

УДК 534.231

А.Г. Лейко, д.-р. тех. наук, Я.И. Старовойт

Государственное предприятие «Киевский научно-исследовательский институт гидроприборов»,
ул. Сурикова, 3, г. Киев, 03035, Украина.

Физические поля круговых цилиндрических гидроакустических антенн с экраном и цилиндрическими пьезокерамическими излучателями

Методом связанных полей в многосвязных областях решена задача излучения звука круговой цилиндрической антенной, образованной из цилиндрических пьезокерамических излучателей с окружной поляризацией силовой и компенсированной конструкцией и цилиндрического акустически мягкого экрана во внутренней полости. Решение выполнено с учетом взаимодействия электрического, механического и акустического полей при преобразовании электрической энергии в акустическую и взаимодействия излучателей и экрана по акустическому полю в антенне, обусловленного многократным рассеиванием звука на элементах антенны. Получены аналитические выражения, позволяющие выполнять численные расчеты параметров антенн рассматриваемого типа с учетом реальных физических особенностей антенн. Библ. 12, рис. 1.

Ключевые слова: физические поля; цилиндрическая антенна; акустический экран; цилиндрический пьезокерамический излучатель; окружная поляризация.

Введение

В корабельной гидроакустике наиболее широкое применение в качестве антенн основных режимов работы гидроакустических станций нашли цилиндрические гидроакустические антенны [6,2]. Это обусловлено возможностями обеспечения кругового обзора пространства при относительно небольших аппаратных затратах. Цилиндрические антенны устанавливаются на корабле в носовом обтекателе, в том числе бульбовом, в стационарном подкильном обтекателе и в буксируемом или опускаемом теле антенн переменной глубины. Столь широкая область практического использования таких антенн обусловила необходимость разработки методов расчета их параметров и исследования свойств антенн [12,10]. Однако при этом основное внимание уделялось изучению акустических полей, особенно с учетом взаимодействия элементов антенн по акустическому полю, обу-

словленного многократным рассеиванием звука на этих элементах. В то же время гидроакустические антенны характеризуются тем, что они не только формируют распределение акустического поля в окружающем пространстве, но и осуществляют преобразование одного вида энергии в другой, например, электрической энергии в акустическую в режиме излучения. Процесс преобразования энергии обуславливает необходимость учета при разработке антенн еще одного вида взаимодействия, а именно, взаимодействия электрических, механических и акустических полей. В последнее время появился ряд работ [7-9], позволяющих учесть взаимодействие указанных физических полей, но применительно к одиночному излучателю. В то же время функционирование антенны представляет собой единый процесс, при котором подведенная к антенне электрическая энергия преобразуется в излучателе в механическую, механическая – в акустическую, а последняя, распространяясь в окружающем пространстве в виде акустических волн, претерпевает при этом многократное отражение этих волн от всех элементов конструкции антенны и формируется в результате интерференции всех излученных и рассеянных волн в виде определенного распределения в окружающем пространстве. Такой подход для антенных решеток, образованных из вакуумированных многомодовых преобразователей, был впервые рассмотрен в работе [5]. Целью данной статьи является разработка методов расчета круговых цилиндрических антенн с экраном и различным конструктивным исполнением ее цилиндрических излучателей в так называемой «сквозной» постановке, когда величинам электрических напряжений на входе антенны ставятся в соответствие значения давлений в акустическом поле, формируемом антенной.

Постановка задачи

Рассмотрим задачу об излучении звука круговой цилиндрической гидроакустической ан-

тенной (рис.1), образованной из конечного числа цилиндрических пьезокерамических преобразователей силовой или компенсированной конструкций и цилиндрического акустического экрана, расположенного во внутренней полости антенны [3]. Продольные оси преобразователей и экрана параллельны между собой. Каждый из преобразователей представляет собой протяженную герметизированную пьезокерамическую оболочку, внутренняя полость которой вакуумирована или заполнена воздухом при нормальном атмосферном давлении (силовые конструкции) или содержит жидкость или воздух при избыточном давлении (компенсированные конструкции). Пьезокерамические оболочки имеют окружную поляризацию. Электрически все призм $N^{(S)}$ включены параллельно и к ним подведен электрический сигнал вида $\psi^{(s)} = \psi_0^{(s)} e^{-i\omega t}$, где s – текущий номер преобразователя в антенне, $\psi_0^{(s)}$ – амплитуда напряжения, ω – круговая частота возбуждения. Акустический экран выполнен в виде цилиндрической оболочки, облицованной акустически мягким материалом, например, звукоотражающей резиной с закрытыми воздушными порами марок 10087 или 51-1415.

В самом общем виде (рис.1) расчетная модель рассматриваемой антенны может быть представлена при введении следующих допущений.

Будем полагать, что антенна образована из $N+1$ элементов, где N – число излучателей, все элементы антенны являются бесконечно длинными, а свойства излучателей и экрана по их длине – однородными. В техническом смысле такая идеализация обоснована [10]. Антенна размещена в жидкой среде с плотностью ρ и скоростью звука c . Внутри каждого излучателя находится среда с плотностью ρ_S и скоростью звука c_S ($S = 1, \dots, N$). При этом сами излучатели представляют собой тонкие пьезокерамические оболочки, окружная поляризация которых создается параллельным включением жестко склеенных между собой M_S призм, на боковые поверхности которых нанесены тонкие электроды. Продольные оси образующих антенну излучателей расположены вдоль акустического экрана на одинаковом расстоянии R_0 от его продольной оси.

Введем в рассмотрение ряд координатных систем: общую $OXYZ$ и локальные $O_S X_S Y_S Z_S$ прямоугольные системы и связанные с ними круговые цилиндрические системы (R, φ, Z) и (r_S, φ_S, Z_S) . При этом ось OZ совместим с про-

дольной осью экрана, а оси $O_S Z_S$ направим вдоль продольных осей излучателей ($S = 1, \dots, N$) и экрана ($S = N+1$). Ось OX направим вдоль линии $O_{N+1} O_1$ центров экрана и первого излучателя в нормальном сечении антенны плоскостью $Z = 0$, а оси $O_S X_S$ проведем параллельно ей. Обозначим внешний радиус экрана через $r_{2,N+1}$, средние радиусы и толщины излучателей через r_{0S} и h_S соответственно. Условие $\frac{h_S}{r_{0S}} \ll 1$ позволяет при описании движения пьезокерамических оболочек излучателей использовать гипотезы Кирхгофа-Лява.

В соответствии с приведенной расчетной моделью для определения физических полей круговой цилиндрической антенны с экраном необходимо осуществить совместное решение таких дифференциальных уравнений:

- уравнения Гельмгольца, описывающего движение упругих сред (газа или жидкости) внутри и вне излучателей антенны

$$\Delta \phi^{(S)} + k_S \phi^{(S)} = 0, \quad S = 1, \dots, N+1; \quad (1)$$

- уравнения движения [11] тонких пьезокерамических оболочек излучателей с окружной поляризацией в перемещениях

$$(1 + \beta_S) \frac{\partial^2 u^{(s)}}{\partial \varphi_S^2} + \frac{\partial w^{(s)}}{\partial \varphi_S} - \beta_S \frac{\partial^3 w^{(s)}}{\partial \varphi_S^3} = \alpha_S \gamma_S \frac{\partial^2 u^{(s)}}{\partial t^2};$$

$$-\frac{\partial u^{(s)}}{\partial \varphi_S} + \beta_S \left(\frac{\partial^3 u^{(s)}}{\partial \varphi_S^3} - \frac{\partial^4 w^{(s)}}{\partial \varphi_S^4} \right) - w^{(s)} = \quad (2)$$

$$-\frac{e_{33}^{(S)}}{C_{33}^{E(S)}} r_{0S} E_\varphi^{(S)} + \frac{\alpha_S}{h_S} q_r^{(S)} = \alpha_S \gamma_S \frac{\partial^2 w^{(s)}}{\partial t^2},$$

$$S = 1, \dots, N;$$

- уравнений вынужденной электростатики для пьезокерамики S -го излучателя

$$\vec{E}^{(S)} = -\text{grad} \psi^{(S)}; \quad \text{div} \vec{D}^{(S)} = 0, \quad S = 1, \dots, N \quad (3)$$

В выражениях (1-3) приняты: Δ – оператор Лапласа; $\phi^{(S)}$ – акустический потенциал S -го излучателя; k и $k_{(S)}$ – волновые числа сред вне и внутри S -го излучателя; $u^{(s)}$ и $w^{(s)}$ – касательная и нормальная составляющие вектора смещений точек срединной поверхности

$$S \text{ - го излучателя; } \beta_S = \frac{h_S^2}{12r_{0S}} \left(1 + \frac{e_{33}^{(S)2}}{C_{33}^{E(S)} \epsilon_{33}^{S(S)}} \right);$$

$\alpha_S = \frac{r_{0S}^2}{C_{33}^{E(S)}}; q_r^{(S)}$ – внешняя нагрузка S -го излучателя;

$C_{33}^{E(S)}, \epsilon_{33}^{s(S)}, e_{33}^{(S)}$ – соответственно модуль упругости, диэлектрическая проницаемость и пьезо-константа оболочки S - го излучателя; γ_S –

плотность материала S - той оболочки; $\vec{E}^{(S)}$ и $\vec{D}^{(S)}$ – векторы напряженности и индукции электрического поля S - го излучателя.

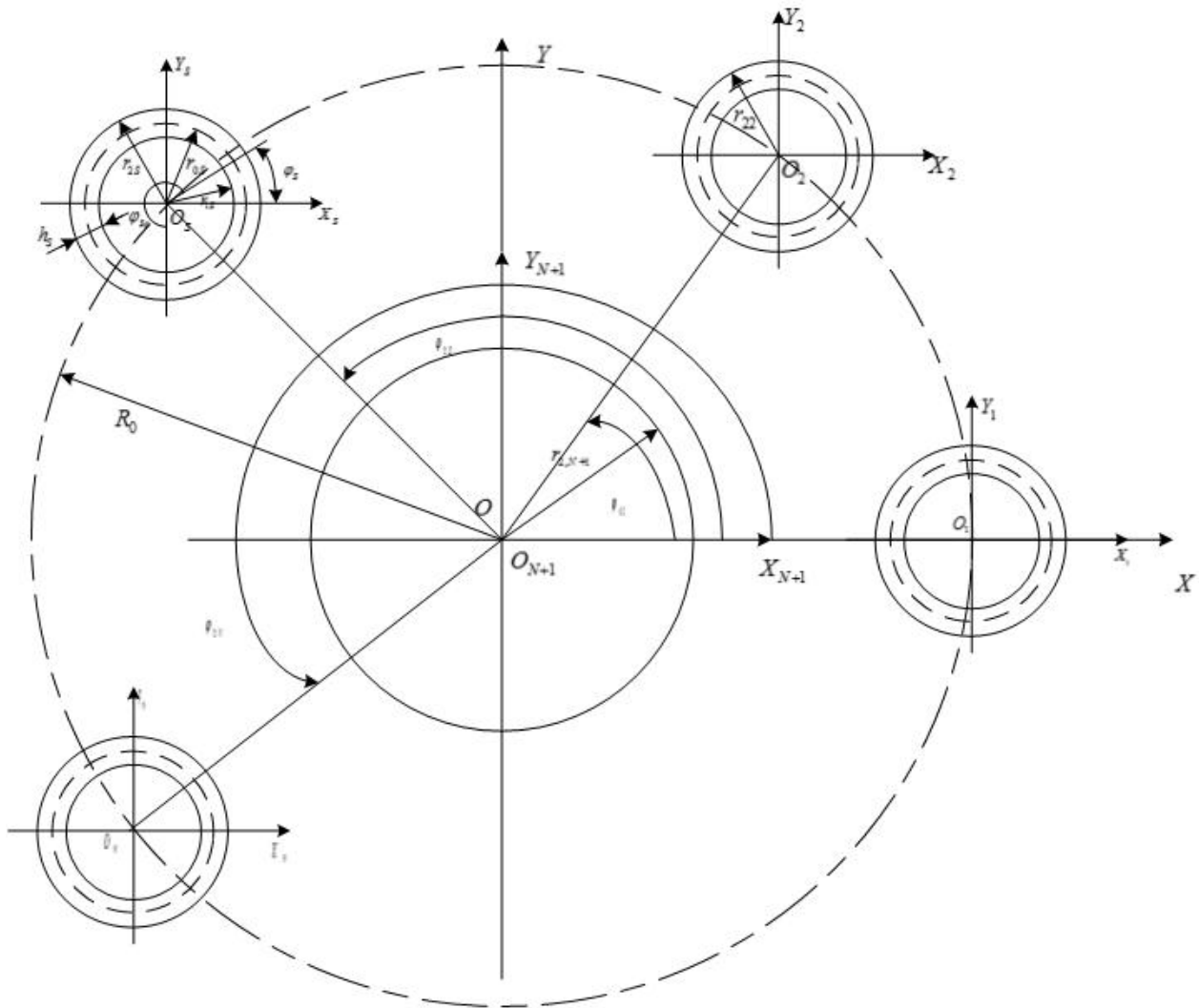


Рис.1. Нормальное сечение круговой цилиндрической антенны с экраном

Область существования звукового поля является многосвязной, поскольку звуковые поля излучателей формируются в двух областях – внешней $\phi_1^{(S)}$ и внутренней – $\phi_2^{(S)}$, а акустического экрана $\phi_1^{(N+1)}$ – только во внешней. Границы областей определяются соотношениями: для внутренних областей $0 \leq |\phi_S| \leq \pi$, $0 \leq r_S \leq r_{1S} = r_{0S} - \frac{h_S}{2}$, $S = 1, \dots, N$; для внешних

областей $0 \leq |\phi_S| \leq \pi$, $r_S \geq r_{2S} = r_{0S} + \frac{h_S}{2}$, $S = 1, \dots, N$; $r_{N+1} > r_{2,N+1}$. С учетом приведенных границ кинематические и динамические условия сопряжения звуковых полей на этих границах принимают вид:

– на поверхностях каждого излучателя выполняются условия равенства скоростей колебаний частиц сред и скоростей нормальных смещений поверхностей излучателей:

$$\frac{\partial \Phi(r_S, \phi_S)}{\partial r_S} = \frac{\partial w^{(S)}}{\partial t}, \quad 0 \leq |\phi_S| \leq \pi, \quad r_S = r_{2S}, \quad S = 1, \dots, N; \quad (4)$$

$$-\frac{\partial \Phi_2^{(S)}(r_S, \varphi_S)}{\partial r_S} = \frac{\partial w^{(S)}}{\partial t}, \quad 0 \leq |\varphi_S| \leq \pi, \quad r_S = r_{1S}, \quad S = 1, \dots, N; \quad (5)$$

где $\Phi_1(r_S, \varphi_S)$ – поле излучения антенны, выраженное в координатах S -го излучателя;

– на поверхности каждого излучателя выполняется условие равенства нормальной составляющей тензора напряжений $\sigma_r^{(S)}$ звуковому давлению, взятому с обратным знаком:

$$\sigma_r = q_r = -(\rho_1 - \rho_2^{(S)}), \quad 0 \leq |\varphi_S| \leq \pi, \\ r_S = r_{2S}, \quad S = 1, \dots, N; \quad (6)$$

где $\rho_1 = \rho \frac{\partial \Phi_1}{\partial t}$ и $\rho_2^{(S)} = \rho_S \frac{\partial \Phi_2^{(S)}}{\partial t}$ – радиационные нагрузки от динамических давлений;

– на поверхности акустически мягкого экрана выполняется равенство нулю звукового давления:

$$\Phi_1^{(N+1)} = 0 \quad 0 \leq |\varphi_{N+1}| \leq \pi, \\ r_{N+1} = r_{2,N+1}; \quad (7)$$

Электрические граничные условия с учетом динамического деформирования S -го цилиндрического излучателя напряжением

$\psi^{(S)} = \psi_0^{(S)} e^{-i\alpha t}$ и уравнений (3) принимают вид:

– напряженность электрического поля в материале пьезокерамической оболочки S -го излучателя при окружной поляризации составляет:

$$E_\varphi^{(S)} = -\frac{\psi_0^{(S)} N_{(S)}}{2\pi r_{0S}} \quad S = 1, \dots, N; \quad (8)$$

– составляющие электрической индукции вдоль радиуса $D_r^{(S)}$, продольной оси $D_Z^{(S)}$ и окружности $D_\varphi^{(S)}$ равны соответственно:

$$D_r^{(S)} = 0; \quad D_Z^{(S)} = 0; \\ D_\varphi^{(S)} = \varepsilon_{33}^{(S)} E_\varphi^{(S)} + e_{33}^{(S)} \left(\frac{1}{r_S} \frac{\partial u^{(S)}}{\partial \varphi_S} + \frac{w^{(S)}}{r_S} \right); \quad (9)$$

Перечисленные условия дополняются условиями излучения на бесконечности и отсутствием особенностей во внутренних полостях каждого из излучателей антенны.

Вывод расчетных соотношений

Для решения сформулированной задачи воспользуемся методом связанных полей в многосвязных областях. Представим перемещения оболочек излучателей, описывающие механические поля излучателей, в виде разло-

жений $u^{(S)}$ и $w^{(S)}$ по собственным формам колебаний оболочек в вакууме:

$$u^{(S)} = \sum_n u_n^{(S)} e^{in\varphi_S}; \quad w^{(S)} = \sum_n w_n^{(S)} e^{in\varphi_S}; \\ S = 1, \dots, N_n; \quad (10)$$

Коэффициенты $u_n^{(S)}$ и $w_n^{(S)}$ позволяют учесть взаимодействие акустических, механических и электрических полей в процессе преобразования электрической энергии в механическую.

Акустические поля антенны, удовлетворяющие уравнению Гельмгольца (1), описываем следующим образом.

Акустическое поле антенны в окружающей ее среде представим в виде суперпозиции полей $\Phi_1^{(S)}$, созданных каждым элементом антенны.

$$\Phi_1 = \sum_{S=1}^{N+1} \Phi_1^{(S)}; \quad (11)$$

При этом все поля $\Phi_1^{(S)}$ должны определяться с учетом взаимодействия всех элементов антенны между собой по акустическому полю, возникающего в результате многократного рассеяния волн на всех элементах антенны. Акустические поля, создаваемые излучателями и экраном во внешней среде, представим разложениями по волновым цилиндрическим функциям, удовлетворяющим условию излучения на бесконечности:

$$\Phi_1^{(S)}(r_S, \varphi_S) = \sum_n A_n^{(S)} H_n^{(1)}(kr_S) e^{in\varphi_S}, \\ S = 1, \dots, N+1 \quad (12)$$

Акустические поля, возникающие при излучении звука во внутренних областях излучателей и не имеющие в них особенностей, можно описать выражениями:

$$\Phi_2^{(S)}(r_S, \varphi_S) = \sum_n B_n^{(S)} J_n(k_2^{(S)} r_S) e^{in\varphi_S}, \\ S = 1, \dots, N \quad (13)$$

В соотношениях (12) и (13): использованы традиционные обозначения цилиндрических функций; через коэффициенты $A_n^{(S)}$ учитывается взаимодействие элементов антенны по аку-

стическому полю, обусловленное многократным рассеянием волн; через коэффициенты $B_n^{(S)}$ учитывается взаимодействие акустических и механических полей каждого излучателя.

Для определения коэффициентов разложения $u_n^{(S)}$, $w_n^{(S)}$, $A_n^{(S)}$ и $B_n^{(S)}$ необходимо использовать соотношения (2), (4) – (6). Подстановка формул (10) в выражение (2) позволяет выразить $u_n^{(S)}$ через $w_n^{(S)}$ в следующем виде:

$$u_n^{(S)} = \frac{i(n + \beta_S n^3)}{(1 + \beta_S)n^2 - \omega^2 \alpha_S \gamma_S} w_n^{(S)} \quad (14)$$

Поскольку входящие в выражение (11) поля $\Phi_1^{(S)}$ заданы в своих локальных координатных системах, соотношения (11) и (12) не могут быть подставлены в граничные условия (4) – (7) и уравнение (3) и требуют представления в локальных координатах того элемента антенны, граничные условия которого используются. Перенос систем координат обеспечивается использованием теорем сложения для волновых

цилиндрических функций [4]. Тогда поле излучения круговой цилиндрической антенны с экраном в локальных координатах S -го элемента антенны может быть описано следующим выражением:

$$\Phi_1(r_S, \varphi_S) = \sum_n A_n^{(S)} H_n^{(1)}(kr_S) e^{in\varphi_S} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq S}}^{N+1} \sum_m A_m^{(q)} \sum_n J_n(kr_S) H_{m-n}^{(1)}(kr_{qS}) e^{i(m-n)\varphi_{qS}} e^{in\varphi_S}; \quad (15)$$

где r_{qS} и φ_{qS} – полярные координаты начала $0_{S/q}$ – той координатной системы в координатах q -той системы.

Подстановка соотношений (8), (13), (14) и (15) в выражения (2), (4) – (6) позволяет на основании свойств полноты и ортогональности систем угловых функций на интервале $[0; 2\pi]$ получить бесконечную систему линейных алгебраических уравнений для определения неизвестных коэффициентов $w_n^{(S)}$, $A_n^{(S)}$ и $B_n^{(S)}$ в следующем виде:

$$\begin{aligned} -B_n^{(S)} J_n'(k_2^{(S)} r_{1S}) + ic_2^{(S)} w_n^{(S)} &= 0, \quad S = 1, \dots, N, \quad n = -\infty, 0, \infty; \\ icw_n^{(S)} - \left[A_n^{(S)} H_n^{(1)'}(kr_{2S}) + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq S}}^{N+1} \sum_m A_m^{(q)} J_n'(kr_{2S}) H_{m-n}^{(1)}(kr_{qS}) e^{i(m-n)\varphi_{qS}} \right] &= 0, \quad S = 1, \dots, N, \quad n = -\infty, 0, \infty; \\ A_n^{(N+1)} H_n^{(1)}(kr_{2, N+1}) + \sum_{q=1}^N \sum_m A_m^{(N+1)} J_n'(kr_{2, N+1}) H_{m-n}^{(1)}(kr_{q, N+1}) e^{i(m-n)\varphi_{q, N+1}} &= 0, \quad n = -\infty, 0, \infty; \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} R_n^{(S)} w_n^{(S)} + \frac{\alpha_S}{h_S} i\omega\rho \left[A_n^{(S)} H_n^{(1)}(kr_{1S}) + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq S}}^{N+1} \sum_m A_m^{(q)} J_n(kr_{2S}) H_{m-n}^{(1)}(kr_{qS}) e^{i(m-n)\varphi_{qS}} \right] - \\ - \frac{\alpha_S}{h_S} i\omega\rho_S B_n^{(S)}(k_2^{(S)} r_{1S}) J_n(k_2^{(S)} r_{1S}) = - \frac{e_{33}^{(S)}}{C_{33}^{E(S)}} \frac{N^{(S)} \psi_0^{(S)} 2\pi}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{in\varphi} d\varphi, \quad S = 1, \dots, N; \quad n = -\infty, 0, \infty. \end{aligned}$$

$$\text{где } R_n^{(S)} = \frac{n^2(1 + \beta_S n^2)^2 - (1 + \beta_S n^4 - \alpha_S \gamma_S \omega^2) [n^2 + \beta_S n^2 - \alpha_S \gamma_S \omega^2]}{(1 + \beta_S)n^2 - \alpha_S \gamma_S \omega^2}$$

Замена в ней неизвестных коэффициентов $A_n^{(S)}$ и $B_n^{(S)}$ новыми $\tilde{A}_n^{(S)}$ и $\tilde{B}_n^{(S)}$ по формулам $\tilde{A}_n^{(S)} = A_n^{(S)} H_n^{(1)'}(kr_{1S})$ и $\tilde{B}_n^{(S)} = B_n^{(S)} J_n'(kr_{2S})$ позволяет преобразовать бесконечную систему (16) к виду квазирегулярной и применить для ее решения метод усечения или метод последовательных приближений.

Бесконечная система (16) является исходной для получения количественных данных о физических полях круговых цилиндрических антенн с экраном и их элементов с учетом взаимодействия полей как при преобразовании электрической энергии в акустическую, так и при распределении акустической энергии в окружающем пространстве.

Выводы

При работе круговых цилиндрических антенн с экраном возникает несколько видов взаимодействий: взаимодействие излучателей антенны со средами, между собой и с экраном при формировании акустического поля в окружающем пространстве и взаимодействие физических полей в излучателях антенны при преобразовании электрической энергии в акустическую. Поэтому учет этих видов взаимодействия в расчетной модели антенны рассматриваемого типа является обязательным для того, чтобы расчетные параметры антенны при выполнении проектных работ соответствовали экспериментально определяемым на реальных образцах таких антенн. С этой целью методом связанных полей в многосвязных областях получены аналитические выражения для определения параметров всех видов взаимодействующих между собой физических полей, принимающих участие в работе реальных круговых цилиндрических антенн с акустическим экраном.

Список использованных источников

1. Гринченко В.Т., Улитко А.Ф., Шульга Н.А., Механика связанных полей в элементах конструкций. Т.5. Электроупругость. – К.: Наук. Думка, 1989. – 280 с.
2. Дерела А.В., Лейко А.Г., Меленко Ю.Я. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Т.7 Комплексная система «гидроакустическое вооружение – надводный корабль». Проблемные аспекты системы «гидроакустическая станция – надводный корабль» с антеннами, размещенными в корпусе корабля. – К.:Изд.дом Дмитрия Бураго, 2014. – 424с.
3. Дідковський В.С., Порошин С.М., Лейко О.Г., Лейко А.О., Дрозденко О.І., Конструювання електроакустичних приладів і систем для мультимедійних акустичних технологій. – Харків: 2013. – 390с.
4. Иванов Е.А. Дифракция электромагнитных волн на двух телах – Минск: Наука и техника, 1968. – 584с.
5. Коржик А.В. Дис. на соискание уч. степ.д.т.н. К., 2012.
6. Корякин Ю.А., Смирнов С.А., Яковлев Г.В. Корабельная гидроакустическая техника: Состояние и актуальные проблемы. Спб.: Наука, 2004. – 410с.
7. Лейко А.Г., Нижник А.И., Старовойт Я.И., Звуковые поля пьезокерамических излучателей с различным пьезоэффектом // Электроника и связь. – 2013. – №5. – с.50-55.
8. Лейко А.Г., Нижник А.И., Старовойт Я.И., Акустические свойства цилиндрических пьезокерамических излучателей силовой и компенсированной конструкции с продольным и поперечным пьезоэффектом // Electronics and communications. – 2013. – №6. – с.62-73.
9. Лейко А.Г., Нижник А.И., Старовойт Я.И., Электрические свойства цилиндрических пьезокерамических излучателей силовой и компенсированной конструкции с окружной поляризацией // Electronics and communications. – 2014. – № 3. – С.62-72.
10. Лейко А.Г., Шамарин Ю.Е., Ткаченко В.А. Подводные акустические антенны. Методы расчета звуковых полей. – К.: Аванпостприм, 2000. – 320с.
11. Савин В.Г., Дидусенко Ю.А. Уравнения движения тонкостенных цилиндрических пьезокерамических преобразователей с окружной поляризацией // КОНСОНАНС-2011. Акустический симпозиум. – 2011. – с.230-235.
12. Смаришев М.Д. Направленность гидроакустических антенн – Л.: Судостроение, 1973. – 277с.

Поступила в редакцию 31 января 2015 г.

УДК 534.231

О.Г. Лейко, д.-р. тех. наук, Я.І. Старовойт

Державне підприємство «Київський Науково-дослідний інститут гідроприладів»,
вул. Сурикова, 3, м. Київ, 03035, Україна

Фізичні поля кругових циліндричних гідроакустичних антен з екраном і циліндричними п'єзокерамічними випромінювачами

За допомогою методу зв'язаних полів в багатозв'язних областях вирішена задача випромінювання звуку круговою циліндричною антеною, яка утворена із циліндричних п'єзокерамічних випромінювачів з окружною поляризацією сигової та компенсованої конструкцій і циліндричного акустич-

но м'якого екрана у внутрішній порожнині. Рішення виконано з урахуванням взаємодії електричного, механічного і акустичного полів при перетворенні електричної енергії в акустичну і взаємодії випромінювачів і екрана по акустичному полю в антені, обумовленого багаторазовим розсіянням звуку на елементах антени. Отримані аналітичні вирази, які дозволяють виконувати чисельні розрахунки параметрів антен обраного типу з урахуванням реальних фізичних особливостей антен. Бібл. 12, рис. 1.

Ключові слова: фізичні поля; циліндрична антена; акустичний екран; циліндричний п'єзокерамічний випромінювач; окружна поляризація.

UDC 534.231

A. Leiko, Dr.Sc., Y. Starovoyt

State enterprise "Kyiv scientific-research institute of hydrodevices",
3, Surikova st., Kyiv, 03035, Ukraine.

Physical fields of circular cylindrical sonar antennas with scattering screen and cylindrical piezoceramic transducers

The problem of sound radiation by circular cylindrical antennas formed from a cylindrical piezoceramic transducers with circular polarization with compensated and uncompensated design and acoustically soft cylindrical scattering screen in the inner cavity has been solved using the related fields method in multiply connected areas. The solution made in consideration of the interaction of electrical, mechanical and acoustic fields in the process of converting electrical energy into acoustical and interaction between the scattering screen and transducers in the acoustic field of the antenna caused by multiple scattering of sound on the antennas elements. The analytical expressions, allows us to provide numerical calculations of the parameters of the antennas of this type with the actual physical features of antennas. Reference 11, figures 1.

Keywords: physical fields; cylindrical antenna; baffle; cylindrical piezoelectric transducer; circumferential polarization.

References

1. Grinchenko, V. T., Ulitko, A. F., Shulga, N. A. (1989). Mechanics related fields in structural elements. Vol.5. Electroelasticity. Kiev, Scientific idea. P. 280. (Rus)
2. Derepa, A. V., Lejko, O. G., Melenko, Y. I. (2014). The basement of military-technical investigations. Theory and applications. Vol. 7. Composite system "hydroacoustic weapon – surface ship. The problem of "hydroacoustic system – surface ship" system with antennas, which placed in the body of the ship". Kiev, "Dmitriy Burago Publishing house". P.424 (Rus)
3. Didkovski, V. S., Poroshin, S. M., Leiko, O. G., Leiko, A. O., Drozdenko, O. I. (2013). Construction of electroacoustic devices and systems for multimedia acoustic technologies. Kharkiv, P.390 (Ukr)
4. Ivanov, E. A. (1968). Diffraction of electromagnetic waves on two bodies. Minsk, Science and technics. P. 584 (Rus)
5. Korzhik, A. V. (2012). Dissertation for the scientific degree doctor of science
6. Koryakin, Y. A., Smirnov, S. A., Yakovlev, G. V. (2004). Hydroacoustic ship-based technics: state and actual problems. SPb, Science. P. 410. (Rus).
7. Leiko, A. G., Nyzhnyk, A. I., Starovoyt, Y. I. (2013). Sound fields of piezoceramic emitters with different piezoelectric effect. Electronics and Communication. №5. pp. 50-55. (Rus).
8. Leiko, A. G., Nyzhnyk, A. I., Starovoyt, Y. I. (2013). Acoustic properties of cylindrical piezoceramic emitters with power and compensated design with longitudinal and transverse piezoelectric effect. Electronics and Communication. №6. pp. 62-73. (Rus).
9. Leiko, A. G., Bogdanova, N. V., Nyzhnyk, A. I., Starovoyt, Y. I. (2014). Electrical properties of cylindrical piezoceramic emitters with power and compensated design with circumferential polarization. Electronics and Communication. №3. pp. 62-72. (Rus).
10. Leiko, O. G., Shamarin, Y. E., Tkachenko, V. P. (2000). Underwater electroacoustic equipment and devices. Vol. 1. Underwater sonars. Sound fields computing methods. Kiev, P. 320. (Rus).
11. Savin, V. G., Didusenko, Y. A. (2011). The equations of motion of thin-walled cylindrical piezoelectric transducers with a circumferential polarization. Consonance-2011, Acoustic Symposium. pp. 230-235. (Rus).
12. Smarishev, M. D. (1973). Directionality of sonars. Sudostoenie, P. 277.