

Численное моделирование пространственного течения в проточном тракте двухрежимного ГПВРД на основе метода расщепления на тетраэдральных сетках

А.Л. Железнякова

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН

Принципиальная схема гиперзвукового прямого воздушно-реактивного двигателя (ГПВРД) весьма проста – это газодинамический тракт переменного сечения, в передней части которого набегающий воздух тормозится, что обеспечивает повышение давления; в камере сгорания в сжатый торможением поток впрыскивается водородное или углеводородное топливо, при этом обеспечивается эффективное воспламенение и горение топливной смеси; после чего продукты сгорания выбрасываются через сопло, создавая тягу. Несмотря на это, реализовать концепцию ГПВРД очень сложно. В двигательной установке стандартной конструкции торможение потока воздуха во входном устройстве ГПВРД происходит лишь частично, так что на протяжении всего остального тракта движение рабочего тела остается сверхзвуковым. Организация горения топлива в сверхзвуковом потоке составляет одну из главных проблем создания ГПВРД, т.к. смешение и воспламенение в сверхзвуковой камере сгорания должны происходить очень быстро. Кроме этого трудно поддерживать горение в ядре потока, где скорость очень высока (относительно низкие статические температуры и давления приводят к снижению скорости реакции горения).

Альтернативная конструкция камеры сгорания подразумевает наличие полости, в которой образуется зона рециркуляции, и обеспечиваются условия устойчивого горения, и механической дроссельной заслонки, расположенной ниже по потоку [1]. Механическая заслонка используется для создания контролируемого противодавления. При определенной степени перекрытия канала скорость течения в ядре потока над зоной рециркуляции становится дозвуковой, что приводит к возрастанию статической температуры и созданию более благоприятных условий для воспламенения и устойчивого горения (рис. 1).

В настоящей работе с помощью программного комплекса, разработанного в ИПМех РАН, проводится численное моделирование пространственного течения и теплофизических процессов в камере сгорания двухрежимного ГПВРД. Вычислительный комплекс включает генератор неструктурированных поверхностных и объемных расчетных сеток и серию компьютерных кодов, реализующих интегрирование полной системы уравнений Эйлера или Навье–Стокса с использованием метода расщепления по физическим процессам на неструктурированной сетке. Расчеты проводились для

различных положений дроссельной заслонки, с целью создания наиболее оптимальных тепловых и аэродинамических условий для воспламенения топливной смеси. Вычисления выполнялись в рамках модели совершенного газа, без учета процессов горения в двигательной установке. Изучалось влияние степени перекрытия сечения канала на структуру течения. Получены и исследованы различные стационарные и нестационарные режимы течения. Для каждого из рассмотренных режимов определены значения основных параметров потока в канале ГПВРД, получены тепловые характеристики стенок камеры сгорания и распределения давлений в проточном тракте.

Проведено исследование влияния впрыска холодного газа со стенок полости на пространственную картину течения в камере сгорания при различных положениях дроссельной заслонки и условиях впрыска. Изучены возможности разработанной трехмерной аэротермодинамической модели двухрежимного ГПВРД при описании результатов лабораторных испытаний [1] для серии “холодных” пусков (без горения). Отмечается удовлетворительное соответствие расчетных и экспериментальных данных.

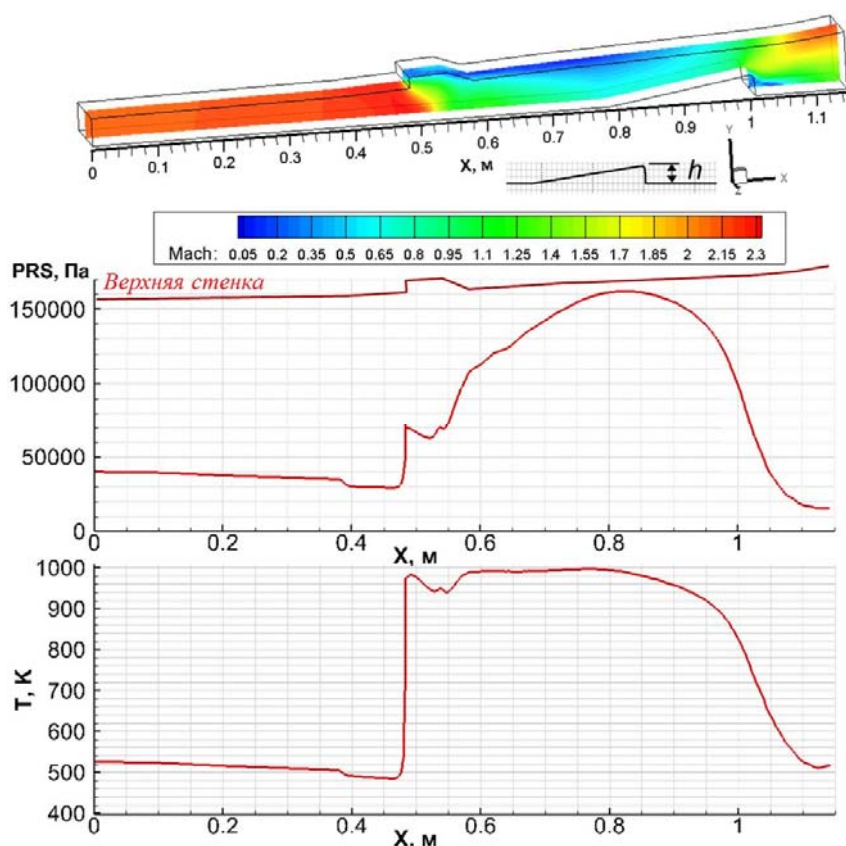


Рис. 1. Поле чисел Маха, распределения температуры и давления по длине верхней стенки в центральном осевом сечении (h – высота дроссельной заслонки)

Литература

1. *Donohue J.M.* Dual-Mode Scramjet Flameholding Operability Measurements // AIAA paper 2013-0698. – 2013. – 26 p.