

МЕТОД ОСОБЕННОСТЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ОБТЕКАНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ТЕЛ

Г.И. Рыжов, С.А. Кузнецов, В.А. Фролов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

Обоснование. Рассчитать обтекание реальным потоком осесимметричного тела в настоящее время можно в различных вычислительных пакетах, например Flow Simulation, ANSYS SFX, ANSYS Fluent и др., но это требует больших ресурсов компьютеров. Существенное сокращение памяти и времени выполнения расчетов предоставляет модель идеального газа [1–3]. В рамках модели идеального газа часто применяют панельные методы и методы дискретных вихрей [1, 3]. В данной работе рассматривается метод особенностей, отличие которого состоит в размещении особенностей в виде источников-стоков на оси осесимметричного тела. Одно из преимуществ данного подхода — сокращение количества особенностей, а следовательно, и порядка системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) при сохранении точности расчетов.

Цель — разработать математическую модель для расчета течения идеального газа около осесимметричного тела.

Методы. Основная идея метода состоит в нахождении величин интенсивностей пространственных источников-стоков, которые располагаются на оси симметрии тела. Исследуемое осесимметричное тело можно задать на плоскости в виде меридионального сечения с его осью симметрии (рис. 1). Поверхность сечения разбивалась на сегменты, в которых использовались усеченные конусы, на боковой поверхности которых определялось положение нормалей. Пересечение нормалей с образующей тела будем называть контрольными точками.

Продольная ось тела разбивалась на определенное количество прямолинейных отрезков, в центре которых помещались источники-стоки с неизвестной интенсивностью, имеющие общую координату X_i с контрольной точкой на образующей тела. Радиальная скорость от i -го источника-стока в j -й контрольной точке V_{rj} , направленная по нормали к внешней поверхности тела в этой точке, вычисляется по формуле

$$V_{ri} = \frac{Q_i}{4\pi r_{ij}^2} a_{ij}, \quad (1)$$

где Q_i — интенсивность i -го источника-стока; r_{ij} — расстояние от i -го источника-стока до j -й контрольной точки; a_{ij} — косинус угла между нормалью к поверхности в j -ой контрольной точке и направлением r_{ij} от i -го источника-стока к j -й контрольной точке.

Численный метод сводится к выполнению в контрольных точках условий непротекания, что приводит к необходимости решать СЛАУ (2), из которого будут определены интенсивности источников, по которым согласно формуле (1) вычисляются скорости в любой точке пространства.

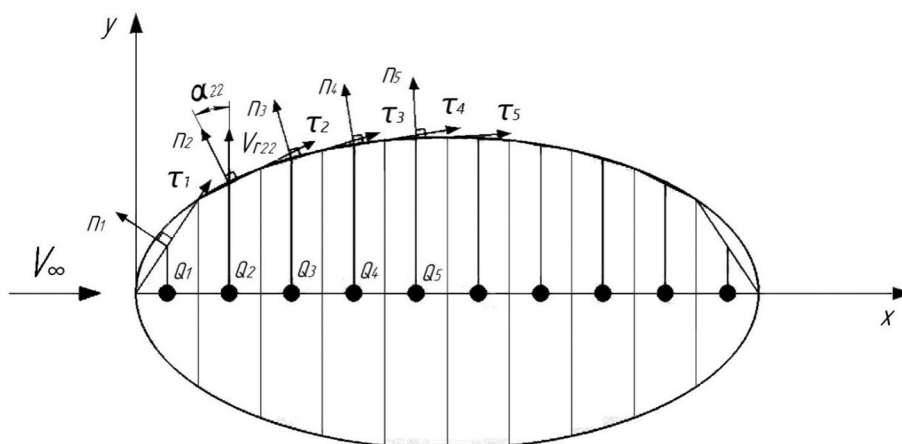


Рис. 1. Схема расположения источников-стоков на оси тела и нормалей к образующей сечения

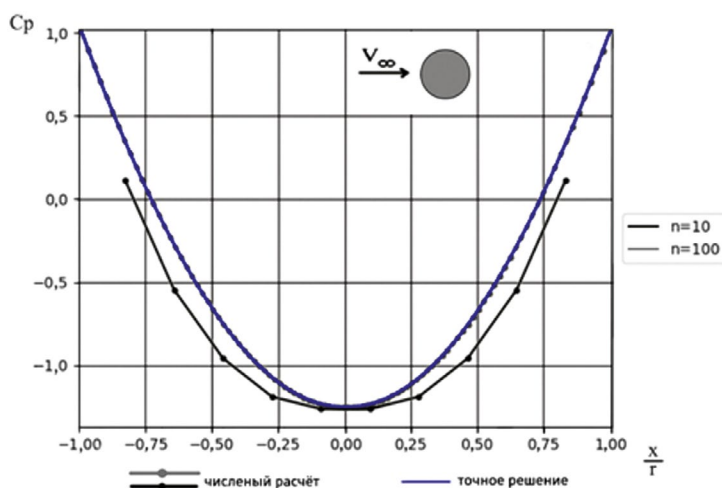


Рис. 2. Распределение коэффициента давления по поверхности сферы от относительного ее радиуса

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{r_{11}^2} a_{11} \dots \frac{1}{r_{1j}^2} a_{1j} \dots \frac{1}{r_{1n}^2} a_{1n} \\ \vdots \quad \ddots \quad \vdots \quad \ddots \quad \vdots \\ \frac{1}{r_{n1}^2} a_{n1} \dots \frac{1}{r_{nj}^2} a_{nj} \dots \frac{1}{r_{nn}^2} a_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ Q_n \end{bmatrix} = -4\pi V_\infty \begin{bmatrix} \sin \alpha_1 \\ \sin \alpha_2 \\ \dots \\ \sin \alpha_n \end{bmatrix}, \tag{2}$$

где V_∞ — скорость набегающего потока, α_n — угол между нормалью к поверхности в j -й контрольной точке и вектором скорости набегающего потока.

Результаты. В качестве теста для отладки математической модели и вычислительной программы выбрана сфера. На рис. 2 показано сравнение теоретического распределения коэффициента давления C_p и полученного расчетным путем при 10 и 100 особенностях, размещенных равномерно вдоль продольной оси сферы. Из рис. 2 следует, что расчет при 100 особенностях практически совпадает с теоретическим результатом.

Выводы. Показано, что разработанный алгоритм на основе метода особенностей, дает хорошее приближение коэффициента давления для сферы. Разработанная программа позволит рассчитывать поля скоростей и давлений около произвольных осесимметричных тел.

Ключевые слова: метод особенностей; осесимметричное тело; контрольные точки; коэффициент давления; интенсивность; источник.

Список литературы

1. Katz J., Plotkin A. Low-speed aerodynamics: from wing theory to panel methods. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 315 p. DOI: 10.1017/CBO9780511810329
2. [repo.ssau.ru \[Электронный ресурс\]. Ляскин А.С., Фролов В.А. Расчет аэродинамических профилей по моделям идеальной и вязкой жидкости: электронные методические указания. Самара, 2011. 26 с. Доступ по ссылке: http://repo.ssau.ru/bitstream/Metodicheskie-ukazaniya/Raschet-aerodinamicheskikh-profilei-po-modelyam-idealnoi-i-vyazkoi-zhidkosti-Elektronnyi-resurs-elektron-metod-ukazaniya-53709/1/%d0%9b%d1%8f%d1%81%d0%ba%d0%b8%d0%bd%20%d0%90.%20%d0%a1.%20%d0%a0%d0%b0%d1%81%d1%87%d1%91%d1%82%20%d0%b0%d1%8d%d1%80%d0%be%d0%b4%d0%b8%d0%bd%d0%b0%d0%bc%d0%b8%d1%87%d0%b5%d1%81%d0%ba%d0%b8%d1%85.pdf](http://repo.ssau.ru/bitstream/Metodicheskie-ukazaniya/Raschet-aerodinamicheskikh-profilei-po-modelyam-idealnoi-i-vyazkoi-zhidkosti-Elektronnyi-resurs-elektron-metod-ukazaniya-53709/1/%d0%9b%d1%8f%d1%81%d0%ba%d0%b8%d0%bd%20%d0%90.%20%d0%a1.%20%d0%a0%d0%b0%d1%81%d1%87%d1%91%d1%82%20%d0%b0%d1%8d%d1%80%d0%be%d0%b4%d0%b8%d0%bd%d0%b0%d0%bc%d0%b8%d1%87%d0%b5%d1%81%d0%ba%d0%b8%d1%85.pdf)
3. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. В 2-х т. Т. 2 / пер. с англ. Москва: Мир, 1991. 149 с.

Сведения об авторах:

Георгий Игоревич Рыжов — студент, группа 3308-240507D, институт авиационной и ракетно-космической техники, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия. E-mail: 00nimostor00@mail.ru

Сергей Александрович Кузнецов — студент, группа 3315-240507D, институт авиационной и ракетно-космической техники, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия. E-mail: sergey.kusnezov@yandex.ru

Владимир Алексеевич Фролов — научный руководитель, кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия. E-mail: frolov_va_ssau@mail.ru