

УДК 534.874.3:004.94

Моделирование волнового поля гидроакустического излучателя

Корчака А. В.

Постановка задачи: моделирование волновых полей гидроакустических излучателей является неотъемлемой частью проектирования гидроакустических антенн. Достоверность результатов численного моделирования в значительной мере зависит от полноты учета характеристик морской среды. Известно множество подходов к воссозданию акустической обстановки. При этом, в большинстве случаев, точность вычислений пропорциональна времени расчета и вычислительной мощности ЭВМ. **Целью работы** является разработка математического алгоритма, позволяющего производить расчеты волнового поля гидроакустических излучателей, учитывая неоднородности морской среды, с использованием аппаратного обеспечения средней мощности при небольших временных затратах. **Используемые методы:** в основе используемого подхода лежит метод направленных функций Грина, позволяющий значительно упростить расчетные формулы и, как следствие, понизить требования к производительности ЭВМ, используемых для моделирования. **Новизна:** элементом новизны является использование известного математического аппарата направленных функций Грина и теории отражения волн от плоской границы раздела сред, для решения практической задачи моделирования волнового поля гидроакустического излучателя. **Результат:** представлена математическая модель, удовлетворяющая цели работы. На базе модели разработаны расчетные алгоритмы, позволяющие производить моделирование поля излучателей, с использованием программной среды MathCad. Возможности алгоритмов опробованы при моделировании поля одного элементарного излучателя в безграничной среде и простой антенной решетке с учетом разности импедансов на границе раздела: вода – морское дно. Представлены расчетные графики. Время расчета одного варианта не превышает 10 мин. **Практическая значимость:** результаты моделирования подтверждают применимость предложенного подхода для выполнения инженерных расчетов. Математическая модель является обобщенной и может быть модифицирована под конкретную задачу с учетом предъявляемых требований.

Ключевые слова: математическая модель, граница раздела, гидроакустическое поле, компьютерное моделирование, функции Грина, вычислительная мощность.

Актуальность

В процессе решения практических задач, связанных с Мировым океаном, широко применяются гидроакустические антенны с различными характеристиками. Наиболее важной является характеристика направленности, то есть зависимость коэффициента усиления (направленного действия) антенны от направления: для обнаружения сигналов используются антенны, ненаправленные в плоскости наблюдения, для определения координат объектов – остронаправленные антенные решетки. Область применения гидроакустических антенн не ограничена приведенными примерами, ареал деятельности человека в океане непрерывно расширяется, потребность в разработке и совершенствовании гидроакустического оборудования возрастает.

Библиографическая ссылка на статью:

Корчака А. В. Моделирование волнового поля гидроакустического излучателя // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 1. С. 252-263. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10115

Reference for citation:

Korchaka A. V. Simulation of the Wave Field of a Hydroacoustic Emitter. *Systems of Control, Communication and Security*, 2019, no. 1, pp. 252-263. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10115 (in Russian).

Проектирование специализированной гидроакустической антенны сложно представить без компьютерного моделирования работы ее составных частей и устройства в целом. Данный подход позволяет детально анализировать конструктивные решения, что значительно ускоряет и удешевляет разработку.

Моделирование поля гидроакустического излучателя предусматривает проведение комплекса сложных вычислительных операций. Близость результатов тестового моделирования к реальным характеристикам будущей антенны в частности обусловлена полнотой учета влияния морской среды на процесс формирования диаграммы направленности и высокой изменчивостью свойств среды в пространстве.

Применение известных математических моделей, полученных, например, в работах [1, 2, 3, 4] и др., зачастую парализовано производительностью современных ЭВМ. Приближение к реальным условиям приводит к усложнению расчетных систем, требующих численного решения, в следствии чего – к недопустимо большому времени расчета [5, 6].

Возможность снижения объема вычислений обсуждается в работах различных авторов, например [7, 8]. Предлагается производить формирование сигнала на промежуточных частотах, использовать комбинированные методы с квадратичной аппроксимацией и пр. Новизна и практическая значимость предлагаемых решений в частных случаях безусловна. При этом, единого подхода, который позволил бы охватить проблему в целом, в доступных источниках найти не удалось.

В настоящей работе предлагается модель, основанная на математическом аппарате функций Грина, позволяющая учитывать разность импедансов на границах раздела сред в любом рассматриваемом угловом диапазоне (независимом объеме). Используемый метод [9], в отличие от классической функции Грина, позволяет аппроксимировать излучаемую сферическую волну веером диаграмм направленности, делящим объем расположения источника на некоторое количество независимых объемов, а также разделять переменные при смешанных граничных условиях. Применение метода направленных функций Грина, дает возможность значительно упростить расчетные формулы, что, по мнению автора, позволяет снизить требования к производительности ЭВМ, используемых для моделирования.

Обобщенная математическая модель

В общем случае, расчет волнового поля подразумевает решение уравнения Гельмгольца:

$$\Delta P + \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 P = \delta(r-r_0), \quad (1)$$

где: $\delta(r-r_0)$ – дельта-функция Дирака; $\frac{\omega}{c} = k$ – волновое число; $\Delta P, P$ – давление, создаваемое некоторой совокупностью источников, расположенных в условном объеме и давление, создаваемое единичным источником, расположенным в точке наблюдения, соответственно.

Сферическую волну, излучаемую в свободное пространство, представим в виде:

$$G(r_0, r) = g(r_0, r) = \frac{e^{ik(r-r_0)}}{(r-r_0)} = \frac{e^{ikR}}{R}, \quad (2)$$

Диаграммная направленная функция Грина представляется в виде следующего выражения:

$$G(M, M_0) = \frac{e^{ikr}}{r} = \sum_{i=1}^l \int_{-\infty}^{\infty} \frac{F(U_1, U_2) e^{i(U_1 x + U_2 y + z \sqrt{k_0^2 - U_1^2 - U_2^2})}}{\sqrt{k_0^2 - U_1^2 - U_2^2}} dU_1 dU_2, \quad (3)$$

где: $U_1 = k_0 \cos \theta, U_2 = k_0 \cos \theta \sin \varphi$ – обобщенный угловой интервал; $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число;

$$F = \begin{cases} 1 & \text{при } U_{1\min} \leq U_1 \leq U_{1\max}, U_{2\min} \leq U_2 \leq U_{2\max} \\ 0, & \text{в остальных значениях } U \\ f(U_1, U_2) & \text{– в зоне мнимых углов} \end{cases} \quad \text{– сектор направленности функции}$$

(3) в некотором интервале ΔU .

Известно, что равноправными решениями уравнения Гельмгольца могут являются две функции Грина: функция расходящихся волн и сопряженная с ней. Домножив сопряженную функцию на коэффициент отражения от среды, конечное выражение запишем в следующем виде:

$$G(M, M_0) = G^+(M, M_0) + K_{\text{отр}} G^-(M, M_0), \quad (4)$$

Обратимся к закону Снеллиуса (рис. 1), который можно записать в виде:

$$K_1 \sin \theta_1 = K_2 \sin \theta_2, \quad (5)$$

Представим давление, создаваемое излучателем у границы раздела сред, в виде двух составляющих: $\Phi_1 = \Phi_{\text{над.}} + \Phi_{\text{отр.}}$ – основное поле, $\Phi_2 = \Phi_{\text{пр.}}$ – часть поля, прошедшая через границу.

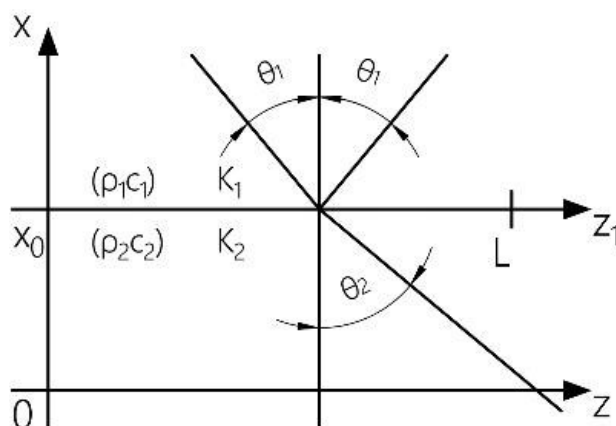


Рис. 1. К вопросу об отражении волны от границы раздела

Граничные условия для любых видов поверхностей, в том числе и плоскости:

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 \Phi_1 &= \rho_2 \Phi_2 \\ \frac{\partial \Phi_1}{\partial n} &= \frac{\partial \Phi_2}{\partial n} \end{aligned} \right|_{S=L_1} \quad (6)$$

Записав плоские волны в одной системе координат и удовлетворив граничным условиям, получим выражение для коэффициента отражения от границы раздела сред:

$$K_{\text{отр}} = \frac{\frac{(\rho c)_1}{\cos \theta_1} - \frac{(\rho c)_2}{\cos \theta_2}}{\frac{(\rho c)_1}{\cos \theta_1} + \frac{(\rho c)_2}{\cos \theta_2}}, \quad (7)$$

Моделирование излучателя в свободном пространстве

В безграничном объеме с известными параметрами находится единичный гидроакустический излучатель. По заданным функции возбуждения, его координатам и параметрам среды требуется определить давление, создаваемое излучателем на некоторой поверхности. Численное моделирование производится на ЭВМ с применением программной среды MathCad. Диаграммная функция единичного излучателя:

$$P = \frac{i}{2 \cdot \pi} \int_{U_{\min}}^{U_{\max}} \frac{Fn(U)}{\sqrt{k^2 - U^2}} e^{i \left[(x-x_0) \sqrt{k^2 - U^2} + (y(x)-y_0) U \right]} dU, \quad (8)$$

где: F – направленная функция; U – обобщенные угловые координаты; x_0, y_0 – координаты излучателя.

Исходные данные:

- координаты излучателя: $x = 0,1$ м; $z = 0,1$ м;
- частота: $f = 5$ кГц;
- длина волны: $\lambda = 0,3$ м;
- угол направленности: 60° .

Полученное распределение давления, создаваемого точечным излучателем в безграничном пространстве, приведено на рис. 2.

Рассматривается сферическая волна, следовательно, график должен представляться ровным сегментом круга. Колебания относительно линии окружности являются погрешность расчета по алгоритму (3). Наибольшая ошибка представляется в интервалах углов $30-40^\circ$ и $320-330^\circ$ и не превышает 15%.

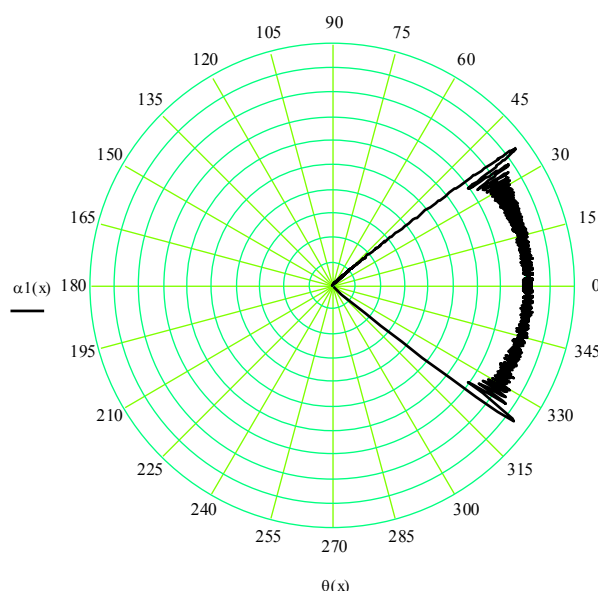


Рис. 2. Распределение поля единичного излучателя в свободном пространстве

Моделирование антенной решетки

Обобщенно, вторую задачу можно сформулировать следующим образом: антенная решетка, состоящая из 4-х точечных элементов располагается в шельфовой зоне океана. Волны, излученные ею, падают на морское дно. Часть волн отражается. Зная характеристики излучателей, геометрию антенны, ее координаты и параметры среды необходимо рассчитать поле, создаваемое заданной совокупностью источников в точке наблюдения.

Для морской воды приняты следующие характеристики: плотность $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$, скорость распространения звука $c=1500 \text{ м/с}$. Отражающая среда – морской грунт. В качестве грунта принимается песок влагонасыщенный. Его характеристики: плотность $\rho_1=3200 \text{ кг/м}^3$, скорость распространения звука $c_1=1900 \text{ м/с}$. Характеристики сред считаются статическими.

Моделируемая нами решетка состоит из 4-х элементов, способ расположения которых изображен на (рис. 3). Шаг по осям $x, y - 0,1 \text{ м}$. Для учета отраженной составляющей к выражению (8) добавляется сопряженная функция и коэффициент отражения среды (7).

Численное моделирование, как и в первом случае, производится на ЭВМ с применением программной среды MathCad. Расчетные алгоритмы для каждого элемента приведены ниже.

Функция первого элемента, с координатами $x = 0, z = 0,1 \text{ м}$:

$$W_1(x) = \frac{i}{2\pi} \int_{U_{\min}}^{U_{\max}} \frac{F(U)}{\sqrt{k^2 - U^2}} e^{i\left((x-x_1)\sqrt{k^2 - U^2} + (y(x)-y_1)U\right)} dU +$$

$$\begin{aligned}
 & + \int_{U_{\min}}^{U_{\max}} \left(\frac{\frac{z}{\sqrt{1-\left(\frac{U}{k}\right)^2}} - \frac{z_1}{\sqrt{1-\left(\frac{c_1}{c}\right)\left(\frac{U}{k}\right)^2}}}{\frac{z}{\sqrt{1-\left(\frac{U}{k}\right)^2}} + \frac{z_1}{\sqrt{1-\left(\frac{c_1}{c}\right)\left(\frac{U}{k}\right)^2}}} \right) \times \\
 & \times \frac{F(U)}{\sqrt{k^2-U^2}} e^{i\left((x-x_1)\sqrt{k^2-U^2}+(y(x)-y_1)U\right)} dU, \tag{9}
 \end{aligned}$$

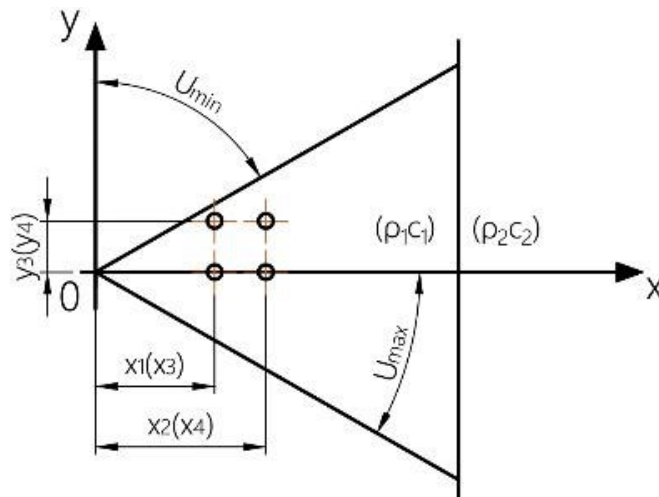


Рис. 3. Геометрия задачи

Функция второго элемента, с координатами $x = 0, z = 0,2$ м:

$$\begin{aligned}
 W_2(x) = & \frac{i}{2\pi} \int_{U_{\min}}^{U_{\max}} \frac{F(U)}{\sqrt{k^2-U^2}} e^{i\left((x-x_2)\sqrt{k^2-U^2}+(y(x)-y_2)U\right)} dU + \\
 & + \int_{U_{\min}}^{U_{\max}} \left(\frac{\frac{z}{\sqrt{1-\left(\frac{U}{k}\right)^2}} - \frac{z_1}{\sqrt{1-\left(\frac{c_1}{c}\right)\left(\frac{U}{k}\right)^2}}}{\frac{z}{\sqrt{1-\left(\frac{U}{k}\right)^2}} + \frac{z_1}{\sqrt{1-\left(\frac{c_1}{c}\right)\left(\frac{U}{k}\right)^2}}} \right) \times \\
 & \times \frac{F(U)}{\sqrt{k^2-U^2}} e^{i\left((x-x_2)\sqrt{k^2-U^2}+(y(x)-y_2)U\right)} dU, \tag{10}
 \end{aligned}$$

Функция третьего элемента, с координатами $x = 0,1, z = 0,1$ м:

$$W_3(x) = \frac{i}{2\pi} \int_{U_{\min}}^{U_{\max}} \frac{F(U)}{\sqrt{k^2-U^2}} e^{i\left((x-x_3)\sqrt{k^2-U^2}+(y(x)-y_3)U\right)} dU +$$

$$\begin{aligned}
 & + \int_{U_{\min}}^{U_{\max}} \left(\frac{\frac{z}{\sqrt{1-\left(\frac{U}{k}\right)^2}} - \frac{z_1}{\sqrt{1-\left(\frac{c_1}{c}\right)\left(\frac{U}{k}\right)^2}}}{\frac{z}{\sqrt{1-\left(\frac{U}{k}\right)^2}} + \frac{z_1}{\sqrt{1-\left(\frac{c_1}{c}\right)\left(\frac{U}{k}\right)^2}}} \right) \times \\
 & \times \frac{F(U)}{\sqrt{k^2-U^2}} e^{i\left((x-x_3)\sqrt{k^2-U^2}+(y(x)-y_3)U\right)} dU, \tag{11}
 \end{aligned}$$

Функция четвертого элемента, с координатами $x = 0,2, z = 0,2$ м:

$$\begin{aligned}
 W_4(x) = & \frac{i}{2\pi} \int_{U_{\min}}^{U_{\max}} \frac{F(U)}{\sqrt{k^2-U^2}} e^{i\left((x-x_4)\sqrt{k^2-U^2}+(y(x)-y_4)U\right)} dU + \\
 & + \int_{U_{\min}}^{U_{\max}} \left(\frac{\frac{z}{\sqrt{1-\left(\frac{U}{k}\right)^2}} - \frac{z_1}{\sqrt{1-\left(\frac{c_1}{c}\right)\left(\frac{U}{k}\right)^2}}}{\frac{z}{\sqrt{1-\left(\frac{U}{k}\right)^2}} + \frac{z_1}{\sqrt{1-\left(\frac{c_1}{c}\right)\left(\frac{U}{k}\right)^2}}} \right) \times \\
 & \times \frac{F(U)}{\sqrt{k^2-U^2}} e^{i\left((x-x_4)\sqrt{k^2-U^2}+(y(x)-y_4)U\right)} dU, \tag{12}
 \end{aligned}$$

Моделирование производится при частоте $f = 5,5$ кГц, длине волны $\lambda = 0,3$ м; угле направленности 90° . Распределение давления рассматривается на расстоянии 300 м. Расчетные графики распределения давления для каждого элемента и антенной решетки в целом приведены на рис. 4-7.

Моделирование распределения давления совокупности источников (рис. 4) производится путем суммирования расчетных характеристик отдельных элементов.

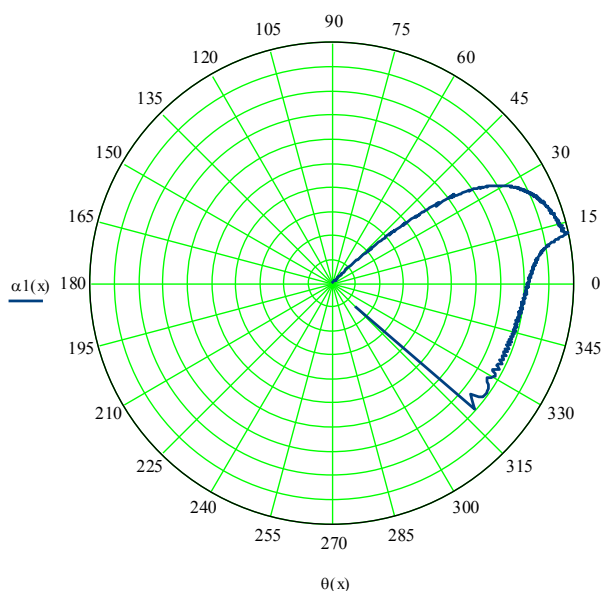


Рис. 4. Распределение поля первого элемента антенной решетки, с координатами $x = 0,1$ м, $y = 0$ м

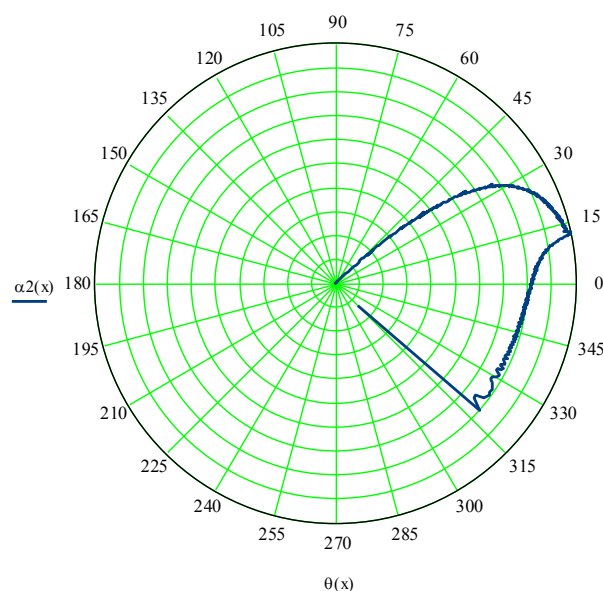


Рис. 5. Распределение поля второго элемента антенной решетки, с координатами $x = 0,2$ м, $y = 0$ м

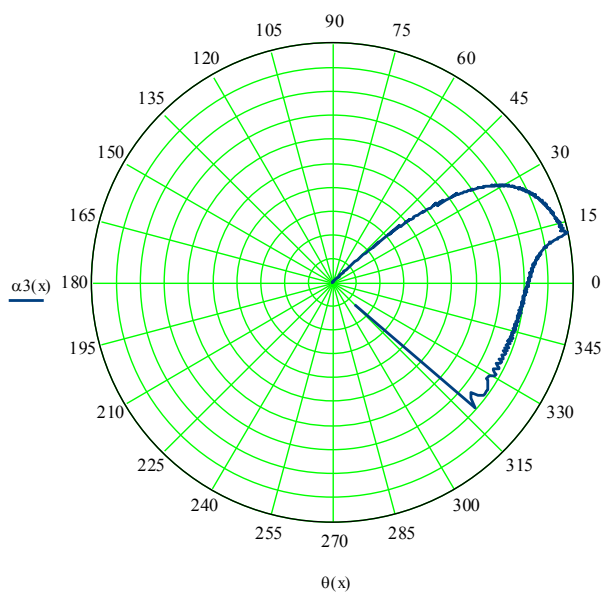


Рис. 6. Распределение поля третьего элемента антенной решетки, с координатами $x = 0,1$ м, $y = 0,1$ м

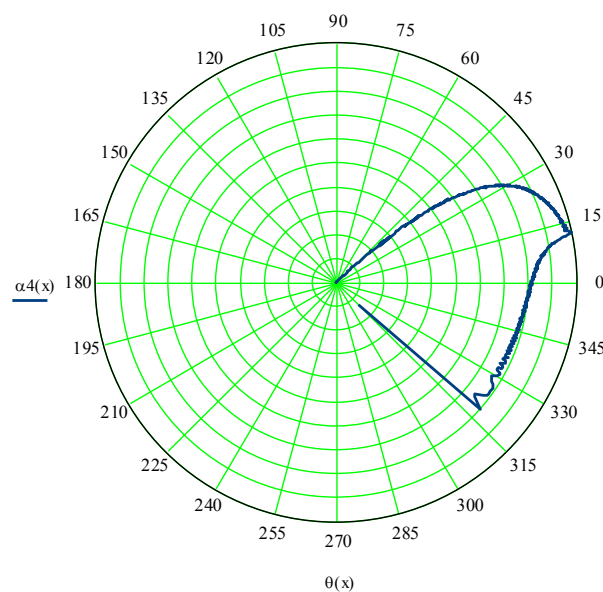


Рис. 7. Распределение поля четвертого элемента антенной решетки, с координатами $x = 0,2$ м, $y = 0,2$ м

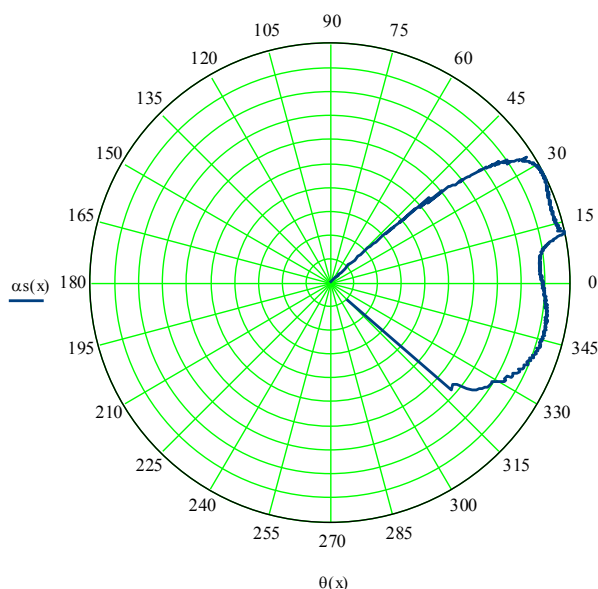


Рис. 8. Суммарное поле антенной решетки

Выводы

Предложенная базовая математическая модель является обобщенной и может быть модифицирована под конкретную задачу с учетом предъявляемых требований. Возможности модели продемонстрированы на примерах расчета поля точечного гидроакустического излучателя и поля антенной решетки. Показано, что расчетные алгоритмы позволяют производить инженерные расчеты антенн.

Универсальность подхода заключается доступности аппаратного и программного обеспечения и малых временных затратах на выполнение вычислений: время расчета 1 варианта на ЭВМ средней мощности – не более 10 минут.

К недостаткам можно отнести принятое условие статичности характеристик сред. В рассмотренном приближении, среды бесконечны в направлении от границы раздела. Часть излученной волны, прошедшая через границу – не рассматривается. Предположительно, при соответствующем усложнении алгоритма возможно рассмотрение прошедшей составляющей.

Известно, что строение реальной морской среды возможно аппроксимировать условно слоистой структурой. В дальнейшем планируется введение в расчетную модель коэффициентов отражения от плоского слоя и коэффициентов прохождения в/через слой, что позволит учитывать строение дна, наличие затонувших объектов, ледового покрова и пр.

Следует отметить, что теоретические расчеты по алгоритму (3) ранее подвергнуты сравнению с данными реальных морских измерений, в результате чего установлено качественное совпадение результатов [5]. В дальнейшем планируется проведение натурных испытаний для подтверждения эффективности предложенного подхода.

Литература

1. Смаришев Н. Д. Направленность гидроакустических антенн. – Л.: Судостроение, 1973. – 279 с.

2. Жуков В. Б. Расчет гидроакустических антенн по диаграмме направленности. – Л.: Судостроение, 1972. – 348 с.
3. Ольшевский В. В. Статистические методы в гидролокации. – Л.: Судостроение, 1983. – 280 с.
4. Урик Р. Дж. Основы гидроакустики. – Л: Судостроение, 1978. – 448 с.
5. Короченцев В. И., Губко Л. В., Мироненко М. В., Горасев И. В. Трехмерная неоднородная модель морской среды // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 10 (183). С. 65-79.
6. Короченцев В. И., Малашенко А. Е., Мироненко М. В., Потапенко А. А. Анализ и синтез акустических антенн в морском клине // Морские интеллектуальные технологии. 2016. Т. 1. № 3 (33). С. 274-279.
7. Розанов И. А., Сотников А. А. Имитационное моделирование гидроакустических сигналов на промежуточной частоте // Наука и образование: Научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2016. № 12. С. 279-299.
8. Балабаев С. М., Ивина Н. Ф. Компьютерное моделирование и анализ излучения цилиндрических гидроакустических антенн // Научные труды Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета. 2012. № 25. С. 36-49.
9. Короченцев В. И. Волновые задачи теории направленных и фокусирующих антенн. – Владивосток: Дальнаука, 1998. – 192 с.
10. Короченцев В. И. Расчет гидроакустических антенн в клине с импедансными стенками методами синтеза и анализа // Современное состояние и перспективы развития теории и прикладных вопросов гидроакустики. – Владивосток: ТОВВМУ им. С. О. Макарова, 1996. С. 44-49.
11. Шевкун С. А. Разработка методов анализа волновых полей в замкнутых объемах: дис. ... канд. ф-м. наук. – Владивосток: ДВГТУ, 2006. – 186 с.

References

1. Sarychev N. D. *Napravlennost' gidroakusticheskikh antenn* [The orientation of the hydroacoustic antennas]. Leningrad, Shipbuilding Publ., 1973. 279 p. (in Russian).
2. Zhukov V. B. *Raschet gidroakusticheskikh antenn po diagramme napravlennosti* [Calculation of the hydroacoustic antennas according to the directivity pattern]. Leningrad, Shipbuilding Publ., 1972. 348 p. (in Russian).
3. Olshevsky V. V. *Statisticheskie metody v gidrolokacii* [Statistical methods in sonar]. Leningrad, Shipbuilding Publ., 1983. 280 p. (in Russian).
4. Urik R. J. *Osnovy gidroakustiki* [Basics of hydroacoustics]. Leningrad, Shipbuilding Publ., 1978. 448 p. (in Russian).
5. Korochentsev V. I., Gubko L. V., Mironenko M. V., Garasev I. V. Three-Dimensional inhomogeneous model of the marine environment. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2016, no. 10 (183), pp. 65-79 (in Russian).
6. Korochentsev V. I., Malashenko A. E., Mironenko M. V., Potapenko A. A. Analysis and synthesis of acoustic antennas in a marine wedge. *Marine intellectual technologies*, 2016, vol. 1, no. 3 (33), pp. 274-279 (in Russian).

7. Rozanov A. I., Sotnikov A. A. Simulation modeling of hydroacoustic signals at the intermediate frequency. *Science and Education: Scientific Publication Science and Education of the Bauman MSTU*, 2016, no. 12, pp. 279-299 (in Russian).

8. Balabaev S. M., Ivina N. F. Computer modeling and analysis of cylindrical hydroacoustic antenna radiation. *Nauchnye trudy Dalnevostochnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo rybohozyajstvennogo universiteta*, 2012, no. 25, pp. 36-49 (in Russian).

9. Korochentsev V. I. *Volnovye zadachi teorii napravlennykh i fokusiruyushchih antenn* [Wave problems of the theory of directional and focusing antennas]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 1998. 192 p. (in Russian).

10. Korochentsev V. I. Raschet gidroakusticheskikh antenn v kline s impedansnymi stenkami metodami sinteza i analiza [Calculation of hydroacoustic antennas in a wedge with impedance walls by methods of synthesis and analysis]. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya teorii i prikladnykh voprosov gidroakustiki* [Current state and prospects of development of the theory and applied questions of hydroacoustics]. Vladivostok, Pacific Higher Naval School imeni S. O. Makarov Publ., 1996, pp. 44-49 (in Russian).

11. Shevkun S. A. *Razrabotka metodov analiza volnovykh poley v zamknutykh ob'emach* [Development of methods for the analysis of wave fields in closed volumes. Ph.D Thesis.]. Vladivostok, Far Eastern State Technical University, 2006. 186 p. (in Russian).

Статья поступила 10 марта 2019 г.

Информация об авторе

Корчака Анатолий Владимирович – аспирант кафедры приборостроения. Дальневосточный Федеральный Университет. Область научных интересов: применение упругих волн в приборостроении, градостроительная акустика и защита от шума. E-mail: anatoliy_korchaka_informbox@mail.ru

Адрес: 690091, Россия, г. Владивосток, ул. Суханова, д. 8.

Simulation of the Wave Field of a Hydroacoustic Emitter

A. V. Korchaka

The statement of the problem: Modeling of wave fields of hydroacoustic emitters is an integral part of the design of hydroacoustic antennas. The reliability of numerical simulations depends on the completeness of the marine environment's characteristics. There are many approaches to recreating the acoustic environment. At the same time, in most cases, the accuracy of the calculations is proportional to the calculation time and computing power of the computer. **The purpose of the work** is the development of a mathematical algorithm that allows calculating the wave field of hydroacoustic emitters, given the heterogeneity of the marine environment, using hardware of average power at low time costs. **The using methods:** the approach used is based on the method of directed Green's functions, which makes it possible to significantly simplify the calculation formulas and, as a result, to reduce the performance requirements of computers used for modeling. **The novelty:** The novelty element is using the well-known mathematical apparatus of directed Green's functions and the theory of wave reflection from the flat interface of media, to solve the practical

problem of modeling the wave field of a hydroacoustic radiator. **The results:** The mathematical model satisfying the goals of the work is presented. On the basis of the model, computational algorithms have been developed that allow modeling of the emitter field using the MathCad software environment. The possibilities of the algorithms were tested in the simulation of the field of one elementary radiator in a limitless medium and a simple antenna array taking into account the impedance difference at the interface: water – seabed. Calculation charts are presented. The calculation time of one variant does not exceed 10 minutes. **The practical significance.** The results of the simulation confirm the applicability of the proposed approach for performing engineering calculations. The mathematical model is generic and can be modified for a specific task in view of the requirements.

Keywords: mathematical model, difference interface, hydroacoustic field, computer modeling, Green's functions, computing power.

Information about Author

Anatoly Vladimirovich Korchaka – post-graduate student of the Department of instrumentation. Far Eastern Federal University. Field of research: the use of elastic waves in instrumentation, urban acoustics and noise protection. E-mail: anatoliy_korchaka_informbox@mail.ru

Address: Russia, 690091, Vladivostok, Sukhanova str., 8.