

**Исследования конвективной теплоотдачи труб с круглыми
алюминиевыми ребрами разной высоты
в различных режимах свободной конвекции**

Данильчик Е. С.^{1,2}, Сухоцкий А. Б.¹

¹ Белорусский государственный технологический университет

² Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси

Аннотация: Проведены экспериментальные исследования конвективной теплоотдачи однорядного пучка из шести труб с круглыми алюминиевыми ребрами разной высоты в различных режимах свободной конвекции.

Текст доклада: Одним из наиболее распространенных направлений в повышении эффективности теплообменных аппаратов является увеличение поверхности теплообмена в том числе и путем оребрения труб. Широкое применение в промышленности и технике получили биметаллические ребристые трубы (БРТ) с круглыми винтовыми алюминиевыми ребрами [1].

Воздухоохлаждаемые теплообменники (ВОТ) с биметаллическими ребристыми трубами применяются в различных отраслях промышленности для охлаждения технологических продуктов и энергоносителей. Однорядные пучки нашли распространение в системах отопления в качестве калориферов и системах утилизации сбросного тепла и т.д. Одним из способов снижения энергопотребления в данных системах является перевод ВОТ в режим свободной конвекции без затрат электроэнергии на привод вентиляторов. Недостатком ВОТ являются малые коэффициенты теплопередачи и существенные масса-габаритные характеристики. Проблема может быть решена при оснащении ВОТ дополнительными устройствами, позволяющими интенсифицировать свободную конвекцию без или с уменьшением потреблением электроэнергии электрическим двигателям вентилятора. К таким устройствам является вытяжная шахта, установленная над ВОТ, для усиления тяги воздуха.

Увеличение высоты ребер труб теплообменника приводит к росту коэффициента оребрения, но при этом снижается средний коэффициент теплоотдачи за счет уменьшения скоростей потока воздуха в межреберном пространстве и снижения энергетической эффективности ребер. Следовательно, имеется оптимальная высота оребрения труб теплообменника для различных областей интенсивности конвективного теплообмена.

В данной работе были проведены экспериментальные исследования однорядного пучка из шести труб с поперечным шагом $S_1 = 64$ мм. Геомет-

рические 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 $l_n = 330$ мм (теплоотдающая длина $l = 300$ мм). Диаметр несущей трубы $d_n = 25$ 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 производилась 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], $h / s \approx 0$.

Для интенсификации свободно-конвективного теплообмена [3] над поверхностью однорядного пучка устанавливались два типа шахт – с регулируемым проходным сечением и регулируемой высотой [4].

Во время экспериментального исследования однорядного пучка электрическая мощность, подводимая к трубам, изменялась в пределах $W = 6\text{--}230$ Вт, средняя температура стенки у основания ребер составляла $t_{\text{ст}} = 30\text{--}250$ °С, а температура окружающего воздуха в камере $t_0 = 16\text{--}27$ °С.

По данным измерений рассчитывался средний приведенный коэффициент теплоотдачи конвекцией, отнесенный к полной наружной поверхности круглоребристой трубы α_k , Вт/(м²·К) [2, 3].

Полученные данные были обобщены в виде чисел подобия Нуссельта и Рэлея ($Nu = f(Ra)$), а при оснащении теплообменного пучка вытяжной шахтой, также с помощью зависимости числа Нуссельта и от числа Рейнольдса ($Nu = f(Re)$).

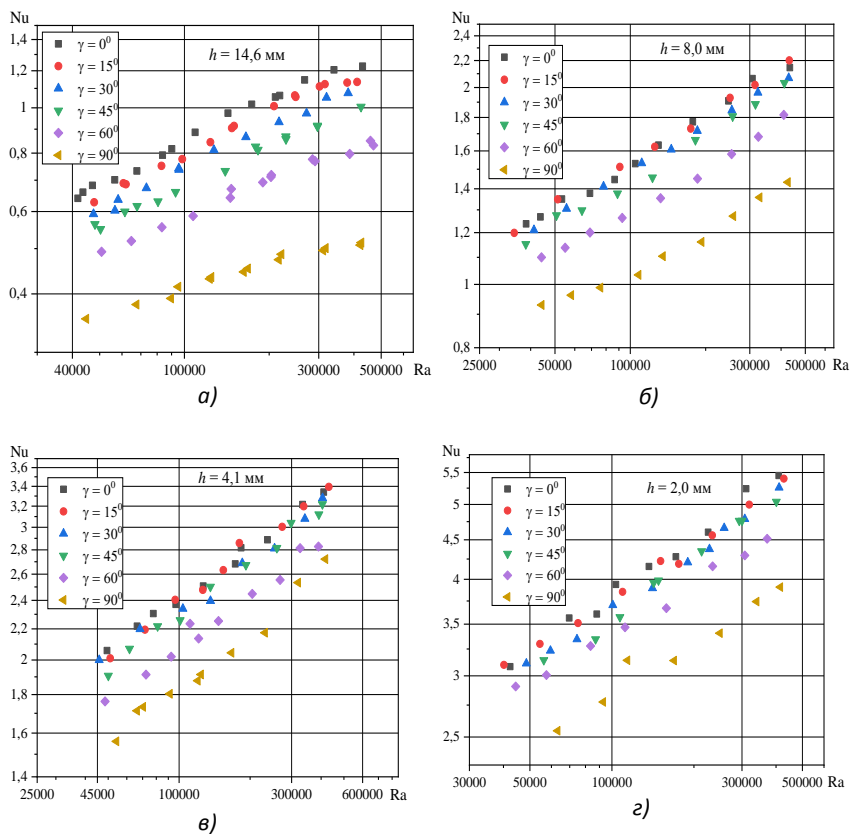


Рис. 1. Свободно-конвективная теплоотдача ребристых труб при углах наклона $\gamma = 0, 15, 30, 45, 60$ и 90° к горизонтальной плоскости с различными высотами ребра труб:

а) $h = 14,6$ мм; б) $h = 8,0$ мм в) $h = 4,1$ мм; г) $h = 2,0$ мм;

Из рис. 1 видно, что увеличение угла наклона оребренной трубы от 0 до 90° сопровождается снижением теплоотдачи, при чем характер ее снижения для труб с различной высотой оребрения различается. При этом теплоотдача при $\gamma = 15^\circ$ (в случае труб с $h = 8,0, 4,1$ и $2,0$ мм и при $\gamma = 30$ и 45°) очень близка к полученным ее значениям при $\gamma = 0^\circ$, а теплоотдача вертикальной оребренной трубы с различной высотой оребрения приблизительно в 2 раза хуже теплоотдачи горизонтальной трубы.

Литература

1. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения : справочник / А.Н. Бессонный [и др.] ; под общ.ред. В. Б. Кунтыша, А. Н. Бессонного. – СПб. : Недра, 1996. – С. 28–37, 89–104.
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. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси. 2020. – С. 42–52.
3. Сухоцкий А. Б., Данильчик Е. С. Исследование свободно конвективного теплообмена оребренной трубы и однородного пучка при различных углах наклона труб к горизонтальной плоскости // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 2 (222). – С. 272–279.
4. Сидорик Г. С. Экспериментальный стенд для исследования тепловых и аэродинамических процессов смешанно-конвективного теплообмена круглоребристых труб и пучков // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. – № 1. – С. 85–93.