

НЕКОТОРЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ С ОБЛАКОМ ЧАСТИЦ В РАМКАХ ДВУХЖИДКОСТНОЙ МОДЕЛИ*

П. С. Уткин¹

Аннотация: Работа посвящена параметрическому численному исследованию взаимодействия ударной волны (УВ) с плотной засыпкой частиц. Задача рассматривается в рамках двухжидкостного подхода, когда и газовая, и дисперсная фазы считаются сжимаемыми континуумами, неравновесными по скоростям и давлениям. Определяющая система уравнений имеет гиперболический тип, для ее численного решения используется метод HLL (Harten–Lax–Leer). Постановка задачи соответствует натурному опыту. В расчетах получены основные характеристики процесса — формирование прошедшей и отраженной волн, движение засыпки с более крутым передним фронтом и более размытым задним. Проведено сравнение амплитуд прошедшей и отраженной волн, а также динамики движения облака с данными натурного опыта. Проведены исследования влияния параметров уравнения состояния (U_pC) дисперсной фазы на характеристики процесса.

Ключевые слова: ударная волна; облако частиц; плотная упаковка; двухфазная среда; математическое моделирование; гиперболическая система уравнений; метод HLL

Литература

1. Хмель Т. А., Федоров А. В. Численные технологии исследования гетерогенной детонации газовзвесей // Математическое моделирование, 2006. Т. 18. № 8. С. 49–63.
2. Тропин Д. А., Федоров А. В. Численная схема высокого порядка для моделирования динамики в смеси реагирующих газов и инертных частиц // Вычислительные технологии, 2013. Т. 18. № 4. С. 64–76.
3. Regele J. D., Rabinovitch J., Colonus 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.
4. Бедарев И. А., Федоров А. В. Структура и устойчивость ударной волны в газовзвеси с двумя давлениями // Вычислительные технологии, 2015. Т. 20. № 2. С. 3–19.
5. Хмель Т. А., А. В. Федоров. Влияние столкновительной динамики частиц на процессы ударно-волнового диспергирования // Физика горения и взрыва, 2016. Т. 52. № 2. С. 93–105.
6. 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.
7. Федоров А. В., Федорова Н. Н., Федорченко И. А., Фомин В. М. Математическое моделирование подъема пыли с поверхности // Прикладная механика и техническая физика, 2002. Т. 43. № 6. С. 113–125.
8. Коробейников В. П., Марков В. В., Седов Л. И., Меньшов И. С. О неоднородности полей плотности за ударной волной, распространяющейся по пылегазовой смеси // Труды МИАН СССР, 1989. Т. 186. С. 70–73.
9. Rogue X., Rodriguez G., Haas J. F., Saurel R. Experimental and numerical investigation of the shock-induced fluidization of a particles bed // Shock Waves, 1998. Vol. 8. P. 29–45. doi: 10.1007/s001930050096.
10. 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.
11. Иванов И. Э. Численное моделирование многофазных течений с большим содержанием дисперсной фазы // Вестник МАИ, 2009. Т. 16. № 2. С. 62–70.
12. Benkiewicz K., Hayashi A. K. Application of “compressible solid” and continuum mixture theory for 1-D numerical simulation of initiation and propagation of shock waves and combustion in oxygen–aluminum mixtures // Control of detonation processes / Eds. G. D. Roy, S. M. Frolov, D. Netzer, A. A. Borisov. — Moscow: ELEX-KM Pubs., 2000. 55–60.
13. 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. № 2. С. 47–51.

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; Московский физико-технический институт, pavel.lutk@mail.ru