

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВОЙ СМЕСИ

Термодинамика

Автор: **С.В. Рыжков**
Кафедра Э-6, «Теплофизика»
(срок сдачи - 6 неделя)

Условие. Сосуд разделен адиабатной перегородкой на четыре части, в каждой из которых содержатся различные газы. После того, как перегородка убрана, происходит так называемое смешение в объеме без теплообмена с окружающей средой. Состояния газов до смешения характеризуются следующими параметрами: массой m_i , кг; объемом V_{i0} , м³; температурой t_{i0} , °С ($i=1,2,3,4$), которые приведены в таблице исходных данных в соответствии с номером варианта.

Необходимо определить:

1. Температуру смеси после завершения процесса смешения $t_{см}$, °С.
2. Давление смеси $p_{см}$, МПа.
3. Газовую постоянную смеси $R_{см}$, кДж/(кг · К).
4. Среднюю молярную массу смеси $\mu_{см}$, кг/кмоль.
5. Объемные доли компонентов смеси r_i .
6. Мольные доли компонентов смеси x_i .
7. Парциальные давления компонентов смеси p_i , МПа.
8. Парциальные объемы компонентов смеси V_i , м³.
9. Истинную молярную теплоемкость смеси при $p=\text{const}$ для температуры смеси, которая устанавливается после окончания процесса смешения $\mu_{ср}$, кДж/(кмоль · К).
10. Истинную объемную теплоемкость смеси при $p=\text{const}$ и нормальных условиях для температуры смеси c_p' , кДж/(м³ · К).
11. Истинную массовую теплоемкость смеси при $p=\text{const}$ для температуры смеси c_p , кДж/(кг · К).
12. Количество теплоты, отводимое от 3 кмоль смеси для охлаждения ее при $p=\text{const}$ от температуры смеси до 300 К.
13. Количество теплоты, отводимое от 5 м³ смеси для охлаждения ее при $p=\text{const}$ от температуры смеси до 300 К.
14. Количество теплоты, отводимое от 7 кг смеси для охлаждения ее при $p=\text{const}$ от температуры смеси до 300 К.

Исходные данные

N вар.	Комп. смеси	m_i , кг	V_{i0} , м ³	t_{i0} , °C	N вар.	Комп. смеси	m_i , кг	V_{i0} , м ³	t_{i0} , °C
1	O ₂	10	1,5	100	2	N ₂	10	1,5	100
	N ₂	5	1,0	200		H ₂	5	1,0	200
	H ₂	30	2,5	800		CO	30	2,5	800
	CO	15	3,0	1000		CO ₂	15	3,0	1000
3	H ₂	10	1,5	100	4	CO	10	1,5	100
	CO	5	1,0	200		CO ₂	5	1,0	200
	CO ₂	30	2,5	800		SO ₂	30	2,5	800
	SO ₂	15	3,0	1000		H ₂ O	15	3,0	1000
5	O ₂	16	3,2	1020	6	O ₂	31	2,7	820
	CO ₂	11	1,7	120		N ₂	16	3,2	1020
	SO ₂	6	1,2	220		SO ₂	11	1,7	120
	H ₂ O	31	2,7	820		H ₂ O	6	1,2	220
7	O ₂	6	1,2	220	8	O ₂	11	1,7	120
	N ₂	31	2,7	820		N ₂	6	1,2	220
	H ₂	16	3,2	1020		H ₂	31	2,7	820
	H ₂ O	11	1,7	120		CO	16	3,2	1020
9	N ₂	12	1,9	140	10	H ₂	12	1,9	140
	H ₂	7	1,4	240		CO	7	1,4	240
	CO	32	2,9	840		CO ₂	32	2,9	840
	CO ₂	17	3,4	1040		SO ₂	17	3,4	1040
11	CO	12	1,9	140	12	O ₂	17	3,4	1040
	CO ₂	7	1,4	240		CO ₂	12	1,9	140
	SO ₂	32	2,9	840		SO ₂	7	1,4	240
	H ₂ O	17	3,4	1040		H ₂ O	32	2,9	840
13	O ₂	33	3,1	860	14	O ₂	8	1,6	260
	N ₂	18	3,6	1060		N ₂	33	3,1	860
	SO ₂	13	2,1	160		H ₂	18	3,6	1060
	H ₂ O	8	1,6	260		H ₂ O	13	2,1	160
15	O ₂	13	2,1	160	16	N ₂	13	2,1	160
	N ₂	8	1,6	260		H ₂	8	1,6	260
	H ₂	33	3,1	860		CO	33	3,1	860
	CO	18	3,6	1060		CO ₂	18	3,6	1060
17	H ₂	14	2,3	180	18	CO	14	2,3	180
	CO	9	1,8	280		CO ₂	9	1,8	280
	CO ₂	34	3,3	880		SO ₂	34	3,3	880
	SO ₂	19	3,8	1080		H ₂ O	19	3,8	1080

N вар.	Комп. смеси	m_i , кг	V_{i0} , м ³	t_{i0} , °C	N вар.	Комп. смеси	m_i , кг	V_{i0} , м ³	t_{i0} , °C
19	O2	19	3,8	1080	20	O2	34	3,3	880
	CO2	14	2,3	180		N2	19	3,8	1080
	SO2	9	1,8	280		SO2	14	2,3	180
	H2O	34	3,3	880		H2O	9	1,8	280
21	O2	10	2,0	300	22	O2	15	2,5	200
	N2	35	3,5	900		N2	10	2,0	300
	H2	20	4,0	1100		H2	35	3,5	900
	H2O	15	2,5	200		CO	20	4,0	1100
23	N2	15	2,5	200	24	H2	15	2,5	200
	H2	10	2,0	300		CO	10	2,0	300
	CO	35	3,5	900		CO2	35	3,5	900
	CO2	20	4,0	1100		SO2	20	4,0	1100
25	CO	16	2,7	220	26	O2	21	4,2	1120
	CO2	11	2,2	320		CO2	16	2,7	220
	SO2	36	3,7	920		SO2	11	2,2	320
	H2O	21	4,2	1120		H2O	36	3,7	920
27	O2	36	3,7	920	28	O2	11	2,2	320
	N2	21	4,2	1120		CO2	36	3,7	920
	SO2	16	2,7	220		H2	21	4,2	1120
	H2O	11	2,2	320		H2O	16	2,7	220
29	O2	17	2,9	240	30	N2	17	2,9	240
	N2	12	2,4	340		H2	12	2,4	340
	H2	37	3,9	940		CO	37	3,9	940
	CO	22	4,4	1140		CO2	22	4,4	1140

Методические указания

Считать компоненты смеси идеальными газами.

При определении истинной или средней теплоемкостей по таблицам Приложения [1] пользоваться линейной интерполяцией.

Температуру смеси после окончания процесса смешения следует определять методом последовательных приближений.

Начальное приближение для температуры смеси можно вычислить, полагая теплоемкости компонентов смеси равными друг другу по следующей формуле

$$t_{см}^0 = \frac{\sum_{i=1}^4 m_i t_{i0}}{\sum_{i=1}^4 m_i}$$

Точность определения температуры смеси должна быть не менее 1⁰C.

При выполнении каждого пункта задания сохранить приведенную выше нумерацию.

Использовать Международную систему единиц измерения (СИ).

Теоретические основы технической термодинамики, необходимые для выполнения задания, находятся в учебнике [2].

Краткие методические указания к выполнению ДЗ 1 по термодинамике.

1. Находим среднюю молярную теплоемкость при $p=\text{const}$ газов до смешения, используя таблицу. Чтобы найти ее при $v=\text{const}$, воспользуемся уравнением Майера.

$$\mu c_v = \mu c_p - R_\mu$$

После нахождения температуры смеси в начальном приближении используем уравнение теплового баланса для определения $t_{\text{см}}$ в последующих приближениях:

$$Q = \sum m_i \cdot c_{vi} \Big|_o^{t_{\text{см}}} \cdot (t_{\text{см}} - t_{i0}) = 0,$$

где

$$c_v \Big|_o^{t_{i0}} = \frac{c_v \Big|_o^{t_{\text{см}}} \cdot t_{\text{см}} - c_v \Big|_o^{t_{i0}} \cdot t_{i0}}{t_{\text{см}} - t_{i0}}.$$

Подставляя, получим:

$$t_{\text{см}} = \frac{\sum m_i \cdot c_{vi} \Big|_o^{t_{i0}} \cdot t_{i0}}{\sum m_i \cdot c_{vi} \Big|_o^{t_{\text{см}}}}$$

В случае использования молярной теплоемкости находим количество вещества ν :

$$\nu = \frac{m_i}{\mu_i}$$

Находим температуру нулевого приближения.

$$t_{\text{см}}^{(0)} = \frac{\sum_i \nu_i t_{i0}}{\sum_i \nu_i}$$

Считаем энергию до смешения:

$$U_0 = \sum_{i=1}^4 v_i \cdot \mu c_{vi} \Big|_0^{t_{io}} \cdot t_{io}$$

Первое приближение:

$$t_{см}^{(1)} = \frac{U_0}{\sum_i v_i \mu c_{vi} \Big|_0^{t_{см}^{(0)}}}$$

Второе приближение:

$$t_{см}^{(2)} = \frac{U_0}{\sum_i v_i \mu c_{vi} \Big|_0^{t_{см}^{(1)}}}$$

Третье приближение:

$$t_{см}^{(3)} = \frac{U_0}{\sum_i v_i \mu c_{vi} \Big|_0^{t_{см}^{(2)}}}$$

Расчет температуры смеси ведется до тех пор, пока разность между двумя соседними приближениями не составляет менее 1°C .

2. Находим давление смеси из уравнения состояния смеси идеальных газов:

$$P_{см} \cdot V_{см} = m_{см} \cdot R_{см} \cdot T_{см}$$

3. Находим газовую постоянную смеси:

$$R_{см} = \sum g_i R_i$$

$$R_i = \frac{R_{\mu}}{\mu_i}, \quad g_i = \frac{m_i}{\sum m_i} \Rightarrow R_{см} = \frac{R_{\mu}}{\sum m_i} \sum \frac{m_i}{\mu_i}$$

4. Определяем относительную молярную (кажущуюся) массу смеси:

$$\mu_{см} = \frac{R_{\mu}}{R_{см}} \cdot 10^3$$

5. Находим объемные доли компонентов

$$r_i = g_i \frac{\mu_{см}}{\mu_i} \Rightarrow r_i = \frac{m_i}{\mu_i} \frac{\mu_{см}}{m_{см}}$$

6. Мольные доли компонентов смеси:

$$x_i = \frac{v_i}{\sum v_i}$$

7. Определяем парциальные давления компонентов смеси:

$$p_i = p_{см} \cdot r_i$$

8. Парциальные объемы компонентов:

$$V_i = V_{см} \cdot r_i$$

9. Истинная молярная теплоемкость смеси при $p = \text{const}$ для температуры смеси, которая устанавливается после окончания процесса смешения:

$$\mu c_{pсм} = \sum_i \mu c_{pi} \cdot r_i$$

10. Истинная объемная теплоемкость смеси при $p = \text{const}$ и нормальных физических условиях для температуры смеси:

$$c'_{pсм} = \frac{\mu c_{pсм}}{V_{\mu}}, \text{ где } V_{\mu} - \text{объем 1 кмоль идеального газа при н.ф.у.}$$

11. Истинная массовая теплоемкость смеси при $p = \text{const}$ для температуры смеси:

$$c_{pсм} = \frac{\mu c_{pсм}}{\mu_{см}}$$

12. Количество теплоты, отводимое от смеси для охлаждения ее при $p = \text{const}$ от температуры смеси до T (через средние теплоемкости):

$$Q = \mu c_{pсм} \Big|_t^{t_{см}} \cdot v \cdot (T - T_{см})$$

13. Количество теплоты, которое необходимо отвести от V смеси при $p = \text{const}$ для ее охлаждения до T :

$$Q = c'_{pсм} \Big|_t^{t_{см}} \cdot V \cdot (T - T_{см}), \quad c'_{pсм} = \frac{\mu c_{pсм}}{V_{см}} \cdot \gamma_{см}$$

14. Количество теплоты, которое необходимо отвести от m смеси при $p = \text{const}$ для ее охлаждения до T :

$$Q = c_{pсм} \Big|_t^{t_{см}} \cdot m \cdot (T - T_{см})$$

Список литературы:

1. Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена: Учеб. пособие для энергомашиностроит. спец. вузов / В.Н. Афанасьев, С.И. Исаев, И.А. Кожин и др.; Под ред. В.И. Крутова и Г.Б. Петражицкого. – М.: Высш. шк., 1986. – 383 с.
2. Техническая термодинамика: Учеб. для машиностроит. спец. вузов / В.И. Крутов, С.И. Исаев, И.А. Кожин и др.; Под ред. В.И. Крутова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 384 с.