Контрольная работа 2. Задача 2.

Воздух течет внутри трубы, имея среднюю температуру $t_в$, давление p_1 = 1 МПа и скорость ω. Определить коэффициент теплоотдачи от трубы к воздуху (α_1), а также удельный тепловой поток, отнесенный к 1 м длины трубы, если внутренний диаметр трубы d_1, толщина ее δ и теплопроводность λ_1 = 20 Вт/(м·К). Снаружи труба омывается горячими газами. Температура и коэффициент теплоотдачи горячих газов, омывающих трубу, соответственно равны $t_г$, α_2.

Исходные данные:

Вариант	**$t_г$,** °C	**α_2**, Вт/м^2·К	**ω**, м/с	**$t_в$,** °C	**d_1,** мм	**δ,** мм
00	500	20	10	150	70	3

Решение:

Внутри трубы теплообмен между воздухом и стенкой происходит за счет вынужденной конвекции. Коэффициент теплоотдачи от воздуха к стенкам трубы можно определить по соотношению:

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot Nu}{d_1} \tag{1}$$

где λ– коэффициент теплопроводности среды, Вт(м·К);

Nu – число Нуссельта;

d_1 – внутренний диаметр трубы, м.

Для расчета числа Нуссельта в условиях вынужденной конвекции в соответствии с рекомендациями, приведенными в методическом указании используем критериальное соотношение для турбулентного режима при обтекании одиночной трубы и *l*/d >100:

$$Nu = 0{,}021 \cdot Re^{0{,}8} \cdot Pr_{в}^{0{,}43} \cdot \left(\frac{Pr_{в}}{Pr_{ст}}\right)^{0{,}25} \tag{2}$$

где Re – число Рейнольдса;

$Pr_в$ – число Прандтля при температуре среды;

$Pr_{ст}$ – число Прандтля при температуре стенки.

UNISOLVER.ru

Можно считать, что температура стенки трубы равняется температуре горячих газов, омывающих трубу.

Число Рейнольдса определяется соотношением:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_1}{\nu} \qquad (3)$$

где ν – кинематическая вязкость воздуха, м^2/с.

Из Приложения 2 выписываем физические постоянные воздуха при средней температуре: $t_в$ = 150 ˚С

Кинематическая вязкость:

$$\nu = 28{,}99 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Коэффициент теплопроводности:

$$\lambda = 3{,}58 \cdot 10^{-2} \text{ Вт(м·К)}$$

Число Прандтля для воздуха, соответствующее температуре среды:

$$Pr_m = 0{,}684$$

Число Прандтля для воздуха, соответствующее температуре стенки.

$$Pr_{ст} = 0{,}687$$

Определим режим движения жидкости в трубе. Находим число Рейнольдса по (3):

$$Re = \frac{10 \cdot 0{,}07}{28{,}99 \cdot 10^{-6}} = 24146$$

Число Рейнольдса больше 2320, следовательно, режим течения воздуха – турбулентный. Следовательно, число Нуссельта определяем по формуле (2):

$$Nu_в = 0{,}021 \cdot 24146^{0.8} \cdot 0{,}684^{0.43} \cdot (0{,}684 / 0{,}687)^{0.25} = 57{,}2$$

Коэффициент теплоотдачи по (1):

$$\alpha_1 = \frac{0{,}0358 \cdot 57{,}2}{0{,}07} = 29{,}2 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Находим термические сопротивления составляющих теплопередающей системы.

Термическое сопротивление теплопередачи между стенкой трубы и средой рассчитываем по формуле:

$$R_\alpha = \frac{1}{\alpha \cdot d} \qquad (4)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2·К);

UNISOLVER.ru

d – диаметр трубы, м.

Термическое сопротивление теплопередачи цилиндрической стенки трубы:

$$R_{\text{ст}} = \frac{1}{2\lambda_1} ln \frac{d_2}{d_1} \qquad (5)$$

где λ_1 – коэффициент теплопроводности материала трубы, Вт(м·К);

d_2 – внешний диаметр трубы, м.

$$d_2 = d_1 + 2\cdot\delta = 70 + 2\cdot 3 = 76 \text{ мм}$$

Термическое сопротивление теплопередачи от воды к стенке трубы по (4), $\alpha = \alpha_1$, $d = d_1$:

$$R_{\alpha 1} = \frac{1}{29{,}2 \cdot 70 \cdot 10^{-3}} = 0{,}48867 \text{ (м·К)/Вт}$$

Термическое сопротивление теплопередачи цилиндрической стенки по (5):

$$R_2 = \frac{1}{2\cdot 20} \cdot \ln \frac{76}{70} = 0{,}00206 \text{ (м·К)/Вт}$$

Термическое сопротивление теплопередачи от стенки трубы к горячим газам по (4), $\alpha = \alpha_2$, $d = d_2$:

$$R_3 = \frac{1}{20{,}0 \cdot 76 \cdot 10^{3}} = 0{,}65789 \text{ (м·К)/Вт}$$

Термическое сопротивление системы:

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R = 0{,}48867 + 0{,}00206 + 0{,}65789 = 1{,}1486 \text{ (м·К)/Вт}$$

Коэффициент теплопередачи системы:

$$K = \frac{1}{R}$$

$$K = \frac{1}{1{,}1486} = 0{,}9 \text{ Вт/(м·К)}$$

Удельный тепловой поток q, отнесенный к 1 м трубы:

$$q = \pi K (t_{\text{г}} - t_{\text{в}})$$

$$q = \pi\cdot 0{,}9 \cdot (500 - 150) = 957 \text{ Вт/м}$$

Ответ: $\alpha_1 = 29{,}2$ Вт/(м^2 К); $q = 957$ Вт/м

UNISOLVER.ru