

УДК 533.6.011

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВЫХ ИМПУЛЬСОВ В ВЯЗКОМ ГАЗЕ

© В. В. Шайдуров, Г. И. Щепановская *

* gi@icm.krasn.ru

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

В последние годы значительный интерес проявляется к исследованию влияния неравномерностей распределения газодинамических параметров в потоке на сопротивление тел при их движении со сверх- и гиперзвуковыми скоростями. Этот интерес связан с тем, что иногда с помощью относительно небольших затрат энергии или вещества можно изменять структуру течения. В экспериментальных и теоретических исследованиях показана глобальная перестройка газодинамического течения под действием возмущения плотности, локализованного в тонком канале. Снижение плотности в канале лишь на 10–15% по сравнению с плотностью окружающей среды приводило к уменьшению давления на торце препятствия. В работе [1], где рассматривалась нагретая область, созданная с помощью теплового импульса, расположенного на некотором расстоянии от обтекаемого тела. В зависимости от расположения теплоподвода вблизи обтекаемого тела можно снижать волновое сопротивление, создавать тягу [2, 3].

В настоящее время особое внимание уделяется решению задачи активного управления обтеканием тела посредством энергетического и силового воздействия на набегающий поток, в частности, посредством локального воздействия на сверхзвуковые течения перед телом. Для технической реализации предлагается использование лазерного и СВЧ-излучения, электрического разряда. Уменьшение аэродинамического сопротивления связывается также с уменьшением плотности газа в набегающем потоке, что подтверждается расчетами и непосредственными измерениями [2, 3]. Экспериментально найдено, что при использовании мощного импульсного оптического разряда перед телом (конусом, сферой), обтекаемым сверхзвуковым потоком, его аэродинамическое сопротивление уменьшается до двух раз при определенной частоте импульсов лазерного излучения. Дополнительные эффекты возможны из-за изменения режима обтекания вследствие уменьшения числа Маха, изменения числа Рейнольдса, ионизации потока.

В перечисленных работах рассматриваются нестационарные явления, возникающие в объеме газа при мгновенном локальном подводе энергии, как правило, на основе решения уравнений Эйлера. Для численного расчета двумерных нестационарных течений разрабатывается развитие метода Годунова, основанное на TVD и ENO схемах. Показано значительное влияние воздействий, связанных с нелинейной природой явлений. Отмечается, что невязкий механизм перестройки сверхзвукового течения отличает “бесконечная” длина разреженного канала [3].

Настоящая работа посвящена вычислительному моделированию нестационарного распространения сильных неоднородностей в вязком теплопроводном газе. В этом случае рассматривается полная система уравнений Навье-Стокса вязкого теплопроводного сжимаемого газа. Для получения вариационно-разностных уравнений был построен алгоритм на основе метода конечных элементов. Изучается характер эволюции тепловых пятен в набегающем потоке.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект т 05-07-90201), программы т 16 Президиума РАН (проект т 9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бергельсон Т. А., Медведюк С. А., Немчинов И. В. и др. Аэродинамические характеристики обтекаемого тела при различной локализации "тепловой иглы" // Математическое моделирование. 1996. Т. 8, т 1. С. 3–9.
2. Борзов В. Ю., Михайлов В. М., Рыбка И. В., Савищенко Н. П., Юрьев А. С. Экспериментальное исследование сверхзвукового обтекания препятствия при энергоподводе в невозмущенный поток // Инженерно-физический журнал. 1994. Т. 66, т 5. С. 515–520.
3. Кортаева Т. А., Фомин В. М., Шашкин А. П. Пространственное сверхзвуковое обтекание заостренного тела при подводе энергии перед ним // ПМТФ. 1998. Т. 39, т 5. С. 116–121.
4. Щепановский В. А., Щепановская Г. И. Вычислительное моделирование воздушно-космических систем. Т. 1. Модели, методы, технологии. Новосибирск: Сибирская издательская фирма "Наука" РАН. 2000. 232 с.
5. Малышев В. А., Шайдулов В. В., Щепановская Г. И. Математическое и численное моделирование на многопроцессорной вычислительной системе сверхзвукового взаимодействия тепловых импульсов // Вестник КрасГУ. 2006. т 4. С. 109–116.
6. Ушакова О. А., Шайдулов В. В., Щепановская Г. И. Метод конечных элементов для уравнений Навье-Стокса в сферической системе координат // Вестник КрасГУ. 2006. т 4. С. 151–156.