ бар

$P_2 V_2 = RT_2 \rightarrow T_2 = P_2 V_2 / R = 37,061 \cdot 0,0785 \cdot 10^5 / 287,2 = 1012,98$ К

$$q_{2-3}=C_p(T_3-T_2) \rightarrow q_{2-3}=C_pT_3-C_pT_2 \rightarrow C_pT_3=q_{2-3}+C_pT_2 \rightarrow T_3=(q_{2-3}+C_pT_2)/C_p=$$

$$=(840+1,005 \cdot 1012,98)/1,005=1848,8 \text{ К}$$

$$P_3V_3=RT_3 \rightarrow V_3=RT_3/P_3=287,2 \cdot 1848,8/37,061 \cdot 10^5=0,14 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$P_4V_4=RT_4 \rightarrow P_4=RT_4/V_4=287,2 \cdot 1848,8/1,1 \cdot 10^5=4,83 \text{ бар}$$

Таблица 1.

№ точки	P, бар	V, м ³ /кг	T, К	t, °С
1	0,92	1,1	353	80
2	37,061	0,0785	1012,98	739,98
3	37,061	0,14	1848,8	1575,8
4	4,83	1,1	1848,8	1575,8

ЧАСТЬ 2

Процесс 1-2:

$$\Delta U=C_v \cdot (T_2-T_1)=0,718 (1012,98 - 353)=473,86 \text{ кДж/кг}$$

$$\Delta h = C_p \cdot (T_2-T_1)=1,005 \cdot (1012,98-353)=663,28 \text{ кДж/кг}$$

$$l = (R \cdot T_1/k-1) \cdot (1-T_2/T_1)=(287,2 \cdot 353/1,4-1) \cdot (1-1012,98/353)=-473,86 \text{ кДж/кг}$$

процесс 2-3:

$$q=C_p \cdot (T_3-T_2)=1,005 \cdot (1848,8-1012,98)=840 \text{ кДж/кг}$$

$$\Delta U=C_v \cdot (T_3-T_2)=0,718 \cdot (1848,8-1012,98)=600,12 \text{ кДж/кг}$$

$$\Delta h=840 \text{ кДж/кг}$$

$$l=p \cdot (V_3-V_2)=37,061 \cdot 10^5 \cdot (0,14-0,0785)=228,06 \text{ кДж/кг}$$

$$\Delta S=C_p \cdot \ln T_3/T_2=1,005 \cdot \ln 1848,8/1012,98=0,61 \text{ кДж/ кг} \cdot \text{гр}$$

Процесс 3-4:

$$q=p_3 \cdot V_3 \cdot \ln V_4/V_3=1069,62 \text{ кДж/кг}$$

$$l=q$$

$$\Delta S=q/T=1069,62/1848,8=0,58 \text{ кДж/ кг} \cdot \text{гр}$$

Процесс 4-1:

$$q=C_v \cdot (T_1-T_4)=-1073,98 \text{ кДж/кг}$$

$$\Delta U = q$$

$$\Delta h = C_p \cdot (T_1 - T_4) = -1503,31 \text{ кДж/кг}$$

$$\Delta S = C_v \cdot \ln T_1 / T_4 = -1,19 \text{ кДж/кг} \cdot \text{гр}$$

Таблица 2

процесс	q, кДж/кг	ΔU , кДж/кг	Δh , кДж/кг	l, кДж/кг	ΔS , кДж/кг·гр
1-2	0	473,86	663,28	-473,8	0
2-3	840	600,12	840	228,06	0,61
3-4	1069,62	0	0	1069,62	0,58
4-1	-1073,98	-1073,98	-1503,31	0	-1,19

ЧАСТЬ 3

Построение графика цикла в P-V координатах. Расчет промежуточных точек для построения графика цикла.

Процесс 1-2:

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k$$

$$P_1 V_1^k = P_x V_x^k$$

$$P_x = P_1 \cdot V_1^k / V_x^k$$

$$P_x = 1,051 / V_x^k$$

при $V_x = 0,5 \text{ м}^3/\text{кг}$ $P_x = 2,77 \text{ бар}$

при $V_x = 0,1 \text{ м}^3/\text{кг}$ $P_x = 26,41 \text{ бар}$

при $V_x = 0,2 \text{ м}^3/\text{кг}$ $P_x = 10 \text{ бар}$

процесс 3-4:

$$P_3 V_3^k = P_4 V_4^k$$

$$P_3 V_3^k = P_x V_x^k$$

$$P_x = P_3 \cdot V_3^k / V_x^k$$

$$P_x = 2,36 / V_x^k$$

при $V_x = 0,5 \text{ м}^3/\text{кг}$ $P_x = 6,22 \text{ бар}$

при $V_x = 1,1 \text{ м}^3/\text{кг}$ $P_x = 2,06 \text{ бар}$

при $V_x = 0,2 \text{ м}^3/\text{кг}$ $P_x = 22,52 \text{ бар}$

Производится построение графика в p - V координатах по расчетным данным в выбранном масштабе координатных осей

ЧАСТЬ 4

Построение графика цикла в T - S координатах. Расчет промежуточных точек для построения графика цикла.

Процесс 2-3:

$$\Delta S_x = C_p \cdot \ln T_x / T_3$$

$$\text{при } T_x = 1200 \text{ К} \quad \Delta S_x = 0,17 \text{ кДж/кг} \cdot \text{гр}$$

$$\text{при } T_x = 1400 \text{ К} \quad \Delta S_x = 0,32 \text{ кДж/кг} \cdot \text{гр}$$

$$\text{при } T_x = 1600 \text{ К} \quad \Delta S_x = 0,45 \text{ кДж/кг} \cdot \text{гр}$$

Процесс 4-1:

$$\Delta S_x = C_v \cdot \ln T_x / T_4$$

$$\text{при } T_x = 1800 \text{ К} \quad \Delta S_x = 1,17 \text{ кДж/кг} \cdot \text{гр}$$

$$\text{при } T_x = 400 \text{ К} \quad \Delta S_x = 0,51 \text{ кДж/кг} \cdot \text{гр}$$

Производится построение графика в T - S координатах по расчетным данным в выбранном масштабе координатных осей. Предварительно проводится расчет S_1 для нормальных физических условий. Пример для воздушной смеси:

$$S_1 = c_p \ln(T_1/T_0) - R \ln(p_1/p_0)$$

где T_0 и p_0 - нормальная температура и давление,

для воздушной смеси 273К и $1.013 \cdot 10^5$ Па

ЧАСТЬ 5

Определить параметры цикла:

1. термический КПД (η_t)

$$\eta_t = I_{ц} / q_1 = 1 - q_2 / (q_1 + q_3) = 1 - C_p(T_4 - T_1) / [C_p(T_3 - T_2) + p_3 \cdot V_3 \cdot \ln V_4 / V_3] = 0,608 = 60,8\%$$

2. работа за цикл $I_{ц}$ (кДж/кг)

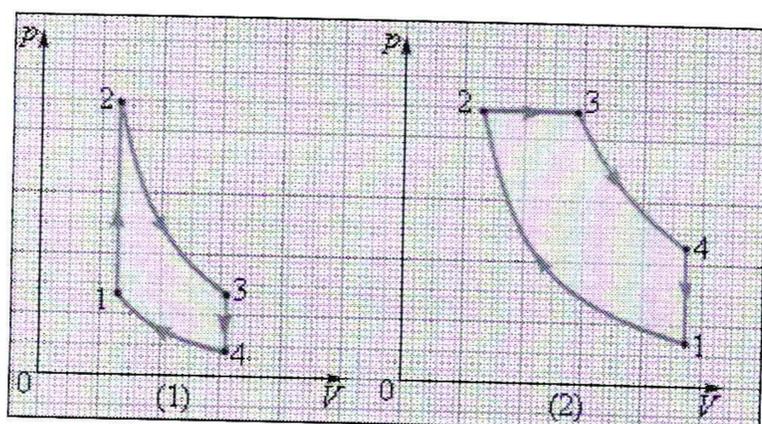
$$I_{ц} = q_1 + q_3 - q_2 = C_p(T_3 - T_2) + p_3 \cdot V_3 \cdot \ln V_4 / V_3 - C_p(T_4 - T_1) = C_p(T_3 - T_2 - T_4 + T_1) = 835,64$$

3. Среднее индикаторное давление P_t

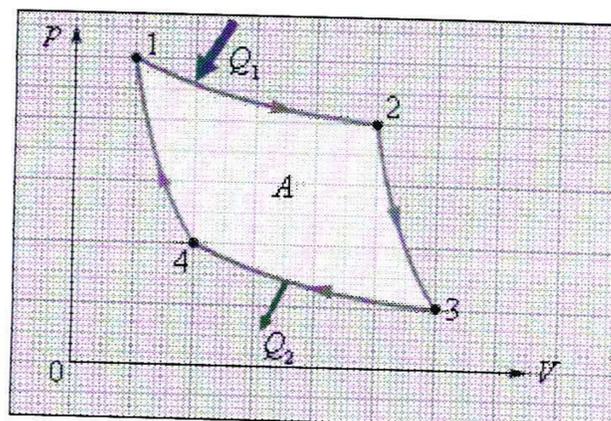
$$P_t = I_{ц} / (V_{\max} - V_{\min}) = 663,28 / (1,1 - 0,0785) = 649,32 \text{ кДж} \cdot \text{кг/кг} \cdot \text{м}^3 = 649,32 \text{ кДж/м}^3 =$$

$$0,64932 \text{ Дж/м}^3 = 0,64932 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2 \cdot \text{м}^3 = 0,64932 \text{ кг/с}^2 \cdot \text{м} = 0,64932 \text{ Па} = 6,5 \text{ Бар}$$

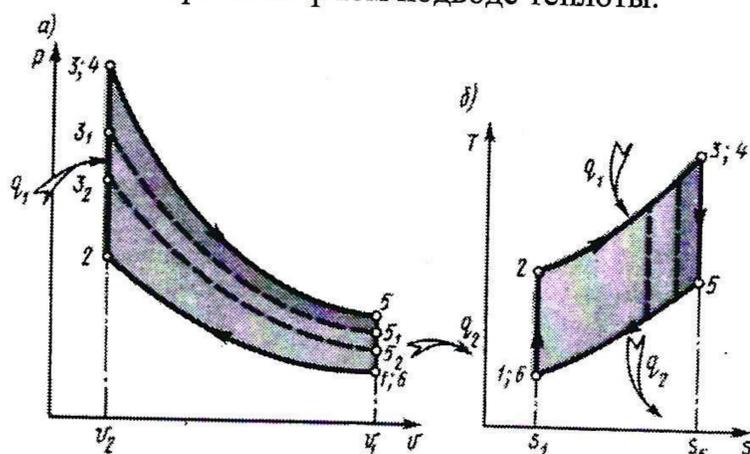
Виды циклов работы двигателей



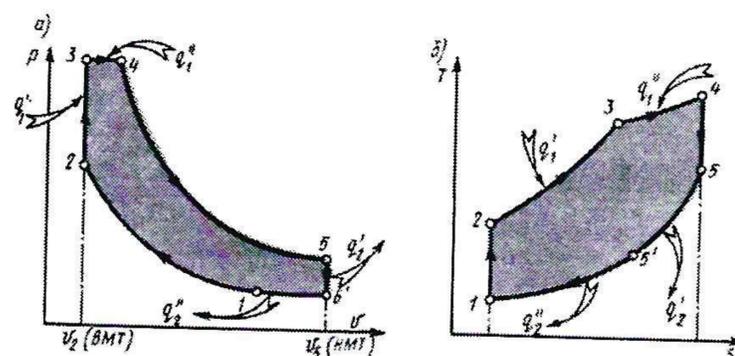
Циклы работы тепловых машин:
1-при изохорном подводе теплоты;
2-при изобарном подводе теплоты.



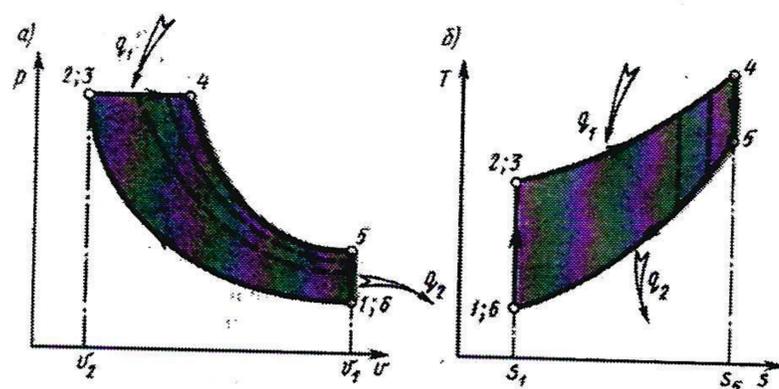
Цикл Карно для идеальной тепловой машины



Цикл Отто (при $V = \text{const}$)



Цикл Сабатэ-Тринклера



Цикл Дизеля (при $p = \text{const}$)

Варианты для расчета циклов двигателей (Задача №6).

(Брать из условия задач только исходные данные и решать в соответствии с общим условием приведенным к задаче №6 и примером, только для своего цикла и своих исходных данных)

1. Для идеального цикла ДВС со смешанным подводом теплоты определить параметры рабочего тела (воздух) в характерных точках, степень повышения давления λ , степень предварительного расширения ρ , количество подведенной и отведенной теплоты, работу и термический КПД цикла, если начальные параметры рабочего тела $p_1 = 0,12$ МПа, $t_1 = 37$ °С, степень сжатия $\epsilon = 12$, максимальная температура цикла $t_4 = 1700$ °С, температура после адиабатного расширения $t_5 = 600$ °С.

2. Для бескомпрессорного дизеля, работающего по циклу Тринклера с изохорно – изобарным подводом теплоты определить основные параметры состояния p, v, t характерных точек цикла, полезную работу и термический КПД двигателя по заданным

значениям начального давления $p_1 = 96$ кПа и температуре $t_1 = 17^\circ\text{C}$, степени сжатия $\varepsilon = 18$ (v_1/v_2), степени повышения давления $\lambda = 1,5$ (p_3/p_2) и степени предварительного расширения $\rho = 1,5$ (v_3/v_2). Рабочим телом считать воздух, полагая теплоемкость его постоянной. Изобразить цикл двигателя внутреннего сгорания в p - v и T - s диаграммах.

3. Рассчитать цикл ДВС с изохорным подводом теплоты (цикл Отто), если начальные параметры рабочего тела $p_1 = 0,1$ МПа, $t_1 = 20^\circ\text{C}$, степень сжатия $\varepsilon = 6,5$, а отведенное количество теплоты $q_2 = 320$ кДж/кг. Определить параметры в характерных точках цикла, подведенное количество теплоты, работу и термический к.п.д. цикла, а также термический к.п.д. цикла Карно в том же интервале температур. Изобразить цикл в координатах p , v и T , s . Рабочее тело - воздух.

4. Тепловой двигатель по циклу ДВС с подводом тепла при постоянном объеме. При этом параметры рабочего тела последовательно изменяются в четырех процессах: 1-2 – адиабатное сжатия; 2-3 – изохорный подвод тепла; 3-4 – адиабатное расширения; 4-1 – изохорное охлаждения. Рабочее тело – воздух. Начальные параметры рабочего тела соответствуют нормальным техническим условиям. Степень сжатия $\varepsilon = 5$, количество тепла подведенное к рабочему телу $q = 950$ кДж/кг. Принимая за рабочее тело газ неизменного состава, рассчитать параметры рабочего тела в контрольных точках процесса; КПД двигателя; соотношения работы расширения и работы сжатия. Изобразить цикл в диаграммах Pv и Ts .

5. Для цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при $v = \text{const}$ определить параметры характерных для цикла точек, количества подведенной и отведенной теплоты, термический КПД цикла и его полезную работу (кДж).

Дано: $P_1 = 0,15$ МПа; $t_1 = 120^\circ\text{C}$; $\varepsilon = 7$; $\lambda = 1,2$; $k = 1,4$.

Рабочее тело - воздух. Теплоемкость считать постоянной. Построить цикл в координатах P - v .

6. Построить p, v – и T, s – диаграммы цикла двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при постоянном объеме. С помощью диаграмм рассчитать цикл ДВС по данным: давление $p_1 = 0,2$ МПа; начальная температура $t_1 = 28^\circ\text{C}$; степень сжатия $\varepsilon = 5$; степень повышения давления $\lambda = 1,2$; газовая постоянная $R = 188,9$ кДж/кг \times К; коэффициент адиабаты $k = 1,29$; теплоемкость газа считать постоянной, количество газа 1 кг.

7. Воздух, начальные параметры которого $p_1 = 0,17$ МПа и $T_1 = 300$ К, адиабатно сжимается в цилиндре ДВС. Степень сжатия $\varepsilon = 10$. Затем в изохорном процессе к нему подводится 288 кДж/кг теплоты. Определить работу сжатия и параметры воздуха после подвода теплоты.

8. Определить для цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты параметры (p , V , T) в характерных для цикла точках, количество подведенной и отведенной теплоты, полезную работу и термический к.п.д. цикла, если начальное давление $p_1 = 0,12$ МПа, начальная температура $t_1 = 250^\circ\text{C}$, степень сжатия $\varepsilon = 18$, степень повышения давления 1,5, степень предварительного расширения 1,6 и показатель адиабаты $k = 1,4$. рабочее тело обладает свойствами воздуха. Изобразить цикл в pV -диаграмме.

9. В цикле поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при $p = \text{const}$ начальное давление $p_1 = 0,12$ МПа, начальная температура $t_1 = 100^\circ\text{C}$, степень

сжатия $\varepsilon = 12$, степень предварительного расширения 2,0 и показатель адиабаты $k=1,4$. Определить параметры (p, V, T) и характерные для цикла точки, количество подведенной и отведенной теплоты, полезную работу и термический к.п.д. цикла.

10. Определить параметры (p, V, T) в характерных для цикла точках, количество подведенной и отведенной теплоты, полезную работу и термический к.п.д. цикла, приведенному на графике тепловой машины. Процессы 1–2 и 3–4 — изохорические. В процессах 2–3 и 3–4 давление прямо пропорционально объёму. Рабочее тело — одноатомный идеальный газ. Известно, что $p_2/p_1 = V_4/V_2 = 6$, $p_1 = 0,1$ МПа, начальная температура $t_1 = 80^\circ\text{C}$.

11. В термодинамическом цикле Дизеля степень сжатия равна 15, а степень предварительного расширения 1,5. Начальное давление $p_1 = 0,16$ МПа, начальная температура $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Определить термические КПД циклов при использовании в качестве рабочего тела углекислого газа и гелия. Молярные изобарные теплоёмкости гелия и углекислого газа $\mu c_{p\text{He}} = 20,8$ кДж/(кг·К) и $\mu c_{p\text{CO}_2} = 33,28$ кДж/(кг·К).

12. Для идеального цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при $v = \text{const}$ определить количество подведенной теплоты q_1 , полезную работу l и термический к.п.д. цикла η_t , если количество отведенной теплоты $q_2 = 500$ кДж/кг, степень сжатия $\varepsilon = 8$ и показатель адиабаты $k = 1,4$. Изобразить цикл в p - v -диаграмме.

13. Определить для идеального цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты параметры (p, v, T) в характерных для цикла точках, количество подведенной и отведенной теплоты, полезную работу и термический к.п.д. цикла, если начальное давление $p_1 = 0,12$ МПа, начальная температура $t_1 = 25^\circ\text{C}$, степень сжатия $\varepsilon = 18$, степень повышения давления $\lambda = 1,5$, степень предварительного расширения $\rho = 1,6$ и показатель адиабаты $k = 1,4$. Рабочее тело обладает свойствами воздуха. Изобразить цикл в p - v -диаграмме.

14. В цикле идеального поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при $p = \text{const}$ начальное давление $p_1 = 0,12$ МПа, начальная температура $t_1 = 10^\circ\text{C}$, степень сжатия $\varepsilon = 12$, степень предварительного расширения $\rho = 2,0$ и показатель адиабаты $k = 1,4$. Определить параметры (p, v, T) в характерных для цикла точках, количество подведенной и отведенной теплоты, полезную работу и термический к.п.д. цикла. Рабочее тело обладает свойствами воздуха. Изобразить цикл в p - v -диаграмме.

15. Для цикла Отто с подводом теплоты при $V = \text{const}$ определить параметры рабочего тела в характерных точках цикла, термический КПД, количество подведенной и отведенной теплоты, полезную работу, если начальные параметры $p_1 = 1,04$ бар, $t_1 = 25^\circ\text{C}$, а параметры точки 3 $p_3 = 226,95$ бар, $t_3 = 3905,1^\circ\text{C}$. Построить цикл в диаграммах $p - V$ и $T - S$. Рабочее тело имеет свойства воздуха.

16. В цикле Дизеля при степени предварительного расширения $\rho = 1,2$, термический КПД равен 0,5. Начальное давление $p_1 = 0,12$ МПа, начальная температура $t_1 = 250^\circ\text{C}$. Теплоёмкость рабочего тела $c_v = 0,718$ кДж/(кг·К), газовая постоянная $R = 287$ Дж/(кг·К). Определить параметры цикла, работу $l_{ц}$ (кДж/кг), среднее давление P_t .

17. Для цикла двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при $V = \text{const}$ определить параметры рабочего тела в характерных точках цикла, термический КПД, отведенной теплоты, полезную работу, если начальные параметры p_1

$= 1,04 \text{ бар}$, $t_1 = 25^\circ \text{C}$, степень сжатия $\varepsilon = 14$ и количество подведенной теплоты $2,7141 \cdot 10^6 \text{ Дж}$. Построить цикл в диаграммах $p - V$ и $T - S$. Рабочее тело имеет свойства воздуха.

18. Тепловая машина работает по циклу Карно, состоящему из двух изотерм 1–2 и 3–4 и двух адиабат 2–3 и 4–1. Работа сжатия в изотермическом процессе 3–4 равна $A_{34} = 120 \text{ кДж}$ ($A_{34} > 0$), а работа сжатия в адиабатическом процессе 4–1 равна $A_{41} = 250 \text{ кДж}$ ($A_{41} > 0$). Какую работу совершает машина за весь цикл 1–2–3–4–1? Рабочее вещество — 10 молей идеального одноатомного газа. Изотермическое сжатие происходило при температуре $T = 363 \text{ К}$.

19. В цикле Карно при температуре 1800°C к 1 кг воздуха подводится 400 кДж теплоты. Термический КПД данного цикла равен $0,60$. Начальное давление $p_1 = 0,15 \text{ МПа}$. Определить количество теплоты q_2 , отводимой в холодный источник, и температуру T_2 охладителя. Рабочее тело воздух. Определить параметры цикла, работу $l_{\text{ц}}$ (кДж/кг), среднее давление P_t .

20. Для цикла Отто с подводом теплоты при $V = \text{const}$ определить параметры рабочего тела в характерных точках цикла, термический КПД, количество подведенной и отведенной теплоты, полезную работу, если начальные параметры $p_1 = 1,24 \text{ бар}$, $t_1 = 35^\circ \text{C}$, а параметры точки 3 $p_3 = 286,25 \text{ бар}$, $t_3 = 3815^\circ \text{C}$. Построить цикл в диаграммах $p - V$ и $T - S$. Рабочее тело имеет свойства воздуха.

21. Определить параметры и показатели цикла Тринклера при начальных параметрах $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$, $t_1 = 15^\circ \text{C}$. Рабочее тело — воздух. К рабочему телу подводится теплота $q_1 = 1500 \text{ кДж/кг}$. Доля теплоты подводимой в изохорном процессе $0,7$. Степень сжатия $\varepsilon = 17$. Термический к.п.д. цикла равен $0,675$. Построить цикл в диаграммах $p - V$ и $T - S$.

22. Определить параметры и показатели цикла Отто при начальных параметрах $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$, $t_1 = 15^\circ \text{C}$. Рабочее тело — воздух. К рабочему телу подводится теплота $q_1 = 1500 \text{ кДж/кг}$. Степень сжатия $\varepsilon = 12$. Построить цикл в диаграммах $p - V$ и $T - S$.

23. В цикле Отто рабочему телу сообщается энергия в форме теплоты 250 кДж/кг . Температура начала процесса сжатия $t_1 = 27^\circ \text{C}$, степень сжатия $\varepsilon = 10$. Рабочее тело — воздух. Молярная массовая теплоемкость воздуха $\mu_{\text{ср}} = 35,3 \text{ кДж/(кмоль К)}$, а молярная масса $28,97 \text{ кг/моль}$. Определить параметры и показатели цикла. Построить цикл в диаграммах $p - V$ и $T - S$.

24. В цикле Тринклера степень повышения давления $\lambda = 1,8$, степень предварительного расширения $\rho = 1,3$. Рабочее тело — воздух, начальные параметры которого $p_1 = 0,17 \text{ МПа}$ и $T_1 = 300 \text{ К}$, показатель адиабаты $k = 1,4$. Определить параметры (p, v, T) в характерных для цикла точках, количество подведенной и отведенной теплоты, полезную работу и термический к.п.д. цикла. Построить цикл в диаграммах $p - V$ и $T - S$.

25. В цикле Дизеля температура в начале сжатия $t_1 = 27^\circ \text{C}$, степень сжатия $\varepsilon = 16$. Рабочее тело воздух с молярной теплоемкостью $\mu_{\text{ср}} = 35,3 \text{ кДж/(кмоль К)}$ и молярной массой $28,97 \text{ кг/моль}$, показатель адиабаты $k = 1,4$. Объем рабочего тела в процессе подвода теплоты увеличивается в 2 раза. Максимальная температура цикла 1819 К . Определить параметры (p, v, T) в характерных для цикла точках, количество подведенной и отведенной теплоты, полезную работу и термический к.п.д. цикла. Построить цикл в диаграммах $p - V$ и $T - S$.