

## Контрольная по теплотехнике с решением

### КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ №1 «Расчет характеристик газовой смеси»

Газовая смесь при нормальных условиях (н.у.), то есть при нормальной температуре  $T_n = 273,15$  К и нормальном давлении  $p_n = 101\ 325$  Па, имеет объем  $V_{cm}$ , м<sup>3</sup>.

Химический состав смеси задан объемными процентами компонентов, входящих в смесь:

$CO_2$ ;  $CO$ ;  $H_2O$ ;  $O_2$ ;  $N_2$ ;  $H_2$ , об %.

В изобарном процессе за счет подвода теплоты смесь нагревается от начальной температуры  $t_1$  до конечной  $t_2$ , °C.

Исходные данные:

$$r_{CO_2} = 0,08; r_{CO} = 0,01; r_{H_2O} = 0,21;$$

$$r_{N_2} = 0,69; r_{H_2} = 0,01; T_H = 273,15K;$$

$$p_H = 101325Pa; V = 8m^3;$$

$$t_1 = 10^0C; t_2 = 900^0C$$

Найти:

1) плотность смеси  $\rho_{cm}$ , кг/м<sup>3</sup>;

2) массу смеси  $M_{cm}$ , кг;

3) приведенные объемы компонентов смеси при н.у.:

$$V_{CO_2}; V_{CO}; V_{H_2O}; V_{N_2}; V_{H_2}, m^3;$$

4) массовые доли компонентов смеси:  $g_{CO_2}; g_{CO}; g_{H_2O}; g_{N_2}; g_{H_2}$ ;

5) массу каждого компонента смеси:  $M_{CO_2}; M_{CO}; M_{H_2O}; M_{N_2}; M_{H_2}$ , кг;

6) газовую постоянную смеси  $R_{cm}$ , Дж/(кг · К);

7) кажущуюся (среднюю) молярную массу смеси  $\mu_{cm}$ , Дж/моль;

8) парциальные давления компонентов смеси:  $P_{CO_2}$ ;  $P_{CO}$ ;  $P_{H_2O}$ ;  $P_{N_2}$ ;  $P_{H_2}$ , Па;

9) число молей смеси  $n_{cm}$ , моль

10) число молей каждого компонента:  $n_{CO_2}$ ;  $n_{CO}$ ;  $n_{H_2O}$ ;  $n_{N_2}$ ;  $n_{H_2}$ , моль;

11) рассчитать двумя способами плотность каждого компонента:  $\rho_{CO_2}$ ;  $\rho_{CO}$ ;  $\rho_{H_2O}$ ;  $\rho_{N_2}$ ;  $\rho_{H_2}$ , кг/м<sup>3</sup>, (исходя из определения плотности и из следствия закона Авогадро при н.у.);

12) в интервале от  $t_1$  до  $t_2$  рассчитать значения средних удельных теплоемкостей смеси

изобарные: массовую  $(Cpm_{cm})_{t_1}^{t_2}$ , кДж/(кг · К); объемную  $(C'pm_{cm})_{t_1}^{t_2}$ , Дж/(м<sup>3</sup> · К); мольную  $(\mu Cpm_{cm})_{t_1}^{t_2}$ , Дж/(моль · К);  
изохорные: массовую  $(Cvm_{cm})_{t_1}^{t_2}$ , кДж/(кг · К); объемную  $(C'vm_{cm})_{t_1}^{t_2}$ , Дж/(м<sup>3</sup> · К); мольную  $(\mu Cvm_{cm})_{t_1}^{t_2}$ , Дж/(моль · К);

13) по полученным значениям средних удельных массовых теплоемкостей рассчитать значение показателя адиабаты  $k$ ;

14) для изобарного процесса, в котором температура смеси меняется от  $t_1$  до  $t_2$ , рассчитать теплоту процесса  $Q$ , Дж.

Решение:

1. Определим плотность смеси.

$$\rho_{cm} = \sum r_i \cdot \rho_i,$$

$\rho_i$  – плотности компонента смеси при н.у. взятые из таблицы.

$$\rho_{cm} = 0,08 \cdot 1,977 + 0,01 \cdot 1,25 + 0,21 \cdot 0,804 + 0,69 \cdot 1,251 + 0,01 \cdot 0,09 = 1,21 \text{ кг/м}^3$$

2. Определим газовую постоянную смеси.

$$R_{cm} = \frac{R_\mu}{\sum r_i \cdot \mu_i},$$

$\mu_i$  – молярная масса компонента взятые из таблицы.

$$R_{cm} = \frac{8314}{0,08 \cdot 44,01 + 0,01 \cdot 28,01 + 0,21 \cdot 18,016 + 0,69 \cdot 28,026 + 0,01 \cdot 2,016} = 309 \text{Дж/кг} \cdot \text{К}$$

3. Определим приведенные объемы компонентов смеси при н.у.

$$r_i = \frac{V_i}{V_{cm}} \Rightarrow V_i = r_i \cdot V_{cm}$$

$$V_{CO_2} = r_{CO_2} \cdot V_{cm} = 0,08 \cdot 8 = 0,64 \text{м}^3$$

$$V_{CO} = r_{CO} \cdot V_{cm} = 0,01 \cdot 8 = 0,08 \text{м}^3$$

$$V_{H_2O} = r_{H_2O} \cdot V_{cm} = 0,21 \cdot 8 = 1,68 \text{м}^3$$

$$V_{N_2} = r_{N_2} \cdot V_{cm} = 0,69 \cdot 8 = 5,52 \text{м}^3$$

$$V_{H_2} = r_{H_2} \cdot V_{cm} = 0,01 \cdot 8 = 0,08 \text{м}^3$$

4. Определим массу смеси.

$$M_{cm} = \sum V_i \cdot \rho_i$$

$$M_{cm} = 0,64 \cdot 1,977 + 0,08 \cdot 1,25 + 1,68 \cdot 0,804 + 5,52 \cdot 1,251 + 0,08 \cdot 0,09 = 9,637 \text{кг}$$

5. Определим массы компонентов.

$$M_i = \rho_i \cdot V_i$$

$$M_{CO_2} = \rho_{CO_2} \cdot V_{CO_2} = 1,977 \cdot 0,64 = 1,27 \text{кг}$$

$$M_{CO} = \rho_{CO} \cdot V_{CO} = 1,25 \cdot 0,08 = 0,1 \text{кг}$$

$$M_{H_2O} = \rho_{H_2O} \cdot V_{H_2O} = 0,804 \cdot 1,68 = 1,35 \text{кг}$$

$$M_{N_2} = \rho_{N_2} \cdot V_{N_2} = 1,251 \cdot 5,52 = 6,91 \text{кг}$$

$$M_{H_2} = \rho_{H_2} \cdot V_{H_2} = 0,09 \cdot 0,08 = 0,007 \text{кг}$$

6. Определим массовые доли компонентов смеси.

$$g_i = \frac{M_i}{M_{cm}}$$

$$g_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{M_{cm}} = \frac{1,27}{9,637} = 0,136$$

$$g_{CO} = \frac{M_{CO}}{M_{cm}} = \frac{0,1}{9,637} = 0,01$$

$$g_{H_2O} = \frac{M_{H_2O}}{M_{cm}} = \frac{1,35}{9,637} = 0,14$$

$$g_{N_2} = \frac{M_{N_2}}{M_{cm}} = \frac{6,91}{9,637} = 0,717$$

$$g_{H_2} = \frac{M_{H_2}}{M_{cm}} = \frac{0,007}{9,637} = 0,0007$$

7. Определим кажущуюся (среднюю) молярную массу смеси.

$$\mu_{cm} = \frac{R_{\mu}}{R_{cm}} = \frac{8314}{309} = 27 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

8. Определим парциальные давления компонентов смеси.

$$p_i = r_i \cdot p_{cm}$$

$$p_{CO_2} = 0,08 \cdot 101325 = 8106 \text{ Па}$$

$$p_{CO} = 0,01 \cdot 101325 = 1013,25 \text{ Па}$$

$$p_{H_2O} = 0,21 \cdot 101325 = 21278,25 \text{ Па}$$

$$p_{N_2} = 0,69 \cdot 101325 = 69914,25 \text{ Па}$$

$$p_{H_2} = 0,01 \cdot 101325 = 1013,25 \text{ Па}$$

9. Определим число молей смеси.

$$v_{cm} = \frac{M_{cm}}{\mu_{cm}} = \frac{9,637}{27 \cdot 10^{-3}} = 356 \text{ моль}$$

10. Определим число молей каждого компонента.

$$v_i = \frac{M_i}{\mu_i}$$

$$v_{CO_2} = \frac{1,27}{44,01 \cdot 10^{-3}} = 28,85 \text{ моль}$$

$$v_{CO} = \frac{0,1}{28,01 \cdot 10^{-3}} = 3,57 \text{ моль}$$

$$v_{H_2O} = \frac{1,35}{18,016 \cdot 10^{-3}} = 74,93 \text{ моль}$$

$$v_{N_2} = \frac{6,91}{28,026 \cdot 10^{-3}} = 246,6 \text{ моль}$$

$$v_{H_2} = \frac{0,007}{2,016 \cdot 10^{-3}} = 34,7 \text{ моль}$$

11. Определим плотность каждого компонента двумя способами.

В этом файле выложены ознакомительные фрагменты работы. Вы можете заказать решение задач, контрольную или курсовую работу по своей теме и требованиям на [сайте МатБюро](http://www.MatBuro.ru).

Первый способ:

$$\rho_i = \frac{M_i}{V_i}$$

$$\rho_{CO_2} = \frac{1,27}{0,64} = 1,94 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{CO} = \frac{0,1}{0,08} = 1,25 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{H_2O} = \frac{1,35}{1,68} = 0,8036 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{N_2} = \frac{6,91}{5,52} = 1,252 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{H_2} = \frac{0,007}{0,08} = 0,0875 \text{ кг/м}^3$$

Второй способ:

$$\rho_i = \frac{\mu_i}{V_m}$$

$$\rho_{CO_2} = \frac{44,01 \cdot 10^{-3}}{22,4 \cdot 10^{-3}} = 1,965 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{CO} = \frac{28,01 \cdot 10^{-3}}{22,4 \cdot 10^{-3}} = 1,25 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{H_2O} = \frac{18,016 \cdot 10^{-3}}{22,4 \cdot 10^{-3}} = 0,8043 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{N_2} = \frac{28,026 \cdot 10^{-3}}{22,4 \cdot 10^{-3}} = 1,251 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{H_2} = \frac{2,016 \cdot 10^{-3}}{22,4 \cdot 10^{-3}} = 0,09 \text{ кг/м}^3$$

12. Определим значения средних удельных теплоемкостей смеси в интервале с 10<sup>0</sup>С до 900<sup>0</sup>С.

Изобарные:

Массовая средняя теплоемкость:

$$(Cpm_{cm})_{t_1}^{t_2} = \frac{(Cpm_{cm})_0^{t_2} \cdot t_2 - (Cpm_{cm})_0^{t_1} \cdot t_1}{t_2 - t_1}$$

В этом файле выложены ознакомительные фрагменты работы. Вы можете заказать решение задач, контрольную или курсовую работу по своей теме и требованиям на [сайте МатБюро](http://www.MatBuro.ru).

$$(Cpm_{cm})_0^t = 0,136 \cdot 1,1045 + 0,01 \cdot 1,12 + 0,14 \cdot 2,1097 + 0,717 \cdot 1,1078 + 0,0007 \cdot 14,706 = 1,2613 \text{ кДж/кг} \cdot K$$

$$(Cpm_{cm})_{t_1}^{t_2} = \frac{1,2613 \cdot 900 - 1,1375 \cdot 10}{900 - 10} = 1,2627 \text{ кДж/кг} \cdot K$$

Мольная средняя теплоемкость:

$$(\mu Cpm_{cm})_{t_1}^{t_2} = (Cpm_{cm})_{t_1}^{t_2} \cdot \mu_{cp} = 1,2627 \cdot 27 = 34,2 \text{ кДж/кг} \cdot K$$

Объемная средняя теплоемкость:

$$(C'pm_{cm})_{t_1}^{t_2} = \frac{(\mu Cpm_{cm})_{t_1}^{t_2}}{V_m} = \frac{34,2}{22,4 \cdot 10^{-3}} = 1,5268 \text{ кДж/м}^3 \cdot K$$

Изохорные:

Массовая средняя теплоемкость:

$$(Cvm_{cm})_{t_1}^{t_2} = (Cpm_{cm})_{t_1}^{t_2} - R_{cm} = 1,2627 - 0,309 = 0,9537 \text{ кДж/кг} \cdot K$$

Мольная средняя теплоемкость:

$$(\mu Cvm_{cm})_{t_1}^{t_2} = (Cvm_{cm})_{t_1}^{t_2} \cdot \mu_{cp} = 0,9537 \cdot 27 = 25,75 \text{ кДж/кг} \cdot K$$

Объемная средняя теплоемкость:

$$(C'vm_{cm})_{t_1}^{t_2} = \frac{(\mu Cvm_{cm})_{t_1}^{t_2}}{V_m} = \frac{25,75}{22,4 \cdot 10^{-3}} = 1,15 \text{ кДж/м}^3 \cdot K$$

13. Определим значение показателя адиабаты.

$$k = \frac{(Cpm_{cm})_{t_1}^{t_2}}{(Cvm_{cm})_{t_1}^{t_2}} = \frac{1,2627}{0,9537} = 1,32$$

14. Определим теплоту процесса для изобарного процесса.

$$Q_M = M_{cm} \cdot (Cpm_{cm})_{t_1}^{t_2} \cdot (t_2 - t_1) = 9,637 \cdot 1,2627 \cdot (900 - 10) = 10830,09 \text{ кДж}$$

$$Q_V = V_{cm} \cdot (C'pm_{cm})_{t_1}^{t_2} \cdot (t_2 - t_1) = 8 \cdot 1,15 \cdot (900 - 10) = 8188 \text{ кДж}$$

$$Q_v = v_{cm} \cdot (\mu Cpm_{cm})_{t_1}^{t_2} \cdot (t_2 - t_1) = 356 \cdot 34,2 \cdot (900 - 10) = 10832,88 \text{ кДж}$$