

УДК 532.529:534.2

АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В ПАРОГАЗОЖИДКОСТНЫХ СИСТЕМАХ

© 2011 г.

А.А. Никифоров, Е.А. Уткина, Р.Н. Гафиятов

Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН

anikiforov1@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.06.2011

Теоретически исследовано распространение слабых возмущений в двухфракционных парогазожидкостных системах, когда дисперсная фаза представлена включениями различного состава и размера, с учетом фазовых превращений. Представлены математические модели, получены дисперсионные соотношения, рассчитаны дисперсионные кривые. С помощью метода быстрого преобразования Фурье выполнены расчеты по распространению импульсных возмущений в рассмотренных двухфракционных дисперсных системах.

Ключевые слова: акустические волны, аэрозоль, пузырьковая жидкость, межфазный тепло- и массообмен, дисперсионное соотношение.

Введение

В настоящее время большой интерес вызывают исследования волновой динамики дисперсных сред. Значительное количество работ по акустике парогазожидкостных систем посвящено теоретическому исследованию распространения гармонических возмущений. Различные проблемы акустики газовзвесей и смесей жидкостей с пузырьками газа или пара рассмотрены в известной монографии [1]. Влияние полидисперсного состава и фазовых превращений на эволюцию слабых импульсных возмущений в парогазокапельных средах рассмотрено в [2]. В [3] для смеси жидкости с газовыми пузырьками получена дисперсионная зависимость волнового числа от частоты колебаний и теплофизических свойств фаз, показана необходимость учета сжимаемости несущей фазы для задач акустики пузырьковых жидкостей. В [4] представлены результаты теоретического изучения распространения звуковых возмущений в смесях жидкости с парогазовыми пузырьками при учете межфазного диффузионного массообмена, получено дисперсионное соотношение.

В настоящем исследовании рассматривается распространение слабых волн в дисперсных системах, представляющих собой смесь газа с паром, каплями и частицами разных размеров и веществ и смесь жидкости с пузырьками разных размеров и состава, когда одна из фракций участвует в фазовых переходах.

Парогазокапельные смеси

Представлены зависимость декремента затухания на длине волны от безразмерной частоты колебаний $\omega\tau_{vd}$ (рис. 1) и эволюция импульса давления типа гауссовой кривой, создаваемого на границе парогазокапельной смеси с твердыми частицами (рис. 2). На рисунках кривые 1 соответствуют смеси воздуха с паром, каплями воды и частицами песка, 2 – монодисперсной газовзвеши с частицами песка, 3 – смеси воздуха с паром и каплями воды.

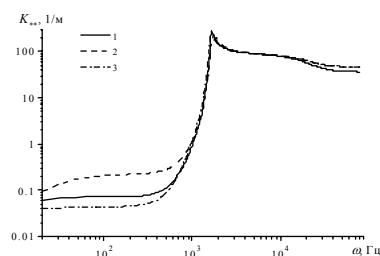


Рис. 1

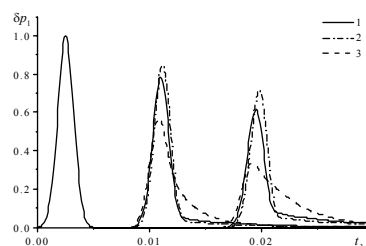


Рис. 2

Различие размеров включений и теплофизических параметров фракций приводит к возникновению двух максимумов для зависимости декремента затухания на длине волны на характерных значениях безразмерных частот $\omega\tau_{va}$, $\omega\tau_{va} = 1$ (рис. 1). На рис. 2 показано влияние учета двухфракционного состава дисперсной фазы на эволюцию импульса давления в монодисперсных смесях воздуха с паром, каплями воды и частицами песка с одинаковым общим массовым содержанием дисперсной фазы. Таким образом, наличие загрязняющих примесей (например частиц песка) существенно влияет на динамику слабых волн в воздушных туманах.

Смеси жидкости с пузырьками пара и газов

Представлены зависимость коэффициента затухания от частоты колебаний (рис. 3) и эволюция импульса давления типа гауссовой кривой, создаваемого на границе пузырьковой среды (рис. 4) для монодисперсных смесей воды с паровоздушными пузырьками и пузырьками углекислого газа или гелия с одинаковым общим объемным содержанием пузырьков. На рисунках кривые 1 построены для монодисперсных смесей воды с паровоздушными пузырьками, 2 – с паровоздушными пузырьками и пузырьками гелия, 3 – с паровоздушными пузырьками и пузырьками углекислого газа.

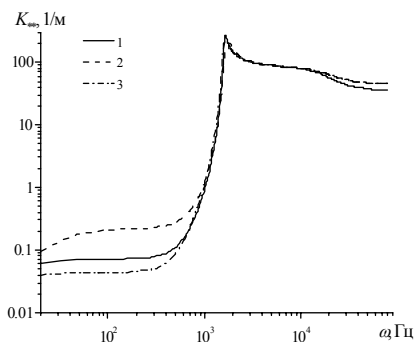


Рис. 3

Как видно из рис. 3, замена части паровоздушных пузырьков в монодисперсной пузырько-

вой смеси на пузырьки углекислого газа, не участвующих в фазовых превращениях, приводит к уменьшению коэффициента затухания в низкочастотной области. Однако замена части паровоздушных пузырьков на пузырьки гелия, также не участвующих в фазовых превращениях, приводит к увеличению коэффициента затухания в низкочастотной области, что связано с более высоким значением коэффициента температуропроводности гелия по сравнению с углекислым газом и паровоздушной смесью.

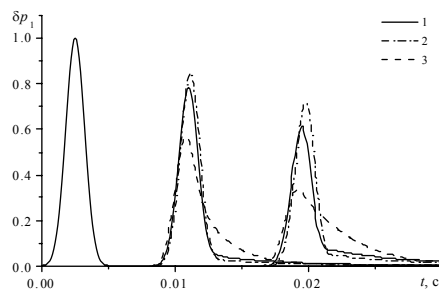


Рис. 4

Работа выполнена при финансовом содействии Совета по грантам Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых и ведущих научных школ РФ (грант МК-1316.2010.1 и грант НШ-4381.2010.1), по программе Президиума РАН №20П и при финансовой поддержке РФФИ (грант № 10-01-00098), в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 г.г (государственный контракт №14.740.11.0351).

Список литературы

1. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч. 1, 2. М.: Наука, 1987.
2. Губайдуллин Д.А. Динамика двухфазных парогазокапельных сред. Казань: Изд-во Казан. мат. об-ва, 1998. 153 с.
3. Нигматуллин Р.И., Шагапов В.Ш., Вахитова Н.К. Проявление сжимаемости несущей жидкости при распространении волн в пузырьковой среде // Докл. АН СССР. 1989. Т. 304, №5. С. 1077–1081.
4. Губайдуллин Д.А., Никифоров А.А. Акустические возмущения в смеси жидкости с пузырьками пара и газа // Теплофизика высоких температур. 2010. Т. 48, №2. С.188–192.

ACOUSTIC DISTURBANCES IN VAPOR-GAS-LIQUID SYSTEMS

A.A. Nikiforov, E.A. Utkina, R.N. Gafiyatov

The propagation of acoustic disturbances in two-fractional vapor-gas-liquid systems, when the dispersed phase is represented by an inclusion of various composition and size is theoretically investigated, taking into account the phase transformations. The mathematical models is presented, the dispersion relations are obtained, dispersion curves are calculated. Using the fast Fourier transform, the propagation of pulse disturbances in the considered two-fraction disperse systems is calculated.

Keywords: acoustic waves, aerosol, liquid with bubbles, interphase heat and mass transfer, dispersion relation.