

Отделение КЛПК

Название проекта/исследования

Численное моделирование отделения крышки люка парашютного контейнера возвращаемого аппарата с использованием программного комплекса FlowVision.

Авторы, место работы, e-mail

А.А. Аксенов, ООО «ТЕСИС», andrey@tesis.com.ru

К.В. Кузнецов, ООО «ТЕСИС», kk@flowvision.ru

И.В. Москалев, ООО «ТЕСИС», miv@flowvision.ru

А.А. Дядькин, РКК «Энергия», Anatoly.A.Dyadkin@rsce.ru

Т.В. Симакова, РКК «Энергия», Tatiana.Simakova@rsce.ru

Аннотация к описанию проекта

В статье обсуждается применение суперкомпьютеров для разработки новых космических аппаратов. Суперкомпьютеры помогают решать такие задачи отработки космической техники, которые сложно решить экспериментальными методами. В данной статье описано решение такой задачи – отделение крышки парашютного контейнера возвращаемого космического аппарата. Приведены результаты численного моделирования этой задачи в программном комплексе FlowVision.

Описание проекта/исследования

Звездное небо притягивало людей во все времена. Отец космонавтики К.Э. Циолковский предсказал выход людей в космос и его завоевание, но пока человечество только робко проникает за пределы атмосферы. И даже это робкое проникновение в космос сопряжено с серьезными техническими трудностями и научными проблемами, решить которые возможно, лишь опираясь на развитые научные знания и современные методы изучения физико-химических процессов. И суперкомпьютеры в последнее время стали одним из мощных инструментов изучения этих процессов, сопровождающих космический полет.

Проектирование пилотируемых космических аппаратов и определение их аэродинамических характеристик является дорогостоящим, длительным и трудоёмким процессом. Для обеспечения безопасности космонавтов от инженера-исследователя требуется высокая надёжность определения характеристик аппаратов на всех этапах их функционирования – при выведении на орбиту, возвращении и посадке на землю.

При решении задач проектирования нового российского возвращаемого аппарата (ВА), разрабатываемого РКК «Энергия», широкое применение получили передовые технологии в области высокопроизводительных вычислений. Моделирование процессов течения жидкости и газа в виртуальной среде не только существенно дешевле, но и позволяет проводить исследования поведения конструкции в условиях, максимально соответствующих реальным. Например, экспериментальные исследования аэродинамических характеристик и процесса отделения крышки люка парашютного контейнера (КЛПК) от аппарата на участке посадки практически невозможны с использованием существующих испытательных средств на ранних стадиях проектирования. Сложность задачи состоит в том, что для отработки процессов разделения на полноразмерных макетах необходима имитация набегающего потока и отделение КЛПК при произвольной ориентации аппарата в потоке с различными

скоростями, что обуславливает огромное количество режимов испытаний. Ввиду высокой стоимости изготовления и проведения испытаний полноразмерных макетов, длительности цикла испытаний, такие работы проводятся на заключительном этапе создания ВА. От безударности отделения КЛПК зависит надёжность срабатывания и функционирования парашютной системы посадки. Для правильного выбора параметров механизмов отделения КЛПК необходимо знание аэродинамических характеристик и понимание особенностей относительного движения разделяющихся объектов на ранних стадиях проектирования.

Задача трехмерного моделирования процесса отделения КЛПК от ВА решалась с помощью суперкомпьютеров РКК Энергия и МГУ («Ломоносов») с использованием российской программы расчета движения жидкости и газа FlowVision. Несмотря на «среднюю» размерность расчетной сетки (от 3 до 5 миллионов ячеек), применение суперкомпьютеров для решения данной задачи дает существенное преимущество, т.к. позволяет одновременно проводить большое количество численных экспериментов для разных режимов отделения КЛПК от ВА. Для каждого расчетного случая использовалось 16 процессоров (8 узлов кластера). Надежное и точное решение данной задачи для всех возможных случаев еще 5-10 лет назад казалось невозможным. Сегодня же, при помощи высокопроизводительных вычислений эта задача решена и решена в сроки, необходимые для проектирования нового космического корабля.

Возвращаемый аппарат показан на рисунке 1. Схематично он представляет собой усеченный конус со сферическим дном. Общий вид модели ВА с посадочным местом под крышку, а также самой КЛПК, использованной в ПК FlowVision, представлены на Рисунке 2.



Рисунок 1. Общий вид возвращаемого аппарата



Рисунок 2. Модель ВА, используемая для расчетов (слева) и КЛПК (справа)
 Задачи моделирования отделения КЛПК от ВА делились на 2 основные группы: 1) высота полета 6000 м, число маха 0,6; 2) высота полета 8000 м, число Маха 0,8. Целью проведения данной работы являлось определение аэродинамических сил и моментов, действующих на ВА и КЛПК в процессе разделения, а также выявление наиболее опасных положений ВА с точки зрения его возможного столкновения с КЛПК после разделения.

Задача определения аэродинамических характеристик возвращаемого аппарата и КЛПК решается в системе координат, связанной с центром масс ВА, поэтому ВА неподвижен в расчетной области. Для моделирования движения КЛПК использована технология подвижного тела. Данная технология позволяет моделировать произвольные движения объектов, как по заданному закону, так и под действием гидродинамических сил, с шестью степенями свободы.

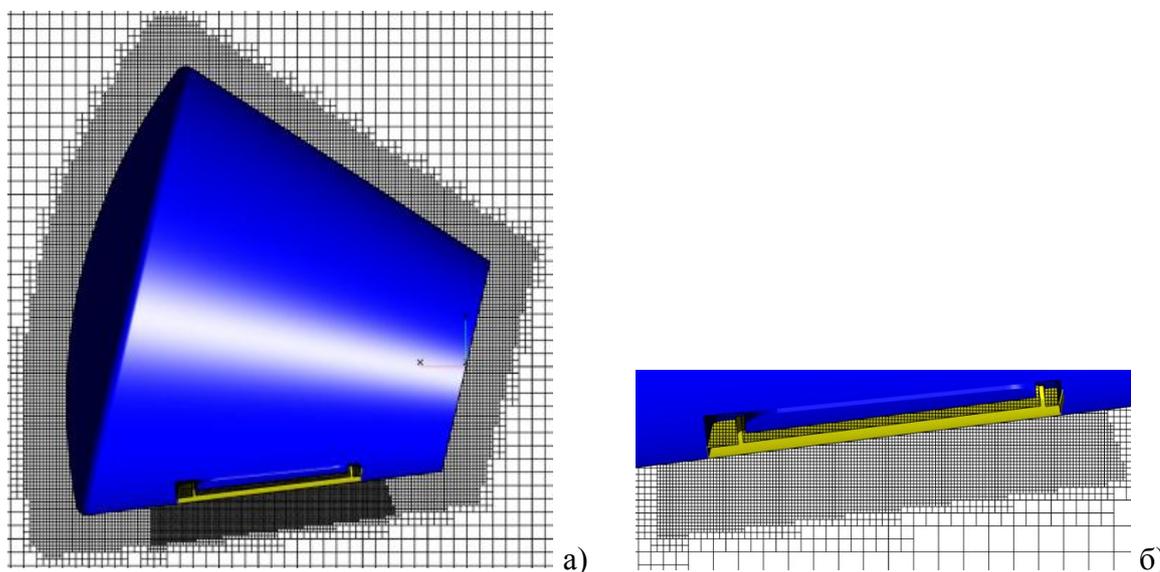


Рисунок 3. Вид расчетной сетки вокруг ВА (а) и адаптация вблизи КЛПК (б).
 В расчетной области создавалась расчетная сетка, которая динамически сгущалась (адаптировалась) к корпусу ВА и к КЛПК. Причем сетка около КЛПК была более мелкой (уровень адаптации в два раза больше, чем вблизи ВА). При движении крышки по расчетной области, сгущение сетки локально увлекалось за крышкой, восстанавливая более грубую сетку вдали от нее. Такой подход к генерации расчетной сетки позволяет существенно сэкономить ресурсы компьютера.

Расчет задачи определения аэродинамических характеристик ВА и КЛПК при их отделении проходил в два этапа. Сначала моделировалось обтекание аппарата с неподвижной КЛПК, присоединенной к корпусу ВА. После установления течения воздуха вокруг аппарата (рисунок 4), КЛПК приводится в движение. При расчете движения крышки учитывалась не только ее начальная скорость, задаваемая мощностью толкателей, но и избыточное давление воздуха под крышкой. Крышка до отстрела находилась в контакте с корпусом ВА без каких либо зазоров. После отстрела между корпусом ВА и крышкой образуется щель, через которую начинает выходить воздух из-под крышки и взаимодействовать с набегающим потоком. Отметим, что такая сложная задача может быть решена только с использованием эйлерова подхода для моделирования движения тел по расчетной области, применяемого в программном комплексе FlowVision.

Особенность движения КЛПК после отстрела состоит в том, что она проходит через возвратно-циркуляционную область, вызванную отрывом потока на аппарате (рисунок 5). Эта зона опасна тем, что может развернуть крышку и отбросить ее к аппарату. В результате расчетов было получено, что движение крышки существенно зависит от ее начальной скорости и от ориентации ВА по отношению к потоку обтекающего аппарат воздуха. С помощью численного моделирования было показано, что скорость отстрела крышки, определяемая мощностью толкателей, позволяет при большинстве режимов безопасно отделить крышку от корпуса. Как только крышка отходит на незначительное расстояние, она попадает в область действия значительных аэродинамических сил, которые начинают разворачивать крышку и удалять ее от ВА. На рисунке 6 показано положение крышки после отстрела в различные моменты времени для движения ВА с числом Маха равным 0.6 при двух различных углах атаки ВА к набегающему потоку воздуха: 13 и -17 градусов. Видно, что ни в одном режиме крышка не оказывается в опасной близости к аппарату.

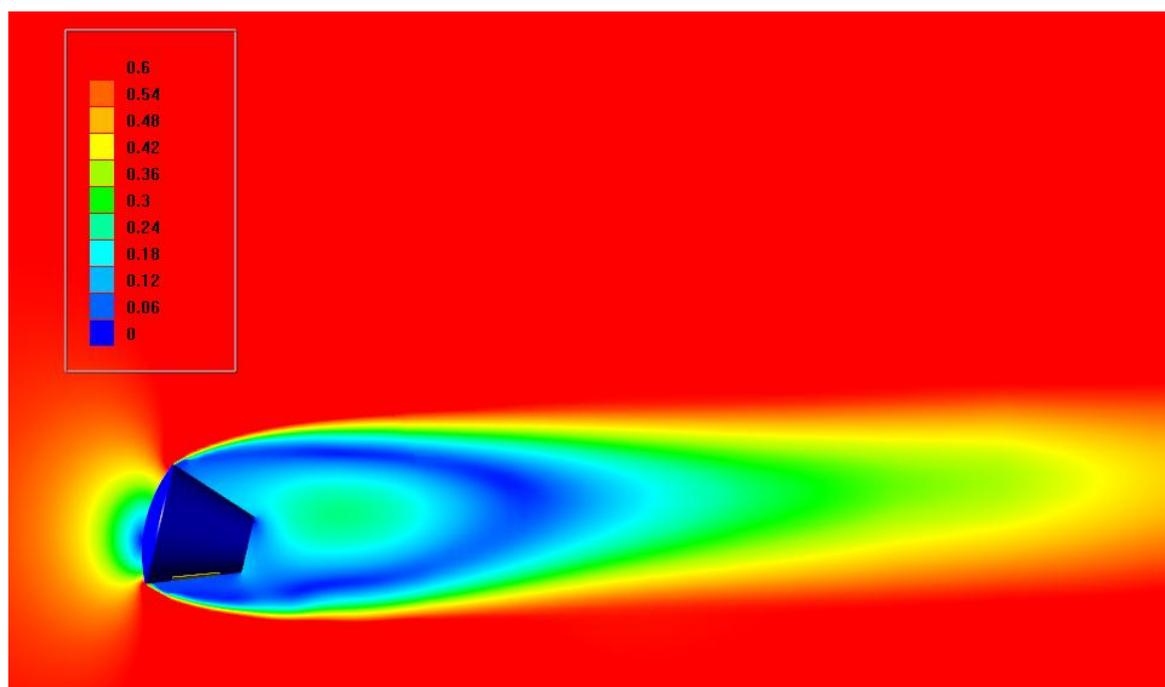


Рисунок 4. Стационарное обтекание ВА перед отделением крышки, распределение числа Маха.

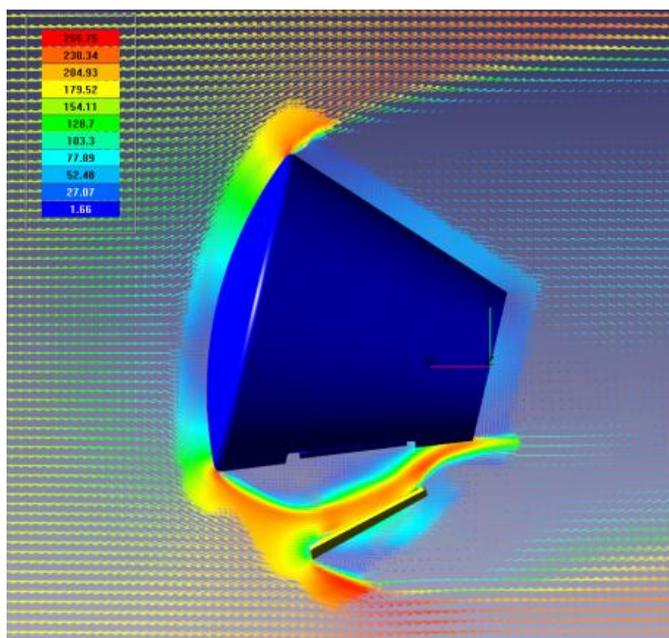


Рисунок 5. Распределение скоростей при отделении крышки. Видна возвратно-циркуляционная зона между ВА и КЛПК.

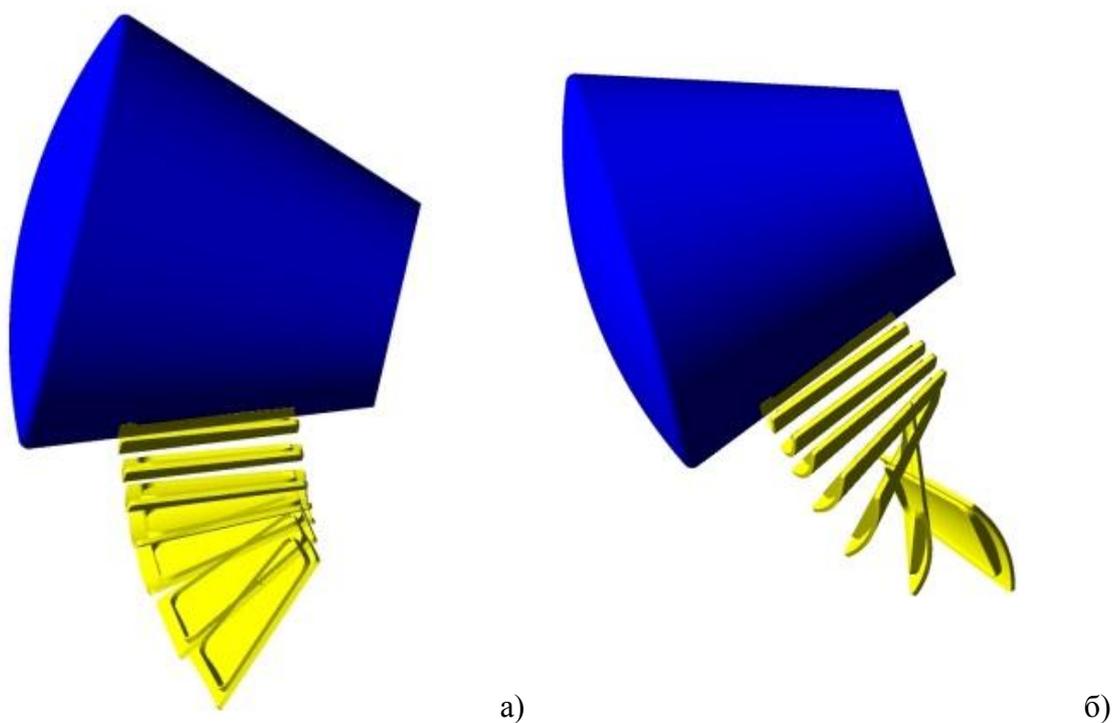


Рисунок 6. Положение КЛПК в разные моменты времени для углов атаки ВА а) 13° и б) - 17° .

В ходе проведения расчетов получены аэродинамические силы и моменты, а также соответствующие коэффициенты сил и моментов для ВА и КЛПК. Расчеты показали, что существует опасность столкновения КЛПК в процессе ее отделения от ВА при пространственном угле атаки ВА 43° . На основе полученных результатов вносятся изменения в конструкцию и рабочие параметры механизмов, обеспечивающих отделение КЛПК от ВА.

В процессе расчётных исследований проанализировано влияние на динамику движения КЛПК давления в парашютном контейнере в начальный момент разделения, а также влияние фала, соединяющего КЛПК с вытяжным парашютом, что практически невозможно исследовать в физическом эксперименте. Показано значительное влияние этих факторов на относительное движение ВА и КЛПК.

Применение суперкомпьютеров позволяет существенно снизить стоимость и сроки исследований, повысить качество и глубину проработки проблемных вопросов. В условиях обострившейся конкуренции в космической промышленности применение высокопроизводительных систем и программного обеспечения, способного использовать весь потенциал суперкомпьютеров, представляется важным и необходимым шагом.

По материалам статьи в ежегодном альманахе «Суперкомпьютерные технологии в науке, образовании и промышленности», 2013 г.