

Пример решения задачи № 2

Исходные данные:

$d_n = 0,20 \text{ м}; l = 5 \text{ м}; t_c = 92 \text{ °С}; t_b = 16 \text{ °С}.$

Задание: определить конвективный тепловой поток от трубы к воздуху в гараже.

Решение

Тепловой поток на наружной поверхности трубы Q (Вт), передаваемый к воздуху, определяется как

$$Q = \alpha(t_c - t_b)F, \quad (2.1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи при свободном движении воздуха около трубы, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$; F – площадь наружной поверхности трубы, м^2 .

Критериальная зависимость для вычисления среднего коэффициента теплоотдачи при свободном движении воздуха имеет вид

$$Nu = C(Gr \cdot Pr)^n, \quad (2.2)$$

где постоянные C и n зависят от режима свободного движения воздуха и условий обтекания поверхности. Они являются функциями $Gr \cdot Pr$ и для горизонтальной трубы определяются по табл. 2.3 .

Таблица 2.3

Значения постоянных C и n

$Gr \cdot Pr$	C	n	Режим движения
$1 \cdot 10^3 \dots 1 \cdot 10^9$	0,5	0,25	Ламинарный
$\geq 6 \cdot 10^{10}$	0,15	0,333	Турбулентный

Nu, Gr, Pr – критерии подобия Нуссельта, Грасгофа, Прандтля:

$$Nu = \frac{(\alpha \cdot d_n)}{\lambda}; \quad Gr = \frac{g \cdot \beta(t_c - t_b) \cdot d_n^3}{\nu^2},$$

где λ – коэффициент теплопроводности воздуха, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м}^2/\text{с}$; β – коэффициент объемного расширения воздуха, $\beta = \frac{1}{(t_b + 273)}, \frac{1}{\text{К}}$; ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, $\text{м}^2/\text{с}$.

В формуле (2.2) все физические свойства, входящие в критерии подобия, выбираются из табл. 2.2 при определяющей температуре воздуха t_b вдали от поверхности теплообмена, а в качестве определяющего размера – наружный диаметр трубы d_n .

В рассматриваемом случае определяющая температура $t_b = 16^\circ\text{C}$.

При этой температуре для воздуха:

$$\lambda = 0,0256 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}; \quad \nu = 14,7 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}; \quad Pr = 0,704;$$

$$\beta = \frac{1}{(t_b + 273)} = \frac{1}{(16 + 273)} = 3,46 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{К}}.$$

Вычисляем значение комплекса:

$$\begin{aligned} Gr \cdot Pr &= \frac{g \cdot \beta (t_c - t_b) \cdot d^3}{\nu^2} \cdot Pr = \\ &= \frac{9,81 \cdot 3,46 \cdot 10^{-3} \cdot (92 - 16) \cdot 0,2^3}{(14,7 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 0,704 = 6,723 \cdot 10^7. \end{aligned}$$

Из табл. 2.3 находим, что при вычисленном значении комплекса постоянные в расчетном уравнении (2.2) равны: $C = 0,5$ и $n = 0,25$. Тогда значение критерия Нуссельта составит

$$Nu = 0,5 \cdot (6,723 \cdot 10^7)^{0,25} = 45,27.$$

Откуда

$$\alpha = Nu \cdot \left(\frac{\lambda}{d} \right) = 45,27 \cdot \left(\frac{0,0256}{0,2} \right) = 5,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Площадь наружной поверхности трубы

$$F = \pi d_n l = 3,14 \cdot 0,2 \cdot 5 = 3,14 \text{ м}^2.$$

Тогда тепловой поток, отдаваемый от наружной поверхности трубы к воздуху по формуле (2.1), будет равен

$$Q = 5,8 \cdot (92 - 16) \cdot 3,14 = 1384,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Ответ: $Q = 1384,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$