

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБТЕКАНИЯ СФЕРЫ ПОТОКОМ ВЯЗКОГО ТЕПЛОПРОВОДНОГО ГАЗА

А.В. Климов

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Необходимость исследования потока энергии на вращающейся сфере обусловлена научным и практическим интересом. Научный интерес заключается в исследовании зависимости величины потока энергии через поверхность сферы в сплошной среде в гиперзвуковом потоке ($M=10$) от вращения сферы в плоскости, перпендикулярной направлению потока на бесконечности. Практический интерес заключается в том, чтобы уменьшить нагрев обшивки космических спускаемых аппаратов в ближних слоях атмосферы. В работе представлены результаты такого исследования, проведенного посредством вычислительного эксперимента.

В основе вычислительно эксперимента - математическая модель обтекания твердого тела вязким сжимаемым газом, определяемая системой полных уравнений Навье-Стокса. Для пространственной аппроксимации использовалась схема WENO 5 порядка точности, для интегрирования по времени – неявная схема. Для решения задачи Римана применялась схема HLLE. В работе используется модель турбулентности Спаларта-Альмараса в качестве модели замыкания. На границе сферы поставлено условие прилипания. Температура сферы задана постоянной. Моделирование проводилось для чисел Рейнольдса равных 1000 и 10000, вычисленных по температуре торможения набегающего потока. Поток энергии вычисляется по формуле

$$I = -\lambda \text{grad}(T) + \tau V \quad (1)$$

здесь λ – коэффициент теплопроводности, T – температура, τ – тензор вязких напряжений, V – скорость вращения сферы. Скорость вращения сферы ω является безразмерной величиной

$$\omega = \frac{\omega_{dim} D / 2}{a}$$

Здесь ω_{dim} – размерная угловая скорость вращения, D – диаметр сферы, a – скорость звука на бесконечности.

Численное моделирование проводится в рамках исследовательского комплекса программ NOISEtte [1]. В данном комплексе программ реализована двухуровневая модель распараллеливания – MPI+OMP. Для достижения максимально эффективного использования вычислительных ресурсов была реализована привязка нитей MPI процесса к ядрам процессора, или если в процессоре присутствует технология HyperThreading, то к потокам процессора. Данная привязка позволяет пользователю абстрагироваться от задания параметров распараллеливания задачи. Программа сама определяет наилучшую конфигурацию для заданного количества процессоров. В работе представлены результаты такой привязки.

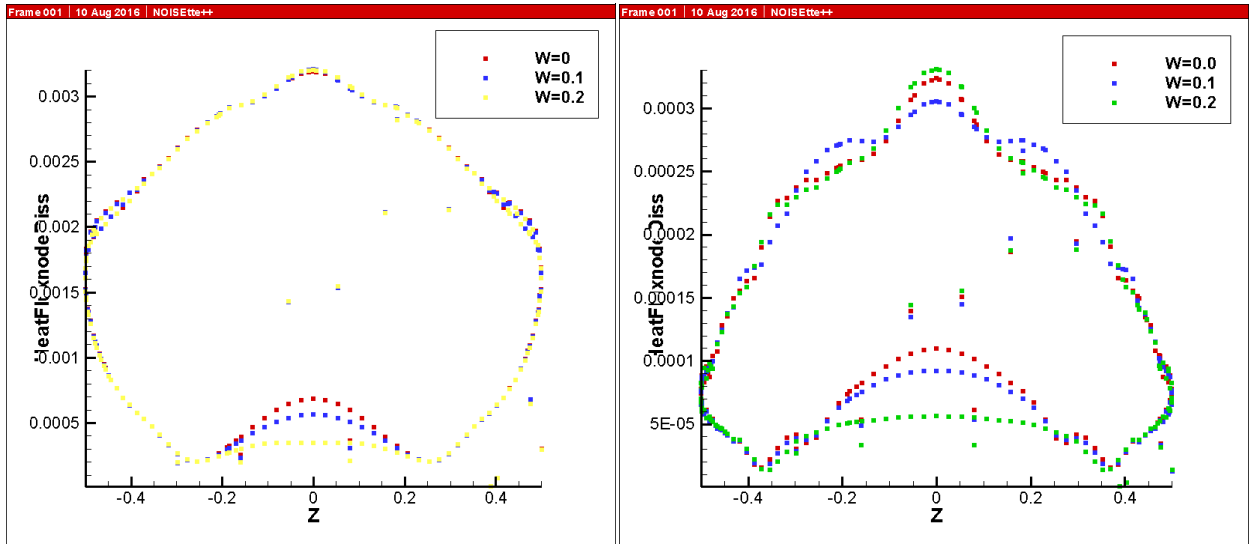


Рис.1 Поток энергии при $\omega = 0.0$, $\omega = 0.1$, $\omega = 0.2$ для чисел $Re = 1000$ и $Re = 10000$

В целом, выполненное численное исследование говорит о том, что распределение потока энергии через вращающуюся сферу не изменяется при ее вращении, также как и суммарный поток через ее поверхность.

Разработанная и реализованная методика привязки нитей, в свою очередь, может служить инструментом для достижения максимально эффективного использования вычислительных ресурсов при проведении вычислительного эксперимента.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, соглашение № 15-11-30039

Литература

1. И.В. Абалакин, П.А. Бахвалов, А.В. Горобец, А.П. Дубень, Т.К. Козубская. Параллельный программный комплекс NOISEtte для крупномасштабных расчетов задач аэродинамики и аэроакустики. *Вычислительные методы и программирование*, 2012, 13, стр. 110-125.