

## **ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДУШНЫХ ТЕЧЕНИЙ НА ТЕПЛОТДАЧУ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ С ВЫТЯЖНОЙ ШАХТОЙ**

Г.С. Маршалова<sup>1,2</sup>, А.Б. Сухоцкий<sup>1</sup>, Д.В. Островская<sup>1</sup>, Е.С. Данильчик<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Республика Беларусь, г. Минск, Белорусский государственный технологический университет, *galiana.sidorik@gmail.com*

<sup>2</sup>Республика Беларусь, г. Минск, Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси

**Аннотация.** Проведено экспериментальное исследование влияния внешних воздушных течений на теплоотдачу пучков оребренных труб аппаратов воздушного охлаждения с вытяжной шахтой. Показано, что присутствие внешних воздушных течений снижает теплоотдачу однорядных пучков на 37%, двухрядных – на 34%, трехрядных – на 20%, четырехрядных – на 15%.

На эффективную эксплуатацию аппаратов воздушного охлаждения (АВО) оказывают огромное влияние условия внешней среды. Первым фактором является температура окружающей среды, при повышении которой падает тепловая мощность аппарата и растет нагрузка на вентиляторную секцию.

Вторым фактором является влажность, при повышении которой происходит падение коэффициента теплоемкости воздуха, что негативно сказывается на процессе теплоотдачи.

Третьим фактором выделяют ветровые условия (направление и скорость ветра). Оценить влияние ветра на аппараты достаточно проблематично, так как оно носит стохастический характер [1].

Обычно исследования влияния ветра на эксплуатацию АВО проводят экспериментальным путем в аэродинамических трубах или на масштабных моделях, либо с помощью численного моделирования.

Чаще всего негативный эффект от ветровых потоков способствует образованию рециркуляционных течений около АВО, когда теплый воздух подмешивается в холодный на входе в аппарат [2, 3]. Для АВО с верхним расположением вентиляторов потоки ветра способны изменять профиль скорости на входе в АВО, что снижает эффективность охлаждения [4].

При эксплуатации АВО в режиме естественной конвекции ветер способен значительно ухудшить теплообмен [5].

Для АВО с вытяжной шахтой характерно образование на выходе из шахты теплового купола, который дополнительно усиливает тягу. Присутствие ветровых потоков будет «сдувать» купол, что снизит общую теплоотдачу в пучке.

В работе [5] показано, что вытяжная шахта также улучшает аэродинамическую характеристику вентилятора и интенсифицирует режим охлаждения при эксплуатации АВО в режиме вынужденной конвекции. В работе [4] отмечено, что в осенне-весенний период эксплуатации при невысоких температурах воздуха и благоприятном направлении ветра с помощью специальных дефлекторов, которые располагаются в пространстве под секцией, поток воздуха можно направить в сторону оребрения.

Таким образом, внешние воздушные потоки оказывают отрицательное влияние на эффективность работы аппаратов воздушного охлаждения в режиме вынужденной конвекции. Работы, направленные на изучение влияния внешних воздушных потоков на АВО с вытяжной шахтой, не обнаружены.

Цель работы – экспериментальное изучение влияния внешних воздушных потоков на теплоотдачу оребренных трубных пучков АВО с вытяжной шахтой.

Изучался одно-, двух-, трех- и четырехрядный пучок ( $z = 1-4$ ), состоящий из оребренных труб следующих параметров, мм: наружный диаметр ребра  $d = 56$ ; диаметр трубы по основанию ребра  $d_0 = 26$ ; высота, шаг, средняя толщина ребра соответственно  $h = 15$ ;  $s = 2,5$ ;  $\Delta = 0,5$ ; длина оребренной части трубы  $l = 300$ . Коэффициент оребрения трубы  $\phi = 21$ .

Экспериментальные исследования проводились методом полного теплового моделирования с обогревом всех оребренных труб пучка с помощью вставных теплоэлектронагревателей.

Центральная труба в пучке являлась калориметром, т. е. содержала все необходимые для проведения измерений датчики. Схема экспериментальной установки, конструкция трубы-калориметра и ее оснащение температурными датчиками, аппаратное оформление установки измерительными приборами, методика исследования и порядок проведения экспериментов изложены в [6]. Оценка погрешности применяемой методики проведения эксперимента представлена в работе [7]. Во время проведения опытов температура поверхности трубы-калориметра у основания ребер (среднеарифметическая температура по показаниям термопар) изменялась в интервале  $t_{ст} = 30-165^\circ\text{C}$ , температура окружающего воздуха в камере составляла  $t_0 = 17-26^\circ\text{C}$ , подводимая к калориметру электрическая мощность  $W = 6,9-250$  Вт.

Для экспериментального изучения влияния наличия внешних воздушных потоков на теплоотдачу исследовалась вытяжная шахта с прямоугольным основанием и крышкой с диаметром выходного отверстия  $d_{отв} = 0,123$  м, для которой внешний поток воздуха создавался с помощью вентилятора БЕЛВАР ТВ 2,0/1,6 «М 214» мощностью 2 кВт. Вентилятор устанавливался на расстоянии 0,3 м от выходного отверстия шахты. Скорость потока воздуха над вытяжной шахтой составляла  $w_v = 1,2$  м/с.

Результаты экспериментальных исследований теплоотдачи в различных тепловых режимах обрабатывались и представлялись в виде зависимостей числа Нуссельта от чисел Релея

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

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

где  $\alpha_k$  – конвективный коэффициент теплоотдачи к воздуху, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·°C);  $g$  – 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.

Теплофизические свойства воздуха были рассчитаны по температуре окружающего воздуха в камере  $t_0$ .

Данные на рисунке 1 показывают, что наибольшее влияние внешние воздушные течения оказывают на теплоотдачу однорядных пучков, для которых наблюдается уменьшение на 37%, для двухрядных – 34%, трехрядных – 20%, четырехрядных – 15%.

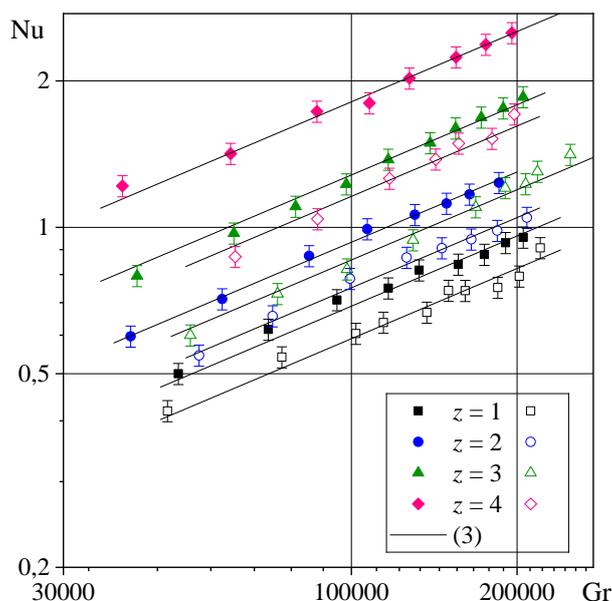


Рисунок 1 – Теплоотдача оребренных трубных пучков АВО с вытяжной шахтой без учета (закрашенные символы) и с учетом влияния внешних воздушных течений (незакрашенные символы)

Как видно из рисунка 1, экспериментальные данные качественно (с погрешностью менее 5%) аппроксимируются степенной зависимостью

$$Nu = A \cdot Gr^{0,48}, \quad (3)$$

где  $A$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от параметров оребренных труб, геометрии пучка и вытяжной шахты.

Значения аппроксимационного коэффициента  $A$  уравнения (3) для различных пучков представлены в таблице.

Таблица – Коэффициент пропорциональности  $A$  для (3)

Число рядов	1	2	3	4
без учета влияния внешних воздушных течений	0,00721	0,0051	0,00371	0,00274
с учетом влияния внешних воздушных течений	0,00461	0,00341	0,00299	0,00234

Для оценки влияния на теплоотдачу пучков наличия внешних воздушных течений на рисунке 2 представлена зависимость  $Nu = f(z)$  при  $Gr = const$ .

Экспериментальные данные рисунка 2 качественно аппроксимируются следующей степенной зависимостью

$$Nu = 0,42 + 1,15 \cdot \exp(-0,457 \cdot z), \quad (4)$$

$$Nu = 0,196 + 2,36 \cdot \exp(-0,395 \cdot z), \quad (5)$$

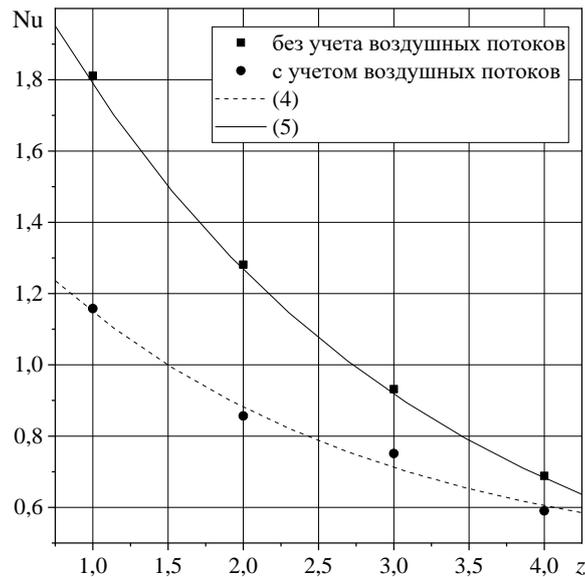


Рисунок 2 – Анализ влияния внешних воздушных течений на теплоотдачу пучков оребренных труб АВО с вытяжной шахтой

С увеличением числа рядов в пучке повышается аэродинамическое сопротивление пучка, что ведет к снижению скорости движения воздуха в вытяжной шахте. Значит образующийся над выходным отверстием столб воздуха имеет меньшую высоту и тягу. Внешние воздушные течения «сдувают» столб воздуха над шахтой, что приводит к снижению теплоотдачи.

#### Список источников

1. Ванчин А. Г. Оценка работы аппаратов воздушного охлаждения газа при разных вариантах включения вентиляторов/ А.Г. Ванчин // Газовая промышленность. – 2014. – № 7. – С. 84–87.
2. Алимов С. В. Модернизация вентиляторов АВО газа при реконструкции КСМГ / С.В. Алимов, А.О. Прокопец, С.В. Кубаров, В.А. Маланичев, Е.В. Устинов // Газовая промышленность. – 2009. – №4. – С. 54–56.
3. Техническое описание и инструкция по монтажу, эксплуатации и уходу за группой маслоохладителей зимнего исполнения типа 06-10 – Будапешт.: Институт Энергетики, 1979. – 42 с.
4. Невалин А.М. Повышение эффективности аппаратов воздушного охлаждения масла газотурбинных установок: дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук: 05.14.04 и 05.04.12. – Екатеринбург, 2016. – 138 с.
5. Камелетдинов И.М. Энергосбережение при эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на магистральных газопроводах: дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук: 25.00.19.– Уфа, 2002. – 206 с.
6. 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.
7. Сидорик, Г.С. Экспериментальный стенд для исследования тепловых и аэродинамических процессов смешанно-конвективного теплообмена круглоребристых труб и пучков / Г.С. Сидорик // Труды БГТУ. Серия 1. Лесн. хоз-во, природопольз. и перераб. возоб. рес. – 2018. - № 1. - С. 85–93.