

УДК 532.5

**ГИДРОДИНАМИКА УДАРНЫХ ВОЛН И ВСКИПАЮЩИХ ПОТОКОВ
В ПУЗЫРЬКОВЫХ ЖИДКОСТЯХ**© 2011 г. **М.Н. Галимзянов¹, Р.Х. Болотнова¹, У.О. Агишева², В.А. Бузина²**¹Институт механики Уфимского научного центра РАН
²Башкирский госуниверситет, Уфа

monk@anrb.ru

Поступила в редакцию 16.06.2011

Разработаны модели распространения сильных ударных волн в пузырьковых средах и скоростных потоков вскипающей жидкости в условиях разгерметизации сосудов высокого давления. При описании термодинамических свойств пузырьковой среды использовано уравнение состояния воды и пара, построенное на основе экспериментальных данных по ударной и изотермической сжимаемости в широком диапазоне изменения давлений и температур. Проведено сравнение расчетов с экспериментальными данными.

Ключевые слова: ударная волна, пузырьковая жидкость, уравнение состояния, поток вскипающей жидкости.

Исследование процессов ударно-волнового воздействия на пузырьковую среду, сопровождающихся кумулятивным сжатием пузырьков, связано с актуальностью проблемы генерации высоких давлений и температур. Взрывное вскипание недогретой жидкости, находящейся в емкости под высоким давлением, возникающее при резком падении давления в результате разгерметизации, также представляет значительный теоретический и практический интерес в связи с возрастающими требованиями к обеспечению безопасности энергетических установок.

В более ранних теоретических работах, посвященных исследованию гидродинамики волновых процессов в пузырьковых средах, учитывалась слабая сжимаемость жидкой фазой [1]. При описании термодинамических свойств пузырьковой среды, как в случае моделирования сильных ударных волн, так и при решении задач, связанных с процессами истечения вскипающей жидкости с учетом фазовых переходов, становится необходимым использование широкодиапазонных уравнений состояния жидкости и пара, описывающих экспериментальные данные по ударной и изотермической сжимаемости.

В настоящей работе построена модель и проведено численное исследование процессов распространения и взаимодействия сильных ударных волн (до 100 МПа) в пузырьковой жидкости с применением широкодиапазонного уравнения состояния воды и пара [2]. Задача решалась в двухтемпературном односкоростном приближении с равным давлением фаз. Для газовой фазы прини-

малось условие адиабатичности. Использовалась система уравнений в лагранжевых переменных в случае одномерного плоского движения, включающая законы сохранения массы для каждой фазы, импульса и энергии смеси. Анализ проведенных исследований позволил определить режимы динамики газовой фазы, при которых наблюдается удовлетворительная корреляция расчетов и экспериментальных осциллограмм давления [3] падающей и отраженной ударных волн (кривая 1) в воде с пузырьками азота ($\alpha_{20} = 4\%$) и расчетный профиль давления (кривая 2) в сечении $L = 0.535$ м от торца ударной трубы (рис. 1), а также условия на начальное газосодержание и интенсивность ударных волн в газожидкостных средах, когда становится важным учет сжимаемости жидкости.

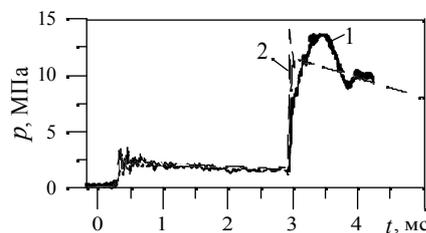


Рис. 1

При решении задачи о разгерметизации трубы высокого давления использовалась система уравнений в одготемпературном приближении с учетом кинетики фазового перехода жидкость–пар. В модели предполагалось, что в метастабильном «перегретом» состоянии фазовый переход происходит в условиях «квазистатики». С увеличением

паросодержания течение переходит в равновесный газодинамический режим.

Результаты расчетов (рис. 2) показали удовлетворительную корреляцию с экспериментальными данными [4]. На рисунке обозначено: 1 – экс-

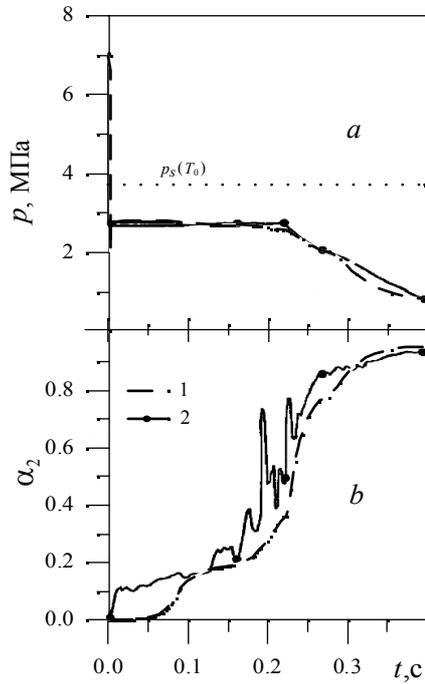


Рис. 2

периментальные осциллограммы [4], 2 – расчетные зависимости давления (рис. 2а) и объемного паросодержания (рис. 2б) в сечении, удаленном на 1.5 м от закрытого конца трубы.

Авторы работы выражают благодарность д.ф.-м.н., проф. В.Ш. Шагапову за полезные советы и обсуждения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ (грант НШ-4381.2010.1) и Программы фонда фундаментальных исследований ОЭМПУ РАН (ОЭ-14).

Список литературы

1. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. М.: Наука, 1987. Ч. 1. 464 с; Ч. 2. 360 с.
2. Нигматулин Р.И., Болотнова Р.Х. Широкодиапазонное уравнение состояния воды и пара. Упрощенная форма молекулярной фазы // Теплофизика высоких температур. 2011. Т. 49, №2.
3. Сычев А.И. Сильные ударные волны в пузырьковых средах // Журнал технической физики. 2010. Т. 80, №6. С. 31–35.
4. Edwards A.R., O'Brien T.P. Studies of phenomena connected with the depressurization of water reactors // Journal of The British Nuclear Energy Society. 1970. Vol. 9, No 1–4. P. 125–135.

HYDRODYNAMICS OF SHOCK WAVES AND BOILING FLOWS IN BUBBLY LIQUIDS

M.N. Galimzyanov, R.Kh. Bolotnova, U.O. Agisheva, V.A. Buzina

The models of strong shock waves propagation in bubbly media and high-speed flows in a boiling liquid under depressurization of high pressure tubes are developed. A wide-range state equation of water and steam was used to describe thermodynamic properties of bubbly media which, derived based on the experimental data on shock and isothermal compressibility in a wide range of pressures and temperatures. The comparison of calculation results with experimental data was made.

Keywords: wave, bubbly liquid, state equation, boiling liquid flows.