

УДК 527.312:519

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА
И АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВУХ
РАСПОЛОЖЕННЫХ БОК О БОК ТРУБ В УЗКОМ КАНАЛЕ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА**

Ю. В. Жукова¹, А. М. Терех², А. И. Руденко²

*¹Государственное научное учреждение «Институт тепло-
и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук
Беларуси», г. Минск*

*²Национальный технический университет Украины «Киевский
политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

Использование круглых труб в качестве поверхностей теплообмена различных рекуперативных теплообменных устройств без интенсификаторов, которые сами по себе могут вносить дополнительное аэродинамическое сопротивление, на сегодняшний день себя исчерпало. Очевидно, что для увеличения эффективности и улучшения массогабаритных показателей теплообменных аппаратов изменение формы поперечного сечения поверхности теплообмена на основе круглой трубы приведет к формированию контролируемого отрыва потока, изменению структуры следа и, как следствие, к уменьшению аэродинамического сопротивления аппарата в целом. Для этого можно использовать трубы некруглого сечения, например, плоскоовальные, двухугольные, каплеобразные, эллиптические, которые имеют значительно меньшее (в 1,5–2 раза) аэродинамическое сопротивление по сравнению с сопротивлением труб круглой формы при близких теплопередающих характеристиках и, как следствие, обладают более высокой теплоаэродинамической эффективностью.

Исследованиям аэродинамического сопротивления труб и пакетов из труб некруглого сечения посвящено незначительное количество работ. Известные исследования в большинстве своем содержат результаты сравнения одиночных труб эллиптической и круглой формы и направлены в основном на изучение влияния профиля труб на их аэродинамическое сопротивление и теплоотдачу [1], [2]. Однако важным фактором, влияющим на аэродинамическое сопротивление и теплоотдачу пакетов труб, является расстояние между трубами и расстояние от труб до стенки рабочего участка. Поэтому целью работы являлось получение новых результатов по влиянию на конвективный теплообмен и аэродинамическое сопротивление расположения друг относительно друга двух рядом расположенных в узком канале труб различной формы при угле атаки 0° .

Проведенные исследования по влиянию расстояния от стенки канала до труб круглого сечения и расстояния между трубами на аэродинамическое сопротивление [3], [4] выявили наличие трех режимов обтекания. Первый из них реализуется при расстоянии между трубами $0,2-0,3D$ (D – диаметр трубы); трубы обтекаются как одно плохообтекаемое тело, генерируя одну общую вихревую дорожку. Второй – при расстоянии между трубами от $0,2-0,3$ до $1,2-1,5D$; при этом режиме возникает асимметричный режим в следе – смещенный отрыв потока приводит к формированию одного широкого и одного узкого следа за цилиндрами. Третий – при расстоянии между трубами более $1,2-1,5D$; в этом режиме трубы обтекаются как два независимых плохообтекаемых тела и за ними формируются две независимые вихревые дорожки с одинаковой частотой схода вихрей. В настоящей работе для всех комбинаций был исследован второй режим обтекания.

Объект исследования представляет собой пары расположенных бок о бок труб круглого и каплеобразного сечения, причем последние рассматриваются в трех компоновках. Первая компоновка – трубы каплеобразного сечения обтекаются со стороны большого диаметра; во второй компоновке трубы обтекаются со стороны малого диаметра; в третьей компоновке одна из труб обтекается со стороны большого диаметра, а вторая обтекается со стороны малого диаметра – смешанная компоновка.

Результаты численных и экспериментальных исследований представлены на рис. 1. Числа подобия – число Рейнольдса $Re_D = \frac{U_{ref} D}{\nu}$, число Эйлера $Eu = \frac{\Delta p}{\rho_{ref} U_{ref}^2}$

и число Нуссельта $Nu_D = \frac{\alpha D}{\lambda}$ – формулировались с использованием в качестве определяющих характеристик, плотности воздуха ρ_{ref} , скорости потока на входе в рабочий участок канала U_{ref} и большого диаметра каплеобразной трубы, которая равна диаметру круглой трубы D .

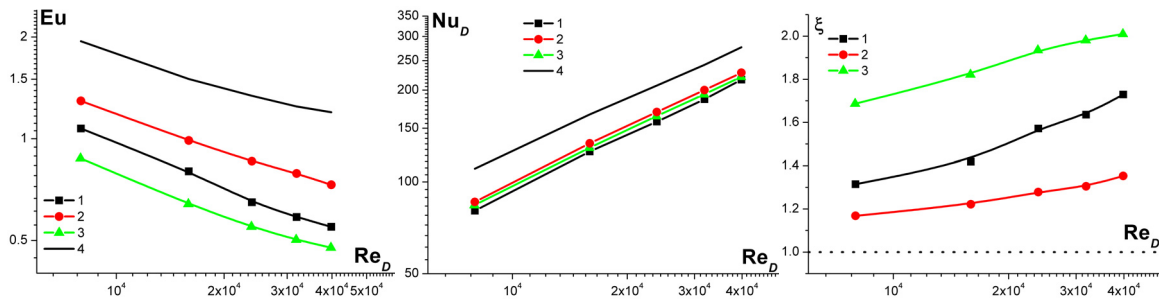


Рис. 1. Результаты исследований пары расположенных бок о бок труб:

a – аэродинамическое сопротивление; *b* – средний теплообмен;

в – теплоаэродинамическая эффективность исследуемых труб: 1 – пара расположенных бок о бок труб каплеобразного сечения, обтекаемая со стороны большого диаметра; 2 – пара расположенных бок о бок труб каплеобразного сечения, обтекаемая со стороны малого диаметра; 3 – смешанная компоновка; 4 – пара расположенных бок о бок труб круглого сечения

Проведено численное и экспериментальное исследование конвективного теплообмена и аэродинамического сопротивления двух расположенных бок о бок каплеобразных труб в различной компоновке, размещенных в узком канале в диапазоне чисел Рейнольдса от 8000 до 32000, в сравнении с трубами круглого сечения. Также приведены результаты визуализации структуры течения в следе за компоновками исследуемых труб. Показано, что теплоаэродинамическая эффективность расположенных бок о бок каплеобразных труб в 1,2–2 раза выше, чем труб круглого сечения за счет более низкого аэродинамического сопротивления каплеобразных труб.

Литература

1. Hasan, Ala Ali. Thermal-hydraulic performance of oval tubes in a cross-flow of air / Ala Ali Hasan // Heat and Mass Transfer. – 2005. – Vol. 41, № 8. – P. 724–733.
2. Nishiyama, H. Heat transfer and flow around an elliptic cylinder / H. Nishiyama, Y. Taoka // Int. J. Heat Mass Transfer. – 1984. – Vol. 27, № 10. – P. 1771–1779.
3. Moriya, M. Aerodynamic characteristics of two side-by-side circular cylinders and application of wavelet analysis on the switching phenomenon / M. Moriya, H. Sakamoto // Journal of Fluids and Structures. – 2003. – Vol. 18. – P. 325–346.

4. Alam, Md. M. Flow around two side-by-side closely spaced circular cylinders / Md. M. Alam, Y. Zhou // *Journal of Fluids and Structures*. – 2007. – Vol. 23. – P. 799–805.