



Волны давления в трубе, заполненной жидкостью, содержащей пузырьковую зону в виде цилиндра¹

Агишева У.О., Галимзянов М.Н.

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

В данной работе численно изучены двумерные осесимметричные волновые возмущения в канале с водой, содержащей пузырьковую область в виде цилиндра. По результатам численных расчетов проанализирована зависимость максимальной амплитуды давления, формирующейся в канале, от геометрических параметров кластера и канала, а также от начального содержания пузырьков. Построены карты зон максимального значения давления для рассматриваемых задач в зависимости от величины начального объемного содержания на плоскости «объемное содержание – протяженность пузырьковой области».

Введение

Особенности распространения волн в пузырьковой жидкости связаны с совокупным взаимодействием нелинейных, дисперсионных и диссипативных эффектов. В жидкости с пузырьками свойства практически несжимаемой жидкости, являющейся несущей фазой, кардинально меняются при небольшом по объему (а тем более по массе) добавлении газа (пузырьков), являющегося дисперсной фазой. Особенность пузырьковых жидкостей обусловлена их высокой статической сжимаемостью при сохранении высокой плотности, близкой к плотности жидкости, что в свою очередь приводит к малой равновесной скорости звука. Интересной особенностью пузырьковой жидкости в дина-

мических процессах является проявление инерции жидкости при изменении объема смеси за счет сжатия или расширения пузырьков [1]. Интерес к пузырьковым кластерам в жидкости обусловлен, в частности, созданием гидроакустических аналогов лазерных систем, которые сначала могут поглощать внешнее воздействие, а потом переизлучать эту энергию с существенным увеличением амплитуды и возможной концентрацией энергии в заданном направлении [2].

Данная работа является продолжением исследований из [3–5] и в ней рассмотрена динамика волн в цилиндрическом канале с содержащей пузырьковую область в форме цилиндра (Рис. 1). Анализируется зависимость максимальной амплитуды давления, формирующейся в канале, от геометрических параметров кластера, а также от начального объемного содержания пузырьков.

Постановка задачи

Рассмотрим двумерные осесимметричные волновые возмущения в канале с водой, содержа-

¹Исследование выполнено за счет средств гранта РНФ № 21-11-00207 (<https://rscf.ru/project/21-11-00207/>).

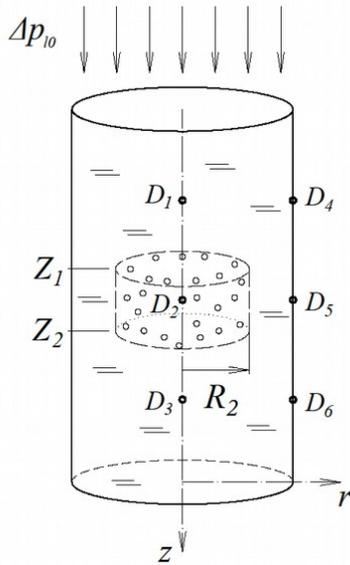


Рис. 1. Схема задачи. Z_1 и Z_2 – координаты кластера, R_2 – внешний радиус кластера. D_1 – D_6 – мнимые датчики

щей область в форме цилиндра, заполненный водовоздушной пузырьковой смесью, Рис. 1. Волновое движение в канале инициируется мгновенным повышением давления на границе $z = 0$ на некоторое амплитудное значение Δp_{10} и поддерживается все время расчета. Требуется определить динамику волнового процесса в канале при $t > 0$.

Для описания волнового движения, принимая общие допущения для пузырьковых жидкостей, используется система макроскопических уравнений

масс, числа пузырьков, импульсов и давления в пузырьках в приближении цилиндрической симметрии [6].

Результаты расчетов

Зависимость максимального давления на оси и стенке трубы от протяженности пузырьковой области представлена на Рис. 2. Отметим, когда амплитуда первоначальной волны типа «ступенька» равна 0.3 МПа. Из представленных рисунков видно, что максимальное значение давления в канале регистрируется на оси канала для обоих рассмотренных случаев, хотя и на стенке присутствует небольшое увеличение давления. Видно, что для случая объемного содержания 10^{-2} на оси регистрируется давление, которое превышает начальное более чем в 50 раз, а для случая объемного содержания 10^{-3} данная величина достигает значения всего порядка 24. Это связано с различием скорости распространения звука в пузырьковой жидкости для рассматриваемых объемных содержаний. Для 10^{-2} скорость распространения звука порядка 110 м/с, когда для 10^{-3} она достигается порядка 440 м/с. Также можно заметить, что для рассмотренных величин для объемного содержания 10^{-2} существует ярко выраженный пик (когда протяженность пузырьковой области равна 0.05 м), где фиксируется максимальное значение. Справа и слева от этого пика картина фиксации максимального значения давления имеет симметричную картину. Для случая 10^{-3} данный пик смещается правее.

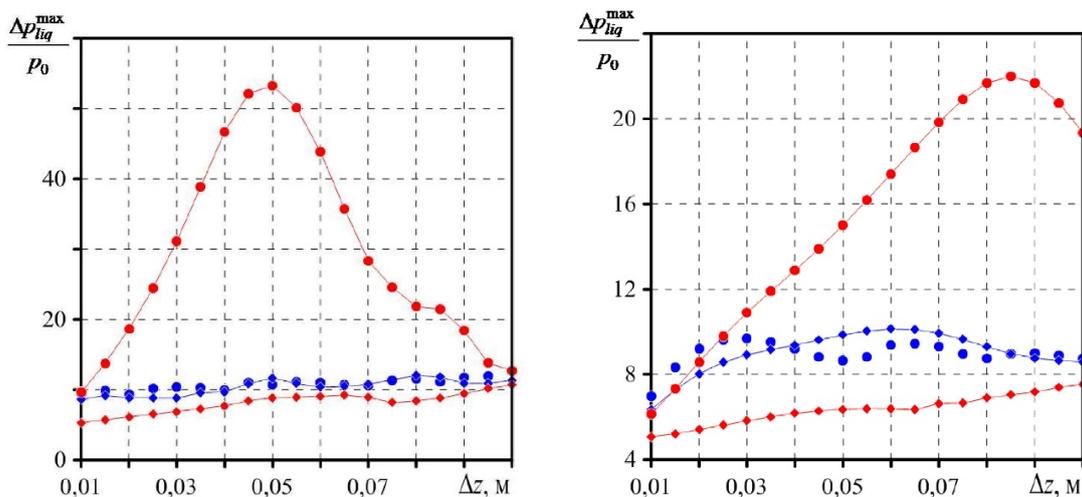


Рис. 2. Зависимость максимального давления на оси и внешней стенке трубы от протяженности пузырьковой области Δz . Символы \bullet соответствуют центру канала, \blacklozenge – стенке канала. Красным цветом представлен сплошной цилиндр, синим – область в форме проколотого цилиндра. Левый рисунок для объемного содержания пузырьков 10^{-2} , правый – 10^{-3}

Список литературы

- [1] *Нигматулин Р.И.* Динамика многофазных сред. Ч. 1, 2. М.: Наука, 1987. 386 с., 464 с.
- [2] *Кедринский В.К., Шокин Ю.И., Вшивков В.А. и др.* Генерация ударных волн в жидкости сферическими пузырьковыми кластерами // Докл. РАН. 2001. Т. 381(6). С. 773–776.
- [3] *Галимзянов М.Н., Гималтдинов И.К., Агишева У.О.* О фокусировке волн давления в тороидальном пузырьковом кластере // Вестник Башкирского университета. 2022. Т. 27(1). С. 9–17.
- [4] *Галимзянов М.Н.* Динамика импульсного сигнала в цилиндрическом канале с жидкостью, содержащем сферический пузырьковый кластер // Вестник Башкирского университета. 2022. Т. 27(2). С. 275–286.
- [5] *Гималтдинов И.К., Галимзянов М.Н., Кочанова Е.Ю.* Динамика волны да-физический журнал. 2023. Т. 96(4). С. 1008–1016.
- [6] *Галимзянов М.Н., Гималтдинов И.К., Кочанова Е.Ю.* Взаимодействие волны давления в цилиндрическом канале со сферическим пузырьковым кластером // Прикладная механика и техническая физика. 2023. Т. 64. № 2(378). С. 96–104.