

УДК 004.71:004.94

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЙЯНИЯ РАДИОВОЛН НА ТЕЛАХ****Стецула А.Е.***Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, e-mail: app@vvt.ru*

Важным этапом в процессе разработки алгоритмов дистанционного мониторинга объектов представляет исследование характеристик пространственно-временных структур отраженных полей. Для того чтобы успешным образом решить основную задачу, которая связана с выявлением новых информативных признаков в рассеянных сигналах, дающих возможности для описания свойств исследуемых объектов, требуется разработка соответствующих математических моделей. В данной работе рассматривается влияние на рассеянное поле, так называемых, локальных эффектов, связанных с разрывами гладкой поверхности объектов. Появляются центры рассеяния электромагнитных волн. Оценка вклада от таких участков происходит на основе метода интегральных уравнений. Проводится сравнительный анализ влияния формы поверхности в области центра рассеяния на уровень рассеянного электромагнитного поля объекта. Даются рекомендации по обеспечению требуемого уровня электродинамических характеристик рассеяния.

**Ключевые слова:** беспроводная сеть, распространение радиоволн**MODELING OF RADIO WAVE SCATTERING ON THE BODIES****Stetsula A.E.***Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, e-mail: app@vvt.ru*

An important stage in the development of algorithms for remote monitoring of objects is a study of the characteristics of the spatial-temporal structures of the reflected fields. In order to successfully address the key challenge associated with identifying new informative features in the scattered signals, giving the possibility to describe properties of the objects requires the development of appropriate mathematical models. In this paper we consider the influence on the scattered field, the so-called local effects associated with the discontinuities of smooth surfaces of objects. Emerging centres of scattering of electromagnetic waves. Evaluation of the contribution from such sites based on the method of integral equations. A comparative analysis of the influence of the shape of the surface in the region of the center of scattering to the level of ambient electromagnetic fields of the object. Recommendations for ensuring the required level of dynamic characteristics of a scattering.

**Keywords:** wireless network, radio wave propagation

В задачах, связанных с расчетом характеристик рассеяния в радиолокационных системах возникают проблемы, связанные с анализом электромагнитных полей [1–3], которые отражаются от объектов, имеющих сложную геометрическую форму и электрофизическую структуру. В течение последнего времени наблюдается накопление большого опыта, связанного с решением подобных задач [5, 6].

Проведение математического моделирования характеристик рассеяния объектов может базироваться на применении метода физической теории дифракции, интегральных уравнений, полигональных моделей.

В состав большого числа технических объектов входят клинья, кромки и дру-

гие подобные элементы, имеющие разную форму [7–9]. Представляет интерес с точки зрения практики провести анализ влияния формы поверхности в области центра рассеяния, а также дать рекомендации по обеспечению требуемого уровня характеристик рассеяния.

В данной работе мы рассматривали двумерный подход. Задачу, связанную с дифракцией электромагнитных волн на объектах, мы решали на основе использования двумерного интегрального уравнения Фредгольма первого рода.

Для уравнения Фредгольма первого рода, в которое входит плотность искомого электрического тока для случая Е-поляризации [10] записывается следующее выражение:

$$\frac{\omega \cdot \mu}{4} \int_{\alpha}^{\beta} j(t) H_0^2 [k \cdot L_0(\tau, t)] \sqrt{\xi'^2(t) + \eta'^2(t)} dt = E_z^0(\tau), \quad \alpha \leq \tau \leq \beta, \quad (1)$$

где  $L_0(\tau, t) = \sqrt{[\xi(\tau) - \xi(t)]^2 + [\eta(\tau) - \eta(t)]^2}$  является расстоянием от точки наблюдения до точки интегрирования,  $E_z^0(\tau)$  – является продольной составляющей напряженности по первичному электрическому полю для точки на контуре. Идет задание контура на основе параметрического представления:  $x = \xi(t)$ ,  $y = \eta(t)$ ,  $\alpha \leq t \leq \beta$ , а  $\xi'(t)$ ,  $\eta'(t)$  – являются

первыми производными для соответствующих функций,  $k = 2 \cdot \pi / \lambda$ ,  $\lambda$  – является длиной падающей электромагнитной волны.

Когда мы решали уравнение (1), то был использован метод моментов, в результате интегральное уравнение сводится к системе линейных алгебраических уравнений, после

решения, которой определяем продольные электрические токи, имеющие плотность

$$\vec{j} = \vec{z} \cdot j(t), \quad \alpha \leq t \leq \beta, \quad (2)$$

Для определения двумерной эффективной площади рассеяния (ЭПР) объекта используем следующее выражение

$$\sigma(\varphi) = (60 \cdot \pi)^2 k |D(\varphi)|^2, \quad (3)$$

где

$$D(\varphi) = \int_{\alpha}^{\beta} j(t) \cdot \sqrt{\xi^2(t) + \eta^2(t)} \cdot \exp(ikd(t, \varphi)) dt,$$

$$d(t, \varphi) = \xi(t) \cdot \cos(\varphi) + \eta(t) \cdot \sin(\varphi).$$

На рис. 1, 2, 3 приведены исследуемые объекты.

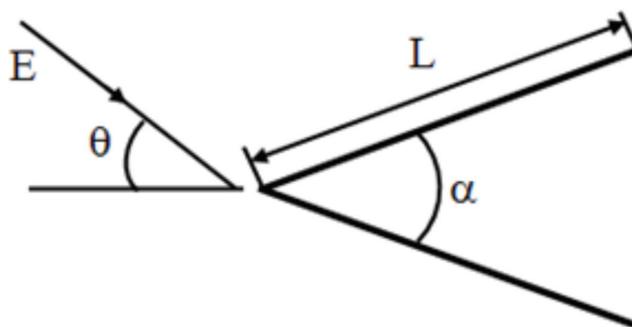


Рис. 1. Схема рассеяния электромагнитной волны на клине

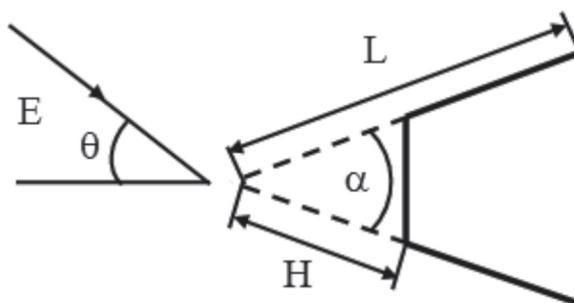


Рис. 2. Схема рассеяния электромагнитной волны на усеченном клине

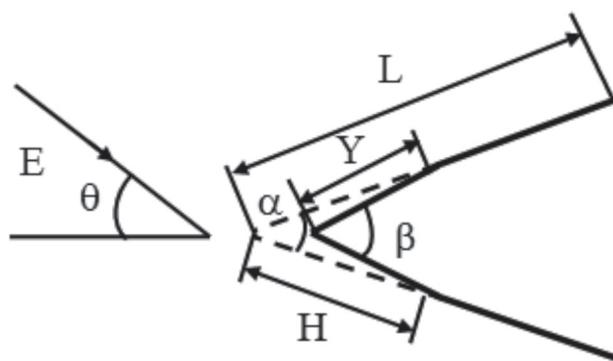


Рис. 3. Схема рассеяния электромагнитной волны на сложном клине

При исследованиях длина ребра клина варьировалась в пределах  $3\lambda \leq L \leq 7\lambda$ , угол между боковыми гранями  $20^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$ , длина усеченной части  $1\lambda \leq H \leq 2\lambda$ , угол между боковыми стенками при вершине  $35^\circ \leq \beta \leq 55^\circ$ , сектор углов наблюдения  $0^\circ \leq \theta \leq 40^\circ$ .

При расчетах было установлено, что средняя ЭПР объекта, приведенного на рис. 2, превышает среднюю ЭПР объектов, приведенных на рис. 1, рис. 3, более, чем на 3 дБ.

Для того, чтобы решить задачу, связанную с обеспечением требуемого уровня характеристик рассеяния дифракционной структуры, приведенной на рис. 3, для определенного сектора углов наблюдения мы применяли генетический алгоритм (ГА).

Основной особенностью генетических алгоритмов можно считать то, что проводится анализ не одного решения, а некоторого подмножества квазиопытных решений, которые называют хромосомами или стрингами.

В рассматриваемом нами случае хромосома имела 4 гена:  $b$ ,  $n$ ,  $q$  и  $w$ . Так как ген является целым числом, которое будет меньше чем 30, то для того, чтобы произвести кодирование по каждому гену мы можем использовать 5 битов. В таком случае хромосома будет представлена в виде, который приведен на рис. 3.

Для того чтобы произвести поиск решения, была использована популяция из 5 хромосом. Вначале осуществлялся процесс генерации 5 случайных возможных вариантов решений:

$$F(q, x, c, d), q, x, c, d \in \{1, 2, 3, \dots, 30\}, \quad (4)$$

и рассматривалась связь по каждому варианту и ошибке в решении:

$$\delta = |F(q, x, c, d) - FD(q, x, c, d)|. \quad (5)$$

В качестве примера ниже представлена табл. 1.

Таблица 1

Варианты решения

Номер хромосомы	Вариант ( $x_1, x_2, x_3, x_4$ )	Ошибка $\delta$	Относительная пригодность
1	(1, 28, 14, 3)	79	0.014
2	(13, 8, 1, 3)	21	0.041
3	(11, 4, 7, 2)	27	0.038
4	(21, 8, 16, 18)	127	0.0068
5	(4, 12, 29, 1)	24	0.036

Основная идея работы ГА заключается в том, чтобы был процесс выживания хромосом, которые приводят к меньшей ошибке

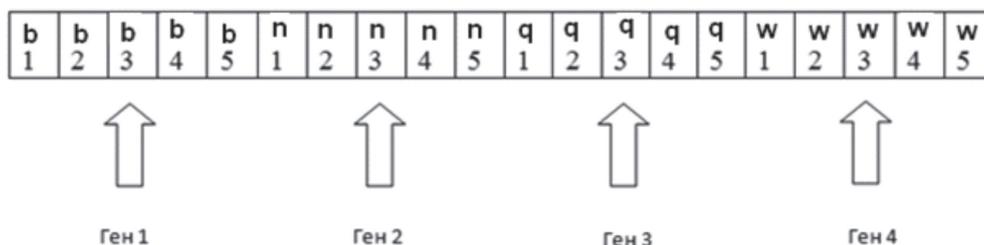


Рис. 4. Схема хромосомы

в решении. Исходя из этого относительная пригодность (ОП) хромосомы описывалась на базе формулы  $ОП=1/\delta$ .

Для того, чтобы провести вычисление вероятности отбора хромосомы по будущей популяции, мы использовали формулу

$$P_i = \frac{ОП_i}{\sum_{i=1}^5 ОП_i}, \quad (6)$$

Результаты использования этой формулы показаны в табл. 2.

**Таблица 2**

Данные по вероятности отбора хромосом

Номер $i$	$P_i$	$U_i, \%$
1	$0.014/0.1358=0.1$	10
2	$0.041/0.1358=0.3$	30
3	$0.038/0.1358=0.28$	28
4	$0.0068/0.1359=0.05$	5
5	$0.036/0.1358=0.27$	27

Для того, чтобы осуществить последующие процессы выбора хромосом мы воспользовались методом колеса рулетки. При таком подходе каждая из хромосом имеет соответствующий сектор на колесе  $U_i$  (рис. 5).

После каждого из вращений колеса, осуществляется процесс выбора определенного сектора, то есть хромосомы. После осуществления 15 вращений колеса, проводится отбор 15 хромосом, среди них исходя из случайного закона идет формирование 5 пар с тем, чтобы происходил процесс скрещивания. Результаты расчетов даны в таблице 3. В качестве примера ниже представлена табл. 3.

**Таблица 3**

Демонстрация результатов отбора на основе метода рулетки

Номер отца $i$	Номер матери $i$
1	2
3	2
5	3
2	3
3	5

В соответствии с табл. 2 самая плохая хромосома 4 не была отобрана для скрещивания. Хромосому 1 была выбрана для скрещивания только один раз, а хромосомы 2, 3 и 5 были отобраны часто, поскольку для них соответствует высокое значение ОП.

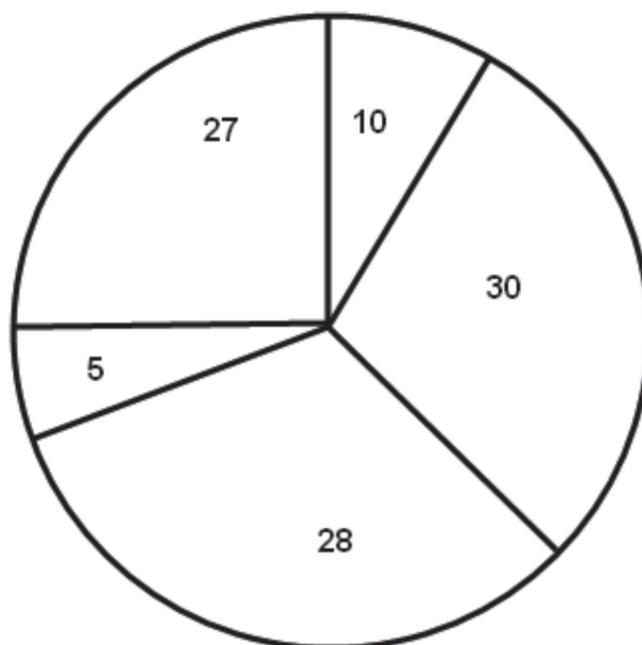


Рис. 5. Демонстрация распределения секторов рулетки

Дальнейшей генетической операцией было скрещивание. Средней ошибкой решения для популяции потомков является 58, Но для первоначальной популяции значение этого коэффициента было 67.

В качестве целевой функции мы рассматривали значение средней ЭПР, в заданном секторе углов наблюдения, зависящее от размеров структуры. Для структуры, приведенной на рис. 3, максимальное значение средней ЭПР для сектора углов наблюдения  $0^\circ \leq \theta \leq 25^\circ$ , при  $L=4\lambda$ , значении угла между боковыми гранями  $\alpha=30^\circ$  было получено для угла между боковыми стенками при вершине  $\beta=47^\circ$ .

В работе проведен анализ характеристик рассеяния электромагнитных волн на клиновидных структурах. Расчет характеристик рассеяния проводился на основе метода интегральных уравнений, проведен сравнительный анализ средних характеристик рассеяния. Рассмотрена возможность оптимизации средних характеристик клиновидных структур на основе генетического алгоритма.

#### Список литературы

1. Мишин Я.А. О системах автоматизированного проектирования в беспроводных сетях / Я.А. Мишин // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2013. – № 10. – С. 153–156.
2. Кульнева Е.Ю. О характеристиках, влияющих на моделирование радиотехнических устройств / Е.Ю. Кульнева, И.А. Гашенко // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–2. – С. 50.
3. Львович Я.Е. Разработка системы автоматизированного проектирования беспроводных систем связи / Я.Е. Львович, И.Я. Львович, А.П. Преображенский, С.О. Головинов // Телекоммуникации. – 2010. – № 11. – С. 2–6.
4. Чопоров О.Н. Анализ затухания радиоволн беспроводной связи внутри зданий на основе сравнения теоретических и экспериментальных данных / О.Н. Чопоров, А.П. Преображенский, А.А. Хромых // Информация и безопасность. – 2013. – Т. 16; № 4. – С. 584–587.
5. Львович Я.Е. Исследование метода трассировки лучей при проектировании беспроводных систем связи / Я.Е. Львович, И.Я. Львович, А.П. Преображенский, С.О. Головинов // Информационные технологии. – 2011. – № 8. – С. 40–42.
6. Баранов А.В. Проблемы функционирования mesh-сетей / А.В. Баранов // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2012. – № 9. – С. 49–50.
7. Милошенко О.В. Методы оценки характеристик распространения радиоволн в системах подвижной радиосвязи / О.В. Милошенко // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2012. – № 9. – С. 60–62.
8. Уфимцев П.Я. Метод краевых волн физической теории дифракции / П.Я. Уфимцев. – М.: Сов. радио, 1962. – 243 с.
9. Болучевская О.А. Свойства методов оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн / О.А. Болучевская, О.Н. Горбенко // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2013. – № 3. – С. 4.
10. Захаров Е.В. Численные методы решения задач дифракции / Е.В. Захаров, Ю.В. Пименов. – М.: Радио и связь, 1986. – 184 с.