

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ С ПОДВИЖНЫМ ЦИЛИНДРОМ

Д. А. Сидоренко¹, П. С. Уткин²

Аннотация: Рассмотрена задача о взаимодействии плоской ударной волны (УВ) с цилиндрами различной массы, которые могут двигаться поступательно под действием сил давления. Математическая модель основана на двумерной системе уравнений Эйлера. Вычислительный алгоритм основан на методе декартовых сеток для расчета течений в областях с изменяющейся геометрией. Алгоритм и его программная реализация протестированы на задаче о подъеме цилиндра за проходящей УВ. Построены кривые изменения скорости цилиндра, даны пояснения по качественному виду кривых при различных массах цилиндра. Для одной массы проведен анализ динамики движения цилиндра с точки зрения нестационарных ударно-волновых картин, реализующихся при взаимодействии УВ с цилиндром.

Ключевые слова: ударная волна; подвижный цилиндр; численное моделирование; метод декартовых сеток; уравнения Эйлера

DOI: 10.30826/CE18110310

Литература

1. Boiko V. M., Kiselev V. P., Kiselev S. P., Papyrin A. N., Poplavsky S. V., Fomin V. M. Shock wave interaction with a cloud of particles // *Shock Waves*, 1997. Vol. 7. P. 275–285. doi: 10.1007/s001930050082.
2. Сидоренко Д. А., Уткин П. С. Комплексный подход к проблеме численного исследования взаимодействия ударной волны с плотным облаком частиц // *Горение и взрыв*, 2017. Т. 10. Вып. 2. С. 47–51.
3. Бедарев И. А., Федоров А. В. Прямое моделирование релаксации нескольких частиц за проходящими ударными волнами // *Инженерно-физический ж.*, 2017. Т. 90. № 2. С. 450–457.
4. Drikakis D., Ofengeim D., Timofeev E., Voionovich P. Computation of non-stationary shock wave/cylinder interaction using adaptive-grid methods // *J. Fluid. Struct.*, 1997. Vol. 11. No. 6. P. 665–692. doi: 10.1006/jfls.1997.0101.
5. Luo K., Luo Y., Jin T., and Fan J. Studies on shock interactions with moving cylinders using immersed boundary method // *Phys. Rev. Fluids*, 2017. Vol. 2. P. 064302. doi: 10.1103/PhysRevFluids.2.064302.
6. Sakamura Y., Oshima M., Nakayama K., Motoyama K. Shock-induced motion of a spherical particle floating in air // 31st Symposium (International) on Shock Waves Proceedings. — Nagoya, Japan, 2017. Paper 249.
7. Колган В. П. Применение принципа минимальных значений производной к построению конечноразностных схем для расчета разрывных решений газовой динамики // *Ученые записки ЦАГИ*, 1972. Т. 3. № 6. С. 68–77.
8. Chertock A., Kurganov A. A simple Eulerian finite-volume method for compressible fluids in domains with moving boundaries // *Commun. Math. Sci.*, 2008. Vol. 6. No. 3. P. 531–556. doi: 10.4310/CMS.2008.v6.n3.a1.
9. Sambasivan S. K., UdayKumar H. S. Ghost fluid method for strong shock interactions. Part 2: Immersed solid boundaries // *AIAA J.*, 2009. Vol. 47. No. 12. P. 2923–2937. doi: 10.2514/1.43153.
10. Arienti M., Hung P., Morano E., Shepherd J. E. A level set approach to Eulerian–Lagrangian coupling // *J. Computational Phys.*, 2003. Vol. 185. No. 1. P. 213–251. doi: 10.1016/S0021-9991(02)00055-4.
11. Tan S., Shu C.-W. A high order moving boundary treatment for compressible inviscid flows // *J. Comput. Phys.*, 2011. Vol. 230. No. 15. P. 6023–6036. doi: 10.1016/j.jcp.2011.04.011.
12. Forrer H., Berger M. Flow simulations on Cartesian grids involving complex moving geometries // 7th Conference (International) “Hyperbolic Problems: Theory, Numerics, Applications” Proceedings. — Zurich, 1999. Vol. 1. P. 315–324.
13. Shyue K. M. A moving-boundary tracking algorithm for inviscid compressible flow // 11th Conference (International) “Hyperbolic Problems: Theory, Numerics, Applications” Proceedings. — Lyon, 2008. P. 989–996.
14. Henshaw W. D., Schwendeman D. W. Moving overlapping grids with adaptive mesh refinement for high-speed reactive and non-reactive flow // *J. Comput. Phys.*, 2006. Vol. 216. No. 2. P. 744–779. doi: 10.1016/j.jcp.2006.01.005.

¹Институт автоматизации проектирования Российской академии наук, sidr1234@mail.ru

²Институт автоматизации проектирования Российской академии наук; Московский физико-технический институт, pavelLutk@mail.ru

15. *Muralidharan B., Menon S.* Simulations of unsteady shocks and detonation interactions with structures. AIAA Paper No. 2013-3655, 2013. doi: 10.2514/6.2013-3655.
16. *Федоров А. В., Шульгин А. В., Поплавский С. В.* О движении частицы за фронтом ударной волны // Физика горения и взрыва, 2010. Т. 46. № 2. С. 101–110.

Поступила в редакцию 25.01.18