

УДК 534.231

DOI: [10.20535/2312-1807.2017.22.2.86484](https://doi.org/10.20535/2312-1807.2017.22.2.86484)**Лейко А. Г.**, д.т.н., OrcID [0000-0002-5588-6449](https://orcid.org/0000-0002-5588-6449)e-mail og.leiko@aae.kpi.ua

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Святненко А. О., OrcID [0000-0002-2084-2243](https://orcid.org/0000-0002-2084-2243)e-mail sviatnenkoa@gmail.com

Государственное предприятие «Киевский научно-исследовательский институт гидроприборов»

ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ПЛОСКИХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ АНТЕНН НА ОСНОВЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ С ВНУТРЕННИМИ ЭКРАНАМИ

Методом связанных полей в многосвязных областях решена задача излучения звука гидроакустической антенной, образованной из конечного числа излучателей, каждый из которых выполнен в виде водозаполненной круговой цилиндрической пьезокерамической оболочки с несимметрично размещенной внутри неё круговым цилиндрическим акустически мягким экраном. Полученное решение «сквозной» задачи позволяет осуществить расчет параметров электрических, механических и акустических полей излучателей и антенн в целом.

Ключевые слова: физические поля; антенная решетка; цилиндрический пьезокерамический излучатель; внутренний акустический экран.

Введение. Одним из проблемных вопросов практической гидроакустики продолжает оставаться невозможность получения информации о наличии и свойствах подводных объектов с использованием направленных гидроакустических антенн при размещении их на морских горизонтах большой глубины. В то же время известно [1], что около 90% этой информации содержится именно на таких горизонтах. Созданию направленности глубоководных гидроакустических антенн препятствует дефицит технических решений по двум направлениям. Первое из них связано с необходимостью реализации глубоководных гидроакустических излучателей. Возможные пути построения их на основе цилиндрических излучателей компенсированной конструкции рассмотрены в работах [2, 3].

Физическим полям планарных гидроакустических антенн которые построены на основе цилиндрических излучателей компенсированной конструкции, в частности, водонаполненных, что позволяет создавать направленность антенн, которая не связана с их рабочей глубиной, посвящена работа [4].

Второе направление зависит от возможностей технической реализации глубоководных акустических экранов. Это могут быть внешние экраны или экранирующие конструкции, покрывающие часть эффективной поверхности излучателя [5], или экранирующие конструкции, размещенные во внутренней полости излучателя [3,

5]. В последнем случае они не увеличивают габаритных размеров излучателей, что является их существенным преимуществом по сравнению с внешними экранирующими конструкциями. Результатами использования внутренних экранов в цилиндрических излучателях являются расширение спектра резонансных частот [3]. В работе [5] показано, что, нарушая радиальную симметрию цилиндрического излучателя, можно влиять не только на частотные, но и на направленные свойства излучателей подобного типа. в частности, формировать их акустические поля с разными значениями давления по обе стороны от экрана. при этом благодаря связанности физических полей, участвующих в излучении звука гидроакустической антенной, изменяются количественные значения параметров электрических, механических и акустических полей излучателей и антенны в целом. Однако для их численной оценки необходимо иметь соответствующие аналитические соотношения.

Целью данной работы является получение аналитических соотношений, позволяющих описать закономерности формирования и свойства всех физических полей плоских антенных решеток, образованных из конечного числа пьезокерамических цилиндрических излучателей с внутренними акустическими экранами мягкого типа. Заметим, что при решении рассматриваемой задачи должны быть учтены все виды взаимодей-



ствия, возникающие в системе, а именно, взаимодействие электрического, механического и акустического полей в процессе преобразования электрической энергии в акустическую, взаимодействие излучателей со средами и с внутренними экранами и взаимодействие между звуковыми полями излучателей в решетке, обусловленное многократным рассеянием волн на элементах решетки. [6]

Постановка задачи. Пусть имеется плоская антенная решетка, образованная из конечного числа M круговых цилиндрических пьезокерамических излучателей с внутренними акустическими мягкими экранами (рис.1).

Положим, что излучатели представляют собой бесконечные длинные цилиндрические пьезокерамические оболочки радиусом r_{0s} и толщиной h_s , $s = 1, \dots, M$. Внутри оболочки заполнены жидкими средами с параметрами $\rho_s c_s$, $s = 1, \dots, M$, в которых располагаются экраны-вставки в виде круговых цилиндров радиусами a_{0s} . Продольные оси вставок параллельны продольным осям излучателей и сдвинуты относительно $\hat{a}_{0s} O'_s$ и угол $\varphi_{0s} O'_s$ на расстоянии e_s . Боковые поверхности призм, образующих пьезокерамические обо-

лочка, электродированы и к обкладкам их электродов приложены гармонические электрические сигналы вида

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

где Ψ_{0s} – электрический потенциал, ω – круговая частота.

Излучатели образуют антенную решетку, расположенную в среде с плотностью ρ и скоростью звука c . Ограничимся рассмотрением случая, когда продольные оси излучателей параллельны между собой и образуют плоскую решетку с расстоянием $e_{s-1,s}$ между осями. Полагая что, $\frac{h_s}{r_{0s}} \ll 1$, при описании движения оболочек излучателей будем использовать теорию Кирхгофа-Лява.

Обозначим перемещения срединных поверхностей каждой s -ной оболочки в окружном направлении через U_s , а в радиальном через W_s . Введем в рассмотрение ряд координатных систем (рис.1): общую $OXYZ$ 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 (r, φ, z) и локальные (r_s, φ_s, z_s) и (a_s, θ_s, z_s) круговые цилиндрические координаты.

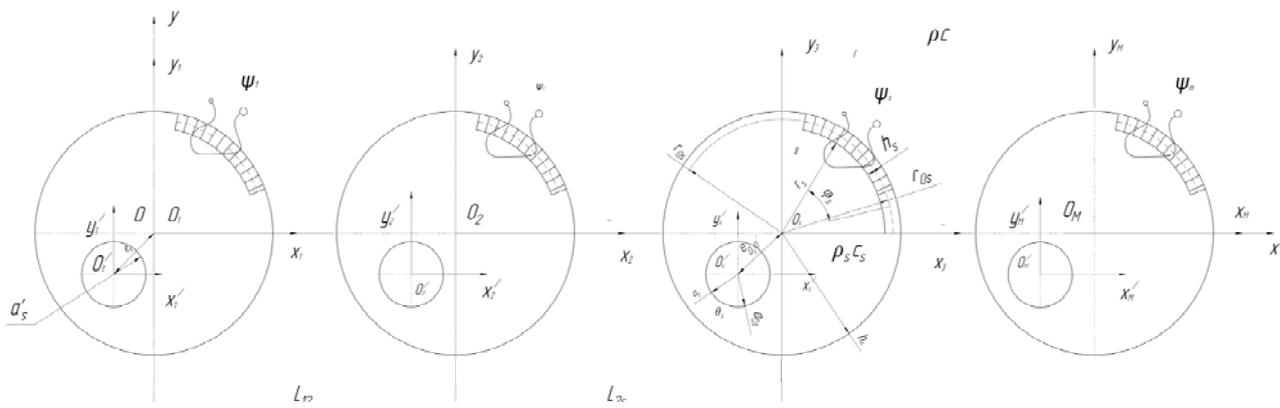


Рис.1 Нормальное сечение антенной решетки

Учитывая, что излучатели решетки возбуждаются гармоническим электрическим сигналом (1), движение упругих сред вне решетки и внутри каждого из излучателей описываются уравнением Гельмгольца

$$\Delta \Phi_s + k_{is} \Phi_s = 0, s = 1, \dots, M, \quad (2)$$

где Δ -оператор Лапласа; Φ_s -потенциал скорости s -го излучателя; k_{is} -волновые числа внешней ($i = I$) и внутренней ($i = II$) сред.

Поскольку излучатели решетки представляют собою пьезокерамические оболочки

с окружной поляризацией, для описания их электрического состояния необходимо привлечь уравнения вынужденной электростатики для каждого из излучателей. Для s -го излучателя они принимают вид:

$$\vec{E}_s = -grad \Psi_s; div \vec{D}_s = 0. \quad (3)$$

где \vec{E}_s и \vec{D}_s - векторы напряженности и индукции электрического поля s -го излучателя.

Искомые физические поля решетки излучателей могут быть определены в результате совместного решения дифференциальных уравне-



ний (2) - (3). Для их решения разобьем всю область существования физических полей на ряд частичных областей - внешнюю (область I) и внутреннюю (II) области каждого s-го излучателя и зададим в каждой из них граничные условия задачи. Границы внешней области определяются соотношениями $0 \leq \varphi_s \leq \pi$,

$r_s \geq r_{1s} = r_{0s} + \frac{h_s}{2}$, $s=1, \dots, M_s$, а внутренних обла-

стей: $0 \leq \varphi_s \leq \pi$, $a_s > a_{0s}$; $r_s < r_{2s} = r_{0s} - \frac{h_s}{2}$, где a_s -

текущий радиус цилиндрической вставки; a_{0s} - радиус внешней поверхности цилиндрической вставки. Таким образом, во внутренней области каждого s-го цилиндра выделяем две подобласти: подобласть II, занятую жидкостью с параметрами $\rho_s c_s$ ($0 \leq \varphi_s \leq \pi$, $r_s \leq r_{2s}$) и подобласть III ($0 \leq \varphi_s \leq \pi$, $0 \leq a_s \leq a_{0s}$), занятую внутренней вставкой.

Тогда граничные условия задачи формулируются в виде следующих кинематических и динамических условий сопряжения звуковых полей на границах раздела частичных областей:

- на поверхностях каждого излучателя должны выполняться условия равенства нормальных скоростей частиц жидкостей внутри и вне излучателя и его пьезокерамической оболочки:

$$-\frac{\partial \phi_I(r_s, \varphi_s)}{\partial r_s} = \frac{\partial W_s}{\partial t}, \quad (4)$$

$$r_s = r_{1s}, 0 \leq \varphi_s \leq \pi; s = 1, \dots, M;$$

$$-\frac{\partial \phi_{II}(r_s, \varphi_s)}{\partial r_s} = \frac{\partial W_s}{\partial t}, \quad (5)$$

$$r_s = r_{2s}, 0 \leq \varphi_s \leq \pi; s = 1, \dots, M,$$

где $\phi_I(r_s, \varphi_s)$ - потенциал полного звукового поля решетки, выраженный в координатах s-го цилиндра;

- на поверхности каждого излучателя выполняется условие равенства нормальной составляющей тензора напряжений σ_{ns} звуковому давлению, взятому с обратным знаком:

$$\sigma_{ns} = \sigma_{rs} = q_{rs} = -[P_I - P_{IIs}], \quad (6)$$

$$r_s = r_{1s}; 0 \leq \varphi_s \leq \pi; s = 1, \dots, M.$$

где $P_I = \rho \frac{\partial \phi_I}{\partial t}$ и $P_{IIs} = \rho_s \frac{\partial \phi_{IIs}}{\partial t}$ - радиационные нагрузки от динамического давления;

- в каждом излучателе на общей границе области II и вставки для акустически мягкой вставки должно выполняться условие

$$\phi_{IIIs} = 0; a_s = a_{0s}, 0 \leq \theta_s \leq \pi, s = 1, \dots, M. \quad (7)$$

Электрические граничные условия с учетом динамического деформирования каждого из цилиндрических излучателей с окружной поляризацией разностью потенциалов Ψ_s приобретают

вид $\Psi_s = \Psi_{0s} e^{-i\omega t}$, $\varphi_s = \pm \frac{\alpha_s^{(s)}}{2}$, где $\alpha_s^{(s)}$ - угловой сектор, в который вписывается призма s-го

секционированного излучателя. Если числа призм в кольце пьезокерамической оболочки s-го излучателя обозначить через N_s , то

$\alpha_s^{(s)} = \frac{2\pi}{N_s}$. С учетом соотношений (3) напряжён-

ность электрического поля в материале пьезокерамической оболочки s-го излучателя с окружной поляризацией примет вид [7]:

$$E_{\varphi_s} = -\frac{\Psi_{0s} N_s}{2\pi r_{0s}}, s = 1, \dots, M, \quad (8)$$

а составляющие электрической индукции вдоль радиуса оболочки (D_{r_s}), её продольной оси (D_{z_s}) и касательной к оболочке (D_{φ_s}) каждого s-го излучателя будут иметь вид:

$$D_{r_s} = 0; D_{z_s} = 0 \text{ и}$$

$$D_{\varphi_s} = \varepsilon_{33s}^{(s)} E_{\varphi_s} + e_s \left(\frac{1}{r_s} \frac{\partial U_s}{\partial \varphi_s} + \frac{W_s}{r_s} \right). \quad (9)$$

К этим условиям следует добавить условия Зоммерфельда и отсутствие особенностей во внутренних объёмах каждого излучателя решетки.

Вывод расчетных соотношений. Решение сформированной задачи будем искать методом связанных полей в многосвязных областях. Представим перемещения оболочек излучателей с помощью разложений U_s и W_s в ряды по собственным формам колебаний оболочек в вакууме:

$$W_s = \sum_{n=-\infty}^{\infty} W_{ns} e^{in\varphi_s}, \quad (10)$$

$$U_s = \sum_{n=-\infty}^{\infty} W_{ns} e^{in\varphi_s}.$$

Полное звуковое поле Φ_I , формируемое плоской решеткой излучателей во внешней среде, является суперпозицией звуковых полей Φ_{Is} , создаваемых каждым её излучателем в составе решетки в этой же среде:

$$\Phi_I = \sum_{s=1}^M \Phi_{Is} . \quad (11)$$

При этом поле излучения Φ_{Is} каждого элемента антенны должно определяться с учетом взаимодействия всех излучателей антенны по звуковому полю, обусловленного многократным рассеянием звуковых волн на этих элементах. Акустические потенциалы Φ_{Is} и Φ_{IIs} для внешней и внутренних сред, удовлетворяющие уравнению Гельмгольца (4) с соответствующими волновыми числами, могут быть представлены разложением в ряды по волновым цилиндрическим функциям. Для внешней среды поле излучения s -го излучателя в составе антенны должно разлагаться по функциям, удовлетворяющим условию излучения на бесконечности:

$$\Phi_{Is}(r_s, \varphi_s) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n^{(s)} H_n^{(1)}(kr_s) e^{in\varphi_s}, \quad (12)$$

$s = 1, \dots, M.$

Во внутренних областях излучателей акустические потенциалы Φ_{IIs} с учетом наличия в них вставок могут быть представлены в системе координат (a_s, Θ_s) с центром в точке O'_s в виде:

$$\Phi_{IIs}(a_s, \Theta_s) = \sum_m [C_m^{(s)} J_m(k_{2s} a_s) + D_m^{(s)} (k_{2s} a_s)] e^{im\Theta_s}. \quad (13)$$

В соотношениях (12) – (13) использованы традиционные обозначения цилиндрических

$$\Phi_I(r_s, \varphi_s) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n^{(s)} H_n^{(1)}(kr_s) e^{in\varphi_s} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq s}}^M \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_m^{(q)} \sum_{m=-\infty}^{\infty} H_{m-n}^{(1)}(kl_{qs}) \times J_n(kr_s) e^{i(m-n)\varphi_{qs}} e^{in\varphi_s}; \quad (16)$$

$s = 1, \dots, M.$

Φ_{IIs} внутри s -го излучателя в локальных координатах (r_s, φ_s) можно записать в виде:

$$\Phi_{II}(r_s, \varphi_s) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{in\varphi_s} J_{m-n}(k_{2s} l_s) e^{i(m-n)\varphi_{O_s O'_s}} [C_m^{(s)} J_n(k_{2s} r_s) + D_m^{(s)} N_n(k_{2s} r_s)], \quad (17)$$

где $l_s = l_{O'_s O_s}$ - расстояние между центрами O_s и O'_s , $\varphi_{O'_s O_s}$ - угловая координата центра O_s в системе с центром O'_s .

Подстановка соотношений (10), (13), (16) ÷ (17) в выражения (2), (3) ÷ (7) позволяет за счет

функций. Входящие в них неизвестные коэффициенты $A_n^{(s)}, C_n^{(s)}, D_n^{(s)}$ определяются из граничных условий задачи. Однако поскольку входящие в выражения (11) – (13) поля Φ_{Is} и Φ_{IIs} заданы в различных локальных координатных системах, соотношения (11) - (13) в таком виде не могут быть использованы в формулах (3) - (6) и должны быть выражены в локальных координатах того тела, граничные условия которого используются. Преобразование выражений к новым координатам осуществляется на основании терем сложения для цилиндрических волновых функций [8]:

$$H_m^{(1)}(kr_q) e^{im\varphi_q} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} H_{m-n}^{(1)}(kl_{qs}) J_n(kr_s) e^{i(m-n)\varphi_{qs}} e^{in\varphi_s}, \quad (14)$$

если $l_{qs} > r_{1s}$ и среда внешняя;

$$J_m(k_{2s} a_s) e^{im\Theta_s} = \sum_n J_{m-n}(k_{2s} l_s) J_n(k_{2s} r_s) e^{i(m-n)\varphi_{O'_s O_s}} e^{in\varphi_s}, \quad (15)$$

если $l_{O'_s O_s} < r_s$ и среда внутренняя. В формулах (14) и (15) через l_{qs} и $l_{O'_s O_s}$ и φ_{qs} и $\varphi_{O'_s O_s}$ обозначены полярные координаты начал O_s в системах с началами O_q и O'_s соответственно.

Тогда внешнее полное поле антенны в координатах s -го излучателя будет иметь вид:

свойств полноты и ортогональности систем угловых функций получить бесконечную систему линейных алгебраических уравнений для определения неизвестных коэффициентов W_{ns} , $A_n^{(s)}$ и $C_m^{(s)}$ в виде:



$$\begin{aligned}
& A_n^{(s)} + \sum_{q=1}^M \sum_{\substack{m \\ q \neq s}} A_m^{(q)} \frac{J_n'(kr_{1s})}{H_n^{(1)'}(kr_{1s})} H_{m-n}^{(1)}(kl_{qs}) e^{i(m-n)\varphi_{qs}} = ic \frac{W_{ns}}{H_n^{(1)'}(kr_{1s})}; \\
& W_{ms} + \frac{i}{C_{2s}} \sum_n C_n^{(s)} \left[J_m'(k_{2s} r_{2s}) - \frac{J_n(k_{2s} \alpha_{0s})}{N_n(k_{2s} \alpha_{0s})} N_m'(k_{2s} r_{2s}) \right] J_{m-n}(k_{2s} l_s) e^{i(m-n)\varphi_{0s} O_s} = 0; \\
& \left. \begin{aligned}
& 2\pi\rho A_n^{(s)} H_n^{(1)}(kr_{1s}) + \rho \left[\sum_{q=1}^{a_M} \sum_{\substack{m \\ q \neq s}} A_m^{(q)} H_{m-n}^{(1)}(kl_{qs}) J_n(kr_{1s}) e^{i(m-n)\varphi_{qs}} - \right. \\
& \left. - \rho_s \sum_m C_m^{(s)} \left[J_n(k_s r_{2s}) - \frac{J_m(k_{2s} \alpha_{0s})}{N_m(k_{2s} \alpha_{0s})} N_n(k_{2s} r_{2s}) \right] \times \right. \\
& \left. \times J_{n-m}(k_{2s} l_s) e^{i(n-m)\varphi_{0s} O_{2s}} \right] Q_{nm}^{(s)} \left. \right\} = \\
& = \frac{e_{33s}}{C_{33s}^E} \times \frac{\Psi_{0s} N_s}{2\pi} Q_m^{(s)}; \quad S = 1, \dots, M; \quad n = -\infty, 0, \infty; \quad m = -\infty, 0, \infty;
\end{aligned} \right\} = \quad (18)
\end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
R_{ns} &= \frac{-\omega^4 \alpha_s^2 \gamma_s^2 + \omega^2 \alpha_s \gamma_s (1+n^2)(1+\beta_s n^2) + \beta_s n^2 (2-n^2)}{(1+\beta_s) n^2 - \omega^2 \alpha_s \gamma_s}; \\
Q_n^{(s)} &= \int_0^{2\pi} e^{-in\varphi_s} d\varphi_s = \begin{cases} 2\pi \text{ при } n = 0; \\ 0 \text{ при } n \neq 0; \end{cases} \quad Q_{nm}^{(s)} = \int_0^{2\pi} e^{im\varphi_s} e^{in\varphi_s} d\varphi_s = \begin{cases} 2\pi \text{ при } n = m; \\ 0 \text{ при } n \neq m; \end{cases}
\end{aligned}$$

При этом

$$\begin{aligned}
U_{ns} &= i \frac{n + \beta_s n^s}{(1 + \beta_s) n^2 - \omega^2 \alpha_s \gamma_s}; \\
D_m^{(s)} &= -\frac{J_m(k_{2s} \alpha_{0s})}{N_m(k_{2s} \alpha_{0s})} C_m^{(s)}.
\end{aligned}$$

Замена коэффициентов $A_n^{(s)}$ и $C_n^{(s)}$ новыми неизвестными по формулам $\tilde{A}_n^{(s)} = A_n^{(s)} H_n^{(1)'}(kr_{1s})$ и $\tilde{C}_n^{(s)} = C_n^{(s)} J_n'(k_{2s} r_{2s})$ позволяет преобразовать бесконечную систему уравнений (19) к виду квазирегулярной и применить для её решения метод последовательных приближений или метод усечения.

Все члены выражения (18) имеют ясный физический смысл. Свободные члены в первом выражении системы (18) определяют излучение звука одиночными упругими цилиндрами без учета многократного рассеяния волн в решетке. Свободный член в третьем выражении системы (18) характеризует электрическое возбуждение каждого пьезокерамического излучателя решетки на нулевой моде. Двойные суммы характеризуют взаимодействие между излучателями в решетке. В них входят множители $H_{m-n}^{(1)}(kl_{qs})$, зависящие от расстояния между цилиндрами,

при увеличении которого эти множители уменьшаются и влияние взаимодействия ослабляется. Одинарные суммы дают представление о взаимодействии каждого излучателя с его внутренним акустическим экраном. Входящий в них множитель $J_{n-m}(k_{2s} l_s)$ зависит от волнового расстояния $k_{2s} l_s$ и отражает его влияние на взаимодействие излучателя с его внутренним экраном. Таким образом, полученные в результате решения бесконечной системы уравнений (17) коэффициенты разложения полей позволяют определить количественные характеристики всех физических полей, участвующих в работе антенных решеток рассматриваемого типа, с учетом всех видов взаимодействия, возникающих при этом. В частности, параметры механических полей рассчитываются, исходя из соотношений (17) и (10). Для расчета акустических полей на поверхности излучателей гидроакустических антенн в их ближней зоне используя соотношения (18) и (16). В дальней зоне с учетом асимптотических представлений для функций Ханкеля [8] выражения (11) и (12), для численной оценки акустического давления и, следовательно, характеристики направленности $R(\varphi)$ принимают вид:



$$P_{1D}(r, \varphi) = -i\omega\rho \sum_{s=1}^N e^{-ikl_{1s} \cos\varphi} \sum_n A_n^{(s)} e^{-i\frac{\pi}{2}m} e^{in\varphi}$$

$$R(\varphi) = \frac{P_{1D}(r, \varphi)}{\max P_{1D}(r, \varphi)}$$

Количественная оценка параметров электрических полей излучателей в составе антенны осуществляется с использованием соотношений (18) и следующих выражений:

- для электрического тока $J^{(s)}$ s-го излучателя ($s = 1, \dots, N$)

$$J^{(s)} = -i\omega_{31}^s \left\{ -\epsilon_{33} \frac{\Psi_{0s} M_s^2}{2\pi r_{0s}} + \frac{\epsilon_{33}}{r_{0s}} \sum_{r_{0s}}^{M_s} \left[\sum_n in U_{ns} e^{\frac{in2\pi j}{M_s}} + \sum_n W_{ns} e^{\frac{in2\pi j}{M_s}} \right] \right\};$$

- для полного $Z^{(s)}$ активного $R^{(s)}$ и реактивного $X^{(s)}$ электрических сопротивлений s-го излучателя ($s = 1, \dots, N$) – по закону Ома

$$Z^{(s)} = R^{(s)} + jX^{(s)} = \frac{\Psi_{0s}}{J^{(s)}}.$$

Выводы. Для плоских гидроакустических антенн, образованных из конечного числа водозаполненных круговых цилиндрических пьезокерамических излучателей с окружной поляризацией

и несимметрично размещенными в их внутренних полостях вставками в виде круговых акустически мягких цилиндров строгим методом связанных полей в многосоюзных областях с применением теорем сложения для цилиндрических волновых функций решена «сквозная» задача излучения звука, при которой значениям электрических напряжений на электрических входах излучателей ставятся в соответствие конкретные значения колебательных скоростей их поверхностей и конкретные значения амплитуд и фаз акустических давлений в любых точках сред внутри и вне излучателей антенн. Полученные аналитические соотношения позволяют при проектировании антенн рассматриваемого типа обеспечивать расчет параметров антенн и их излучателей в зависимости от количественных значений характеристик и параметров их конструкций – состава пьезокерамики, размеров антенн и их элементов, размеров внутренних экранов и характера смещения их относительно продольных осей пьезокерамических оболочек и т.п.. При этом учитывается не только герметические и физические свойства конструкции антенн и излучателей, не и взаимодействие физических полей в процессе преобразования энергии и взаимодействие по акустическому полю пьезокерамических оболочек и экранирующих конструкций внутри излучателей антенн, и самих излучателей между собой в составе антенн.

Надійшла до редакції 16 грудня 2016 р.

УДК 534.231

Лейко О. Г., д.т.н., OrCID [0000-0002-5588-6449](https://orcid.org/0000-0002-5588-6449)

e-mail og.leiko@aae.kpi.ua

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Святненко А. О., OrCID [0000-0002-2084-2243](https://orcid.org/0000-0002-2084-2243)

e-mail sviatnenkoa@gmail.com

Державне підприємство «Київський науково-дослідний інститут гідропріладів»

ФІЗИЧНІ ПОЛЯ ПЛОСКИХ ГІДРОАКУСТИЧНИХ АНТЕН НА ОСНОВІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ З ВНУТРІШНІМИ ЕКРАНАМИ

Методом пов'язаних полів в багатозв'язних областях вирішена задача випромінювання звуку гідроакустичної антеною, утвореної з кінцевого числа випромінювачів, кожен з яких виконаний у вигляді водозаповненої кругової циліндричної п'єзokerамічної оболонки з несиметрично розміщеної всередині неї круговим циліндричним акустично м'яким екраном. Отримане рішення «наскрізний» завдання дозволяє здійснити розрахунок параметрів електричних, механічних і акустичних полів випромінювачів і антен в цілому.



Ключові слова: фізичні поля; антенна решітка; циліндричний п'єзокерамічний випромінювач; внутрішній акустичний екран.

УДК 534.231

O. H. Leiko, Dr.Sc. (Eng.), OrCID [0000-0002-5588-6449](https://orcid.org/0000-0002-5588-6449)

e-mail og.leiko@aae.kpi.ua

National technical university of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute"

A. O. Sviatnenko, OrCID [0000-0002-2084-2243](https://orcid.org/0000-0002-2084-2243)

e-mail sviatnenkoa@gmail.com

State Enterprise "Kiev Scientific Research Institute of Hydraulic Devices"

PHYSICAL FIELDS AIMED SONAR ANTENNAS BASED ON CYLINDRICAL EMITTERS WITH INTERNAL SCREENS

The method related fields in multiply connected regions solved the problem of sound radiation sonar antenna formed from a finite number of emitters, each of which is designed as a piezo ceramic water filled circular cylindrical shell with asymmetrically placed inside it acoustically soft circular cylindrical screen. The solution obtained "through" task allows calculation of parameters of electrical, mechanical and acoustic fields, emitters and antennas in general.

Keywords: physical fields; antenna array; a cylindrical piezoelectric transducer; internal baffle.

References

- [1]. Derepa, A. V.; Leyko, A. G.; Melenko, Yu. Ya. *Osnovy voenno-tekhnicheskikh issledovaniy. Teoriya i prilozheniya T.7. Kompleksnaya sistema "gidroakusticheskoe vooruzhenie-nadvodnyy korabl". Problemnye aspekty sistemy «gidroakusticheskaya stantsiya - nadvodnyy korabl» s antennami, razmeshchennymi v korpuse korablya [Basics of military–technical research. Theory and applications. Vol.7. Integrated system "hydroacoustic equipment – surface ship". The problematic aspects of the system "sonar – surface ship" with antennas placed in the ship's hull].* Kyiv: Izd. dom Dmitriya Burago, 2014.
- [2]. Leiko, A. G.; Nizhnik, A. I.; Starovoit, Y. I. "Akusticheskie svoystva tsilindricheskikh pezokeramicheskikh izluchateley usilivayut i kompensiruyut konstruktsiyu prodolnym i poperechnym pezoelektricheskim efektom [The acoustic properties of cylindrical piezoceramic radiators force and compensated design with longitudinal and transverse piezoelectric effect]". *Electronics and Communications*, vol. 18, n. 2, pp. 63-72, 2013.
- [3]. Melenko, Y. Y. "Oдин iz sposobov upravleniya rezonansnoy chastotoy krugovykh tsilindricheskikh preobrazovateley [One of the ways of controlling the resonant frequency of circular cylindrical transducers]". *Electronics and Communications*, vol. 18, n. 6, pp. 62-68, 2013.
- [4]. Leiko, A. G.; Nizhnik, A. I. Fizicheskie polya ploskikh sonarnykh antenn, obrazovannykh iz tsilindricheskikh pezokeramicheskikh izluchateley [Physical fields of the planar sonar antennas formed from cylindrical piezoceramic radiators]. *Electronics and Communications*, vol. 20, n. 2, pp. 101-106, 2015. DOI: [10.20535/2312-1807.2015.20.2](https://doi.org/10.20535/2312-1807.2015.20.2).
- [5]. Grinchenko, V. T.; Vovk, I. V.; Matsypura, V. T. *Volnovyye zadachi akustiki [Wave acoustic problems]*. Kyiv: Interservice, 2013.
- [6]. Korzhyk, A. "Zvukovaya peredacha zamknutogo koltsevogo sloya v skvoznoy zadache zvukovogo izlucheniya tsilindricheskogo istochnika nulevogo poryadka [Sound transmission of a closed annular layer in a cross-cutting problem of sound radiation of zero order cylindrical source]". *Electronics and Communications*, vol. 18, n. 4, pp. 65-72, 2013.
- [7]. Grinchenko, V. T.; Ulitko, A. F.; Shulga, N. A. *Mehanika svyazannykh poley v elementakh konstruktsiy T.5 Elektroprugost [The mechanics of coupled fields in structural elements V. 5 Electroelasticity]*. Kyiv: Naukova Dumka, 1989.
- [8]. Ivanov, E. A. *Difraktsiya elektromagnitnykh voln na dvuh telakh [Diffraction of electromagnetic waves on the two bodies]*. Minsk: Science and Technology, 1968.

