Контрольная работа №2. Задача 4.

Определить потери теплоты в единицу времени с 1 м. длины горизонтально расположенной цилиндрической трубы, охлаждаемой свободным потоком воздуха, если температура стенки трубы t_c, температура воздуха в помещении $t_в$, а диаметр трубы d. Степень черноты трубы $\boldsymbol{\varepsilon_c}$ = 0,9.

Исходные данные:

Вариант	**d,** мм	$\mathbf{t_c}$**,** ˚С	$\mathbf{t_в}$**,** ˚С
00	220	150	15

Решение:

Тепловой поток формируется за счет двух механизмов теплообмена – естественной конвекции и излучения.

Конвективный тепловой поток определяется выражением:

$$q_к = \pi \alpha_к (t_н - t_в) \tag{1}$$

где $\alpha_к$ – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2·К);

Определим коэффициент теплоотдачи по формуле:

$$\alpha_к = \frac{\lambda \cdot Nu}{d} \tag{2}$$

где λ – Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

Nu – число Нуссельта.

Для расчета коэффициента теплоотдачи (2) в условиях естественной конвекции в соответствии с рекомендациями, приведенными в методическом руководстве к настоящей контрольной работе, будем использовать зависимость определения критерия Нуссельта вида:

$$Nu = C \cdot [Gr \cdot Pr_m]^n \left(\frac{Pr_m}{Pr_c}\right)^{0,25} \tag{3}$$

Gr – число Грасгоффа;

Pr_m – число Прандтля при температуре среды – $t_в$;

Pr_c – число Прандтля при температуре стенки – t_c.

Коэффициенты C и n выбираются из Таблицы 1.

https://UNISOLVER.RU

Число Грасгоффа определяется по формуле:

$$Gr = \frac{\beta g l^3 (t_н - t)}{\nu^2} \quad (4)$$

где β – коэффициент объемного расширения воздуха, 1/К;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

l – определяющий (характерный) размер, м;

ν – кинематическая вязкость, м^2/с.

Выписываем из Приложения 2 (стр. 12 Методического руководства) физические постоянные воздуха при средней температуре пограничного слоя:

$$t_m = 0{,}5(t_в + t_с)$$

$$t_m = 0{,}5(\ 150\ +\ 15\ ) = 82{,}5\ ^\circ C$$

Кинематическая вязкость:

$$\nu = 21{,}39 \cdot 10^{-6}\ м^2/с$$

Теплопроводность:

$$\lambda = 3{,}07 \cdot 10^{-2}\ Вт/(м \cdot К)$$

Число Прандтля для воздуха, соответствующее температуре среды:

$$Pr_m = 0{,}692$$

Число Прандтля для воздуха, соответствующее температуре стенки:

$$Pr_c = 0{,}683$$

Коэффициент объемного расширения:

$$\beta = \frac{1}{t_m + 273}$$

$$\beta = \frac{1}{288 + 273} = 3{,}47 \cdot 10^{-3}\ К^{-1}$$

Вычисляем число Грасгоффа по (4):

$$Gr = \frac{3{,}47 \cdot 10^{-3} \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}22^3 \cdot (\ 150 - 15\ )}{(\ 21{,}39 \cdot 10^{-6})^2} = 10{,}7 \cdot 10^7$$

Таблица 1. Значения коэффициентов C и n уравнения (3) в зависимости от величины критериального соотношения Грасгоффа.

	Вертикальная поверхность			Горизонтальная поверхность	
$Gr \cdot Pr_m$	$10^{-3} – 5 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2 – 2 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^7 \div 1 \cdot 10^{12}$	$10^3 – 10^9$	$> 6 \cdot 10^{10}$
C	1,18	0,54	0,185	0,5	0,15
n	0,125	0,25	0,33	0,25	0,333

https://UNISOLVER.RU

Находим произведение:

$$[\,Gr \cdot Pr_m] = 7{,}41 \cdot 10^7$$

Выбираем коэффициенты:

$$C = 0{,}5 \qquad n = 0{,}25$$

Число Нуссельта по (3):

$$Nu = 0{,}5 \cdot [\,7{,}41 \cdot 10^7]^{0{,}25} \cdot \left(\frac{0{,}692}{0{,}683}\right)^{0{,}25} = 46{,}54$$

Коэффициент теплоотдачи от трубы к воздуху по (2):

$$\alpha_к = \frac{0{,}031 \cdot 46{,}54}{0{,}22} = 6{,}49 \ \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Плотность конвективного теплового потока по (1):

$$q_к = \pi \cdot 6{,}49 \cdot (150 - 15) = 2754{,}1 \ \text{Вт/м}$$

Поток лучистой энергии определяется выражением:

$$q_л = \varepsilon_{пр} C_0 \left(\left(\frac{t_с + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_в + 273}{100} \right)^4 \right) \qquad (5)$$

где $C_0 = 5{,}67$ Вт/(м^2·К^4) – постоянная Стефана – Больцмана, или коэффициент излучения абсолютно черной поверхности;

ε_c – степень черноты.

Подставим значения величин в (5).

$$q_л = 0{,}9 \cdot 5{,}67 \cdot \left[\left| \frac{150 + 273}{100} \right|^4 - \left| \frac{15 + 273}{100} \right|^4 \right] = 1282{,}7 \ \text{Вт/м}$$

Суммарный тепловой поток:

$$q = q_к + q_л$$

$$q = 2754{,}1 + 1282{,}7 = 4036{,}8 \ \text{Вт/м}$$

Ответ: q = 4,04 кВт/м

https://UNISOLVER.RU