

УДК: 629.735.015

## Требования к расчётным сеткам для решения задач внешней дозвуковой аэродинамики летательных аппаратов

С.В. Корнев, Л.Г. Артамонова

### Аннотация

В данной статье приведены расчёты аэродинамических характеристик профиля плоская пластинка. Исследования проводились на двух расчётных сетках, построенных с условиями, когда первая ячейка сетки отходит от поверхности обтекаемого тела в одном случае на расстояние  $h = 10^{-4}$  хорды крыла, а в другом случае на расстояние  $h = 10^{-5}$  хорды крыла. Установлено, что полученные значения аэродинамических коэффициентов, вычисленные по двум сеткам, практически совпадают.

### Ключевые слова:

плоская пластинка; расчётные сетки; аэродинамические коэффициенты; численные методы

В настоящее время приобретает большую актуальность численное решение уравнений, описывающих математические модели обтекания летательных аппаратов и их частей. В работе использованы численные методы математического моделирования, основанные на решении осреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса. Выбор этих методов исследования обоснован наличием явных преимуществ численного решения задач на предварительном этапе аэродинамического проектирования. Ниже приведены преимущества использования расчётных методов:

- существенное сокращение времени в процессе численного решения задач;
- инвариантность решения задач;
- комплексное решение задач в интересующей области исследования;
- возможность моделировать расчёты для реальных условий эксплуатации летательных аппаратов, а также для идеализированных условий, например – двухмерность, несжимаемость и др.
- снижение затрат и использование современной вычислительной техники [1].

Одним из основных этапов методов математического моделирования является построение расчётных сеток, к которым предъявляются определённые требования по

топологии, способу построения, качеству и др. Так в работе [2] сформулированы основные требования к расчётным сеткам. В этой работе указывается на то, что первая ячейка сетки должна отходить от поверхности обтекаемого тела на расстояние  $h$  равное  $10^{-5} \dots 10^{-6}$  хорды крыла –  $b$ , обеспечивая тем самым допустимую погрешность расчёта характеристик пограничного вязкого слоя. Однако при решении трёхмерных задач достижение такого условия не всегда возможно из-за недостаточной мощности вычислительных ресурсов. Поэтому в данной работе были сформулированы требования к расчётным сеткам, у которых величина  $h$  составляет  $10^{-4}$  хорды крыла. Это условие в работе выполнялось на примере решения двумерной задачи – обтекание профиля плоская пластинка с размерами внешней области расчётной сетки не менее 6 хорд. Расчёт производился в программе ansys fluent (лицензия № 632255) с использованием модели турбулентности  $k - \epsilon$ . Для решения задачи строилась расчётная сетка  $H$  топологии, так как она проста в построении, наилучшим образом повторяет контуры профиля и обеспечивает получение результатов аэродинамических характеристик с достаточной степенью точности (рис. 1).

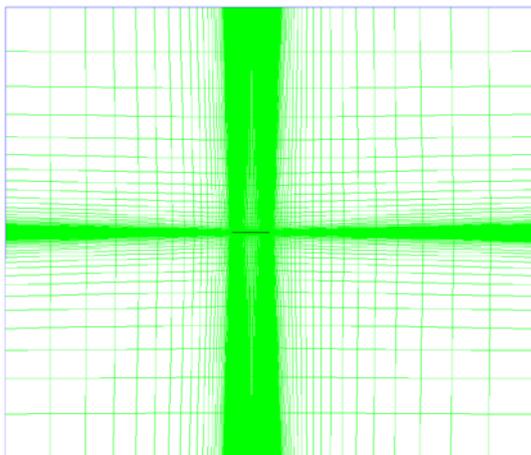


Рис. 1. Общий вид расчётной сетки.

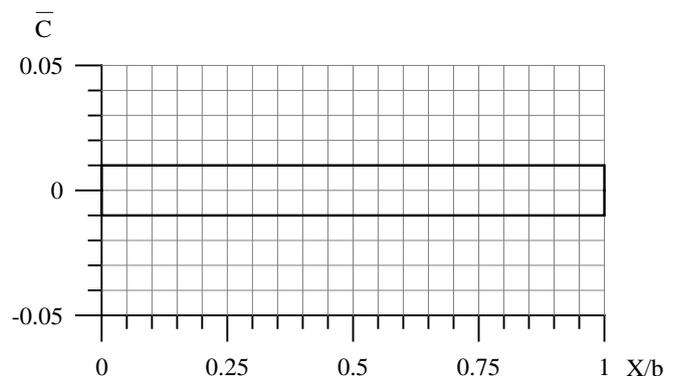


Рис. 2. Форма профиля.

Исследования проводились на примере обтекания профиля плоская пластинка с относительной толщиной 2% дозвуковым несжимаемым потоком газа со скоростью 50 м/с (рис 2). Длина хорды профиля составляла 0,4 м.

Было установлено, что при условии  $h = 10^{-4} \cdot b$  расчётная сетка содержит 18500 ячеек. Расстояние  $h$  напрямую влияет на величину  $Y^+$ . Для этой сетки величина  $Y^+ = 10$ . Необходимо отметить, что для трёхмерной задачи (изолированные крылья) расчётная сетка с таким качеством будет содержать примерно 2,8 млн. ячеек, так как добавляется разбиение по оси  $Z$ .

Во втором случае, когда  $h = 10^{-5} \cdot b$  количество ячеек стремительно растёт и будет составлять 36750. Это объясняется тем, что первая ячейка сетки приближается к поверхности тела ещё ближе и для сохранения рекомендуемого шага сгущения 1,2 требуется увеличить число разбиений сетки во всех направлениях, и тогда сетка аналогичного качества для трёхмерной задачи будет содержать 6,6 млн. ячеек. Параметр  $Y^+$  для этой сетки будет находиться в диапазоне 1 – 2, что отвечает требованиям, изложенным в работе [2].

В процессе проведения расчёта было установлено, что при условиях, когда в первом случае ячейка сетки отходит от поверхности тела на расстояние  $h = 10^{-4} \cdot b$ , а во втором на расстояние  $h = 10^{-5} \cdot b$ , результаты расчётов аэродинамических коэффициентов, выполненные по этим двум сеткам, практически совпадают (рис. 3а, 3б). Погрешность значений коэффициентов подъёмной силы и коэффициентов лобового сопротивления составляет 1,4% и 1,3% соответственно. Причём это незначительное расхождение проявляется на углах атаки порядка 30 градусов. При меньших углах атаки расхождение отсутствует, и обе кривые на графиках накладываются друг на друга.

Максимальная погрешность между коэффициентами момента тангажа для этих двух выбранных условий проявляется в диапазоне углов атаки порядка 5 – 25 градусов и составляет 2,4%, что вполне допустимо (рис. 3в).

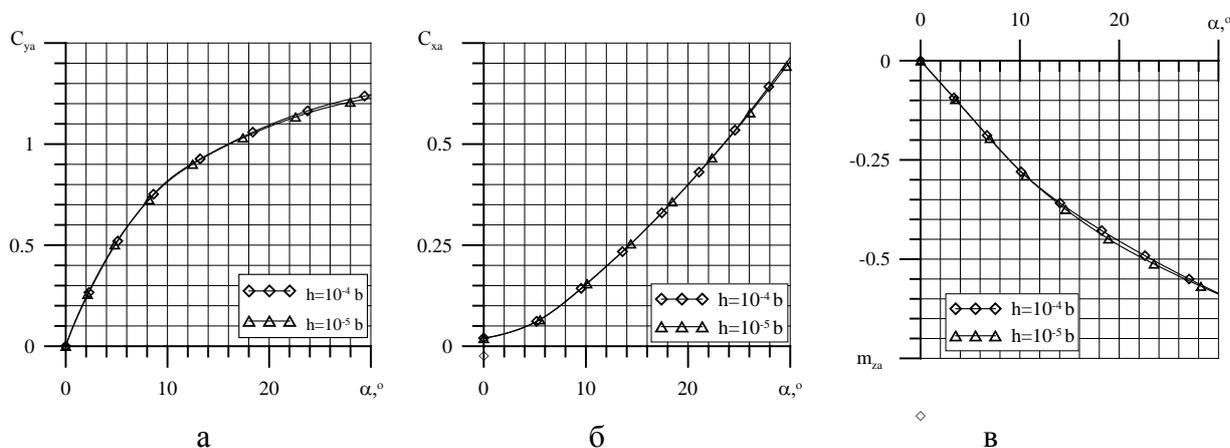


Рис. 3. Суммарные аэродинамические характеристики профиля плоская пластинка.

*а – зависимость коэффициентов подъёмной силы от углов атаки.*

*б – зависимость коэффициентов лобового сопротивления от углов атаки.*

*в – зависимость коэффициентов момента тангажа от углов атаки.*

Проведенные расчёты суммарных аэродинамических характеристик по двум сеткам  $h = 10^{-4} \cdot b$  и  $h = 10^{-5} \cdot b$  показали близкое их совпадение (погрешность составляет не более 2,5%). Поэтому для решения задач внешней дозвуковой аэродинамики летательных

аппаратов вполне допустимо принимать расстояние от поверхности тела до первой ячейки равное  $h = 10^{-4} \cdot b$ , не потеряв при вычислениях характеристики вязкого пограничного слоя. Расчётная сетка с таким условием может быть также рекомендована к применению для решения трёхмерных задач.

### **Библиографический список:**

1. Патанкар С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат, 1984 г.
2. Вышинский В.В. Судаков Г.Г., Применение численных методов в задачах аэродинамического проектирования. Труды ЦАГИ, вып. 2673, М.: 2007 г.

### **Сведения об авторах:**

Корнев Сергей Витальевич, аспирант Московского авиационного института (национального исследовательского университета), тел. +7 916-807-73-07, e-mail: Sergeikornev@mail.ru

Артамонова Любовь Георгиевна, доцент Московского авиационного института (национального исследовательского университета), к.т.н., тел.: 157-58-93