

ЛИТЕРАТУРА

1. Акустика дна океана/Под ред. Купермана У., Енсена Р. М.: Мир, 1984. 454 с.
2. Фурдеев А. В. Шумы океана // В кн.: Акустика океана/Под ред. Бреховских Л. М. М.: Наука, 1974. 696 с.
3. Ермаков И. Н. Частотный спектр шумового поля в плоскостном волноводе // Акуст. журн. 1986. Т. 32. № 2. С. 264–267.
4. Акустика морских осадков/Под ред. Хэмптона Л. М.: Мир, 1977. 536 с.
5. Hamson R. M. The theoretical responses of vertical and horizontal line arrays to wind-induced noise in shallow water // J. Acoust. Soc. Amer. 1985. V. 78. № 5. P. 1702–1712.
6. Buckingham M. J. A theoretical model of ambient noise in low-loss shallow water channel // J. Acoust. Soc. Amer. 1980. V. 67. № 4. P. 1186–1192.
7. Обозненко И. Л. Пространственная корреляция поверхностного шума в неоднородном по глубине волноводе с потерями // Акуст. журн. 1982. Т. 28. № 2. С. 258–263.
8. Карновский А. М., Логинов К. А., Ривелис Е. А., Фрейман М. Е. Об одной модели шумового поля в волноводе // Акуст. журн. 1981. Т. 27. № 5. С. 752–758.

Воронежский государственный
университет
им. Ленинского комсомола

Поступило в редакцию
14.XI.1986

УДК 534.232

О КОЭФФИЦИЕНТЕ КОНЦЕНТРАЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ КРУГОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Добровольский Ю. Ю., Кошукоев А. В.

Из работы [1] следует, что акустическое взаимодействие электроакустических преобразователей на частоте резонанса их колебательных систем оказывает весьма незначительное влияние на направленные свойства антенн даже при несоблюдении условия, характеризующего независимость преобразователей по полю [2]:

$$z_M + z_n \gg \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^N z_{m,n} (w_m/w_n), \quad n, m \in N, \quad (1)$$

где z_M — внутренний механический импеданс, z_n и $z_{m,n}$ — собственный и взаимный импедансы излучения, w_n — колебательная скорость n -го преобразователя, N — число преобразователей. Вывод, вытекающий из работы [1], основан на результатах исследования направленных свойств линейной антенны. Возможность его обобщения на случай криволинейных и неплоских фазированных антенных решеток неочевидна. Произведем количественную оценку влияния акустического взаимодействия на направленные свойства фазированных круговых цилиндрических решеток с впадинами установленными преобразователями путем сопоставления расчетных значений их коэффициентов концентрации (K) в зависимости от выполнения условия (1). При этом ограничимся относительно большими полуволновыми размерами рабочих поверхностей преобразователей, обуславливая тем самым умеренное проявление акустического взаимодействия. Случай невыполнения условия (1) будем обеспечивать за счет работы на частоте механического резонанса преобразователей $\text{Im } z_M = 0$ и обеспечения малых механических потерь $\text{Re } z_M \ll |z_n|$.

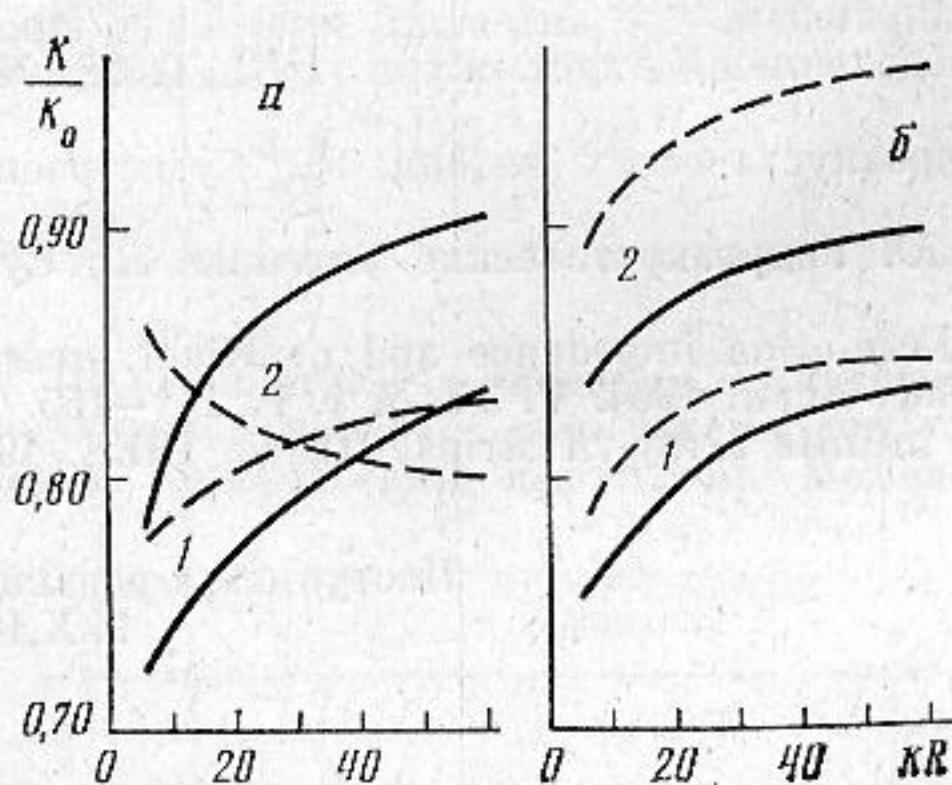
Пусть в антенне используются преобразователи стержневого типа, у которых передняя накладка квадратной формы с площадью s совершает поршневые колебания. Преобразователи размещаются так, что зазоры между ними пренебрежимо малы, а геометрические центры накладок образуют двумерную эквидистантную круговую цилиндрическую решетку с квадратной ячейкой. Предположим также, что $H \gg \lambda$ (H — суммарный размер накладок преобразователей, образующих ряд, ориентированный по образующей цилиндра, λ — длина звуковой волны) и фазирование антенной решетки осуществляется в плоскости, содержащей направляющую цилиндра. В этом случае при вычислении коэффициента концентрации антенны достаточно ограничиться рассмотрением одномерной эквидистантной решетки, состоящей из N протяженных колеблющихся полос, полностью покрывающих цилиндрическую поверхность радиуса R . Каждая полоса имеет длину H и ширину, соответствующую угловому шагу решетки δ . При фазировании антенны в направлении удаленной точки с полярными координатами (r, φ_0) отношение K/K_0 , где K_0 — коэффициент концентрации плоского поршня, равновеликого диаметральному сечению рассматриваемой цилиндрической антенны, определяется как [3]

$$\frac{K}{K_0} = \frac{2(\pi r)^2}{(\rho c k R H)^2 \delta} \frac{\left| \sum_{n=1}^N a_n P_n'(r, \varphi_0) \right|^2}{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N a_n a_m R_{m,n}}, \quad a_n = \frac{w_n}{w_1}, \quad (2)$$

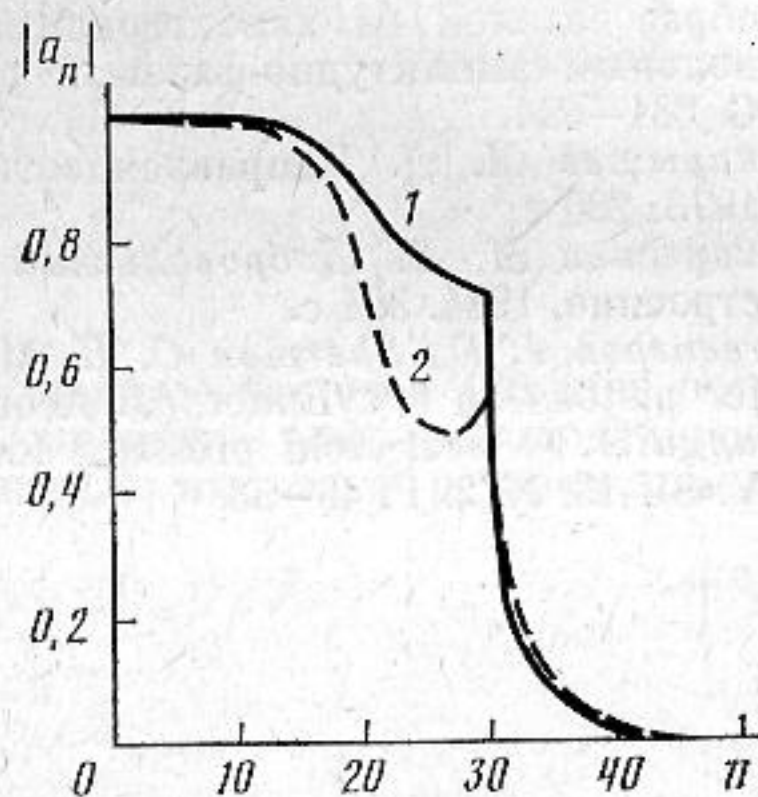
где a_n — коэффициент возбуждения полосы с номером n , $R_{m,n}$ — активная составляющая удельного безразмерного взаимного импеданса излучения бесконечных полос с номерами m и n в жестком цилиндрическом экране [4], ρc — волновое сопротивление среды, $k=2\pi/\lambda$. Звуковое давление, развиваемое полосой с номером n в точке (r, φ_0) при единичной скорости, имеет вид

$$P_n'(r, \varphi_0) = -ik\rho c R H \int_{\varphi_n - \delta/2}^{\varphi_n + \delta/2} G(r, \varphi_0; R, \varphi) d\varphi, \quad (3)$$

где $G(r_0, \varphi_0; R, \varphi)$ — функция Грина, удовлетворяющая уравнению Гельмгольца в граничным условиям Неймана на поверхности цилиндра, φ_n — угол, определяющий



Фиг. 1. Зависимость нормированного коэффициента концентрации от волнового размера антенной решетки: $\eta_{ам}=0,9$; $R\delta=0,5\lambda$; $|U_n|=\text{const}$ (а) и $|U_n|=\cos \varphi_n$ (б); 1 — $2\psi=2\pi/3$; 2 — $2\psi=\pi$



Фиг. 2. Амплитудные распределения коэффициентов: $kR=60$; $R\delta=0,5\lambda$; $2\psi=\pi$; $|U_n|=\text{const}$; 1 — $\eta_{ам}=0,5$; 2 — $\eta_{ам}=0,9$

центр полосы с номером n . Предположим, что прикладываемые электрические напряжения U_n отличны от нуля для тех преобразователей, для которых $\cos(\varphi_0 - \varphi_n) > \cos \psi$, где 2ψ — рабочий сектор антенной решетки, причем $2\psi \leq \pi$. При выполнении условия (1) коэффициенты a_n с точностью до постоянной совпадают с напряжением U_n . В противном случае, при наличии акустического взаимодействия, a_n определяются путем решения системы уравнений относительно неизвестных w_n :

$$\sum_{m=1}^N z_{m,n} w_m + z_M w_n = \Omega U_n, \quad n=1, \dots, N, \quad (4)$$

где Ω — коэффициент электромеханической трансформации. В рассматриваемом случае значительное число преобразователей, располагаемых в центральной части рабочего сектора, имеют акустический импеданс, близкий к $\rho c s$. Поэтому механический импеданс удобно представить в форме [3]

$$z_M = \rho c s \left[\frac{1}{F} \frac{1 - \eta_{ам}}{\eta_{ам}} + i \frac{Q_M}{\eta_{ам}} \left(F - \frac{1}{F} \right) \right], \quad (5)$$

где $F = \omega/\omega_0$ — относительная частота, Q_M , $\eta_{ам}$ и ω_0 — механическая добротность, электроакустический КПД и резонансная частота преобразователя при нагрузке, равной $\rho c s$. Таким образом, при $F=1$ большинство электрически возбуждаемых преобразователей антенной решетки работают на своем резонансе.

Вычисленные в широком диапазоне изменений волновых размеров антенных решеток ($kR=6+3\nu$, $\nu=0, \dots, 18$) значения отношения K/K_0 показаны на фиг. 1 штриховыми и сплошными линиями соответственно для случаев выполнения и невыполнения условия (1). Из фиг. 1 видно, что наличие акустического взаимодействия преобразователей, как правило, приводит к снижению коэффициентов концентрации

антенных решеток. Исключение составляет случай равномерного амплитудного распределения и $2\psi = \pi$, при котором взаимодействие приводит к существенному увеличению коэффициентов концентрации при больших значениях kR . В данном случае, вследствие того что у крайних в рабочем секторе преобразователей угол $|\varphi_0 - \varphi_n|$ близок к прямому, их акустические нагрузки значительно превышают ρcs и имеют существенные и реактивные составляющие, обуславливающие уход их резонансных частот [5]. Это приводит к трансформации равномерного распределения амплитуд U_n в распределение амплитуд a_n , спадающее к краям и приближающееся по виду к косинусоидальному, для которого характерно повышенное значение коэффициента концентрации [2]. Степень изменения амплитудного распределения a_n при разных значениях η_{aM} иллюстрируются фиг. 2. Расчеты K/K_0 , выполненные при $3 \leq Q_M \leq 10$ и изменении F в пределах полосы пропускания преобразователей на уровне 3 дБ применительно к нагрузке ρcs , показывают, что отмеченная закономерность наблюдается и при $F > 1$. В случае $F < 1$ при соблюдении и несоблюдении условия (1) значения K/K_0 сближаются.

Таким образом, расчеты коэффициентов концентрации показывают, что при излучении на частоте механического резонанса даже умеренное акустическое взаимодействие преобразователей в определенных случаях заметно влияет на направленные свойства фазированных круговых цилиндрических антенных решеток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рубанов И. Л. О влиянии взаимодействия резонансных электроакустических преобразователей на характеристику направленности антенной решетки с произвольным амплитудно-фазовым распределением // Акуст. журн. 1982. Т. 28. № 5. С. 681–684.
2. Смаришев М. Д. Направленность гидроакустических антенн. Л.: Судостроение, 1973. 280 с.
3. Смаришев М. Д., Добровольский Ю. Ю. Гидроакустические антенны. Л.: Судостроение, 1984. 304 с.
4. Greenspon J. E., Sherman C. H. Mutual-radiation impedance and nearfield pressure for pistons on a cylinder // J. Acoust. Soc. Amer. 1964. V. 34. № 1. P. 151–155.
5. Mangulis V. Near-field pressure for on infinite array of strips // Trans. IREE. 1966. V. SU-13. № 2. P. 49–53.

Поступило в редакцию
14.X.1987

УДК 534.222

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ СВОБОДНОГО И РАСТВОРЕННОГО ГАЗА В ЖИДКОСТИ

Дружинин Г. А., Михайлов А. А., Токман А. С.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований по параметрическому взаимодействию акустических волн, показывающие возможность определения концентрации свободного и растворенного газа, функции распределения пузырьков по размерам, частотных зависимостей нелинейного параметра и коэффициента поглощения, доложенные 4 июня 1986 г. на выездной научной сессии по комплексной проблеме «Физическая и техническая акустика» в г. Таллине.

В первой серии опытов экспериментально исследовалось осевое распределение амплитуды волны разностной частоты (ВРЧ), в диапазоне от 20 до 50 кГц. Пьезо-керамический преобразователь излучал двухполосный сигнал со средней частотой волн накачки 1,3 МГц. На расстоянии 0,5 м от излучателя помещалась пелена всплывающих водородных пузырьков. Протяженность пелены в направлении распространения волны составляла 0,5 м. Для уменьшения влияния возникающих акустических течений параметрический излучатель работал в импульсном режиме. Было обнаружено, что амплитуда ВРЧ при входе в пелену резко возрастала [1], достигала максимума, затем экспоненциально спадала. По показателю экспоненты определялся коэффициент поглощения ВРЧ. Широкополосность параметрического излучателя позволила измерить поглощение на разных частотах и по частотной зависимости коэффициента поглощения определить распределение пузырьков по размерам. Суммарная объемная концентрация пузырьков составила величину порядка $4 \cdot 10^{-6}$, которая совпала со значением, рассчитанным по низкочастотной скорости звука.

Оценочный расчет осевого распределения амплитуды ВРЧ по формуле (6.17) из [2], учитывающий нелинейные и диссипативные свойства пелены пузырьков, показал хорошее качественное совпадение с результатами описанного выше эксперимента. Поэтому особенности поведения осевого распределения амплитуды ВРЧ мо-