

Варианты условий к задаче 8.3 Таблица 8.3

№ варианта	Давление, МПа	Теплота, кДж/кг
1	0,001	2600
2	0,002	2500
3	0,0025	2300
4	0,0030	1800
5	0,0040	2300
6	0,005	2600
7	0,006	250
8	0,008	320
9	0,010	1580
10	0,014	800
11	0,018	300
12	0,020	1300
13	0,025	2500
14	0,030	2600
15	0,040	2100
16	0,05	2500
17	0,06	2050
18	2,4	1700
19	2,8	2720
20	3,0	2790

Варианты условий к задаче 8.4 Таблица 8.4

№ варианта	Объем пара, м³	Давление пара, МПа	Влажность пара, %
1	0,3	13,0	15
2	0,4	10,0	20
3	0,54	6,0	23
4	0,6	3,5	48
5	0,65	3,0	8
6	0,7	2,8	6
7	0,8	2,4	22
8	0,82	0,06	4
9	0,33	0,05	2
10	0,5	0,04	7
11	0,48	0,03	5
12	0,93	0,025	11
13	1,1	0,02	0,9
14	0,639	0,018	5
15	0,75	0,014	6
16	0,98	0,010	8

36

17	2,5	0,008	4
18	2,1	0,006	10
19	1,6	0,005	11
20	1,3	0,004	14
21	0,25	0,003	8
22	0,7	0,0025	5
23	0,5	0,002	10
24	1,6	0,001	8

Варианты условий к задаче 8.5 Таблица 8.5

№ варианта	Давление $p_1 = p_2$ , МПа	Степень сухости пара, $x$	Температура на выходе, °С
1	0,3	0,9	150
2	0,4	0,95	150
3	0,5	0,96	170
4	0,6	0,92	200
5	0,8	0,89	190
6	1,0	0,91	240
7	1,2	0,93	250
8	1,4	0,96	240
9	1,6	0,97	300
10	1,8	0,89	250
11	2,0	0,87	350
12	2,4	0,94	370
13	2,8	0,85	360
14	3,0	0,86	340
15	3,5	0,87	320
16	4,0	0,88	310
17	5,0	0,89	200
18	6,0	0,90	220
19	7,0	0,91	350
20	8,0	0,92	340
21	9	0,93	360
22	0	0,95	350
23	10,0	0,96	360
24	20,0	0,98	450

Варианты условий к задаче 8.6 Таблица 8.6

№ варианта	Объем пара, м³	Температура $t_1$ , °С	Температура $t_2$ , °С
1	1,5	180	32,89
2	1,6	190	36,17
3	1,65	200	41,53
4	1,3	210	45,82
5	1,44	220	52,57
6	1,8	230	57,82
7	1,6	240	60,08
8	1,7	250	64,99
9	1,5	260	69,12
10	2,1	270	75,87
11	2,3	280	81,33
12	1,85	290	85,94
13	1,64	300	93,50
14	1,9	180	99,62
15	1,95	190	104,80
16	2,1	200	113,31
17	0,8	210	120,23
18	0,9	220	128,73
19	1,1	230	133,54
20	1,2	240	143,62
21	1,3	250	151,84
22	2,4	260	158,84
23	1,8	270	170,41
24	1,92	280	179,88

**Задача 8.8.** Определить количество теплоты, сообщаемое пару, изменение внутренней энергии и работу расширения, если пар с температурой 300°C расширяется по изотерме от давления 1,0 МПа до давления 0,1 МПа (варианты условий к задаче приведены в таблице 8.8).

**Пример 8.9.** Перегретый пар при давлении  $p_1 = 8$  МПа и температуре  $t = 500$ °С расширяется по адиабате до давления  $p_2 = 0,01$  МПа. Определить по  $i$ -диаграмме конечное состояние пара, изменение внутренней энергии и внешнюю работу (варианты условий к задаче приведены в таблице 8.9).

Варианты условий к задаче 8.7 Таблица 8.7

№ варианта	Давление $p$ , МПа	Степень сухости пара, $x$	Температура $t$ , °С
1	0,3	0,9	180
2	0,4	0,95	190
3	0,5	0,96	200
4	0,6	0,92	210
5	0,8	0,89	220
6	1,0	0,91	230
7	1,2	0,93	240
8	1,4	0,96	250
9	1,6	0,97	260
10	1,8	0,89	270
11	2,0	0,87	280
12	2,4	0,94	290
13	2,8	0,85	300
14	3,0	0,86	180
15	3,5	0,87	190
16	4,0	0,88	200
17	5,0	0,89	210
18	6,0	0,90	220
19	7,0	0,91	230
20	8,0	0,92	240
21	9,0	0,93	250
22	9,5	0,95	260
23	10,0	0,96	270
24	20,0	0,98	280

Варианты условий к задаче 8.8 Таблица 8.8

№ варианта	Давление $p_1$ , МПа	Давление $p_2$ , МПа	Температура $t$ , °С
1	2,4	0,26	180
2	2,0	0,30	190
3	2,8	0,20	200
4	1,8	0,16	210
5	1,6	0,20	220
6	1,4	0,26	230
7	2,8	0,30	240
8	3,0	0,40	250
9	1,8	0,50	260
10	1,6	0,40	270
11	2,4	0,30	280

39

12	3,0	0,26	290
13	2,4	0,20	300
14	1,8	0,10	180
15	1,6	0,20	180
16	1,4	0,26	190
17	2,4	0,30	200
18	2,0	0,40	210
19	1,8	0,10	220
20	1,4	0,12	230
21	2,8	0,16	240
22	3,0	0,20	250
23	1,8	0,26	260
24	1,4	0,30	270
			280

Варианты условий к задаче 8.9

Таблица 8.9

№ варианта	Давление $p_1$ , МПа	Давление $p_2$ , МПа	Температура $t = \text{const}$ , °C
1	2,0	0,025	180
2	2,4	0,030	190
3	2,8	0,020	200
4	3,0	0,018	210
5	3,5	0,020	220
6	4,0	0,025	230
7	5,0	0,030	240
8	6,0	0,040	250
9	7,0	0,050	260
10	8,0	0,040	270
11	9,0	0,025	280
12	2,0	0,025	290
13	2,4	0,020	300
14	2,8	0,010	180
15	3,0	0,020	190
16	3,5	0,025	200
17	4,0	0,030	210
18	5,0	0,040	220
19	6,0	0,010	230
20	7,0	0,014	240
21	8,0	0,018	250
22	9,0	0,020	260
23	2,0	0,025	270
24	2,4	0,030	280

### Задания для РГЗ.

#### ЗАДАНИЕ I

З а д а ч а 1. В помещении, где установлена барокамера, давление по водяному манометру  $P_{ман} = \underline{\hspace{1cm}}$  мм вод. ст. Барометр, установленный вне помещения, показывает  $P_{бар} = \underline{\hspace{1cm}}$  мм рт. ст. В барокамере создан вакуум  $P_{вак} = \underline{\hspace{1cm}}$  мм рт. ст. Найти абсолютное давление в барокамере.

Вариант	Значения параметров			Вариант	Значения параметров		
	$P_{ман}$	$P_{бар}$	$P_{вак}$		$P_{ман}$	$P_{бар}$	$P_{вак}$
1	76	765	175	16	102	765	68
2	43	760	183	17	79	782	193
3	28	757	195	18	56	747	185
4	57	743	125	19	38	784	163
5	82	758	136	20	47	698	148
6	94	732	148	21	85	693	132
7	42	748	165	22	97	705	86
8	35	769	98	23	36	665	93
9	54	780	75	24	132	737	115
10	37	758	84	25	98	784	176
11	46	743	223	26	220	751	198
12	89	764	246	27	147	748	45
13	63	755	54	28	69	684	89
14	87	742	73	29	85	675	93
15	98	723	87	30	94	751	135

З а д а ч а 2. Сосуд вместимостью  $V = \underline{\hspace{1cm}}$  м<sup>3</sup> наполнен  $m = \underline{\hspace{1cm}}$  кг газа ( ). Определить давление газа в сосуде, если его температура  $t = \underline{\hspace{1cm}}$  °С.

Вариант	Значения параметров				Вариант	Значения параметров			
	$V$	$m$	Газ	$t$		$V$	$m$	Газ	$t$
1	9,5	18	CO <sub>2</sub>	18	16	4,3	7,4	Воздух	10
2	8,7	15	N <sub>2</sub>	16	17	9,2	5,3	O <sub>2</sub>	22
3	12,3	9	Воздух	23	18	6,5	13	CO	38
4	41	32	O <sub>2</sub>	19	19	12,8	22	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	45
5	17	10	CO	10	20	11,7	16,8	NH <sub>3</sub>	21



Вариант	Значения параметров				Вариант	Значения параметров			
	$V$	$m$	Газ	$t$		$V$	$m$	Газ	$t$
6	8,2	8,5	$C_2H_2$	22	21	2,8	7,3	$O_3$	16
7	5,4	7,4	$NH_3$	38	22	4,3	5,6	$H_2S$	14
8	15	5,3	$O_3$	45	23	8,5	10,6	$HCl$	17
9	13	13	$H_2S$	21	24	7,4	14	$NO$	9
10	10,1	22	$HCl$	16	25	6,8	18	$C_2H_6$	8
11	16	16,8	$NO$	14	26	5,9	15	$H_2O$	19
12	8,4	7,3	$C_2H_6$	17	27	9,1	9	$CO_2$	18
13	9,6	5,6	$H_2O$	9	28	4,7	32	$N_2$	16
14	10,8	10,6	$CO_2$	8	29	6,8	10	$CO_2$	23
15	17	14	$N_2$	19	30	7,2	8,5	$N_2$	19

З а д а ч а 3. Определить плотность газа ( ) при давлении  $p$  \_\_\_ бар и температуре  $t$  \_\_\_ °C

Вариант	Значения параметров			Вариант	Значения параметров		
	Газ	$p$	$t$		Газ	$p$	$t$
1	$CO_2$	9	18	16	Воздух	7	45
2	$N_2$	10	16	17	$O_2$	6	21
3	Воздух	8	23	18	$CO$	13	16
4	$O_2$	13	19	19	$C_2H_2$	18	14
5	$CO$	16	10	20	$NH_3$	4	17
6	$C_2H_2$	5	22	21	$O_3$	9	9
7	$NH_3$	4	38	22	$H_2S$	12	8
8	$O_3$	3	45	23	$HCl$	9	19
9	$H_2S$	7	21	24	$NO$	10	18
10	$HCl$	6	16	25	$C_2H_6$	8	16
11	$NO$	13	14	26	$H_2O$	13	23
12	$C_2H_6$	18	17	27	$CO_2$	16	19
13	$H_2O$	4	9	28	$N_2$	5	10
14	$CO_2$	9	8	29	$CO_2$	4	22
15	$N_2$	12	19	30	$N_2$	3	38

З а д а ч а 4. В резервуаре вместимостью  $V = \underline{\hspace{2cm}}$  м<sup>3</sup>, содержащем газ для технологических работ, давление равно  $p_{\text{ман}} = \underline{\hspace{2cm}}$  ат при температуре  $t = \underline{\hspace{2cm}}$  °С. После использования части газа для работ давление его упало до  $0,5 p'_{\text{ман}}$  ат, а температура до  $t' = \underline{\hspace{2cm}}$  °С. Определить какое количество газа израсходовано, если  $p_{\text{бар}} = \underline{\hspace{2cm}}$  мм рт. ст.

№	Значения параметров						№	Значения параметров					
	Газ	$V$	$p_{\text{ман}}$	$t$	$t'$	$p_{\text{бар}}$		Газ	$V$	$p_{\text{ман}}$	$t$	$t'$	$p_{\text{бар}}$
1	CO <sub>2</sub>	9,5	9	18	13	765	16	Воздух	15	3	38	21	765
2	N <sub>2</sub>	8,7	10	16	10	760	17	O <sub>2</sub>	13	7	45	29	782
3	Воздух	12,3	8	23	16	757	18	CO	10,1	6	21	13	747
4	O <sub>2</sub>	41	13	19	13	743	19	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	16	13	16	7	784
5	CO	17	16	10	6	758	20	NH <sub>3</sub>	8,4	18	14	8	698
6	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	8,2	5	22	14	732	21	O <sub>3</sub>	9,6	4	17	11	693
7	NH <sub>3</sub>	5,4	4	38	21	748	22	H <sub>2</sub> S	10,8	9	9	4	705
8	O <sub>3</sub>	15	3	45	29	769	23	HCl	17	12	8	3	665
9	H <sub>2</sub> S	13	7	21	13	780	24	NO	9,5	9	19	9	737
10	HCl	10,1	6	16	7	758	25	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	8,7	10	18	13	784
11	NO	16	13	14	8	743	26	H <sub>2</sub> O	12,3	8	16	10	751
12	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	8,4	18	17	11	764	27	CO <sub>2</sub>	41	13	23	16	748
13	H <sub>2</sub> O	9,6	4	9	4	755	28	N <sub>2</sub>	17	16	19	13	684
14	CO <sub>2</sub>	10,8	9	8	3	742	29	CO <sub>2</sub>	8,2	5	10	6	675
15	N <sub>2</sub>	17	12	19	9	723	30	N <sub>2</sub>	5,4	4	22	14	751

З а д а ч а 5. Определить температуру газа, если при абсолютном давлении  $p \underline{\hspace{2cm}}$  бар его объем  $v_{\mu} = \underline{\hspace{2cm}}$  м<sup>3</sup>/кмоль.

Вариант	Значения параметров		Вариант	Значения параметров	
	$p$	$v_{\mu}$		$p$	$v_{\mu}$
1	9	9,5	16	7	15
2	10	8,7	17	6	13
3	8	12,3	18	13	10,1
4	13	41	19	18	16



Вариант	Значения параметров		Вариант	Значения параметров	
	$P$	$v_{\mu}$		$P$	$v_{\mu}$
5	16	17	20	4	8,4
6	5	8,2	21	9	9,6
7	4	5,4	22	12	10,8
8	3	15	23	9	17
9	7	13	24	10	9,5
10	6	10,1	25	8	8,7
11	13	16	26	13	12,3
12	18	8,4	27	16	41
13	4	9,6	28	5	17
14	9	10,8	29	4	8,2
15	12	17	30	3	5,4

З а д а ч а 6. Баллон, содержащий в себе кислород при давлении  $P_{ман} = \text{--- бар}$  и температуре  $t_1 = \text{--- } ^\circ\text{C}$ , перенесен в помещение с температурой  $t_2 = \text{--- } ^\circ\text{C}$ . Какое давление будет в баллоне, если кислород нагревается до этой температуры?. Атмосферное давление равно  $1 \text{ кг/см}^2$ .

Вариант	Значения параметров			Вариант	Значения параметров		
	$P_{ман}$	$t_1$	$t_2$		$P_{ман}$	$t_1$	$t_2$
1	118	-8	24	16	93	-4	28
2	132	-4	16	17	86	-10	32
3	98	-6	25	18	141	-9	43
4	75	-13	19	19	115	-14	18
5	130	-7	20	20	98	-10	37
6	65	-5	31	21	63	-16	30
7	93	-23	37	22	57	-5	27
8	86	-4	29	23	84	-12	24
9	141	-10	28	24	142	-8	16
10	115	-9	32	25	118	-4	25
11	98	-14	43	26	132	-6	19
12	63	-10	18	27	98	-13	20
13	57	-16	37	28	75	-7	31
14	84	-5	30	29	130	-5	37
15	142	-12	27	30	65	-23	29

## ЗАДАНИЕ 2

### Газовые теплоемкости и смеси

Газовая смесь имеет (1) массовый (объемный состав). Опре-

- делить:
- объемный (массовый) состав смеси;
  - газовые постоянные компоненты смеси;
  - кажущуюся молекулярную массу смеси;
  - массы и парциальные давления компонентов, если заданы: давление (2) смеси ( $p$ , мм рт. ст.), объем (3) смеси ( $V$ , м<sup>3</sup>) и температура (4) ( $t_1$  °C);
  - плотность и удельный объем компонентов и смеси при заданных и нормальных физических условиях;
  - истинные теплоемкости смеси (мольную, объемную и массовую) при  $p = const$  и  $v = const$  для заданной температуры;
  - средние теплоемкости смеси (мольную, объемную и массовую) и затраты теплоты на нагревание (охлаждение) смеси до заданной (5) температуры  $t_2$  °C при  $p = const$  и  $v = const$ .

№ задания	Состав газовой смеси, % (1)						(2)	(3)	(4)	(5)
	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	$p$	$V$	$t_1$ °C	$t_2$ °C
1	-	71	10	8	-	11	3000	1.2	150	600
2	-	72	9	9	-	10	2800	1.4	200	650
3	-	72	7	12	-	9	2900	1.6	300	900
4	-	71	5	15	-	9	2700	1.8	400	1050
5	-	72	2	17	-	8	2500	2.0	500	1250
6	-	71	1	20	-	8	2600	1.9	450	1350
7	1	72	-	20	-	7	2400	1.7	350	800
8	2	73	-	18	-	7	2200	1.5	250	650
9	3	73	-	18	-	6	2300	1.3	150	600
10	4	73	-	13	-	5	2000	1.1	550	950
11	8	72	-	14	-	6	2950	2.1	1000	450
12	9	73	-	12.5	-	5.5	2850	2.2	950	400
13	10	73	-	11.8	-	5.2	2750	2.3	900	350
14	10.5	73	-	11.5	-	5	2650	2.4	850	300
15	11.3	73	-	11	-	4.7	2550	2.5	800	250
16	16	74	-	7	-	3	745	3	750	200
17	16.5	74	-	6.7	-	2.8	735	2.9	700	200



№ задания	Состав газовой смеси, % (1)						(2)	(3)	(4)	(5)
	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O				
20	17.5	74.5	-	5.6	-	2.4	700	2.6	470	470
21	-	51	28	12	9	-	740	1.0	100	100
22	-	59	28	10	3	-	750	0.9	150	900
23	-	53	29	5	13	-	760	0.8	200	850
24	-	53	27	6	14	-	770	0.7	250	800
25	-	53	24	8	15	-	780	0.6	300	750
26	-	51	25	7	17	-	770	0.5	250	600
27	-	57	21	10	11	-	760	0.6	200	650
28	-	63	22	7	8	-	750	0.7	150	600
29	-	7	37	6	50	-	740	0.8	100	550
30	-	6	39	7	48	-	730	0.9	50	500

Примечание: с 1 по 20 - массовый состав,  
с 21 по 30 - объемный состав

### ЗАДАНИЕ 3

Цикл поршневого двигателя (4) имеет следующие характеристики: (3). Начальная температура (1) °С и давление (2) бар. Рабочее тело - воздух ( $c_p = 1,004 \text{ кДж/кг}\cdot\text{град}$ ;  $c_v = 0,716 \text{ кДж/кг}\cdot\text{град}$ ;  $R = 287 \text{ Дж/кг}\cdot\text{град}$ ), требуется:

- 1) определить параметры цикла  $p, v, t, u, s, i$  для основных точек цикла;
- 2) определить  $s, \Delta u, \Delta i, \Delta s, q, l$  для каждого процесса, входящего в цикл;
- 3) найти работу цикла  $l_n$  и термический КПД  $\eta_t$
- 4) изобразить цикл на  $Ts$ -диаграмме.

Таблица исходных данных

№ варианта	(1), °С	(2), бар	(3)			(4)			pv-диаграмма
			$n_1$	$n_2$	$\epsilon$	$\lambda$	$\rho$	$\pi$	
1	0	1	1.4	1.35	5	4.6	-	-	
2	+10	1.1	1.34	1.3	5.5	4.3	-	-	
3	+30	1.2	1.30	1.23	6	4.0	-	-	
4	+50	0.9	1.32	1.2	6.5	3.8	-	-	
5	+70	1.3	1.36	1.25	7	3.4	-	-	
6	-10	0.8	1.38	1.27	7.5	3.0	-	-	
7	-10	0.8	1.4	1.36	10	-	2.2	-	
8	0	0.9	1.38	1.33	10.5	-	2.1	-	
9	+10	1	1.36	1.3	11	-	2	-	
10	+30	1.1	1.34	1.28	11.5	-	1.9	-	
11	+50	1.2	1.32	1.25	12	-	1.8	-	
12	+70	1.3	1.3	1.24	12.5	-	1.7	-	
13	-10	0.85	1.3	1.25	14	1.4	2	-	
14	0	0.9	1.32	1.28	15	1.5	1.9	-	
15	+10	0.95	1.34	1.3	16	1.6	1.8	-	
16	+30	1	1.36	1.32	17	1.7	1.7	-	
17	+50	1.05	1.38	1.34	18	1.8	1.6	-	
18	+70	1.1	1.4	1.36	19	1.9	1.5	-	

№ варианта	(1), °С	(2), бар	(3)			(4)			pv-диаграмма
			$n_1$	$n_2$	$\epsilon$	$\lambda$	$\rho$	$\pi$	
19	-20	0.7	1.4	1.38	-	-	2	5	
20	-10	0.8	1.38	1.36	-	-	1.9	5.5	
21	0	0.9	1.36	1.34	-	-	1.8	6	
22	+10	0.95	1.34	1.32	-	-	1.7	6.5	
23	+20	1	1.32	1.3	-	-	1.6	7	
24	+30	1.05	1.3	1.28	-	-	1.5	7.5	
25	-20	0.7	1.4	1.38	-	1.4	-	7	
26	-10	0.75	1.38	1.36	-	1.5	-	6.5	
27	0	0.8	1.36	1.34	-	1.6	-	6	
28	+10	0.85	1.34	1.32	-	1.7	-	5.5	
29	+20	0.9	1.32	1.3	-	1.8	-	5	
30	+30	0.95	1.3	1.28	-	1.9	-	4.5	

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров В.И. Термодинамика и теплопередача / В.И. Александров, В.В. Шорников. СПб.: СПТИ (ТУ), 2008.
2. Кириллин В.А. Техническая термодинамика / Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. М.: Наука, 1979.
3. Поршаков В.П. Термодинамика и теплопередача (в технологических процессах нефтяной и газовой промышленности) / Поршаков В.П., Бикчентай Р.Н., Романов Б.А. М.: Недра, 1987.

### СОДЕРЖАНИЕ

1. ПАРАМЕТРЫ СОСТОЯНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.....	3
1.1 Давление.....	3
1.2 Удельный объем.....	5
1.3 Температура.....	7
2. УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ГАЗА.....	7
3. УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ГАЗА.....	10
4. ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ.....	13
4.1 Теплоемкости газов.....	13
5. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ.....	17
6. ЭНТРОПИЯ И ЭНТРОПИЙНЫЕ ДИАГРАММЫ.....	21
7. ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ.....	24
7.1 Циклы двигателей внутреннего сгорания.....	24
8. ВОДЯНОЙ ПАР.....	30
Задания для РГЗ.....	41