

## ПРОБЛЕМЫ АНАЛИЗА ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУР

© 2022 Я. Е. Львович, Т. В. Мельникова, А. П. Преображенский

*Воронежский государственный технический университет (Воронеж, Россия)**Воронежский институт высоких технологий (Воронеж, Россия)*

*В статье обсуждаются некоторые проблемы анализа дифракционных структур. Рассматриваются некоторые критерии оптимизации.*

*Ключевые слова: связь, электродинамика, оптимизация, критерий, распространение радиоволн.*

Наиболее важной задачей относительно разработки технических объектов является анализ рассеяния радиоволн при учете разного вида сечений на сложных электродинамических структурах, а также при разном виде форм для частот в радиолокационном диапазоне [1, 2]. Задачи рассматриваются для тел с резонансными размерами. В данной работе мы будем применять метод интегральных уравнений в ходе оценок рассеивающих характеристик.

Вначале необходимо выбрать интегральное уравнение. Для рассматриваемого класса задач мы будем использовать уравнение Фредгольма второго рода. В нем в качестве ключевого параметра рассматривается электрический ток на поверхности дифракционной структуры [3, 4]. Используется уравнение

$$\mathbf{J}_s(\mathbf{r}) = 2\mathbf{n} \times \mathbf{H}^i(\mathbf{r}) + \frac{1}{2\pi} \mathbf{n} \times \int_s \mathbf{J}_s(\mathbf{r}') \times \text{grad}' G ds' \quad (1)$$

где  $G = \exp(-jkr)/r$  – функция Грина, для трехмерного случая.

Мы исходим из того, что функция является решением уравнения Гельмгольца.

Задача решается, когда мы считаем, что анализируется  $\delta$ -образный источник. Он размещается на поверхности  $s$ . К этой поверхности будет проведена нормаль  $\mathbf{n}$ . Она будет внешней.

Указанное интегральное уравнение решается численным образом. Его мы сводим к системе линейных уравнений. При этом необходимо опираться на метод моментов.

В ходе его реализации важно, чтобы была определена система базисных функций.

Мы выбирали кусочно-постоянные функции как базисные функции. Затем мы определили систему пробных функций. Такие функции – являются  $\delta$ -функциями Дирака. При выбранных базисных и пробных функциях могут быть удовлетворены граничные условия [5, 6].

Задача заключается в определении размеров анализируемого объекта, при которых при заданном угле наблюдения значение ЭПР не будет более, чем заданное значение.

С тем, чтобы синтезировать сложную дифракционную структуру требуется исходить из такого алгоритма. На первом этапе рассматриваем некоторые электродинамические компоненты. Они были предусмотрены при планировании сложных электродинамических объектов [7, 8].

Также имеем совокупность комплексных характеристик. Объем ресурсов, необходимый для того, чтобы были реализованы все комплексные характеристики в общем виде – достаточно большой.

Формирование оптимального электродинамического сложного объекта связано с проектированием электродинамических компонент. Они имеют интегральный характер. Необходимо рассматривать формирование комплексных характеристик. При этом следует достичь обеспечения их соответствия запланированным требованиям [9, 10].

---

Львович Яков Евсеевич – Воронежский государственный технический университет, доктор техн. н., профессор, e-mail: [office@vvt.ru](mailto:office@vvt.ru).

Мельникова Томара Вениаминовна – Воронежский институт высоких технологий, студент, e-mail: [meln999\\_000@yandex.ru](mailto:meln999_000@yandex.ru).

Преображенский Андрей Петрович – Воронежский институт высоких технологий, доктор техн. н., профессор, e-mail: [app@vvt.ru](mailto:app@vvt.ru).

Тогда в состав  $h$ -й комплексной характеристики ( $h=1..H$ ), связанной с формированием  $s$ -й характеристики входят такие параметры:  $Z(s,v,h)=\{D(s,v,h), T(s,v,h)\}$ . Введены обозначения:  $D(s,v,h)$  – коэффициент значимости некоторой из характеристик,  $T(s,v,h)$  – время, в течение формирования соответствующей характеристики.

Мы полагаем, что коэффициент важности характеристики будет принимать значения, которые будут находиться от 0 до 1.

Коэффициент значимости для изучения характеристик записывается так:

$$Kr(v,i) = \frac{\sum_{s=1}^S \sum_{h=1}^H D(s,v,h)}{x_{1i} + x_{2i}}. \quad (2)$$

В указанном выражении  $x_{1i}$  и  $x_{2i}$  выбираются экспертами. При этом  $x_{1i}$  – показывает степень уменьшения электромагнитного излучения,  $x_{2i}$  характеризует важность характеристики с точки зрения обеспечения требуемого уровня рассеянного электромагнитного поля ( $0 \leq x_{1i}, x_{2i} \leq 1$ ).

Коэффициент значимости с тем, чтобы рассмотреть характеристики:

$$Krpr(v,i) = \frac{\sum_{s=1}^S \sum_{h=1}^H D(s,v,h)}{m_{1i} + m_{2i}}. \quad (3)$$

В указанном выражении  $m_{1i}$  и  $m_{2i}$  выбираются экспертами. При этом  $m_{1i}$  – показывает степень применения характеристик в практических случаях,  $m_{2i}$  показывает важность характеристики с точки зрения последующего развития ( $0 \leq m_{1i}, m_{2i} \leq 1$ ).

$$\sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V \sum_{j=1}^J \sum_{h=1}^H \sum_{s=1}^S T(s,v,h) \cdot U_j(\tau) \beta_{v,v-1} \rightarrow \min. \quad (6)$$

В указанном выражении  $\beta_{v,v-1}$  показывает, какая будет теснота связи среди предыдущей и последующей электродинамической компонентой. Определять ее будут эксперты.

Пусть заданы четыре параметра. Они будут такие: объем времени  $X$  для анализа компонент, общее время расчета  $T$ , итог

Процессы оптимизации сложной электродинамической структуры могут осуществляться разным образом. Задача синтеза в данной работе рассматривается нами следующим образом.

Осуществляется отбор для электродинамической структуры весьма важных с точки зрения практической значимости характеристик и провести их анализ в определенной последовательности [11, 12]. Критерием, показывающим важность характеристик на практике, мы можем полагать, например, совокупность следующих функционалов:

- критерий, связанный с тем, что будет идти к максимуму суммарная значимость на практике электродинамических компонентов, включаемых в состав сложной электродинамической структуры:

$$\sum_{F_{v,b} \in Z} Kr(v,i) \rightarrow \max. \quad (4)$$

- критерий, связанный с тем, что будет идти к максимуму суммарная значимость характеристик, рассматриваемых в ходе электродинамического анализа:

$$\sum_{F_{v,b} \in Z} Krpr(v,i) \rightarrow \max. \quad (5)$$

Критерием, на основе которого мы ведем определение оптимального расположения электродинамических компонент, мы полагаем следующий критерий. В нем стремится к минимуму сумма по всем временным интервалам, необходимых для анализа этих электродинамических компонент. Они при этом будут информационно связаны. Идет учет тесноты связи. Тогда критерий записывается так:

моделирования –  $R$  уровни полученных характеристик. В качестве искомой переменной мы анализируем траекторию моделирования  $Z_i, T$ . Задача, которая связана с осуществлением оптимального управления процедурами расчета характеристик может быть сформулирована.

Идея ее состоит в том, что для заданного объема работ  $U$ , который мы должны

осуществить, и времени моделирования  $T$ , требуется определить траекторию.

$$Kr(v,i) = \frac{\sum_{s=1}^S \sum_{h=1}^H D(s,v,h)}{x_{1i} + x_{2i}}, \quad Krpr(v,i) = \frac{\sum_{s=1}^S \sum_{h=1}^H D(s,v,h)}{m_{1i} + m_{2i}} \sum_{F_{v,b} \in Z} Kr(v,i) \rightarrow \max,$$

$$\sum_{F_{v,b} \in Z} Krpr(v,i) \rightarrow \max, \quad \sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V \sum_{j=1}^J \sum_{h=1}^H \sum_{s=1}^S T(s,v,h) \cdot U_j(\tau) \beta_{v,v-1} \rightarrow \min,$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S U_{j,s}(\tau) \leq U, \quad \tau \leq T, \quad X \leq T. \quad (7)$$

Таким образом, задача связана с оптимальным управлением процессами электродинамического моделирования. Тогда необходимо электродинамические компоненты так распределить, чтобы было обеспечение минимизации рассеянных электромагнитных полей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Преображенский Ю. П. Распространение радиоволн для объектов с полостями / Ю. П. Преображенский // Современные инновации в науке и технике. Сборник научных трудов 8-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Ответственный редактор А. А. Горохов. – 2018. – С. 187-190.
2. Болучевская О. А. Свойства методов оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн / О. А. Болучевская, О. Н. Горбенко // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2013. – № 3 (3). – С. 4.
3. Коновалова В. С. Разработка выходного усилителя мощности радиолокационной системы / В. С. Коновалова, А. А. Сергеев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2021. – Т. 9. – № 2 (33). – С. 30-31.
4. Новосадов К. С. Анализ спектрально эффективных схем модуляции, применяемых в высокоскоростных системах радиосвязи / К. С. Новосадов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2021. – Т. 9. – № 1 (32). – С. 20-21.
5. Машков В. Г. Оценка точности реконструкции электрофизических и геометрических параметров поляриметрическим методом многослойных диэлектрических сред / В. Г. Машков, В. А. Малышев // Мо-

Она будет вести к максимуму результаты обучения  $Z$ . Тогда, обобщая, мы сможем записать задачу в виде:

делирование, оптимизация и информационные технологии. – 2021. – Т. 9. – № 2 (33). – С. 16-17.

6. Коновалова В. С. Разработка выходного усилителя мощности радиолокационной системы / В. С. Коновалова, А. А. Сергеев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2021. – Т. 9. – № 2 (33). – С. 30-31.

7. Преображенский Ю. П. Моделирование распространения радиоволн для условий дифракции / Ю. П. Преображенский // Современные инновации в науке и технике. Сборник научных трудов 8-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Ответственный редактор А. А. Горохов. – 2018. – С. 183-186.

8. Преображенский Ю. П. Применение поглощающих материалов при проектировании электродинамических устройств / Ю. П. Преображенский // Будущее науки – 2018. Сборник научных статей 6-й Международной молодежной научной конференции. В 4-х томах. Ответственный редактор А. А. Горохов. – 2018. – С. 374-377.

9. Преображенский Ю. П. Возможности построения компьютерных моделей физических процессов / Ю. П. Преображенский // Современные инновации в науке и технике. сборник научных трудов 9-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – 2019. – С. 279-282.

10. Преображенский Ю. П. Проблемы компьютерного моделирования физических процессов / Ю. П. Преображенский // Современные инновации в науке и технике. сборник научных трудов 9-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – 2019. – С. 276-279.

11. Степанчук А. П. Рассеяние радиоволн на структурах с поглощающим слоем / А. П. Степанчук // Молодежь и наука: шаг к успеху. Сборник научных статей Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых: в 3-х томах. Ответственный редактор Горохов А. А. – 2017. – С. 262-265.

12. Цепковская Т. А. О моделировании рассеяния радиоволн на телах сложных форм / Т. А. Цепковская, А. П. Степанчук // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. Сборник научных трудов XIII Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор А. А. Горохов. – 2018. – С. 216-218.

## THE PROBLEMS OF ANALYSIS OF DIFFRACTION STRUCTURES

© 2022 *Ya.E. Lvovich, T.V. Melnikova, A.P. Preobrazhensky*

*Voronezh State Technical University (Voronezh, Russia)*  
*Voronezh Institute of High Technologies (Voronezh, Russia)*

*The paper discusses some problems of the analysis of diffractive structures. Some optimization criteria are considered.*

*Keywords: communication, electrodynamics, optimization, criterion, radio wave propagation.*