

Министерство образования и науки
Республики Казахстан

Восточно-Казахстанский технический
университет им.Д.Серикбаева

ОП "Транспорт, транспортная техника и
технологии"

Семёнов С.В.

ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

Учебно-методическое пособие
по решению задач

Усть-Каменогорск, 2020

УДК621.1

Теплофизика и теплотехника: учебно-методическое пособие по решению задач

Приведены варианты задач по теплотехнике, примеры их решения, справочный материал в международной системе СИ.

ВВЕДЕНИЕ

Существующие в настоящее время учебники и учебные пособия по теплотехнике содержат в основном теоретический и описательный материал и слабо способствуют привитию практических навыков выполнения расчетов, развитию самостоятельной работы студентов. Издание соответствует рабочей программе курса "Теплофизика и теплотехника" для студентов образовательной программы – "Транспорт, транспортная техника и технологии".

Пособие содержит основные расчетные формулы и подробные решения типовых задач курса "Теплотехника" и включает задачи и примеры по разделам: смеси идеальных газов, состав топлива и объемы продуктов сгорания, свободная конвекция, двигатели внутреннего сгорания, компрессоры. Приведен необходимый для решения задач справочный материал в международной системе единиц (СИ). Все расчеты, связанные с решением задач, студентами должны быть произведены в системе СИ.

При решении задач следует принять следующую точность расчета величин: величины, имеющие большие численные значения, ограничиваются одним знаком после запятой (например, 273,1), средние – двумя знаками после запятой (например, 2,31 м/с), малые, меньше нуля, – тремя значащими цифрами (например, 0,00332 м³/кг).

Задача № 1

Задан объемный состав газовой смеси: r_{CH_4} , r_{CO_2} , r_{CO} . Определить массовый и мольный составы смеси, кажущуюся молекулярную массу, газовую постоянную, удельный объём и плотность смеси при давлении смеси p и температуре смеси t . Определить также массовую, объемную и мольную теплоемкость смеси. При этом считать теплоемкость не зависящей от температуры, а мольные теплоемкости компонентов соответственно равны:

$$(\mu c_p)_{\text{CH}_4} = 37,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}};$$

$$(\mu c_p)_{\text{CO}_2} = 37,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}};$$

$$(\mu c_p)_{\text{CO}} = 29,3 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}.$$

Массовая c и объёмная c' теплоемкости связаны с мольной соответственно соотношениями:

$$c = \frac{(\mu c_p)}{\mu} \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$c' = \frac{(\mu c_p)}{22,4} \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}.$$

Данные для расчета принять по табл. 1.1.

Таблица 1.1

Данные к задаче № 1

| Вариант | r_{CH_4} | r_{CO_2} | r_{CO} | P , МПа | t , °С |
|---------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 0,10 | 0,60 | 0,30 | 0,10 | 0 |
| 2 | 0,15 | 0,50 | 0,35 | 0,15 | 10 |
| 3 | 0,20 | 0,40 | 0,40 | 0,20 | 20 |
| 4 | 0,25 | 0,50 | 0,25 | 0,25 | 30 |
| 5 | 0,30 | 0,60 | 0,10 | 0,30 | 40 |
| 6 | 0,35 | 0,50 | 0,15 | 0,35 | 50 |
| 7 | 0,40 | 0,40 | 0,20 | 0,40 | 60 |
| 8 | 0,45 | 0,30 | 0,25 | 0,35 | 70 |
| 9 | 0,50 | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 80 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|------|------|------|------|-----|
| 10 | 0,55 | 0,10 | 0,35 | 0,25 | 90 |
| 11 | 0,60 | 0,10 | 0,30 | 0,20 | 100 |
| 12 | 0,65 | 0,20 | 0,15 | 0,15 | 90 |
| 13 | 0,65 | 0,25 | 0,10 | 0,10 | 80 |
| 14 | 0,60 | 0,20 | 0,20 | 0,15 | 70 |
| 15 | 0,50 | 0,10 | 0,40 | 0,20 | 60 |
| 16 | 0,50 | 0,20 | 0,30 | 0,25 | 50 |
| 17 | 0,40 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 40 |
| 18 | 0,40 | 0,40 | 0,20 | 0,35 | 30 |
| 19 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,40 | 20 |
| 20 | 0,30 | 0,40 | 0,30 | 0,45 | 10 |

Пример решения задачи № 1

Исходные данные:

$$r_{\text{CH}_4} = 0,13; r_{\text{CO}_2} = 0,27; r_{\text{CO}} = 0,6; p = 0,12 \text{ МПа}; t = 70^\circ \text{C}.$$

Решение

Находим молекулярную массу компонентов смеси:

$$\mu_{\text{CH}_4} = \mu_{\text{C}} + 4\mu_{\text{H}} = 12 + 4 = 16 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}};$$

$$\mu_{\text{CO}_2} = \mu_{\text{C}} + 2\mu_{\text{O}} = 12 + 2 \cdot 16 = 44 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}};$$

$$\mu_{\text{CO}} = \mu_{\text{C}} + \mu_{\text{O}} = 12 + 16 = 28 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}}.$$

Находим кажущуюся молекулярную массу смеси:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{см}} &= \mu_{\text{CH}_4} r_{\text{CH}_4} + \mu_{\text{CO}_2} r_{\text{CO}_2} + \mu_{\text{CO}} r_{\text{CO}} = \\ &= 16 \cdot 0,13 + 44 \cdot 0,27 + 28 \cdot 0,6 = 30,76 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}}. \end{aligned}$$

Определим массовые доли компонентов смеси:

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{(\mu_{\text{CH}_4} r_{\text{CH}_4})}{\mu_{\text{см}}} = \frac{(16 \cdot 0,13)}{30,79} = 0,068;$$

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{(\mu_{\text{CO}_2} r_{\text{CO}_2})}{\mu_{\text{см}}} = \frac{(44 \cdot 0,27)}{30,79} = 0,386;$$

$$m_{\text{CO}} = \frac{(\mu_{\text{CO}} r_{\text{CO}})}{\mu_{\text{см}}} = \frac{(28 \cdot 0,6)}{30,79} = 0,546.$$

Проверка:

$$m_{\text{CH}_4} + m_{\text{CO}_2} + m_{\text{CO}} = 0,068 + 0,386 + 0,546 = 1.$$

Находим мольные доли компонентов смеси.

Так как мольный состав смеси совпадает с объёмным, то мольные доли равны:

$$n_{\text{CH}_4} = r_{\text{CH}_4} = 0,13;$$

$$n_{\text{CO}_2} = r_{\text{CO}_2} = 0,27;$$

$$n_{\text{CO}} = r_{\text{CO}} = 0,6.$$

Газовая постоянная смеси

$$R_{\text{см}} = \frac{R_0}{\mu_{\text{см}}} = \frac{8314}{30,76} = 270,3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}},$$

где $R_0 = 8314 \frac{\text{Дж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$ – универсальная газовая постоянная.

Удельный объем смеси находим, используя уравнение состояния идеального газа:

$$p \vartheta_{\text{см}} = RT = R(t + 273);$$

$$\vartheta_{\text{см}} = \frac{R(t + 273)}{p} = \frac{270,3 \cdot (70 + 273)}{0,12 \cdot 10^6} = 0,773 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}.$$

Плотность смеси

$$\rho_{\text{см}} = \frac{1}{\vartheta_{\text{см}}} = \frac{1}{0,773} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Мольная изобарная теплоемкость смеси

$$(\mu c_p)_{\text{см}} = (\mu c_p)_{\text{CH}_4} r_{\text{CH}_4} + (\mu c_p)_{\text{CO}_2} r_{\text{CO}_2} + (\mu c_p)_{\text{CO}} r_{\text{CO}} =$$

$$= 37,7 \cdot 0,13 + 37,7 \cdot 0,27 + 29,3 \cdot 0,6 = 32,66 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}.$$

Массовая изобарная теплоемкость

$$c_{p \text{ см}} = \frac{(\mu c_p)_{\text{см}}}{\mu_{\text{см}}} = \frac{32,66}{30,76} = 1,06 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Объемная изобарная теплоемкость

$$c'_{p\text{см}} = \frac{(\mu c_p)_{\text{см}}}{22,4} = \frac{32,66}{22,4} = 1,46 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}.$$

Мольная изохорная теплоемкость смеси

$$(\mu c_v)_{\text{см}} = (\mu c_p)_{\text{см}} - R_0 = 32,66 - 8,314 = 24,35 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}.$$

Массовая изохорная теплоемкость смеси

$$c_{v\text{см}} = \frac{(\mu c_v)_{\text{см}}}{\mu_{\text{см}}} = \frac{24,35}{30,76} = 0,791 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Объемная изохорная теплоемкость смеси

$$c'_{v\text{см}} = \frac{(\mu c_v)_{\text{см}}}{22,4} = \frac{24,35}{22,4} = 1,087 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}.$$

Ответ: $m_{\text{CH}_4} = 0,068$; $m_{\text{CO}_2} = 0,386$; $m_{\text{CO}} = 0,546$; $n_{\text{CH}_4} = 0,13$;

$$n_{\text{CO}_2} = 0,27$$
; $n_{\text{CO}} = 0,6$; $R_{\text{см}} = 270,3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; $\rho_{\text{см}} = \frac{1}{0,773} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

$$\mu_{\text{см}} = 30,79 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$
; $(\mu c_p)_{\text{см}} = 32,66 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$; $c_{p\text{см}} = 1,06 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

$$c'_{p\text{см}} = 1,46 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$$
; $c_{v\text{см}} = 0,791 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; $(\mu c_v)_{\text{см}} = 24,35 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$;

$$c'_{v\text{см}} = 1,087 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}.$$