

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайтехович П.Е., Мытько Д.Ю. Сравнительный анализ эффективности регулярных насадок для массообменных аппаратов // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2020. № 2. С. 44–49.

2. П.Е. Вайтехович, Д.Ю. Мытько, А.М. Волк. Влияние геометрических параметров регулярной структурированной насадки на гидродинамику и массообмен // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2021. № 2. С. 67–71.

УДК 621.565.93/.95-0.46.54(043.3)

Е.С. Данильчик, ассист.; А.Б. Сухоцкий, доц., канд. техн. наук;
В.Н. Фарафонов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ОБОБЩЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПО СВОБОДНО-КОНВЕКТИВНОМУ ТЕПЛООБМЕНУ ВОЗДУХООХЛАЖДАЕМЫХ ОДНОРЯДНЫХ ПУЧКОВ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОРЕБРЕННЫХ ТРУБ С КРУГЛЫМИ АЛЮМИНИЕВЫМИ РЕБРАМИ

Теплообменники воздушного охлаждения (ТВО) получили распространение в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, газовой, целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности, в тепло- и электроэнергетике, в холодильной технике, на атомных станциях, в системах воздушного отопления и вентиляции, благодаря их экологичности и отсутствия потребности в охлаждающей воде. Теплообменные аппараты в основном эксплуатируются в режиме вынужденной конвекции воздуха на привод которых затрачивается огромное количество электроэнергии. Одним из действенных направлений реализации энергосберегающих технологий является расширенное применение свободной конвекции с уменьшением или исключением теплообменных процессов с вынужденной конвекцией.

В работе проведено обобщение полученных результатов в ходе экспериментального исследования однорядного пучка из шести труб, представленного в работе [1]. Геометрические размеры биметаллических оребренных труб со спиральными накатными ребрами следующие: наружный диаметр оребрения $d = 56,0$ мм; диаметр трубы по основанию $d_0 = 26,8$ мм; высота ребра $h = 14,6$ мм; шаг ребра $s = 2,5$ мм; средняя толщина ребра $\Delta = 0,5$ мм; коэффициент оребрения трубы $\phi = 19,3$ (I тип, $h / s = 5,84$). Материал ребристой оболочки – алюминиевый сплав АД1М, материал несущей трубы – углеродистая сталь, длина трубы $l_{\text{н}} = 330$ мм (теплоотдающая длина $l = 300$ мм). Диаметр несущей трубы $d_{\text{н}} = 25$ мм, толщина стенки $\delta = 2$ мм. Для изменения

высоты оребрения трубы ее ребра стачивались путем шлифования с образованием новых типов труб, а компоновка однорядных пучков проводилась с постоянным относительным поперечным шагом $\sigma_1 = S_1 / d = 1,14 = \text{const}$: II тип – $h / s = 4,80$; III тип – $h / s = 3,20$; IV тип – $h / s = 1,64$; V тип – $h / s = 0,80$; VI тип – условно гладкая труба [2], $h / s \approx 0$. Все типы пучков изучались при следующих углах наклона осей труб к горизонтальной плоскости: $\gamma = 0, 15, 30, 45, 60$ и 90° .

Получены зависимости поправочных коэффициентов $C_\gamma = \text{Nu}_{\gamma}^{h/s} / \text{Nu}_{\gamma=0^\circ}^{h/s}$ на угол наклона γ к горизонту с отклонением $\pm(2-10)\%$ для различных типов однорядного пучка (рисунок 1 а) [1] и поправочных коэффициентов $C'_{h/s} = \text{Nu}_{h/s}^\gamma / \text{Nu}_{h/s \rightarrow 0}^\gamma$ на относительную высоту ребра h/s труб однорядного пучка при различных углах его наклона γ . Для оценки увеличения теплового потока оребренного пучка по сравнению с гладким пучком использовался коэффициент $C'_{h/s} \varphi = C'_{h/s} = (\alpha_k F)_{h/s} / (\alpha_k F)_{h/s \rightarrow 0}$ с отклонением $\pm(2-18)\%$ (рисунок 1 б). Физический смысл данного коэффициента $C'_{h/s} \varphi$ следующий – удельное (на единицу температурного напора $\Delta t = 1^\circ\text{C}$) увеличение теплового потока от оребренного пучка к воздуху по сравнению с гладким пучком.

Коэффициенты определялись как среднее арифметическое расчетных точек на исследованном диапазоне $\text{Ra} = 33\,000-460\,000$.

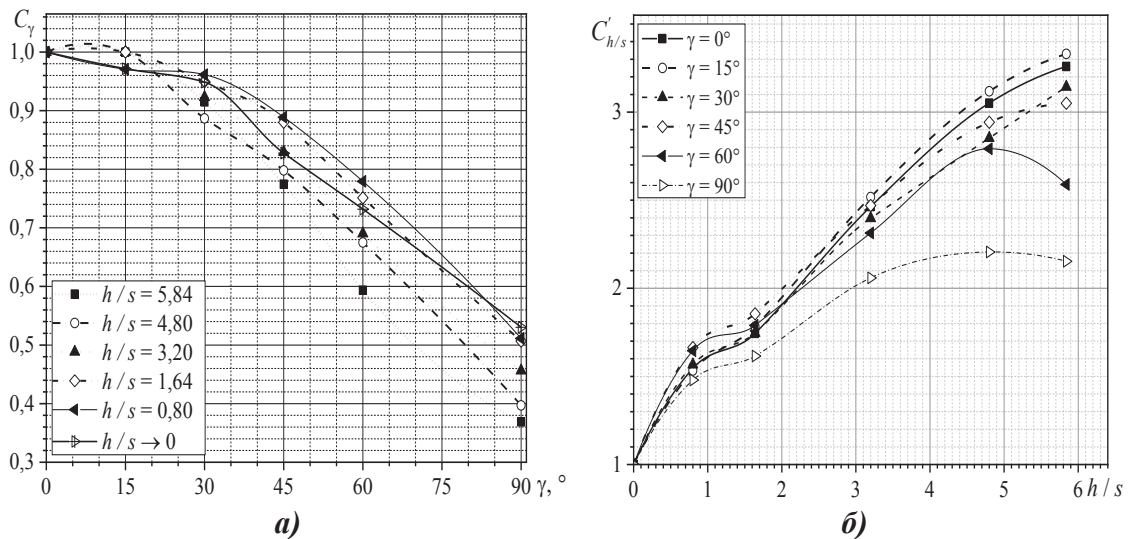


Рисунок 1 – Графические зависимости поправочных коэффициентов:

а) $C_\gamma = f(\gamma)$ и б) $C'_{h/s} = f(h/s)$ при определении теплоотдачи однорядного пучка различных типов I–VI при углах наклона $\gamma = 0, 15, 30, 45, 60$ и 90° в режиме свободной конвекции

Экспериментальные данные по теплоотдаче однорядного пучка в режиме свободной конвекции с погрешностью от 12 до 28% обобщены уравнением вида

$$\text{Nu} = 0,943 \cdot \text{Ra}^{0,18} C_{\gamma}^0 C_{h/s}^{\gamma}, \quad (1)$$

где C_{γ}^0 – поправочный коэффициент гладкого горизонтального однорядного пучка на угол наклона к горизонту в интервале $\gamma = 15\text{--}90^{\circ}$ (рисунок 1 а, сплошная жирная линия); $C_{h/s}^{\gamma} = C'_{h/s} / \varphi$ – поправочный коэффициент гладкого однорядного пучка при углах наклона в интервале $\gamma = 0\text{--}90^{\circ}$ на относительную высоту ребра труб в пределах $h/s = 0,8\text{--}5,84$ (рисунок 1 б).

Таким образом, оценка тепловой эффективности однорядных пучков с различной высотой ребра труб проводилась с помощью коэффициента увеличения теплового потока оребренного пучка по сравнению с гладким пучком, учитывающего теплоотдачу и площадь пучка. Из рис. 1, б видно, что рост высоты ребра труб однорядного пучка приводит к возрастанию коэффициента увеличения теплового потока оребренного пучка в 1,5–3,3 раза. Максимальное его увеличение (более чем в 2 раза) достигается при эффективной высоте ребра $h_{\text{эф}} > 0,0115$ м ($h/s > 4,6$) в зависимости от угла наклона труб пучка. Причем с ростом угла наклона эффективная высота $h_{\text{эф}}$ ребра уменьшается. В однорядном горизонтальном пучке (тип VI) эффективная высота ребра (более 0,0145 м) выше, чем у одиночной горизонтальной трубы (около 0,0123 м), что объясняется влиянием турбулизации потока воздуха верхушками ребер соседних труб. У вертикальных трубы [3] и однорядного пучка эффективная высота ребра примерно одинакова от 0,0108 до 0,0115 м, т.к. воздух между трубами вертикального пучка практически не движется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данильчик Е.С. Экспериментальные исследования эффективности однорядного пучка из биметаллических оребренных труб с различной высотой оребрения при свободно-конвективном теплообмене с воздухом / Е.С. Данильчик, А.Б. Сухоцкий, В.Б. Кунтыш // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. – Т.22, № 5. – С. 128–141.
2. Данильчик Е. С. Экспериментальные исследования теплоотдачи одиночной биметаллической ребристой трубы с различной высотой оребрения к воздуху в режиме свободной конвекции // Тепло- и массоперенос – 2019 : сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова ; редкол.: О.Г. Пенязьков (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2020. – С. 42–52.
3. Данильчик Е. С. Экспериментальные исследования влияния угла наклона оребренной трубы на свободно-конвективную теплоотдачу теплообменников воздушного охлаждения / Е.С. Данильчик, А.Б. Сухоцкий // Энергоэффективность, 2020. – № 7. – С. 16–20.