

Численное решение задачи о распространении ударной волны в газожидкостной среде с учетом теплообмена¹

Тетерев Николай Александрович²

студент

*Московский инженерно-физический институт (государственный университет),
Москва, Россия*

E-mail: us_tet@mail.ru

Особое место в гидродинамике занимают задачи о распространении волн через газожидкостные среды. Изучению проблемы распространения волн давления в двухфазных газожидкостных средах посвящено много работ, например [1,2].

Рассмотрим задачу о распространении слабой ударной волны в газожидкостной среде. Жидкость считаем сжимаемой, а для ее описания используем баротропное уравнение состояния жидкости в виде адиабаты Гюгонио в форме уравнения Тэта [3, С.257]. Оно описывает поведение давления в жидкости в очень широком диапазоне амплитуд волн вплоть до давлений в сотни тысяч атмосфер. При малых амплитудах возмущений оно переходит в обычное приближение акустически сжимаемой среды. Пузырьки газа находятся на достаточном удалении друг от друга, и взаимодействие осуществляется только через поле давлений. Поэтому для описания радиальных колебаний пузырька используем уравнением Херинга-Флина [4, С.83], в котором учитываются потери энергии на вязкое трение и акустическое излучение. Процессы слипания и дробления пузырьков не рассматриваем. Массообмен между фазами отсутствует. В рассматриваемой задаче при межфазном взаимодействии учитываем теплообмен между пузырьком и жидкостью в соответствии с первым законом термодинамики.

Система газодинамических уравнений, записанная в лагранжевых переменных, численно решается с помощью конечно-разностной схемы первого порядка точности по времени и второго по пространству. Временной шаг выбирается наименьшим среди рассматриваемых процессов: распространение волны, пульсация пузырьков, теплообмен. Проведенные тестовые расчеты по взаимодействию уединенных волн между собой показали, что реализованный метод расчета с очень хорошей точностью описывает упругое взаимодействие уединенных волн.

Проведены серии расчетов, в которых изучено влияние теплообмена на структуру фронта ударной волны в зависимости от ее амплитуды, размера пузырьков, величины газосодержания и от коэффициента теплопроводности. На основании проведенного исследования, получен непрерывный переход структуры ударной волны от адиабатического приближения к изотермическому. Показано, что увеличение коэффициента теплопроводности ведет сначала к уменьшению амплитуды колебаний в слабой осцилляторной ударной волне по сравнению с адиабатическим случаем, а затем, при приближении к изотермическому варианту, она опять начинает возрастать.

Литература

1. Накоряков В.Е., Кутателадзе С.С. (1984) Тепломассообмен и волны в газожидкостных системах, Новосибирск: Наука, 304 с.
2. Накоряков В.Е., Покусаев Б.Г., Шрейбер И.Р. (1990) Волновая динамика газо- и парожидкостных сред, М.: Энергоатомиздат, 248 с.
3. Баум Ф.М., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др. (1975) Физика взрыва М.: Наука, 704с.
4. Flynn H.G. (1964), "Physics of Acoustics Cavitation in Liquids" in: W.P. Mason (Ed.) // Physical Acoustics Vol. 1B, London: Academic Press, p. 57-172.

¹ Работа выполнена при поддержке МНТЦ в рамках проекта В-1213.

² Автор выражает признательность своему научному руководителю профессору, д.ф.-м.н. Кудряшову Н.А. за помощь в подготовке тезисов.