

Численное моделирование МГД управления сверхзвуковым обтеканием тел**Ряховский Алексей Игоревич***Аспирант*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург,
Россия*E-mail: alexey.i.ryakhovskiy@gmail.com*

Разработка систем немеханического воздействия на сверхзвуковое обтекание относится к наиболее актуальным задачам аэрокосмической отрасли. Одним из наиболее перспективных концепций решения данной задачи является магнитногидродинамическое (МГД) управление. Принцип такой системы состоит в воздействии на набегающий поток ионизированного газа внешним магнитным полем. Изменение ударно-волновой конфигурации позволяет минимизировать термодинамические нагрузки и связанные с ними износ и риск повреждения для спускаемых в атмосферу аппаратов [3]. На сегодняшний день взаимодействие ударных волн в потоке ионизированного газа с внешним магнитным полем недостаточно изучено. Ввиду дороговизны натуральных экспериментов с подобными явлениями основным инструментом их исследования является математическое моделирование. В случае постоянного магнитного поля рассматриваемое явление описывается системой уравнений газовой динамики, в которой уравнения движения и энергии дополнены соответствующими (МГД) слагаемыми.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \vec{v} = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot [\rho \vec{v} \vec{v} + (p + \frac{1}{2} B^2) I_{3 \times 3} - \vec{B} \vec{B}] = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\frac{1}{2} \rho v^2 + 1/2 \rho e) + \nabla \cdot [(\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho e + p + B^2) \vec{v} - \vec{v} \cdot \vec{B} \vec{B}] = 0.$$

Нами были рассмотрены два подхода к численному решению подобных задач. В первом случае были использованы центрально-разностные схемы для уравнений МГД, предложенные Балбасом и Тадмором [1]. Во втором случае была реализована МГД модификация метода Роу, использующего разностную схему годуновского типа [2]. Разработка соответствующих солверов была выполнена в интегрированной среде численного моделирования. Были получены результаты численные решения задачи сверхзвукового обтекания тел различной формы в присутствии и отсутствии внешнего магнитного поля при различных числах Маха. Сравнивалась эффективность различных подходов к численному решению поставленной задачи и устойчивость разработанных солверов в зависимости от интенсивности МГД взаимодействия, оцениваемой числом Стюарта [4]. Рассчитанные распределения газодинамических параметров были сверены с теоретическими оценками и имеющимися экспериментальными данными. Оценка изменения таких характерных величин, как толщина ударного слоя и тепловой поток через поверхность объекта, при добавлении внешнего магнитного поля позволяет сделать вывод о потенциальной эффективности МГД управления при условии достаточной проводимости газа, окружающего обтекаемое тело. Другим важным выводом исследования является демонстрация применимости использованных численных методов к моделированию схожих с рассматриваемым явлений. К направлениям дальнейшего исследования можно отнести совершенствование математической модели, улучшение устойчивости разработанных решателей и исследование дополнительных возможностей применения МГД управления.

Источники и литература

- 1) Balbás J., Tadmor E., Wu C. C. Non-oscillatory central schemes for one-and two-dimensional MHD equations: I //Journal of Computational Physics. – 2004. – Т. 201. – №. 1. – С. 261-285.
- 2) Janhunen P. A positive conservative method for magnetohydrodynamics based on HLL and Roe methods //Journal of Computational Physics. – 2000. – Т. 160. – №. 2. – С. 649-661.
- 3) Kantrowitz A. R. A survey of physical phenomena occurring in flight at extreme speeds //Proceedings of the Conference on High-Speed Aeronautics. – New York : Polytechnic Inst. of Brooklyn, 1955. – С. 335-339.
- 4) Mitchner M., Kruger C. H. Partially ionized gases. – New York : Wiley, 1973. – Т. 8.