

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ С ПЛОТНЫМ ОБЛАКОМ ЧАСТИЦ*

Д. А. Сидоренко¹, П. С. Уткин²

Аннотация: Задача о взаимодействии плоской ударной волны (УВ) с облаком частиц рассмотрена с использованием двух подходов. В первом подходе проводится двумерное газодинамическое моделирование взаимодействия УВ с числом Маха 1.67 с системой цилиндров. Используется оригинальный авторский вычислительный алгоритм метода декартовых сеток. Система цилиндров моделирует плотное облако частиц с объемной долей 0,15. В результате взаимодействия формируются коллективная отраженная и прошедшая УВ. Во втором подходе решается одномерная система уравнений для описания плотных течений двухфазных сред. Результаты одномерного моделирования сопоставлены со средним по сечению распределением давления из двумерного расчета. Получено качественное совпадение, обсуждаются особенности наблюдаемого процесса. Сформулирована идея комплексного подхода к изучению взаимодействия УВ с плотным облаком частиц, основывающаяся на получении коэффициента сопротивления засыпки частиц по результатам многомерного моделирования и сопоставлении данных результатов с расчетами в рамках механики двухфазных сред.

Ключевые слова: ударная волна; облако частиц; математическое моделирование; метод декартовых сеток; двухжидкостная модель

Литература

1. *Boiko V. M., Kiselev V. P., Kiselev S. P., Papyrin A. N., Poplavsky S. V., V. M. Fomin.* Shock wave interaction with a cloud of particles // *Shock Waves*, 1997. Vol. 7. P. 275–285. doi: 10.1007/s001930050082.
2. *Regele J. D., Rabinovitch J., Colonius T., Blanquart G.* Unsteady effects in dense, high speed, particle laden flows // *Int. J. Multiphas. Flow*, 2014. Vol. 61. P. 1–13. doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2013.12.007.
3. *Houim, R. W., Oran E. S.* A multiphase model for compressible granular-gaseous flows: Formulation and initial tests // *J. Fluid Mech.*, 2016. Vol. 789. P. 166–220. doi: 10.1017/jfm.2015.728.
4. *Бедарев И. А., Федоров А. В., Фомин В. М.* Численный анализ течения около системы тел за проходящей ударной волной // *Физика горения и взрыва*, 2012. Т. 48. № 4. С. 83–92.
5. *Бедарев И. А., Федоров А. В.* Расчет волновой интерференции и релаксации частиц при прохождении ударной волны // *Прикладная механика и техническая физика*, 2015. Т. 56. № 5. С. 18–29. doi: 10.15372/PMTF20150502.
6. *Сидоренко Д. А., Уткин П. С.* Метод декартовых сеток для численного моделирования распространения ударных волн в областях сложной формы // *Вычислительные методы и программирование*, 2016. Т. 17. № 4. С. 353–364.
7. *Berger M., Helzel C.* A simplified h-box method for embedded boundary grids // *SIAM J. Sci. Comput.*, 2012. Vol. 34. No. 2. P. A861–A888. doi: 10.1137/110829398.
8. *Уткин П. С.* 2017. Некоторые вычислительные аспекты моделирования взаимодействия ударной волны с облаком частиц в рамках двухжидкостной модели // *Горение и взрыв*, 2017 (в печати).
9. *Saurel R., Abgrall R.* A multiphase Godunov method for compressible multifluid and multiphase flows // *J. Comput. Phys.*, 1999. Vol. 150. P. 425–467. doi: 10.1006/jcph.1999.6187.
10. *Tanino Y., Nopf H. M.* Laboratory investigation of mean drag in a random array of rigid, emergent cylinders // *J. Hydraul. Eng.*, 2008. Vol. 134. No. 1. P. 34–41. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:1(34).
11. *Ergun S.* Fluid flow through packed columns // *Chem. Eng. Prog.*, 1952. Vol. 48. No. 2. P. 89–94.

Поступила в редакцию 16.01.17

*Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (договор № 14.W01.16.6756-МК).

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

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