

А.Г. Кюркчан,
Н.И. Смирнова,
А.И. Клеев

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИФРАКЦИИ, основанные на использовании априорной аналитической информации



А.Г. Кюркчан,
Н.И. Смирнова,
А.И. Клеев

**МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ
ЗАДАЧ ДИФРАКЦИИ,
основанные
на использовании априорной
аналитической информации**



**МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ®
2022**

УДК 621.371.333:
537.874.6
ББК 22.311
М 54



Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту 21-12-00003, не подлежит продаже

Кюркчан А. Г., Смирнова Н. И., Клеев А. И. **Методы решения задач дифракции, основанные на использовании априорной аналитической информации.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2022. — 304 с. — ISBN 978-5-9221-1914-6.

Монография посвящена методам математического моделирования в теории дифракции, опирающимся на использование априорной информации об аналитических свойствах решения.

Во введении обсуждаются примеры, показывающие важность учета априорной информации при разработке алгоритмов решения задач дифракции, в частности информации об аналитических свойствах решения.

В первой главе дан вывод основных аналитических представлений волновых полей и установлены точные границы областей существования этих представлений, изложена техника локализации особых точек аналитического продолжения волновых полей, определения их характера, рассмотрены примеры такого рода локализации.

Вторая глава посвящена методам вспомогательных токов и источников решения задач дифракции на компактных рассеивателях, в том числе и в векторной формулировке.

В третьей главе речь идет о методах нулевого поля и Т-матриц, пользующихся огромной популярностью при решении задач радиофизики, радиоастрономии, биофизики и др.

В четвертой главе дано изложение метода продолженных граничных условий, основанного на смещении граничного условия с поверхности рассеивателя на другую поверхность, расположенную достаточно близко к границе рассеивателя и лежащую в области, где ищется решение.

Пятая глава содержит изложение метода диаграммных уравнений, в котором задачи дифракции и распространения волн сводятся к решению некоторых интегрально-операторных уравнений относительно спектральной функции — диаграммы волнового поля.

Монография будет полезна исследователям, занимающимся численным моделированием рассеяния волн различной природы.

Основная часть включенных в монографию результатов была получена при поддержке РФФИ (проекты № 00-02-17639А, 03-02-16336А, 06-02-16483А, 09-02-00126А, 12-02-00062А, 16-02-00247А, 19-02-00654А).

© ФИЗМАТЛИТ, 2022

© А. Г. Кюркчан, Н. И. Смирнова,
А. И. Клеев, 2022

ISBN 978-5-9221-1914-6

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I. Аналитические свойства волновых полей	9
I.1. Вывод основных аналитических представлений волновых полей. . .	9
I.1.1. Представление полей волновыми потенциалами	9
I.1.2. Представление рядом по волновым гармоникам и разложение Аткинсона–Уилкокса	16
I.1.3. Интеграл и ряд плоских волн	20
I.2. Аналитические свойства диаграммы волнового поля и области су- ществования аналитических представлений	23
I.2.1. Аналитические свойства диаграммы волнового поля	23
I.2.2. Локализация особенностей аналитического продолжения вол- нового поля	26
I.2.3. Примеры нахождения особенностей аналитического продол- жения волнового поля	29
I.2.3.1. Особенности отображения (1.55)	29
I.2.3.2. Особенности в изображениях источников	36
I.2.4. Границы областей существования аналитических представ- лений	42
I.2.5. Связь между асимптотикой диаграммы на комплексной плос- кости ее аргумента и поведением поля в окрестности особых точек	46
Глава II. Методы вспомогательных токов и дискретных источ- ников	52
II.1. Теоремы существования и единственности	52
II.2. Решение интегрального уравнения МВТ и метод дискретных ис- точников	55
II.2.1. Строгое решение одной задачи дифракции при помощи мето- да вспомогательных токов [9, 16]	58
II.3. Модифицированный метод дискретных источников	61
II.4. Решение векторных задач дифракции при помощи модифицирован- ного метода дискретных источников	68

Глава III. Методы нулевого поля и Т-матриц	80
III.1. Метод нулевого поля для скалярных задач дифракции	80
III.1.1. Постановка задачи и получение интегрального уравнения МНП	80
III.1.2. Численное решение интегрального уравнения МНП	82
III.2. Метод нулевого поля для векторных задач дифракции	85
III.2.1. Постановка задачи и получение интегрального уравнения МНП	85
III.3. Результаты численных исследований	86
III.3.1. Иллюстрация необходимости учета особенностей аналитического продолжения волнового поля в МНП	87
III.3.2. Метод нулевого поля и метод вспомогательных токов	92
III.4. Метод Т-матриц	98
III.4.1. Вывод основных соотношений	98
III.4.2. Численные исследования	100
III.4.3. Модифицированный метод Т-матриц	102
Глава IV. Метод продолженных граничных условий	114
IV.1. Метод продолженных граничных условий для скалярных задач дифракции	114
IV.1.1. Постановка задачи и идея метода	114
IV.1.2. Вывод интегрального уравнения МПГУ	115
IV.1.3. Существование и единственность решения интегрального уравнения МПГУ	118
IV.1.4. Корректность численного решения ИУ МПГУ	118
IV.1.5. Строгое решение некоторых задач дифракции с помощью МПГУ и оценка погрешности метода	120
IV.1.6. Алгоритмы численного решения ИУ МПГУ	125
IV.2. Метод продолженных граничных условий для векторных задач дифракции	130
IV.2.1. Постановка задачи и получение интегрального уравнения МПГУ	130
IV.2.2. Алгоритм численного решения ИУ МПГУ	133
IV.3. Результаты численных исследований	136
IV.3.1. Учет скачка потенциала двойного слоя	136
IV.3.2. Определение величины параметра $k\delta$ продолжения граничного условия	138
IV.3.3. Выбор способа построения поверхности, на которой выполняется граничное условие	140
IV.3.4. Использование интегральных уравнений Фредгольма 1-го и 2-го рода	141
IV.3.5. Переход к дискретным источникам	143
IV.3.6. Выбор базиса для аппроксимации неизвестной функции	147
IV.3.7. Вычисление S -функций Васильева	151
IV.3.8. Исследование задач дифракции волн на компактных телах	153

IV.3.9. Исследование задач дифракции волн на тонких экранах . . .	159
IV.3.10. Асимптотическое решение задач дифракции на основе метода продолженных граничных условий	163
IV.4. Модифицированный метод продолженных граничных условий	167
IV.5. Метод Т-матриц на основе метода продолженных граничных условий	170
Глава V. Метод диаграммных уравнений	177
V.1. Решение двумерной задачи дифракции на компактном препятствии при помощи МДУ	177
V.1.1. Интегрально-операторное уравнение	177
V.1.2. Алгебраизация задачи	180
V.2. Дифракция волн на группе тел	183
V.3. Дифракция волн на периодических решетках	193
V.4. Решение трехмерной акустической задачи дифракции на компактном рассеивателе	201
V.4.1. Использование метода диаграммных уравнений в сферических координатах для решения задач дифракции на сильно вытянутых рассеивателях	211
V.5. Рассеяние плоской волны периодической границей раздела сред . . .	220
V.6. Расчет коэффициентов отражения и прохождения в плоском диэлектрическом волноводе при наличии вблизи него посторонних предметов	227
V.6.1. Асимптотическое решение	231
V.6.2. Результаты расчетов	234
V.6.3. Решение задачи дифракции на магнитодиэлектрическом теле .	234
V.7. Метод диаграммных уравнений для решения векторных задач дифракции	239
V.7.1. Решение задачи дифракции на импедансном рассеивателе . .	239
V.7.2. Дифракция электромагнитных волн на диэлектрических телах	246
V.8. Построение длинноволновой асимптотики для решений задач дифракции при помощи МДУ	264
V.8.1. Решение задачи дифракции на тонком импедансном цилиндре	265
V.8.2. Решение задачи дифракции на тонком диэлектрическом цилиндре	272
V.8.3. Решение задачи дифракции на малом импедансном теле вращения	279
Список литературы	287