

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕРХЗВУКОВОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ С ПОМОЩЬЮ МАРШЕВОГО МЕТОДА

В.В.Еремин, В.А.Михалин, А.В.Родионов  
ЦНИИМаш, г.Королев, Московской обл., Россия

Разделение ступеней ракетно – космических систем (РКС) или отделение их элементов при полете на сверхзвуковых скоростях сопровождается сложной картиной интерференционного взаимодействия головных ударных волн. Попадание головной ударной волны на корпус ступени от соседних элементов РКС приводит к местному повышению давления, следствием чего при большой интенсивности ударных волн может быть возникновение возмущающих аэродинамических сил и моментов. К изменению аэродинамических характеристик ступеней приводит также их попадание в области неоднородных потоков, например при движении блоков первой ступени в ударном слое второй.

Для обеспечения безопасности процесса разделения и исключения возможности соударения ступеней необходимо знать величины возмущающих аэродинамических сил и моментов. Для многих практически важных случаев их можно определить с помощью численного моделирования. Поскольку для проведения параметрических и проектных работ требуется проведение массовых расчетов, то для проведения расчетов целесообразно использовать уравнения Эйлера, а для их интегрирования использовать маршевые методы их интегрирования.

При проведении численного моделирования процессов разделения ступеней РКС разных типов использовалась программа, в которой уравнения Эйлера интегрируются с помощью модификации метода Годунова – Колгана – Родионова [1], имеющей второй порядок аппроксимации на гладких течениях и не теряющая ее на неравномерных сетках. Расчеты проводились с выделением головной ударной волны.

Ключевым в решении данной задачи являлась разработка алгоритма построения вычислительных сеток, вследствие сложной геометрии расчетной области с переменными по маршевой координате границами и обеспечения требования их автоматического построения в процессе расчета. Использование модификации параболического генератора, предложенной в работе [2], позволило успешно провести численное моделирование процесса разделения ступеней РКС различных типов.

При этом предварительно была проведена верификация разработанной методики путем сравнения с данными весового, дренажного и оптического экспериментов на примере расчета интерференции цилиндро - конических тел при различном их расположении друг относительно друга. Проведены расчеты интерференции типичных многоблочных компоновок в процессе отделения их боковых блоков, а также отходов многоэтажного космического корабля (МКС) «Буран» и перспективного крылатого МКС от их первых ступеней. Приводятся примеры использовавшихся вычислительных сеток и картины распределения давления на поверхностях элементов РКС.

## Литература

1. А.В.Родионов, "Численный метод решения уравнений Эйлера, с сохранением аппроксимации на деформируемой сетке", ЖВМ и МФ, т.36, №3, сс.117-129, 1996.
2. В.А.Михалин, "Модификация параболического генератора сеток", /Вопросы атомной науки и техники, сер. Матем. моделирование физич. процессов, 1995, №1-2, сс.91-94.