

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ РАЗМЕРОВ КРУГЛОГО РЕБРА НА ЕГО ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

Кожухотрубчатые теплообменники с оребрѐнными трубами широко применяются в нефтеперерабатывающей, нефтяной и газовой промышленности, в холодильной технике, в системах вентиляции и кондиционирования воздуха, на транспорте. Данные аппараты используются, когда необходимо обеспечить теплопередачу между жидкостью, движущейся по трубам, и газом, обтекающим внешнюю оребрѐнную поверхность пучка. По сравнению с гладкотрубным теплообменником применение оребрѐнных труб увеличивает теплопередачу, что позволяет уменьшить габариты и массу теплообменника.

Эффективность теплопередачи через оребрѐнную трубу, в первую очередь, определяется интенсивностью теплоотдачи между оребрѐнной поверхностью и газом, которую, в свою очередь, характеризует коэффициент теплоотдачи, а также зависит от разности средних температур оребрѐнной поверхности и газа.

На величину средней температуры поверхности ребра влияет распределение температуры по его высоте, которое может быть найдено путѐм решения стационарной задачи о теплопроводности для круглого ребра, что и являлось целью данной работы.

На рис. 1 схематично представлен фрагмент оребрѐнной трубы с конструктивными размерами и режимными характеристиками, влияющими на теплоотдачу.

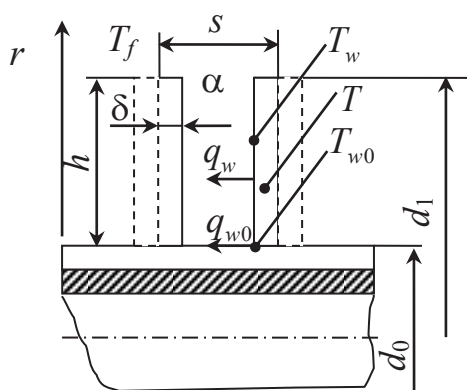


Рисунок 1 - Геометрия задачи

ребра; коэффициент теплоотдачи α и температура окружающей среды T_f со стороны оребрения постоянны. Температура у основания ребра T_{w0} .

Формулировка задачи в безразмерном виде

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2\theta}{dR^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{d\theta}{dR} - k^2\theta &= 0 \\ \theta_{R=r_0/r_1} &= 1 \\ \left[\frac{d\theta}{dR} \right]_{R=1} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где безразмерные: $\theta = \frac{T - T_f}{T_{w0} - T_f}$ – температура; координата – $R = \frac{r}{r_1}$;

$$Bi = \frac{\alpha\delta}{\lambda} \text{ – число Био; } k^2 = \frac{\alpha r_1^2}{\lambda\delta}; N = \sqrt{Bi} \frac{h}{\delta}.$$

Основные результаты решения задачи:

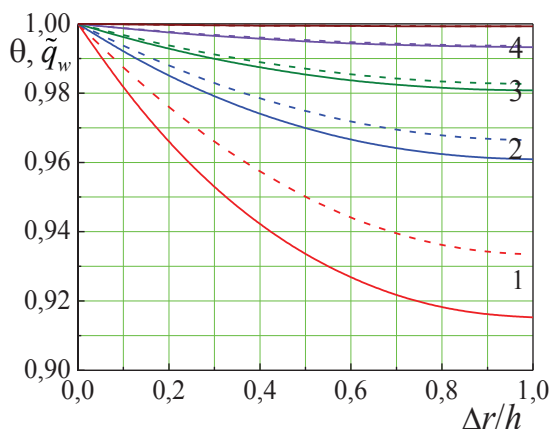
- локальная температура и тепловой поток с боковой поверхности ребра на произвольной его высоте

$$\theta = \tilde{q}_w = \frac{q_w}{q_{w0}} = \frac{K_1(kR_1) \cdot I_0(kR) + I_1(kR_1) \cdot K_0(kR)}{I_1(kR_1) \cdot K_0(kR_0) + I_0(kR_0) \cdot K_1(kR_1)}, \quad (2)$$

где I_0, I_1, K_0, K_1 – модифицированные функции Бесселя первого и второго рода нулевого и первого порядка.

- средняя по боковой поверхности ребра температура и коэффициент эффективности ребра

$$\bar{\theta} = \eta = \frac{\bar{q}_w}{q_{w0}} = \frac{1}{\sqrt{Bi} \cdot \left(\frac{h}{\delta}\right) \cdot \left(1 + \frac{h}{2r_0}\right)} \cdot \frac{(I_1(kR_1) \cdot K_1(kR_0) - K_1(kR_1) \cdot I_1(kR_0))}{(I_1(kR_1) \cdot K_0(kR_0) + I_0(kR_0) \cdot K_1(kR_1))}. \quad (3)$$



h/r_0 : 1 – 1,1; 2 – 0,56; 3 – 0,35; 4 – 0,19

Рисунок 2 - Распределение температуры и теплоотдачи по высоте ребра

В настоящее время нашли широкое применение круглые стальные трубы, покрытые алюминиевой оболочкой в виде накатных рёбер со следующими размерами: $d_1 \times d_0 \times h \times s \times \Delta = 55,6 \times 26,5 \times 14,55 \times 2,91 \times 0,75$. Графики зависимостей (2) и (3), построенные для данной трубы изображены на рис. 2, 3 сплошными линиями. Для сравнения пунктиром пред-

ставлено решение аналогичной задачи для прямого ребра [1], которое имеет вид:

$$\theta_L = \frac{\operatorname{ch}\left(\sqrt{Bi} \frac{h}{\delta} (1 - \Delta r/h)\right)}{\operatorname{ch}\left(\sqrt{Bi} \frac{h}{\delta}\right)} \quad (4)$$

$$\bar{\theta}_L = \frac{\operatorname{th}\left(\sqrt{Bi} \cdot \frac{h}{\delta}\right)}{\sqrt{Bi} \cdot \frac{h}{\delta}} \quad (5)$$

Расчёт проводился при следующих условиях. Теплопроводность алюминия принималась $\lambda \cong 200 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$, коэффициент теплоотдачи со стороны оребрения $\alpha \cong 50 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$, температуры окружающей среды и основания ребра соответственно $t_f = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{w0} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$.

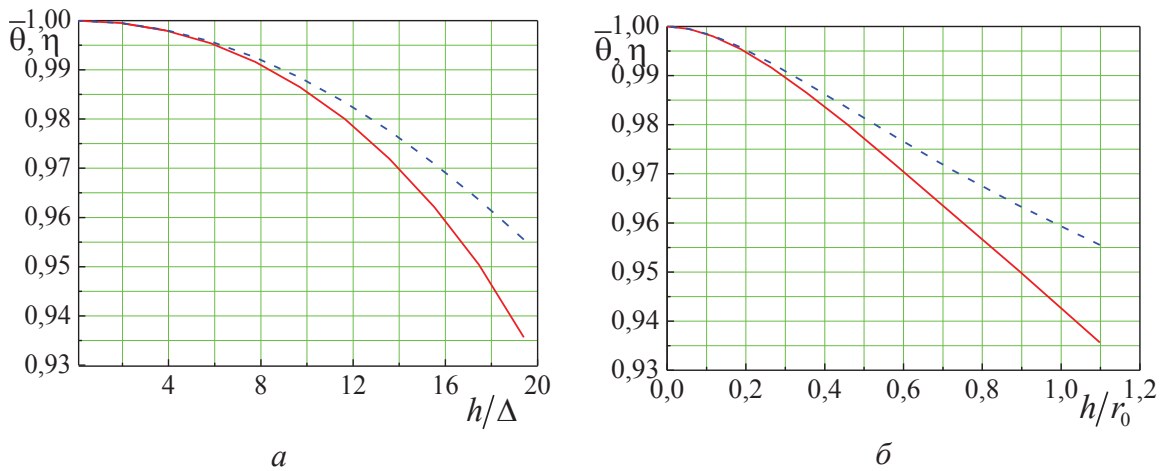


Рисунок 3 - Влияние конструктивных размеров на среднюю температуру ребра и его эффективность

В диапазоне изменения конструктивных параметров ребра h/Δ ; h/r_0 , указанных на графиках и $N < 0,5$, различие результатов не превышало 2%. Однако, при $N > 1,0$ применение формул (4), (5) даёт погрешность расчёта более 10% и с увеличением параметра N стремительно нарастает.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юдаев, Б. Н. Теплопередача: учебник для вузов / Б. Н. Юдаев. – М.: «Высш.школа», 1973. – 360 с.