

РАСЧЕТ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ОБТЕКАНИЯ ЭЛЛИпсоИДА ВРАЩЕНИЯ В ANSYS CFX

Геометрия эллипсоида показана на рис. 1. Длина $L = 1$ м, скорость течения $U = 1$ мм/с. С учетом осесимметричности течения расчеты проведены на сетках, имеющих форму сектора с углом раствора 1° и одним слоем ячеек по толщине. Сетки отличались удаленностью внешней границы от тела (R) и размером ячеек.



Рис. 1. Расчетная геометрия

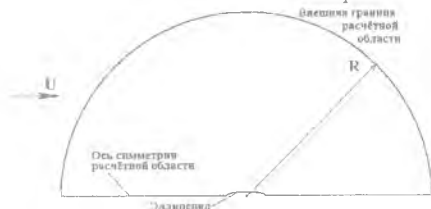


Рис. 2. Вид расчетной области

Так как обтекание при данных условиях можно считать потенциальным, для конечного тела должен выполняться парадокс

Даламбера-Эйлера (сопротивление тела должно быть равно нулю). Картина обтекания симметричного тела также должна быть симметричной относительно плоскости миделя. Поэтому в данном исследовании адекватность численного решения контролировалась по следующим параметрам: 1) коэффициент сопротивления тела C_x должен быть равен нулю; 2) коэффициент давления в точке торможения (C_{p0}) и в симметричной ее задней точке должен быть равен единице; 3) линии тока, полученные численным решением, должны совпадать с линиями тока, полученными аналитическим решением.

Однако, поскольку численному методу присуще наличие схемной вязкости, перечисленные требования будут выполняться с некоторой погрешностью, зависящей от параметров сетки и солвера.

Целью работы было установление значений параметров (густоты сетки, размер расчетной области, порядка аппроксимации численной схемы, величины шага по времени, величины коэффициента релаксации), при которых погрешности расчета, вызванные влиянием схемной вязкости, имеют приемлемую величину. В частности принято требование, что расчетное значение коэффициента сопротивления C_x не должно превышать 1 каунт (один каунт равен 10^{-4}).

1. Влияние густоты сетки было исследовано на примере расчетной области с $R = 7.5L$. Вид исходной (самой грубой) сетки показан на рис. 3. Сетки № 2...№ 5 получены путем разбиения каждой ячейки предыдущей сетки на 4 (табл. 1).

Таблица 1 – Параметры сеток

№ сетки (n)	Количество ячеек	S
1	1624	1
2	6496	0.25
3	25984	0.0625
4	103936	0.015625
5	415744	0.00390625

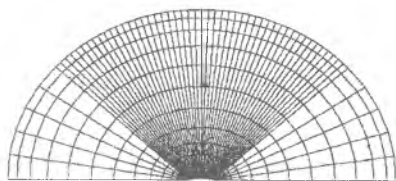


Рис. 3. Сетка № 1

Рассмотрены три схемы аппроксимации: 1) первого порядка (Upwind), 2) второго порядка (Blend factor = 1), 3) схема High resolution, в основе которой лежит шаблон с коэффициентом, меняя который, солвер варьирует порядок аппроксимации от первого до второго, стараясь получить максимальную точность при сохранении устойчивости решения. Все результаты получены при расчете с двойной точностью (double precision). Результаты приведены на рис. 4-6. Параметр $S = 1/4^{n-1}$, где n -- номер сетки, характеризует отношение площади ячейки n-й сетки к площади ячейки исходной сетки (№ 1).

На рис. 7 показаны линии тока вблизи носика эллипсоида, полученные на сетке №5. Линии – теория [1], точки – расчет.

2. Влияние размера расчетной области. Для его определения была проведена серия расчетов с различным значением радиуса расчетной области R (рис. 2). Была использована сетка №4, так как на ней получено достаточно низкое значение коэффициента сопротивления (0.3 каунта при схеме второго порядка). При этом густота не менялась, а изменялся только размер расчетной области: убирались внешние слои сетки, на оставшейся части ставились соответствующие граничные условия для дальнего поля.

Результаты приведены на рис. 8-9. По горизонтали отложено отношение минимального расстояния от тела до внешней границы к диаметру миделя эллипсоида. Видно, что если границы достаточно удалены от тела, то их положение не влияет на аэродинамические характеристики обтекаемого тела. При приближении границ к телу растет значение коэффициента сопротивления, и значение коэффициента давления в точке торможения отклоняется от единицы.

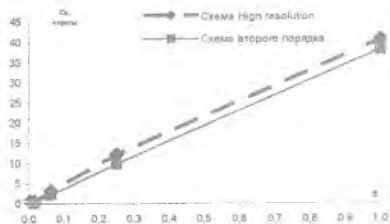


Рис. 4

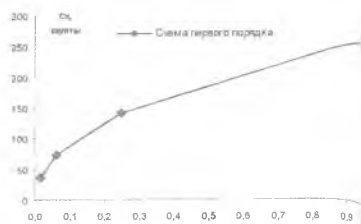


Рис. 5

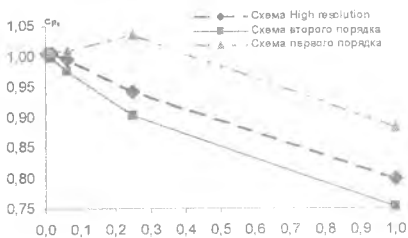


Рис. 6

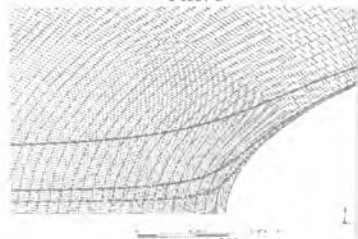


Рис. 7

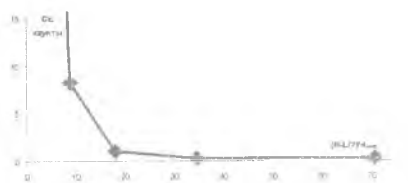
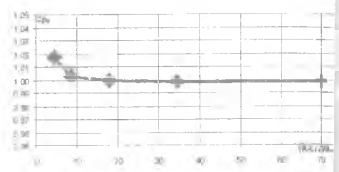


Рис. 8



с. 9

Выводы и рекомендации

1. На грубых сетках процесс сходимости силы сопротивления и давления в контрольных точках имеет монотонный характер. При этом, как правило, затруднений с достижением сходимости решения не возникает и не требуется изменять параметры солвера, используемые по умолчанию. Однако величина коэффициента сопротивления тела, полученного на грубых сетках, обусловленного наличием схемной вязкости, получается неприемлемо высокой (десятки каунтов).
2. Для снижения коэффициента сопротивления, обусловленного действием схемной вязкости до величин менее одного каунта необходимо:
 - использовать сетку, имеющую не менее 500-600 ячеек по длине тела. При этом высота ячеек сетки вблизи точки торможения, расположенной на скругленном носике должна быть около 1/10 радиуса скругления или менее;
 - использовать схему аппроксимации второго порядка (Blend factor=1) или схему High resolution;

- границы расчетной области должны быть удалены от обтекаемого тела на расстояние не менее 25 его диаметров.

3. Для устранения возникающих на мелкой сетке пульсаций и проблем со сходимостью необходимо:

- решение проводить с двойной точностью (double precision);

- задать величину шага по времени (Physical Timescale), уменьшенную в 10 или более раз по сравнению с величиной, которую солвер рассчитывает автоматически (Auto Timescale);

- установить величину коэффициента релаксации solver relaxation fluids, равную 0.5...0.3.

Применение этих мер улучшает сходимость, хотя и может увеличить время расчета, но не искажает результаты решения. Время получения решения при таких параметрах сетки и солвера на ПК типа Athlon 3500 составляет около двух суток.

4. Схема первого порядка (Upwind или Blend factor = 0) дает чрезвычайно высокое значение сопротивления, обусловленного схемной вязкостью, и применять ее для получения конечного результата не следует.

Библиографический список

1. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика, ч. 1, М., 1963.