

АНАЛИЗ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ В ЗАДАЧАХ АЭРОДИНАМИКИ

Зеньков Е.В.

Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск

Ключевые слова: обтекание, аналитическое решение, численное решение, аэродинамика, оценка достоверности, скорость потока.

Аннотация. В работе описываются результаты расчетов скорости потока воздуха около цилиндрического тела. Выполнено сравнение результатов аналитического и численного решений данной задачи в двухмерной постановке. Установлено, что при увеличении расстояния в радиальном направлении происходит «сжатие» графика скорости и приближение значений скоростей к начальной скорости потока. Кроме того, численное моделирование процесса обтекания цилиндрического тела показало приемлемую точность полученных значений скоростей в сравнении с аналитическим решением.

ANALYSIS OF VALIDITY OF FINITE ELEMENT APPROXIMATIONS IN AERODYNAMIC PROBLEMS

Zenkov E.V.

Irkutsk State Transport University, Irkutsk

Keywords: flow around, analytical solution, numerical solution, aerodynamics, reliability assessment, flow rate.

Abstract. The paper describes the results of calculations of the air flow rate near the cylindrical body. The results of analytical and numerical solutions of this problem were compared in a two-dimensional formulation. It has been found that as the radial distance increases, the velocity plot is "compressed" and the velocity values approach the initial flow velocity. In addition, numerical modeling of the flow around the cylindrical body showed acceptable accuracy of the obtained velocity values in comparison with the analytical solution.

Для решения технических задач по определению напряженно-деформированного состояния (НДС) с помощью численного решения методом конечных элементов (МКЭ) необходимо доказательство достоверности данного метода, например, в виде исследования его точности-сходимости относительно известных аналитических решений или данных эксперимента. Результат исследования достоверности численного решения позволяет утверждать, что все условия в задачах задаются корректно, и результат соответствует рассматриваемой физике явления.

В задачах исследования НДС тел, находящихся в полете, первоисточником всех нагрузок являются воздушные массы, которые осуществляют воздействие на тело с помощью скорости потока, температуры и его давления. Рассмотрим аналитическое решение задачи обтекания цилиндрического тела в 2D-постановке (рис. 1), при построении уравнений которой рассматриваются радиальная V_r и тангенциальная V_θ составляющие скорости потока [1-3]. На рисунке 1 точки A , B и C лежат на поверхности цилиндра, а точки A_1 , B_1 и C_1 лежат на расстоянии 1 мм от него.

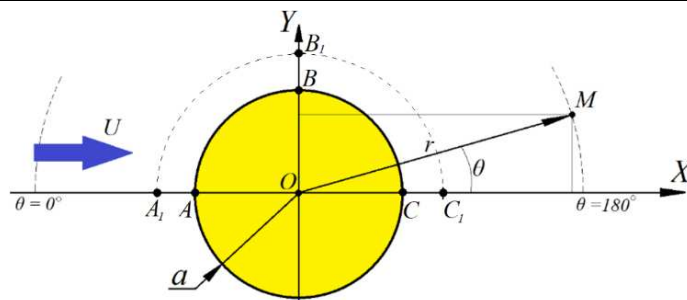


Рис. 1. К задаче обтекания цилиндрического тела в 2D-постановке

Принимая во внимание, что радиус цилиндра находится как $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, получаем, что составляющие скорости потока на поверхности цилиндра вычисляются по следующим формулам [3]

$$\begin{cases} V_r = 0, \\ V_\theta = -2 \cdot U \cdot \sin \theta, \end{cases} \quad (1)$$

где θ – искомый угол, рад; U – начальная скорость потока, м/с.

Аналитические расчёты показали, что при начальной скорости $U = 194,5$ м/с (крейсерская скорость современного авиалайнера) и диаметре цилиндра $r = 4$ мм (радиус скругления деталей в зоне образования конденсата) скорости на поверхности цилиндрического тела распределены как на рисунке 2.

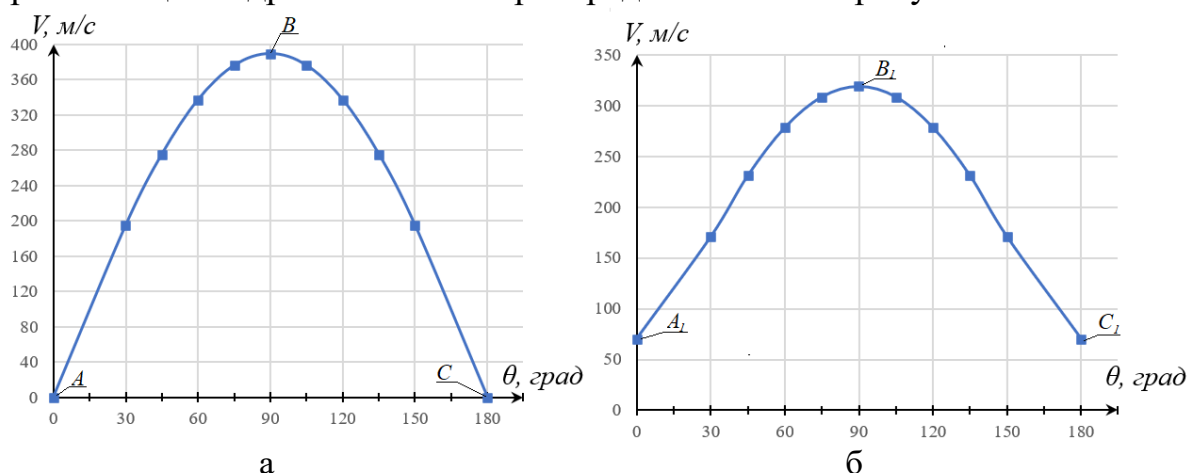


Рис. 2. Скорости потока воздуха около цилиндра в точках A, B, C, A₁, B₁ и C₁

На рисунке 2 видно, что при увеличении значения искомого радиуса с $r_a = 4$ мм (рис. 2, а) до $r_a = 5$ мм (рис. 2, б) происходит «сжатие» графика и приближение значений скоростей к начальной скорости потока.

При решении данной задачи численным способом с применением метода КЭ использована степень дискретизации на полуокружности цилиндрического тела в количестве 32 КЭ. Для повышения производительности расчетов использована половина цилиндра (рис. 3), т.к. обтекание симметричное. Граничные условия, необходимые для численного решения задачи аэродинамики, показаны на рисунке 3.

В результате численного расчёта получены поля распределения скоростей потока около цилиндрического тела (рис. 4).

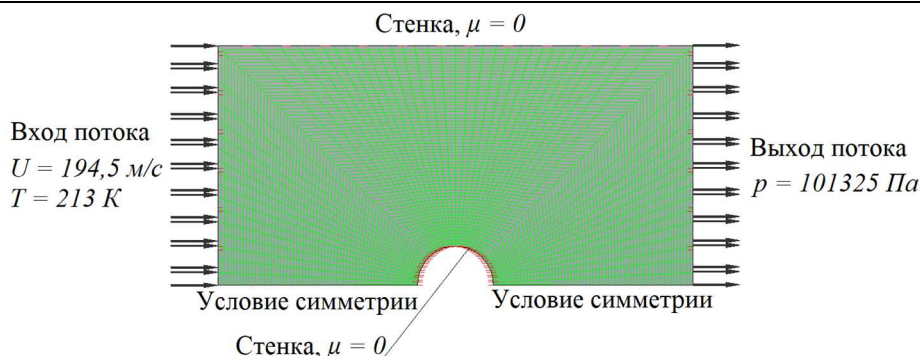


Рис. 3. Граничные условия для решения задачи аэродинамики

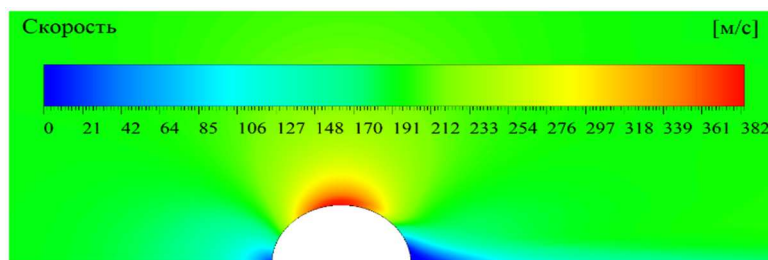


Рис. 4. Расчетное распределение скорости потока около цилиндра

Из рисунка 4 видно, что в точках при $r_a = r$ и $\theta = 0^\circ$ $V = 0$ м/с, при $\theta = 180^\circ$ $V = 0$ м/с, при $\theta = 90^\circ$ $V \approx 380$ м/с, что соответствует скоростям, представленным на рисунке 2 и подтверждает достоверность численного моделирования.

Таким образом, полученное поле распределения скорости потока около цилиндра обладает достаточной точностью и достоверностью в сравнении с аналитическим решением, приведенным на рисунке 2, а. Это позволяет использовать разработанный численный алгоритм для решения практических задач аэродинамики.

Список литературы

1. Фролов В.А., Редькина К.В. Зоны захвата и осаждения капель воды при обтекании цилиндра // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – №6 (4). – С. 1058-1061.
2. Ягмыров Х. Разработка новых методов решения дифференциальных уравнений с частными производными // Международный научный журнал «Всемирный ученый». – 2021. – №1. – С. 219-222.
3. Николаев К.В. Возникновение отрыва пограничного слоя на вращающемся цилиндре в потоке несжимаемой жидкости // Ученые записки ЦАГИ. – 1982. – №6. – С. 32-38.

Сведения об авторе:

Зеньков Евгений Вячеславович – к.т.н., доцент, доцент кафедры управления качеством и инженерной графики.