

УДК 532.526.5

## УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛООТДАЧЕЙ КРУГОВОГО ЦИЛИНДРА С НАПРАВЛЯЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Ю. В. Жукова, Т. А. Баранова

*Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

Потребности промышленности в высокоэффективном, компактном оборудовании для нагрева или охлаждения, а также постоянно возрастающая стоимость энергоресурсов стимулируют развитие научных исследований по интенсификации теплообмена и оптимизации гидродинамических характеристик теплообменной аппаратуры. В типичных для практики случаях основной целью является получение более высокой интенсивности теплообмена при заданном экономически обоснованном уровне затрат энергии на преодоление гидравлических сопротивлений. К настоящему времени разработаны различные способы и средства, позволяющие повысить эффективность процесса теплообмена. Одним из перспективных направлений можно считать использование локального управляемого отрыва потока [1, 2]. Отрыв, организованный в определенных ограниченных областях, может существенно интенсифицировать теплообмен при незначительном увеличении затрат энергии на реализацию такого течения.

Объектом исследования является круговой цилиндр с направляющими элементами – прямыми пластинами, установленными под углом к набегающему потоку в кормовой части цилиндра (рис. 1). Отношение длины пластин к диаметру кругового цилиндра варьировалось в диапазоне  $L/D = 0.05 - 0.5$  и выбиралось согласно оптимальной геометрии в работе [3], где применялись дугообразные пластины, и был получен рост теплоотдачи на 12% по сравнению с одиночным цилиндром. Пластины устанавливались на расстояниях  $\delta = 0.01D, 0.16D, 0.2D$  и  $0.35D$  от внешней поверхности цилиндра. Размер зазора между ними не изменялся и составлял  $l = 0.03D$ .

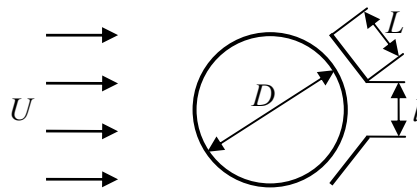


Рис. 1. Схема обтекаемого объекта.

Численное моделирование нестационарного поперечного обтекания проводилось с использованием узкоспециализированного для задач теплофизики и аэродинамики пакета VP2/3 для числа Рейнольдса  $Re = 18900$ . Перепад температур между набегающим потоком и поверхностью цилиндра составлял  $25^\circ$ .

Расчет осуществлялся на многоблочной структурированной сетке, которая включала: внешнюю прямоугольную сетку размером  $(15.2 \times 17.2)D$  с количеством ячеек  $150 \times 124$ , трехслойную полярную сетку для описания области вблизи поверхности цилиндра, а также дополнительную сетку для ближнего следа за цилиндром. Кольцевая зона, граничащая с поверхностью цилиндра, толщиной  $0.1D$  содержала  $300 \times 26$  ячеек при минимальном шаге  $0.001D$ . Дополнительная прямоугольная сетка размером  $(20 \times 2)D$  имела  $468 \times 125$  ячеек с минимальным шагом  $0.025D$  (рис. 2).

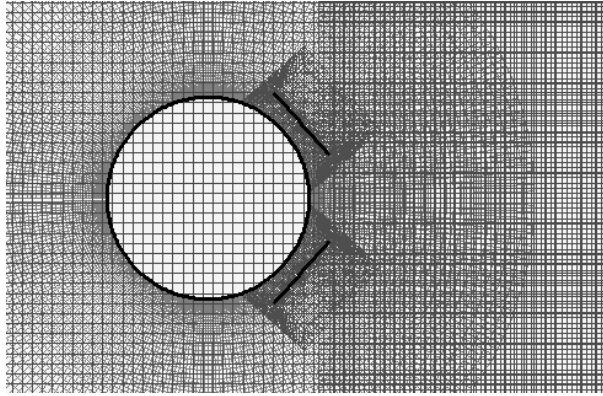


Рис. 2. Фрагмент расчетной сетки.

Внешние границы расчетной зоны были удалены на достаточное расстояние от контура обтекаемого тела. На входной границе задавались параметры набегающего потока, на выходных границах – мягкие граничные условия.

Для численного решения задачи использовались нестационарные уравнения Навье-Стокса, дополненные уравнением неразрывности и уравнение энергии, при этом для описания турбулентности применялась  $k-\omega$  SST–модель Ментера со стандартным набором констант [7].

Верификация расчетного алгоритма проведена на основе экспериментальных данных [4, 5] и представлена в [7]

Теплоотдача оценивалось по формуле [6]

$$Nu = 0.26 Re^{0.6} Pr_f^{0.37} \left( \frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0.25},$$

где  $Re$  – число Рейнольдса потока,  $Re = 18900$ ;  $Pr_f$ ,  $Pr_w$  – число Прандтля воздуха при  $20^\circ\text{C}$  и  $45^\circ\text{C}$  соответственно.

Теплогидравлическая эффективность определялась как

$$\xi = \frac{Nu/Nu_0}{C_x/C_{x0}},$$

где индекс 0 относится к одиночному цилиндру.

При обтекании кругового цилиндра максимум теплоотдачи реализуется в области лобовой критической точки [6]. С нарастанием толщины динамического пограничного слоя (а следовательно, и теплового, поскольку толщины динамического и теплового пограничных слоев связаны отношением  $\delta_T/\delta \sim Pr^{-0.5}$ ) теплоотдача уменьшается примерно до угловой координаты  $90^\circ$ , а далее происходит ее плавный рост за счет отрыва потока и образования в кормовой части вихревой системы.

Таким образом, с целью увеличения теплоотдачи перспективной представляется кормовая часть цилиндра. Установка пластин приводит к изменению структуры обтекающего цилиндра потока (рис. 3), что в свою очередь обуславливает изменение полного сопротивления цилиндра и суммарной теплоотдачи (рис. 4). Как показано на рис. 5, наиболее эффективной является теплоотдача цилиндра при установке пластин длиной  $L = 0.4D$ .

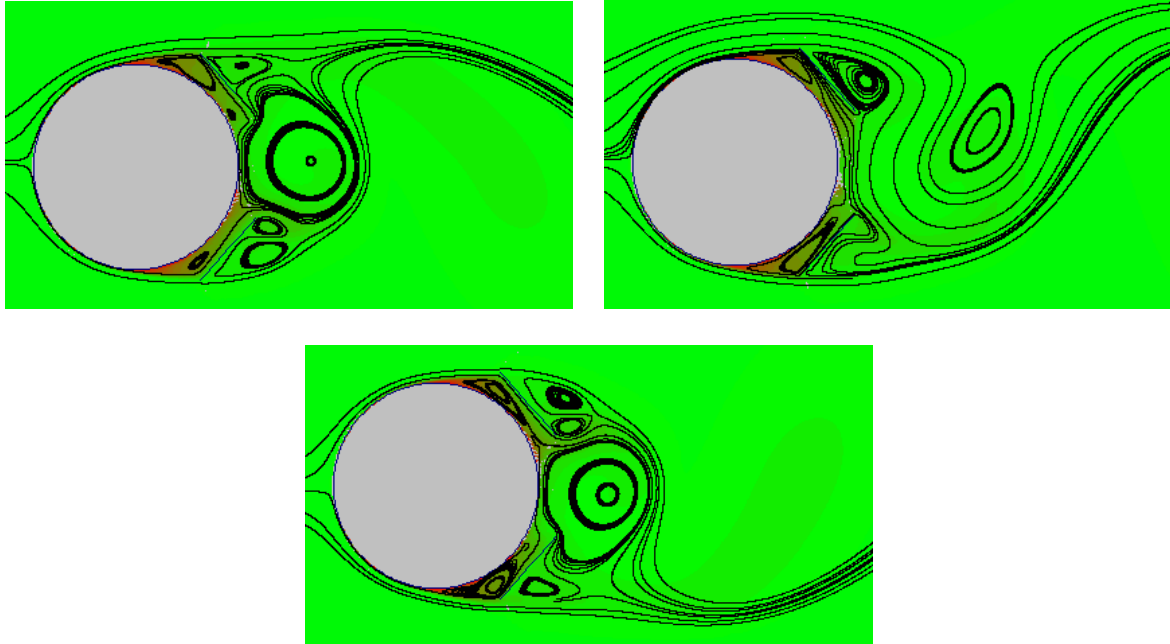


Рис. 3. Линии тока и распределение температуры при обтекании цилиндра с пластинами ( $L = 0.4D$ ,  $\delta = 0.16D$ ).

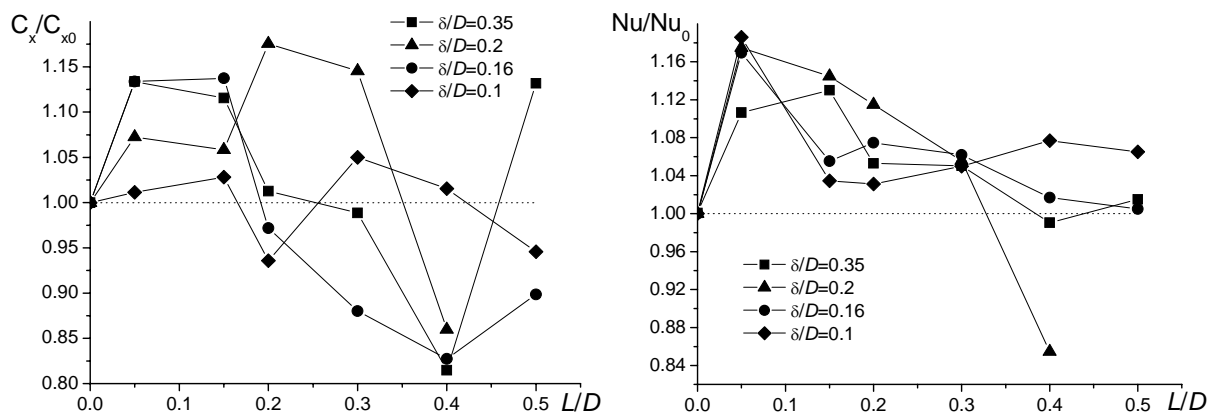


Рис. 4. Зависимость полного сопротивления и суммарной теплоотдачи от длины пластин.

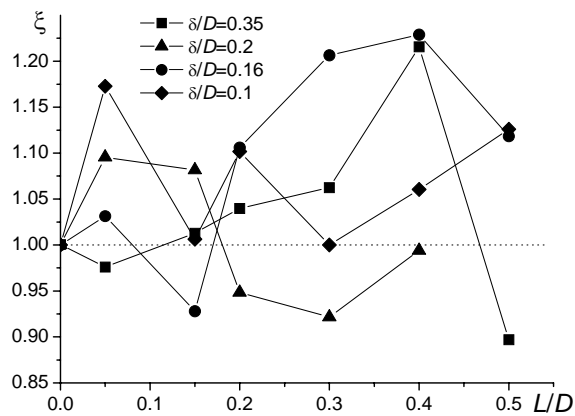


Рис. 5. Зависимость теплогидравлической эффективности от длины пластин.

Работа выполнена при поддержке Белорусского Республиканского фонда фундаментальных исследований по проекту Т06Р-186.

### **Литература**

1. Дзюбенко Б. В., Кузма-Кичта Ю. А., Кутепов А. М., Свириденко И. П., Федик И. И., Харитонов В. В., Холпанов Л. П. Интенсификация тепло- и массообмена в энергетике. М.: ФГУП “ЦНИИАТОМИНФОРМ”, 2003.
2. Чжен П. Управление отрывом потока. М.: Мир, 1979.
3. Zhukova Yu., Zhdanov V. and Isaev S. Guide Element Control of Cylinder Drag and Heat Transfer // Proc. THMT-5. Dubrovnik, Croatia, 2006, Pp.751-754.
4. Nakamura H., Igarashi T. Unsteady heat transfer from a circular cylinder for Reynolds number from 3000 to 15000 // Proc. THMT-4. Antalya, Turkey, 2003, Pp. 219-226.
5. Igarashi T. Correlation between heat transfer and fluctuating pressure in separated region of a circular cylinder // JHMT. Vol. 27, No 6, 1984, Pp. 927-937.
6. Жукаускас А. Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982.
7. Жукова Ю. В., Баранова Т. А., Исаев С. А., Жданов В. Л. Численное моделирование нестационарного поперечного обтекания кругового цилиндра при различных числах Рейнольдса // ДАН Беларуси, (принята к печати) 2008.