

Учебный курс
«Термодинамика и теплопередача»
(Практическое занятие 3)

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

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

Контрольная работа 2.

Задача 1.

По стальной трубе с внешним диаметром d_n и толщиной стенки δ течет вода, средняя температура которой t_v .

По *внутренней поверхности* труба покрыта слоем накипи толщиной 2 мм, имеющей коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{нак}} = 0,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{K}}$.

Снаружи трубопровод охлаждается воздухом с температурой $t_{\text{воз}}$ при коэффициенте теплоотдачи α_2 .

Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубопровода α_1
Коэффициент теплопроводности материала трубы

$$\lambda_{\text{тр}} = 2,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{K}}$$

Контрольная работа 2.

Задача 1.

Определить:

- коэффициент теплопередачи;
- погонный тепловой поток;
- температуры на поверхностях трубы и накипи;
- построить график изменения температуры по толщине трубопровода.

Принимаемые допущения:

- тепловой режим считать стационарным;
- лучистым теплообменом пренебречь.

Исходные данные:

$$\begin{aligned}d_n &= 56 \text{ мм} & \delta &= 8 \text{ мм} & \delta_{\text{нак}} &= 2 \text{ мм} & \alpha_2 &= 15 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°K}} \\t_e &= 75 \text{ °C} & t_{\text{воз}} &= 15 \text{ °C} & \alpha_1 &= 650 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°K}} \\ \lambda_{\text{тр}} &= 2,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°K}} & \lambda_{\text{нак}} &= 0,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°K}}\end{aligned}$$

Контрольная работа 2.

Решение задачи 1.

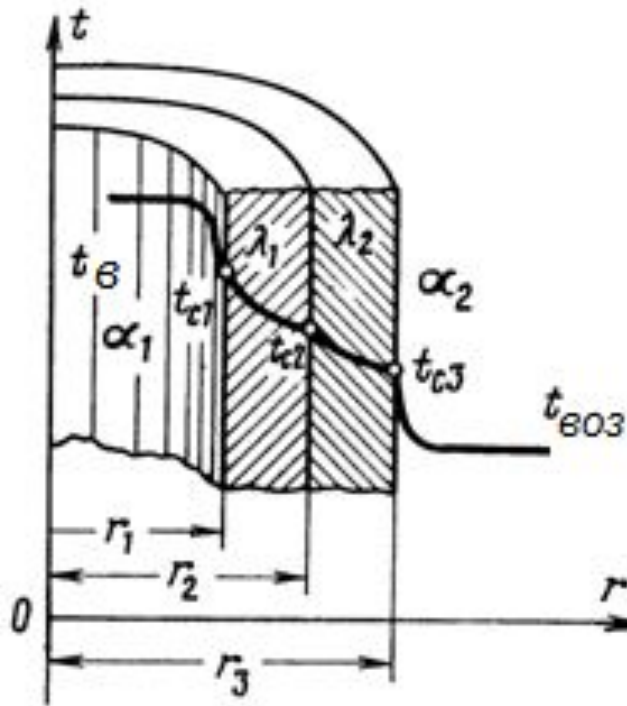
Расчетная схема представлена на рис.1. В ней:

$$\lambda_1 = \lambda_{\text{нак}}; \lambda_2 = \lambda_{\text{тр}};$$

$$r_3 = \frac{d_H}{2} = \frac{56}{2} = 28 \text{ мм};$$

$$r_2 = \frac{d_H}{2} - \delta = \frac{56}{2} - 8 = 20 \text{ мм};$$

$$r_1 = \frac{d_H}{2} - \delta - \delta_{\text{нак}} = \frac{56}{2} - 8 - 2 = 18 \text{ мм};$$



Контрольная работа 2.

Решение задачи 1.

1. Вычисление коэффициента теплопередачи и погонного теплового потока.

1.1. При установившемся тепловом состоянии системы удельный тепловой поток, проходящий через каждый слой, для всех слоев будет одинаков. Для каждой двухслойной стенки имеются такие выражения.

При передаче от жидкости к накипи

$$q = \alpha_1 \cdot \pi \cdot (2 \cdot r_1) (T_v - T_{c1}) \quad (1)$$

где $T_v = t_v + 273,15 = 348,15 \text{ K}$; $T_{c1} = t_{c1} + 273,15$;

Первый слой - накипь

$$q = \frac{\pi \cdot (T_{c1} - T_{c2})}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_1} \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)} \quad (2) \quad \text{где} \quad T_{c2} = t_{c2} + 273,15;$$

Контрольная работа 2.

Решение задачи 1.

Второй слой - труба

$$q = \frac{\pi \cdot (T_{c2} - T_{c3})}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_2} \ln \left(\frac{r_3}{r_2} \right)} \quad (3) \quad \text{где} \quad T_{c3} = t_{c3} + 273,15;$$

При передаче от трубы к воздуху

$$q = \alpha_2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot r_3) (T_{c3} - T_{\text{воз}}) \quad (4)$$

$$\text{где} \quad T_{\text{воз}} = t_{\text{воз}} + 273,15 = 288,15 \text{ } ^\circ\text{K};$$

Контрольная работа 2.

Решение задачи 1.

1.2. Преобразование уравнений (1)..(4):

$$T_{\text{в}} - T_{c1} = \frac{q}{\alpha_1 \cdot \pi \cdot (2 \cdot r_1)}; \quad T_{c1} - T_{c2} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_1} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right);$$

$$T_{c2} - T_{c3} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_2} \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right); \quad T_{c3} - T_{\text{воз}} = \frac{q}{\alpha_2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot r_3)};$$

1.3. Сложение преобразованных уравнений :

$$T_{\text{в}} - T_{\text{воз}} =$$
$$= \frac{q}{2 \cdot \pi} \left[\frac{1}{\alpha_1 r_1} + \frac{1}{\lambda_1} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{\lambda_2} \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) + \frac{1}{\alpha_2 r_3} \right];$$

Контрольная работа 2.

Решение задачи 1.

1.4. Выражения для коэффициента теплопередачи двухслойной стенки и погонного теплового потока :

$$q = k \cdot \pi \cdot (T_{в} - T_{воз}) \quad \text{- погонный тепловой поток;}$$

$$k = \frac{2}{\frac{1}{\alpha_1 r_1} + \frac{1}{\lambda_1} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{\lambda_2} \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) + \frac{1}{\alpha_2 r_3}};$$

- коэффициент теплопередачи

1.5. Вычисления:

Контрольная работа 2.

Решение задачи 1.

1.5. Вычисления:

а) коэффициент теплопередачи

$$k = \frac{2}{\frac{1}{\alpha_1 r_1} + \frac{1}{\lambda_1} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{\lambda_2} \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) + \frac{1}{\alpha_2 r_3}} =$$
$$= \frac{2}{\frac{1}{650 \cdot 0,018} + \frac{1}{0,8} \ln\left(\frac{0,02}{0,018}\right) + \frac{1}{2,8} \ln\left(\frac{0,028}{0,020}\right) + \frac{1}{15 \cdot 0,028}} =$$
$$= 0,7358 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

б) погонный тепловой поток

$$q = k \cdot \pi \cdot (T_{\text{в}} - T_{\text{воз}}) =$$
$$= 0,7358 \cdot 3,141 \cdot (348,15 - 288,15) = 138,6689 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Контрольная работа 2.

Решение задачи 1.

2. Температуры на поверхностях трубы и накипи

Определяются из (1)..(3)

$$t_{c1} = T_{c1} - 273,15 = \left[T_e - \frac{q}{\alpha_1 \cdot \pi \cdot (2 \cdot r_1)} \right] - 273,15 =$$
$$= \left[348,15 - \frac{138,6689}{650 \cdot 3,141 \cdot 2 \cdot 0,018} \right] - 273,15 = 73,11^\circ\text{C};$$

$$t_{c2} = T_{c2} - 273,15 = \left[T_{c1} - \frac{q}{2 \cdot \lambda_1 \cdot \pi} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \right] - 273,15 =$$
$$= \left[346,26 - \frac{138,6689}{2 \cdot 0,8 \cdot 3,141} \ln\left(\frac{0,020}{0,018}\right) \right] - 273,15 = 70,20^\circ\text{C};$$

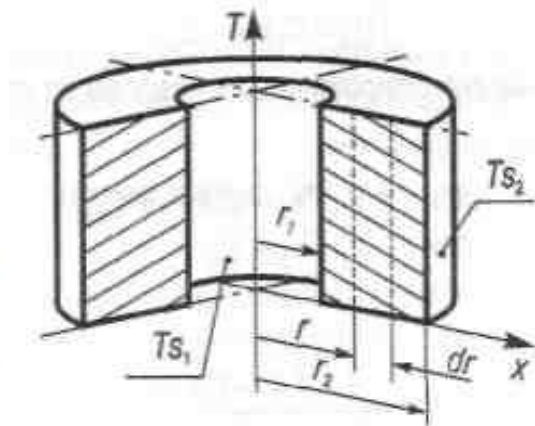
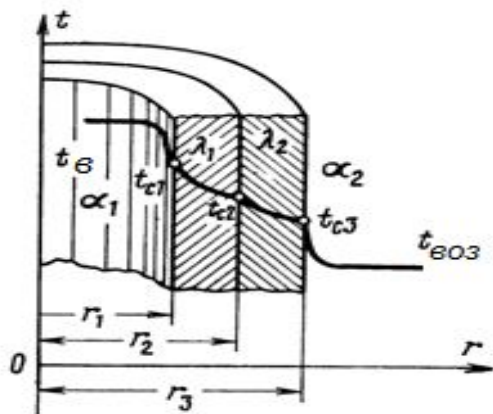
Контрольная работа 2.

Решение задачи 1.

$$t_{c3} = T_{c3} - 273,15 = \left[T_{\text{в03}} + \frac{q}{\alpha_2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot r_3)} \right] - 273,15 =$$
$$= \left[288,15 + \frac{138,6689}{15 \cdot 3,141 \cdot 2 \cdot 0,028} \right] - 273,15 = 67,56 \text{ } ^\circ\text{C};$$

3. Построение графика изменения температуры по толщине трубопровода

3. 1. Аналитическое определение температурных зависимостей



Рассматриваются две цилиндрические трубы, вложенные в друг друга: из накипи и из стали.

Контрольная работа 2.

Решение задачи 1.

Стационарный одномерный процесс теплопроводности в цилиндрической стенке описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dT}{dr} = 0$$

с краевыми условиями

$$\text{при } r = r_{s1} \quad T = T_{s1}$$

$$\text{при } r = r_{s2} \quad T = T_{s2}$$

Решение этого уравнения имеет вид

$$T(r) = C_1 \ln(r) + C_2$$

где

$$C_1 = \frac{T_{s2} - T_{s1}}{\ln\left(\frac{r_{s2}}{r_{s1}}\right)}; \quad C_2 = \frac{T_{s1} \ln(r_{s2}) - T_{s2} \ln(r_{s1})}{\ln\left(\frac{r_{s2}}{r_{s1}}\right)}.$$

Контрольная работа 2.

Решение задачи 1.

3.2. Температурная зависимость для трубы из накипи

Краевые условия: при $r = r_{s1} = 0,018 \text{ м}$ $T_{s1} = T_{c1} = 346,26 \text{ }^\circ\text{C}$

при $r = r_{s2} = 0,020 \text{ м}$ $T_{s2} = T_{c2} = 343,35 \text{ }^\circ\text{C}$

Постоянные интегрирования:

$$C_1 = \frac{343,35 - 346,26}{\ln\left(\frac{0,020}{0,018}\right)} = -27,61;$$

$$C_2 = \frac{346,26 \cdot \ln(0,02) - 343,35 \cdot \ln(0,018)}{\ln\left(\frac{0,020}{0,018}\right)} = 235,22.$$

$T(r) = -27,61 \cdot \ln(r) + 235,22, \text{ }^\circ\text{C}$ - температурная зависимость

Контрольная работа 2.

Решение задачи 1.

3.3. Температурная зависимость для трубы из стали

Краевые условия: при $r = r_{s1} = 0,020 \text{ м}$ $T_{s1} = T_{c2} = 343,35 \text{ }^\circ\text{C}$

при $r = r_{s2} = 0,028 \text{ м}$ $T_{s2} = T_{c3} = 340,71 \text{ }^\circ\text{C}$

Постоянные интегрирования:

$$C_1 = \frac{340,71 - 343,35}{\ln\left(\frac{0,028}{0,020}\right)} = -7,85;$$

$$C_2 = \frac{343,35 \cdot \ln(0,028) - 340,71 \cdot \ln(0,020)}{\ln\left(\frac{0,028}{0,020}\right)} = 312,63.$$

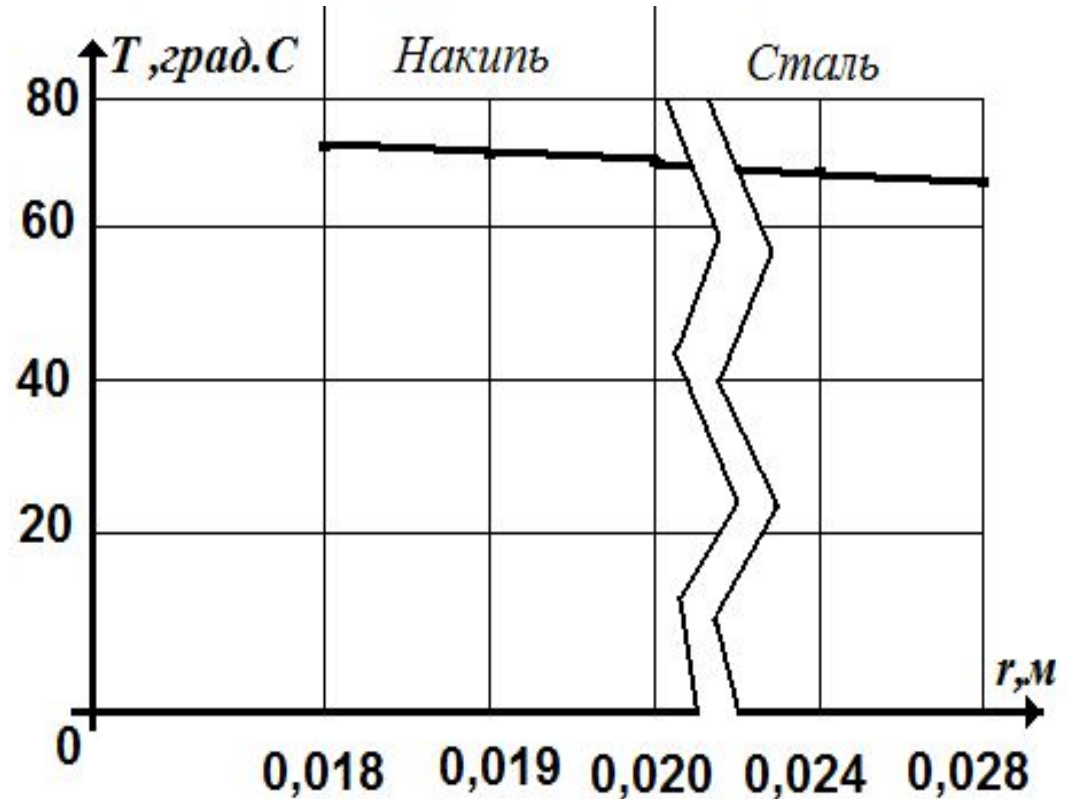
$T(r) = -7,85 \cdot \ln(r) + 312,63, \text{ }^\circ\text{C}$ - температурная зависимость

Контрольная работа 2.

Решение задачи 1.

3.4. Построение графика изменения температуры по толщине трубы

№	$r, \text{м}$	$T, \text{град.К}$	$t, \text{град.С}$	
1	0,018	346,14	72,99	накипь
2	0,019	344,65	71,50	накипь
3	0,02	343,23	70,08	накипь
		343,34	70,19	сталь
4	0,024	341,91	68,76	сталь
5	0,028	340,70	67,55	сталь



Контрольная работа 2.

Результаты решения задачи 1.

1. Коэффициент теплопередачи: $k = 0,7358 \frac{Вт}{м^2 \cdot K}$
2. Погонный тепловой поток: $q = 138,6689 \frac{Вт}{м^2}$
3. Температуры на поверхностях трубы и накипи

№	г,м	T,град.К	t,град.С	
1	0,018	346,14	72,99	накипь
2	0,019	344,65	71,50	накипь
3	0,02	343,23	70,08	накипь
		343,34	70,19	сталь
4	0,024	341,91	68,76	сталь
5	0,028	340,70	67,55	сталь