

Акустичні прилади та системи

УДК 534.231

DOI: [10.20535/2523-4455.2018.23.1.99725](https://doi.org/10.20535/2523-4455.2018.23.1.99725)

Физические поля цилиндрических гидроакустических антенн с экраном и цилиндрическими пьезокерамическими излучателями с радиальной поляризацией

Старовойт Я. И., ORCID [0000-0003-0827-1633](https://orcid.org/0000-0003-0827-1633)e-mail starovoyt.yaroslav@gmail.comГосударственное предприятие "Киевский научно-исследовательский институт гидроприборов"
Киев, УкраинаКурдюк С. В., ORCID [0000-0002-3165-4571](https://orcid.org/0000-0002-3165-4571)e-mail serega15507@ukr.netНДЛ Института ВМС НУ "ОМА"
Одесса, УкраинаЛейко А. Г., д.т.н., проф., ORCID [0000-0002-5588-6449](https://orcid.org/0000-0002-5588-6449)e-mail og.leiko@aae.kpi.uaНациональный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» kpi.ua
Киев, Украина

Реферат—В статье решена «сквозная» задача излучения звука цилиндрической гидроакустической антенной, состоящей из цилиндрических пьезокерамических излучателей с радиальной поляризацией и цилиндрического акустического экрана, размещенного во внутренней полости антенны, при условии возбуждения излучателей заданными входными электрическими напряжениями. Преобразователи в составе антенны могут быть как силовой, так и компенсированной конструкций. Полученное решение может быть использовано для определения количественных характеристик электрических, механических или акустических полей таких типов антенн в целом или отдельных преобразователей в их составе.

Библ. 7, рис. 1.

Ключевые слова — физические поля; цилиндрическая антенна; акустический экран; цилиндрический пьезокерамический излучатель; радиальная поляризация.

1. ВВЕДЕНИЕ

В классической постановке задач об излучении звука системами колеблющихся тел обычно исходят из допущения, что на их поверхности заданы нормальные составляющие колебательных скоростей. После решения поставленных задач вычисляются важные для практики локальные и интегральные характеристики только акустического поля. Однако такой постановке присущ ряд серьезных недостатков. Задание значений колебательных скоростей принципиально исключает возможность, во-первых, учета их изменения за счет реакции окружающих сред и обмена энергией между колеблющимися

телами в системе и, во-вторых, определение количественных характеристик электрических и механических полей, необходимых для согласования возбуждающих генераторов с излучателями и обеспечения прочностных характеристик конструкций излучателей. Такой подход может быть использован в тех случаях, когда тела разнесены в пространстве между собой, а их собственные механические импедансы являются существенно большими, чем импедансы излучения. Однако реальные гидроакустические антенны образуются из близко расположенных тел, а собственные механические импедансы их излучателей сравнимы с импедансами излучения. Поэтому указанное выше допущение неизбежно приводит не



только к ошибкам при оценках различных характеристик акустических полей, но и исключает выполнение подобных оценок для механических и электрических полей.

Целью данной работы является развитие методов расчета антенн рассматриваемого типа, позволяющих определить характеристики их физических полей с учетом реакции сред, взаимодействия полей в телах и между телами системы и физических и геометрических параметров пьезокерамических излучателей с радиальной поляризацией.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим задачу об излучении звука круговой цилиндрической гидроакустической антенной (рис. 1), образованной из конечного числа цилиндрических пьезокерамических излучателей силовой или компенсированной конструкции и цилиндрического акустического экрана, расположенного во внутренней полости антенны [1]–[3]. Продольные оси излучателей и экрана параллельны между собой. Каждый из излучателей 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 радиальную поляризацию, и к ним

подведен электрический сигнал вида $\psi^{(s)} = \psi_0^{(s)} e^{-i\omega t}$, где s – текущий номер излучателя в антенне, $\psi_0^{(s)}$ – амплитуда напряжения, ω – круговая частота возбуждения. Акустический экран выполнен в виде цилиндрической оболочки, облицованной акустически мягким материалом [2].

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 [4], [5]. 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, радиальная поляризация которых создается нанесением на их боковые поверхности тонких электродов. Продольные оси образующих антенну излучателей расположены вдоль акустического экрана на одинаковом расстоянии R_0 от его продольной оси.

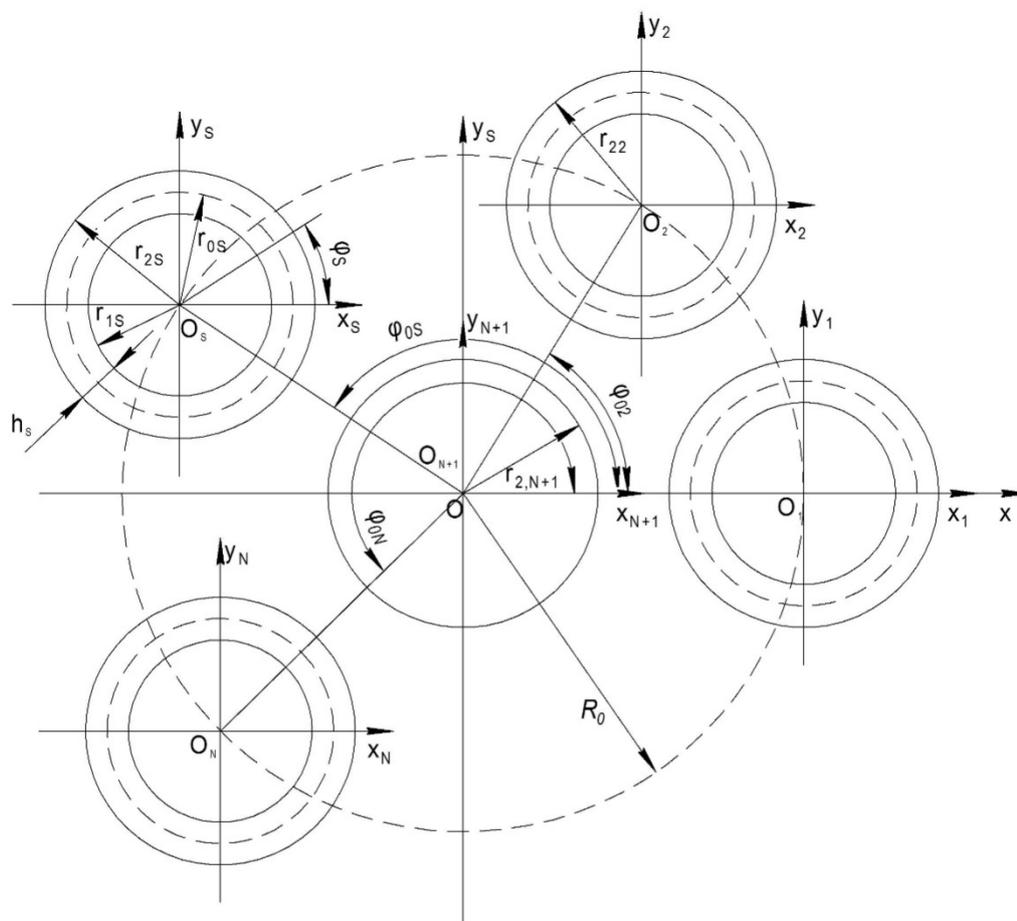


Рис.1 Изображение нормального сечения цилиндрической антенны с экраном



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 продольной 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 $h_S/r_{0S} \ll 1$ позволяет при описании движения пьезокерамических оболочек излучателей использовать гипотезы Кирхгофа-Лява.

В соответствии с приведенной расчетной моделью для определения физических полей 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 $\Delta \Phi^{(S)} + k_S \Phi^{(S)} = 0$; $S = 1, \dots, N + 1$; (1);
- уравнения движения [3] тонких пьезокерамических оболочек излучателей с радиальной поляризацией в перемещениях:

$$(1 + \beta_S) \frac{\partial^2 u^{(S)}}{\partial \varphi_S^2} + \frac{\partial w^{(S)}}{\partial \varphi_S^3} = \alpha_S \gamma_S \frac{\partial^2 u^{(S)}}{\partial t^2} - \frac{\partial u^{(S)}}{\partial \varphi^{(S)}} + \beta_S \left(\frac{\partial^3 u^{(S)}}{\partial \varphi_S^3} + \frac{\partial^4 w^{(S)}}{\partial \varphi_S^4} \right) - w^{(S)} - \frac{e_{31}^{(S)}}{C_{11}^{E(S)}} r_{0S} E_r^{(S)} + \frac{\alpha_S}{h_S} q_r^{(S)} = \alpha_S \gamma_S \frac{\partial^2 w^{(S)}}{\partial t^2}, \quad (2)$$

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

- 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 -го излучателя;

$$\beta_S = \frac{h_S^2}{12r_{0S}} \left(1 + \frac{e_{31}^{(S)2}}{C_{11}^{E(S)} \varepsilon_{33}^{S(S)}} \right); \quad \alpha_S = \frac{r_{0S}^2}{C_{11}^{E(S)}}; \quad q_r^{(S)} - \text{внешняя нагрузка } S\text{-го излучателя; } C_{11}^{E(S)}, \varepsilon_{33}^{S(S)},$$

$e_{31}^{(S)}$ – соответственно модуль упругости, диэлектрическая проницаемость и пьезоконстанта оболочки S -го излучателя; γ_S – плотность материала S -той оболочки; $\vec{E}^{(S)}$ и $\vec{D}^{(S)}$ – векторы напряжения и индукции электрического поля S -го излучателя.

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 $0 \leq |\varphi_S| \leq \pi, 0 \leq r_S \leq r_{1S} = r_{0S} - \frac{h_S}{2}$, $S = 1, \dots, N$ для внешних областей $0 \leq |\varphi_S| \leq \pi, r_S \geq r_{2S} = r_{0S} + \frac{h_S}{2}, S = 1, \dots, N; r_{N+1} > r_{2,N+1}$.

С учетом приведенных границ условия сопряжения звуковых полей на этих границах принимают вид (4) и (5), на поверхностях каждого излучателя выполняются условия равенства скоростей колебаний частиц сред и скоростей нормальных смещений поверхностей излучателей:

$$-\frac{\partial \Phi_1(r_S, \varphi_S)}{\partial r_S} = \frac{\partial w^{(S)}}{\partial t}, \quad (4)$$

$$0 \leq |\varphi_S| \leq \pi, r_S = r_{2S}, S = 1, \dots, N;$$

$$-\frac{\partial \Phi_2^{(S)}(r_S, \varphi_S)}{\partial r_S} = \frac{\partial w^{(S)}}{\partial t}, \quad (5)$$

$$0 \leq |\varphi_S| \leq \pi, r_S = r_{1S}, S = 1, \dots, N;$$

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:

$$\sigma_r = q_r = -(p_1 - p_2^{(S)}), \quad (6)$$

$$0 \leq |\varphi_S| \leq \pi, r_S = r_{2S}, S = 1, \dots, N;$$

где $p_1 = \rho \frac{\partial \Phi_1}{\partial t}$ и $p_2^{(S)} = \rho_S \frac{\partial \Phi_2^{(S)}}{\partial t}$ – радиационные нагрузки от динамических давлений;

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

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

Электрические граничные условия с учетом динамического деформирования S -го цилиндрического излучателя напряжением $\psi^{(s)} = \psi_0^{(s)} e^{-i\omega t}$ и уравнений (3) принимают вид [6]:

- 1) напряженность электрического поля в материале пьезокерамической оболочки S -го излучателя при радиальной поляризации составляет:

$$E_r^{(S)} = -\frac{\psi_0^{(S)}}{h_S}, \quad S = 1, \dots, N; \quad (8)$$

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

$$D_\phi^{(S)} = 0; D_Z^{(S)} = 0; \quad (9)$$

$$D_r^{(S)} = \varepsilon_{33}^{(S)} E_r^{(S)} + e_{31}^{(S)} \left(\frac{1}{r_{0S}} \frac{\partial u^{(S)}}{\partial \varphi_S} + \frac{w^{(S)}}{r_{0S}} \right).$$

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

III. ВЫВОД РАСЧЕТНЫХ СООТНОШЕНИЙ

Для решения сформулированной задачи воспользуемся методом связанных полей в многосвязных областях. Представим перемещения оболочек излучателей, описывающие механические поля излучателей, в виде разложений $u^{(S)}$ и $w^{(S)}$ по собственным формам колебаний оболочек в вакууме:

$$u^{(S)} = \sum_n u_n^{(S)} e^{in\varphi_S};$$

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

Акустическое поле антенны в окружающей ее среде представим в виде суперпозиции полей $\Phi_1^{(S)}$, созданных каждым элементом антенны. $\Phi_1 = \sum_{S=1}^{N+1} \Phi_1^S$; (11). При этом все поля $\Phi_1^{(S)}$ должны определяться с учетом взаимодействия всех элементов антенны между собой по акустическому полю, это взаимодействие возникает в результате много-

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

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

Подстановка соотношений (8), (13), (14) и (15) в выражения (2), (4) – (6) позволяет на основании

кратного обмена акустической энергией всех элементов антенны. Акустические поля, создаваемые излучателями и экраном во внешней среде, представим разложениями по волновым цилиндрическим функциям, удовлетворяющим условию излучения на бесконечности:

$$\Phi_1^{(S)}(r_S, \varphi_S) = \sum_n A_n^{(S)} H_n^{(1)}(k \cdot r_S) e^{in\varphi_S}; \quad (12)$$

$$S = 1, \dots, N+1.$$

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

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

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

В соотношениях (12) и (13) использованы традиционные обозначения цилиндрических функций; через коэффициенты $A_n^{(S)}$ учитывается взаимодействие элементов антенны по акустическому полю, обусловленное многократным рассеянием волн; через коэффициенты $B_n^{(S)}$ учитывается взаимодействие акустических и механических полей каждого излучателя.

Для определения коэффициентов разложений $u_n^{(S)}$, $w_n^{(S)}$, $A_n^{(S)}$ 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 [7]. Тогда поле излучения круговой цилиндрической антенны с экраном в локальных координатах S -го элемента антенны может быть описано следующим выражением:

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:



$$\begin{aligned}
& -B_n^{(S)} J_n'(k_2^{(S)} r_{1S}) + i \cdot c_2^{(S)} w_n^{(S)} = 0; \\
& i \cdot c \cdot w_n^{(S)} - \left[A_n^{(S)} H_n^{(1)'}(k \cdot r_{2S}) + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq S}}^{N+1} \sum_m A_m^{(q)} J_n'(k \cdot r_{2S}) H_{m-n}^{(1)}(k \cdot r_{qS}) e^{i(m-n)\varphi_{qS}} \right] = 0; \\
& A_n^{(N+1)} H_n^{(1)}(k \cdot r_{2,N+1}) + \sum_{q=1}^N \sum_m A_m^{(N+1)} J_n'(k \cdot r_{2,N+1}) H_{m-n}^{(1)}(k \cdot r_{q,N+1}) e^{i(m-n)\varphi_{q,N+1}} = 0; \\
& R_n^{(S)} w_n^{(S)} + \frac{\alpha_S}{h_S} \cdot i \cdot \omega \cdot \rho \left[A_n^{(S)} H_n^{(1)}(k \cdot r_{1S}) + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq S}}^{N+1} \sum_m A_m^{(q)} J_n(k \cdot r_{2S}) H_{m-n}^{(1)}(k \cdot r_{qS}) e^{i(m-n)\varphi_{qS}} \right] - \\
& - \frac{\alpha_S}{h_S} \cdot i \cdot \omega \cdot \rho_S B_n^{(S)}(k_2 r_{1S}) J_n(k_2^{(S)} r_{1S}) = - \frac{e_{33}^{(S)} N^{(S)} \Psi_0^{(S)} 2\pi}{C_{33}^{E(S)} 2\pi} \int_0^{2\pi} e^{in\varphi} d\varphi,
\end{aligned} \tag{16}$$

$$\text{где } R_n^{(S)} = \frac{n^2(1 + \beta_S n^2)^2 - (1 + \beta_S n^4 - \alpha_S \gamma_S \omega^2) [n^2 + \beta_S n^2 - \alpha_S \gamma_S \omega^2]}{(1 + \beta_S) n^2 - \alpha_S \gamma_S \omega^2}, S = 1, \dots, N; n = -\infty, 0, \infty.$$

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

Матричные элементы и правые части системы (16) имеют ясную физическую трактовку. Правая часть описывает закачку электрической энергии в каждый из пьезокерамических излучателей антенны только на нулевой моде их механических колебаний при принятой схеме их электрического возбуждения.

Входящие в матричные элементы сомножители $J_n'(kr_{2S})$ отражают рассеяние звуковых волн, приходящих на излучатели антенны от соседних с ними тел, аналогично рассеянию звука жестким цилиндрическим телом. Другие сомножители $H_{m-n}^{(1)}(kr_{qS})$ описывают влияние изменения расстояния между телами в антенне на характер взаимодействия между волнами m -го и n -го порядков, излученными и рассеянными этими телами.

Бесконечная система (16) является исходной для получения количественных данных о физических полях круговых цилиндрических антенн с экраном

$$I^{(S)} = i\omega \int_{S_{эл}} \left[\epsilon_{33}^{(S)} \frac{\Psi_0^{(S)}}{h_S} + \frac{e_{31S}}{r_{0S}} \left(\sum_n i \cdot n \cdot u_{ns} e^{in\varphi_s} + \sum_n i \cdot n \cdot w_{ns} e^{in\varphi_s} \right) \right] dS_{эл}$$

Входной электрический импеданс каждого излучателя определяется законом Ома.

и их элементов с учетом взаимодействия полей как при преобразовании электрической энергии в акустическую, так и при распределении акустической энергии в окружающем пространстве.

При этом механические поля излучателей антенны рассчитываются с привлечением выражений (10) и (14).

Для расчета акустических полей антенн привлекаются соотношения (11) и (15), а отдельных излучателей в составе антенн – соотношения (15) для внешнего поля и (13) для поля внутри излучателей.

Получим аналитические выражения для оценки характеристик электрических полей пьезокерамических излучателей антенны с радиальной поляризацией. Электрический ток в цепи возбуждения S -го излучателя цилиндрической антенны в соответствии с уравнениями (3) вынужденной электростатики

определяется выражением: $I^{(S)} = \int_{S_{эл}} \frac{\partial D_r^{(S)}}{\partial t} dS_{эл}$ (17), где $S_{эл}$ – площадь электрода S -го излучателя, рассчитанная по среднему радиусу r_{0S} пьезокерамической оболочки излучателя на единицу его высоты.

Тогда с учетом выражений (8) – (10) полный ток (17) возбуждения S -го излучателя может быть рассчитан на единицу высоты излучателя по формуле:

ВЫВОДЫ

Показано, что наличие многократного обмена акустической энергией между телами, образующими цилиндрическую антенну с экраном, реакции окружающих сред на возбуждение в них акустических и акустических полей в процессе преобразования энергии в цилиндрических пьезокерамических излучателях с радиальной поляризацией является причиной существенного различия между расчетными и реальными характеристиками цилиндрических антенн с экранами. Для исключения этого различия получены аналитические соотношения, позволяющие описать все физические поля с учетом их взаимодействия при работе реальных антенн рассматриваемого типа.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

- [1] A. V. Derepa, A. G. Leiko, and I. Y. Melenko, Kompleksnaia sistema «hydroakusticheskoe vooruzhenie – nadvodnyi korabl». Problemye aspekty sistemy «hydroakusticheskaia stantsiia – nadvodnyi korabl» s antennami, razmeshhennymi v korpuse korablia [Integrated system “hydroacoustic equipment – surface shi, vol. 7. Kyiv, Ukraine: Izd. Dom Dmytriia Burago, 2014.

Надійшла до редакції 21 квітня 2017 р.

- [2] V. S. Didkovskiy, S. M. Poroshyn, O. G. Leiko, A. O. Leiko, and O. I. Drozdenko, Konstruiuvannia elektroakustichnykh prykladiv i system dlia multymediinykh akustichnykh tekhnolohii [Construction of the electroacoustic devices and systems for multimedia speaker technology]. Kharkiv, Ukraine: NTU “KhPI,” 2014, ISBN: 966-8861-43-4.
- [3] I. A. Koryakin, S. A. Smirnov, and G. V. Yakovlev, Korabelnaya gidroakusticheskaya tehnika: Sostoyanie i aktualnye problem [Ship-based hydroacoustic equipment: State and current problems]. St. Petersburg, Russia: Nauka, 2004, ISBN: 5-02-024993-9.
- [4] A. G. Leiko, I. E. Shamarin, and V. A. Tkachenko, Podvodnye akusticheskie anteny. Metody rascheta zvukovykh polei [Underwater sonar arrays. Methods for calculating sound fields]. Kyiv, Ukraine: Avanpostprim, 2000, ISBN: 966-504-098-7.
- [5] M. D. Smaryshev, Napravlennost gidroakusticheskikh antenn [Directivity of the sonar arrays]. Leningrad, USSR: Sudostroenie, 1973.
- [6] V. T. Grinchenko, I. V. Vovk, and V. T. Matsypura, Osnovy akustyky [Basics of acoustics]. Kyiv, Ukraine: Naukova dumka, 2007, ISBN: 978-966-00-1022-2.
- [7] E. A. Ivanov, Difraktsiya elektromagnitnykh voln na dvuh telah [Diffraction of the electromagnetic waves on two bodies]. Minsk, BSSR: Naukai tehnika, 1968.

УДК 534.231

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

Старовойт Я. І., ORCID [0000-0003-0827-1633](https://orcid.org/0000-0003-0827-1633)
e-mail starovoyt.yaroslav@gmail.com

Державне підприємство "Київський науково-дослідний інститут гідроапаратури"
Київ, Україна

Курдюк С. В., ORCID [0000-0002-3165-4571](https://orcid.org/0000-0002-3165-4571)
e-mail serega15507@ukr.net

НДІ Інституту ВМС НУ "ОМА"
Одеса, Україна

Лейко О. Г., д.т.н., проф., 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» kpi.ua
Київ, Україна

Реферат—В статті вирішена «наскрізна» задача випромінювання звуку циліндричною гідроакустичною антеною, утвореною із певної кількості циліндричних п'єзокерамічних випромінювачів з радіальною поляризацією і циліндричного акустичного екрана, розміщеного всередині антени, за умови збудження випромінювачів заданою



вхідною електричною напругою. Випромінювачі у складі антени можуть бути як силової, так і компенсованої конструкції. Отримане рішення може бути використане для визначення чисельних характеристик електричних, механічних або акустичних полів таких типів антен в цілому або окремих випромінювачів у їх складі.

Бібл. 7, рис. 1.

Ключові слова — фізичні поля; циліндрична антена; акустичний екран; циліндричний п'єзокерамічний перетворювач; радіальна поляризація.

UDC 534.231

Physical fields of hydroacoustic sonar arrays with baffle and cylindrical piezoceramic radiators with radial polarization

Ya. I. Starovoyt, ORCID [0000-0003-0827-1633](https://orcid.org/0000-0003-0827-1633)

e-mail starovoyt.yaroslav@gmail.com

State enterprise "Kyiv Research Institute Hydrodevices"
Kyiv, Ukraine

S. V. Kurdiuk, ORCID [0000-0002-3165-4571](https://orcid.org/0000-0002-3165-4571)

e-mail serega15507@ukr.net

Research Laboratory of the Naval Institute of the National University "Odessa Marine Academy"
Odessa, Ukraine

O. H. Leiko, Dr.Sc.(Eng.), Prof., 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" kpi.ua
Kyiv, Ukraine

Abstract—Article describes the method for calculating physical fields of the cylindrical sonar array formed with the some certain, finite number of cylindrical piezoceramic transducer with radial polarization, of compensated or strength design, and cylindrical, acoustical soft, baffle situated in the middle of the array. To obtain the equations, that allow us to calculate physical fields of this array we have solved the “pass-through” problem of sound radiation of this array. The main feature of the studied problem was that we described the work of the transducer beginning from its electrical input, unlike the classical method, when we set the oscillating velocity of the surface of the transducer as a constant. In addition, this method for calculating parameters of the studied array allows us to take into consideration the interaction of the physical fields in the transducer and in the array generally, and the interaction between transducers in the array and between transducers and the baffle. Constructed mathematical model allows us to provide investigations for huge amount of cylindrical arrays of similar design, because, it allows us to change such parameters of array as its dimension generally, dimensions of the baffle, the distance between the baffle and the transducers, the working medium of the array, quantity of transducers in the array, the position of each transducer in the array and the parameters of each transducer, such as its own dimensions, such as the central diameter and the thickness of the piezoceramic rings, the filling of each transducer and the material of each transducer. The obtained solution of this problem allows us to calculate the acoustic potential and the displacement of the surface of transducer. Using these parameters we obtained the equations for calculating physical fields of transducer, such as electrical current, that used for studying electrical field, oscillating velocity of the surface of transducer, used for studying the mechanical field, and acoustic pressure, which allow us to study acoustic parameters of the array, such as its directivity characteristics. Also, the obtained solutions allow us to study the fields in the inner cavity of transducer, that is also of big interest.

Бібл. 7, fig. 1.

Key words — physical fields; cylindrical sonar array; acoustic baffle; cylindrical piezoceramic transducer; radial polarization.

