

Задание №1. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

1.1. Общие сведения

Под газовой смесью понимается смесь газов, не вступающих между собой в химические реакции. Составляющие смесь отдельные газы называются *компонентами*. Каждый компонент смеси распространяется по всему объему смеси.

Давление, которое имел бы каждый компонент, входящий в состав смеси, если бы он находился один в том же объеме и при той же температуре, что и смесь, называется *парциальным давлением компонента* (от латинского *pars* – часть).

По закону *Дальтона* давление смеси равно сумме парциальных давлений ее компонентов, т.е.:

$$P_{CM} = P_1 + P_2 + \dots + P_n = \sum_1^n P_i, \text{ Па} \quad (1.1)$$

где $P_{1,2,\dots,n}$ – парциальные давления газов, составляющих данную смесь, Па;

Таким образом, каждый компонент смеси, занимая весь объем смеси, находится под своим парциальным давлением. Но если этот компонент поместить под давлением P_{CM} при той же температуре смеси T_{CM} , то он займет объем V_i меньший, чем объем V_{CM} . Этот объем V_i называют *приведенным* или *парциальным*.

Объем смеси равен сумме парциальных объемов ее компонентов:

$$V_{CM} = V_1 + V_2 + \dots + V_n = \sum_1^n V_i \quad (1.2)$$

где V_{CM} – полный объем смеси газов, м³;

V_1, V_2, \dots, V_n – объемы компонентов смеси при P_{CM} и T_{CM} .

Состав газовой смеси чаще всего задается массовым или объемным способом.

Массовой долей каждого компонента называется отношение массы данного компонента к массе всей смеси:

$$g_i = \frac{m_i}{m_{CM}} \quad (1.3)$$

где m_i – масса данного компонента, кг;

m_{CM} – масса всей смеси, содержащая « n » компонентов, кг.

Очевидно, что сумма массовых долей компонентов входящих в смесь, всегда равна единице:

$$g_1 + g_2 + \dots + g_n = 1 \quad (1.4)$$

Объемной долей компонента называется отношение парциального объема данного компонента V_i к объему всей смеси V_{CM} :

$$r_i = \frac{V_i}{V_{CM}} \quad (1.5)$$

Очевидно, что сумма объемных долей компонентов, входящих в смесь, всегда равна единице:

$$r_1 + r_2 + \dots + r_n = 1 \quad (1.6)$$

1.2. Порядок выполнения задания

Рассчитать параметры газовой смеси заданного состава.

Известными величинами являются следующие (см. приложения 1 и 2):

1. Средняя температура смеси:

$$t_{CP} = \text{_____ } ^\circ\text{C}$$

2. Массовый состав газовой смеси:

$$m_{CO_2} = \text{_____ кг}$$

$$m_{O_2} = \text{_____ кг}$$

$$m_{N_2} = \text{_____ кг}$$

$$m_{H_2O} = \text{_____ кг}$$

$$m_{CO} = \text{_____ кг}$$

3. Давление газовой смеси:

$$P_{CM} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Па}$$

Определить:

- 1) Кажущуюся молекулярную массу смеси;
- 2) Газовую постоянную смеси;
- 3) Удельную массовую изобарную и изохорную теплоемкость смеси;
- 4) Парциальные давления газов, входящих в смесь;
- 5) Плотность газовой смеси.

Решение

1. Определяем массу газовой смеси:

$$m_{CM} = m_{CO_2} + m_{O_2} + m_{N_2} + m_{H_2O} + m_{CO}, \text{ кг} \quad (1.7)$$

2. Определяем массовые доли g_i компонентов газовой смеси по формуле (1.3):

$$g_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{m_{CM}}$$

$$g_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{m_{CM}}$$

$$g_{N_2} = \frac{m_{N_2}}{m_{CM}}$$

$$g_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{m_{CM}}$$

$$g_{CO} = \frac{m_{CO}}{m_{CM}}$$

Выполнить проверку:

$$g_{CO_2} + g_{O_2} + g_{N_2} + g_{H_2O} + g_{CO} \cong 1 \quad (1.8)$$

3. Кажущаяся молекулярная масса смеси:

$$\mu_{CM} = \frac{1}{\sum \frac{g_i}{\mu_i}}, \text{ кг/кмоль} \quad (1.9)$$

μ_i – молекулярная масса газа, входящего в газовую смесь, кг/кмоль, (см. приложение 3);

$$\mu_{CM} = \frac{1}{\frac{g_{CO_2}}{\mu_{CO_2}} + \frac{g_{O_2}}{\mu_{O_2}} + \frac{g_{N_2}}{\mu_{N_2}} + \frac{g_{H_2O}}{\mu_{H_2O}} + \frac{g_{CO}}{\mu_{CO}}} \quad (1.10)$$

4. Делаем пересчет из массового состава в объемный:

$$r_i = \frac{g_i \cdot \mu_{CM}}{\mu_i} \quad (1.11)$$

r_i – объемные доли компонентов газовой смеси.

$$r_{CO_2} = \frac{g_{CO_2} \cdot \mu_{CM}}{\mu_{CO_2}}$$

$$r_{O_2} = \frac{g_{O_2} \cdot \mu_{CM}}{\mu_{O_2}}$$

$$r_{N_2} = \frac{g_{N_2} \cdot \mu_{CM}}{\mu_{N_2}}$$

$$r_{H_2O} = \frac{g_{H_2O} \cdot \mu_{CM}}{\mu_{H_2O}}$$

$$r_{CO} = \frac{g_{CO} \cdot \mu_{CM}}{\mu_{CO}}$$

Выполнить проверку:

$$r_{CO_2} + r_{O_2} + r_{N_2} + r_{H_2O} + r_{CO} \cong 1 \quad (1.12)$$

5. Газовая постоянная смеси:

$$R_{CM} = \frac{8314}{\mu_{CM}}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \quad (1.13)$$

6. Удельная массовая изобарная теплоемкость газовой смеси:

$$C_{Pсм} = \Sigma(C_{P(i)} \cdot g_i) \quad (1.14)$$

где $C_{P(i)}$ – удельная массовая изобарная теплоемкость отдельного газа в смеси, кДж/(кг·К):

Теплоемкость $C_{P(i)}$ определяем по формулам:

$$C_{P(CO_2)} = 0,8725 + 2,406 \cdot 10^{-4} \cdot t_{CP}, \text{ кДж/(кг·К)};$$

$$C_{P(O_2)} = 0,919 + 1,065 \cdot 10^{-4} \cdot t_{CP}, \text{ кДж/(кг·К)};$$

$$C_{P(N_2)} = 1,032 + 8,955 \cdot 10^{-5} \cdot t_{CP}, \text{ кДж/(кг·К)};$$

$$C_{P(H_2O)} = 1,833 + 3,111 \cdot 10^{-4} \cdot t_{CP}, \text{ кДж/(кг·К)};$$

$$C_{P(CO)} = 1,035 + 9,681 \cdot 10^{-5} \cdot t_{CP}.$$

Найдем:

$$C_{Pсм} = C_{P(CO_2)} \cdot g_{(CO_2)} + C_{P(O_2)} \cdot g_{(O_2)} + C_{P(N_2)} \cdot g_{(N_2)} + \\ + C_{P(H_2O)} \cdot g_{(H_2O)} + C_{P(CO)} \cdot g_{(CO)}, \text{ кДж/(кг·К)} \quad (1.15)$$

7. Удельная массовая изохорная теплоемкость газовой смеси:

$$C_{Vсм} = \Sigma(C_{V(i)} \cdot g_i) \quad (1.16)$$

где $C_{V(i)}$ – удельная массовая изохорная теплоемкость отдельного газа в смеси, кДж/(кг·К).

Теплоемкость $C_{V(i)}$ определяем по формулам:

$$C_{V(CO_2)} = 0,6837 + 2,406 \cdot 10^{-4} \cdot t_{CP}, \text{ кДж/(кг·К)};$$

$$C_{V(O_2)} = 0,6594 + 1,065 \cdot 10^{-4} \cdot t_{CP}, \text{ кДж/(кг·К)};$$

$$C_{V(N_2)} = 0,7304 + 8,955 \cdot 10^{-5} \cdot t_{CP}, \text{ кДж/(кг·К)};$$

$$C_{V(H_2O)} = 1,372 + 3,111 \cdot 10^{-4} \cdot t_{CP}, \text{ кДж/(кг·К)};$$

$$C_{V(CO)} = 0,7331 + 9,681 \cdot 10^{-5} \cdot t_{CP}, \text{ кДж/(кг·К)};$$

Найдем:

$$C_{Vсм} = C_{V(CO_2)} \cdot g_{(CO_2)} + C_{V(O_2)} \cdot g_{(O_2)} + C_{V(N_2)} \cdot g_{(N_2)} + \\ + C_{V(H_2O)} \cdot g_{(H_2O)} + C_{V(CO)} \cdot g_{(CO)}, \text{ кДж/(кг·К)} \quad (1.17)$$

8. Парциальные давления компонентов смеси:

$$P_i = r_i \cdot P_{CM}, \text{ Па} \quad (1.18)$$

$$P_{CO_2} = r_{CO_2} \cdot P_{CM}, \text{ Па}$$

$$P_{O_2} = r_{O_2} \cdot P_{CM}, \text{ Па}$$

$$P_{N_2} = r_{N_2} \cdot P_{CM}, \text{ Па}$$

$$P_{H_2O} = r_{H_2O} \cdot P_{CM}, \text{ Па}$$

$$P_{CO} = r_{CO} \cdot P_{CM}, \text{ Па}$$

Выполняем проверку, используя закон Дальтона:

$$P_{CO_2} + P_{O_2} + P_{N_2} + P_{H_2O} + P_{CO} \cong P_{CM}, \text{ Па} \quad (1.19)$$

9. Плотность газовой смеси:

$$\rho_{CM} = \frac{1}{\sum \frac{g_i}{\rho_i}} = \sum (r_i \cdot \rho_i), \text{ кг/м}^3 \quad (1.20)$$

где ρ_i – плотность отдельного газа, входящего в смесь, кг/м^3 (см. приложение 3).

Отсюда получим:

$$\rho_{CM} = \frac{1}{\frac{g_{CO_2}}{\rho_{CO_2}} + \frac{g_{O_2}}{\rho_{O_2}} + \frac{g_{N_2}}{\rho_{N_2}} + \frac{g_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} + \frac{g_{CO}}{\rho_{CO}}}, \text{ кг/м}^3 \quad (1.21)$$

или

$$\rho_{CM} = r_{CO_2} \cdot \rho_{CO_2} + r_{O_2} \cdot \rho_{O_2} + r_{N_2} \cdot \rho_{N_2} + r_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} + r_{CO} \cdot \rho_{CO}, \text{ кг/м}^3 \quad (1.22)$$