

**Визначення коефіцієнтів в'язкості,
стисливості, теплоємності і Джоуля-
Томсона природного газу різного
складу.**

Задача 1

Визначити густину газу за стандартних умов, якщо відомий об'ємний склад: метан (CH_4) – 88,54 %, етан (C_2H_6) – 5,45 %, пропан (C_3H_8) – 2,63 %, бутан (C_4H_{10}) – 1,022 %, пентан (C_5H_{12}) – 0,046 %, діоксид вуглецю (CO_2) – 0,312 %, азот (N_2) – 2 %.

Дано:

$$y(\text{CH}_4) = 88,54 \% = 0,8854$$

Розв'язування

Густину газу за стандартних умов визначаємо за формулою:

$$\rho_{г.ст} = \frac{M_{г}}{24,055}$$

Визначаємо молекулярну масу газу за формулою

$$M_{г} = \sum_{i=1}^n y_i \cdot M_i$$

$$M(\text{CH}_4) = 16 \quad \text{кг/кмоль};$$

$$M(\text{C}_2\text{H}_6) = 30 \quad \text{кг/кмоль};$$

$$M(\text{C}_3\text{H}_8) = 44 \quad \text{кг/кмоль};$$

$$M(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 58 \quad \text{кг/кмоль};$$

$$M(\text{C}_5\text{H}_{12}) = 72 \quad \text{кг/кмоль};$$

$$M(\text{N}_2) = 28 \quad \text{кг/кмоль};$$

$$M(\text{CO}_2) = 44 \quad \text{кг/кмоль};$$

Молекулярна маса газу заданого складу дорівнює:

$$M_2 = 16 \cdot 0,8854 + 30 \cdot 0,0545 + 44 \cdot 0,0263 + 58 \cdot 0,01022 + \\ + 72 \cdot 0,00046 + 44 \cdot 0,00312 + 28 \cdot 0,02 = \text{кг/кмоль}.$$

Густина газу за стандартних умов

$$\rho_{г.ст} = \frac{M_2}{24,055}$$

Задача 2

Визначити відносну густину газу за нормальних і стандартних умов, якщо відомий об'ємний склад: метан (CH_4) – 75,78 %, етан (C_2H_6) – 7,7 %, пропан (C_3H_8) – 3,9 %, бутан (C_4H_{10}) – 1,7 %, пентан (C_5H_{12}) – 0,42 %, азот (N_2) – 5,5 %, сірководень (H_2S) – 2%, діоксид вуглецю (CO_2) – 3 %.

Дано:

$$y(\text{CH}_4) = 75,78 \% = 0,7578$$

Розв'язування

Визначаємо молекулярну масу газу за формулою:

$$M_z = \sum_{i=1}^n y_i M_i$$

Визначаємо густину газу за стандартних умов:

$$\rho_{z.st} = \frac{M_z}{24,055} =$$

Визначаємо густину газу за нормальних умов:

$$\rho_{z.o} = \frac{M_z}{22,4141} =$$

Визначаємо відносну густину газу за нормальних умов

$$\bar{\rho}_g = \frac{\rho_{г.о}}{\rho_{нов.о}}$$

$$\rho_{нов.о} = 1,293 \quad \text{кг/м}^3;$$

Визначаємо відносну густину газу за стандартних умов

$$\bar{\rho}_g = \frac{\rho_{г.ст}}{\rho_{нов.ст}}$$

$$\rho_{нов.ст} = 1,205 \quad \text{кг/м}^3;$$

Задача 3

Визначити густину газу при тиску 10 МПа і температурі 75 °С, якщо густина газу за стандартних умов – 0,762 кг/м³.

Дано:

$$P=10 \text{ МПа} \quad T_{пл}=72+273=345 \text{ К}$$

$$\rho_{г.ст} = 0,762 \text{ кг/м}^3$$

Розв'язування

Густину газу за заданого тиску і температури визначаємо за формулою .

$$\rho_2(p, T) = \rho_{г.ст} \frac{p T_{ст}}{p_{ат} T}$$

$$T_{ст}=293 \text{ К}$$

$$P_{ат}=0,1013 \text{ МПа}$$

Визначаємо відносну густину газу за формулою:

$$\bar{\rho}_2 = \frac{\rho_{г.ст}}{\rho_{нов.ст}} = \frac{0,762}{1,205} = 0,632$$

Середньокритичний тиск:

$$p_{кр} = 4,892 - 0,4048 \cdot \bar{\rho}_2 = 4,892 - 0,4048 \cdot 0,632 = 4.636 \text{ МПа.}$$

Середньокритична температура:

$$T_{кр} = 94,717 + 170,8 \cdot \bar{\rho}_2 = 94,717 + 170,8 \cdot 0,632 = 202.72 \text{ K}$$

Приведений тиск:

$$p_{np} = \frac{p}{p_{кр}} = \frac{10}{4,636} = 2.157$$

Приведена температура:

$$T_{np} = \frac{T}{T_{кр}} = \frac{348}{202,72} = 1,717$$

Визначаємо коефіцієнт стисливості газу при тиску p і температурі T за формулою :

$$z = (0,4 \lg(T_{np}) + 0,73)^{p_{np}} + 0,1 p_{np} = (0,4 \lg(1,717) + 0,73)^{2,157} + 0,1 \cdot 2,157 = 0,874.$$

Густина газу за заданого тиску і температури:

$$\rho_2(p, T) = \rho_{2.cm} \frac{p \cdot T_{cm}}{z \cdot p_{am} \cdot T} = 0,762 \frac{10 \cdot 293}{0,874 \cdot 0,1013 \cdot 348} = 72,5 \text{ кг/м}^3.$$

Задача

Визначити коефіцієнти стисливості і динамічної в'язкості газу для пластових умов, якщо відомо:

пластовий тиск $p_{пл} = 35 \text{ МПа};$

пластова температура $t_{пл} = 75 \text{ }^{\circ}\text{C};$

відносна густина газу $\bar{\rho}_g = 0,6;$

атмосферний тиск $p_{ат} = 0,1013 \text{ МПа}.$

Розв'язування

Переводимо одиниці в систему СІ:

$$T_{пл} = 75 + 273 = 348 \text{ К}.$$

Псевдокритичні тиск і температуру визначаємо за формулами:

$$p_{кр} = 4,892 - 0,4048 \cdot \bar{\rho}_g = 4,892 - 0,4048 \cdot 0,6 = 4,649 \text{ МПа},$$

$$T_{кр} = 94,717 + 170,8 \cdot \bar{\rho}_g = 94,717 + 170,8 \cdot 0,6 = 197,197 \text{ К}.$$

Псевдозведений тиск і температуру визначаємо за формулами:

$$p_{ze} = \frac{p_{nl}}{p_{kp}} = \frac{35}{4,649} = 7,53,$$

$$T_{ze} = \frac{T_{nl}}{T_{kp}} = \frac{348}{197,197} = 1,76 .$$

Коефіцієнт стисливості газу при пластовому тиску і пластовій температурі визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} z_{nl} &= (0,41 \lg(T_{ze}) + 0,73)^{p_{ze}} + 0,1 p_{ze} = \\ &= (0,4 \lg(1,76) + 0,73)^{7,53} + 0,1 \cdot 7,53 = 0,99 . \end{aligned}$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості газу при атмосферному тиску і заданій температурі визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} \mu(p_{atm}, t) &= 0,0101 \cdot t_{nl}^{1/8} - 5,76 \cdot 10^{-3} \cdot \bar{\rho}_z^{0,5} = \\ &= 0,0101 \cdot 75^{1/8} - 5,76 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6^{0,5} = 0,013 \text{ мПа} \cdot \text{с} . \end{aligned}$$

Критичну густину газу визначаємо за формулою:

$$\rho_{кр} = 106,9514 + 99,276 \cdot \bar{\rho}_z =$$

$$= 106,9514 + 99,276 \cdot 0,6 = 166,517 \text{ кг/м}^3.$$

Молекулярну масу газу визначаємо за формулою:

$$M = 28,97 \cdot \bar{\rho}_z = 28,97 \cdot 0,6 = 17,382 \text{ кг/кмоль}.$$

Комплексний параметр ε визначаємо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{T_{кр}^{1/6}}{M^{1/2} \cdot (10 \cdot p_{кр})^{2/3}} = \frac{197,197^{1/6}}{17,382^{0,5} \cdot (10 \cdot 4,649)^{2/3}} = 0,045.$$

Зведену густину газу визначаємо за формулою:

$$\rho_{зв} = 3485,34 \cdot \frac{\bar{\rho}_z \cdot p}{z(p) \cdot T \cdot \rho_{кр}} = 3485,34 \cdot \frac{0,6 \cdot 35}{0,99 \cdot 348 \cdot 166,517} = 1,276.$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості газу при пластовому тиску і заданій температурі залежно від зведеної густини газу визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} \mu(p, T) &= \mu(p_{ам}, T) + \frac{10,8 \cdot 10^{-5}}{\varepsilon} \cdot (e^{1,439 \rho_{зв}} - e^{-1,11 \rho_{зв}^{1,858}}) = \\ &= 0,013 + \frac{10,8 \cdot 10^{-5}}{0,045} (e^{1,439 \cdot 1,276} - e^{-1,11 \cdot 1,276^{1,858}}) = \\ &= 0,028 \text{ мПа} \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

Задача 5

Визначити коефіцієнт стисливості газу за графіком Брауна-Катца, за тиску 30 МПа і пластової температури 77 °С, якщо відомий об'ємний (молярний) склад газу: метан (CH_4) – 93 %, етан (C_2H_6) – 0,5 % пропан (C_3H_8) – 1,5 %, бутан (C_4H_{10}) – 1 %, азот (N_2) – 3,5 %, сірководень (H_2S) – 0,5 %.

Задача 6

Визначити густину газу за тиску 12 МПа і температури 70 °С, якщо густина газу за стандартних умов – 0,764 кг/м³.

Задача 7

Визначити коефіцієнт Джоуля-Томсона при ізобарному процесі за тиску 14 МПа і температури 15 °С, якщо відомий об'ємний (молярний) склад газу: метан – 92 %, етан – 4 %, пропан – 1 %, бутан – 1,2 %, пентан – 0,2 %, азот – 1,45 %, діоксид вуглецю – 0,15 %.