

УДК 621.396

Я.А.Мишин, А.Г.Скляр, Д.В.Русанов  
**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЯНИЯ  
СОСТАВНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЦИЛИНДРА**

*Воронежский институт высоких технологий  
Российский новый университет*

*Проведен анализ методов прогнозирования электродинамических характеристик. Рассматривается задача прогнозирования характеристик рассеяния металлического составного цилиндра. Приведены результаты оценки диапазона длин волн для прогнозирования в зависимости от размеров основания цилиндра.*

**Ключевые слова:** электродинамика, прогнозирование, рассеяние, модель, методика, волна.

В настоящее время идет развитие систем связи, а также методик расчета сложных дифракционных структур. При моделировании существуют возможность совершенствования методик и алгоритмов прогнозирования характеристик рассеяния электромагнитных волн [1, 2].

Целью данной работы является исследование алгоритма прогнозирования характеристик рассеяния электромагнитных волн составных тел.

В статистических методах прогнозирования применяются современные математико-статистические методы, позволяющие делать прогноз на базе объективных данных, способов, направленных на вероятностно-статистическое моделирование экспертных методов в прогнозировании; на основе комбинации методик прогнозирования [3].

В простейших методах, которые позволяют восстанавливать применяемые при прогнозировании характеристик рассеяния электромагнитных волн зависимости, основываются на заданном временном ряде, являющемся функцией, которая определена для конечного числа точек на временной оси.

Рассмотрение временного ряда происходит в рамках определенных вероятностных моделей, осуществляется анализ других факторов (независимых переменных) [4]. Основные задачи, которые решаются при анализе характеристик рассеяния электромагнитных волн — интерполяция и экстраполяция.

Проведение оценивания точностных характеристик прогноза (например, на основе доверительных интервалов) — является необходимой частью в процедурах прогнозирования. Во многих случаях привлекают вероятностно-статистические модели, позволяющие восстанавливать зависимость, в качестве примера можно привести вариант, когда происходит построение наилучшего прогноза на основе метода максимального правдоподобия. К настоящему моменту многими

исследователями проведены разработки параметрических (обычно на базе моделей нормальных ошибок) и непараметрических оценок точности прогноза и доверительных границ в нем (с использованием Центральной Предельной Теоремы). Могут быть использованы также эвристические приемы, применяют не статистическую теорию: методы скользящих средних, методы экспоненциального сглаживания.

Анализ показывает, что использование многомерной регрессии, в том числе той, которая применяет непараметрические оценки плотности распределения, может рассматриваться в качестве основного статистического аппарата прогнозирования.

Применение многомерной регрессии, в том числе на основе применения непараметрических оценок для плотностей распределения можно рассматривать как ключевой подход для анализа сигналов.

Среди современных статистических методов прогнозирования электродинамических характеристик следует отметить модели, касающиеся авторегрессии, модель Бокса-Дженкинса, которые используют в своей основе параметрические, и непараметрические подходы.

При установлении возможностей использования асимптотических результатов для конечных объемов выборки могут быть полезными компьютерные статистические технологии.

Они дают возможности также формировать разные имитационные модели. Следует отметить важность способов размножения данных. В системах прогнозирования, направленные на интенсивное использование компьютеров идет объединение большого числа методов прогнозирования.

Одними из основных процедур, направленных на обработку прогностических экспертных оценок можно назвать проверку согласованности, проведение кластер-анализа и определение группового мнения.

Осуществление проверки согласованности по мнениям экспертов, которые выражаются при помощи ранжировок, идет на основе коэффициента ранговой корреляции, коэффициентов ранговой конкордации.

Если отсутствует согласованность разбиения мнений экспертов по группам, которые сходны между собой, то применяют способ ближайших соседей или другие методы кластерного анализа.

Могут быть привлечены разные способы, направленные на построение итоговых мнений членов экспертной комиссии. Среди относительно простых выделяют метод по средним арифметическим и медианам рангов. На основе компьютерного моделирования есть возможности определения совокупности свойств в медиане Кемени,

которая во многих случаях рекомендуется для того, чтобы создавать итоговое (обобщенное, среднее) мнение экспертной комиссии.

На настоящий момент не проведена разработка общих методов, связанных с верификацией прогнозов. Но при этом полагают, что размер доверительного прогнозного интервала не может меньше, чем определенная величина, которая зависит от степени сложности электродинамической системы

В качестве объекта нашего исследования мы будем рассматривать двумерный составной идеально проводящий цилиндр, на который падает E-поляризованная электромагнитная волна (рис. 1)

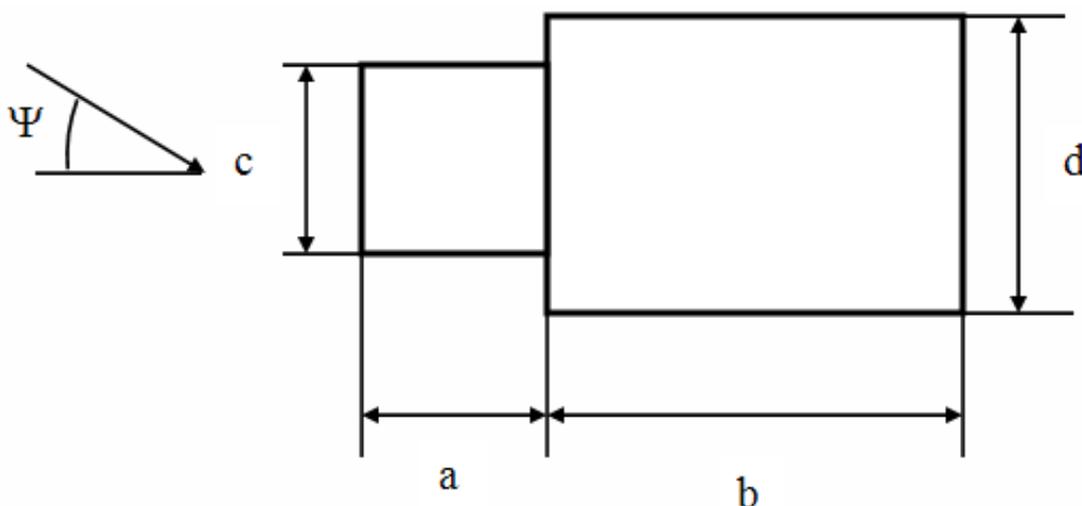


Рис.1 Пример рассеяния электромагнитных волн на двумерном составном цилиндре

Нами будет рассматриваться пример, когда процесс рассеяния волн является линейным. Помимо этого, мы будем считать, что для функции рассеяния объектов существует линейная зависимость среди падающими и рассеянными полями [5].

Зависимость, определяющая, то как связаны линейно амплитуды, являющимися комплексными, по напряженностям рассеянных  $E_s(r)$  и облучающих  $E_i(r)$  полей для контура анализируемого цилиндра  $Y$  определяется таким образом [6, 7] :

$$E^{ras}(\lambda, r) = \int_Y T(\lambda_0, r, r_1) E^{pad}(\lambda, r_1) dr_1, \quad (1)$$

где  $\lambda, \lambda_0 \in [\lambda_1, \lambda_2]$ ,  $T(\lambda_0, r, r_1)$  – является пространственной импульсной переходной функцией объекта (РЛХ) для длины волны  $\lambda_0$ , которую мы полагаем не очень сильно изменяющейся в интервале длин волн  $[\lambda_1, \lambda_2]$ .

Функцию  $T$ , исходя из ее определения, находим таким образом [8]:  $T = T_L = E^{ras}/E^{pad}$ , где  $E^{ras}$  – рассеянное поле,  $E^{pad}$  – падающее поле.

Проведение прогнозирования характеристик рассеяния осуществлялось по углам наблюдения  $\Psi \in [0^\circ, \Psi_{max}]$ , где угол  $\Psi_{max}$  должен выбраться при проведении анализа конкретных видов объектов. Мы рассчитываем функцию  $T$  с учетом того, что известны ее значения для нескольких значений размеров  $L$  объектов таким образом:

$$T = T_L \cdot \frac{1}{U_p} \cdot \frac{E_\lambda^{pad}}{E_{\lambda_0}^{pad}}, \quad (2)$$

где  $E_\lambda^{pad}$  - падающая волна на длине волны  $\lambda$ ,  $E_{\lambda_0}^{pad}$  - падающая волна на длине волны  $\lambda_0$ ,  $T_L$  вычисляется на длине волны  $\lambda_0$ ,  $U_p$  – коэффициент. Коэффициент  $U_p$  выбирается с целью получения лучших результатов прогнозирования. Для размера объекта  $L$  коэффициент  $U_p$  выбирается равным 1.

Используя теорему о свертке, а также рассматривая предположение о постоянстве  $\psi$  на интервале  $[\lambda_1, \lambda_2]$ , имеем следующее выражение:

$$W_S(\omega, \lambda) = W(\omega) \cdot W_0(\omega, \lambda), \quad (3)$$

где мы обозначили  $W_S$ ,  $W$ ,  $W_0$  - преобразования Фурье, которые относятся к функциям  $E^{ras}$ ,  $\psi$ ,  $E^{pad}$  для пространственных частот  $\omega$ .

Указанная модель рассматривалась в диапазоне длин волн  $[\lambda_1, \lambda_2]$  по отношению к заданной длине волны  $\lambda_0$ , на ней идет расчет функции  $W(\omega)$ . В тех значениях, которые выбраны  $\lambda_k \in [\lambda_1, \lambda_2]$  были определены диаграммы рассеяния.

Отличия среди рассчитанными и прогнозируемыми характеристиками не должны была быть более 2 дБ. Для угла  $\Psi_{max}$  было выбрано значение  $60^\circ$ , другими словами, процессы прогнозирования осуществлялось по углам наблюдения  $\Psi \in [0^\circ, 60^\circ]$ .

Зная двумерную ЭПР в двумерном цилиндре, существует возможность найти трехмерную ЭПР цилиндра прямоугольного поперечного сечения. Расчет точных значений характеристик рассеяния для двумерной модели цилиндра был осуществлен на основе решения интегральных уравнений первого рода [9, 10] в случаях Е-поляризации волн.

Для демонстрации работоспособности методики расчеты проводились для случая равенства размеров высоты и длины цилиндра  $a = 3\lambda$ ,  $b = 4\lambda$ ,  $d = 4\lambda$ .

На рис. 2 приведены результаты расчетов  $U_m$  в зависимости от размера основания с идеально проводящего цилиндра.

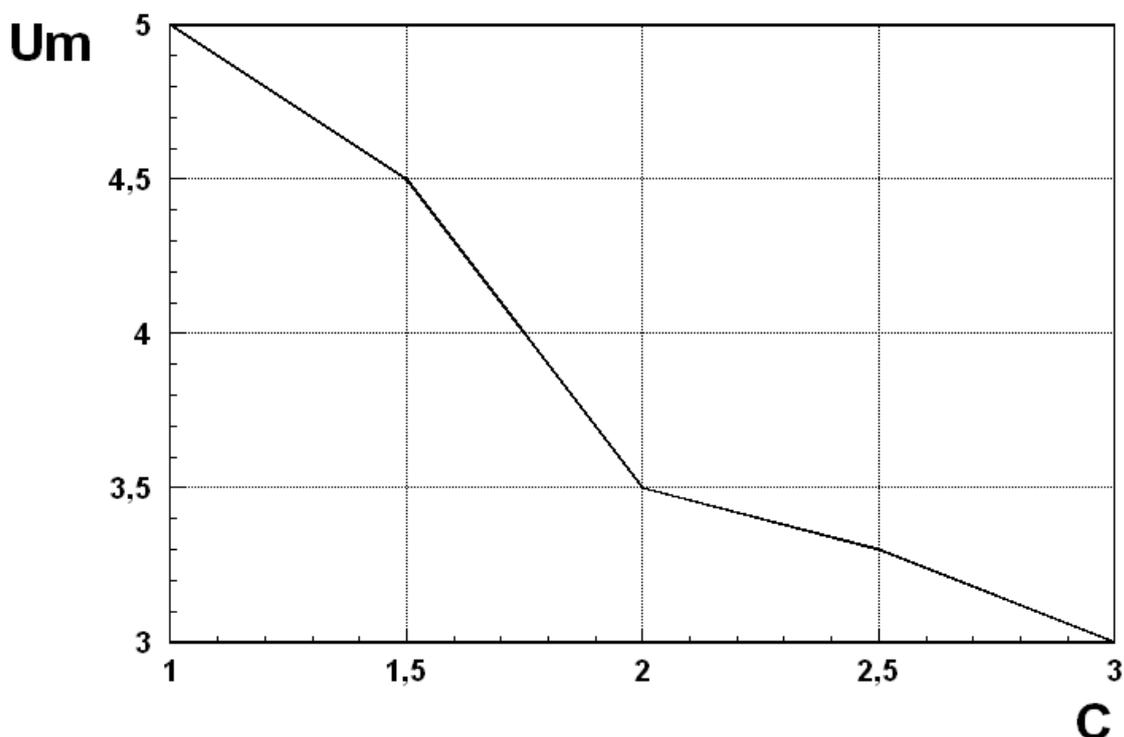


Рис. 2. Данные по прогнозированию коэффициента  $U_m$ , который зависит от размера основания цилиндра  $a$  в бистатистическом случае

Представляется практически важным осуществлять развитие рассмотренных подходов по другим объектам. Применение таких подходов в комплексе с другими способами [11, 12] позволяет более эффективно исследовать объекты.

Выводы. На основе проведенного анализа способов прогнозирования были продемонстрированы возможности сокращения временных затрат для проведения анализа характеристик рассеяния объектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Астанин Л. Ю. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений. / Л. Ю. Астанин, А. А. Костылев – М.: Радио и связь, 1989. – 305 с.
2. Бахрах Л. Д. Справочник по антенной технике. В 5-ти т. / Л. Д. Бахрах, Л. С. Бененсон, Е. Г. Зелкин и др; Под ред. Я. Н. Фельда и Е. Г. Зелкина – М.:ИПРЖР, 1997. – Т.1. – 256 с.
3. Кендалл М. Дж. Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М., Наука, 1976, 736 с.

4. Рао С.Р. Линейные статистические методы и их применение. - М.: Наука, 1968. - 548 с.
5. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик объектов с радиопоглощающими покрытиями в диапазоне длин волн / Телекоммуникации. 2003. № 4. С. 21.
6. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик объектов в диапазоне длин волн с использованием результатов измерения характеристик рассеяния на дискретных частотах / Телекоммуникации. 2004. № 5. С. 32.
7. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик идеально проводящей полости в диапазоне длин волн / Телекоммуникации. 2005. № 12. С. 29.
8. Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Алгоритм расчета радиолокационных характеристик полостей с использованием приближенной модели / Системы управления и информационные технологии. 2005. № 4 (21). С. 17-19.
9. Преображенский А.П., Ашихмин А.В. Итерационный алгоритм решения задач дифракции электромагнитных волн в частотной области/ Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. № 8. С. 38.
10. Захаров Е.В., Пименов Ю.В. Численный анализ дифракции радиоволн. – М.: Наука, 1986. – 184 с.
11. Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Алгоритмы прогнозирования радиолокационных характеристик объектов при восстановлении радиолокационных изображений / Системы управления и информационные технологии. 2004. № 5 (17). С. 85-87.
12. Преображенский А.П. Исследование возможности определения формы объекта в окрестности восстановления локальных отражателей на поверхности объектов по их диаграммам обратного рассеяния / Телекоммуникации. 2003. № 4. С. 29.

Y.A.Mishin, A.G.Sklyar, D.V.Rusanov

## THE PREDICTION OF THE SCATTERING CHARACTERISTICS OF THE COMPOSITE METAL CYLINDER

*Voronezh Institute of High Technologies  
Russian New University*

*The analysis of methods of predicting dynamic characteristics is given. We consider the problem of predicting the scattering characteristics of metal composite cylinder. The results of the evaluation of the range of wavelengths to predict depending on the size of the base of the cylinder is considered.*

**Keywords:** electrodynamics, forecasting, scattering, model, method, wave.