

УДК 534.231

А.Г. Лейко, д.-р. тех. наук, **А.И. Нижник**

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

Физические поля планарных гидроакустических антенн, образованных из цилиндрических пьезокерамических излучателей

Методом связанных полей в многосвязных областях решена задача излучения звука планарной антенной решеткой, образованной из цилиндрических пьезокерамических излучателей силовой и компенсированной конструкции с окружной поляризацией, с учетом взаимодействия электрических, механических и звуковых полей в процессе преобразования электрической энергии в акустическую и взаимодействия излучателей в решетке по звуковому полю, обусловленного многократным рассеянием волн на элементах решетки. Получены аналитические выражения, позволяющие выполнять расчеты параметров всех физических полей, участвующих в работе антенны.
Библ. 11, рис. 1.

Ключевые слова: физические поля; антенная решетка; цилиндрический пьезокерамический излучатель; окружная поляризация; метод связанных областей.

Введение

В корабельной гидроакустике широкое применение [5, 2] нашли плоские (планарные) приемно-излучающие антенны. Они рассматриваются в качестве одного из вариантов технической реализации конформных антенн, размещаемых в корпусе корабля и позволяющих использовать значительную часть его длины. Развитые размеры гидроакустических антенн с плоской рабочей поверхностью обеспечивают возможности решения задач как обнаружения подводных объектов в области низких звуковых частот, так и гидроакустической навигации с использованием высоких частот. Исследованиям плоских гидроакустических антенн посвящено большое число работ, наиболее полный перечень которых приведен в [11, 6]. Однако практически во всех из них рассматриваются вопросы формирования и расчета только акустических полей, как без учета, так и с учетом взаимодействия элементов антенн по звуковому полю.

В отличие от радиотехнических антенн гидроакустические антенны в процессе своей ра-

боты выполняют две функции – функцию преобразования одного вида энергии (электрической в режиме излучения, звуковой в режиме приема) в другой вид (звуковую и электрическую, соответственно) и функцию распределения звуковой энергии в окружающем антенну пространстве. При этом в процессе преобразования энергии задействованы и взаимодействуют между собой физические поля трех видов – электрические, механические и акустические. Таким образом, функционирование гидроакустической антенны характеризуется наличием нескольких видов взаимодействия, влияющих друг на друга, а именно, взаимодействия трех физических полей в процессе преобразования энергии и взаимодействием элементов антенн по звуковому полю в процессе пространственного распределения преобразованной энергии. В изложенной постановке изучалась только работа одиночного пьезокерамического цилиндрического излучателя [7, 8, 9], представляющего собой предельный случай вырождения плоской решетки из конечного числа таких излучателей.

Целью данной работы является получение аналитических выражений, позволяющих описать закономерности формирования и свойства всех физических полей планарных антенных решеток, образованных из конечного числа пьезокерамических цилиндрических излучателей, с учетом всех видов взаимодействий полей, возникающих в процессе работы антенных решеток.

Постановка задачи

Пусть имеется планарная гидроакустическая антенная решетка, образованная из конечного числа круговых цилиндрических пьезокерамических излучателей силовой или компенсированной конструкции [3]. Продольные оси преобразователей параллельны между собой и лежат в одной плоскости. Каждый из излучателей представляет собой протяженную герметизированную пьезокерамическую оболочку, внут-

ренная полость которой вакуумирована или заполнена воздухом при нормальном атмосферном давлении (силовая конструкция) или в ней находится жидкость или воздух при избыточном давлении (компенсированная конструкция). Оболочки имеют окружную поляризацию, реализованную путем образования их из жестко склеенных между собой призм, на боковые поверхности которых нанесены электроды. К обкладкам электродов приложен гармонический электрический сигнал $\psi^{(s)} = \psi_0^{(s)} e^{-i\omega t}$ где ψ – электрическое напряжение, ω – частота возбуждения, а s – номер излучателя в антенной решетке. К каждому из излучателей решетки подводится свой электрический сигнал.

Рассмотрим в общем виде задачу об излу -

чении звука такой планарной антенной решеткой. В математическом плане эту задачу сформулируем следующим образом.

Введем ряд допущений. Будем полагать, что излучатели антенной решетки являются бесконечно длинными, а распределение колебательных скоростей по их длине является однородным. В техническом отношении такая идеализация обоснована [6]. Обозначим средние радиусы излучателей антенной решетки с числом элементов M через r_{os} , толщины излучателей через h_s , при этом $h_s/r_{os} \ll 1$, а расстояния между элементами – через l_{qs} , где q и s – текущие номера элементов решетки, $s = 1, \dots, M$; $q = 1, \dots, M$ (рис. 1).

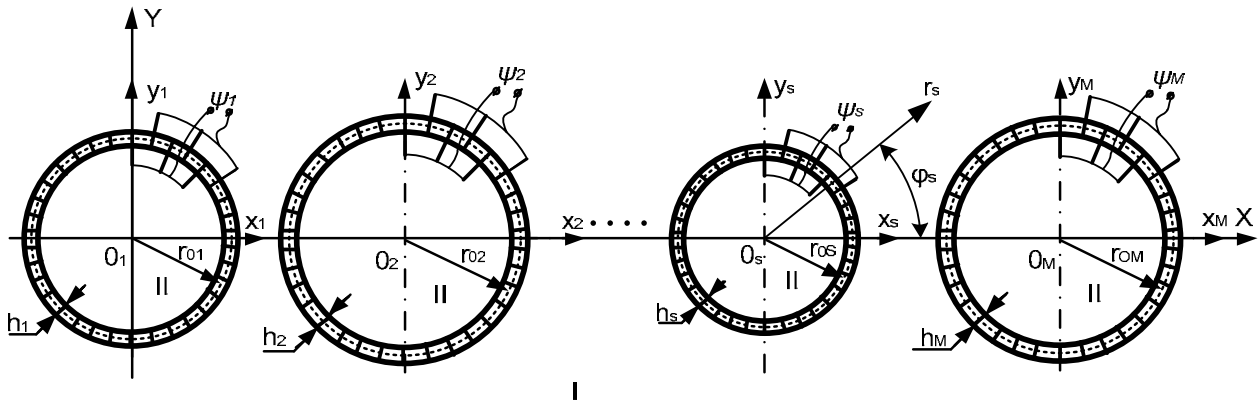


Рис. 1. Изображение излучателей антенной решетки

Введем ряд координатных систем: общую $OXYZ$ и локальные $O_s X_s Y_s Z_s$ прямоугольные системы и связанные с ними круговые цилиндрические системы координат (R, φ, z) и (r_s, φ_s, z_s) . При этом оси $O_s Z_s$ направим вдоль продольных осей соответствующих излучателей, ось OZ совместим с продольной осью первого излучателя, а оси OX и $O_s X_s$ направим вдоль линий центров нормальных сечений излучателей плоскостью $Z=0$. Будем полагать, что снаружи все оболочки излучателей окружены жидкостью с плотностью ρ и скоростью звука c . Внутри каждая из оболочек заполнена средой с плотностью ρ_s и скоростью звука c_s . Считаем, что при описании движения тонких оболочек излучателей используется теория Кирхгофа-Лява.

С учетом принятых допущений физические поля рассматриваемой планарной антенной решетки могут быть определены путем совместного решения следующих дифференциальных уравнений:

- уравнения Гельмгольца, описывающего движение упругих сред (газа или жидкости) внутри и вне каждого s -го излучателя решетки

$$\nabla^2 \Phi^{(s)} + (k_s)^2 \Phi^{(s)} = 0; \quad (1)$$

- уравнений движения [9] тонкой оболочки s -го излучателя с окружной поляризацией в перемещениях

$$\begin{aligned} & \left(1 + \beta^{(s)}\right) \frac{\partial^2 U^{(s)}}{\partial \varphi_s^2} + \frac{\partial W^{(s)}}{\partial \varphi_s} - \beta^{(s)} \frac{\partial^3 W^{(s)}}{\partial \varphi_s^3} = \alpha^{(s)} \gamma^{(s)} \frac{\partial^2 U^{(s)}}{\partial t^2}, \\ & - \frac{\partial U^{(s)}}{\partial \varphi_s} + \beta^{(s)} \left(\frac{\partial^3 U^{(s)}}{\partial \varphi_s^3} - \frac{\partial^4 W^{(s)}}{\partial \varphi_s^4} \right) - W^{(s)} + \frac{e_{33}^{(s)} r_{os}}{C_{33}^{E(s)}} E_\varphi^{(0)s} + \frac{\alpha^{(s)}}{h_s} q_r^{(s)} = \alpha^{(s)} \gamma^{(s)} \frac{\partial^2 W^{(s)}}{\partial t^2}. \end{aligned} \quad (2)$$

- уравнений вынужденной электростатики для пьезокерамики s -го излучателя

$$\vec{E}^{(s)} = -\text{grad} \psi^{(s)}; \text{div} \vec{D}^{(s)} = 0 \quad (3)$$

Здесь Δ – оператор Лапласа; $\Phi^{(s)}$ – потенциал колебательной скорости s -го излучателя; k и k_s – волновые числа внешней и внутренней сред s -го излучателя; $U^{(s)}$ и $W^{(s)}$ – окружная и нормальная составляющие вектора смещений точек срединной поверхности s -го излучателя;

$$\beta^{(s)} = (h_s)^2 / 12r_{os}^2 \left(1 + \left(\epsilon_{33}^{(s)} \right)^2 / C_{33}^{E(s)} \epsilon_{33}^{(s)} \right);$$

$$\alpha^{(s)} = r_{os}^2 / C_{33}^{E(s)};$$

$q_r^{(s)}$ – внешняя нагрузка s -го излучателя;

$C_{33}^{E(s)}$, $\epsilon_{33}^{(s)}$, $\epsilon_{33}^{(s)}$ – модуль упругости при нулевой электрической напряженности, диэлектрическая проницаемость при нулевой деформации и пьезоконстанта оболочки s -го излучателя, соответственно; $\gamma^{(s)}$ – плотность материала s -й оболочки; $\vec{E}_\varphi^{(s)}$, $\vec{D}_\varphi^{(s)}$ – векторы напряженности и индукции электрического поля s -го излучателя.

Для каждого s -го излучателя антенной решетки звуковое поле формируется в двух областях – внутренней $\Phi_2^{(s)}$ и внешней $\Phi_1^{(s)}$. Границы внутренних областей определяется соотношением $0 \leq |\varphi_s| \leq \pi$; $0 \leq r_{2s} = r_{os} - h_s/2$, внешних – $0 \leq |\varphi_s| \leq \pi$; $r_s \geq r_{1s} = r_{os} + h_s/2$, $s = 1, \dots, M$.

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

- на поверхности каждого излучателя выполняется условия равенства скоростей колебаний частиц сред и скоростей нормальных смещений поверхностей излучателей:

$$\frac{dW^{(s)}}{dt} = - \frac{d\Phi_2^{(s)}}{dr_s}, \quad (4)$$

$$0 \leq |\varphi_s| \leq \pi, r_{os} = r_{2s}, s = 1, \dots, M.$$

$$\frac{dW^{(s)}}{dt} = - \frac{d\Phi_1^{(s)}}{dr_s}, \quad (5)$$

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

где Φ_1 – полное поле излучения планарной антенной решетки, выраженное в координатах s -го излучателя;

- на поверхности каждого излучателя выполняется условие равенства нормальной составляющей тензора напряжений $\sigma_r^{(s)}$ зву-

ковому давлению, взятому с обратным знаком:

$$\sigma_r^{(s)} = q_r^{(s)} = -(P_1 - P_2^{(s)}), \quad (6)$$

$$0 \leq |\varphi_s| \leq \pi; s = 1, \dots, M$$

Здесь $P_2^{(s)} = \rho^{(s)} \frac{d\Phi_2^{(s)}}{dt}$ и $P_1 = \rho \frac{d\Phi_1}{dt}$ – радиационные нагрузки от динамического давления.

Электрические граничные условия при динамическом деформировании цилиндрических излучателей электрическим напряжением и $\psi^{(s)} = \psi_0^{(s)} e^{-i\omega t}$. с учетом выражения (3) примут вид [1]:

- напряженность электрического поля в материале пьезокерамической оболочки s -го излучателя при окружной поляризации равна:

$$E_\varphi^{(s)} = - \frac{N^{(s)} \psi_0^{(s)}}{2\pi r_{os}},$$

- составляющие электрической индукции вдоль радиуса, продольной оси и окружности будут иметь значения

$$D_r^{(s)} = D_z^{(s)} = 0, D_\varphi^{(s)} = \epsilon_{33}^{(s)} E_\varphi^{(s)} + e_{33}^{(s)} \left(dU^{(s)} / d\varphi_s \cdot 1/r_{os} + W^{(s)} / r_{os} \right),$$

соответственно.

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

Вывод расчетных соотношений

Решение сформулированной задачи будем искать методом связанных полей в многосвязных областях. Для этого поступим следующим образом. Представим перемещения оболочек с помощью разложений $U^{(s)}$ и $W^{(s)}$ в ряды по собственным формам колебаний оболочек в вакууме

$$U^{(s)} = \sum_{-\infty}^{\infty} U_n^{(s)} e^{in\varphi_s}; W^{(s)} = \sum_{-\infty}^{\infty} W_n^{(s)} e^{in\varphi_s}. \quad (7)$$

Полное звуковое поле Φ_1 , формируемое планарной антенной решеткой во внешней области, является суперпозицией звуковых полей $\Phi_1^{(s)}$, создаваемым каждым излучателем в составе решетки

$$\Phi_1 = \sum_{s=1}^M \Phi_1^{(s)} \quad (8)$$

При этом поле излучения каждого элемента решетки должно определяться с учетом взаимодействия всех излучателей решетки, возникающего в результате многократного рассеяния волн на ее элементах.

Акустические потенциалы $\Phi_2^{(s)}$ и $\Phi_1^{(s)}$, удовлетворяющие уравнению Гельмгольца (1) с соответствующими волновыми числами, могут быть представлены разложениями по волновым цилиндрическим функциям. Для акустических потенциалов $\Phi_1^{(s)}$ во внешней области выражения, удовлетворяющие условию излучения на бесконечности, имеют вид:

$$\Phi_1^{(s)}(r_s, \varphi_s) = \sum_{-\infty}^{\infty} A_n^{(s)} H_n^{(1)}(kr_s) e^{in\varphi_s}, \quad s = 1, \dots, M. \quad (9)$$

Во внутренних областях излучателей акустические потенциалы $\Phi_2^{(s)}$, удовлетворяющие условию отсутствия особенностей в них, имеют вид:

$$\Phi_2^{(s)}(r_s, \varphi_s) = \sum_{-\infty}^{\infty} B_n^{(s)} J_n(k_s r_s) e^{in\varphi_s}, \quad s = 1, \dots, M. \quad (10)$$

$$\Phi_1(r_s, \varphi_s) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n^{(s)} H_n^{(1)}(kr_s) e^{in\varphi_s} + \sum_{q=1}^M \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n^{(q)} \sum_{m=-\infty}^{\infty} J_m(kr_s) H_{n-m}^{(1)}(kr_{qs}) e^{i(n-m)\varphi_{qs}} e^{im\varphi_s}, \quad s = 1, \dots, M. \quad (11)$$

Подстановка соотношений (7), (10), (11) в выражения (2),(4),(5),(6) позволяет за счет полноты и ортогональности систем угловых функций получить бесконечную систему линейных алгебраических уравнений для определения неизвестных коэффициентов $U_n^{(s)}$, $W_n^{(s)}$, $A_n^{(s)}$ и

$$ic_s W_n^{(s)} - B_n^{(s)} J_n'(k_s r_2^{(s)}) = 0; \quad A_n^{(s)} + \sum_{q=1}^M \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_m^{(q)} \frac{J_m'(k_s r_{1s})}{H_n^{(1)'}(k_s r_{1s})} H_{n-m}^{(1)}(kr_{sq}) e^{i(n-m)\varphi_{sq}} - ic_s \frac{W_n^{(s)}}{H_n^{(1)'}(kr_{1s})} = 0;$$

$$R_n^{(s)} B_n^{(s)} J_n'(k_s r_2^{(s)}) \frac{1}{ic_s} Q_{nm}^{(s)} + \frac{i\omega\alpha^{(s)}\rho}{h^{(s)}} \left[A_n^{(s)} H_n^{(1)}(kr_{1s}) Q_{nm}^{(s)} + 2\pi \sum_{q=1}^M \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_m^{(q)} J_m(kr_{1s}) H_{n-m}^{(1)}(kr_{sq}) e^{i(n-m)\varphi_{sq}} \right] + \quad (12)$$

$$+ \frac{i\omega\alpha^{(s)}\rho_s}{h^{(s)}} B_n^{(s)} J_n(k_s r_2^{(s)}) Q_{nm}^{(s)} = \frac{N^{(s)} e^{(s)} \Psi_0^{(s)}}{2\pi C_{33}^{(s)}} Q_m^{(s)}; \quad s = 1, \dots, M; \quad n = -\infty, \infty; \quad m = -\infty, \infty.$$

где
$$R_n^{(s)} = \left[\beta^{(s)} n^3 + n \right] \cdot \left[n + \beta^{(s)} n^3 \right] / \left[\left(1 + \beta^{(s)} \right) n^2 - \omega^2 \alpha^{(s)} \gamma^{(s)} \right] - \left[1 + \beta^{(s)} n^4 - \omega^2 \alpha^{(s)} \gamma^{(s)} \right],$$

$$Q_m^{(s)} = \int_0^{2\pi} e^{-im\varphi_s} d\varphi_s = \begin{cases} 2\pi & \text{при } m = 0; \\ 0 & \text{при } m \neq 0. \end{cases}, \quad Q_{nm}^{(s)} = \int_0^{2\pi} e^{in\varphi_s} e^{-im\varphi_s} d\varphi_s = \begin{cases} 2\pi & \text{при } n = m; \\ 0 & \text{при } n \neq m. \end{cases}$$

В соотношениях (9) и (10) использованы традиционные обозначения цилиндрических функций.

Входящие в них неизвестные коэффициенты $A_n^{(s)}$ и $B_n^{(s)}$ определяются из граничных условий задачи. Однако поскольку входящие в выражение (8) поля $\Phi_1^{(s)}$ записаны в локальных координатах своих излучателей, соотношение (8) в таком виде не целесообразно использовать для подстановки в формулы (5) и (6). Их необходимо выразить в локальных координатах того излучателя, граничные условия для которого используются. Преобразование выражений типа (9) к новым координатам можно осуществить на основании теорем сложения для цилиндрических волновых функций [11]:

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

где r_{qs} и φ_{qs} – полярные координаты начала координатной системы O_s в координатах q -й системы.

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

$B_n^{(s)}$, являющуюся исходной для определения количественных данных по физическим полям планарных антенных решеток и их элементов. Указанная система имеет вид:

Замена $A_n^{(s)}$ и $B_n^{(s)}$ новыми неизвестными $\tilde{A}_n^{(s)}$ и $\tilde{B}_n^{(s)}$ по формулам $\tilde{A}_n^{(s)} = A_n^{(s)} H_n^{(1)'}(kr_{1s})$ и $\tilde{B}_n^{(s)} = B_n^{(s)} J_n'(k_s r_{2s})$ позволяет преобразовать бесконечную систему (12) к виду квазирегулярной и применить для ее решения метод усечения или метод последовательных приближений.

Полученные в результате решения бесконечной системы (12) коэффициенты $U_n^{(s)}$, $W_n^{(s)}$, $A_n^{(s)}$ и $B_n^{(s)}$ определяют физические поля антенных решеток, при формировании которых учитываются как взаимодействие электрических, механических и акустических полей в процессе преобразования электрической энергии в акустическую в излучателях решетки, так и взаимодействие излучателей между собой, обусловленное многократным рассеянием волн на элементах решетки.

Соотношения (12) для определения значений неизвестных коэффициентов состоят из двух частей, все элементы которых имеют четкий физический смысл. Правая часть определяет значения коэффициентов разложения физических полей одиночного излучателя при работе его вне антенной решетки и электрическом возбуждении на нулевой моде колебаний излучателя. Содержащиеся в левых частях двойные суммы характеризуют взаимодействие излучателей в решетках, обусловленное многократным рассеянием звука. Матричные элементы этой части отображают эффекты взаимодействия излучателей с номерами s и q в результате обмена между ними звуковыми волнами n -го и m -го порядков рассеяния, величина которых зависит от расстояния между излучателями (отображает множитель $H_{n-m}^{(1)}(kr_{sq})$). Входящие в

двойные суммы множители $J_m'(kr_{1s})/H_n^{(1)'}(kr_{1s})$ соответствуют коэффициентам разложений звукового поля, рассеянного одиночным абсолютно жестким цилиндром при дифракции звуковых волн на нем [6]. Остальные элементы левых частей описывают взаимодействие механических полей оболочек излучателей со звуковыми полями внутри излучателей и решетки в целом во внешнем пространстве, их зависимость от частоты электрического возбуждения излучателей и возможность появления новых мод радиальных и окружных колебаний даже при возбуждении всех излучателей решетки только на нулевой моде колебаний.

Полученные соотношения позволяют рассчитать все необходимые для выполнения проектных работ параметры физических полей планарных антенных решеток.

В части акустических полей такими параметрами являются: распределения амплитуд звуковых давлений в ближней зоне решетки, позволяющие выявить возможные зоны возникновения кавитации при работе антенных решеток; характеристики направленности решеток и частотные зависимости излучаемой каждым элементом решетки акустической мощности, важные с точки зрения определения тактико-технических параметров гидроакустических станций с такими антеннами; активных и реактивных составляющих импедансов излучения. Для определения их количественных значений используются соотношения (12), (7), (11).

В части механических полей интерес представляют частотные зависимости и угловые распределения амплитуд и фаз радиальной и окружной колебательных скоростей и составляющих их мод колебаний для каждого излучателя решетки, позволяющие определить состояние их механической прочности. Их расчет проводится на основании соотношений (12) и (7).

В части электрических полей важными параметрами являются частотные зависимости входных электрических сопротивлений излучателей, позволяющие решить задачу согласования импедансов излучателей и возбуждающих их электрических генераторов, и электрических токов, характеризующих качество преобразования электрической энергии в механическую излучателями конкретного вида и конструкции. Для их вычисления необходимы соотношения (12), (7) и выражения для $\vec{E}_\varphi^{(s)}$, $\vec{D}_\varphi^{(s)}$.

Выводы

Показано, что процесс функционирования планарных гидроакустических антенных решеток характеризуется возникновением взаимодействия электрических, механических и звуковых полей в каждом излучателе решетки при преобразовании электрической энергии в акустическую и взаимодействия излучателей в решетке по звуковому полю при формировании распределения его в окружающем пространстве. Эти два вида взаимодействия существенным образом влияют на формирование локальных и энергетических характеристик антенных решеток и должны учитываться при их проектировании. Методом связанных полей в много-

связных областях получены аналитические соотношения, позволяющие учесть указанные виды взаимодействия и выполнить расчеты количественных характеристик всех необходимых параметров планарных решеток при их проектировании с учетом реальных физических особенностей их работы.

Список использованных источников

1. Гринченко В.Т., Улитко А.Ф., Шульга Н.А. Механика связанных полей в элементах конструкций. Т.5. Электроупругость / – Киев: Наук. думка, 1989. – 280 с.
2. Дереза 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. – Киев: Изд. Дом Дмитрия Бурого, 2014. – 424 с.
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 р. – 390 с.
4. Иванов Е.А. Дифракция электромагнитных волн на двух телах. – Минск: Наука и техника, 1968. – 584 с.
5. Корякин Ю.А., Смирнов С.А., Яковлев Г.В. Корабельная гидроакустическая техника: состояние и актуальные проблемы. – СПб: Наука, 2004. – 410 с.
6. Лейко А.Г., Шамарин Ю.Е., Ткаченко В.П. Подводная электроакустическая аппаратура и устройства. Т.1. Подводные акустические антенны. Методы расчета звуковых полей. – Киев, 2000. – 320 с.
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 пьезоэффектами// Электроника и связь. – 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// Электроника и связь. – 2014. – №3 – С.– 62–72.
10. Савин В.Г., Дидусенко Ю.А. Уравнения движения тонкостенных цилиндрических пьезокерамических преобразователей с окружной поляризацией// КОНСОНАНС–2011. Акустический симпозиум. – 2011. – С. 230–235.
11. Смаришев М.Д. Направленность гидроакустических антенн. – Л.: Судостроение, 1973. – 277 с.

Поступила в редакцию 19 марта 2015 г.

УДК 534.231

О.Г. Лейко, д.-р. тех. наук, О.І. Нижник

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

Фізичні поля планарних гідроакустичних антен, утворених з циліндричних п'єзокерамічних випромінювачів

Методом зв'язаних полів в багатозв'язних областях вирішена задача випромінювання звуку планарною антенною решіткою, утвореною з циліндричних п'єзокерамічних випромінювачів силової та компенсованої конструкції з окружною поляризацією, з урахуванням взаємодії електричних, механічних та звукових полів у процесі перетворення електричної енергії в акустичну та взаємодії випромінювачів в решітці по звуковому полю, зумовленої багатократним розсіюванням хвиль на елементах решітки. Отримані аналітичні співвідношення, що дозволяють виконати розрахунки параметрів всіх фізичних полів, що приймають участь в роботі. Бібл. 11, рис. 1.

Ключові слова: фізичні поля; антенна решітка; циліндричний п'єзокерамічний випромінювач; окружна поляризація; метод зв'язаних областей.

UDC 534.231

A.G. Leiko, Dr.Sc., O.I. Nyzhnyk

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

Physical fields of planar sonars which consists of cylindrical piezoceramic emitters

Using related fields method in multi related areas the problem of sound emitting by planar sonar, which consist of cylindrical piezoceramic emitters was solved. This solution allows us to take into account the interaction of electrical, mechanical and sound fields during the process of converting electrical energy into acoustical and the interaction of the transmitters in the sound field, which is caused by numerous reflections of sound waves from the elements of the sonar. The analytical expressions, that allow to compute characteristics of all physical fields, that take part in sonar operation were obtained. Reference 11, figures 1.

Keywords: *physical fields; antenna array; cylindrical piezoceramic emitter; circumferential polarization; related fields method.*

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. *Didkovskij V. S., Poroshin S. M., Lejko O. G., Lejko A. O., Drozdenko O.I. (2013) "Construction of electroacoustic instruments and systems for multimedia acoustic technology". Kharkov. P. 390. (Ukr)*
4. *Ivanov E.A. (1968), "Diffraction of electromagnetic waves on two bodies". Minsk, Science and technics. P. 584 (Rus)*
5. *Koryakin Y.A., Smirnov S.A., Yakovlev G.V. (2004) "Hydroacoustic ship-based technics: state and actual problems". SPb, Science. P. 410. (Rus)*
6. *Lejko 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)*
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. *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)*
11. *Smarishev M.D. (1973) "Directionality of sonars". Sudostoenie, P. 277.*