

Э. Ш. Н а с и б у л л а е в а (Уфа, ИМех УФИЦ РАН). **Акустическое рассеяние от множества звукопроницаемых сфер в трехмерном пространстве.**
УДК 534.26

Резюме: Представлены математическая модель и методика расчета акустического рассеяния от множества звукопроницаемых сфер, произвольным образом расположенных в трехмерном пространстве, при внешнем воздействии. Проведен численный параметрический анализ и построены диаграммы распределения давления внутри и вне сфер для различных конфигураций сфер в широком диапазоне геометрических и физических параметров системы.

Ключевые слова: акустическое рассеяние, звукопроницаемая сфера, внешнее воздействие, численное моделирование, метод разложения по мультиполям.

В работе представлена математическая модель акустического рассеяния от множества звукопроницаемых сфер (то есть сфер, через поверхность которых может проходить волна), расположенных произвольным образом в трехмерном пространстве. Рассмотрены два вида внешнего воздействия: сферическая волна от монопольного источника излучения и плоская волна. Для решения уравнений Гельмгольца внутри и вне сфер на случай звукопроницаемых сфер обобщена численная техника разложения потенциала поля по мультиполям, разработанная в [1] для случая множества звукопроницаемых сфер с произвольным акустическим импедансом. Проведена верификация общего численного алгоритма с частным случаем сфер, центры которых расположены на одной оси [2]. При численной реализации для усечения рядов при разложении применялся подход, основанный на сравнении двух последовательных значений суммы ряда [3].

Проведен численный параметрический анализ распределения давления внутри и вне сфер для различных конфигураций системы в широком диапазоне физических и геометрических параметров, в том числе радиусов сфер, плотности и скорости звука внешней и внутренней сред, расстояний между центрами сфер, волнового числа, расположения монопольного источника излучения или направления нормального вектора к фронту плоской волны.

На рис. представлен пример расчета для следующей конфигурации. Сферы одного радиуса a_1 расположены равномерно в плоскости Oyz в узлах $y = 0, \pm 3a_1$ и $z = 0, \pm 3a_1$, т.е. расстояние между центрами сфер по каждой оси равно $l_x = 0, l_y = l_z = 3a_1$ и общее число сфер — $1 \times 3 \times 3 = 9$. Основные физические параметры: $\rho = 1100$ кг/м³ и $c = 950$ м/с для внешней среды, $\rho = 1000$ кг/м³ и $c = 1500$ м/с для среды внутри сфер, волновой радиус $ka_1 = 1$. Данные значения позволяют исследовать случай сильного взаимодействия в системе, где основные параметры внутренней и внешней сред сопоставимы. Монопольный источник излучения расположен на оси Ox в точке $(10a_1, 0, 0)$. Из рис. (слева) очевидно, что картина является симметричной относительно осей Oy и Oz , поэтому на рис. (справа) представлены кривые только для IV четверти. На диаграмме видны зоны повышения (максимальное значение нормированного давления достигается в точках $(0, \pm 4/3, \pm 4/3)$) и понижения (минимальное значение — в центре сфер $(0, \pm 3, \pm 3)$) давления.

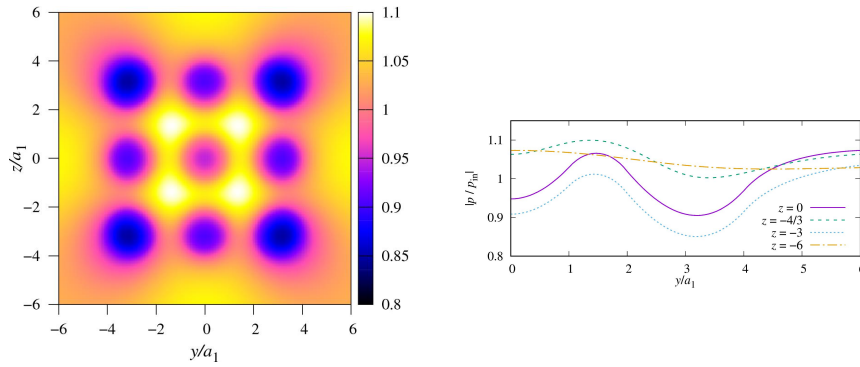


Рис. Распределение модуля нормированного давления вокруг и внутри 9-ти сфер одного радиуса с центрами в узлах $y = 0, \pm 3a_1$ и $z = 0, \pm 3a_1$ на плоскости Oyz при воздействии монопольного источника излучения, расположенного на оси Ox : диаграмма в плоскости Oyz (слева); изменение вдоль оси Oy при фиксированных значениях z , приведенных на графике (справа)

Диаграммы, построенные с помощью рассмотренного подхода к изучению акустического излучения от множества сфер, в отличие от подходов, основанных на осредненных уравнениях, позволяют с высокой точностью наглядно продемонстрировать полную картину распределения давления вне и внутри системы сфер, в том числе для определения зон повышения и понижения давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gumerov N. A., Duraiswami R.* Computation of scattering from N spheres using multipole reexpansion. — J. Acoust. Soc. Am., 2002, v. 112, № 6, p. 2688–2701.
2. *Насибуллаева Э. Ш.* Численное моделирование акустического рассеяния от коаксиальных звукопроницаемых сфер. — Многофазные системы, 2019, т. 14(2), с. 115–124. // *Nasibullaeva E. Sh.* Numerical simulation of acoustic scattering from coaxial sound-permeable spheres. — Multiphase Systems, 2019, v. 14, № 2, p. 115–124. (In Russian.)
3. *Duda R. O., Martens W. L.* Range dependence of the response of a spherical head model. — J. Acoust. Soc. Am., 1998, v. 104, p. 3048–3058.

UDC 534.26

Nasibullaeva E. Sh. (Ufa, Mavlyutov Institute of Mechanics UFRC RAS).
Acoustic scattering from a set of sound-permeable spheres in 3D space.

Abstract: A mathematical model and a calculating method for acoustic scattering from a set of sound-permeable spheres arbitrarily located in 3D space under external influence are presented. Numerical parametric analysis is carried out and pressure distribution diagrams inside and outside the spheres are constructed for various configurations of spheres in a wide range of geometric and physical parameters of the system.

Keywords: acoustic scattering, sound-permeable sphere, external influence, numerical modeling, multipole decomposition method.