

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 534.29

О ПОВЕДЕНИИ ТЯЖЕЛОЙ ЧАСТИЦЫ В ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ
В ПОЛЕ СТОЯЧЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ

Аветисян А. Г., Аракелян В. С., Багдасарян О. В., Дудоян А. Б.

Факт пространственного разделения взвеси в жидкости, аэрозольных частиц в газах, а также смеси газов в поле стоячей ультразвуковой волны хорошо известен [1-6]. На частицы действует ряд сил [7], причем направления действия этих сил, а также их вклады в движение частиц различны в зависимости от параметров взвеси и жидкости, аэрозольных частиц, смеси газов и т. д.

Выражения, получаемые при точном решении задачи о движении частиц в поле ультразвуковой волны [7], громоздки и малонаглядны. Поэтому применяются различные приближения, позволяющие упростить решение задачи. Здесь рассматривается решение задачи о движении тяжелой частицы в поле стоячей волны в линейном приближении. Уравнение движения частицы при этом запишется в виде

$$M\ddot{x} = -6\pi\eta r(\dot{x} - v) - \frac{4\pi}{3} r^3 \nabla p + f, \tag{1}$$

где M — масса тяжелой частицы, \dot{x} и r — ее скорость и радиус, η — коэффициент вязкости жидкости, ∇p — градиент давления в стоячей ультразвуковой волне (для случая резонатора с жесткими стенками давление $p = p_0 \cos kx \cos \omega t$), v — колебательная скорость частиц среды ($v = v_0 \sin kx \sin \omega t$), f — случайная сила, вызывающая броуновское движение тяжелой частицы.

Применяя к уравнению (1) метод Капицы [8], можно получить выражение для средней силы, действующей на тяжелую частицу в поле стоячей ультразвуковой волны:

$$F = -\frac{\pi r^3}{3} \left(\frac{\omega}{c} \right) \{ \mu_p^2 \rho_p v_0^2 + \mu_g^2 p_0^2 / \rho_p c^2 \} \sin 2kx, \tag{2}$$

где $\mu_p = 1/\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}$ — коэффициент увлечения частицы в колебательное движение среды, $\mu_g = \omega \tau / \sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}$ — коэффициент обтекания частицы средой, $\tau = 2\rho_p r^2 / 9\eta$ — время релаксации частицы, ρ_p — ее плотность. Как видно из формулы (2), частицы должны собираться в узлах колебательной скорости (в пучностях давления).

Эксперименты по исследованию поведения частиц железа диаметром $(2 \div 6) \cdot 10^{-6}$ м в воде, спирте и глицерине в поле стоячей ультразвуковой волны проводились в диапазоне удельных мощностей излучателя $(0,1 \div 3) \cdot 10^4$ Вт/м². Задающий генератор работал в диапазоне 2,6 МГц и имел возможность плавной перестройки частоты. Резонатор длиной $L = 4 \cdot 10^{-2}$ м был образован двумя стеклянными пластинами. Его длина удовлетворяла условию $\alpha L \ll 1$, где α — коэффициент поглощения звука в жидкости. Условие резонанса при фиксированной длине резонатора достигалось перестройкой частоты задающего генератора. Весовая концентрация взвеси изменялась в пределах 0,01 ÷ 0,05. Распределение тяжелых частиц в поле стоячей волны наблюдалось с помощью микроскопа.

Группировка тяжелых частиц происходила в плоскостях, лежащих на расстоянии $n\lambda/2$ от стенки резонатора, где n — целое число, λ — длина волны звука, т. е. в узлах колебательной скорости. Время выстраивания тяжелых частиц уменьшалось с увеличением мощности волны и уменьшением вязкости жидкости. Это время составляло от долей секунды (в случае взвеси в спирте) до десятков секунд (в случае взвеси в глицерине) при уровне интенсивности излучения $\sim 0,1 \cdot 10^4$ Вт/м².

По мере выстраивания частиц происходила коагуляция; в случае воды и спирта в областях сгущения наблюдалось вращательное движение коагулированных частиц с частотой порядка нескольких герц с последующим образованием более крупных частиц и выпадением их в осадок.

Следует отметить, что по величине сила, рассчитанная по формуле (2), меньше силы радиационного давления в идеальной среде. Противоречие между теорией радиационного давления, согласно которой частицы должны собираться в пучностях колебательной скорости, и поставленным экспериментом может быть объяснено тем, что в ограниченных колебательных системах возможны случаи, когда эффекты второго порядка существенно не развиваются [8, 9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика сплошных сред. М.: ГИТТЛ, 1954.
2. King L. V. On the acoustic radiation pressure on spheres.— Proc. Roy. Soc. London, 1934, v. A147, p. 212–240.
3. Yosioka K., Kawasima Y. Acoustic radiation pressure on compressible sphere.— Acustica, 1955, v. 5, p. 167–179.
4. Горьков Л. П. О силах, действующих на малую частицу в акустическом поле в идеальной жидкости.— Докл. АН СССР, 1961, т. 140, № 1, с. 88–91.
5. Дыхне А. М., Паль А. Ф., Письменный В. Д., Пичугин В. В., Старостин А. Н. О разделении газовых смесей в поле звуковой волны.— Докл. АН СССР, 1982, т. 262, № 2, с. 331–335.
6. Духин С. С. Теория дрейфа аэрозольной частицы в стоячей звуковой волне.— Коллоидный журн., 1960, т. 22, № 1, с. 128–130.
7. Медников Е. П. Акустическая коагуляция и осаждение аэрозолей. М.: АН СССР, 1963.
8. Зарембо Л. К., Красильников В. А. Введение в нелинейную акустику. М.: Наука, 1966.
9. Исакович М. А. Общая акустика. М.: Наука, 1973.

Институт радиофизики и
электроники Академии наук АрмССР

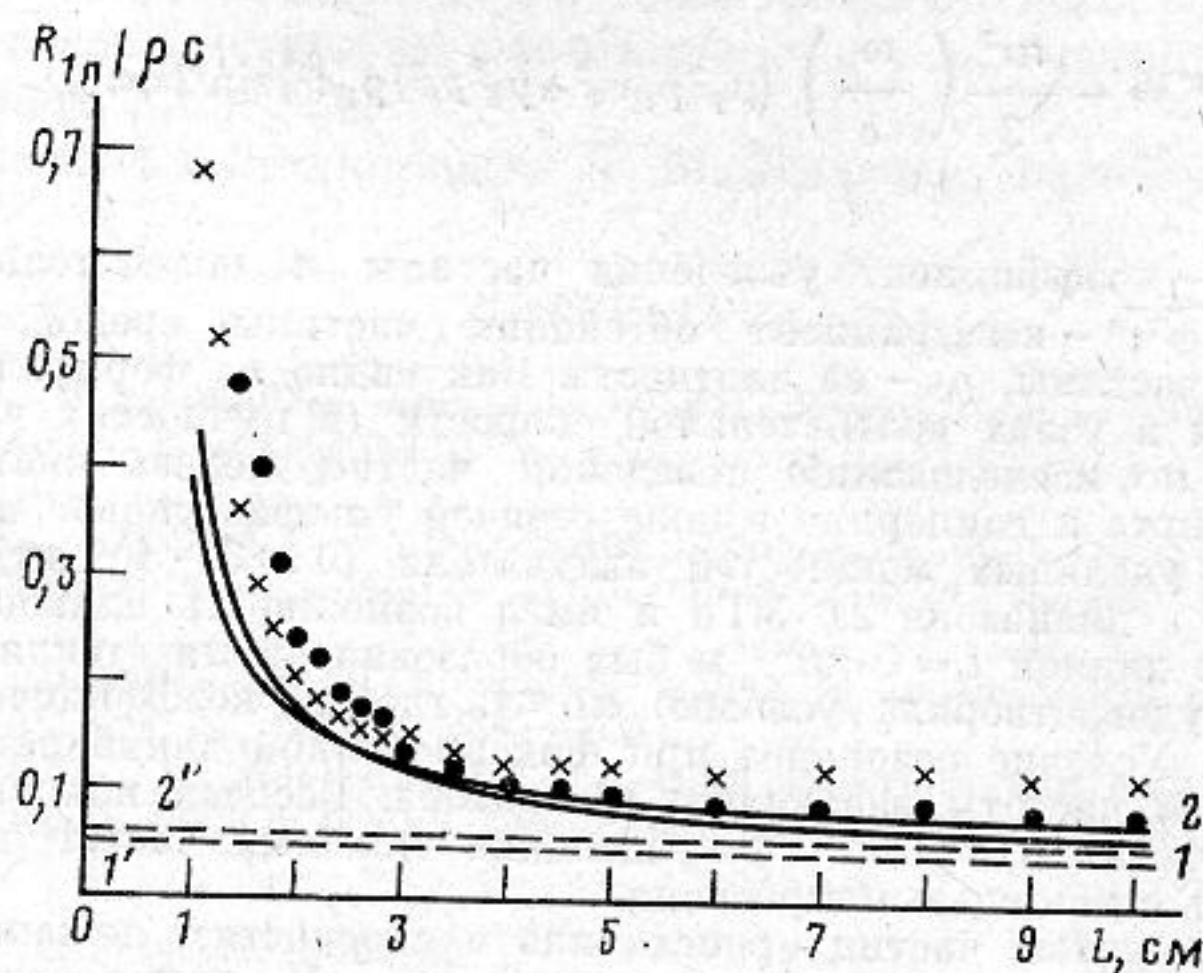
Поступило в редакцию
9.VIII.1983

УДК 534.26

ВЛИЯНИЕ ПОТЕРЬ В ОБЪЕМЕ РЕЗОНАТОРА НА ЕГО АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Велижанина К. А., Вощукова Е. А., Свирина Л. Д.

При расчете входного импеданса резонансного звукопоглотителя обычно полагают, что в области линейных, т. е. не зависящих от уровня звукового давления или колебательной скорости, значений импеданса его активная составляющая $R_{1л}$ обусловлена лишь диссипативными потерями в горле. При экспериментальных же исследованиях зависимости R_1 от амплитуды колебательной скорости (при фиксированной частоте) нами было обнаружено, что линейные значения R_1 различны для



Фиг. 1. Зависимость $R_{1л}/ρc$ от L для резонансного звукопоглотителя $d=0,016$ м, $t=0,005$ м, $η=0,03$. 1, 2 — расчет с учетом, 1', 2' — без учета потерь к полости. 1, 1' — $f=400$ Гц, ● — эксперимент; 2, 2' — 500 Гц, × — эксперимент

различных глубин полости резонатора L . При этом с уменьшением L $R_{1л}$ возрастает и, начиная с некоторых значений L , значительно превосходит то значение $R_{1л}$, которое обусловлено потерями в горле (фиг. 1). На наш взгляд, такое возрастание $R_{1л}$ происходит потому, что при уменьшении L доля объема полости резонатора, занимаемая пограничным слоем, возрастает, а это приводит к возрастанию роли потерь в полости по сравнению с потерями в отверстии.

Свой вклад в увеличение $R_{1л}$ вносит и возрастание концевой поправки горла