

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛИНЕЙНОЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ Корчака А.В.

Корчака Анатолий Владимирович – аспирант,
Инженерная школа
Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Аннотация: рассматривается метод решения задачи анализа волновых полей, базирующийся на математическом аппарате теории направленных функций Грина. Приведен математический алгоритм, позволяющий производить моделирование поля как одного элементарного излучателя, так и некоторой совокупности излучателей. Возможности алгоритма продемонстрированы на примере анализа поля простейшей линейной гидроакустической антенной решеткой. Подтверждена пригодность приведенной модели для практических расчетов.

Ключевые слова: антенная решетка, анализ волновых полей, направленная функция Грина, математическое моделирование волнового поля.

Множество практических задач гидроакустики требуют решения задачи анализа волновых полей. Волновое поле – поле, которое с заданной точностью возможно описать волновыми уравнениями. Задача анализа представляет собой задачу определения характеристик волнового поля, исходя из известных параметров источника, и параметров среды.

Вопросам анализа волновых полей посвящено большое количество научных работ. Некоторые из них рассмотрены в работах [1 - 4]. Вместе с тем, известные в настоящее время методы решения рассматриваемой задачи не всегда обладают требуемой точностью, зачастую ограничены в применении либо требуют существенных временных и финансовых затрат для реализации.

В настоящей работе рассматривается метод решения задачи анализа гидроакустической антенной решетки с использованием направленных функций Грина. Теоретические основы метода приведены в [5]. Некоторые примеры применения рассмотрены в работах [6 - 7].

Решаемая задача формулируется следующим образом: пусть, в единичном объеме с известными параметрами находится гидроакустическая антенная решетка. Решетка состоит из 4-точечных элементов, среда расположения – морская вода. Зная характеристики антенны, ее расположение и параметры среды требуется найти поле, создаваемое исследуемой совокупностью источников в точке наблюдения.

Моделирование антенны производится путем суммирования функций каждого отдельного элемента.

Решение волнового уравнения представляется в виде функции:

$$P(r) = P_0 \frac{e^{ikr}}{r}$$

Исходя из теоретических данных, функция n-ного излучателя представляется в виде следующего аналитического выражения:

$$Pn = \frac{i}{2 \times \pi} - \int_{Un_{min}}^{Un_{max}} \frac{Fn(Un)}{\sqrt{k^2 - Un^2}} \times e^{(i \times ((x-x_0) \times \sqrt{k^2 - Un^2}) + (y(x) - y_0) \times Un)} dUn, (1)$$

где:

Fn - направленная функция;

$$Fn = \begin{cases} 1, & \text{если } Un_{min} \leq Un \leq Un_{max} \\ 0, & \text{при остальных значениях } U \text{ и в зоне видимости} \end{cases}$$

Un – обобщенные угловые координаты,

x_0, y_0 – координаты излучателя.

Исходные данные для всех элементов антенной решетки:

- частота: $f=5$ кГц;
- длина волны: $\lambda = 0.3$ м;
- скорость распространения звука: $c=1500$ м/с;
- угол раскрытия: 70 deg.

Произведем моделирование полей отдельных элементов и антенной решетки в целом на ЭВМ с применением программной среды MathCad. Результаты расчетов представлены ниже.

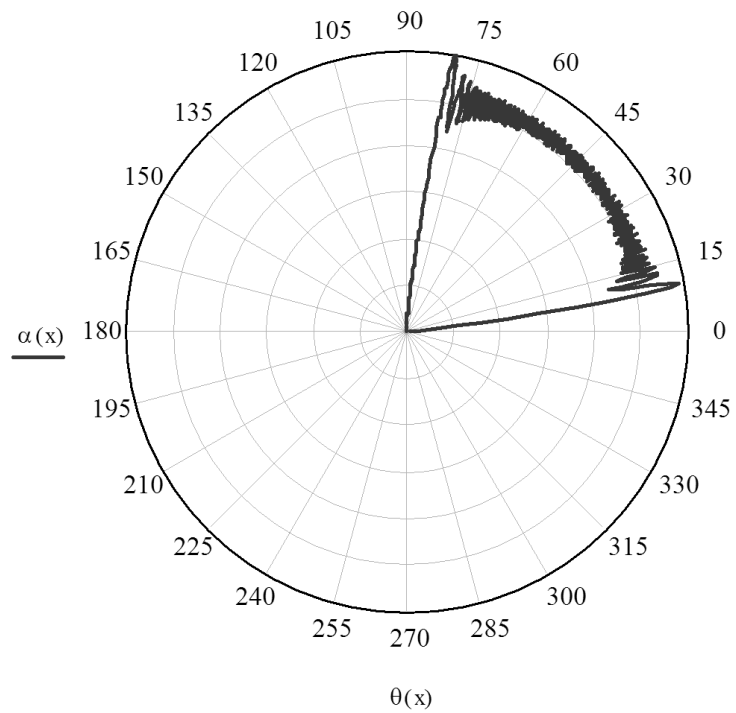


Рис. 1. Направленная функция Грина элемента антенной решетки № 1
Координаты элемента: $x=0$, $y=0$.

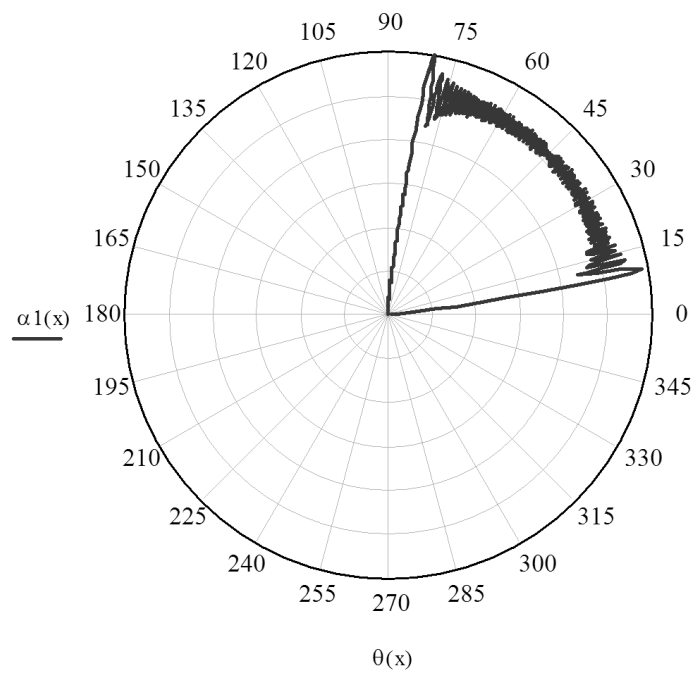


Рис. 2. Направленная функция Грина элемента антенной решетки № 2
Координаты элемента: $x=0,1$; $y=0,1$.

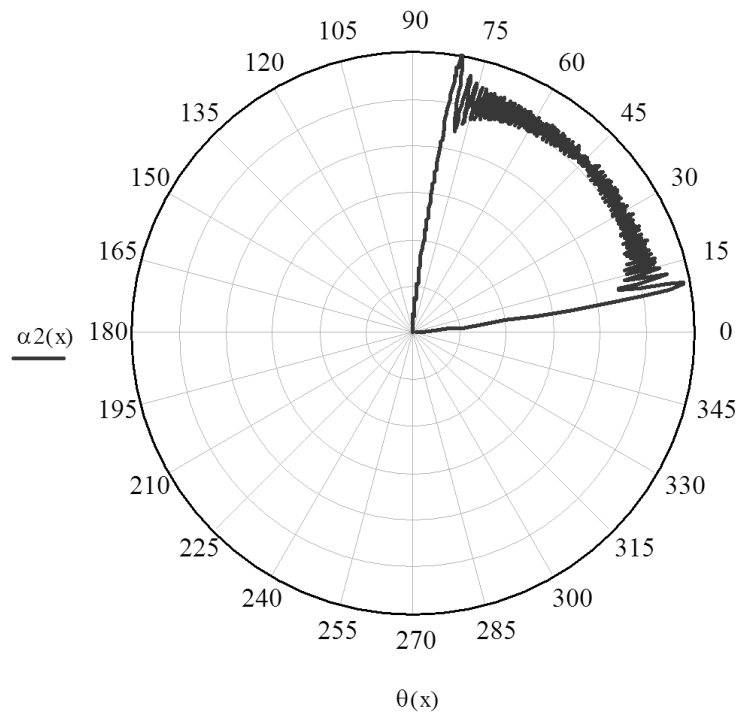


Рис. 3. Направленная функция Грина элемента антенной решетки № 3
Координаты элемента: $x=0,2$; $y=0,2$.

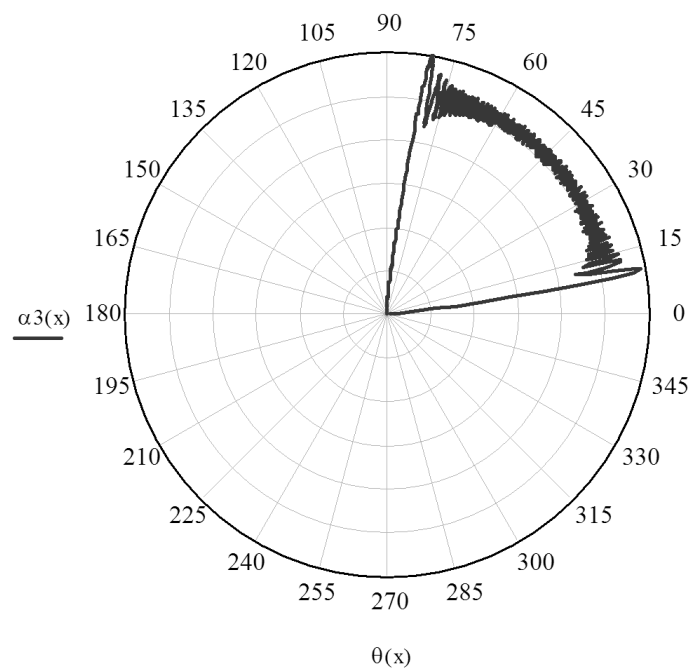


Рис. 4. Направленная функция Грина элемента антенной решетки № 4
Координаты элемента: $x=0,3$; $y=0,3$.

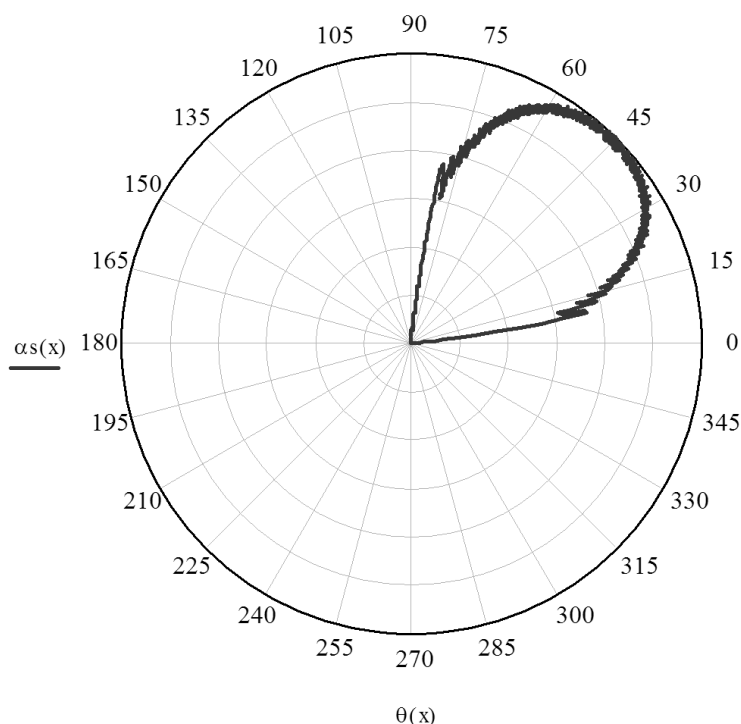


Рис. 4. Сумма всех элементов антенной решетки

Диаграммы 1-3 демонстрируют представление полей каждого из элементов, а диаграмма 4 – поля антенной решетки в целом. График сферической функции представляет собой идеальную окружность, отклонения графиков относительно окружности обусловлены погрешностью решения уравнения Гельмгольца.

Наибольшая ошибка для каждого излучателя наблюдается в интервалах углов $0-15^\circ$ и $75-90^\circ$. Для антенной решетки в совокупности погрешность вычислений равномерно распределяется во всем интервале раскрытия. Выпуклая форма диаграммы решетки связана со смещением точки наблюдения.

Результаты экспериментов показывают, что приведенная математическая модель пригодна для практических расчетов. Время расчета поля гидроакустической антенной решетки на маломощном компьютере составляет не более 10 минут.

Использованный подход позволяет проводить анализ поля с фиксированной погрешностью. Геометрия задачи может быть значительно усложнена. По аналогии с отдельными излучателями одной антенны, представляется возможным проводить моделирование и рассматривать взаимодействие полей нескольких антенных решеток, учитывать волны, отраженные на границах раздела сред, в слоистых средах.

Список литературы

1. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. М.: Из-во АН СССР, 1957. 502 с.
2. Жуков В.Б. Расчет гидроакустических антенн по диаграмме направленности. Л.: Судостроение, 1972. 348 с.
3. Шевкун С.А. Разработка методов анализа волновых полей в замкнутых объемах: диссертация на соискание ученой степени канд. ф-м. наук. Владивосток, 2006. 186 с.
4. Шендеров Е.Л. Волновые задачи гидроакустики. Л.: Судостроение, 1972. 348 с.
5. Короченцев В.И. Волновые задачи теории направленных и фокусирующих антенн. Владивосток, 1998. 198 с.
6. Korochentsev V.I., Zorchenko N.K., Potapenko A.A. Methods for reducing the error of sonar equipment in sea wedge // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM 2017). Chelyabinsk, Russia 16-19 May, 2017. P. 1432-1435.
7. Абдрашитов А.Г., Белаиш А.П., Волков П.А., Короченцев В.И. Анализ и синтез линзовых антенн для рыбопоисковых локаторов // Вестник Камчатского государственного технического университета, 2013. № 23. С. 5–9.
- 8.