

О ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ НА 3D ЦИЛИНДРЕ

А.Н. Кусюмов, С.А. Кусюмов, С.А. Михайлов,

Е.В. Романова

КНИТУ-КАИ, Казань, postbox7@mail.ru

На основе решения уравнений Нвье-Стокса (DNS) рассматривается задача прямого численного моделирования нестационарного 3D обтекания кругового цилиндра в потоке несжимаемой жидкости (газа) для докритического числа Рейнольдса $Re=3900$. Аналогичная задача моделирования 3D обтекания изолированного цилиндра рассматривалась в работах различных авторов как на основе DNS моделирования (например, [1]), так и с применением вихреразрешающих моделей (LES) турбулентности (например, [2]). Интерес к данной постановке задачи объясняется возможностью воспроизведения различных физических особенностей, включая отрыв (ламинарный) пограничного слоя, образование сдвиговых слоев, вихревой след (дорожка Кармана). На некотором удалении от поверхности цилиндра вниз по потоку также находится потенциально неустойчивая область, где возникает турбулентность. Это позволяет воспроизводить различные участки спектра осцилляций параметров потока, включая энергетическую и инерциальную подобласти спектра [1], [2].

В настоящей работе задача моделирования решается как для условий обтекания изолированного цилиндра, так и с использованием периодических граничных условий для воспроизведения обтекания цилиндра в составе решетки из цилиндров. Расчетная область в системе координат OXYZ представляла собой прямоугольник с размерами $20d \times 10d \times \pi d$ для изолированного цилиндра (где d – диаметр цилиндра) и $20d \times 5d \times \pi d$ для цилиндра в составе решетки.

Расчетные гекса-сетки построены в сеточном генераторе ANSYS ICEM с вариацией количества элементов от $12 \cdot 10^6$ до $30 \cdot 10^6$. Численное моделирование проводилось в пакете ANSYS Fluent. При проведении численного моделирования использовался

алгоритм SIMPLE с разрешением второго порядка по пространственным переменным и первого порядка по времени.

Следует отметить, что образующая (окружность) САД модели цилиндра строилась в сеточном генераторе ICEM. При построении по трем точкам (стандартная опция) окружность интерпретируется многоугольником с 60 гранями (А.В. Гарбарук обратил внимание авторов на данную особенность).

На рис. 1 представлено мгновенное поле завихренности для цилиндра в составе периодической решетки.

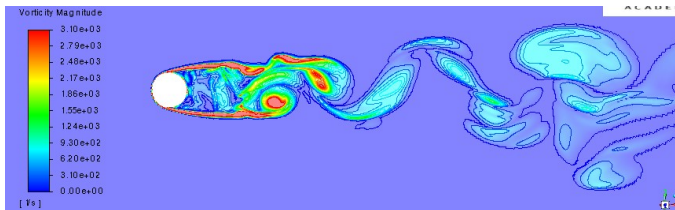


Рис. 1. Мгновенное поле завихренности в центральном сечении

На рисунке видна рециркуляционная зона в ближнем следе, два сдвиговых слоя, образовавшихся в результате ламинарного отрыва, и периодическая пространственная структура в виде дорожки Кармана в дальнем следе. На рис. 2 представлено векторное поле в центральном сечении потока около поверхности стенки цилиндра. Показанная область течения приблизительно соответствует углу 45 градусов вверх от критической точки.

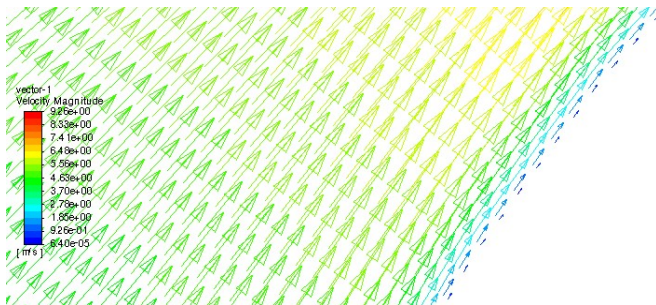


Рис. 2. Векторное поле модуля вектора скорости в центральном сечении

Рисунок демонстрирует постепенный рост значений модуля вектора скорости потока к границе пограничного слоя.

На рис. 3 показано мгновенное поверхностное распределение коэффициента трения в центральном сечении цилиндра.

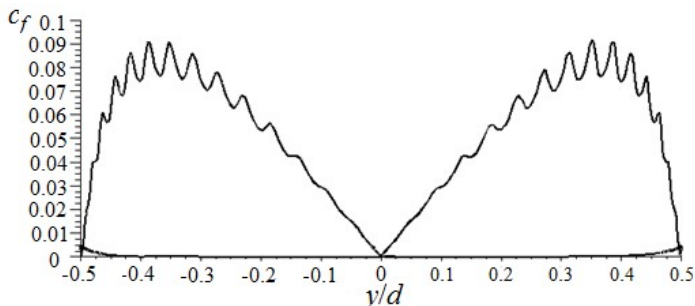


Рис. 3. Распределение коэффициента трения на поверхности цилиндра в центральном сечении

На представленном рисунке левая и правая половины рисунка соответствуют верхней и нижней частям поверхности цилиндра, критическая точка имеет координату $y=0$. Из рисунка следует, что распределение касательного напряжения в передней части цилиндра имеет осциллирующий характер: небольшие отклонения образующей цилиндра от окружности постоянного радиуса (не более $6.5 \times 10^{-4}d$) привели к довольно значительным пространственным осцилляциям коэффициента трения.

На основе дискретного преобразования Фурье (DFT) в пространстве и во временной области для поперечной компоненты v вектора скорости анализируются спектры плотности энергии (ESD) с использованием $DFT(v)$ и энергии сигнала (ESS) с применением $DFT(v^2)$.

Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки России Рег. номер НИОКТР АААА-А20-120102190039-6.

Литература

1. J.G. Wissink, and W. Rodi, Numerical study of the near wake of a circular cylinder. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2008, 29 (4), pp. 1060 – 1070.
2. A.G., Kravchenko, P. Moin, Numerical studies of flow over a circular cylinder at $Re_D = 3900$. Phys Fluids, 2000. v. 12, N 2, pp. 403 – 417.