

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ВИХОРОВОЇ ТЕЧІЇ

Дослідження тепломасообмінних та аеродинамічних процесів в різноманітних технічних пристроях є надзвичайно актуальною задачею [1,2]. Одним з найкращих шляхів її розв'язування є проведення комп'ютерного моделювання з використанням рівнянь Нав'є-Стокса. Останнім часом друкується все більше наукових праць з числових методів розв'язування повних та осереднених рівнянь Нав'є-Стокса. Їх аналіз показує, що значний прогрес було досягнуто в результаті застосування скінченно-різницевого методу та емпіричних моделей турбулентності. Проте існує ще цілий ряд проблем розв'язування задач аеродинаміки з використанням рівнянь Нав'є-Стокса. У зв'язку з цим необхідно проводити пошук нових ефективних методів, алгоритмів та способів розв'язування рівнянь Нав'є-Стокса.

Зазвичай розрахункова область досліджуваного пристрою є складною, тому необхідно використовувати криволінійну систему координат. Система рівнянь Нав'є-Стокса в формі Рейнольдса для довільної криволінійної системи координат запишеться

$$\frac{\partial \hat{Q}}{\partial t} + \frac{\partial (\hat{E} - \hat{E}_v)}{\partial \xi} + \frac{\partial (\hat{F} - \hat{F}_v)}{\partial \eta} + \frac{\partial (\hat{G} - \hat{G}_v)}{\partial \zeta} = \hat{H}, \quad (1)$$

де \hat{Q} – вектор невідомих змінних; $\hat{E}, \hat{F}, \hat{G}$ – вектори нев'язких потоків; $\hat{E}_v = \xi_x E_v + \xi_y F_v + \xi_z G_v$, $\hat{F}_v = \eta_x E_v + \eta_y F_v + \eta_z G_v$, $\hat{G}_v = \zeta_x E_v + \zeta_y F_v + \zeta_z G_v$ – вектори в'язких потоків; $\hat{H} = 1/j H$ – вектор джерельних членів.

Для розв'язування вихідних рівнянь (1) застосовано метод скінченного об'єму. Турбулентні ефекти описуються в рамках гіпотези Буссінеска про уявлення дотичних напружень з використанням напівемпіричної моделі для турбулентної в'язкості.

Замикання системи рівнянь (1) виконано з використанням однопараметричної диференціальної моделі турбулентності Спаларта-Аллмараса в реалізації відокремлених вихорів (DES) [3,4].

Для розв'язування системи рівнянь (1) використано методу контрольного об'єму. Для проведення числового розв'язування рівнянь Нав'є-Стокса виконано їх лінеаризацію.

Для розрахунку вектора конвективного потоку в рівнянні (1) застосовується метод розщеплення Ван-Ліра [5]. Для одержання неявного алгоритму система нелінійних вихідних рівнянь лінеаризується за допомогою рознесення векторів потоків в ряд Тейлора..

На кожному кроці за часом вихідні рівняння розв'язуються за допомогою методу ітерацій Гаусса-Зейделя.

Розроблений комплекс програмного забезпечення, що базується на осереднених за Рейнольдсом Нав'є-Стокса, замкнених моделлю турбулентності Спаларта – Аллмараса в реалізації відокремлених вихорів, протестовано на задачі поперечного обтікання колового циліндру. Застосовано багатоблочний підхід – розрахункова область була розбита на три блоки. Результати розрахунків (рис.1) порівнюються з експериментальними даними [6].

На рис.2 показано течію за циліндром, одержану розрахунковим шляхом та в експерименті [7, 8]. Після досягнення усталеного режиму за циліндром розвивається вихорова доріжка. На рис. 3-4 представлено результати розрахунку та фотографії поля течії з експерименту [7, 8]. Видно, що на приведеному матеріалі спостерігається подібність полів

течії. Це говорить про відповідність математичної моделі фізичним процесам, що моделюються.

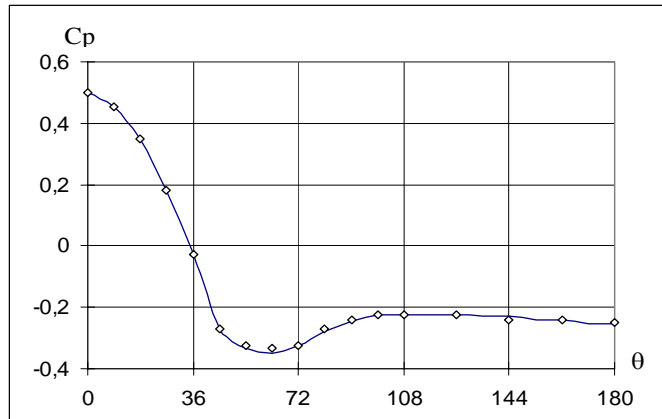
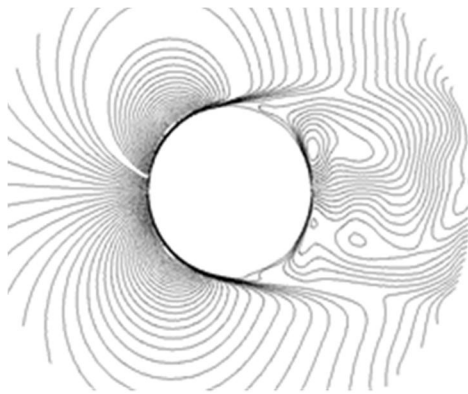
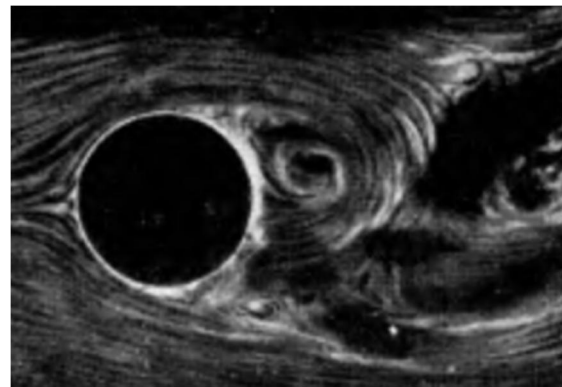


Рис. 1- Розподіл коефіцієнта тиску на поверхні циліндра для $Re=14000$:
 — розрахунок $Re=14000$; O- експеримент $Re =14500$ [6]



a)



б)

Рис. 2 -Течія навколо циліндра зі сходом вихорової доріжки:
 a –розрахунок (ізолінії V), $Re=10000$;
 б – експеримент [7]

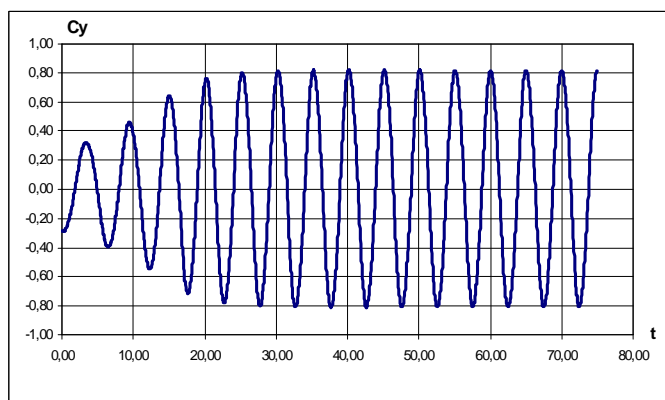
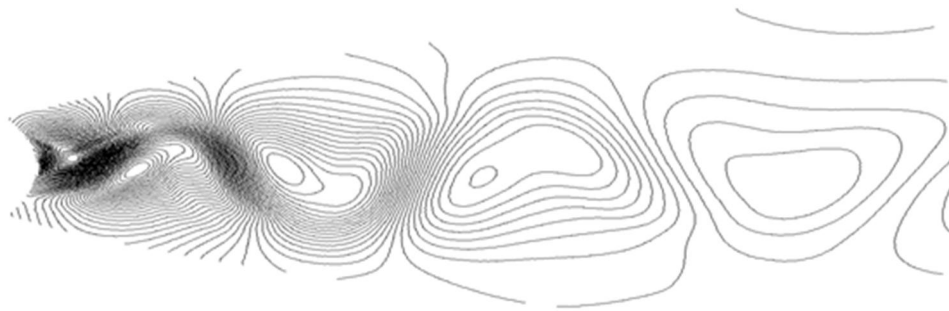
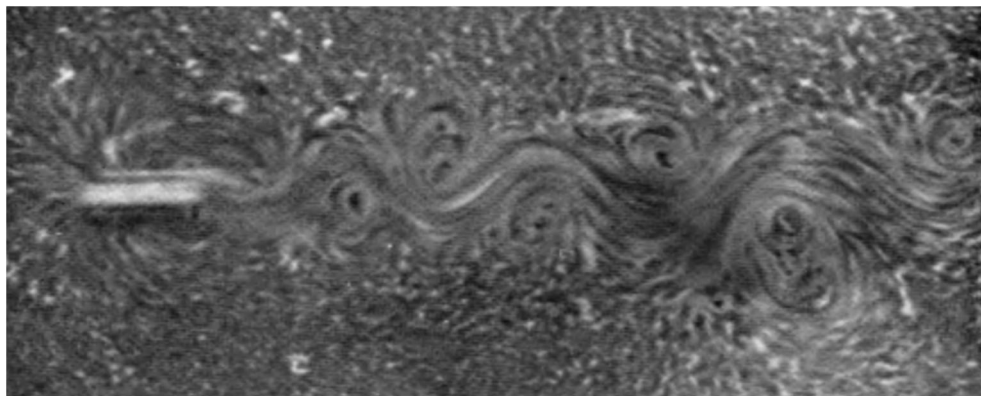


Рис. 3 – Динаміка зміни підйомної сили за часом для $Re=10000$



a)



б)

**Рис. 4 - Вихорова доріжка в сліді колового циліндру:
а – розрахунок $Re=19300$; б – експеримент $Re=19300$ [7,8]**

Розроблено методики, алгоритми та програмне забезпечення моделювання аеродинамічних процесів з використання осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса. Виконано тестування алгоритмів та програм. В подальших дослідженнях необхідно удосконалювати методики, алгоритми та програмний комплекс з урахування особливостей фізичних процесів та властивостей середовища.

Список літератури

1. Приходько А.А. Математическое и экспериментальное моделирование аэродинамики элементов транспортных систем вблизи экрана / А.А. Приходько, А.В. Сохацкий. – Днепропетровск: Наука и образование, 1998. – 160 с.
2. Сохацький А.В. Теоретичні основи створення аеродинамічних компонентів перспективних швидкісних транспортних апаратів : дисертація доктора технічних наук / Сохацький Анатолій Валентинович. –Д., 2010. – 380 с.
3. Spalart P.R. A one-equation turbulence model for aerodynamic flows / P.R. Spalart, S.R. Allmaras // La Recherche Aerospaciale. – 1994. – N1. – P.5–21.
4. Стрелец М.Х. Метод моделирования отсоединенных вихрей для расчета отрывных турбулентных течений: предпосылки, основная идея и примеры применения / Стрелец М.Х. Травин А.К., Шур М.Л., Спаларт Ф.Р. // Научно-технические ведомости. – 2004. – №2. – 26 с.
5. Van Leer B. Flux-vector splitting for the Euler equations / B. Van Leer //Lecture Notes in Phys. – 1982. – V. 170. – P. 507–512.
6. Roshko A. On the drag and shedding frequency of two-dimensional bluff bodies /A. Roshko // NACA Tech. Note. – 1954. – №3169. –29р.
7. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости / Бэтчелор Дж.– М.: Мир, 1973.– 778 с.
8. Ван-Дайк М. Альбом течений жидкости и газа/Ван-Дайк М.– М.: Мир, 1986. –184 с.