

УДК 533.6

Численное моделирование взаимодействия двух параллельных струй со встречным набегающим потоком

Кондрашев Даниил Олегович

kondrashev@bmstu.ru

SPIN-код: 2460-0699

Луценко Александр Юрьевич

lutsenko@bmstu.ru

SPIN-код: 7660-5072

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В работе представлены результаты численного моделирования взаимодействия двух параллельных сверхзвуковых струй с встречным потоком. Исследовано влияние расстояния между струями на структуру течения, включая формирование скачков уплотнения и зон смешения. Выявлено изменение структуры обтекания и получено распределение коэффициента давления в области взаимодействия струй с набегающим потоком. Показано, что при уменьшении относительного расстояния между соплами наблюдается интенсивное взаимодействие струй с образованием единого головного скачка. Валидация результатов проведена на основе экспериментальных данных, что подтверждает корректность примененной математической модели.

Ключевые слова: сверхзвуковые струи, численное моделирование, взаимодействие струй, встречный поток, скачки уплотнения, FlowVision

Введение. Исследование взаимодействия струй со встречным до- и сверхзвуковыми потоками актуально для задач спуска в атмосферах планет и мягкой посадки возвращаемых аппаратов [1], а также спасения ступеней ракет-носителей в случае использования на них многосопловых двигательных установок. В работе рассматривается влияние газодинамических параметров струй (числа Маха, нерасчетности) на их взаимодействие друг с другом и внешним до- и сверхзвуковым потоком. Целью является анализ волновой картины и распределения давления при различных конфигурациях.

Методы и материалы; результаты. Численное моделирование выполнено в ПО FlowVision с использованием SST-модели турбулентности. В начале было проведено моделирование истечения одиночной струи в затопленное пространство при различных коэффициентах нерасчетности, а также проведена валидация с экспериментальными данными [2]. Далее было исследовано взаимодействие струи, истекающей из сопла двигателя, с набегающим внешним до- и сверхзвуковым потоком, была проведена валидация результатов с данными эксперимента [3].

Рассмотрены случаи с различными расстояниями между осями сопел. При минимальном расстоянии (рис. 1) наблюдается интенсивное взаимодействие струй с формированием единого головного скачка и диска Маха в зоне пересечения волн. Для максимального расстояния (рис. 2) струи развиваются практически независимо, сохраняя слабое взаимное влияние в дальней зоне.

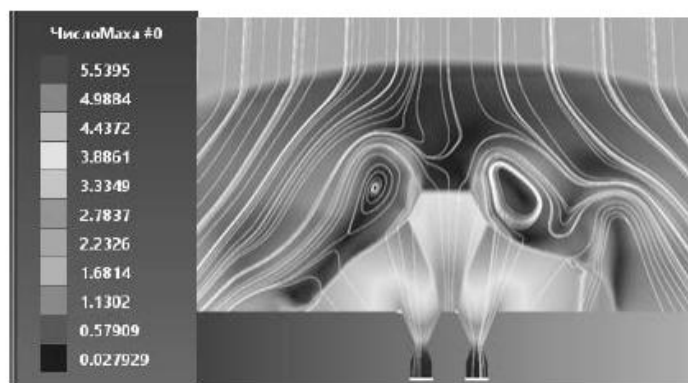


Рис. 1. Распределение числа Маха и линии тока при $M_\infty = 2$

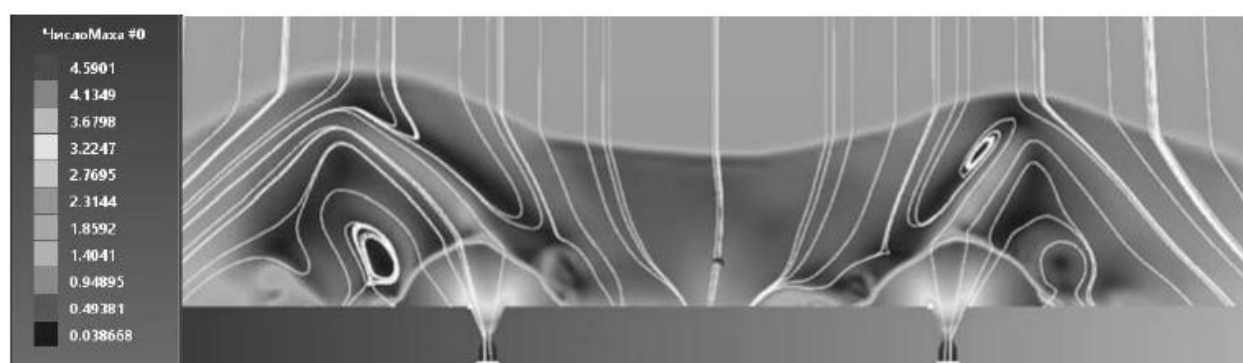


Рис. 2. Распределение числа Маха и линии тока при $M_\infty = 2$

Проведено сравнение распределения коэффициента давления с экспериментальными данными [3]. Показано, что при уменьшении расстояния между соплами давление в зоне между соплами снижается, а волновая структура становится более сложной. Относительная погрешность моделирования не превышает 10 %, что подтверждает адекватность примененных методов. Графики распределения коэффициента давления демонстрируют хорошее соответствие с экспериментами.

Заключение. Результаты работы демонстрируют значительное влияние расстояния между струями на их взаимодействие с встречным потоком, что важно при проектировании возвращаемых ракетных систем.

Список источников

- [1] Калугин В.Т. *Аэрогазодинамика органов управления полетом летательных аппаратов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004, 688 с.
- [2] Шелухин Н.Н. Исследование характеристик сверхзвуковой недорасширенной струи. *Ученые записки ЦАГИ*, 1995, № 1–2, с. 78–87.
- [3] Свирщевский С.Б., Семенчиков Н.М., Тахов А.В., Яковлевский В.И. Взаимодействие сверхзвуковых недорасширенных струй с встречным сверхзвуковым потоком. *Математическое моделирование*, 2001, т. 13, № 7, с. 3–10.