

## Литература

1. Янчук, В. В. Повышение эффективности действующих тепловых электрических станций в современных условиях / В. В. Янчук, В. Н. Романюк // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2022. – Т. 65, № 6. – С. 511–523.
2. Янчук, В. В. Модернизация системы регенеративного подогрева питательной воды в цикле турбоустановки ПТ-60 / В. В. Янчук, В. Н. Романюк // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2023. – Т. 66, № 6. – С. 509–523.
3. Хрусталева, Б. М. Расширение энергосберегающей базы в условиях централизованного теплоснабжения и доминирования энергоемких технологий / Б. М. Хрусталева, В. Н. Романюк // Энергоэффективность. – 2017. – № 12. – С. 20–27.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОЩАДИ  
ВЫХОДНОГО ОТВЕРСТИЯ ВЫТЯЖНОЙ ШАХТЫ  
ТЕПЛООБМЕННИКА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ  
НА ТЕПЛООТДАЧУ ОДНОРЯДНОГО ПУЧКА ОРЕБРЕННЫХ ТРУБ  
С УЧЕТОМ ИХ ВНЕШНЕГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

**Д. В. Островская**

*Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск*

Научный руководитель Г. С. Маршалова

*Проведены экспериментальные исследования влияния площади выходного отверстия вытяжной шахты теплообменника воздушного охлаждения на интенсивность теплоотдачи однорядного пучка оребренных труб с внешним однородным кольцевым загрязнением. При проведении экспериментальных исследований над пучком была установлена вытяжная шахта высотой  $H = 1,04$  м с регулируемым проходным сечением. В результате получены графические зависимости в виде чисел подобия  $Nu = f(Ra)$ . Установлено, что с увеличением площади выходного отверстия шахты интенсивность теплоотдачи однорядного пучка увеличивается, достигая максимума при  $f_{opt} = 0,086$  м<sup>2</sup>, после чего она снижается из-за наличия обратных потоков холодного воздуха в шахту.*

**Ключевые слова:** теплообменник воздушного охлаждения, однорядный пучок, внешнее загрязнение, оребренная труба, теплоотдача.

Теплообменники воздушного охлаждения (ТВО) широко распространены в таких отраслях промышленности, как химическая, нефтехимическая, газовая, целлюлозно-бумажная, в тепло- и электроэнергетике, в холодильной технике, на атомных станциях. Данные аппараты используются для охлаждения технологических продуктов, охлаждения и конденсации парогазовых смесей, для нагрева воздуха, а также утилизации тепла отходящих продуктов сгорания природного газа или других газобразных сред.

Обширной областью применения ТВО является необходимость охлаждения, транспортируемого на большие расстояния газа. Для преодоления сопротивления движению газа на газопроводе через определенные промежутки (110–130 км) строят компрессорные станции, предназначенные для повышения давления газа до требуемых значений. Однако в процессе сжатия также увеличивается и температура газа, которую для увеличения пропускной способности трубопровода и повышения его надежности необходимо снижать в ТВО.

Теплообменники воздушного охлаждения в основном, функционируют в режиме вынужденной конвекции, вследствие чего для их работы расходуется значительное количество электроэнергии. В связи с этим можно сказать, что эффективность их

эксплуатации напрямую зависит от количества потребляемой электрической энергии на привод вентиляторов.

Достичь экономии топливно-энергетических ресурсов возможно переходом при определенных условиях окружающей среды в режимы свободной и смешанной конвекции. Так, в работе [1] разработан способ, который позволит снизить потребление электроэнергии при эксплуатации ТВО. Для этого над теплообменным пучком ТВО устанавливается вытяжная шахта, что способствует интенсификации свободно-конвективного теплообмена за счет увеличения силы естественной тяги воздуха.

Стоит отметить, что теплообменники с воздушным охлаждением состоят из пучков биметаллических оребренных труб различных компоновок. Оребрение позволяет увеличить площадь теплопередающей поверхности, что способствует повышению энергетической эффективности. При этом также существенное влияние на тепловую мощность теплообменника оказывает коэффициент теплопередачи, который с течением времени эксплуатации меняет свое значение. Данные теплообменники обычно располагаются на открытом воздухе, что приводит к их внешнему загрязнению. Структура загрязнителей на поверхности оребрения полидисперсна и зависит от географической местности эксплуатации ТВО. Возможны загрязнения в виде заноса сухой землей, песком, гравием, смеси сухих листьев и травы, иголками сосновых и хвойных деревьев, цветочной пылью [2, 3]. Но в большинстве случаев загрязнение представляет различное сочетание отдельных чистых компонентов.

Целью данной работы является исследование влияния площади выходного отверстия вытяжной шахты теплообменника воздушного охлаждения на теплоотдачу однорядного пучка оребренных труб с учетом их внешнего загрязнения.

Схема экспериментальной установки для исследования теплообмена однорядного пучка оребренных труб в режиме свободной конвекции, интенсифицированной с помощью вытяжной шахты представлена в работе [1].

Для интенсификации свободно-конвективного теплообмена воздуха над однорядным пучком труб устанавливалась вытяжная шахта с регулируемым проходным сечением высотой  $H = 1,04$  м.

Для исследования влияния площади выходного отверстия на интенсивность теплоотдачи на выходе из вытяжной шахты устанавливались крышки: (с круглыми отверстиями с площадью выходного отверстия  $f_{\text{отв}} = 0,0086; 0,0201$  и  $0,0330$  м<sup>2</sup>; с прямоугольными отверстиями  $f_{\text{отв}} = 0,050; 0,069$  м<sup>2</sup>); без крышки  $f_{\text{отв}} = 0,1185$  м<sup>2</sup>.

При проведении экспериментов использовались биметаллические оребренные трубы 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  $l_{\text{п}} = 330$  мм (теплоотдающая длина  $l = 300$  мм), коэффициент оребрения трубы  $\varphi = 21,0$ . Материал ребристой оболочки – алюминиевый сплав АД1М, материал несущей трубы – углеродистая сталь. Внешнее загрязнение межреберного пространства биметаллических ребристых труб создавалось путем равномерного кольцевого наматывания льняного шнура на поверхность труб. В результате был образован слой загрязнения толщиной  $\delta_3 = 2,9$  мм.

Экспериментальное исследование проводилось методом полного теплового моделирования. Подвод теплового потока к оребренным поверхностям обеспечивался за счет установки внутри оребренных труб трубчатых электронагревателей. В ходе опытов электрическая мощность, подводимая к оребренным трубам, изменялась в пределах  $W = 10\text{--}260$  Вт, средняя температура стенки у основания ребер составляла  $t_{\text{ст}} = 25\text{--}120$  °С, а температура окружающего воздуха в камере  $t_0 = 19\text{--}23$  °С.

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

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

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

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м · °С); Gr – число Грасгофа; Pr – число Прандтля;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\beta = 1 / (273 + t_0)$  – коэффициент температурного расширения, К<sup>-1</sup>;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости, м<sup>2</sup>/с;  $a$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с.

Экспериментальные данные теплоотдачи однорядного пучка оребренных труб с учетом их внешнего загрязнения в режиме свободной конвекции, интенсифицированной с помощью вытяжной шахты с различной площадью выходного отверстия, представлены на рис. 1 в виде зависимости  $\text{Nu} = f(\text{Ra})$ .

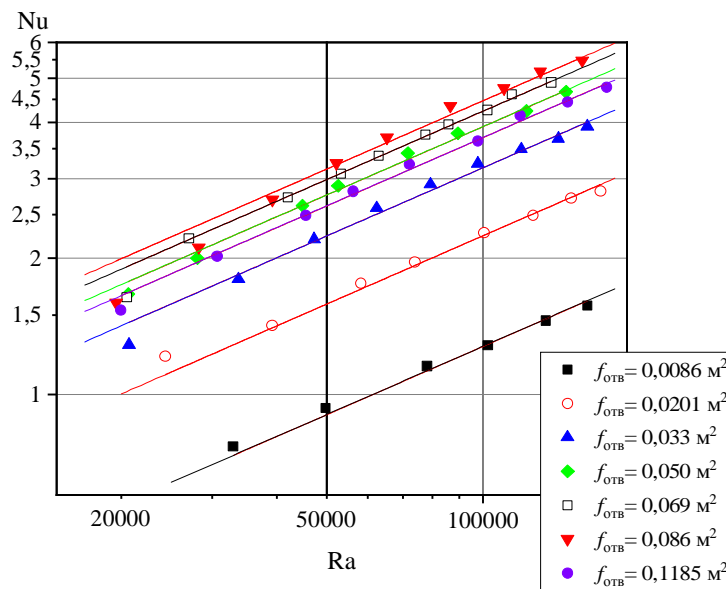


Рис. 1. Теплоотдача однорядного пучка оребренных труб с учетом их внешнего загрязнения в режиме свободной конвекции, интенсифицированной с помощью вытяжной шахты с различной площадью выходного отверстия

Согласно рис. 2 с увеличением площади выходного отверстия вытяжной шахты интенсивность теплоотдачи однорядного пучка возрастает, что обусловлено снижением аэродинамического сопротивления шахты и ростом расхода потока воздуха через пучок. Однако после достижения максимальной теплоотдачи пучка при установке крышки с  $f_{\text{отв}} = 0,086 \text{ м}^2$  интенсивность теплоотдачи снижается из-за обратных потоков холодного воздуха в шахту (гейзерных течений) [4].

## Литература

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 с.
2. Камалетдинов, И. М. Энергосбережение при эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на магистральных газопроводах: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.19 / И. М. Камалетдинов. – Уфа, 2002.
3. Беркутов, Р. А. Повышение энергоэффективности систем охлаждения газа на компрессорных станциях : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.19 / Р. А. Беркутов. – Уфа, 2010.
4. Маршалова, Г. С. Особенности гравитационного течения нагретого воздуха в вытяжной шахте над многорядным оребренным пучком / Г. С. Маршалова, А. Б. Сухоцкий // Инженер.-физ. журн. – 2019. – Т. 92, № 3. – С. 619–625.

**ПРИМЕНЕНИЕ ТНУ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ  
НА ПРИМЕРЕ ОТКРЫТОГО АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА  
«ГОМСЕЛЬМАШ»**

**Н. О. Быковский**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Н. А. Вальченко

*Описаны принцип работы и типы тепловых насосов, а также их применение в системе оборотного водоснабжения предприятия ОАО «Гомсельмаш». Основное внимание уделяется использованию тепловых насосов для утилизации тепла системы оборотного водоснабжения, что позволяет повысить эффективность использования энергии и снизить потери тепла.*

**Ключевые слова:** тепловой насос, вторичное тепло, система оборотного водоснабжения, ОАО «Гомсельмаш», утилизация тепла, энергосберегающие технические решения.

Тепловой насос представляет собой аппарат, способный переносить тепловую энергию от источника с низким термическим потенциалом к потребителю с более высоким термическим потенциалом. Этот процесс основан на термодинамическом принципе: любое тело, температура которого превышает абсолютный нуль, обладает запасом тепловой энергии.

По виду передачи энергии тепловые насосы бывают двух типов:

1) компрессионные – традиционный тип теплового насоса, функционирование которого осуществляется за счет сжатия пара, а работа механизма приводится в действие при помощи электроэнергии;

2) абсорбционные – усовершенствованная модель теплового насоса, в котором рабочим телом выступает смесь рабочей жидкости и абсорбента, что увеличивает его эффективность. Такие установки также способны использовать генерируемое тепло в качестве источника энергии.

По источнику тепла выделяют следующие тепловые насосы:

- геотермальные – тепловая энергия берется из грунта или воды;
- воздушные – тепло извлекается из атмосферы;
- использующие вторичное тепло – в качестве источника тепла используются воздух, вода, канализационные стоки или тепло от оборотной системы водоснабжения.