

Обтекание пластины на режиме сильного взаимодействия при наличии массообменаА.А. Балашов¹, Г.Н. Дудин^{1,2}¹Московский физико-технический институт (государственный университет)²Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского

Исследование вдува газа по нормали к поверхности тела в сверхзвуковой поток показало, что для течений этого типа важную роль играет распространение возмущений вверх по потоку, и при решении необходимо учитывать краевое условие на заднем конце тела [1]. В отсутствии вдува происходит локализация распространения возмущений и реализуется сверхзвуковые течения со «свободным взаимодействием» [2,3].

При гиперзвуковом внешнем обтекании характер течения в пограничном слое существенно изменяется, так как плотность газа в нем уменьшается, а толщина вытеснения значительно возрастает. Для случая режима сильного взаимодействия было получено автомодельное («трехчетвертное») решение в [4,5]. В работе [6] с использованием приближенной формулы «касательного клина» впервые было показано, что на режиме сильного взаимодействия задача в окрестности передней кромки имеет однопараметрическое семейство решений, зависящих от некоторого собственного числа. В этом случае возмущения могут распространяться вверх по потоку на всю длину тела. В работе [7], вместо приближенной формулы «касательного клина», невязкая область течения рассмотрена на основе гиперзвуковой теории малых возмущений.

В настоящей работе используется последний подход. Возмущенное течение разбивается на две области: 1) невязкую область между скачком уплотнения и внешней границей пограничного слоя и 2) пограничный слой. В невязкой области используются стационарные уравнения Эйлера. Для описания параметров потока за косым скачком уплотнения используются соотношения Рэнкина-Гюгонио и краевое условие на внешней границе пограничного слоя. В пристеночной области используется система уравнений пограничного слоя с числом Прандтля равным единице. Уравнение поверхности скачка уплотнения ищется в виде, зависящем от возмущения n -ого порядка по x : $Y_s = Ax^{3/4}(1 + \alpha_n x^n)$, где A и α_n – некоторые константы, которые находятся из граничных условий, n – собственное число.

Полученная система путём преобразования координат и пренебрежения малыми членами приводится к нелинейным дифференциальным уравнениям. Для замыкания системы используется условие сращивания нормальной компоненты скорости на границе двух областей. В работе описываются методы решения систем уравнений для вязкой и

невязкой областей течения. Для нахождения давления и температуры в невязкой области используются методы прогонки и Рунге – Кутта 4 порядка точности.

В данной постановке задачи исследован режим вдува/отсоса газа через поверхность пластины. Найдена автомодельная скорость вдува/отсоса газа вдоль пластинки: $V_w = kx^{-1/4}$. Исследования проведены для значений показателя адиабаты от 1,1 до 1,6. Получены профили функций давления и температуры, а также изучена зависимость собственного числа от показателя адиабаты и скорости вдува/отсоса газа через поверхность. Построены профили продольной скорости газа в пограничном слое при различных режимах вдува/отсоса газа, а также при различных значениях донного давления.

Обнаружено, что при числах $k > 0,1$ вдуваемый газ изолирует пластинку от теплового потока, что является важным фактором при рассмотрении теплозащиты гиперзвуковых спускаемых аппаратов. Найдены предельные значения донного давления, при которых проявляется явление отсоединения пограничного слоя. Основные результаты работы изложены в [8].

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (№13-01-00202 и №15-01-03615).

Литература.

1. *Матвеева Н.С., Нейланд В.Я.* Сильный вдув на теле конечной длины в сверхзвуковом потоке газа // Ученые записки ЦАГИ. – 1970. – Т. 1, – № 5. – С. 13-22.
2. *Нейланд В.Я.* К теории отрыва ламинарного пограничного слоя в сверхзвуковом потоке // Изв. АН СССР. МЖГ. – 1969. – № 4. – С. 53-57.
3. *Stewartson K., Williams P.G.* Self-induced separation // Proc. Roy. Soc. A. – 1969. V. 312, – N. 1509. – P. 181-206.
4. *Lees L.* On the boundary-layer equations and their approximate solutions // JAS. – 1953. – N. 20. – P. 143-145.
5. *Stewartson K.* On the motion of a flat plate at high speed in a viscous compressible fluid. II Steady motion // JAS. – 1955. – N. 22. – P. 303.
6. *Нейланд В.Я.* Распространение возмущений вверх по течению при взаимодействии гиперзвукового потока с пограничным слоем // Изв. АН СССР. МЖГ. – 1970. – № 4. – С. 40-49.
7. *Brown S.N., Stewartson K.* A non-uniqueness of the hypersonic boundary layer // Q J Mechanics Appl Math. – 1975. – V. 28, I. 1. – P. 75-90.
8. *Балашов А.А., Дудин Г.Н.* Обтекание пластины на режиме сильного взаимодействия при наличии массообмена // Труды МФТИ. – 2015. – Т. 7, № 1. – С. 16-27.