

Об отражении ударной волны от гранулированного слоя средней концентрации

Баширова К.И.* , Михайленко К.И.**

*Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа

**Институт механики им. Р.Р.Мавлютова УФИЦ РАН, Уфа

Ударные трубы почти полтора века являются эффективной самостоятельной экспериментальной установкой для проведения исследования распространения и поглощения ударных волн. К настоящему времени на ударных трубах проведено огромное количество экспериментальных исследований. Часть подобных исследований коррелирована с численным и аналитическим анализом прохождения волны через пузырьковую систему [1]. В других работах изучалось влияние распределения газа на ослабление воздействия волны на стенку [2]. Известны работы [3] в которых проводится численный анализ прохождения и рассеяния волн в пузырьковом слое. В таких работах показывается существенное рассеяние вблизи собственных частот пузырьков, а также нелинейные эффекты волны даже при незначительных амплитудах.

В настоящей работе представлены основанные на трехмерном вычислительном эксперименте исследования поведения ударной волны в слое легких упругих гранулированных частиц с концентрацией, не достигающей предельной. В качестве инструмента моделирования был использован пакет OpenFOAM — свободно распространяемое ПО, предназначенное в том числе для решения задач механики сплошной среды, методами конечного объема.

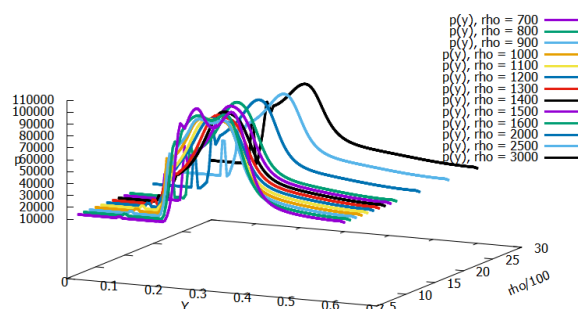
Исследуется нижняя часть ударной трубы длиной 60 см, нижние 10 см заполнены мелкодисперсной средой с объемным содержанием 0.2. Плотность гранул варьировалась в диапазоне от 600 до 3000 кг/м³. Частицы монодисперсные сферические диаметром $3 \cdot 10^{-8}$ м.

На границах ударной трубы поставлено условие проскальзывания. Начальные условия заданы описанной выше концентрацией и распределением давления, более высоким (10^5 Па) в области верхних 10 см и 10^4 Па в остальной области.

Для решения поставленной задачи использован решатель twoPhaseEulerFoam. Таким образом дисперсная и газовая фазы описываются взаимопроницаемыми континуальными моделями. Та-

кой подход оправдан, так как описание гранулированной среды с использованием мелкодисперсной разностной сетки с соответствующими условиями на границе кадой гранулы оказывается чрезвычайно затратно [4].

На рисунке представлены эпюры давления по оси ударной трубы для ряда значений полной плотности гранулированной среды в некоторый момент времени после отражения ударной волны ($t = 0.0015$ с).



Из графиков можно видеть, что отраженная волна успевает пробежать тем большее расстояние, чем меньше плотность гранулированной среды. Кроме того следует отметить, что для случая отражения от наиболее легких гранул, волна формирует два пика. Подобное поведение следует объяснить подвижностью гранулированной среды тем большей, чем легче составляющие её частицы.

Список литературы

- [1] Кедринский В.К. Ударные волны в жидкости с пузырьками газа // ФГВ. 1980. Т. 16, № 5. С. 14-25.
- [2] Shock waves in bubbly water / B.R. Parkin, F.R. Gilmore, H.L. Brode // Memorandum RM-2795-PR. Abridged. 1961.
- [3] Губайдуллин А.А., Кутрунов А.В., Рустюмова О.Ш., Яковлева Т.Н. Некоторые вопросы волновой динамики жидкости с пузырьками газа // В сб.: Итоги исследований. Тюмень, 1994. С. 23-31.
- [4] Баширова К.И., Михайленко К.И. Трехмерное моделирование ударной трубы в пакете OpenFOAM // Вестник Башкирского университета. 2018. Т. 23, № 3. С. 621-626.