

Министерство образования и науки РФ

СЕВМАШВТУЗ

Кафедра

«Океанотехника и энергетические установки»

Решения задач размещены на сайте zadachi24.ru

А.М. Воронин

Термодинамика

Методические указания и контрольные задания для студентов ЗФО

Северодвинск
2017

Воронин А.М. *Термодинамика. Методические указания и контрольные задания.*
Северодвинск: САФУ (Севмашвтуз), 2017. – 22 с.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению 26.03.02 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры», профиль «Судовые энергетические установки».

Пособие содержит требования к оформлению контрольных работ, варианты заданий и справочные таблицы.

Содержание

I. Требования для выполнения контрольной работы	4
II. Варианты заданий для контрольной работы	5
III. Исходные данные задачам	7
IV. Приложение 1	9
Список литературы	12

I. Требования к выполнению контрольной работы

К решению задач контрольной работы можно приступать после изучения соответствующих разделов курса. Только сознательное решение приносит пользу и помогает "закрепить" теоретический материал.

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие требования:

- 1) выписывать условия задачи и исходные данные;
- 2) решение задач сопровождать кратким пояснительным текстом, четко записывать формулы, указывать какие величины подставляются в формулу и откуда они берутся (из условия задачи, из справочника или были определены выше);
- 3) в исходных и вычисленных величинах проставлять размерность;
- 4) вычисление производить с точностью в два знака после запятой, в интернациональной системе единиц ("СИ");
- 5) заканчивается работа списком использованной учебной и справочной литературы, а по ходу решения конкретных задач ставятся ссылки на литературные источники.
- 6) оформление контрольной работы должно соответствовать всем требованиям стандарта СТО САФУ 89-03.05-2013 «Общие требования к оформлению и изложению документов учебной деятельности обучающихся».

II. Варианты заданий для контрольной работы

Задача 1

Смесь газов с начальными параметрами P_1 и T_1 расширяется до конечного объема $V_2 = a \cdot V_1$. Расширение может осуществляться по изотерме, адиабате и политропе с показателем "n". Определить газовую постоянную смеси, ее массу или начальный объем, конечные параметры, работу расширения, теплоту процесса, изменение внутренней энергии и энтропии. Дать сводную таблицу результатов и проанализировать ее. Показать процесс на Pv - и Ts - диаграммах. Исходные данные, необходимые для решения задачи, выбрать из таблицы 3.1.

Задача 2

Для сложного термодинамического процесса изменения состояния водяного пара и каждого элементарного процесса найти удельную теплоту, работу и изменение внутренней энергии. Изобразить процессы в hs - и Ts -диаграммах водяного пара (схематично). Исходные данные для решения задачи выбрать из таблицы 3.2.

Задача 3

Газ с начальным давлением P_1 и температурой t_1 вытекает через суживающееся сопло в среду с давлением P_2 . Площадь выходного сечения сопла S_2 . Определить конечную температуру, скорость истечения и массовый расход газа.

Исходные данные для решения задачи выбрать из таблицы 3.3.

Задача 4

Конденсационная паровая турбина служит для привода генератора мощностью $N_{эл}$. Параметры пара на входе в турбину P_1, t_1 ; давление в конденсаторе P_2 ; внутренний КПД турбины η , механический $\eta_{мех}$.

Определить секундный и удельный (на один кВт.ч) расходы пара на турбину и термический КПД цикла Ренкина. Найти, как изменится мощность турбины и термический КПД цикла при дроссельном регулировании, если начальное давление пара уменьшится на 40% при постоянном массовом расходе пара. Изобразить примерный вид процессов в Ts- и hs - диаграммах состояния.

Исходные данные для решения задачи выбрать из таблицы 3.4.

III. Исходные данные к задачам.

Исходные данные к задаче 1

Таблица 3.1

Посл. цифра шифра	Состав газовой смеси	Показатели политропы n	Степень расш. α	Нач. параметры	
				P_1 , МПа	T_1 , К
0	2 кг O_2 + 8 кг N_2	1,25	20	5,0	2000
1	5 кг CO + 5 кг CO_2	1,15	18	4,0	2100
2	3 кг CO_2 + 7 кг O_2	1,30	16	7,0	2200
3	6 кг N_2 + 4 кг CO_2	1,28	14	6,0	1400
4	5 кг H_2O + 5 кг CO	1,20	12	8,0	1600
5	2 м ³ O_2 + 8 м ³ N_2	1,10	10	10,0	1800
6	2,5 м ³ N_2 + 7,5 м ³ H_2	1,22	11	5,6	1900
7	3 м ³ CH_4 + 7 м ³ CO	1,40	13	9,0	1750
8	5 м ³ CO_2 + 5 м ³ CO	1,27	15	4,8	1500
9	6 м ³ CH_4 + 4 м ³ H_2	1,21	17	7,2	1700

Исходные данные к задаче 2

Таблица 3.2

Посл. цифра шифра	Параметры в узловых точках	Тип процесса		
	P , МПа; t , °C; V , м ³ /ч	1 - 2	2 - 3	3 - 4
0	$P_1=10$; $x_1=1$; $t_2=500$; $P_3=1$; $P_4=0,05$	$P=\text{const}$	$t=\text{const}$	$s=\text{const}$
1	$t_1=200$; $x_1=0,95$; $P_2=1$; $t_3=500$; $x_4=0,9$	$t=\text{const}$	$P=\text{const}$	$s=\text{const}$
2	$P_1=5$; $x_1=0,9$; $t_2=600$; $P_3=1$; $x_4=0,9$	$v=\text{const}$	$t=\text{const}$	$s=\text{const}$
3	$P_1=5$; $x_1=0,9$; $t_2=600$; $P_3=1$; $x_4=1$	$P=\text{const}$	$t=\text{const}$	$s=\text{const}$
4	$P_1=5$; $x_1=0,9$; $t_2=500$; $x_3=1$; $x_4=0,8$	$P=\text{const}$	$s=\text{const}$	$P=\text{const}$
5	$P_1=5$; $x_1=0,85$; $t_2=400$; $P_3=0,1$; $x_4=1$	$P=\text{const}$	$t=\text{const}$	$s=\text{const}$
6	$P_1=5$; $t_1=600$; $P_2=1$; $x_3=1$; $x_4=0,8$	$t=\text{const}$	$s=\text{const}$	$P=\text{const}$
7	$P_1=2$; $x_1=0,85$; $P_2=1,5$; $t_3=450$; $x_4=1$	$t=\text{const}$	$P=\text{const}$	$s=\text{const}$
8	$x_1=0,8$; $P_1=0,1$; $x_2=1$; $t_3=400$; $P_4=0,1$	$s=\text{const}$	$P=\text{const}$	$t=\text{const}$
9	$P_1=0,3$; $v_1=0,5$; $t_2=300$; $x_3=1$; $x_4=0,8$	$P=\text{const}$	$s=\text{const}$	$P=\text{const}$

Исходные данные к задаче 3

Таблица 3.3

Посл. цифра шифра	Газ	Исходные параметры газа		P_2 , МПа	S_2 , мм ²
		P_1 , МПа	t_1 , °C		
0	водяной пар	10,0	167	4,0	40
1	кислород	9,0	97	3,0	25
2	углекислый газ	7,0	137	2,0	37
3	воздух	6,5	157	3,5	27
4	водяной пар	7,5	177	4,5	33
5	метан	6,0	127	2,5	24
6	угарный газ	8,5	147	3,5	35
7	азот	10,0	107	6,0	32
8	водяной пар	10,5	187	3,5	44
9	воздух	8,0	117	4,0	30

Исходные данные к задаче 4

Таблица 3.4

Посл. цифра шифра	N _{эл} , кВт	Внутренний КПД турбины η	Начальные параметры пара		Давление в конденсаторе P ₂ , МПа	$\eta_{\text{мех}}$
			P ₁ МПа	T ₁ °C		
0	3000	0,74	10,0	500	0,006	0,92
1	5500	0,78	12,0	560	0,005	0,88
2	4000	0,75	4,8	420	0,004	0,94
3	3500	0,80	13,0	580	0,0045	0,96
4	5000	0,79	6,0	440	0,0035	0,87
5	4500	0,72	9,0	510	0,0055	0,9
6	6000	0,84	8,0	480	0,003	0,93
7	2000	0,82	7,6	450	0,004	0,95
8	4600	0,76	5,0	400	0,0045	0,91
9	4800	0,72	11,0	540	0,005	0,94

IV. Приложение 1

Таблица 4.1

Средние теплоемкости некоторых газов в пределах от 0 до 1500 °С

Газ	Удельная массовая теплоемкость C_x , кДж/(кг·К)	Удельная объемная теплоемкость C_x' , кДж/(м ³ ·К)
Воздух	$C_v = 0,7088 + 0,000093 \text{ t}$	$C_v' = 0,9157 + 0,0001201 \text{ t}$
	$C_p = 0,9956 + 0,000093 \text{ t}$	$C_p' = 1,287 + 0,00012011$
H ₂	$C_v = 10,12 + 0,0005945 \text{ t}$	$C_v' = 0,9094 + 0,0000523 \text{ t}$
	$C_p = 14,33 + 0,0005945 \text{ t}$	$C_p' = 1,28 + 0,0000523 \text{ t}$
N ₂	$C_v = 0,7304 + 0,00009855 \text{ t}$	$C_v' = 0,9131 + 0,0001107 \text{ t}$
	$C_p = 1,032 + 0,00009855 \text{ t}$	$C_p' = 1,306 + 0,0001107 \text{ t}$
O ₂	$C_v = 0,6594 + 0,0001065 \text{ t}$	$C_v' = 0,943 + 0,0001577 \text{ t}$
	$C_p = 0,919 + 0,0001065 \text{ t}$	$C_p' = 1,313 + 0,0001577 \text{ t}$
CO	$C_v = 0,7331 + 0,00009681 \text{ t}$	$C_v' = 0,9173 + 0,000121 \text{ t}$
	$C_p = 1,035 + 0,00009681 \text{ t}$	$C_p' = 1,291 + 0,000121 \text{ t}$
H ₂ O	$C_v = 1,372 + 0,0003111 \text{ t}$	$C_v' = 1,102 + 0,0002498 \text{ t}$
	$C_p = 1,863 + 0,0003111 \text{ t}$	$C_p' = 1,473 + 0,0002498 \text{ t}$
CO ₂	$C_v = 0,6837 + 0,0002406 \text{ t}$	$C_v' = 1,3423 + 0,0004723 \text{ t}$
	$C_p = 0,8725 + 0,0002406 \text{ t}$	$C_p' = 1,7132 + 0,0004723 \text{ t}$

Таблица 4.2

Термодинамические свойства воды и водяного пара.

Состояние насыщения (по температурам)

t °C	P, Па	$v' 10^3$, м ³ /кг	$v'' 10^3$, м ³ /кг	ρ'' , кг/м ³	h' , кДж/кг	h'' , кДж/кг	g , кДж/кг	s' , кДж/(кг·K)	s'' , кДж/(кг·K)
0,01	6,112 10 ²	1,0002	206,3	0,004847	0,0	2501	2501	0,0	9,1544
10	1,2271 10 ³	1,0004	106,42	0,009398	42,04	2519	2477	0,1510	8,8994
20	23368 10 ³	1,0018	57,84	0,01729	83,90	2537	2454	0,2964	8,6665
30	4,2417 10 ³	1,0044	32,93	0,03037	125,71	2556	2430	0,4366	8,4523
40	73749 10 ³	1,0079	19,55	0,05115	167,50	2574	2406	0,5723	3,2559
50	1,2335 10 ⁴	1,0121	12,04	0,08306	209,3	2594	2383	0,7038	8,0753
60	1,9919 10 ⁴	1,0171	7,678	0,1302	251,1	2609	2358	0,8311	7,9084
70	3,1161 10 ⁴	1,0228	5,045	0,1982	293,0	2626	2333	0,9549	7,7544
80	4,7359 10 ⁴	1,0290	3,408	0,29934	334,9	2643	2308	1,0753	7,6116
90	7,0108 10 ⁴	1,0359	2,361	0,4235	377,0	2659	2282	1,1925	7,4737
100	1,01325 10 ⁵	1,0435	1,673	0,5977	419,1	2676	2257	1,3071	73547
110	1,4326 10 ⁵	1,0515	1,210	0,8264	461,3	2691	2230	1,4183	7,2387
120	1,9854 10 ⁵	1,0603	0,8917	1,121	503,7	2706	2202	1,5277	7,1298
130	2,7012 10 ⁵	1,0697	0,6683	1,496	546,3	2721	2174	1,6345	7,0272
140	3,613610 ⁵	1,0798	0,5087	1,966	589,0	2734	2145	1,7592	6,9304
150	4,7597 10 ⁵	1,0906	0,3926	2,547	632,2	2746	2114	1,8418	6,8383
160	6,1804 10 ⁵	1,1021	0,3068	3,258	675,5	2758	2082	1,9427	6,7508
170	7,920210 ⁵	1,1144	0,2426	4,122	719,2	2769	2050	2,0417	6,6666
180	1,0027 10 ⁶	1,1275	0,1939	5,157	763,1	2778	2015	2,1395	6,5858
190	1,2552 10 ⁶	1,1415	0,1564	6,394	807,5	2786	1979	2,2357	6,5074
200	1,5551 10 ⁶	1,1565	0,5272	7,862	852,4	2793	1941	2,3308	6,4318
220	23201 10 ⁶	1,1900	0,0860	11,62	943,7	2802	1858	2,5179	6,2849
240	3,3480 10 ⁶	1,2291	0,0597	16,76	1037,5	2823	1766	2,7021	6,1421
260	4,6940 10 ⁶	1,2755	0,0421	23,72	1135,1	2796	1661	2,8851	6,0013
280	6,4191 10 ⁶	1,3321	0,0301	33,19	1236,9	2780	1542	3,0681	5,8573
300	8,5917 10 ⁶	1,4036	0,216	46,21	1344,9	2749	1404	3,2548	5,7049
320	1,129 10 ⁷	1,499	0,0154	64,72	1462,1	2700	1237	3,4495	5,5353
340	1,4608 10 ⁷	1,639	0,0107	92,76	1594,7	2622	1027	3,6605	5,3361
360	1,8674 10 ⁷	1,894.	0,0069	144,0	1762	2481	719	3,9162	5,0530
374	2,2084 10 ⁷	2,800	0,0034	288,0	2032	2147	114	4,3258	4,5029

Таблица 4.3

Термодинамические свойства воды и водяного пара.

Состояние насыщения (по давлениям)

P $10^3, \text{Па}$	t °C	$v' 10^3$ $\text{м}^3/\text{кг}$	v'' $\text{м}^3/\text{кг}$	ρ'' $\text{кг}/\text{м}^3$	h' , $\text{кДж}/\text{кг}$	h'' , $\text{кДж}/\text{кг}$	g , $\text{кДж}/\text{кг}$	s' $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	s'' $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
0,010	6,92	1,0001	129,9	0,00770	29,32	2513	2484	0,1054	8,975
0,025	21,094	1,0021	54,24	0,01843	88,50	2539	2451	0,3124	8,642
0,050	32,88	1,0053	28,19	0,03547	137,83	2561	2423	0,4761	8,393
0,075	40,32	1,0080	19,23	0,05198	168,8	2574	2405	0,5754	8,250
0,10	45,84	1,0103	14,68	0,06812	191,9	2584	2392	0,6492	8,149
0,15	54,00	1,0140	10,02	0,09980	226,1	2599	2373	0,7550	8,007
0,20	60,08	1,0171	7,647	0,1308	251,4	2609	2358	0,8321	7,907
0Д5	64,99	1,0199	6,202	0,1612	272,0	2618	2346	0,8934	7,830
0,20	69,12	1,0222	5,226	0,1913	289,3	2625	2336	0,9441	7,769
0,40	75,88	1,0264	3,994	0,2504	317,7	2636	2318	1,0261	7,670
0,60	85,95	1,0330	2,732	03661	360,0	2653	2293	1,1453	7431
0,80	93,52	1,0385	2,087	0,4792	391,8	2665	2273	1,2330	7,434
1,00	99,64	1,0432	1,694	0,5903	417,4	2675	2258	13026	7,360
1,5	111,38	1,0527	1,159	0,8627	467,2	2693	2226	1,4336	7,223
2,0	120,23	1,0605	0,8854	1,129	504,8	2707	2202	1,5302	7,127
2,5	127,43	1,0672	0,7185	1,392	535,4	2717	2182	1,6071	7,053
3,0	133,54	1,0733	0,6057	1,651	561,4	2725	2164	1,672	6,992
3,5	138,88	1,0786	0,5241	1,908	584,5	2732	2148	1,728	6,941
4,0	143,62	1,0836	0,4624	2,163	604,7	2738	2133	1,177	6,897
4,5	147,92	1,0883	0,4139	2,416	623,4	2744	2122	1,8821	6,857
5,0	151,84	1,0927	0,3747	2,660	640,1	2749	2109	1,860	6,822
6,0	158,84	1,0117	0,3156	3,169	670,5	2757	2086	1,931	6,761
7,0	164,96	1,1081	0,2728	3,666	697,2	2764	2067	1,992	6,709
8,0	170,42	1,1149	0,2403	4,161	720,9	2769	2048	2,046	6,663
9,0	175,35	1,1213	0,2149	4,654	742,8	2774	2031	2,094	6,623
10,0	179,88	1,1273	0,1946	5,139	762,7	2778	2015	2,138	6,587
11,0	184,05	1,1331	0,1775	5,634	781,1	2781	2000	2,179	6,554
12,0	187,95	1,1385	0,1633	6,124	798,3	2785	1987	2,216	6,523
13,0	191,60	1,1438	0,1512	6,0614	814,5	2787	1973	2,251	6,495
14,0	195,04	1,1490	0,1408	7,103	830,0	2790	1960	2,284	6,469
15,0	198,28	1,1539	0,1317	7,493	844,6	2792	1947	2,314	6,445
16,0	201,36	1,1586	0,1238	8,080	858,3	2793	1935	2,344	6,422
17,0	204,30	1,1632	0,1167	8,569	871,6	2795	1923	2,371	6,400
18,0	207,10	1,1678	0,1104	9,058	884,4	2796	1912	2,397	6,379
19,0	209,78	1,1722	0,1047	9,449	896,6	2798	1901	2,422	6,359
20,0	212,37	1,1766	0,09958	10,041	908,5	2799	1891	2,447	6,340
30,0	233,83	1,2163	0,06665	15,0	1008,3	2804	1796	2,646	6,186
40,0	250,33	1,2520	0,04977	20,09	1087,5	2801	1713	2,796	6,070
50,0	263,91	1,2857	0,03944	25,35	1154,4	2794	1640	2,921	5,973
60,0	275,56	1,3185	0,03243	30,84	1213,9	2785	1570,8	3,027	5,890
70,0	285,80	1,3510	0,02437	36,44	1267,4	2772	1504,9	3,122	5,814
80,0	294,98	1,3838	0,02352	42,52	1317,0	2758	1441,1	3,208	5,745
90,0	303,32	1,4174	0,02048	48,83	1363,7	2743	1379,3	3,287	5,678
100,0	310,96	1,4521	0,01803	55,46	1407,7	2725	1317,0	3,360	5,615
120,0	324,63	1,527	0,01426	70,13	1491,1	2685	1193,5	3,496	5,492
140,0	336,63	1,611	0,01149	87,03	1570,8	2638	1066,9	3,623	5,372
160,0	347,32	1,710	0,00931	107,3	1650	2582	932,0	3,746	5,247
180,0	356,96	1,837	0,00750	133,2	1732	2510	778,2	3,871	5,107
200,0	365,71	2,040	0,00585	170,9	1827	2410	583	4,015	4,928
220,0	373,7	2,730	0,00367	272,5	2016	2168	152	4,303	4,591

Список литературы

1. Чечеткий А.В., Занемонец Н.А. Теплотехника, – М.: Высш. шк., 1986. –344 с.
2. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача: Учеб. пособие для вузов. 3-е изд., испр. и доп. – М: Высш. шк., . 1980. – 469 с.
3. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейдлин А.Е. Техническая термодинамика, 4-е изд. – М: Энергоиздат, 1983 – 416 с.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры И задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. 10-е изд. Л.:Химия, 1987. – 522 с.
5. Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена: Учеб. пособие для энергомашиностроит. спец. вузов. В.Н. Афанасьев, С.И. Исаев, И.А. Кошинов и др. – М.:Высш. шк. 1986. – 381 с.
6. Рабинович О.М. Сборник задач по технической термодинамике. – М., 1973.
7. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара: Справочник. 2-е изд., переработ. и доп., – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 80с.

Воронин Александр Михайлович

Термодинамика

Методические указания и контрольные задания.

Компьютерный набор и верстка авторов.

Подготовка к печати – А.М. Воронин