

environmental entrepreneurship are the keys to a sustainable future and economic security. This is the only way technological progress can improve people's lives and promote economic growth.

References

1. MJB Kabeyi. Sustainable Energy Transition for Renewable and Low Carbon Grid Electricity Generation and Supply: Industrial Engineering Department, Durban University of Technology, Durban, South Africa – URL: <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2021.743114/full> (date of access: 24.03.2022)
2. C. O. Nwamekwe. Design Principles and Challenges in Achieving Zero-Energy Manufacturing Facilities / C. O. Nwamekwe, C. C. Okpala, E. C. Nwabunwanne – 1st ed. – 2025. – 22 pp.
3. J. Skea. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change / J. Skea. P. R Shukla, A. Reisinger, R. Slade. – 5th ed. – 2022. – 65 pp.
4. Владимир Сидорович. Мощности ВИЭ в мире вырастут на 2400 ГВт в период 2022-2027 гг. / Владимир Сидорович. - Международное энергетическое агентство (МЭА), 2022 – URL: <https://renen.ru/moshhnosti-vie-v-mire-vyrastut-na-2400-gvt-v-period2022-2027-gg/> (дата обращения 06.12.2022)

УДК 621.565.93/.95-0.46.54

Е.С. Данильчик, А.Б. Сухоцкий, Г.С. Маршалова

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО ШАГА УСТАНОВКИ ТРУБ СО СПИРАЛЬНЫМИ РЕБРАМИ НА ТЕПЛООТДАЧУ ШАХМАТНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПУЧКОВ ТРУБ В РЕЖИМЕ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ ВОЗДУХА

Аннотация. В работе представлены результаты экспериментального исследования теплоотдачи к воздуху в условиях свободной конвекции горизонтальных одно-, двух- и четырехрядных шахматных пучков равносторонней компоновки из оребренных труб теплообменников охлаждения. Коэффициент оребрения труб $\phi = 21$, межтрубный шаг 90 и 120 мм.

E.S. Danil'chik, A.B. Sukhotskii, G.S. Marshalova
Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

**EXPERIMENTAL STUDIES OF THE EFFECT OF INTERTUBE
TRANSVERSE PITCH OF SPIRAL-FINNED TUBE
INSTALLATION ON THE HEAT TRANSFER OF
STAGED HORIZONTAL TUBE BUNDLES IN
FREE AIR CONVECTION MODE**

***Abstract.** The paper presents the results of an experimental study of heat transfer to air under free convection conditions in horizontal single-, double-, and four-row staggered bundles of equilaterally arranged finned tubes of cooling heat exchangers. The tube finning coefficient is $\phi = 21$, and the intertube pitch is 90 and 120 mm.*

Теплообменники воздушного охлаждения (ТВО) широко применяются в промышленности для конденсации и охлаждения технологических сред, включая энергоносители и различные продукты производственных процессов.

В настоящее время ТВО чаще всего работают в режиме вынужденной конвекции, что обеспечивает высокий коэффициент теплопередачи и уменьшение габаритных размеров аппарата. Однако такой режим требует значительных затрат электроэнергии на привод вентиляторов, что увеличивает эксплуатационные расходы.

Одним из перспективных подходов к снижению энергопотребления является перевод ТВО в режим свободной конвекции. В котором при определенной температуре охлаждающего воздуха вентиляторы теплообменника могут быть частично или полностью отключены при обеспечении нормативной тепловой мощности аппарата [1]. Главным недостатком данных ТВО является малые коэффициенты теплопередачи и существенные габаритно-массовые характеристики. Поэтому для повышения эффективности процессов теплоотдачи целесообразно проводить оптимизацию геометрических параметров и компоновки пучка, а также числа рядов.

Целью работы является экспериментальное определение оптимального межтрубного шага горизонтальных одно-, двух- и четырехрядных шахматных пучков равносторонней компоновки из труб со спиральными ребрами (коэффициент оребрения $\phi = 21$) в условиях свободной конвекции к воздуху.

Данная работа является продолжением экспериментальных исследований теплоотдачи горизонтальных шахматных пучков равносторонней компоновки в режиме свободной конвекции [2, 3], где пучки собирались с числом рядов $z = 1, 2, 4$ при $S_1 = 58; 61, 64$ и 70 мм (относительный шаг $\sigma_1 = S_1 / d = 1,021; 1,09; 1,13; 1,23$). Геометрические параметры биметаллических оребренных труб следующие: $d \times h \times s \times \Delta \times d_0 \times l = 0,0568 \times 0,0152 \times 0,00243 \times 0,00055 \times 0,0264 \times 0,3$ м, $\varphi = 21$ (материал ребристой оболочки – алюминиевый сплав АД1М, материал несущей трубы – сталь).

В данной работе на том же измерительном оборудовании и по той же методике [3] представлены экспериментальные исследования шахматных горизонтальных пучков из аналогичных биметаллических труб ($\varphi = 21$) с поперечными шагами $S_1 = 90$ и 120 мм ($\sigma_1 = 1,58$ и $2,11$). Результаты экспериментальных исследований теплоотдачи в различных тепловых режимах обрабатывались и представлялись в виде зависимостей числа Нуссельта Nu от чисел Релея Ra .

Во время экспериментального исследования средняя температура стенки у основания ребер составляла $t_{ст} = 34–180$ °С. Относительная погрешность экспериментальных значений чисел подобия Nu и Ra соответственно составила 3,2 и 4,3%.

Для сравнительного анализа влияния поперечного шага установки труб на рис. 1 представлена зависимость $Nu = f(S_1)$ при $Ra = 50\ 000$ и $150\ 000$ для однорядного, двухрядного и четырехрядного пучка. Пунктирной линией показано значение числа Нуссельта для одиночной оребренной трубы [2].

Как видно из рис. 1, при малых межтрубных шагах ($S_1 = 58–64$ мм) число Нуссельта четырехрядного пучка ниже, чем у одиночной трубы и других пучков из-за его высокого аэродинамического сопротивления.

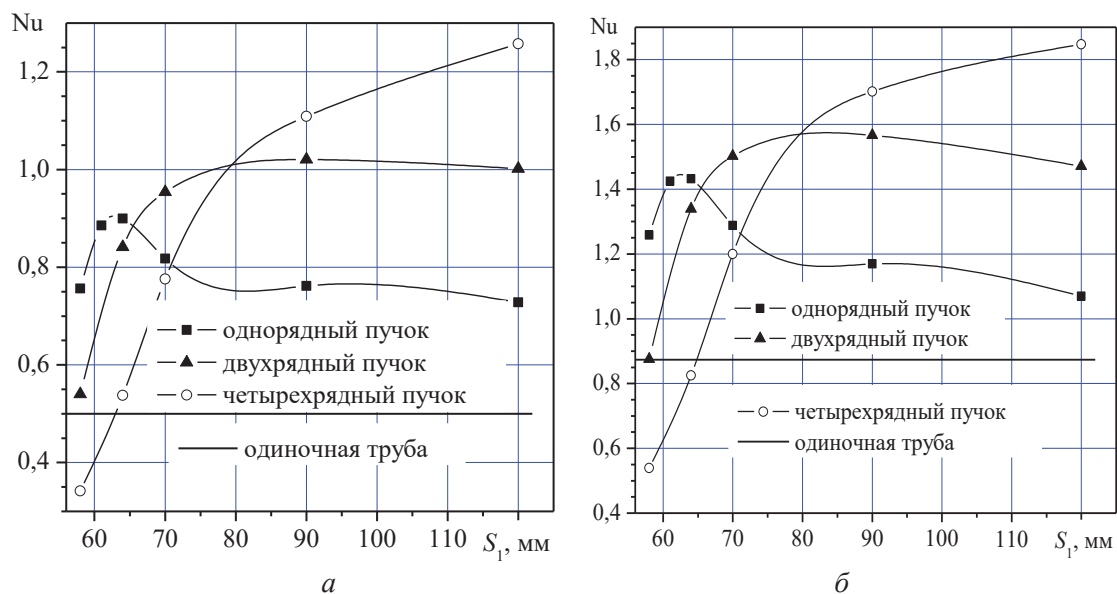


Рис. 1- Зависимости теплоотдачи однорядного, двухрядного и четырехрядного горизонтальных оребренных пучков от поперечного шага установки труб в режиме свободной конвекции воздуха при $Ra = 50\,000$ а, $Ra = 150\,000$ б

При увеличении межтрубного шага интенсивность теплоотдачи растет и достигает максимума при $S_1 \approx 62-63$ мм (более чем в 1,6 раза по сравнению с одиночной трубой) для однорядного пучка и при $S_1 \approx 83-88$ мм (более чем в 1,8 раза по сравнению с одиночной трубой) для двухрядного пучка. Это обусловлено, как ростом подъемной силы в пучке (эффект «вытяжной трубы»), так и турбулизацией потока воздуха первыми рядами. При дальнейшем увеличении межтрубных шагов теплоотдающие характеристики труб пучков снижаются и стремятся к характеристикам одиночной трубы. В пределах исследований межтрубных шагов, максимум интенсивности теплоотдачи для четырехрядных пучков не достигнут.

Работа выполнена в рамках проекта Государственной программы научных исследований «Энергетические и ядерные процессы и технологии» подпрограммы «Энергетические процессы и технологии» (задание 2.37, ГБ21-104) а также при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (Т23РНФМ-005).

Список использованных источников

1. Кунтыш В.Б., Сухоцкий А.Б., Самородов А.В. Инженерный метод теплового расчета аппарата воздушного охлаждения в режиме

свободно-конвективного теплообмена // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2013. № 12. С. 3–6.

2. 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 с.

3. Данильчик Е. С. Повышение эффективности теплообменников воздушного охлаждения при свободно-конвективном теплообмене. дис. ... канд. техн. наук: 01.04.14 / Е. С. Данильчик. – Минск, 2022. – 194 с.

УДК 658.567.1

М.Е. Евдокимова

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II
Санкт-Петербург, Россия

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТИТАНОВОГО ШЛАМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОАГУЛЯНТА

***Аннотация.** Утилизация отходов переработки руд цветных металлов является важным фактором устойчивого развития минерально-сырьевого комплекса. В исследовании рассматривается титановый шлам как сырье для производства коагулянта на основе титана. Экспериментально подтверждена эффективность титансодержащего коагулянта по снижению мутности сточных вод.*

M.E. Evdokimova

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University
St Petersburg, Russia

FEASIBILITY OF USING TITANIUM SLUDGE FOR COAGULANT PRODUCTION

***Abstract.** The utilization of waste generated from processing non-ferrous metal ores is an important factor for the sustainable development of the mineral resource complex. This study examines titanium sludge as a raw material for the production of a titanium-based coagulant. The effectiveness of the titanium-containing coagulant in reducing the turbidity of wastewater has been experimentally confirmed.*

Получение товарных продуктов посредством утилизации отходов переработки руд цветных металлов является ключевым условием обеспечения устойчивого развития объектов минерально-