

Канальные течения вязкой жидкости с ударными волнами

С.А. Гареева

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Необходимость изучения взаимодействующих скачков уплотнения возникает при проектировании современных воздухозаборников внутреннего сжатия, рассчитанных на большие числа Маха, прямооточных воздушно-реактивных двигателей с дозвуковым и сверхзвуковым горением, в несимметричных сверхзвуковых соплах и в ряде других случаев.

Создание аппаратов с прямооточными двигателями предъявляет дополнительные требования к потерям полного давления, возникающим при взаимодействии ударных волн с потоком. Эти потери могут достигать 30% при $M=2$ в случае прямого скачка уплотнения, в то время как в случае системы косых скачков эти потери не превосходят 5%. С увеличением числа Маха потери полного давления растут.

Для уменьшения потерь полного давления торможение сверхзвукового потока можно осуществлять в системе косых скачков уплотнения. Этот способ применяется в диффузорах сверхзвуковых самолётов. Профилированная игла в диффузоре обеспечивает возникновение нескольких косых скачков, которые завершаются слабым прямым скачком уже на входе в двигатель.

На практике используются двух-, трех- и даже четырехскачковые системы. Второй и последующие косые скачки могут создаваться генератором с ломаной образующей или в результате отражения волн возмущения от внутренних стенок диффузора.

Общей чертой скачков уплотнения является многоступенчатость процесса торможения потока, что обеспечивают максимальное использование динамического сжатия, минимальные потери и равномерное распределение скорости.

Возникновения неприсоединенного прямого головного скачка – основной причины неудовлетворительной работы воздухозаборника и воздушного канала в целом.

Цель состоит в валидации теоретических расчетов по ударно-волновому взаимодействию в конфигурации "острый клин - острый клин" экспериментом при разных числах Маха и разных углах полураствора клина. Было проведено моделирование динамики поведения системы и идентификация ее параметров.

Визуализация течения производилась теневой видеосъемкой.

Для описания вязкого течения с ударными волнами использовались уравнения Навье-Стокса для сжимаемого потока.

При аналитическом рассмотрении явления прохождения газа сквозь косой скачок уплотнения по известным соотношениям можно находились плотность и давление за скачком по входным параметрам.

На основе стационарных двухмерных уравнений Навье-Стокса исследовано обтекание модели конфигурации "острый клин – острый клин" и модели конфигурации "острый клин – затупленный клин" однородным потоком вязкого совершенного газа при сверхзвуковых скоростях, когда движение происходит при больших числах Рейнольдса.

Проведенная валидация и верификация использованного метода численного моделирования показали, что он дает вполне надежные результаты, которые достаточно хорошо согласуются с известными экспериментальными и расчетными данными и, в целом, правильно отражают особенности структур поля течения рассматриваемых тел.

Литература

1. Лунёв В.В., Течение реальных газов с большими скоростями. 2007. С. 760.
2. Лойцянский Л.Г., Механика жидкости и газа. 2003. С. 846.