

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И ЧИСЛЕННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПО ТЕПЛООТДАЧЕ ОДНОРЯДНОГО
ОРЕБРЕННОГО ПУЧКА ПРИ СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ**

Г. С. Маршалова¹, С. А. Сверчков²

*¹Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет», г. Минск*

*²Государственное научное учреждение «Институт тепло-
и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук
Беларуси», г. Минск*

В конвективном теплопереносе принято выделять вынужденную и свободную конвекцию, и поэтому процессы рассматривают в предположении, что один из этих режимов течения является преобладающим. Однако создаваемые при конвективном течении перепады температур в окружающей среде при наличии поля объемных сил, таких как сила тяжести, приводят к возникновению свободно-конвективных течений [1]. Таким образом, даже в условиях действия вынужденной конвекции будут присутствовать проявления свободной. В практических расчетах большое значение имеют ус-

ловия, при которых можно пренебречь влиянием одного механизма конвективного переноса на другой. В реальных устройствах возникают условия, когда оба вида конвекции играют существенную роль, в этом случае возникает явление смешанной конвекции.

Проведение экспериментов по изучению смешанной конвекции требует значительных расходов на реализацию, высокой мощности оборудования, а также больших временных затрат. Вследствие этого чаще всего охватить весь желаемый диапазон вариантов экспериментов не представляется возможным. Для решения этой проблемы предлагается расширять границы эксперимента с помощью численного моделирования.

Цель работы – сопоставление экспериментальных данных и результатов численного моделирования для однорядного пучка, состоящего из биметаллических ребристых труб, в условиях смешанной конвекции.

Изучался однорядный шахматный пучок воздухоохлаждаемого теплообменника, состоящий из шести биметаллических ребристых труб, расположенных с поперечным шагом $S_1 = 58$ мм, относительным поперечным шагом $\sigma_1 = 1,036$. Для организации смешанной конвекции над экспериментальным пучком устанавливалось два типа вытяжных шахт – с прямоугольным и круглым сечениями. Для сравнения результатов экспериментальных исследований и численного моделирования были выбраны следующие виды вытяжных шахт: $d_{\text{отв}} = 0,160$ м, $H = 0,52$ м; $d_{\text{отв}} = 0,205$ м, $H = 0,52$ м; $d_{\text{отв}} = 0,105$ м, $H = 1,16$ м, где $d_{\text{отв}}$ – диаметр выходного отверстия вытяжной шахты, м; H – высота вытяжной шахты, м. Подробное описание установки, вытяжной шахты, трубы-калориметра и методики экспериментального исследования представлено в [2].

Для подготовки расчетной сетки был использован пакет Ansys Meshing. Численное моделирование проводилось при помощи пакета Ansys Fluent 19.1. Для расчета задачи в стационарной постановке был использован 12-ядерный компьютер Intel Xeon E5 с 64 Гб. ОЗУ. Среднее время расчета на распараллеленной версии составляло порядка 6–8 ч.

Для численного моделирования была осуществлена трехмерная постановка задачи. Размеры расчетной области составляли $10,348 \times 4,0868 \times 0,00972$ м. Расчет осуществлялся на неструктурированной пространственной сетке, состоящей из треугольных элементов на поверхности ребристой трубы. Для описания расчетной области потребовалось около 8700000 ячеек.

Для замыкания была использована $k-\omega$ модель турбулентности Ментера (Menter's $k-\omega$ shear stress transport model – модель переноса сдвиговых напряжений Ментера), адаптированная для переходного режима [3].

Одним из критериев, характеризующим процесс смешанно-конвективного теплообмена, является число Ричардсона $Ri = Gr / Re^2$, где число Грасгофа и число Рейнольдса выражают, соответственно, интенсивность свободной и вынужденной конвекции [1]. При $Ri \ll 1$ режим течения считается преимущественно вынужденным, а при $Ri \gg 1$ – преимущественно свободным.

Для проведенного эксперимента число Ричардсона составляло 0,45–1,5, что свидетельствует о наличии смешанно-конвективного теплообмена, при этом с увеличением высоты и диаметра выходного сечения вытяжной шахты число Ричардсона уменьшалось.

Сравнение результатов эксперимента и численного моделирования производилось в виде зависимости скорости воздуха в пучке $w_{\text{п}}$, температуры стенки $t_{\text{ст}}$ от мощности, подаваемой на калориметр (рис. 1).

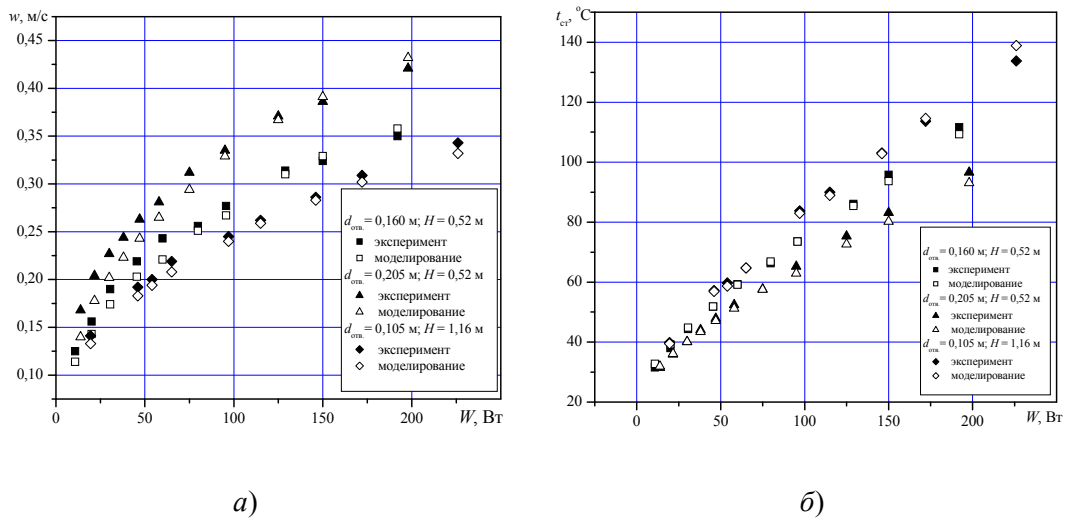


Рис. 1. Зависимости: а – скорости воздуха в пучке w_n ; б – температуры стенки $t_{ст}$ от мощности, подаваемой на калориметр

Как видно из графиков на рис. 1, расхождение между результатами эксперимента и численного моделирования не превышает 15 %. Таким образом, результаты проведенного моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными и могут быть использованы для расширения границ эксперимента.

Литература

1. Гебхарт, Б. Свободноконвективные течения: тепло- и массообмен : пер. с англ. / Б. Гебхарт, Й. Джалурия, Р. Махаджан ; под ред. О. Г. Мартыненко. – 1-е изд. – М. : Мир, 1991. – 678 с.
2. Сидорик, Г. С. Экспериментальный стенд для исследования тепловых и аэродинамических процессов смешанно-конвективного теплообмена круглорбистых труб и пучков / Г. С. Сидорик // Тр. БГТУ. Сер. 1. Лесное хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2018. – № 1 (204). – С. 85–93.
3. Численное моделирование вихревой интенсификации теплообмена в пакетах труб / Ю. А. Быстров [и др.]. – СПб. : Судостроение, 2005. – 392 с.