

Индивидуальное домашнее задание № 1

Задача 1. Расчет газовой смеси

Газовая смесь состоит из нескольких компонентов, содержание которых в смеси задано в процентах по объему (табл. 1).

Определить: 1) кажущуюся молекулярную массу смеси; 2) газовую постоянную смеси; 3) средние мольную, объемную и массовую теплоемкости смеси при постоянном давлении в пределах температур от t_1 до t_2 (табл.2).

При решении этой задачи и последующих задач для всех исходных и итоговых величин, кроме относительных, безразмерных величин, должны быть указаны единицы измерения.

В конце задачи следует ответить письменно на следующие вопросы:

1. Что называется удельной газовой постоянной? Единица ее измерения в системе СИ. Чем она отличается от универсальной газовой постоянной?
2. Что представляют собой массовая, объемная и мольная теплоемкости. Каковы единицы их измерения в системе СИ. Какова связь между указанными теплоемкостями.
3. Какие факторы влияют на величину теплоемкости.

Таблица 1.

Последняя цифра шифра	Компоненты смеси, % по объему			
	CO ₂	O ₂	N ₂	CO
1	20	5	75	-
2	18	4	78	-
3	14	3	83	-
4	8	10	82	-
5	18	-	72	10
6	12	-	74	14
7	10	-	60	30
8	24	-	50	26
9	20	-	52	28
0	32	-	50	18

Таблица 2.

Показатели	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Температура смеси:										
Начальная $t_1, ^\circ\text{C}$	126	366	592	818	286	456	626	918	742	1342
Конечная $t_2, ^\circ\text{C}$	528	926	1492	1217	1183	813	1342	1566	1643	2143

Литература: [2, С. 27-32, 62-73]; [4, С. 30-38, 39-56].

Таблицы теплоемкостей газов указаны в приложении.

Задача 2. Расчет политропного процесса сжатия газовой смеси в компрессоре

Рабочее тело – газовая смесь, имеющая тот же состав, что и в задаче № 1 (в процентах по объему). Первоначальный объем, занимаемый газовой смесью, - V_1 (табл. 3). Начальные параметры состояния: давление $p_1 = 0,1$ МПа, температура $t_1 = 27^\circ\text{C}$. Процесс сжатия происходит при показателе политропы n . Давление смеси в конце сжатия P_2 , МПа. (Табл. 3).

Определить: 1) массу газовой смеси; 2) уд. объемы смеси в начале и в конце процесса; 3) объем, занимаемый смесью в конце процесса; 4) температуру газовой смеси в конце процесса; 5) работу сжатия в процессе; 6) работу, затрачиваемую на привод компрессора; 7) изменение внутренней энергии газовой смеси; 8) массовую теплоемкость рабочего тела в данном процессе; 9) количество теплоты, участвующего в процессе; 10) изменение энтропии в процессе.

Таблица 3.

Показатели	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Объем смеси V_1 , м^3	5	10	15	25	40	50	70	90	100	120
Показатель политропы n	1,1	1,2	1,17	1,16	1,22	1,18	1,15	1,17	1,13	1,14
Давление P_2 , МПа	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4

Построить (в масштабе) рассмотренный процесс в координатах p - v и T - s .

Необходимые для решения задачи теплоемкости компонентов газовой смеси принять независимыми от температуры. Значения теплоемкостей газов можно принять при температуре равной 0°C из приложения данного методического указания.

Газовую постоянную смеси взять из решения задачи №1.

Ответить в письменном виде на следующие вопросы:

1. В каких пределах может изменяться показатель политропного процесса?
2. В каких пределах может изменяться теплоемкость рабочего тела в политропном процессе?
3. Как выглядит уравнение 1-го закона термодинамики применительно к рассмотренному в задаче процессу?
4. Как зависит работа, затрачиваемая на привод компрессора, от показателя политропы n , почему?

Литература: [2, С. 56-57, 88-94]; [4, С. 57-61, 102-116].

Литература

1. Кушнырев В. И. и др. Техническая термодинамика и теплопередача.
2. Нащокин В. В. Техническая теплопередача и термодинамика. – М.: Высшая школа, 1978.
3. Арнольд Л.В., Михайловский Г. А., Селиверстов В. М. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: Высшая школа, 1979..
4. Рабинович О. М. Сборник задач по технической термодинамике. – М.: Машиностроение, 1969.
5. Теплотехника под ред. В. Н. Луканина, 2000.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Средняя массовая теплоемкость газов при постоянном давлении
 C_p , кДж/(кг·К)

$t, ^\circ\text{C}$	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воздух (абсолютно сухой)
0	0,9148	1,0304	1,0396	0,8148	1,8594	0,607	1,0036
100	0,9232	1,0316	1,0417	0,8658	1,8728	0,636	1,0061
200	0,9353	1,0346	1,0463	0,9102	1,8937	0,662	1,0115
300	0,9500	1,0400	1,0538	0,9487	1,9192	0,687	1,0191
400	0,9651	1,0475	1,0634	0,9826	1,9477	0,708	1,0283
500	0,9793	1,0567	1,0748	1,0128	1,9778	0,724	1,0387
600	0,9927	1,0668	1,0861	1,0396	2,0092	0,737	1,0496
700	1,0048	1,0777	1,0978	1,0639	2,0419	0,754	1,0605
800	1,0157	1,0881	1,1091	1,0852	2,0754	0,762	1,0710
900	1,0258	1,0982	1,1200	1,1045	2,1097	0,775	1,0815
1000	1,0350	1,1078	1,1304	1,1225	2,1436	0,783	1,0907
1100	1,0434	1,1170	1,1401	1,1384	2,1771	0,791	1,0999
1200	1,0509	1,1258	1,4493	1,1530	2,2106	0,795	1,1082
1300	1,0580	1,1342	1,1577	1,1660	2,2429	-	1,1166
1400	1,0647	1,1422	1,1656	1,1782	2,2743	-	1,1242
1500	1,0714	1,1497	1,1731	1,1895	2,3048	-	1,1313
1600	1,0773	1,1564	1,1798	1,1995	2,3346	-	1,1380
1700	1,0831	1,1631	1,1865	1,2091	2,3630	-	1,1443
1800	1,0886	1,1690	1,1924	1,2179	2,3907	-	1,1501
1900	1,0940	1,1748	1,1983	1,2259	2,4166	-	1,1560
2000	1,0990	1,1803	1,2033	1,2334	2,4422	-	1,1610

Средняя массовая теплоемкость газов при постоянном объеме
 C_V , кДж/(кг·К)

$t, ^\circ\text{C}$	O_2	N_2	CO	CO_2	H_2O	SO_2	Воздух (абсолютн о сухой)
0	0,6548	0,7352	0,7427	0,6259	1,3980	0,477	0,7164
100	0,6632	0,7365	0,7448	0,6770	1,4114	0,507	0,7193
200	0,6753	0,7394	0,7494	0,7214	1,4323	0,532	0,7243
300	0,6900	0,7448	0,7570	0,7599	1,4574	0,557	0,7319
400	0,7015	0,7524	0,7666	0,7938	1,4863	0,578	0,7415
500	0,7193	0,7616	0,7775	0,8240	1,5160	0,595	0,7519
600	0,7827	0,7716	0,7892	0,8508	1,5474	0,607	0,7624
700	0,7448	0,7821	0,8009	0,8746	1,5805	0,624	0,7733
800	0,7557	0,7926	0,8122	0,8964	1,6140	0,632	0,7842
900	0,7658	0,8030	0,8231	0,9157	1,6483	0,645	0,7942
1000	0,7750	0,8127	0,8336	0,9332	1,6823	0,653	0,8039
1100	0,7834	0,8219	0,8432	0,9496	1,7158	0,662	0,8127
1200	0,7913	0,8307	0,8566	0,9638	1,7488	0,666	0,8215
1300	0,7984	0,8390	0,8608	0,9772	1,7815	-	0,8294
1400	0,8051	0,8470	0,8688	0,9893	1,8129	-	0,8369
1500	0,8114	0,8541	0,8763	1,0006	1,8434	-	0,8441
1600	0,8173	0,8612	0,8830	1,0107	1,8728	-	0,8508
1700	0,8231	0,8675	0,8893	1,0203	1,9016	-	0,8570
1800	0,8286	0,8738	0,8956	1,0291	1,9293	-	0,8633
1900	0,8340	0,8792	0,9014	1,0371	1,9552	-	0,8688
2000	0,8390	0,8847	0,9064	1,0446	1,9804	-	0,8742

Средняя объемная теплоемкость газов при постоянном давлении
 C_p , кДж/(м³·К)

t, °C	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воздух (абсолютно сухой)
0	1,3059	1,2946	1,2992	1,5998	1,493	1,733	1,2971
100	1,3176	1,2958	1,3017	1,7003	1,502	1,813	1,3004
200	1,3352	1,2996	1,3071	1,7873	1,5223	1,888	1,3071
300	1,3561	1,3067	1,3167	1,8627	1,5424	1,955	1,3172
400	1,3775	1,3163	1,3289	1,9297	1,5654	2,018	1,3289
500	1,3980	1,3276	1,3427	1,9887	1,5897	2,068	1,3427
600	1,4168	1,3402	1,3574	2,0411	1,6148	2,114	1,3565
700	1,4344	1,3536	1,3720	2,0884	1,6412	2,152	1,3708
800	1,4499	1,3670	1,3862	2,1311	1,6680	2,181	1,3842
900	1,4645	1,3796	1,3396	2,1692	1,6957	2,215	1,3976
1000	1,4775	1,3917	1,4126	2,2035	1,7229	2,236	1,4097
1100	1,4892	1,4034	1,4248	2,2349	1,7501	2,261	1,4214
1200	1,5005	1,4143	1,4361	2,2638	1,7769	2,278	1,4327
1300	1,5106	1,4252	1,4465	2,2898	1,8028	-	1,4432
1400	1,5202	1,4348	1,4566	2,3136	1,8280	-	1,4528
1500	1,5294	1,4440	1,4658	2,3354	1,8527	-	1,4620
1600	1,5378	1,4528	1,4746	2,3555	1,8761	-	1,4708
1700	1,5462	1,4612	1,4825	2,3743	1,8996	-	1,4867
1800	1,5541	1,4687	1,4901	2,3915	1,9213	-	1,4867
1900	1,5617	1,4758	1,4972	2,4074	1,9423	-	1,4939
2000	1,5692	1,4825	1,5039	2,4221	1,9628	-	1,5010

Средняя объемная теплоемкость газов при постоянном объеме
 C_v , кДж/(м³·К)

T, °C	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воздух (абсолютно сухой)
0	0,9349	0,9236	0,9282	1,2288	1,1237	1,361	0,9261
100	0,9466	0,9249	0,9307	1,3293	1,1342	1,440	0,9295
200	0,9642	0,9286	0,9362	1,4164	1,1514	1,516	0,9362
300	0,9852	0,9357	0,9458	1,4918	1,1715	1,587	0,9462
400	1,0065	0,9454	0,9579	1,5587	1,1945	1,645	0,9579
500	1,0270	0,9567	0,9718	1,6178	1,2188	1,700	0,9718
600	1,0459	0,9692	0,9864	1,6701	1,2439	1,742	0,9856
700	1,0634	0,9826	1,0011	1,7174	1,2703	1,779	0,9998
800	1,0789	0,9960	1,0153	1,7601	1,2971	1,813	1,0132
900	1,0936	1,0086	1,0287	1,7982	1,3247	1,842	1,0262
1000	1,1066	1,0207	1,0417	1,8326	1,3519	1,867	1,0387
1100	1,1183	1,0325	1,0538	1,8640	1,3791	1,888	1,0505
1200	1,1296	1,0434	1,0651	1,8929	1,4059	1,905	1,0618
1300	1,1396	1,0542	1,0756	1,9188	1,4319	-	1,0722
1400	1,1493	1,0639	1,0856	1,9427	1,4570	-	1,0819
1500	1,1585	1,0731	1,0948	1,9644	1,4817	-	1,0911
1600	1,1669	1,0819	1,1036	1,9845	1,5052	-	1,0999
1700	1,1752	1,0902	1,1116	2,0034	1,5286	-	1,1078
1800	1,1832	1,0978	1,1191	2,0205	1,5504	-	1,1158
1900	1,1907	1,1049	1,1262	2,0365	1,5713	-	1,1229
2000	1,1978	1,1116	1,1329	2,0511	1,5918	-	1,1296

Средняя молярная теплоемкость газов при постоянном давлении
 μC_p , кДж/(кмоль·К)

T, °C	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воздух (абсолютн о сухой)
0	29,274	29,019	29,123	35,860	33,499	38,85	29,073
100	29,538	29,048	29,178	38,112	33,741	40,65	29,152
200	29,931	29,132	29,303	40,059	34,118	42,33	29,299
300	30,400	29,287	29,517	41,755	34,575	43,88	29,521
400	30,878	29,500	29,789	43,250	35,090	45,22	29,789
500	31,334	29,764	30,099	44,573	35,630	46,39	30,095
600	31,761	30,044	30,425	45,453	36,195	47,35	30,405
700	32,150	30,341	30,752	46,813	36,789	48,23	30,723
800	32,502	30,635	31,070	47,763	37,392	48,94	31,028
900	32,825	30,924	31,376	48,617	38,008	49,61	31,321
1000	33,118	31,196	31,665	49,392	38,619	50,16	31,598
1100	33,386	31,455	31,937	50,099	39,226	50,66	31,862
1200	33,633	31,707	32,192	50,740	39,825	51,08	32,109
1300	33,863	31,941	32,427	51,322	40,407	-	32,343
1400	34,076	32,163	32,653	51,858	40,976	-	32,575
1500	34,282	32,372	32,858	52,348	41,525	-	32,774
1600	34,474	32,565	33,051	52,800	42,056	-	32,967
1700	34,658	32,749	33,231	63,218	42,576	-	33,151
1800	34,834	32,917	33,402	53,504	43,070	-	33,319
1900	35,006	33,080	33,561	53,959	43,539	-	33,482
2000	35,169	33,231	33,708	54,290	43,995	-	33,641

Средняя молярная теплоемкость газов при постоянном объеме
 μC_v , кДж/(кмоль·К)

$t, ^\circ\text{C}$	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воздух (абсолютн о сухой)
0	20,959	20,704	20,808	27,545	25,184	30,52	20,758
100	21,223	20,733	20,863	29,797	25,426	32,52	20,838
200	21,616	20,800	20,988	31,744	25,803	34,00	20,984
300	22,085	20,972	21,202	33,440	26,260	35,55	21,206
400	22,563	21,185	21,474	34,905	26,775	36,89	21,474
500	21,019	21,449	21,784	36,258	27,315	38,06	21,780
600	23,446	21,729	22,110	37,438	27,880	39,02	22,090
700	23,835	22,027	22,437	38,498	28,474	39,90	22,408
800	24,187	22,320	22,755	39,448	29,071	40,61	22,713
900	24,510	22,609	23,061	40,302	29,693	42,28	23,006
1000	24,803	22,881	23,350	41,077	30,304	41,83	23,283
1100	25,071	23,140	23,622	41,784	30,911	42,33	23,547
1200	25,318	23,322	23,877	42,425	31,510	42,75	23,794
1300	25,548	23,626	24,112	43,007	32,092	-	24,028
1400	25,761	23,848	24,338	43,543	32,661	-	24,250
1500	25,967	24,057	24,543	44,033	33,210	-	24,459
1600	26,159	24,250	24,736	44,485	33,741	-	24,652
1700	26,343	24,434	24,916	44,903	34,261	-	24,836
1800	26,519	24,602	25,087	45,289	34,755	-	25,004
1900	26,691	24,765	25,246	45,644	35,224	-	25,167
2000	26,854	24,916	25,393	45,975	35,680	-	25,326