

Учебный курс
«Термодинамика и теплопередача»
(Практическое занятие 4)

Для студентов по направлению подготовки
131000 Нефтегазовое дело
(квалификация (степень) «бакалавр»)

Преподаватель: д.т.н., профессор *Уразбахтин Фёдор Асхатович*

Контрольная работа 2.

Задача 2.

Определить потери теплоты в единицу времени с горизонтально расположенной цилиндрической трубы с диаметром d и длиной 2,5 м в окружающую среду, если температура стенки трубы t_c , а температура воздуха t_v .

Рекомендации:

1. Для определения коэффициента теплоотдачи использовать критериальные уравнения.
2. Теплофизические параметры воздуха рассчитывать с использованием линейной интерполяции по температуре.
3. Лучистым теплообменом пренебречь.

Контрольная работа 2.

Исходные данные задачи 2.

Температура стенки трубы $t_c = 185^\circ\text{C}$

Температура стенки воздуха... $t_v = -35^\circ\text{C}$

Диаметр трубы..... $d = 100\text{ мм}$

Ориентация трубы..... *горизонтальная*

Вид конвекции *вынужденная ($w=0,5\text{ м/с}$)*

Контрольная работа 2. Решение задачи 2.

1. Определение физических характеристик воздуха при температуре $t_{\text{в}} = -35^{\circ}\text{C}$, используя таблицу.

Физические свойства сухого воздуха
($P_{\text{в}} = 760$ мм рт. ст. $\approx 1,01 \cdot 10^5$ Па)

| $t, ^{\circ}\text{C}$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $c_p, \text{кДж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$ | $\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$ | $\alpha \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$ | $\mu \cdot 10^6, \text{Па}\cdot\text{с}$ | $\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$ | Pr |
|-----------------------|-----------------------|---|--|--|--|---------------------------------------|-------|
| -50 | 1,584 | 1,013 | 2,04 | 12,7 | 14,6 | 9,23 | 0,728 |
| -40 | 1,515 | 1,013 | 2,12 | 13,8 | 15,2 | 10,04 | 0,728 |
| -30 | 1,453 | 1,013 | 2,20 | 14,9 | 15,7 | 10,80 | 0,723 |
| -20 | 1,395 | 1,009 | 2,28 | 16,2 | 16,2 | 11,61 | 0,716 |
| -10 | 1,342 | 1,009 | 2,36 | 17,4 | 16,7 | 12,43 | 0,712 |
| 0 | 1,293 | 1,005 | 2,44 | 18,8 | 17,2 | 13,28 | 0,707 |
| 10 | 1,247 | 1,005 | 2,51 | 20,0 | 17,6 | 14,16 | 0,705 |
| 20 | 1,205 | 1,005 | 2,59 | 21,4 | 18,1 | 15,06 | 0,703 |
| 30 | 1,165 | 1,005 | 2,67 | 22,9 | 18,6 | 16,00 | 0,701 |
| 40 | 1,128 | 1,005 | 2,76 | 24,3 | 19,1 | 16,96 | 0,699 |
| 50 | 1,093 | 1,005 | 2,83 | 25,7 | 19,6 | 17,95 | 0,698 |
| 60 | 1,060 | 1,005 | 2,90 | 27,2 | 20,1 | 18,97 | 0,696 |
| 70 | 1,029 | 1,009 | 2,96 | 28,6 | 20,6 | 20,02 | 0,694 |
| 80 | 1,000 | 1,009 | 3,05 | 30,2 | 21,1 | 21,09 | 0,692 |
| 90 | 0,972 | 1,009 | 3,13 | 31,9 | 21,5 | 22,10 | 0,690 |
| 100 | 0,946 | 1,009 | 3,21 | 33,6 | 21,9 | 23,13 | 0,688 |
| 120 | 0,898 | 1,009 | 3,34 | 36,8 | 22,8 | 25,45 | 0,686 |
| 140 | 0,854 | 1,013 | 3,49 | 40,3 | 23,7 | 27,80 | 0,684 |
| 160 | 0,815 | 1,017 | 3,64 | 43,9 | 24,5 | 30,09 | 0,682 |
| 180 | 0,779 | 1,022 | 3,78 | 47,5 | 25,3 | 32,49 | 0,681 |
| 200 | 0,746 | 1,026 | 3,93 | 51,4 | 26,0 | 34,85 | 0,680 |

Контрольная работа 2.

Решение задачи 2.

Используя таблицу , получаем после интерполяции:

- коэффициент теплопроводности - $\lambda_{\theta} = 2,16 \cdot 10^{-2} \frac{Вт}{м \cdot ^\circ K}$
- кинематическая вязкость - $\nu_{\theta} = 10,42 \cdot 10^{-6} \frac{м^2}{с}$
- критерий Прандтля - $Pr_{\theta} = 0,725$
- критерий Прандтля при температуре воды, равной температуре стенки ($t_c = 185^\circ C$) - $Pr_{ст} = 0,6808$
- коэффициент температурного расширения воздуха -

$$\beta = \frac{1}{T_{\theta}} = \frac{1}{t_{\theta} + 273,15} = \frac{1}{-35 + 273,15} = 0,0042 \frac{1}{^\circ K}$$

Контрольная работа 2.

Решение задачи 2.

2. Определение критерия Грасгофа при свободном поперечном обтекании горизонтальной трубы

воздухом:

$$Gr_{\epsilon} = 9,81 \cdot \frac{d^3 \cdot \beta}{\nu_{\epsilon}^2} \cdot (t_c - t_{\epsilon}) =$$
$$= 9,81 \cdot \frac{0,1^3 \cdot 0,0042}{(10,42 \cdot 10^{-6})^2} \cdot [185 - (-35)] = 0,8348 \cdot 10^5$$

Примечание: в случае свободной конвекции вертикальной трубы критерий подсчитывается по формуле:

$$Gr_{\epsilon} = \frac{h^3 \cdot \beta}{\nu_{\epsilon}^2} \cdot (t_c - t_{\epsilon}); \quad h = l.$$

Контрольная работа 2.

Решение задачи 2.

3. Определение критерия Нуссельта по эмпирической формуле:

$$\begin{aligned} Nu_{\epsilon} &= 0,50 \cdot [Pr_{\epsilon} \cdot Gr_{\epsilon}]^{0,25} \cdot \left[\frac{Pr_{\epsilon}}{Pr_{cm}} \right]^{0,25} = \\ &= 0,50 \cdot [0,725 \cdot 0,8348 \cdot 10^5]^{0,25} \cdot \left[\frac{0,725}{0,680} \right]^{0,25} = 7,9690 \end{aligned}$$

Примечание: в случае свободной конвекции вертикальной трубы критерий подсчитывается по формуле: $Nu_{\epsilon} = 0,15 \cdot [Pr_{\epsilon} \cdot Gr_{\epsilon}]^{0,33}$:

Контрольная работа 2.

Решение задачи 2.

4. Определение коэффициента теплоотдачи от стенки трубы к воздуху:

$$\alpha_1 = Nu_\varepsilon \cdot \frac{\lambda_\varepsilon}{d} = 7,9690 \cdot \frac{2,16 \cdot 10^{-2}}{0,1} = 1,7213 \frac{Вт}{м^2 \cdot K}$$

5. Определение потери теплоты трубопроводом:

$$q_1 = \alpha_1 \cdot d \cdot (t_c - t_\varepsilon) =$$

$$1,7213 \cdot 0,10 \cdot [185 - (-35)] = 37,8686 \frac{Вт}{м}$$

Контрольная работа 2.

Решение задачи 2.

6. Определение числа Рейнольдса при поперечном обдувании горизонтальной трубы потоком воздуха со скоростью w потери теплоты трубопроводом:

$$Re_v = \frac{w \cdot d}{\nu_v} = \frac{0,5 \cdot 0,10}{10,42 \cdot 10^{-6}} = 119047,619$$

Примечание: при свободной конвекции определение числа Рейнольдса опускается.

Контрольная работа 2.

Решение задачи 2.

7. Определение критерия Нуссельта по эмпирической формуле для режима вынужденной конвекции (при $10^3 < Re_e$):

$$\begin{aligned} Nu_{e2} &= 0,245 \cdot Re_e^{0,60} = \\ &= 0,245 \cdot (119047,619)^{0,60} = 272,0185 \end{aligned}$$

Примечание: при свободной конвекции определение критерия Нуссельта здесь опускается.

Контрольная работа 2.

Решение задачи 2.

8. Определение коэффициента теплоотдачи от стенки трубы к воздуху при обтекании трубы воздухом со скоростью w :

$$\begin{aligned}\alpha_2 &= Nu_{e2} \cdot \frac{\lambda_e}{d} \\ &= 272,0185 \cdot \frac{2,16 \cdot 10^{-2}}{0,1} = 58,7560 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°К}}\end{aligned}$$

Примечание: при свободной конвекции расчет коэффициента теплоотдачи здесь опускается.

Контрольная работа 2.

Решение задачи 2.

9. Определение удельного теплового потока через цилиндрическую стенку трубы (потери 1 погонного метра трубопровода):

$$q_2 = \alpha_2 \cdot d \cdot (t_c - t_в) =$$

$$58,7560 \cdot 0,10 \cdot [185 - (-35)] = 1292,632 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

Примечание: при свободной конвекции расчет не q_2 проводится.

10. Определение потерь теплоты в единицу времени с горизонтально расположенной цилиндрической трубы длиной 2,5 м:

$$Q = l \cdot q_2 = 2,5 \cdot 1292,632 = 3231,580 \text{ Вт}.$$

Примечание: при свободной конвекции расчет проводится по формуле $Q = l \cdot q_1, \text{ Вт}.$

ОТВЕТ: $Q = 3231,580 \text{ Вт}.$