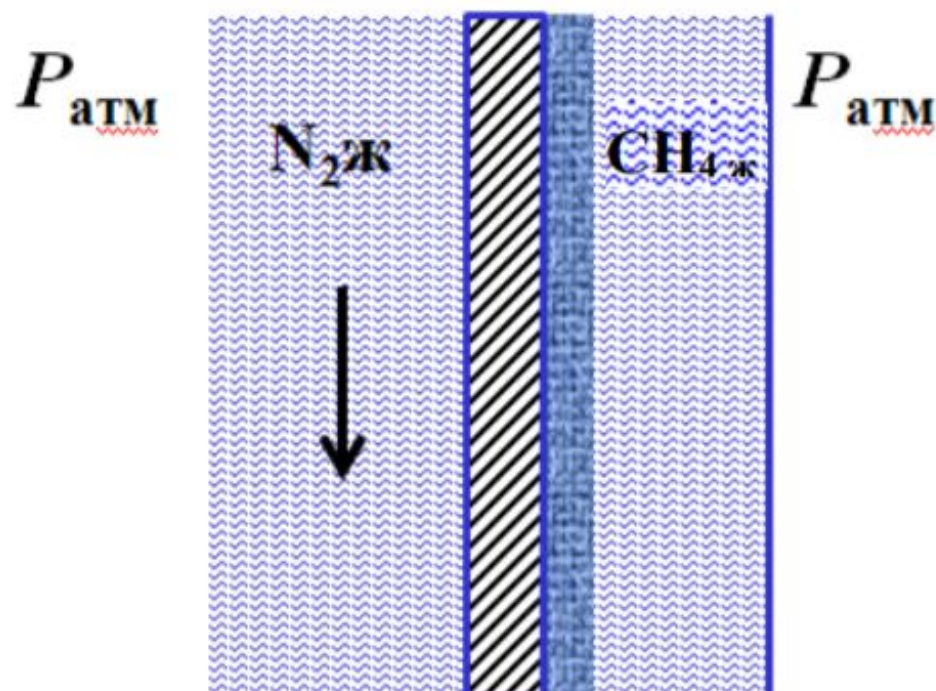


Вариант №9

На вертикальной медной стенке толщиной $\delta=1\text{мм}$ и высотой $H = 0,1\text{м}$ конденсируется газообразный метан при атмосферном давлении. При этом на поверхности стенки формируется слой твердого метана, по которому стекает его жидкий конденсат. С другой стороны эта стенка охлаждается потоком жидкого азота, находящимся в состоянии насыщения при атмосферном давлении и движущемся вдоль поверхности стенки со скоростью 2м/с . Чему равна температура стенки ?



$$Q_{r1} = Q_{r2} = Q_{r3} = Q_{r4}$$

$$Q_{r4} = \alpha_{N_2} (T_w - T_{N_2})$$

$$Q_{r3} = \frac{\lambda_w (T_w - T_w^*)}{\delta_w}$$

$$Q_{r2} = \frac{\lambda_{CH_4} (T_u - T_w^*)}{\delta_u}$$

$$Q_{r1} = j \cdot r \cdot \varepsilon = \alpha_{CH_4} (T_{CH_4}^T - T_{CH_4}^*)$$

$$j = \frac{1,67 \cdot (P_\infty - P_s)}{\sqrt{2\pi R T_\infty}} \left(1 + 0,5 \ln \frac{P_\infty}{P_s} \sqrt{\frac{T_s}{T_\infty}} \right)$$

$$q = \alpha_{N_2} (T_w - T_{N_2})$$

$$q = \alpha_{CH_4} (T_{CH_4}^T - T_{CH_4}^*) = \frac{\lambda^3 \cdot r \cdot g \cdot \rho^2}{4 \eta \cdot L} (T_{CH_4}^T - T_{CH_4}^*)^2 \cdot (T_{CH_4}^T - T_{CH_4}^*)$$

$$\alpha_{N_2} (T_w - T_{N_2}) = \frac{\lambda^3 \cdot r \cdot g \cdot \rho^2}{4 \cdot \eta L} \cdot (T_{CH_4}^T - T_{CH_4}^*)^{0,75}$$

$$T_s = 77,4 \text{ K}$$

$$Re = \frac{w \cdot l \cdot \rho}{\eta} = \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 808}{1677 \cdot 10^{-7}} = 963625$$

Typical pressure

$$Pr = \frac{\eta \cdot c_p}{\lambda} = \frac{1677 \cdot 10^{-7} \cdot 1955}{0,17} = 1,928$$

$$Nu = 0,037 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} = 2946,94$$

$$\alpha_{N_2} = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} = \frac{2946,94 \cdot 0,17}{0,1} = 5009,8 \frac{\text{BT}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\alpha_{N_2} = 5009,8 \frac{B_T}{m^2 \cdot K}$$

$$T_{N_2} = 77,4 K$$

$$T_{CH_4}^* = 90,66 K$$

$$T_{CH_4}^{\dagger} = 111,42 K$$

$$\lambda = 12,2 \cdot 10^{-3} \frac{B_T}{m \cdot K}$$

$$\gamma = 512 \frac{K \cdot D_m}{m^2}$$

$$\eta = 106,6 \cdot 10^{-7} \frac{Pa \cdot s}{C}$$

$$\rho = \frac{1}{V} = \frac{1}{0,002345} = 426,44 \frac{kg}{m^3}$$

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$L = 0,1 m$$

$$\alpha_{CH} = \sqrt[4]{\frac{(12.2 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 512 \cdot 10^3 \cdot 9.81 \cdot 426.44^2}{4 \cdot 106.6 \cdot 10^{-7} \cdot 0.1}} = 789.731 \frac{\text{BT}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$q = \sqrt[4]{\frac{(12.2 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 512 \cdot 10^3 \cdot 9.81 \cdot 426.44^2}{4 \cdot 106.6 \cdot 10^{-7} \cdot 0.1}} \cdot (111.42 - 90.62)^{0.75} = 7.692 \times 10^3 \text{ BT}$$

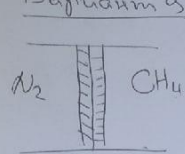
Умножено перемем

$$T_w = \frac{q + \alpha_{w2} \cdot T_{w2}}{\alpha_{w2}}$$

$$\frac{7.692 \times 10^3 + 5009.8 \cdot 77.4}{5009.8} = 78.935 \text{ K}$$

Рыдов А.В ТФ-09м-20

Вариант 9



Вспользуемся уравн теплового баланса
тепло отдаваемое газом равно теплу
передаваемому через слой твердого метана

$$Q_{CH_4} = Q_{N_2}$$

$$\text{или } Q_{CH_4} = j \cdot r_{\Sigma}$$

Найдем T_c из вариационна: $T_c(p_s) = 111,42 \text{ K}$

Пусть в области метана $T_{c0} = 300 \text{ K}$, а $P_{c0} = 101326 \text{ Па}$
считаем что $P_{c0} \approx P_{c1} = 1$

$$\text{Тогда } j = 1,67 \cdot \frac{(P_{c0} - P_s)}{\sqrt{2\pi R T_{c0}}} \left(1 + 0,51 \left(\ln \frac{P_{c0}}{P_s} \sqrt{\frac{T_s}{T_{c0}}} \right) \right) \text{ (кан в классе)}$$

$$\Leftrightarrow 1,67 \cdot \frac{(101326 - 101325)}{\sqrt{2 \cdot 8,314 \cdot \frac{8134}{16} \cdot 300}} \cdot \left(1 + 0,51 \left(\ln \frac{101326}{101325} \sqrt{\frac{111,42}{300}} \right) \right) = 1,26 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$r_{\Sigma} = 698 \frac{\text{мДж}}{\sqrt{2}} \text{ (считаем, что } P_{c0} \text{ максимально близко к } P_s)$$

Теперь определим Q_{N_2} газа

$$Q_{N_2} = \rho_{cu} \frac{T_s' - T_w'}{\delta_{cu}}$$

По таблицам для меди:

$$\lambda_{cu} = 401 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

По вариационну для газа

$$T_s'(p_s) = 77,35 \text{ K}$$

Из объединенных результатов

$$j \cdot r_{\Sigma} = \rho_{cu} \frac{(T_s' - T_w')}{\delta_{cu}}$$

$$\text{Откуда } T_w = \frac{\lambda_{cu} \cdot T_s' - j \cdot r_{\Sigma} \cdot \delta_{cu}}{\rho_{cu}} = \frac{401 \cdot 77,35 - 1,26 \cdot 10^{-3} \cdot 698 \cdot 10^3 \cdot 0,001}{401} = 77 \text{ K}$$

Ответ: температура стенки $T_w = 77 \text{ K}$