

5. Ожигина, В. В. Теоретические основы и структура экономической интеграционной политики / В. В. Ожигина // Белорусский экономический журнал. – 2022. – № 3 (100). – С. 37-54.

УДК 536.25

Г.С. Маршалова, Д.В. Островская
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ВЫСОТЫ ВЫТЯЖНОЙ ШАХТЫ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ
ТЕПЛООТДАЧИ ОДНОРЯДНОГО ПУЧКА ОРЕБРЕННЫХ
ТРУБ С УЧЕТОМ ИХ ВНЕШНЕГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Аннотация. В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния высоты вытяжной шахты на интенсивность теплоотдачи однорядного пучка биметаллических ребристых труб со спиральными алюминиевыми ребрами (БРТ) с учетом их внешнего загрязнения. Получено, что при увеличении высоты вытяжной шахты интенсивность теплоотдачи увеличивается.

G.S. Marshalova, D.V. Ostrovskaya
Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF THE
EXHAUSTED SHAFT HEIGHT ON THE INTENSITY OF HEAT
TRANSFER OF A SINGLE-ROW BUNDLE OF FINNED TUBES,
TAKING INTO ACCOUNT THEIR EXTERNAL
CONTAMINATION**

Abstract. In article the results of experimental study of the effect of the exhausted shaft height on the intensity of heat transfer of a single-row bundle of finned tubes, taking into account their external contamination has been shown. It is established that with an increase in the height of the exhaust shaft, the intensity of heat transfer increases.

Аппараты воздушного охлаждения (АВО) нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. химической и нефтехимической, нефтеперерабатывающей, газовой, целлюлозно-бумажной, в тепло- и электроэнергетике, в холодильной технике, на атомных станциях. Данные аппараты в основном функционируют в

режиме вынужденной конвекции, в результате чего на привод вентиляторов затрачивается значительное количество электроэнергии.

Достичь экономии топливно-энергетических ресурсов при работе воздухоохлаждаемых теплообменников возможно автоматическим переходом при определенных условиях окружающей среды в режимы свободной и смешанной конвекции. Одним из способов энергосбережения при эксплуатации ТВО, изученных в работе [1], является установка вытяжной шахты над теплообменным пучком ТВО, что способствует интенсификации свободно-конвективного теплообмена за счет увеличения силы естественной тяги воздуха. АВО состоят из пучков биметаллических оребренных труб различных компоновок. Оребрение позволяет увеличить площадь теплопередающей поверхности, что способствует повышению энергетической эффективности.

Основной характеристикой АВО является коэффициент теплопередачи, который меняет свое значение в течении всего времени эксплуатации теплообменного аппарата. Это связано с тем, что, находясь на открытом воздухе, поверхность труб теплообменного аппарата подвержена загрязнению. На загрязнение поверхности теплообмена, обтекаемой воздушным потоком, например, в радиаторах транспортных установок, согласно работе [2], основное влияние оказывают механические примеси в виде пыли, жидкой грязи, песка, насекомых, растений, половы, волокнистых веществ, моторного масла, сажи и т. п.

Для достоверного подбора температуры окружающей среды, позволяющей переходить от вынужденной конвекции к смешанной или свободной, существует необходимость строгого соблюдения температурных режимов и точности их регулирования, что напрямую зависит от наличия качественных данных по теплообмену пучков, состоящих из оребренных труб, с учетом влияния внешнего загрязнения.

Целью работы является изучение влияния высоты вытяжной шахты на интенсивность теплоотдачи однорядного пучка оребренных труб с учетом их внешнего загрязнения.

При проведении экспериментов использовались БРТ со спиральными накатными круглыми ребрами следующих геометрических параметров: наружный диаметр $d = 56,8$ мм; диаметр трубы по основанию $d_0 = 26,4$ мм; высота ребра $h = 15,2$ мм; шаг ребра $s = 2,43$ мм; средняя толщина ребра $\Delta = 0,55$ мм; длина трубы $l_{\text{т}} = 330$ мм (теплоотдающая длина $l = 300$ мм), коэффициент оребрения трубы $\phi = 21,0$. Материал ребристой оболочки – алюминиевый сплав АД1М, материал несущей

трубы – углеродистая сталь. Диаметр несущей трубы $d_n = 25$ мм, толщина стенки $\delta = 2$ мм. Внешнее загрязнение межреберного пространства биметаллических ребристых труб создавалось путем равномерного кольцевого наматывания льняного шнура на поверхность труб. В результате был образован слой загрязнения толщиной $\delta_z = 2,9$ мм.

Для интенсификации свободно-конвективного теплообмена воздуха над пучком труб устанавливалась вытяжная шахта со следующими высотами: $H = 0,52; 1,04; 1,72$ м (рис. 1). На выходе шахты закреплялась крышка с прямоугольным проходным сечением $0,3 \times 0,23$ м ($f_{отв} = 0,069$ м²).

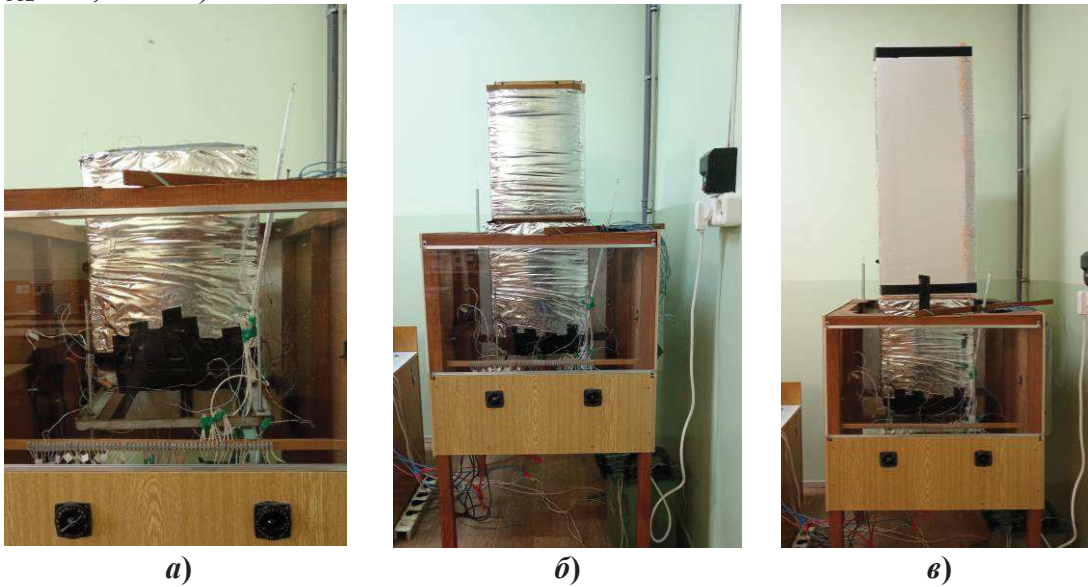


Рис. 1 – Фотографии экспериментальной установки:

- а) с вытяжной шахтой $H = 0,52$ м;
- б) с вытяжной шахтой $H = 1,04$ м;
- в) с вытяжной шахтой $H = 1,72$ м

Экспериментальное исследование проводилось методом полного теплового моделирования. Подвод теплового потока к оребренным поверхностям обеспечивался за счет установки внутри оребренных труб трубчатых электронагревателей (ТЭНов). В ходе опытов электрическая мощность, подводимая к оребренным трубам, изменялась в пределах $W = 5-320$ Вт, средняя температура стенки у основания ребер составляла $t_{ст} = 25-120^\circ\text{C}$, а температура окружающего воздуха в камере $t_0 = 17-23^\circ\text{C}$. Согласно работе [3] в качестве определяющих характеристик для расчета чисел подобия при определении теплофизических свойств воздуха λ, ν, ρ, c_p и β следует принимать температура окружающего воздуха в камере t_0 , а за определяющий размер – диаметр трубы по основанию ребер d_0 .

По данным измерений рассчитывался средний приведенный коэффициент теплоотдачи конвекцией, отнесенный к полной наружной поверхности оребренной трубы α_k , Вт/(м² · °С). При его определении учитывалась лучистая составляющая $Q_{л}$, Вт и составляющая потерь $Q_{п}$, Вт [4].

Экспериментальные данные обрабатывались и представлялись в виде чисел Нуссельта и Рейля:

$$Nu = \frac{\alpha_k d_0}{\lambda}, \quad (1)$$

$$Ra = Gr Pr = \frac{g \beta d_0^3 (t_{ст} - t_0)}{\nu a}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м · °С); Gr – число Грасгофа; Pr – число Прандтля; g – ускорение свободного падения, м/с²; $\beta = 1 / (273 + t_0)$ – коэффициент температурного расширения, К⁻¹; ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с; a – коэффициент температуропроводности, м²/с.

Экспериментальные данные теплоотдачи однорядного пучка оребренных труб с учетом их внешнего загрязнения в режиме свободной и смешанной конвекции при различных высотах вытяжной шахты представлены на рис. 2 в виде зависимости $Nu = f(Ra)$.

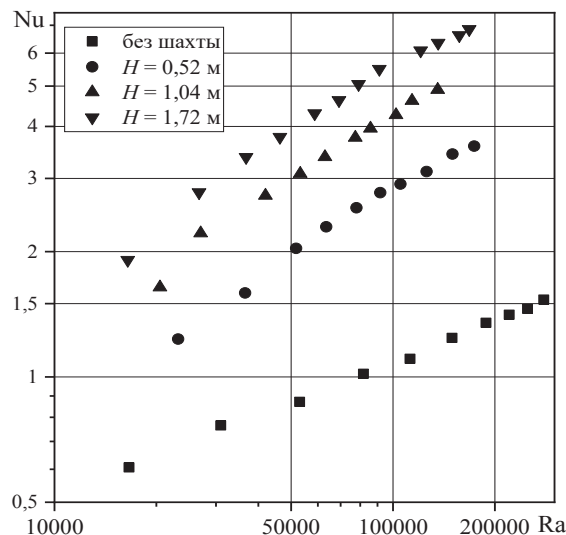


Рис. 2 – Теплоотдача однорядного пучка оребренных труб в режиме свободной и смешанной конвекции при различных высотах вытяжной шахты

Для оценки влияния высоты вытяжной шахты на интенсивность теплоотдачи однорядного пучка оребренных труб была построена зависимость $Nu = f(H)$ при постоянном числе Релея $Ra = 100\,000$, представленная на рис. 3.

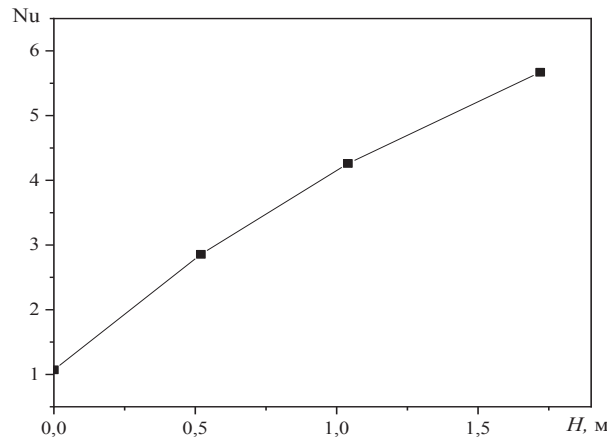


Рис. 3 – Влияние высоты вытяжной шахты на интенсивность теплоотдачи однорядного пучка оребренных труб

Согласно графическим данным, представленным на рис. 2 и 3, установка вытяжной шахты высотой $H = 0,52$ м позволяет увеличить интенсивность теплоотдачи в 2,6 раза; $H = 1,04$ м – в 4,0 раза; $H = 1,72$ м – в 5,3 раза по сравнению со свободной конвекцией.

Список использованных источников

1. Маршалова, Г. С. Тепловой расчет и проектирование аппаратов воздушного охлаждения с вытяжной шахтой: дис. ... канд. техн. наук: 01.04.14 / Г. С. Маршалова. – Минск, 2019. – 153 л.
2. Бурков, В. Автотракторные радиаторы / В. Бурков, А. Индейкин. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1986. – 216 с.
3. Островская Д.В. Обоснование выбора характерного размера и температуры при обобщении экспериментальных данных свободно-конвективного теплообмена воздухоохлаждаемой круглоребристой трубы [Электронный ресурс] / Д.В. Островская // 74-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов: сборник научных работ, Минск, 17–20 апреля 2023 г. / Белорус. гос. техн. ун-т. – Минск, 2023. – С. 162-164 – Режим доступа: https://conf.belstu.by/wp-content/uploads/2023/08/0000-сборник-научных-работ_74_СНТК.pdf. – Дата доступа: 08.09.2023.
4. Самородов, А. В. Совершенствование методики теплового расчета и проектирования аппаратов воздушного охлаждения с шахматными оребренными пучками: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14 / А. В. Самородов. - Архангельск, 1999. – 176 с.