

УДК 534.231

А.Г. Лейко, д.-р. тех. наук, **А.О. Святненко**

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

О физических полях плоских гидроакустических антенн, образованных из цилиндрических излучателей с жесткими экранами во внутренней полости

Решена задача одностороннего излучения звука плоской гидроакустической антенной, образованной из конечного числа излучателей, каждый из которых выполнен из водозаполненной круговой цилиндрической пьезокерамической оболочки и несимметрично размещенного внутри нее кругового цилиндрического акустического экрана жесткого типа. Полученное решение «сквозной» задачи позволяет определять количественные значения связанных между собой электрических, механических и акустических полей излучателей и антенн в целом. Библ. 6, рис. 1.

Ключевые слова: физические поля; плоская антенна; цилиндрический пьезокерамический излучатель; внутренний жесткий экран.

Введение

Известно [1], что 90% всей информации о наличии и свойствах подводных объектов, находящихся в морской среде, располагается на различных морских горизонтах. Поэтому для её получения необходимо использовать гидроакустическую аппаратуру, в состав которой входят подводные акустические антенны, параметры которых не изменяются или мало изменяются при изменении глубины размещения антенн. Необходимость технической реализации таких антенн сопряжена с поиском путей построения гидроакустических преобразователей и экранирующих устройств, технические характеристики которых не зависят от воздействия гидростатического давления. Проблему глубоководных гидроакустических преобразователей удалось решить созданием компенсированных конструкций их [2], в которых активные пьезокерамические элементы преобразователей, критичные к условиям растяжения, помещены в условия всестороннего сжатия. Одним из наиболее простых конструктивных вариантов построения цилиндрических преобразователей компенсированного типа являются так называемые водозаполненные конструкции, в которых внутренняя полость преобразователя заполняется внешней

средой. Проблема глубоководных акустических экранирующих конструкций наиболее просто решается путем выполнения их из цельных металлических материалов, например, серого чугуна, не подверженных влиянию гидростатического давления. Однако такой подход имеет один существенный недостаток, состоящий в значительном увеличении массы экранирующей конструкции, хотя при этом заданные акустические характеристики антенны могут быть обеспечены в полном объеме.

Одним из возможных путей уменьшения указанного недостатка является идея формирования однонаправленного излучения цилиндрического преобразователя путем размещения в его внутренней полости, заполненной внешней средой, экранирующего устройства и смещении его центральной оси относительно продольной оси цилиндрического излучателя [3]. Представляется, что реализация этой идеи с использованием цилиндрического пьезокерамического водозаполненного преобразователя и цилиндрического цельного металлического акустического экрана может существенно упростить техническую реализацию глубоководных гидроакустических антенн.

Целью данной работы является получение расчетных соотношений, позволяющих выполнять количественные оценки параметров всех физических полей, принимающих участие в работе глубоководных антенн рассматриваемого типа, применительно к плоским конфигурациям таких антенн.

Постановка задачи

Определим аналитические соотношения, описывающие акустические, механические и электрические поля рассматриваемой глубоководной гидроакустической антенны и её излучателей. Антенна представляет собой плоскую решетку, образованную из конечного числа N круговых цилиндрических пьезокерамических излучателей компенсированной конструкции. (рис.1). Каждый излучатель выполнен в виде

водозаполненной конструкции и содержит сегментированную пьезокерамическую оболочку 1, акустический экран 2 в виде металлического цилиндра, сдвинутого относительно продольной оси излучателя 1 и заполненной внешней средой щели 3 между внутренней поверхностью оболочки 1 и экраном 2. Боковые поверхности сегментов-призм оболочки в количестве M_s электродированы. Электрически все призмы включены параллельно и к ним подведено гармоническое электрическое напряжение Ψ_s частотой ω и амплитудой Ψ_{0s} вида

$$\Psi_s = \Psi_{0s} e^{-i\omega t} \quad (1)$$

Введем ряд допущений. Будем полагать, что излучатели представляют собой бесконечно длинные цилиндрические оболочки средним радиусом r_{0s} и толщиной $h_s, s = 1, \dots, N$. Внут-

ренние полости оболочек заполнены жидкими средами со скоростью звука c_s и плотностью $\rho_s, s = 1, \dots, N$. Внутри оболочек расположены акустически жесткие экраны в виде круговых сплошных цилиндров радиусами $a_{0s}, s = 1, \dots, N$. Продольные оси экранов параллельны продольным осям излучателей и сдвинуты относительно них на расстояние d_s и угол $\Theta_{0s}, s = 1, \dots, N$. Глубоководная антенна расположена в среде С плотностью ρ и скоростью звука c . Продольные оси её излучателей параллельны и лежат в одной плоскости на расстояниях $l_{s-1,s}$ друг от друга. Считаем, что $\frac{h_s}{r_{0s}} \ll 1$, что позволяет при описании движения оболочек излучателей пользоваться гипотезами Кирхгофа-Лява [4].

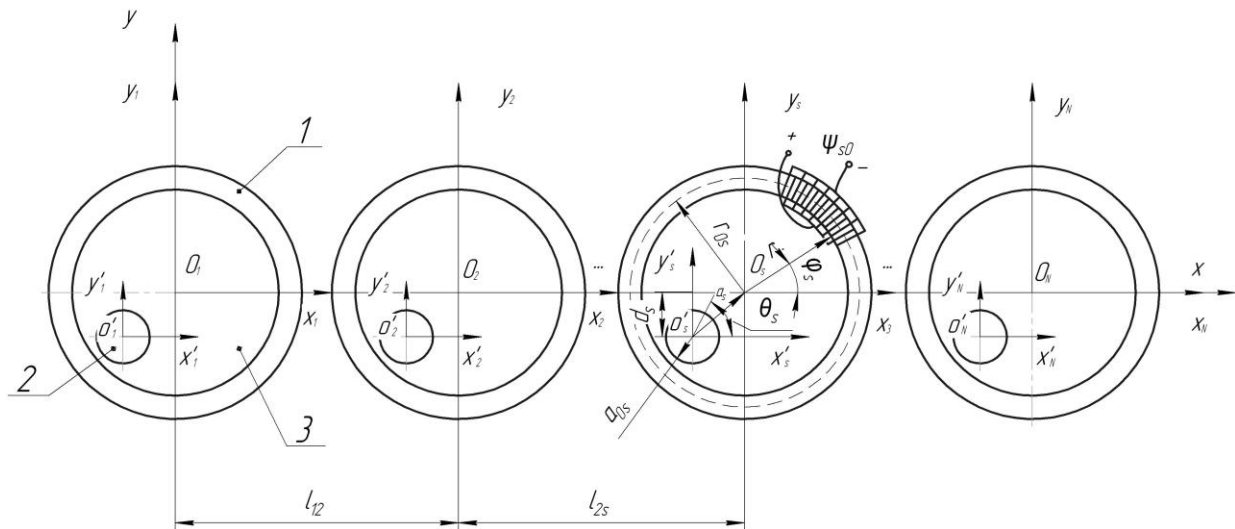


Рис. 1. Нормальное сечение глубоководной антенны

Введенные для решения задачи общая OXYZ и локальные $O_s X_s Y_s Z_s$ и $O'_s X'_s Y'_s Z'_s$ прямоугольные координатные системы и связанные с ними общая (r, φ, z) и локальные (r_s, φ_s, z_s) и (a_s, Θ_s, z_s) круговые цилиндрические координаты представлены на (рис.1).

Искомые физические поля глубоководной антенны могут быть определены путем совместного решения системы дифференциальных уравнений, состоящей для s-го излучателя антенны из:

- уравнения движения тонких пьезокерамических оболочек излучателей с окружной поляризацией в перемещениях:

$$\begin{aligned} (1 + \beta_s) \frac{\partial^2 U_s}{\partial \varphi_s^2} + \frac{\partial W_s}{\partial \varphi_s} - \beta_s \frac{\partial^3 W_s}{\partial \varphi_s^3} &= \alpha_s \gamma_s \frac{\partial^2 U_s}{\partial t^2}; \\ -\frac{\partial U_s}{\partial \varphi_s} + \beta_s \left(\frac{\partial^3 U_s}{\partial \varphi_s^3} - \frac{\partial^4 W_s}{\partial \varphi_s^4} \right) - W_s + \frac{e_{33s}}{c_{33s}} r_{0s} E_{\varphi_s} + \frac{\alpha_s}{h_s} q_{rs} &= \alpha_s \gamma_s \frac{\partial^2 W_s}{\partial t^2}, \end{aligned} \quad (2)$$

- уравнения Гельмгольца, описывающего движение сред внутри и вне излучателей системы:

$$\Delta \Phi_{is} + k_{is} \Phi_{is} = 0, \quad (3)$$

- уравнений вынужденной электростатики для пьезокерамики:

$$\vec{E}_s = -\text{grad} \Psi_s; \text{div} \vec{D}_s = 0 \quad (4)$$

Здесь \vec{E}_s и \vec{D}_s - векторы напряженности и индукции электрического поля s-го излучателя; Δ - оператор Лапласа; Φ_{is} - потенциал скорости s-го излучателя внутри $\Phi_{is} = \Phi_{1s}$ и вне $\Phi_{is} = \Phi_s$ его; K_{is} - волновые числа сред внутри $k_{is} = K_s$ и вне $k_{is} = k$ s-го излучателя; U_s и W_s - окружная и нормальная составляющие вектора смещений точек срединной поверхности пьезокерамической оболочки s-го излучателя;

$\beta_s = \frac{h_s^2}{12r_{0s}^2} (1 + \frac{e_{33s}^2}{C_{33s}^E \epsilon_{33s}^0})$; $\alpha_s = \frac{r_{0s}^2}{C_{33s}^E}$; q_{rs} - внешняя радиационная нагрузка s-го излучателя; $C_{33s}^E, \epsilon_{33s}^0, e_{33s}, \gamma_s$ - соответственно модуль упругости при нулевой электрической напряженности, диэлектрическая проницаемость при нулевой деформации, пьезоконстанта и плотность материала пьезокерамической оболочки s-го излучателя.

Для обеспечения возможности решения системы дифференциальных уравнений (2)-(4) разобьем всю многосвязную область существования физических полей антенны на ряд частичных областей, определив их границы следующим образом. Для внешней области (область I) границы определяются выражениями:

$$0 \leq \varphi_s \leq \pi; r_s \geq r_{1s} = r_{0s} + \frac{h_s}{2}. \text{ Во внутренней области}$$

каждого s-го излучателя антенны выделим две подобласти - подобласть II, занятую жидкостью с параметрами $\rho_s c_s$ имеющую границы

$$0 \leq \varphi_s \leq \pi; r_s \leq r_{2s} = r_{0s} - \frac{h_s}{2}, \text{ и подобласть}$$

III, занятую внутренним экраном с границами $0 \leq \theta_s \leq \pi; 0 \leq a_s \leq a_{0s}$. Тогда кинематические и динамические условия сопряжения полей на границах раздела областей приобретут вид:

$$-\frac{\partial \phi_1}{\partial r_s} = \frac{\partial W_s}{\partial t}, r_s = r_{1s}, 0 \leq \varphi_s \leq \pi;$$

$$-\frac{\partial \phi_2^{(s)}}{\partial r_s} = \frac{\partial W_s}{\partial t}, r_s = r_{2s}, 0 \leq \varphi_s \leq \pi; \quad (5)$$

$$\sigma_{rs} = -q_{rs} = -(\rho \frac{\partial \phi_1}{\partial t} - \rho_s \frac{\partial \phi_2^{(s)}}{\partial r_s}), 0 \leq \varphi_s \leq \pi;$$

$$s = 1, \dots, N,$$

где Φ_1 - потенциал скорости полного поля излучения антенны; σ_{rs} - нормальная составляющая тензора механических напряжений в пьезокерамике s-го излучателя.

В каждом излучателе на общей границе областей II и III для акустически жесткого экранирующего устройства должно выполняться условие:

$$-\frac{\partial \phi_2^{(s)}}{\partial a_s} = 0, a_s = a_{1s}, 0 \leq \theta_s \leq \pi, s = 1, \dots, N. \quad (6)$$

Электрические условия задачи при динамическом деформировании излучателей антенны напряжением Ψ_s для каждого s-го излучателя антенны ($s=1, \dots, N$) включают:

- задание напряженности электрического поля в i-той пьезокерамической призме оболочки в виде:

$$E_{\varphi s}^{(i)} = -\frac{\Psi_{0s} M_s}{2\pi r_{0s}}; \quad (7)$$

- определение в соответствии с [5] радиальной $D_{rs}^{(j)}$, осевой $D_{zs}^{(j)}$ и окружной $D_{\varphi s}^{(j)}$ составляющих электрической индукции при окружной поляризации в цилиндрической пьезокерамической оболочке для j-той призмы выражениями:

$$D_{rs}^{(j)} = 0; D_{zs}^{(j)} = 0 \text{ и } D_{\varphi s}^{(j)} = \epsilon_{33s}^{0(j)} E_{\varphi s}^{(j)} + e_{31s}^{(j)} (\epsilon_{rs}^{(j)} + \epsilon_{zs}^{(j)} + e_{33s}^{(j)} E_{\varphi s}^{(j)}), \quad (8)$$

$$\text{где } \epsilon_{rs}^{(j)} = \frac{\partial W_s}{\partial r_s}, \quad \epsilon_{zs}^{(j)} = 0, \quad \epsilon_{\varphi s}^{(j)} = \frac{1}{r_s} * \frac{\partial U_s}{\partial \varphi_s} + \frac{W_s}{r_s},$$

$e_{31s}^{(j)}$ - пьезоконстанта.

Перечисленные условия дополняются условиями излучения на бесконечности.

Выводы расчетных соотношений

Для решения сформулированной задачи воспользуемся методом связанных полей в многосвязных областях.

Перемещения пьезокерамических оболочек излучателей, описывающих их механические поля, представим в виде разложений U_s и W_s по собственным формам колебаний оболочек в вакууме:

$$U_s = \sum_{n=-\infty}^{\infty} U_n^{(s)} e^{in\varphi_s}; W_s = \sum_{n=-\infty}^{\infty} W_m^{(s)} e^{in\varphi_s}. \quad (9)$$

Акустическое поле плоской антенны в окружающей среде представим в виде суперпозиции полей Φ_{1s} , создаваемые каждым элементом антенны:

$$\Phi_I = \sum_{s=1}^N \Phi_I^{(s)} \quad (10)$$

При этом при определении акустических полей $\Phi_I^{(s)}$ излучателей антенны необходимо учитывать взаимодействие из всех между собой, возникающее вследствие многократного обмена энергией между излучателями в антенне.

Во внешней среде акустическое поле каждого излучателя может быть представлено разложениями в ряды по волновым цилиндрическим функциям, удовлетворяющим условию излучения на бесконечности:

$$\Phi_I^{(s)}(r_s, \varphi_s) = \sum_n A_n^{(s)} H_n^{(1)}(kr_s) e^{in\varphi_s} \quad (11)$$

Во внутренних областях излучателей необходимо использовать два граничных условия: условие (6) на поверхности экрана и условие (5) на внутренней поверхности пьезокерамической оболочки каждого излучателя. Учитывая, что во внутренних областях заданы две координатные системы, представим акустические поля $\Phi_2^{(s)}$ внутри каждого излучателя разложениями по волновым цилиндрическим функциям этих систем [3].

$$\Phi_I(r_s, \varphi_s) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n^{(s)} H_n^{(1)}(kr_s) e^{in\varphi_s} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq s}}^N \sum_m A_m^{(q)} \sum_n H_{m-n}^{(1)}(kl_{qs}) J_n(kr_s) e^{i(m-n)\varphi_{qs}} e^{in\varphi_s};$$

$$\Phi_2^{(s)}(r_s, \varphi_s) = \sum_n \sum_m [B_n^{(s)} J_m(k_1 r_s) + C_n^{(s)} N_m(k_1 r_s)] J_{n-m}(k_1 l_{O_s O_s}) e^{i(n-m)\varphi_{O_s O_s}} e^{in\varphi_s}, \quad (15)$$

$$s = 1, \dots, N.$$

В системе координат $O'_s X'_s Y'_s Z'_s$ акустическое поле в произвольной точке М можно записать в виде:

$$\Phi_2^{(s)}(a_s, \Theta_s) = \sum_n [B_n^{(s)} J_n(k_1 a_s) + C_n^{(s)} N_n(k_1 a_s)] e^{im\Theta_s}; \quad (12)$$

В системе координат $O_s X_s Y_s Z_s$ акустическое поле в этой же точке М можно представить выражением, полученным в результате переноса систем координат с центрами O'_s в системы координат с центрами O_s . Перенос систем координат и во внешней области антенны, и во внутренних областях излучателей осуществляется с помощью теорем сложения [6] для внешней среды:

$$H_m^{(1)}(kr_q) e^{im\varphi_q} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} H_{m-n}^{(1)}(kl_{qs}) J_n(kr_s) e^{i(m-n)\varphi_{qs}} e^{in\varphi_s}, \quad (13)$$

если $l_{qs} > r_{1s}$, и для внутренних сред излучателей:

$$J_n(k_1 a_s) e^{in\Theta_s} = \sum_m J_{n-m}(k_1 l_{O'_s O_s}) J_m(k_1 r_s) e^{i(n-m)\varphi_{O_s O_s}} e^{im\varphi_s}, \quad (14)$$

если $l_{O_s O_s} < r_s$.

В формулах (13) и (14) через $l_{qs}, l_{O'_s O_s}, \varphi_{qs}, \varphi_{O_s O_s}$ обозначены полярные координаты начала O_s в системах с началами O_q и O'_s соответственно.

В выражениях (11)-(14) использованы традиционные обозначения круговых цилиндрических функций. С учетом соотношений (13)-(14) выражения (10) и (12) для полного акустического поля антенны во внешней области и акустических полей во внутренних областях её излучателей, представленные в локальных координатах с центрами $O_s, s=1, \dots, N$, приобретают вид:

Подстановка соотношений (7),(9),(12) и(15) в выражения (2),(4)-(6) позволяет на основании свойств полноты и ортогональности систем угловых функций $e^{in\varphi_s}$ на интервале $[0,2\pi]$ полу-

чить бесконечную систему линейных алгебраических уравнений для определения неизвестных коэффициентов разложений $W_n^{(s)}, A_n^{(s)}$ и $C_n^{(s)}$ в виде:

$$\begin{aligned}
 & A_n^{(s)} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq s}}^N \sum_m A_m^{(q)} \frac{J'_n(kr_{1s})}{H_n^{(1)'}(kr_{1s})} H_{m-n}^{(1)}(kl_{qs}) e^{i(m-n)\varphi_{qs}} = ic \frac{W_{ns}}{H_n^{(1)'}(kr_{1s})}; \\
 & W_m^{(s)} + \frac{i}{c_{1s}} \sum_n B_n^{(s)} \left[J'_m(k_{1s} r_{2s}) - \frac{J'_n(k_{1s} a_{0s})}{N'_n(k_{1s} a_{0s})} N'_m(k_{1s} r_{2s}) \right] J_{m-n}(k_{1s} l_{O'_s O_s}) e^{i(n-m)\Theta_{O'_s O_s}} = 0; \\
 & W_n^{(s)} R_{ns} + \frac{i\omega\alpha_s}{h_s} \left\{ \begin{aligned} & \rho A_n^{(s)} H_n^{(1)}(kr_{1s}) + \rho \left[\sum_{\substack{q=1 \\ q \neq s}}^N \sum_m A_m^{(q)} H_{m-n}^{(1)}(kl_{qs}) J_n(kr_s) e^{i(m-n)\varphi_{qs}} - \right. \\ & \left. - \rho_s \sum_m B_m^{(s)} \left[J_n(k_{1s} r_{2s}) - \frac{J'_m(k_{1s} a_{0s})}{N'_m(k_{1s} a_{0s})} N_n(k_{1s} r_{2s}) \right] \times \right. \\ & \left. \left. \times J_{m-n}(k_{1s} l_{O'_s O_s}) e^{i(m-n)\Theta_{O'_s O_s}} \right] \right\} = \\
 & = \frac{e_{33s}}{C_{33s}^E} \times \frac{\Psi_{0s} M_s}{2\pi} Q_n^{(s)}; \tag{16}
 \end{aligned}
 \right.
 \end{aligned}$$

$$S = 1, \dots, N; n = -\infty, 0, \infty; m = -\infty, 0, \infty;$$

$$\text{где } R_{ns} = \frac{-\omega^4 \alpha_s^2 \gamma_s^2 + \omega^2 \alpha_s \gamma_s (1 + n^2)(1 + \beta_s n^2) + \beta_s n^2 (2 - n^2)}{(1 + \beta_s) n^2 - \omega^2 \alpha_s \gamma_s};$$

$$Q_n^{(s)} = \int_0^{2\pi} e^{-in\varphi_s} d\varphi_s = \begin{cases} 2\pi & \text{при } n = 0; \\ 0 & \text{при } n \neq 0. \end{cases}$$

Регуляризация бесконечной системы уравнений (16) может быть произведена путем замены коэффициентов $A_n^{(s)}$ и $B_m^{(s)}$ новыми неизвестными по формулам $\tilde{A}_n^{(s)} = A_n^{(s)} H'_n(kr_{1s})$ и $\tilde{B}_m^{(s)} = B_m^{(s)} J'_m(k_{1s} r_{2s})$.

Полученные при решении бесконечной системы уравнений (16) коэффициенты разложения полей позволяют рассчитать количественные параметры всех физических полей гидроакустической антенны с учетом всех видов взаимодействия колебаний, возникающих при работе антенны.

Механические поля излучателей антенны, рассчитываются по формулам (16) и (9). Для определения акустических полей антенны, используются в ближней зоне выражения (16) и (15), а в дальней зоне – соотношения (16) и

$$\Phi_{1D}(r_D, \varphi) = \sum_{s=1}^N e^{ik l_{0s} \cos \varphi} \sum_n A_n^{(s)} e^{in\varphi}, \text{ где } l_{0s} -$$

расстояние между продольными осями излучателей с номерами $s=0$ и s , $\varphi = \varphi_s$ для всех s .

При отыскании выражений, описывающих электрические поля в цепях возбуждения излучателей антенны, учтем следующее. Из физических соображений ясно, что размещение круговых цилиндрических излучателей в составе плоской антенны и несимметричное расположение экранов внутри излучателей нарушают радиальную симметрию их радиационной нагрузки и, как следствие, радиальную симметрию механических колебаний пьезокерамических оболочек излучателей. Поэтому величина тока возбуждения в цепи каждой из M_s параллельно соединенных пьезокерамических призм s -го излучателя будет привязана к угловому положению этих призм в оболочке излучателя. Тогда выражение для полного тока $I^{(s)}$ в цепи возбуждения s -го излучателя с окружной поляризацией рассматриваемой антенны приобретает вид:

$$I^{(s)} = S_{3n}^{(s)} \frac{\partial D_{\varphi_s}^{(j)}}{\partial t}, \tag{17}$$

где $S_{эл}^{(s)}$ - площадь электрода, нанесенного на плоскую поверхность пьезокерамической призмы s -го излучателя. Выполнив ряд преобразований выражения (17) с учетом соотношений

$$I^{(s)} = -i\omega S_{эл}^{(s)} \left\{ -\varepsilon_{33s}^0 \frac{\Psi_{0s} M_s^2}{2\pi r_{0s}} + \frac{e_{33s}}{r_{0s}} \sum_{j=1}^{M_s} \left[\sum_n in U_n^{(s)} e^{\frac{in2\pi j}{M_s}} + \sum_n W_n^{(s)} e^{\frac{in2\pi j}{M_s}} \right] \right\}.$$

Анализ последнего выражения показывает, что полный электрически ток в цепи возбуждения каждого пьезокерамического излучателя антенны представляет собой сумму двух составляющих тока – ёмкостной и динамической. Входной электрический импеданс излучателей определяется законом Ома.

Выводы

Одним из возможных вариантов технической реализации однонаправленной глубоководной гидроакустической антенны может быть построение её из круговых цилиндрических излучателей в виде водозаполненных пьезокерамических оболочек с несимметрично размещёнными внутри них цилиндрическими экранирующими конструкциями жесткого типа. Для обеспечения выполнения расчетов параметров таких антенн при их проектировании строгим методом связанных полей в многосвязных областях получены аналитические выражения, позволяющие определить количественные значения параметров электрических, механических и акустических полей антенн и их излучателей. При этом учитываются как геометрические и физические свойства конструкций излучателей и антенн, так и особенности процессов, возникающих при их работе, а именно взаимодействие физических полей в процессе преобразования энергии и взаимодействие пьезокерамических оболочек и экранирующих конструкций внутри излучателей антенн и самих излучателей между собой в составе антенн.

(7)-(9), формула для расчета величины электрического тока в цепи возбуждения s -го излучателя антенны может быть представлена в виде:

Список использованных источников

1. Дерепя А.В., Лейко А.Г., Меленко Ю.Я., Основы военной-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 Бурого, 2014-424С.
2. 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: ФЛП Амелянчук, 2013 -390с.
3. Vovk I.V., Oliynik V.N., Sound radiation by cylindrical piezoelastic shell with asymmetric insertion //JASA-1996. - v.99,N1 - p.133-138.
4. Гольдвейзер А.Л. Теория тонких упругих оболочек. -М: Наука, 1976-512с.
5. Гринченко В.Т., Улитко А.Ф., Шульга Н.А. Механика связанных полей в элементах конструкций. т.5. Электроупругость. -К: Наукова думка, 1989- 280с.
6. Иванов Е.А. Дифракция электромагнитных волн на двух телах. - Минск: Наука и техника, 1968. - 584с.

Поступила в редакцию 23 сентября 2016 г.

УДК 534.231

О.Г. Лейко, д.-р. тех. наук, А.О. Святненко

Державне підприємство «Київський науково-дослідний інститут гідроакустичних приладів»,
вул. Сурикова, 3, м. Київ, 03035, Україна.

Про фізичні поля плоских гідроакустичних антен, утворених з циліндричних пьезокерамічних випромінювачів з жорсткими екранами у внутрішній порожнині

Розв'язана задача одностороннього випромінювання звуку плоскою гідроакустичною антенною, утвореною з кінцевого числа випромінювачів, кожен з яких виконаний із водозаповненої кругової

циліндричної п'єзокерамічної оболонки і несиметрично розміщеного всередині неї кругового циліндричного акустичного екрану жорсткого типу. Отримане рішення «наскрізної» задачі дозволяє визначати кількісні значення пов'язаних між собою електричних, механічних і акустичних полів випромінювачів і антен в цілому. Бібл. 6, рис. 1.

Ключові слова: фізичні поля; плоска антена; циліндричний п'єзокерамічний випромінювач; внутрішній жорсткий екран.

UDC 534.231

A. Leiko, Dr.Sc., A. Sviatnenko

State Enterprise Kiyv Scientific Research Institute of Hydrodevices,
st. Surikova, 3, Kiev, 03035, Ukraine.

About the physical fields of plane sonar antennas formed from a cylindrical piezoelectric with tough screens in the inner cavity

Flat sonar antenna solve the problem of one-sided sound radiation, formed from a finite number of emitters, each of which is made of water-filled circular cylindrical shell of piezo ceramic asymmetrical placed inside a circular cylindrical acoustic rigid type screen. The solution obtained "through" the problem allows determining quantitative values of related electrical, mechanical and acoustic fields, emitters and antennas in general. References 6, figures 1.

Keywords: physical fields; planar antenna; a cylindrical piezoelectric transducer; internal hard screen.

References

1. *Derepa, A. V., Leiko, O. G., Melenko, I. Y.* (2014). Fundamentals of military- technical research. Theory and Applications. Vol.7 A comprehensive system of "hydroacoustic equipment - surface ship. Problematic aspects of "sonar - surface ship" with antennas placed in the ship's hull", Kiev, Izdatelkiy dom Dmitriya Burago. P. 414.(RUS)
2. *Didkovsky, V. S., Poroshyn, S. M., Leiko, O. G., Leiko, A. O., Drozdenko, O. I.* (2013). Designing electroacoustic devices and systems for multimedia acoustic technology.-Kharkiv: FLP Amelanchuck, P.390.(UKR)
3. *Vovk, I. V., Oliyrik, V. N.* (1996). Sound radiation by cylindrical piezoelectric shell with asymmetric insertion. JASA-1996. v.99, N1, Pp.133-138.(ENG)
4. *Goldveizer, A. L.* (1976). Theory of thin elastic shells. M: Nauka, P. 512.(RUS)
5. *Grinchenko, V. T., Ulitko, A. F., Shulga, N. A.* (1989). The mechanics of coupled fields in v.5 structural elements. Electroelasticity. K: Naukova Dumka, P. 280.(RUS)
6. *Ivanov, E. A.* (1968). Diffraction of electromagnetic waves on the two bodies. - Minsk: Nauka I tehnika, P. 584.(RUS)