

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени В. Н. КАРАЗИНА

**ДИФРАКЦИЯ ВОЛН
НА ПЕРИОДИЧЕСКИХ
МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ**

Монография

Харьков – 2017

УДК 537.874.6
ББК 22.336
Д 50

Рецензенты:

А. А. Кириленко – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом вычислительной электродинамики Института радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины;

Ю. В. Гандель – доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры математической физики и вычислительной математики механико-математического факультета Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина;

О. И. Сухаревский – Заслуженный деятель науки и техники Украины, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Научного центра Воздушных Сил Харьковского университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба.

*Рекомендовано к печати Ученым советом
Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина
(протокол № 7 от 1 июля 2015 г.)*

Д 50 **Дифракция** волн на периодических многослойных структурах /
Л. Н. Литвиненко, С. Л. Просвирнин, С. А. Погарский, М. Е. Калиберда. – Х. : ХНУ
имени В. Н. Каразина, 2017. – 268 с.

ISBN 978-966-285-322-2

В монографии предложен новый подход к построению теории взаимодействия (рассеяния и распространения) электромагнитных волн с периодическими последовательностями экранов (препятствий). Построенные алгоритмы решения ряда задач являются достаточно универсальными и позволяют исследовать характеристики дифрагированных полей в многослойных структурах с использованием операторов рассеяния базовых элементов для полей как с дискретным, так и непрерывным пространственными спектрами.

Монография может представлять интерес не только для специалистов в области радиофизики, в частности техники СВЧ и антенной техники, но и для работающих в таких смежных областях, как акустика, гидродинамика, физика твердого тела и т. п., а также использоваться в учебном процессе при подготовке студентов и аспирантов соответствующих специализаций.

ISBN 978-966-285-322-2

© Харьковский национальный университет
имени В. Н. Каразина, 2017

© Литвиненко Л. Н., Просвирнин С. Л.,
Погарский С. А., Калиберда М. Е., 2017

© Рижова Ю. Н., макет обложки, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	6
1. ВВЕДЕНИЕ.....	7
2. ОПЕРАТОРНЫЙ МЕТОД В ЗАДАЧАХ ДИФРАКЦИИ НА ПЛОСКИХ ЭКРАНАХ.....	10
2.1. Обобщенная матрица рассеяния плоской одномерно-периодической структуры.....	10
2.2. Операторный метод в задаче о дифракции на двух периодических экранах.....	13
2.3. Операторный метод как одна из реализаций метода частичного обращения оператора задачи.....	16
2.4. Операторный метод в задачах о дифракции полей с континуальным пространственным спектром.....	18
3. МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ДИФРАКЦИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН В ПЕРИОДИЧЕСКИХ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ.....	19
3.1. Оператор отражения полубесконечной периодической структуры....	19
3.2. Собственные поля периодической структуры и оператор отражения полубесконечной периодической структуры.....	24
3.3. Операторы отражения и прохождения собственного поля на границе полубесконечной структуры.....	27
3.4. Операторы прохождения и отражения периодической структуры из конечного числа слоев.....	30
4. ДИФРАКЦИЯ ВОЛН НА ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ.....	37
4.1. Коэффициент отражения полубесконечной периодической системы диэлектрических экранов.....	37
4.2. Коэффициент отражения полубесконечной системы экранов из диэлектрика с потерями.....	43
4.3. Коэффициенты отражения и прохождения конечного числа диэлектрических экранов.....	46
4.4. Наклонное падение плоской волны на периодическую последовательность диэлектрических экранов.....	48
5. ДИФРАКЦИЯ ВОЛН НА ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЭКРАНОВ В ВИДЕ ЧАСТЫХ ЛЕНТОЧНЫХ РЕШЕТОК.....	54
5.1. Полубесконечная периодическая структура из частых ленточных решеток.....	54
5.2. Анизотропный искусственный диэлектрик.....	62
5.3. Последовательность решеток из лент конечной толщины.....	65
5.4. Периодические структуры со “сбоем” периода.....	67
5.5. Наклонное падение плоской волны на периодическую последовательность плоских ленточных экранов – решеток.....	71

6.	ДИФРАКЦИЯ ВОЛН НА ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЭКРАНОВ В ВИДЕ ЛЕНТОЧНЫХ РЕШЕТОК (МНОГОВОЛНОВЫЙ РЕЖИМ).....	76
6.1.	Обобщенная матрица рассеяния ленточной решетки.....	76
6.2.	О численном решении нелинейного операторного уравнения.....	80
6.3.	Периодическая структура из ленточных решеток (многоволновый режим).....	87
7.	ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В ВОЛНОВОДАХ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ.....	95
7.1.	Стык регулярного и диафрагмированного волноводов.....	95
7.2.	Дифракция аксиально-симметричных и аксиально-несимметричных волн на системе аксиально-симметричных неоднородностей в коаксиальном тракте.....	101
7.2.1.	Дифракция E_{0m} -волн на полубесконечном круглом волноводе, расположенном соосно внутри круглого волновода большего радиуса.....	102
7.2.2.	Дифракция H_{0m} -волн на полубесконечном круглом волноводе, расположенном соосно внутри круглого волновода большего радиуса.....	106
7.2.3.	Дифракция аксиально-несимметричных волн на полубесконечном круглом волноводе, расположенном соосно внутри круглого волновода большего радиуса.....	107
7.2.4.	Одиночная щель.....	112
7.2.5.	Конечная система щелей. Рекуррентный подход.....	114
7.2.6.	Конечная система щелей. Система операторных уравнений.....	117
7.2.7.	Полубесконечная система щелей.....	118
7.2.8.	Исследование сходимости.....	121
7.2.9.	Численные результаты.....	123
7.3.	Генетический алгоритм оптимизации параметров волноводной структуры.....	132
7.3.1.	Параллельный генетический алгоритм.....	134
7.3.2.	Результаты оптимизации.....	135
7.4.	Дифракция волноводных волн на системе щелей в общей стенке двух параллельно расположенных прямоугольных волноводов.....	138
7.4.1.	Собственные волны волноводов, связанных системой бесконечных щелей. Волны H -типа.....	139
7.4.2.	Собственные волны волноводов, связанных системой бесконечных щелей. Волны E -типа.....	144
7.4.3.	Одиночная ячейка.....	147
7.4.4.	Конечная система ячеек.....	154
7.4.5.	Численные результаты.....	155
8.	ДИФРАКЦИЯ ВОЛНОВОДНЫХ ВОЛН В ПЛОСКОМ ВОЛНОВОДЕ С КОНЕЧНОЙ И ПОЛУБЕСКОНЕЧНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬЮ ЩЕЛЕЙ.....	161
8.1.	Одиночная щель.....	161
8.2.	Ограниченная система щелей.....	167
8.3.	Полубесконечная система щелей.....	169
8.4.	Численные результаты.....	170

9.	ЗАДАЧИ О ДИФРАКЦИИ ВОЛН С НЕПРЕРЫВНЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ СПЕКТРОМ НА ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ ЭКРАНОВ.....	179
9.1.	Дифракция волнового пучка на периодической последовательности экранов – решеток.....	180
9.2.	Дифракция волн на многослойной системе экранов со щелью.....	184
9.2.1.	Одиночный экран со щелью.....	184
9.2.2.	Двойной экран со щелью.....	187
9.2.3.	Конечная система экранов со щелью. Рекуррентный подход.....	191
9.2.4.	Конечная система экранов со щелью. Система операторных уравнений.....	192
9.2.5.	Полубесконечная последовательность экранов со щелью.....	194
9.2.6.	Дискретизация уравнений и анализ сходимости.....	196
9.2.7.	Численные результаты.....	201
9.3.	Дифракция волн на полубесконечной решетке типа жалюзи.....	207
9.3.1.	Операторные уравнения.....	209
9.3.2.	Процедура регуляризации.....	210
9.3.3.	Решение нелинейного уравнения.....	213
9.3.4.	Численные результаты.....	215
9.4.	Дифракция волн на плоской полубесконечной ленточной решетке....	220
10.	РАСSEЯНИЕ ВОЛН НА СТРУКТУРАХ ИЗ ПЛОСКИХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПО ДВУМ НАПРАВЛЕНИЯМ ЭКРАНОВ.....	229
10.1.	Оператор рассеяния плоской двумернопериодической экрана – решетки.....	229
10.1.1.	Операторы отражения и прохождения слоя с полосковой периодической структурой.....	237
10.1.2.	Обобщенная матрица рассеяния металлического экрана конечной толщины с прямоугольными отверстиями, расположенными периодически в двух направлениях.....	244
10.2.	Операторы отражения и прохождения полубесконечной периодической структуры из двумернопериодических экранов.....	254
	ЛИТЕРАТУРА.....	264