

УДК 539.1

И.В. Кандрачук

О влиянии многократного рассеяния волн на дуговые и круговые приемные акустические криволинейные антенны с упругим экраном

Выполнен анализ влияния многократного рассеяния волн в криволинейных системах, состоящих из преобразователей и акустического экрана, на характеристики направленности преобразователей.

The analysis of influence of frequent dispersion of waves in the curvilinear systems, consisting of transducers and acoustic baffle, on descriptions of transducers directions, is provided.

Введение

В акустической практике широкое применение нашли приемные акустические антенны, представляющие круговые и дуговые системы. Это антенны, состоящие из тонкостенных цилиндрических преобразователей, внутри которых расположен акустический экран. Экран может быть либо произвольной акустической жесткости, либо электроупругий. При рассмотрении экрана с произвольной акустической жесткостью, он может быть выполнен из резины или металла, или материала с произвольными значениями плотности и скорости звука. При рассмотрении электроупругого экрана, он может быть выполнен, например, в виде металлической оболочки.

На такую систему падает плоская звуковая волна. Волна, пришедшая на поверхности преобразователей и экран, многократно отражается, образуя дифрагированное поле, и способствует появлению электрических сигналов на выходах преобразователей. При этом возникает взаимодействие механических, электрических и акустических полей в процессе преобразования энергии каждым из преобразователей.

Целью данной работы является изучение влияния взаимодействия плоской акустической волны с криволинейной цилиндрической решеткой, образованной из тонкостенных пьезокерамических цилиндрических преобразователей и упругого акустического экрана конечной звукопрозрачности, на звуковые поля Φ_0 , формируемые каждым преобразователем в составе системы.

Физической причиной изменения звукового поля преобразователя при работе его в составе системы является непрозрачность для звука

тел, образующих эту систему. Из-за этой непрозрачности плоская волна, приходящая на систему, порождает возникновение многократного процесса обмена отраженными волнами между элементами системы, следствием которого является появление взаимодействия преобразователей в системе по звуковому полю. В итоге звуковое поле преобразователя в составе системы существенно отличается от такового для преобразователя, работающего вне системы. Продемонстрируем это на примере рассмотрения круговой и дуговой систем преобразователей с упругим акустическим экраном во внутренней полости.

Сущность исследований

Задача аналитического определения звукового поля, возникающего при взаимодействии плоской волны с криволинейной системой, образованной из цилиндрических преобразователей и упругого экрана, была решена в работе [1]. Воспользуемся математическими выражениями этой работы для количественной оценки влияния многократного рассеяния волн на звуковые поля преобразователей, размещенных в круговой (рис. 1, а) и дуговой (рис. 1, б) системах с экраном.

На рис. 2 приведены результаты расчета характеристик направленности $\frac{\Phi_0(\alpha)}{\Phi_{0\max}}$ одиночных преобразователей в составе систем на частоте 4 кГц, а на рис. 3, на частоте 10 кГц. Номера кривых соответствуют номерам преобразователей в системах.

Расчеты производились для следующих значений параметров систем и их элементов: $N = 4$; $L = 5R$; $R = 0,0675$ м; $h = 0,006$ м; $R_g = 0,24$ м; расстояние в дуге между поверхностями соседних элементов $l = 0,09R$; $f = 4$ кГц; 10 кГц (частоты плоских падающих волн); $Z_H = 1000$ Ом. Резонансная частота пульсирующих колебаний преобразователей в воде составляла 10 кГц.

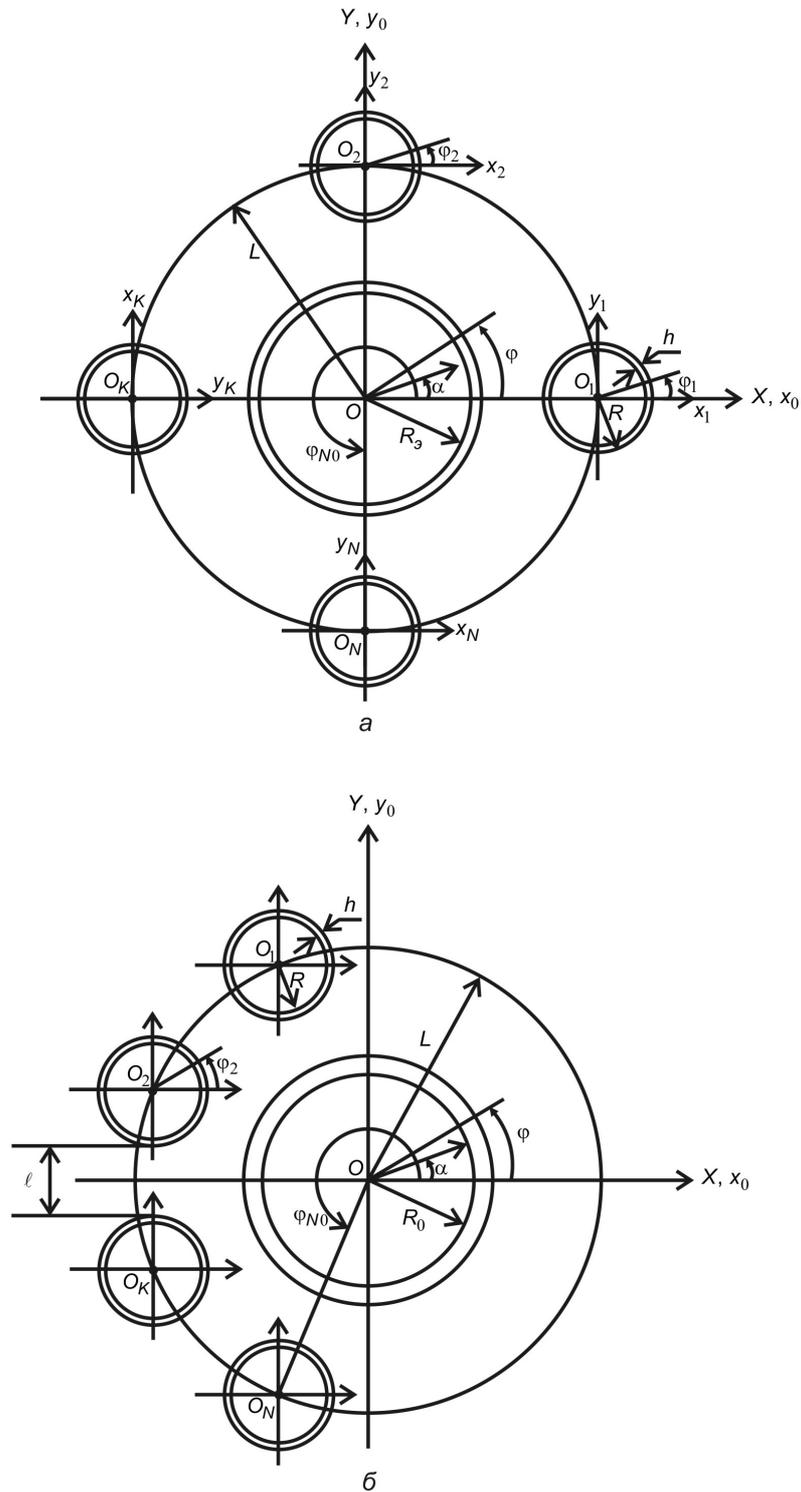


Рис. 1. Нормальное сечение круговой (а) и дуговой (б) решеток, образованных из круговых цилиндрических преобразователей и кругового цилиндрического акустического экрана

Количество членов, учитываемых в разложении полей по цилиндрическим волновым функциям, выбиралось так, чтобы вклад последнего учитываемого члена не превышал 3...4% от суммарного получаемого результата. Системы располагались в жидкости с параметрами $\rho_0 = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ и $c = 1,5 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и возбуждались плоскими волнами с частотами 10 кГц и 4 кГц

(обозначения со штрихом). Для обеспечения возможности сравнения характеристик преобразователей в составе и вне системы на рис. 4 приведены характеристики одиночного преобразователя, расположенного вблизи упругого экрана. Кривые 1 построены для $f = 10$ кГц, кривые 1' – $f = 4$ кГц

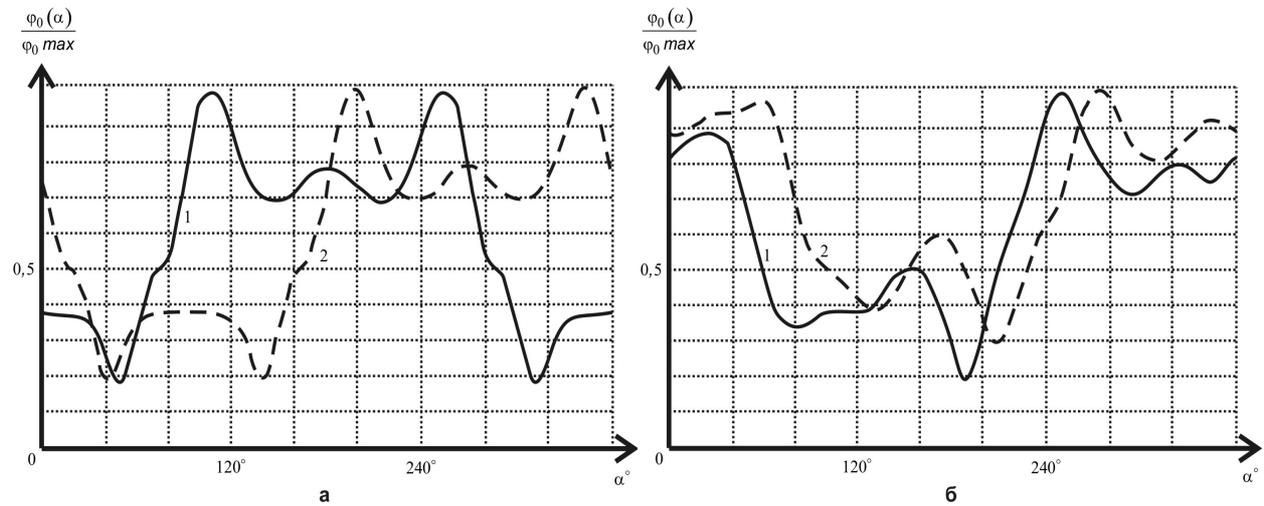


Рис. 2. Угловые зависимости нормализованных электрических напряжений на выходе одиночных преобразователей с номерами $i = 1, 2$ в составе решеток с упругим экраном на частоте 4 кГц от угла прихода α плоских волн: 1 – $i = 1$; 2 – $i = 2$

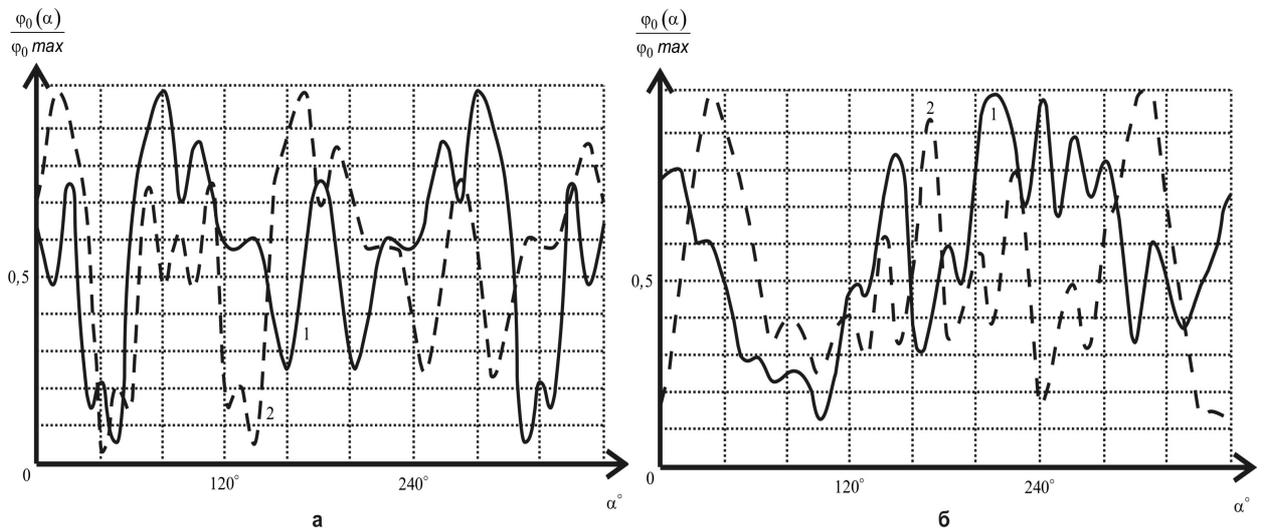


Рис. 3. Угловые зависимости нормализованных электрических напряжений на выходе одиночных преобразователей с номерами $i = 1, 2$ в составе решеток с упругим экраном на частоте 10 кГц от угла прихода α плоских волн: 1 – $i = 1$; 2 – $i = 2$

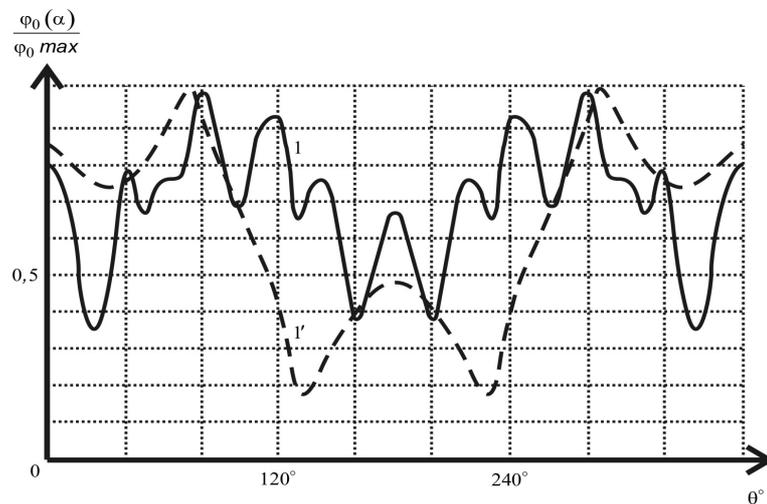


Рис. 4. Угловые зависимости нормализованных электрических напряжений на выходе преобразователя для одиночного преобразователя, расположенного вблизи упругого экрана от угла прихода α плоских волн: 1 – $f = 10 \text{ кГц}$, 1' – $f = 4 \text{ кГц}$

Анализ кривых рис. 2 и рис. 4, показывает, что размещение преобразователей вблизи упругого экрана приводит к возникновению ярко выраженной неоднородности в угловой зависимости электрического напряжения на выходе каждого преобразователя – преобразователи в присутствии упругого экрана на частоте его пульсирующих колебаний приобретают свойство однонаправленности. При этом зона основного лепестка характеризуется большой угловой протяженностью и в $3 \div 3,5$ раза превышает угловую протяженность зоны тыльного лепестка. Влияние взаимодействия преобразователей в круговой системе проявляется в уменьшении уровня тыльного лепестка. При этом в силу симметрии системы характеристики направленности всех преобразователей в составе системы одинаковы. Переход от круговой к дуговой системе преобразователей сопровождается нарушением симметрии характеристик направленности преобразователей в составе систем (рис. 2, б). Однако эти искажения симметричности оказываются меньшими, чем в системах без упругого экрана [2]. С увеличением частоты приходящей плоской волны направленные свойства преобразователей в составе системы теряются. Увеличение частоты обуславливает повышение влияния вторичных волн, многократно отраженных от преобразователей и упругого экрана системы, в формировании волновых полей и систем, и преобразователей, что и проявляется в значительной изрезанности их характеристик направленности.

Выводы

Анализ приведенных результатов свидетельствует о том, что возникновение многократного рассеяния волн непрозрачными для звука телами в криволинейных системах с экраном во внутренней полости обуславливает появление взаимодействия двух видов элементов систем по акустическому полю – взаимодействие между преобразователями и экраном и взаимодействие собственно между преобразователями. Первый вид взаимодействия более сильный и его влияние проявляется во всем исследуемом частотном диапазоне. Влияние второго вида взаимодействия наиболее сильно проявляется в области резонансных частот преобразователей. Установлено, что размещение преобразователей вблизи упругого экрана приводит к появлению ярко выраженной неоднородности в угловой зависимости электрического напряжения на выходе каждого преобразователя. В присутствии упругого экрана на частоте его пульсирующих колебаний преобразователи приобретают свойство однонаправленности.

Литература

1. *Кандрачук И.В.* Расчет звукового поля, формируемого системой цилиндрических пьезокерамических преобразователей и экрана // Системи обробки інформації. – 2008. – № 7. – С. 49–53.
2. *Лейко А.Г., Савин В.Г., Ткаченко В.П., Шамарин Ю.Е.* Закономерности взаимодействия плоской акустической волны с цилиндрической решеткой, состоящей из пьезокерамических преобразователей // Акуст. вісн. – 2000. – Т.3, №1. – С. 51–60.