

## Лабораторная работа №1.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

Рассчитать параметры газовой смеси заданного состава.

Известными величинами являются следующие (см. в конце работы):

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:

$$p_{CM} = \text{_____ Па}$$

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:

$$m_{CM} = m_{CO_2} + m_{O_2} + m_{N_2} + m_{H_2O} + m_{CO}, \text{ кг} \quad (1.1)$$

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

$$a) g_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{m_{CM}} \quad б) g_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{m_{CM}}$$

$$в) g_{N_2} = \frac{m_{N_2}}{m_{CM}} \quad г) g_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{m_{CM}}$$

$$д) g_{CO} = \frac{m_{CO}}{m_{CM}}$$

Выполнить проверку:

$$g_{CO_2} + g_{O_2} + g_{N_2} + g_{H_2O} + g_{CO} \cong 1 \quad (1.2)$$

3. Кажущаяся молекулярная масса смеси:

$$\mu_{CM} = \frac{1}{\sum \frac{g_i}{\mu_i}}, \text{ кг/кмоль} \quad (1.3)$$

$\mu_i$  – молекулярная масса газа, входящего в газовую смесь, кг/кмоль, (см. приложение 1);

$$\mu_{CM} = \frac{1}{\frac{g_{CO_2}}{\mu_{CO_2}} + \frac{g_{O_2}}{\mu_{O_2}} + \frac{g_{N_2}}{\mu_{N_2}} + \frac{g_{H_2O}}{\mu_{H_2O}} + \frac{g_{CO}}{\mu_{CO}}} \quad (1.4)$$

4. Делаем пересчет из массового состава в объемный:

$$r_i = \frac{g_i \cdot \mu_{CM}}{\mu_i} \quad (1.5)$$

$r_i$  – объемные доли компонентов газовой смеси.

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

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

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

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

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

Выполнить проверку:

$$r_{CO_2} + r_{O_2} + r_{N_2} + r_{H_2O} + r_{CO} \cong 1 \quad (1.6)$$

5. Газовая постоянная смеси:

$$R_{CM} = \frac{8314}{\mu_{CM}}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \quad (1.7)$$

6. Удельная массовая изобарная теплоемкость газовой смеси:

$$C_{P_{CM}} = \Sigma(C_{P(i)} \cdot g_i) \quad (1.8)$$

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

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

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

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

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

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

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

Найдем:

$$C_{P_{CM}} = C_{P(CO_2)} \cdot g_{(CO_2)} + C_{P(O_2)} \cdot g_{(O_2)} + C_{P(N_2)} \cdot g_{(N_2)} + C_{P(H_2O)} \cdot g_{(H_2O)} + C_{P(CO)} \cdot g_{(CO)}, \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \quad (1.9)$$

7. Удельная массовая изохорная теплоемкость газовой смеси:

$$C_{V_{CM}} = \Sigma(C_{V(i)} \cdot g_i) \quad (1.10)$$

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

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

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

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

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

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

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

Найдем:

$$C_{V_{CM}} = C_{V(CO_2)} \cdot g_{(CO_2)} + C_{V(O_2)} \cdot g_{(O_2)} + C_{V(N_2)} \cdot g_{(N_2)} + C_{V(H_2O)} \cdot g_{(H_2O)} + C_{V(CO)} \cdot g_{(CO)}, \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

(1.11)

8. Парциальные давления компонентов смеси:

$$P_i = r_i \cdot P_{CM}, \text{ Па} \quad (1.12)$$

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

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

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

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

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

Выполняем проверку, используя закон Дальтона:

$$P_{CO_2} + P_{O_2} + P_{N_2} + P_{H_2O} + P_{CO} \cong P_{CM}, \text{ Па} \quad (1.13)$$

9. Плотность газовой смеси:

$$\rho_{CM} = \frac{1}{\sum \frac{g_i}{\rho_i}} = \sum (r_i \cdot \rho_i), \text{ кг/м}^3 \quad (1.14)$$

где  $\rho_i$  – плотность отдельного газа, входящего в смесь, кг/м<sup>3</sup> (см. приложение 1).

Отсюда получим:

$$\rho_{CM} = \frac{1}{\frac{g_{CO_2}}{\rho_{CO_2}} + \frac{g_{O_2}}{\rho_{O_2}} + \frac{g_{N_2}}{\rho_{N_2}} + \frac{g_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} + \frac{g_{CO}}{\rho_{CO}}}, \text{ кг/м}^3 \quad (1.15)$$

или

$$\rho_{CM} = r_{CO_2} \cdot \rho_{CO_2} + r_{O_2} \cdot \rho_{O_2} + r_{N_2} \cdot \rho_{N_2} + r_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} + r_{CO} \cdot \rho_{CO}, \text{ кг/м}^3 \quad (1.16)$$

Приложение 1

Молекулярные массы, плотности и газовые постоянные важнейших газов при нормальных условиях

Вещество	Химическое обозначение	Молекулярная масса, $\mu_i$ , кг/кмоль	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Газовая постоянная $R_i$ , Дж/(кг·К)
Воздух	-	28,96	1,293	287,0
Кислород	O <sub>2</sub>	32,00	1,429	259,8
Азот	N <sub>2</sub>	28,026	1,251	296,8
Атмосферный азот <sup>1</sup>	N <sub>2</sub>	28,16	(1,257)	(295,3)
Гелий	He	4,003	0,179	2078,0
Аргон	Ar	39,994	1,783	208,2
Водород	H <sub>2</sub>	2,016	0,090	4124,0
Оксид углерода	CO	28,01	1,250	296,8
Двуокись углерода	CO <sub>2</sub>	44,01	1,977	188,9
Сернистый газ	SO <sub>2</sub>	64,06	2,926	129,8
Метан	CH <sub>4</sub>	16,032	0,717	518,8
Этилен	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28,052	1,251	290,6
Коксовый газ	-	11,50	0,515	721,0
Аммиак	NH <sub>3</sub>	17,032	0,771	488,3
Водяной пар <sup>2</sup>	H <sub>2</sub> O	18,016	(0,804)	(461)

<sup>1</sup> Атмосферный азот — условный газ, состоящий из азота воздуха вместе с двуокисью углерода и редкими газами, содержащимися в воздухе.

<sup>2</sup> Приведение водяного пара к нормальному состоянию является условным

**Варианты исходных данных ЛР №1**

<b>Вариант</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
$t_{CP}, ^\circ\text{C}$	200	240	300	350	165	150	400	520	635	700
$P_{CM}, \text{Па}$	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000	55000
$m_{CO_2}, \text{кг}$	13	3	7	10	4	5	8	11	15	5
$m_{O_2}, \text{кг}$	6	20	15	10	18	13	7	16	15	20
$m_{N_2}, \text{кг}$	15	25	18	13,8	5	0	7,2	4,68	6,5	0
$m_{H_2O}, \text{кг}$	7,2	0	0	6,2	0	5	6,5	0	0	6
$m_{CO}, \text{кг}$	0	7	10	0	13	7	0	5	5	2,3

<b>Вариант</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
$t_{CP}, ^\circ C$	1000	215	330	620	715	430	120	750	670	100
$P_{CM}, Pa$	60000	65000	70000	75000	80000	85000	90000	95000	100000	101000
$m_{CO_2}, кг$	15	3	10	5	0	15	3	13	7	0
$m_{O_2}, кг$	6	22	0	18	20	10	17	0	0	15
$m_{N_2}, кг$	7,38	1,7	2,67	0	2,55	3,6	0	16	6,1	3,7
$m_{H_2O}, кг$	7,2	0	4	7	8	6	5	9	3	7
$m_{CO}, кг$	0	7	7	10	6	0	13	5	4	10