

$$t_{c2} = t_{c1} - q \frac{1}{2\pi\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} = 74,7 - 249 \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 45} \ln \frac{0,16}{0,15} = 74,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура на внешней поверхности изоляции

$$t_{c3} = t_{c2} - q \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \ln \frac{d_{из}}{d_2} = 74,6 - \frac{249}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,3} \ln \frac{0,26}{0,16} = 10,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Задача 5

Определить потери теплоты излучением и свободной конвекцией с 1 м длины горизонтального нефтепровода, проложенного над землей.

Известны наружный диаметр нефтепровода d , температура наружной поверхности нефтепровода, температура окружающего воздуха $t_{ж}$, коэффициент теплового излучения поверхности трубы ϵ .

Теплофизические свойства воздуха приведены в приложении, таблица 2. Данные для решения задачи приведены в таблице 9.

Таблица 9

Последняя цифра шифра	d мм	t_c °C	Предпоследняя цифра шифра	$t_{ж}$	ϵ
				°C	
0	200	70	0	-40	0,9
1	220	75	1	-35	0,85
2	240	80	2	-30	0,80
3	260	75	3	-20	0,78
4	280	70	4	-40	0,84
5	300	65	5	-35	0,86
6	320	60	6	-40	0,77
7	340	65	7	-20	0,81
8	350	70	8	-10	0,92
9	360	75	9	0	0,88

Методические указания

Потери теплоты за счет свободной конвекции можно определить по закону Ньютона–Рихмана.

$$Q_k = \bar{\alpha} (t_c - t_{ж}) F,$$

где $\bar{\alpha}$ – средний коэффициент теплоотдачи к воздуху.

Для расчета коэффициента теплоотдачи от горизонтальной трубы в условиях естественной конвекции в большом объеме рекомендуется уравнение подобия вида.

$$\bar{Nu} = B(Gr \cdot Pr)_m^n,$$

где $\bar{Nu} = \frac{\bar{a}d}{\lambda}$ – число Нуссельта;

d – наружный диаметр трубы,

λ – коэффициент теплопроводности жидкости, Вт/(м К),

B и n – постоянные, выбираемые по величине произведения $(Gr \cdot Pr)_m$ (таблица 10); индекс m говорит о том, что теплофизические величины выбираются по температуре $t_m = 0,5(t_c + t_{\text{ж}})$.

$Gr = g\beta\Delta t d^3/\nu^2$ – число Грасгофа;

β , 1/К – температурный коэффициент объемного расширения, (для газов $\beta = 1/T_m$);

ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости, м²/с;

Pr – число Прандтля.

Таблица 10

$(Gr \cdot Pr)_m$	B	n
$10^{-3} \div 5 \cdot 10^2$	1,18	1/8
$5 \cdot 10^2 \div 2 \cdot 10^7$	0,54	1/4
$>2 \cdot 10^7$	0,135	1/3

Теплота, передаваемая излучением от тела, расположенного в большом объеме, к среде с температурой $t_{\text{ж}}$ рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{л}} = \varepsilon C_0 F \left[\left(\frac{T_c}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{ж}}}{100} \right)^4 \right],$$

где $C_0 = 5,67$ Вт/(м² · К⁴) – излучательная способность абсолютно черного тела.

Пример:

Определить тепловые потери излучением и свободной конвекцией от горизонтально расположенной плиты размерами 1x0,5 м². Теплоотдающая поверхность направлена вверх. Температура плиты $t_c = 200$ °С, температура окружающего воздуха $t_{\text{ж}} = 0$ °С, коэффициент теплового излучения поверхности плиты $\varepsilon = 0,8$.

Решение:

Теплофизические характеристики воздуха выбираем из приложения (таблица 2) по $t_m = 0,5(t_c + t_{\text{ж}}) = 100$ °С:

$$\lambda = 0,0321 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}, \quad \nu = 23,13 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}, \quad \text{Pr} = 0,688.$$

При расчете числа Грасгофа, за определяющий размер в данной задаче берется наименьший размер пластины, т.е. $d = 0,5 \text{ м}$.

$$\text{Gr}_m = \frac{g \beta \Delta t d^3}{\nu^2} = \frac{9,81 \cdot \frac{1}{373} (200 - 0) \cdot 0,5^3}{(23,13 \cdot 10^{-6})^2} = 1,229 \cdot 10^9.$$

По произведению $(\text{Gr} \cdot \text{Pr})_m = 1,229 \cdot 10^9 \cdot 0,686 = 8,43 \cdot 10^8$ из таблицы 10 выбираем $B = 0,135$, $n = 1/3$.

Число Нуссельта

$$\overline{\text{Nu}} = B (\text{Gr} \cdot \text{Pr})_m^n = 0,135 (8,43 \cdot 10^8)^{\frac{1}{3}} = 127,5.$$

Коэффициент теплоотдачи

$$\bar{\alpha} = \frac{\overline{\text{Nu}} \lambda}{d} = \frac{127,5 \cdot 0,0321}{0,5} = 8,19 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Если теплоотдающая поверхность направлена вверх, то найденное значение $\bar{\alpha}$ нужно увеличивать на 30%, т.е.

$$\bar{\alpha}_* = \bar{\alpha} \cdot 1,3 = 8,19 \cdot 1,3 = 10,6 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Потери теплоты за счет свободной конвекции

$$Q_k = \bar{\alpha}_* (t_c - t_{ж}) F = 10,6 \cdot (200 - 0) \cdot 0,5 = 1064 \text{ Вт}.$$

Потери теплоты за счет излучения

$$Q_{\text{л}} = \varepsilon C_0 F \left[\left(\frac{T_c}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{ж}}}{100} \right)^4 \right] = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 0,5 \left[\left(\frac{473}{100} \right)^4 - \left(\frac{273}{100} \right)^4 \right] = 1008 \text{ Вт}.$$

Общие потери от горизонтальной плиты

$$Q = Q_k + Q_{\text{л}} = 1064 + 1008 = 2072 \text{ Вт}.$$

В данной задаче потери теплоты за счет конвекции и излучением соизмеримы. Чем выше температура поверхности плиты, тем потери теплоты от излучения будут расти быстрее, чем за счет конвекции и наоборот.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Общие методические указания

Номера вопросов даны в таблице 11 в зависимости от двух последних цифр шифра студента. Например, если две последние цифры шифра студента 37, то по последней цифре (7) студент отвечает на вопросы 8 и 18, а по предпоследней цифре (3) на вопросы 24 и 34.