

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:

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

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

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

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 :

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

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: $Q = 3231,580 \text{ Вт}.$