

УДК 533.6.011.72

ГАЗОДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УДАРНЫХ ВОЛН С ОБЛАСТЯМИ ГАЗА ПОНИЖЕННОЙ И ПОВЫШЕННОЙ ПЛОТНОСТИ

© 2011 г.

О.Г. Сутырин

НИИ механики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

sutyurin@imec.msu.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Проведено численное исследование газодинамики взаимодействия плоского скачка уплотнения с областями газа пониженной или повышенной плотности. Рассмотрены различные геометрические конфигурации областей – четверть плоскости, узкий прямоугольный слой, клин, а также эллипсоид вращения. Выявлены новые качественные характеристики взаимодействия. Выделены два класса течений – регулярные и нерегулярные. Определена зависимость качественных характеристик течения от определяющих параметров задачи.

Ключевые слова: распространение скачка уплотнения, неоднородность, идеальный газ, кумуляция.

Исследования задач о взаимодействии скачка уплотнения с областями газа пониженной или повышенной плотности проводились в связи с приложениями в горении и детонации, управлении сверхзвуковым обтеканием тел, изучением процессов в сверхзвуковых воздухоборниках. Широкий круг задач такого рода исследован в [1–3], но технические возможности тех лет не позволили выявить некоторые качественные характеристики течения и подробно исследовать такие газодинамические эффекты, как кумуляция скачков уплотнения на оси симметрии при преломлении ударной волны на «газовом эллипсоиде». В настоящей работе проведено численное исследование преломления ударных волн на областях различных геометрических конфигураций, заполненных газом пониженной и повышенной плотности.

Автомодельное течение, развивающееся при преломлении ударной волны на четверти пространства, имеет различный характер в зависимости от определяющих параметров задачи. Если отношение плотности внутри неоднородности к плотности окружающего газа близко к единице ($0.8 < \rho_T/\rho_0 < 1.3$), реализуется регулярное течение, характеризующееся сопряжением преломленных скачков уплотнения и тангенциальных разрывов в единственной точке. При достаточно малом отношении плотностей реализуется нерегулярное преломление: формируется сложная ударно-волновая структура, включающая косые скачки уплотнения, преломленные тангенциальные разрывы, высо-

конапорную струю и слоистый вихрь (рис. 1). Внутренняя структура струи представляет собой нестационарный аналог центрированных волн Прандтля–Майера, замыкающихся на изломах контактного разрыва.

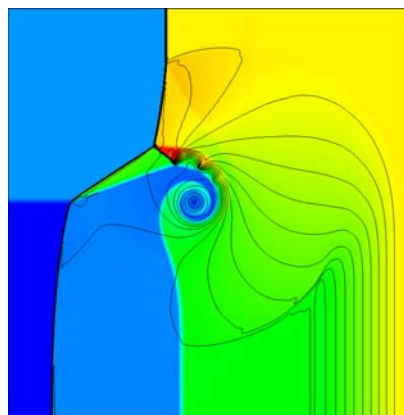


Рис. 1

Задача о преломлении ударной волны на «газовом клине» также имеет автомодельный характер. В зависимости от угла раствора клина и отношения плотностей газа реализуется несколько качественно отличных режимов преломления – регулярных и нерегулярных. На рис. 2 приведен развитый нерегулярный режим преломления волны на «легком газовом клине», имеющий место при достаточно малых углах раствора. Высоконапорная струя, формирующаяся при таком режиме преломления, имеет аналогичную предыдущей задаче волновую структуру.

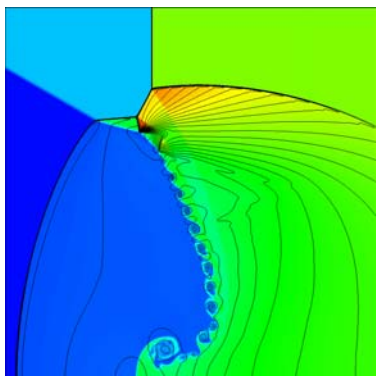


Рис. 2

Задача о преломлении ударной волны на газовом пузыре повышенной или пониженной плотности активно исследуются, но основное внимание уделяется формированию и развитию вихревых структур [4, 5].

В настоящей работе исследован процесс кумуляции скачков уплотнения на оси симметрии, имеющий место как для легкого (рис. 3), так и для тяжелого (рис. 4) газа внутри пузыря – «газового эллипсоида».

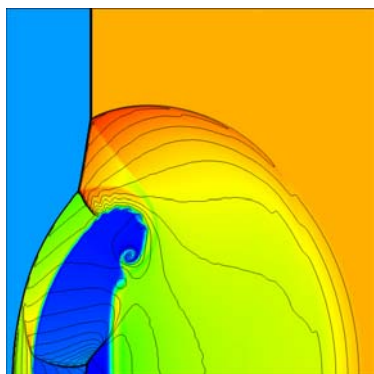


Рис. 3

В зависимости от длин полуосей эллипсоида кумуляция скачков имеет качественно различный характер и может происходить как внут-

ри, так и снаружи пузыря. Наиболее интенсивная кумуляция в легком пузыре имеет место при равенстве длин полуосей, а для тяжелого пузыря – при удлинении эллипсоида вдоль оси симметрии на 30–35%.

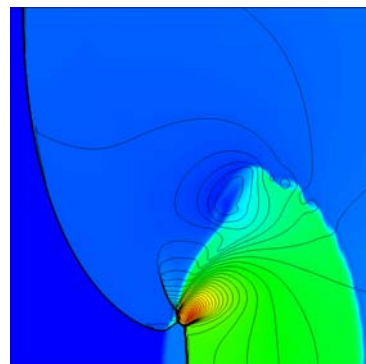


Рис.4

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 08-01-00033) и Министерства образования и науки РФ (грант НШ-8424.2010.1).

Список литературы

1. Артемьев В.И. и др. Развитие предвестника при взаимодействии ударной волны со слоем пониженной плотности // Изв. РАН. МЖГ. 1988. №2. С. 158–163.
2. Войнович П.А., Жмакин А.И., Фурсенко А.А. Моделирование взаимодействия ударных волн в газах с пространственными неоднородностями параметров // Ж. техн. физики. 1988. Т. 58, №7. С. 1259–1267.
3. Picone J.M., Boris J.P. Vorticity generation by shock propagation through bubbles in a gas // J. Fluid Mech. 1988. Vol. 189. P. 23–51.
4. Андрущенко В. А., Чудов Л.А. Взаимодействие плоской ударной волны со сферическим объемом горячего газа // Изв. АН СССР. МЖГ. 1988. №1. С. 96–100.
5. Niederhaus J.H.J. et al. Computational parameter study for the three-dimensional shock-bubble interaction // J. Fluid Mech. 2008. Vol. 594. P. 85–124.

GAS-DYNAMIC EFFECTS OF THE INTERACTION OF A SHOCK WITH DENSITY INHOMOGENEITIES

O.G. Sutyurin

Interaction of a plane shock with density inhomogeneities in an ideal gas is numerically investigated. Different geometric configurations – quarter-plane, thin layer, wedge and ellipsoid – are concerned. New qualitative flow features are found. Two flow regimes – regular and irregular - are revealed. The effect of the determining parameters on quantitative features of the flow is determined.

Keywords: shock propagation, gas inhomogeneity, ideal gas, cumulation.