УДК 620.179.16

ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ФОКУСИРОВКИ УЛЬТРАЗВУКА

А. Р. БАЕВ, А. Л. МАЙОРОВ, В. В. ПАРАДИНЕЦ
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Фокусировка ультразвуковых волн используется в технике акустических измерений, ультразвуковой технологии, медицине. Для этих целей используются твердотельные и жидкие акустические линзы, помещенные в гибкие эластичные оболочки, кривизна которых (и фокусное расстояние) изменяется путем создания давления в емкости. Фокусировка УЗК может быть также реализована с помощью фазированных решеток. В настоящей работе для целей фокусировки УЗК предлагается использовать уникальные свойства класса магнитных жидкостей (МЖ), способных в магнитном поле принимать разнообразную форму свободной поверхности. При этом формирование и управление объемами МЖ производится под воздействием внешних полей и акустических колебаний, что поясняется рис. 1.

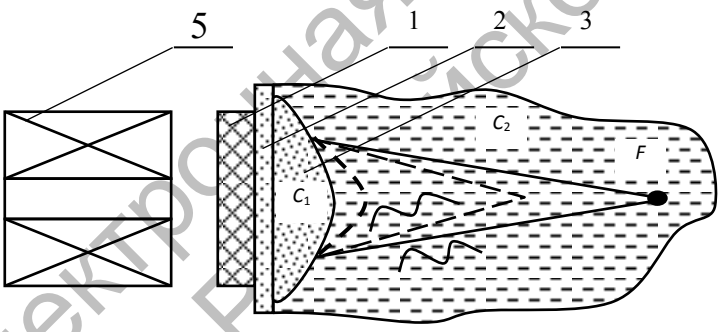

Рис. 1. Фокусировка УЗК с помощью МЖ: 1 – источник УЗК; 2 – протектор; 3 – МЖ; 4 – объект ввода; 5 – источник

Математическое моделирование этих процессов проводится на основе модифицированного уравнения статики намагничивающихся жидкостей

$$\xi - 0{,}5\mu_0\left(\Delta\widetilde{M}_n^2\right) + \widetilde{P}_u + B_0^{-1}\left(R_1'^{-1} + R_2'^{-1}\right) + \mu_0\left(\Delta\widetilde{\Phi}\right) = 0,$$

где $\sim$ – знак обезразмеривания по параметру $\Delta\rho g h$, $\Delta\rho = \rho_1 - \rho_2$; $\Phi_i = \int_{\infty}^{X} M dH$ – магнитостатический потенциал в i-ой среде относительно координаты $X = \{x_1, x_2, x_3\}$; $\Delta M_n^2 = (\overline{M}_1\vec{N})^2$ – скачок квадрата нормальной составляющей намагниченность МЖ; v – колебательная скорость материальной частицы в МЖ жидкости; $B_0 = \rho g h^2 \sigma^{-1}$ – гравитационное число Бонда; R_1 и R_2 – главные радиусы кривизны поверхности, $R_i' = R_i / h$; P_u – давление, оказываемое

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

акустическим полем на границу раздела сред, учет которого необходим при фокусировке мощного УЗК.

Если «МЖ-линза», погруженная в немагнитную жидкость, и находится в аксиальном или центрально-симметричном поле, а магнитное число Бонда $Bo_m > Bo$ то, равновесная конфигурация границы магнитной и немагнитной жидкостей обладает такой же симметрией, как и внешнее поле. И в этом случае, независимо от закона намагничивания магнитной жидкости, ее равновесная поверхность, формируемая пондеромоторными силами, может быть описана уравнением: $R = const$. Проходя через такую границу раздела сред, упругие волны фокусируются или расфокусируются в зависимости от коэффициента преломления звука и радиуса кривизны поверхности. Показано, что управление фокусным расстоянием МЖ-линзы может осуществляться не только изменением направления силовых линий поля, но и изменением объема МЖ, удерживаемого магнитным полем. Результаты экспериментальных исследований выполнены на рабочей частоте 5 МГц в режиме отражения сигнала от сферического отражателя диаметром 0,3 мм. В качестве материала линзы использована МЖ на основе керосина. Настройка и ориентация отражателя относительно излучающего ультразвук устройства производится в зоне, отстоящей на расстоянии больше фокусного расстояния в 2–3 раза. Как следует из представленных на рис. 2 данных эксперимента, предложенный способ фокусировки ультразвука с помощью МЖ-линз (квазисферической и квазицилиндрической формы), имеет размеры фокусного пятна сравнимого с пятном Эйри. Преимущество таких линз перед традиционными заключается в возможности создания условий достижения звукопередачи акустического потока через границу магнитной и немагнитной жидкостей $\sim(90 \div 95)\%$ и возможностью управления в широких пределах фокусирующими параметрами волнового фронта.

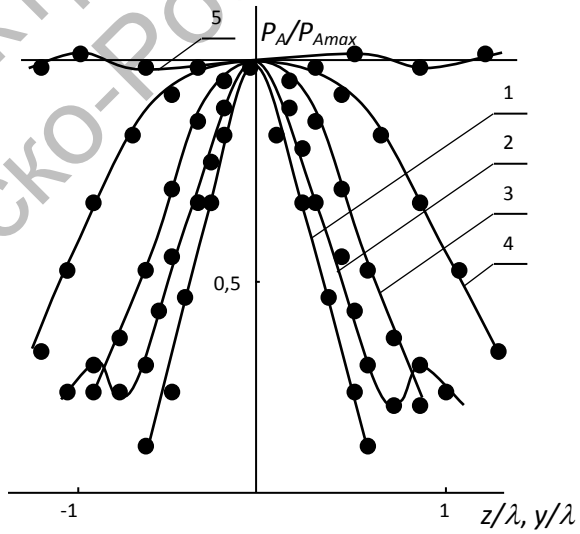

Рис. 2. Распределение давления волны в плоскости фокусировки (1, 4) и в плоскостях двойного ослабления сигнала (2, 3): фокусировка квазисферической (1–2) и квазицилиндрической (3–5) линзой; 5 – $P_A(y)$

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета