

¹ Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,
630090, Россия, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 1

² Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,
630090, Россия, Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2

Обтекание цилиндра набегающим потоком жидкости является классическим объектом экспериментальных и теоретических исследований. Несмотря на простоту постановки задачи, при которой на цилиндр некоторого диаметра D натекает равномерный поток скорости U , имеется сложная карта режимов [1] в зависимости от единственного безразмерного критерия задачи – числа Рейнольдса $Re=U D/\nu$, где ν – это вязкость жидкости.

В данной работе численно исследуется задача обтекания цилиндра при $Re=3900$. Этот режим является докритическим – пограничный слой до точки отрыва потока остается ламинарным. Известно, что методика решения нестационарных уравнений осредненных по Рейнольдсу (Unsteady Reynolds-averaged Navier-Stokes, URANS) для задач обтекания с нестационарной точкой отрыва дает неудовлетворительные результаты [2] в следствие некорректного предсказания длины рециркуляционной зоны. Метод LES (Large Eddy Simulation) показывает хорошее совпадение с экспериментальными результатами [3].

Целью данной работы является исследование характеристик течения с применением некоторых способов улучшения стандартной модели турбулентности $\zeta - f$, основанной на гипотезе турбулентной вязкости ν_t . В частности, удлинения пузыря можно добиться добавлением диссипации турбулентной кинетической энергии ε непосредственно за цилиндром, что приведет к увеличению долевой составляющей среднего поля в этой области. В данной работе применялась Уар поправка ([4]) в ε уравнении в качестве дополнительного источников члена, данная следующим выражением:

$$S_{\varepsilon}^{YAP} = 0.83 \frac{\varepsilon^2}{k} \left(\frac{L}{l_{\varepsilon}} \right)^2 \left(\frac{L}{l_{\varepsilon}} - 1 \right),$$

где $L = \frac{k^3}{\varepsilon}$ и $l_{\varepsilon} = 2.44 \cdot x_n$, x_n – нормальное расстояние до стенки.

Вычислительная область, показанная на рис. 1, представляет собой параллелепипед размера $25D \times 20D \times 4D$ (x, y, z) для LES и $25D \times 10D \times 2D$ для URANS расчетов. Вычислительная сетка составляет примерно 15×10^6 расчетных ячеек для LES и 9×10^5 для URANS. Все граничные поверхности пронумерованы на рис. 1 от “1” до “4”, которым соответствуют следующие граничные условия. Цилиндр диаметра D находится на расстоянии $10D$ от входной поверхности “2”, на которой задана постоянная скорость $(U, 0, 0)$ набегающего потока. Цилиндр имеет длину Lz вдоль координаты z . На поверхностях “1” ставятся периодически граничные условия. Длина цилиндра равна $Lz = 4D$ для LES и $Lz = 2D$ для URANS. На границах “4” ставится условие проскальзывания, а на выходной поверхности “3” – конвективное выходное

граничное условие. На поверхности цилиндра обеспечивается условие прилипания.

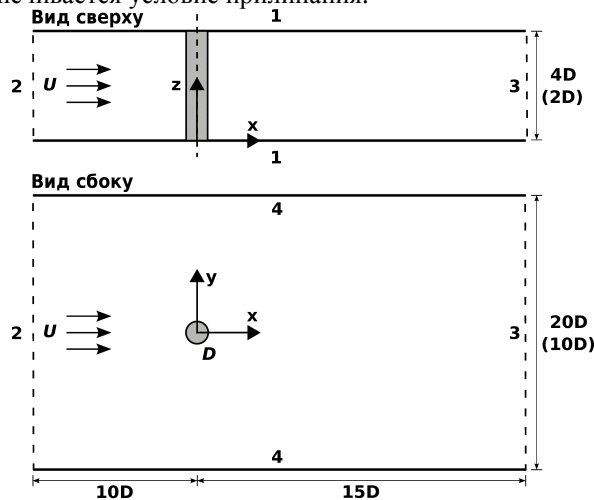


Рис. 1. Схематический вид вычислительной области.

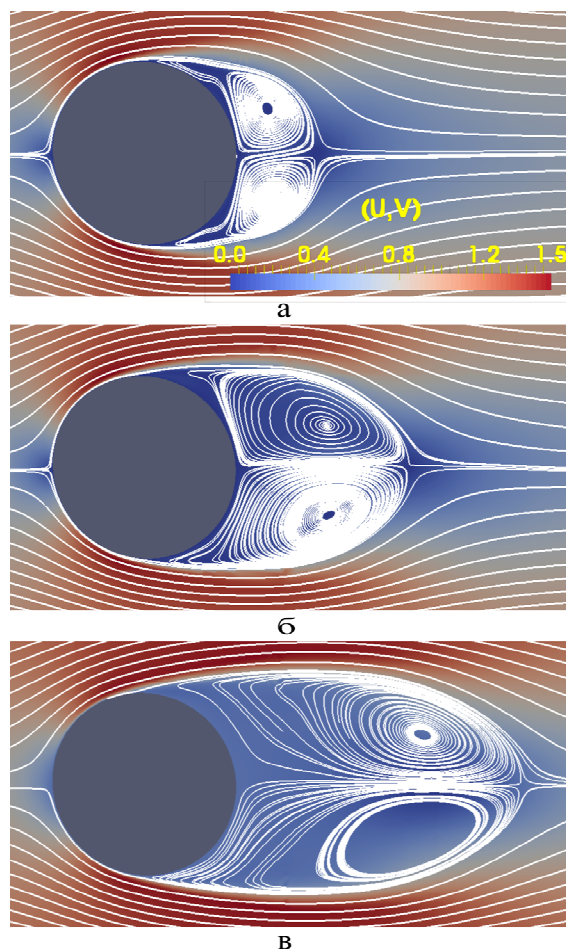


Рис. 2. Линии тока для различных методов (а) $\zeta - f$ модель (б) $\zeta - f$ модель с Уар коррекцией (в) LES моделирование

Результаты показаны на комбинированном рис. 2. На нем представлены линии тока белыми линиями, поверх среднего поля скорости. На рис 2а изображен результат моделирования течения методом URANS со стандартной моделью турбулентности $\zeta - f$. Длина рециркуляционной зоны в этом случае составила 0.46D. На рис. 2б показаны линии тока, полученные при включении Yар добавки в стандартную модель $\zeta - f$. Длина пузыря в этом случае оказалась 0.95D. На рис 2в показаны результаты LES моделирования с подсеточной моделью Смагоринского. Длина рециркуляционной зоны в этом случае составляет 1.54D. Поправка Yар для диссипации турбулентной кинетической энергии привносит недостаточный вклад для точного описания данного отрывного течения.

В докладе будут представлены сравнительные характеристики турбулентности за цилиндром: LES

моделирование, URANS со стандартной моделью турбулентности $\zeta - f$, URANS с некоторыми поправками к модели $\zeta - f$.

Список литературы:

1. Williamson C.H.K. Vortex Dynamics in the Cylinder Wake // Annu. Rev. Fluid. Mech. 1996. Vol. 28. P. 477–539.
2. Young M. E., Ooi A. Comparative Assessment of LES and URANS for Flow Over a Cylinder at a Reynolds Number of 3900 // 16th Australasian Fluid Mechanics Conference. Crown Plaza, Gold Coast, Australia . 2-7 December 20074
3. Parnaudeau P., Carlier J., Heitz D., Lamballais E. Experimental and numerical studies of the flow over a circular cylinder at Reynolds number 3900 // Phys. Fluids. 2008. Vol. 20. 085101.
4. Yap, C. J. (1987). Turbulent Heat and Momentum Transfer in Recirculating and Impinging Flows, PhD Thesis, Faculty of Technology, University of Manchester, United Kingdom.