

Изучение гидродинамических потоков вблизи твердых объектов при осцилляции пузырька¹

Бурмистров М.Е., Питюк Ю.А.

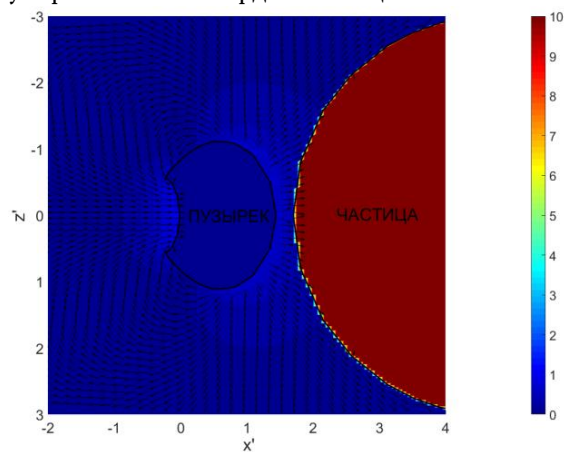
Центр микро- и наномасштабной динамики дисперсных систем, Башгосуниверситет, Уфа

Анализ взаимодействия пузырьков с твёрдыми объектами имеет практическое значение для изучения различных технологических процессов при литотрипсии, флотации, очистки поверхности микрочипов и других сферах экономики. Например, пенная флотация применяется для очистки воды от органических веществ и твёрдых взвесей, ускорения отстаивания в химической, нефтеперерабатывающей, пищевой и других отраслях промышленности [1].

В данной работе изучаются гидродинамические потоки, создаваемые динамикой пузырька под действием акустического поля вблизи твердых объектов, таких как неподвижная бесконечная стенка и подвижная сферическая частица. Движение жидкости описывается уравнениями Эйлера. Давление в газе определяется согласно некоторому политропному процессу, а давление в жидкости изменяется согласно действующему акустическому полю. Изменение потенциала скорости на поверхности пузырька определяется интегралом Коши-Лагранжа. Задача решается численно методом граничных элементов (МГЭ) для уравнения Лапласа. Ранее МГЭ использовался авторами для изучения динамики пузырька вблизи стенки [2], модификация МГЭ для кластера, содержащего пузырьки и частицы, представлена в работе [3].

Особенностью МГЭ является расчет неизвестных значений на поверхности пузырька и частицы. Далее найденные значения можно использовать для расчета скорости и потенциала скорости потока в любой точке пространства. Для проведения анализа гидродинамических потоков был реализован программный модуль для расчета и визуализации картины течения жидкости в различных плоскостях сечения. На вход данному модулю подаются значения потенциала скорости и нормальной производной потенциала скорости, определенные на поверхности дисперсных включений. Далее определяется плоскость, в которой планируется

визуализировать картину течения, формируется расчетная сетка за исключением внутренних областей, принадлежащих пузырьку и частице. Разработанный программный модуль запускается для визуализации потока в любой момент времени. На рисунке представлена картина течения жидкости при осцилляции пузырька вблизи твердой частицы.



Анализ гидродинамических потоков показал, что в фазе сжатия пузырька поток жидкости направлен в сторону пузырька, а в фазе расширения – поток меняет направление. При достаточно интенсивных осцилляциях пузырька и малых расстояниях между объектами гидродинамические потоки способны изменять форму пузырька и образовывать струю, направленную в сторону стенки и частицы.

Список литературы:

- [1] Phan C. M., Nguyen A. V., Miller J. D., Evans G. M., Jameson G. J. Investigations of bubble-particle interactions // *Int. J. Miner. Process.* 2003. Vol. 72. P. 239–254.
- [2] Питюк Ю.А., Гумеров Н.А., Абрамова О.А., Зарафутдинов И.А., Ахатов И.Ш. Численное исследование взаимодействия двух деформируемых пузырьков в акустическом поле // *Прикладная механика и техническая физика*. 2019. Т. 60, №4. С. 81–90.
- [3] Zarafutdinov I.A., Gainetdinov A.R., Pityuk Yu.A., Abramova O.A., Gumerov N.A., Akhatov I. Sh. GPU acceleration of bubble-particle dynamics simulation // *Communications in Computer and Information Science (CCIS)*. 2018. Vol. 910. P. 235–250.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-20102.