

Динамика волн в открытом канале при наличии пузырьковой зоны

Гималтдинов И.К., Столповский М.В., Родионов А.С., Насыров А.А.

ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа

Наличие в жидкости газа в виде распределенных по объему пузырьков кардинально меняет ее акустические свойства [1-3] – происходит аномальное снижение скорости малых возмущений и усиление диссипативных свойств. Это позволяет использовать пузырьковые экраны как для гашения ударно волновых воздействий, так и их усиления [4-7]. Особенности отражения и преломления на границе воды и воды с пузырьками при прямом и косом падении акустической волны изучались в работах [8-10].

Данная работа посвящена численному исследованию динамики импульсов давления отраженных от границ пузырьковой завесы, когда на нижней границе расчетной области для волн поставлены условия как на жесткой стенке, а верхняя граница является абсолютно мягкой границей.

Пусть в канале, который заполнен жидкостью находится пузырьковая завеса с газовыми пузырьками одинакового радиуса, расположенную в исходном состоянии между двумя плоскостями с координатами x_{01} и x_{02} ($x_{02} - x_{01} = l_0$ толщина завесы), рис. 1. Будем полагать, что нижняя граница $y=0$ канала является жесткой границей, а верхняя граница $y=L_y$ абсолютно мягкой [11]. В момент времени $t=0$ начинается воздействие граничного давления на границе $x=0$. Требуется определить волновое движение в канале при $t>0$.

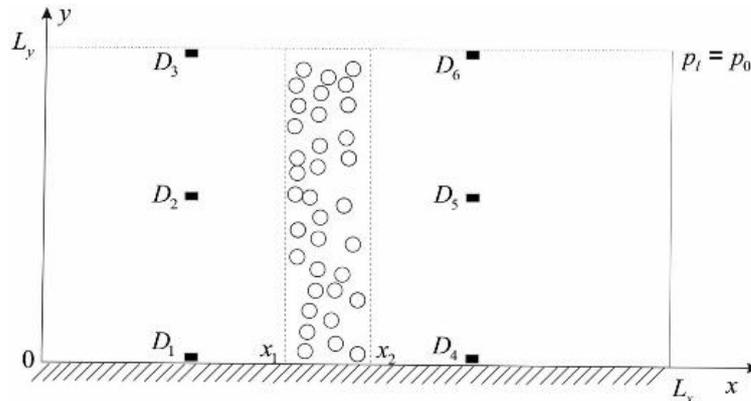


Рис.1. Схематическое изображение расчетной области. D_1 – D_6 – датчики давления.

Для описания волнового движения, принимая общие допущения для пузырьковых жидкостей, принята система уравнений из [7]

Иницирующее возмущение давления на границе пузырьковой жидкости ($x=0$) задается в виде колоколообразного импульса. На границе $y=0$ расчетной области приняты условия как на жесткой стенке, т.е. равенство нулю нормальной компоненты скорости, а на границе $y=L_y$ постоянно поддерживается постоянное

значение давления равно начальному p_0 , что соответствует свободной границе. На границе $x = L_x$ задается неотражающее граничное условие на основе импедансного соотношения [12].

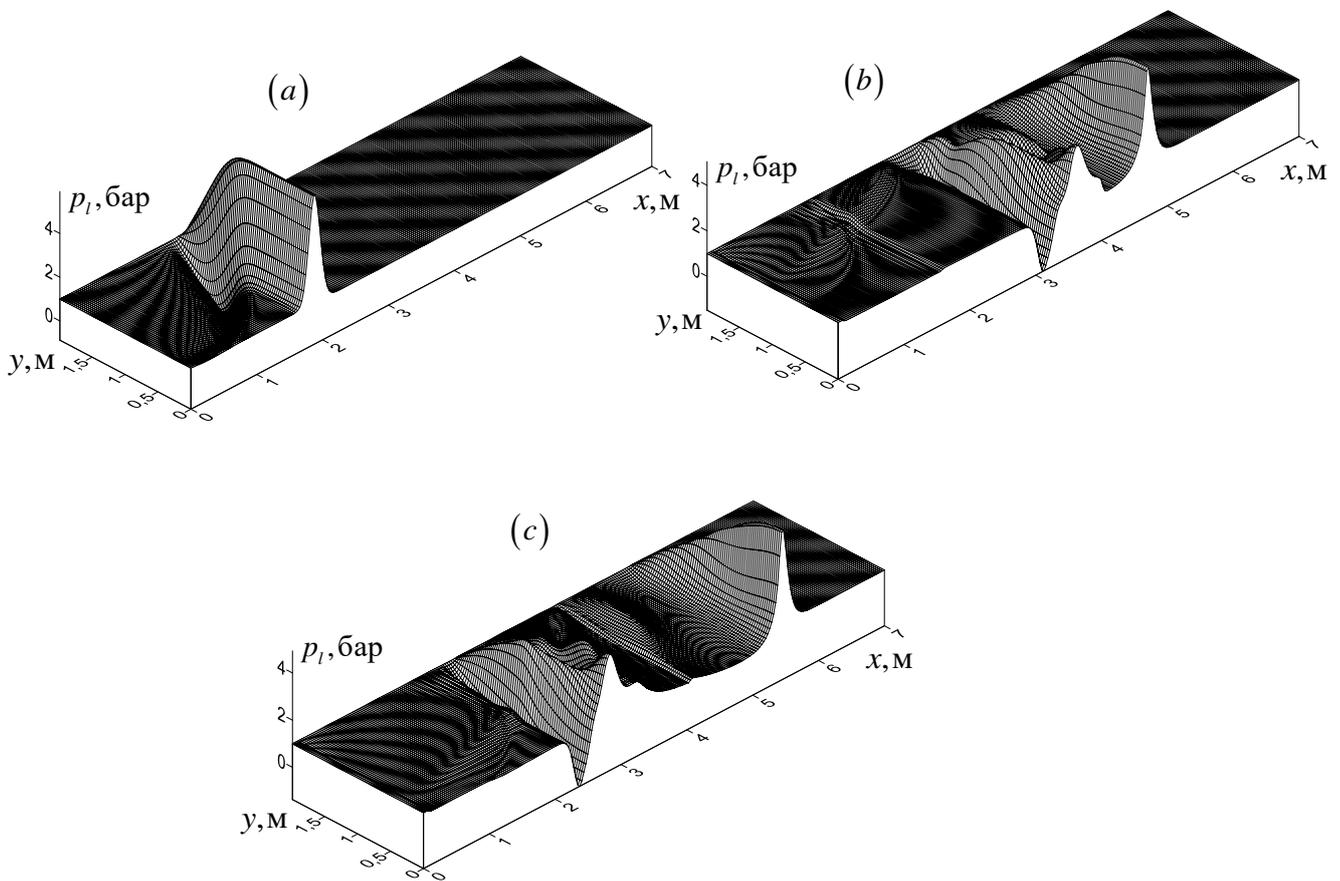


Рис. 2. Эпюры давления в моменты 1.5 мс (а), 3.5 мс (б), 4.0 мс (с). Параметры расчета: жидкость вода, газ-воздух $\alpha_{g0}=0.001$, $a=1.25$ мм, $x_1=4.0$ м, $x_2=4.1$ м, $\Delta p_{l0}=0.5$ МПа, $\rho_{l0}^0=1000$ кг/м³, $\nu_l=10^{-6}$ м²/с, $C_l=1500$ м/с, $\rho_{g0}^0=1.29$ кг/м³, $c_g=1005$ Дж/кг*К, $\lambda_g=0.026$ Вт/м*К, $T_0 = 300$ К, $p_0=0.1$ МПа.

На рис. 2 представлены эпюры давления, когда в области заполненной водой есть пузырьковая зона, рис. 1. Под действием граничного давления в канале формируется колоколообразный импульс давления амплитудой 5 бар, распространяющийся по направлению оси Ox (рис. 2. (а)). Вместе с основным импульсом амплитудой 5 бар, за ним распространяется волна разрежения, связанная с влиянием границы $y = L_y$.

При взаимодействии импульса с пузырьковой завесой происходит его частичное отражение и прохождение через завесу. Для импульса падающего со стороны жидкости на границу $x=x_1$ эта граница эквивалентна свободной границе т.е. отражение от этой границы происходит с инверсией фазы, а для импульса, падающего со стороны пузырьковой жидкости граница $x=x_2$ эквивалентна жесткой стенке [11], (рис.2, б, с).

В результате исследований установлено:

- динамика импульса в открытом канале сопровождается волной разрежения из-за влияния свободной границы;
- существует предельное расстояние, на котором импульс полностью угасает из-за влияния свободной границы.

Работа выполнена при поддержке госзадания Минобрнауки РФ на тему «Разработка и создание малотоннажных продуктов и реагентов (ингибиторы коррозии и солеотложения, антиоксиданты, биоциды, присадки и др.) для процессов нефтегазохимии и очистки водных сред от загрязнений, замещающих импортные вещества и материалы. Теоретические и экспериментальные подходы (FEUR –2023–0006)».

Список литературы

- [1] Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч. 1., 2 М.: Наука, 1987.386 с.
- [2] Кедринский В. К. Гидродинамика взрыва : Эксперимент и модели / Валерий Кириллович Кедринский; Рос. акад. наук. Сиб. отд-ние, Ин-т гидродинамики им. М.А. Лаврентьева. - Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2000. - 434 с. : ил. ;
- [3] Губайдуллин А. А. Волны в газожидкостных системах: Монография. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2008. 184 с.
- [4] Гималтдинов И.К., Нигматулин Р.И., Шагапов В.Ш. Эволюция волн давления в жидкости, содержащей зону жидкости с пузырьками // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2001. № 3. С. 133.
- [5] Агишева, У. О., Галимзянов, М. Н. Волны давления в трубе, заполненной жидкостью, содержащей пузырьковую зону в виде цилиндра // Многофазные системы. – 2023. – Т. 18, № 3. – С. 207-209. – DOI 10.21662/mfs2023.3.059. – EDN IWGZRI.
- [6] Галимзянов, М. Н. Волны давления в трубе, заполненной жидкостью при наличии в ней пузырьковой области в форме тора // Многофазные системы. – 2021. – Т. 16, № 3-4. – С. 112-120. – DOI 10.21662/mfs2021.3.015. – EDN KJOCAC.
- [7] Галимзянов, М. Н., Гималтдинов И. К., Шагапов В. Ш. Двумерные волны давления в жидкости, содержащей пузырьки // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. – 2002. – № 2. – С. 139-147. – DOI 10.1023/A:1015818602291. – EDN YUEMRR.
- [8] Shagapov V.Sh., Gimaltdinov I.K., Khabeev N.S., Bailey S.S. Acoustic waves in a liquid with a bubble screen // Shock Waves. 2003. V. 13. No 1. P. 49–56. 13.
- [9] Шагапов В.Ш., Сарапулова В.В. Особенности преломления и отражения звука на границе пузырьковой жидкости // Акуст. журн. 2015. Т. 61. № 1. С. 40–48.
- [10] Губайдуллин, Д. А. Особенности отражения акустических волн от границы или слоя двухфазной среды / Д. А. Губайдуллин, Ю. В. Федоров // Акустический журнал. – 2018. – Т. 64, № 2. – С. 162-173. – DOI 10.7868/S0320791918020053. – EDN YSOOQV.
- [11] Исакович М.А. Общая акустика. Учебное пособие. Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, М., 1973. 502 с.
- [12] Ильгамов М.А. Гильманов А.Н. Неотражающие условия на границах расчетной области. М.: Физматлит, 2003. 240 с.