

Отчет по использованию вычислительных мощностей НГУ в 2011-2012 г.

Исследование высотной аэротермодинамики модели возвращаемого аппарата перспективной пилотируемой транспортной системы

Исполнители:

Ващенко П.В.¹, Кашковский А.В. (Институт Теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН)

Постановка задачи

На начальной траектории спуска космических аппаратов необходимо знать их аэротермодинамические характеристики (АДХ) в широком диапазоне параметров набегающего потока. Во время спуска аппарат на гиперзвуковой скорости движется в зоне свободно-молекулярного, переходного и континуального течений. Аэродинамические нагрузки, испытываемые при прохождении каждой из этих зон, изменяются в широком диапазоне. В данной работе исследовались АДХ модели возвращаемого аппарата перспективной пилотируемой транспортной системы (см. Рис. 1) при спуске с высоты 120 км до 75 км с учетом химических реакций на скорости порядка $M=25$.

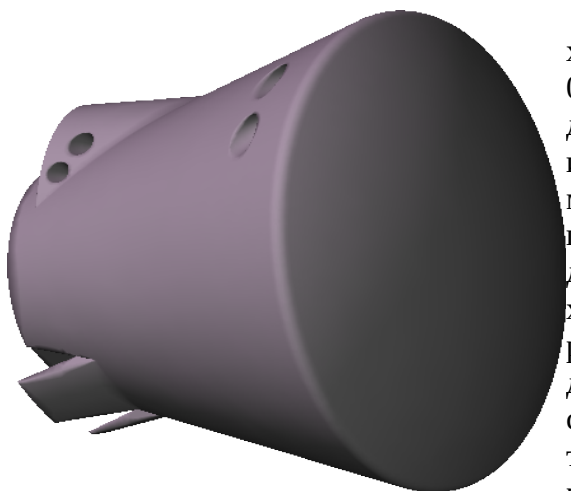


Рис. 1 - Модель возвращаемого аппарата

На этих высотах число Кнудсена, которое характеризует разреженность потока, меняется от 0.8 до 0.0003. Численное моделирование в таком широком диапазоне чисел Кнудсена осуществляется с использованием метода прямого статистического моделирования Монте-Карло (метод ПСМ). Этот метод позволяет проводить численное моделирование задач динамики разреженного газа с учетом термической и химической неравновесности. В методе ПСМ газ рассматривается как набор отдельных молекул газа, движущихся в пространстве, сталкивающихся между собой и с обтекаемым телом. Чем более плотное течение рассматривается, тем большие вычислительные ресурсы требуются для проведения моделирования. Ресурсы, использованные для решения этой задачи на вычислительном кластере НГУ представлены в Таб. 1.

¹ Ващенко Павел Валерьевич, Институт Теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, vashen@itam.nsc.ru

Таб. 1 - Используемые ресурсы

Высота	Кол-во процессоров	Кол-во частиц (млн)	Количество ячеек (млн)	Время счета (процессорочасы)	Место на диске
80	128	215	18	6500	20
85	40	72	10	1240	11
90	32	54	7.7	524	7
100	40	20	3.1	480	5
110	32	7	1	416	4

Результаты

В ходе моделирования были получены АДХ ВА на различных высотах вдоль траектории спуска, распределенные по поверхности аэротермодинамические параметры, а также поля течения. На Рис. 2 показано поле давления при неотклоненном балансировочном щитке (вверху) и при щитке, отклоненном на 30 град. при движении на высоте 75 км. Как видно, отклонение щитка, расположенного на задней части КА практически не влияет на течение вверх по потоку, но существенно изменяет давление позади аппарата. Так, например, донное давление в случае неотклоненного щитка составляет 90 Па, а отклонение щитка снижает его до 50 Па. Кроме того, отклонение щитка приводит к появлению подъемной силы ($C_y=0.10$)

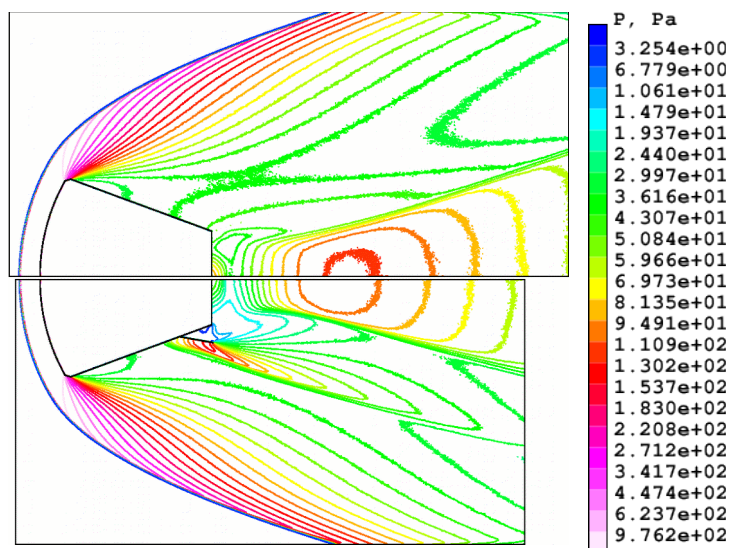


Рис. 2 - Поля давления при отклонении щитка

На Рис. 3 представлены поля давления, полученные на той же высоте 75 км при обтекании химически реагирующим газом (вверху) и химически инертным (внизу). Как видно, учет химических реакций существенно изменяет структуру течения как в отошедшей головной ударной волне, так и позади КА. Учет реальных свойств молекул газа приводит к потере энергии потока на осуществление химических реакций и снижение температуры. Зависимость коэффициента теплопередачи от высоты полет показана в Таб. 2.

Таб. 2 - Коэффициент теплопередачи ВА

Высота	90	85	80	75
Реагирующий газ	0.062	0.034	0.021	0.013
Нереагирующий газ	0.136	0.095	0.062	0.043

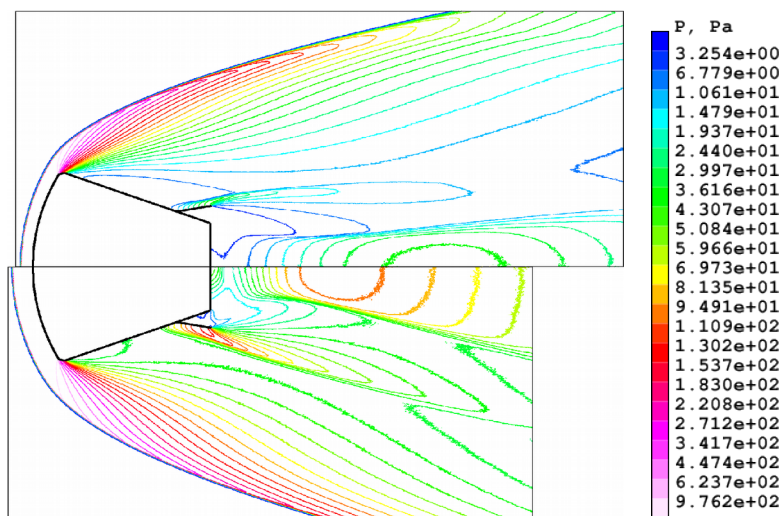


Рис. 3 - Поле давления сверху хим. реагирующий случай, внизу – химически инертный газ

В ходе моделирования были также получены распределенные по поверхности параметры. На Рис. 4 показано поле давления и распределение коэффициента давления на высоте 80 км. под углом атаки 40 град. при отклонении щитка на 30 град.

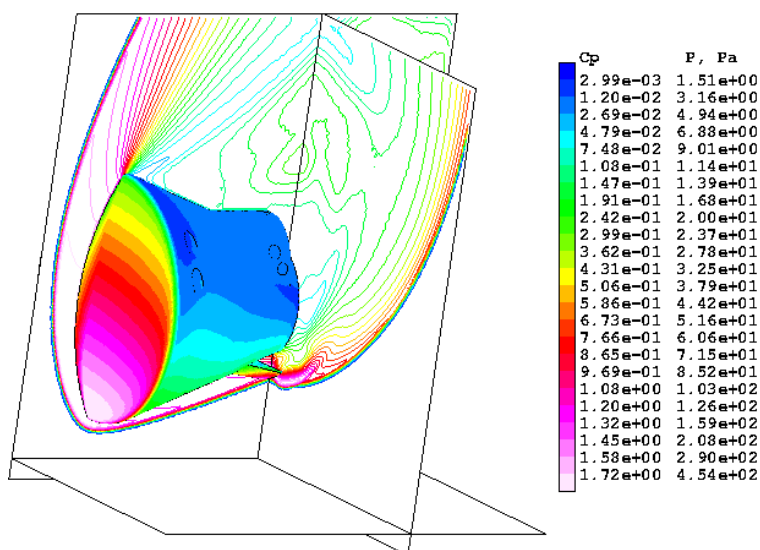


Рис. 4 - Поле давления и поверхностное распределение коэффициента давления

Результаты работы опубликованы в статье

«Specific Features of Aerothermodynamics of a Promising Reentry Vehicle» P. Vashchenkov, A. Kashkovsky, A. Krylov, and M. Ivanov., proc of 42nd AIAA Thermophysics Conference, 2011.

Кроме того, на кластере НГУ получены новые результаты по этой же модели ВА, которые пока не опубликованы.