

*Эм Артем Александрович,
аспирант департамента Электроники,
Телекоммуникаций и Приборостроения
Дальневосточный Федеральный Университет
РФ, г. Владивосток*

СИНТЕЗ ЭКВИДИСТАНТНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ИЗ СЕМИ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

***Аннотация:** проведен синтез антенной решетки из семи точечных источников электромагнитных волн в свободном пространстве.*

Представлены графики распределения амплитуды напряженности электрического поля в свободном пространстве и функции плотности источников.

***Ключевые слова:** анализ волновых полей; граница раздела сред; направленная функция Грина.*

***Abstract:** The synthesis of an antenna array from seven point sources of electromagnetic waves in free space has been carried out.*

The graphs of the distribution of the amplitude of the electric field strength in free space and the density function of the sources are presented.

***Key words:** analysis of wave fields; interface between media; directional Green's function.*

Введение: Большинство традиционных методов расчета антенн рассматривают задачи анализа и синтеза как отдельные невзаимосвязанные задачи [2, 4, 5]. Задача синтеза антенн сводятся к определению расположения источников по заданному полю. Диаграмма направленности показывает

распределение поля, создаваемого антенной по угловой координате в свободном пространстве.

Предлагается метод расчета, основанный на направленных функциях Грина с граничными условиями неоднородными по углу [1]. Данный метод рассматривает задачу синтеза антенн как обратную задачу анализа. Преимущество метода заключается в быстроте расчета при малых затратах вычислительных мощностей.

Математическая модель: рассмотрим задачу: нужно рассчитать функцию плотности источников по заданному полю (Рисунок 1). Все источники лежат на оси x и равноудалены друг от друга.

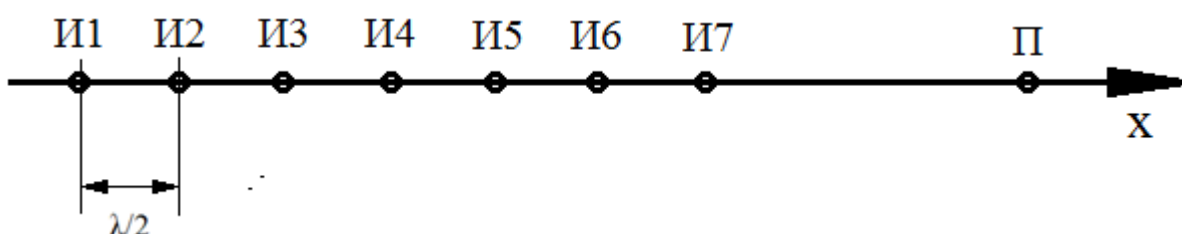


Рисунок 1. Поле точечного источника в свободном пространстве.

И-источник, П-приемник.

Достаточно большое количество математических моделей, описывающих распространение электромагнитных волн, строятся на частных решениях волнового уравнения и уравнений Максвелла с граничными условиями непрерывности амплитуды поля и непрерывности волнового сопротивления[1,3]. Решением волнового уравнения является уравнение Гельмгольца, а равноправными решениями уравнения Гельмгольца являются две сопряженные друг с другом функции Грина[2, 4, 5]. Одна из функций Грина описывает расходящиеся от поверхности излучателя волны $G_1(M, M_0)$, а вторая - сопряженная с ней $G_1^{-1}(M, M_0)$ [5]. Строго говоря, общим решением уравнения Гельмгольца необходимо считать сумму этих функций:

$$G_{\Sigma} = \sum_{l=1}^L [G_1(M, M_0) + k_{отрл} \cdot G_1^{-1}(M, M_0)] \quad (1)$$

M - точка приема сигнала с координатами x и y ;

M_0 – точка излучения сигнала с координатами x_0 и y_0 ;

Направленная функция Грина имеет вид:

$$G_l = \frac{i}{2\pi} \int_{U_{l\min}}^{U_{l\max}} \frac{F_l(\theta)}{\sqrt{k^2 - U_l^2}} e^{i(x-x_0)\sqrt{k^2 - U_l^2} + (y-y_0)U_l} dU_l \quad (2)$$

где $F_l(\theta) = 1$, если $\theta_{l\min} \leq \theta \leq \theta_{l\max}$ при $l=1,2,3,\dots,l$. $F_l = 0$ при остальных значениях θ .

Результаты расчетов:

Моделирование проведено в программной среде MathCad. В ходе моделирования изменялись только частота излучателя и толщина слоя льда. Приведено три графика.

Исходные данные расчета поля точечного излучателя:

c – фазовая скорость распространения электромагнитных волн в среде $3 \cdot 10^8$ м/с;

f – частота излучателя;

P – мощность излучателя;

Результаты численных расчетов: на рисунках 2-5 приведены результаты расчетов по предложенной модели для семи источников, расположенных в свободном пространстве.

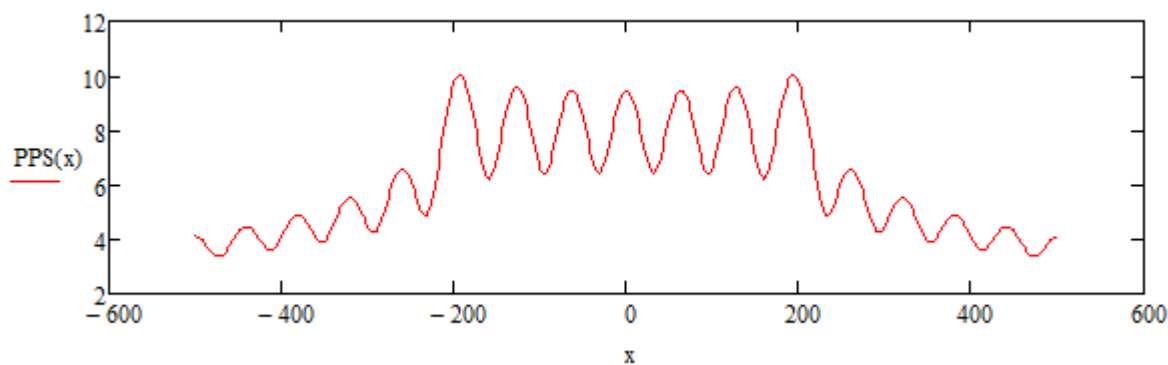


Рисунок 2. График пространственного распределения напряженности электрического поля в свободном пространстве. $f=5$ МГц, $P=70$ Вт.

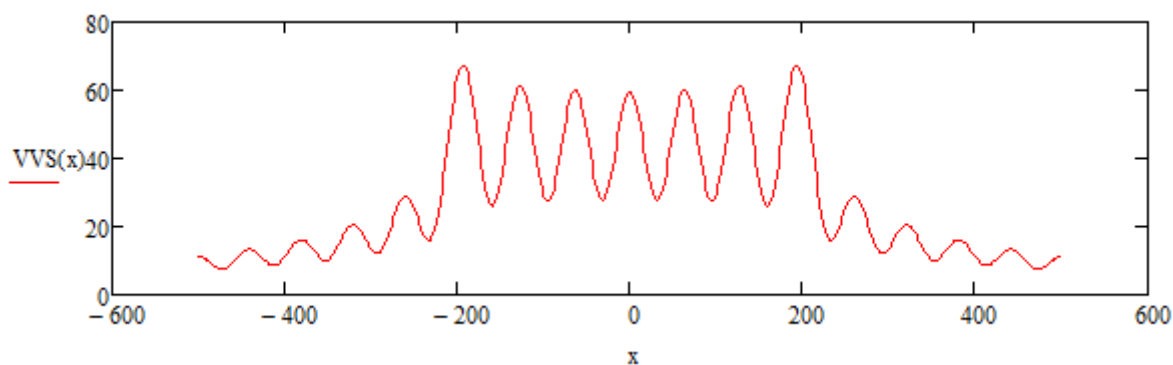


Рисунок 3. График функции плотности источников излучения вдоль оси x . $f=5$ МГц, $P=70$ Вт.

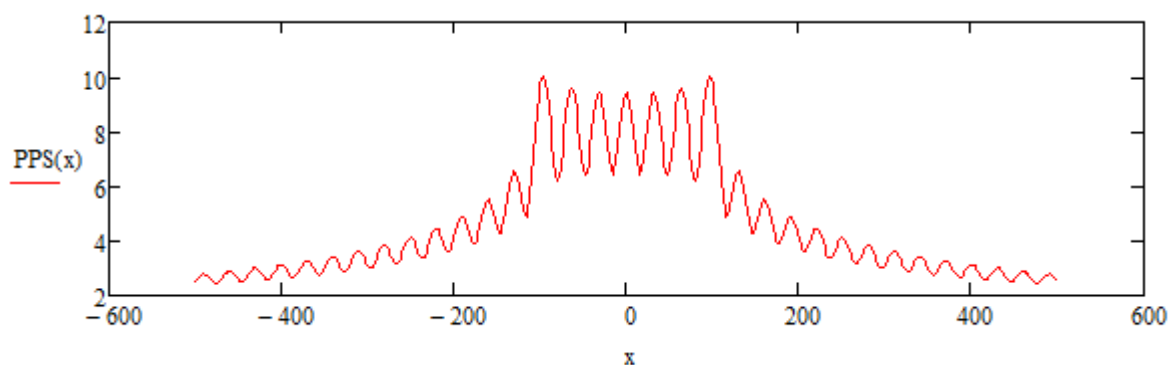
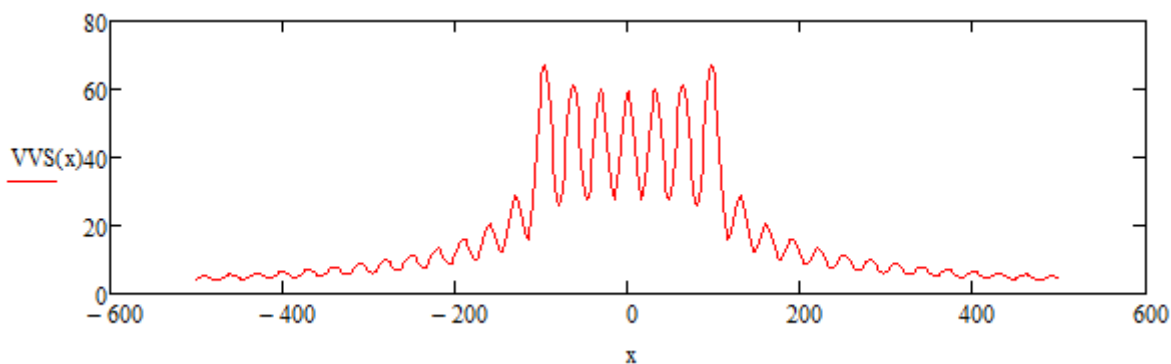
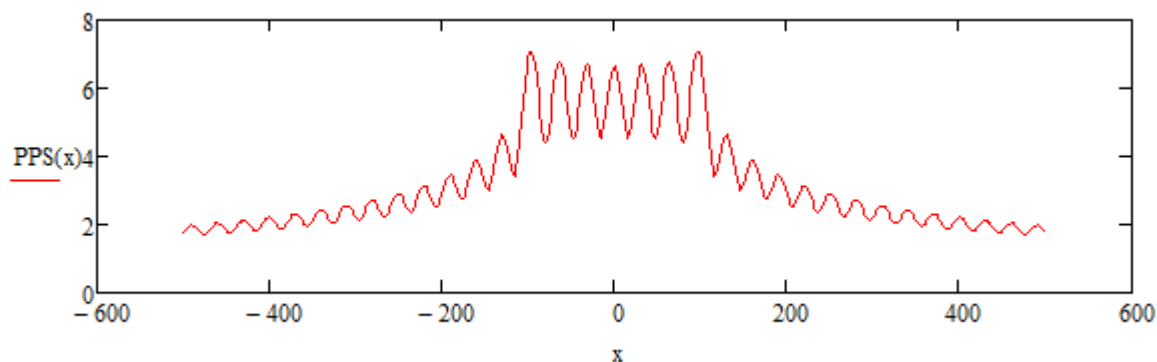


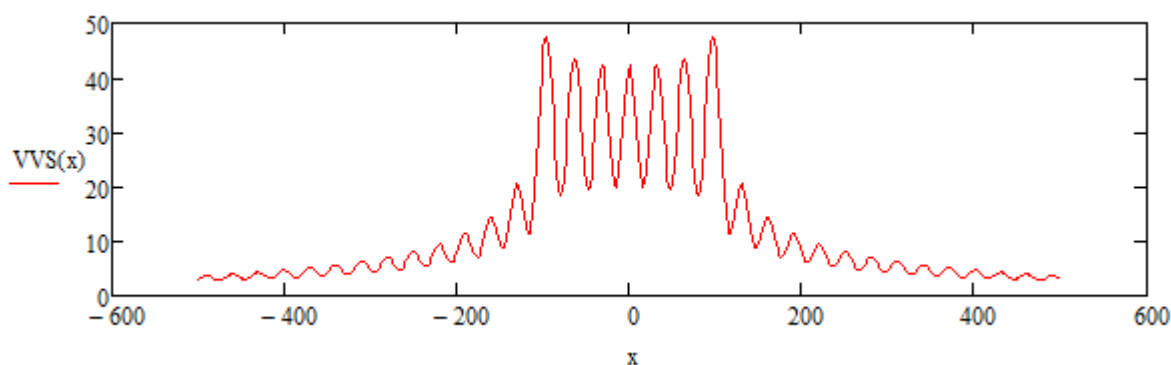
Рисунок 4. График пространственного распределения напряженности электрического поля в свободном пространстве. $f=10$ МГц, $P=70$ Вт.



**Рисунок 5. График функции плотности источников излучения
вдоль оси x . $f=10$ МГц, $P=70$ Вт.**



**Рисунок 6. График пространственного распределения
напряженности электрического поля в свободном пространстве. $f=10$
МГц, $P=35$ Вт.**



**Рисунок 7. График функции плотности источников излучения
вдоль оси x . $f=10$ МГц, $P=35$ Вт.**

Погрешность метода: погрешность результата можно оценить по диаграмме направленности точечного излучателя, находящегося в свободном пространстве (рисунок 8).

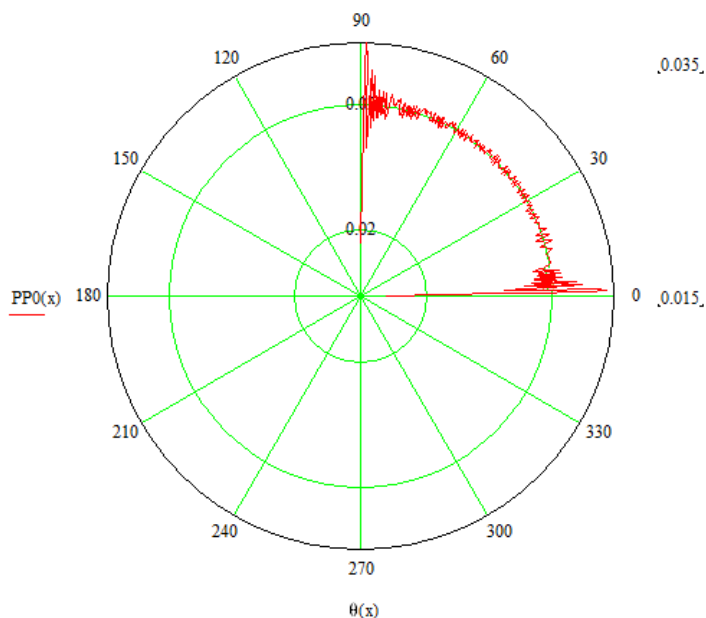


Рисунок 8. Поле ненаправленного точечного излучателя в выбранном секторе.

Отклонения на границах - вблизи углов 0° и 90° обуславливаются ошибками разработанного алгоритма.

Представленный алгоритм позволяет рассчитывать поля точечных электромагнитных излучателей в слоистых средах с учетом отражения волн от границ раздела. Погрешность вычислений составляет 25 – 30 %.

Список литературы:

1. Фок В.А. Проблемы дифракции и распространения электромагнитных волн. - М.: Советское радио, 1970. 476 с.
2. Шендеров Е.Л. Волновые задачи гидроакустики. - Ленинград: Судостроение, 1972. 348 с.
3. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. - М.: Наука, 1973. 340 с.

4. Cross J.D., Atkins P.R., Electromagnetic Propagation in Four-Layered Media Due to a Vertical Electric Dipole: A Clarification. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2015 vol. 2, issue: 2. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6991576>

5. Короченцев В.И. Волновые задачи теории направленных и фокусирующих антенн. - Владивосток: Дальнаука, 1998. 192 с.