

## Исследование волн давления в канале с пузырьковым кластером сферической формы

Фаттахов С.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа

Работа посвящена моделированию двумерных волн в пузырьковой жидкости. Характеристики распространяющихся в жидкости волн до и после прохождения ими через пузырьковую область могут оказаться существенно различными. Эта особенность представляет значительный интерес как для теории, так и для практики. В частности, на практике следует учитывать, что амплитуда волн, проходящих через пузырьковую область, может как уменьшаться, так и увеличиваться. Это важно, например, при разработке и эксплуатации различных подводных объектов. Указанные особенности можно также целенаправленно использовать на практике, например, путем создания различных пузырьковых завес возле конструкций в жидкости для гашения падающих на них интенсивных волн и тем самым избегать разного рода разрушений. К настоящему времени одномерные волны в пузырьковой жидкости хорошо изучены [1–3] и на данный момент активно исследуются двумерные волны. Одной из интереснейших задач волновой динамики пузырьковой жидкости, в которой ярко проявляются многомерные эффекты, является взаимодействие ударной волны с пузырьковым кластером в жидкости.

Пусть в канале, заполненном жидкостью, находится прилегающая к одному из торцевых границ канала пузырьковая зона в форме сферы (Рис. 1). Рассмотрим двумерные волновые возмущения. Такая ситуация может реализоваться, например, при воздействии на систему граничным давлением ( $p = p^0(r, t)$  при  $z = z_0$ , где  $R_{cl}$  – характерный радиус пузырьковой области,  $R_c$  – радиус канала,  $L_c$  – длина канала,  $\Delta P_0$  – амплитуда волны давления).

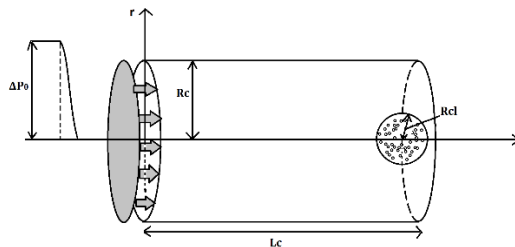


Рис. 1. Схематическое изображение расчетной области

Для описания движения пузырьковой жидкости при обычных для таких систем допущениях примем систему, состоящую из уравнений масс, числа пузырьков, импульсов и давления в пузырьках в односкоростном приближении [1]:

$$\frac{d\rho_i}{dt} + \rho_i \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad (i = l, g), \quad \frac{dn}{dt} + n \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0, \quad \rho \frac{du}{dt} + \frac{\partial p_l}{\partial x} = 0, \quad \rho \frac{dv}{dt} + \frac{\partial p_l}{\partial y} = 0, \quad \rho = \rho_g + \rho_l,$$

$$\frac{dp_g}{dt} = -\frac{3\gamma p_g}{a} w - \frac{3(\gamma-1)}{a_0} q, \quad w = \frac{da}{dt}, \quad \left( \frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} \right), \quad \alpha_l + \alpha_g = 1, \quad \rho_l = \rho_l^0 \alpha_l, \quad \alpha_g = \frac{4}{3} \pi n a^3,$$

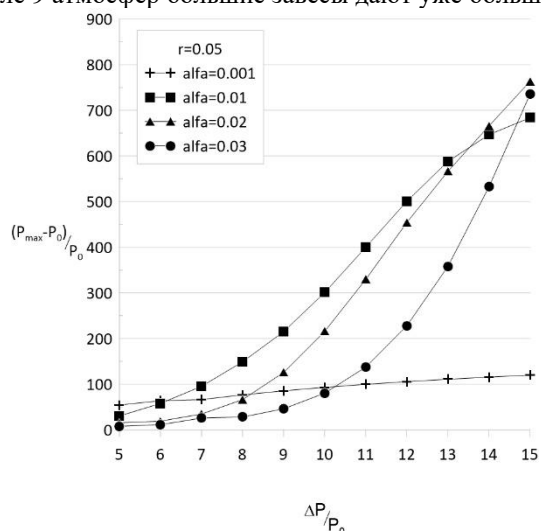
где  $a$  – радиус пузырьков,  $p_i$  – давления фаз,  $q$  – интенсивность теплообмена,  $n$  – число пузырьков в единице объема,  $w$  – радиальная скорость пузырьков,  $\rho_i^0$  – истинные плотности фаз,  $\gamma$  – показатель адиабаты для газа,  $\alpha_i$  – объемные содержания фаз. Скорости  $u$  и  $v$  соответствуют движению по координатам  $x$  и  $y$ . Нижними индексами  $i=l, g$  отмечены параметры жидкой и газовой фаз.

В данной работе исследовалось влияние начального импульса на величину максимального давления в случаи пузырьковых кластеров с разными характеристиками. У пузырьковой завесы варьировались радиус  $R_c$

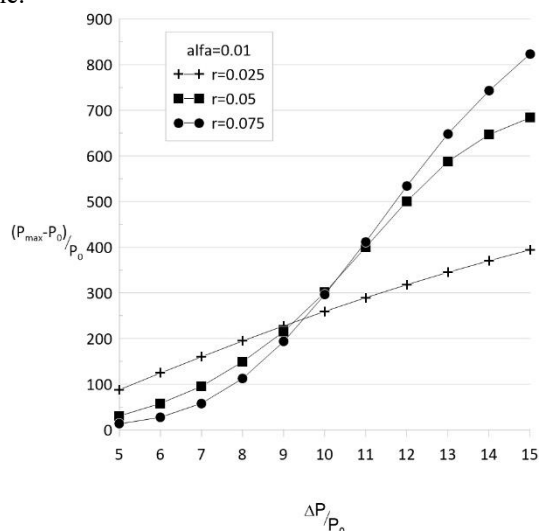
$= (0.025\text{м}, 0.05\text{м}, 0.075\text{м})$  это рисунок 3 и объемное содержание пузырьков  $\alpha_1 = (0.001, 0.01, 0.02, 0.03)$  это рисунок 2

По рис. 2 можно заметить, что при объемном содержании 0.001 увеличение давления ведет себя линейно. данный эффект связываем с очень большой разницей скоростей волны в "чистой" и пузырьковой жидкостях. В остальных же случаях видно, что в системе аккумулируется большее давление при большем значении начального импульса.

По рис. 3 видно, что при малом радиусе пузырькового кластера 0.025м. также увеличение давления ведет себя линейно. Еще стоит отметить, что при силе начального импульса равной 9 атмосфер существует точка, где меняется поведение кривых. До 9 атмосфер большие завесы дают меньшее увеличение давления, а после 9 атмосфер большие завесы дают уже большее давление.



**Рис. 2.** Зависимость максимального давления от силы начального импульса при разных объемных содержаниях.



**Рис. 3.** Зависимость максимального давления от силы начального импульса при разных радиусах пузырьковой завесы.

Результаты, полученные в данной работе в предельных случаях совпадают с работами [4, 5].

Список публикаций:

- [1] Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. – М.: Наука, 1987, Т. 1,2.
- [2] Кедринский В.К. Гидродинамика взрыва: эксперимент и модели. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000.
- [3] Накоряков В.Е., Покусаев Б.Г., Шрейбер И.Р. Волновая динамика газо- и парожидкостных сред. – М: Энергоатомиздат, 1990. – 248 с: ил.
- [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. DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2022.2.5
- [5] 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. С. 96-104. DOI: 10.15372/PMTF202215182