

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



О Т Ч Е Т
по госбюджетной НИР №159

"Разработать теорию и прикладные программы для
спектрально-итерационного решения задач дифракции
на ленточных и перфорированных экранах"

Научный руководитель:
п.ф.н., профессор

А.С.КЛЮЧНИКОВ

Начальник НИС

И.Е.ПРАВИЛЬНЫЙ

Витебск
1995

Библиотека ВГТУ



СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ:

1. КЛУЧНИКОВ Александр Сергеевич – зав.кафедрой автоматизации технологических процессов и производств, п.т.н., профессор.
2. ШЛЮЩЕНКО Александр Васильевич – доцент.
3. ИСИНСКАЯ Инна Леонидовна – аспирант.



В В Е Д Е Н И Е

Невозможно представить современные системы передачи и обработки информации без использования электромагнитных волн. При своем распространении, за исключением космического пространства, волны претерпевают отражение, преломление, волновая энергия поглощается средой, в которой распространяется. Однако наибольшие искажения испытывают волны при рассеянии и дифракции на различного рода препятствиях. В некоторых случаях явления дифракции могут использоваться для целенаправленного перераспределения электромагнитной энергии.

До появления современных средств вычислительной техники в основном развивалась классическая аналитическая теория дифракции для модельных задач рассеивающих структур правильной геометрической формы. При этом широко использовались методы решения краевых задач электродинамики на основе решения систем дифференциальных и интегральных уравнений с граничными условиями для проводящих, непроводящих и полупроводящих границ раздела.

С появлением вычислительной техники и соответствующего программного обеспечения появилась возможность существенно расширить круг дифракционных задач и перейти к исследованиям и численному моделированию рассеивающих свойств реальных физических структур. При численной реализации расчетов полей и токов по спектрально-итерационной теории дифракции широко используются машинные программы быстрых преобразований Фурье (БПФ).

Задание на выполнение данной НИР по договору с министерством образования и науки РБ на 1994-95 г.г. включало: "Разработать теорию и прикладные программы для спектрально-итерационного решения задач дифракции на ленточных и перфорированных экранах". Этап 1994 г. "Решить задачи дифракции и исследовать решетки и экраны произвольной конфигурации и резонансные".

В данном отчете приложены полученные результаты.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Амитей Н., Галиндо В., Ву.Ч. Теория и анализ фазированных антенных решеток. - М.: Мир, 1974. - 455 с.
2. Cohn S.B. Dielectric properties of a lattice of anisotropic particles. - J. App. Phys., 1956, vol.27, p.1106-1107.
3. Ulrich R., Bridges J.J. and Pollack M.A. Variable metal mesh coupler for far infrared lasers. - J. Appl. Opt., 1970, vol.11, p.2511-2516.
4. Durschlag M.S. and Detemple T.A. For-IR optical properties of frees-standing and dielectrically backed metal meshes. - J. Appl. Opt., 1981, vol.20, N.7, p.1245-1253.
5. Воскресенский Д.И., Пономарев Л.И. Принципы построения много-частотных сканирующих антенн. - Изв. вузов, сер. Радиоэлектроника, 1981, т.24, №2, с.4...15.
6. Гринев А.Ю. Радиооптические антенные решетки. - Изв. вузов, сер. Радиоэлектроника, 1981, т.24, №2, с.15...26.
7. Замятин В.И., Ключников А.С., Швец В.И. Антенные обтекатели. - Мн.: БГУ, 1980. - 192 с.
8. Вайнштейн Л.А. Дифракция электромагнитных волн на решетке из параллельных проводящих полос. - Журн. техн. физики, 1955, т.25, с.847...852.
9. Просвирин С.Л. Дифракция плоской электромагнитной волны на двойном экране с щелью. - Изв. вузов, сер. Радиоэлектроника, 1975, т.18, №2, с.8...12.
10. Chen C.C. Transmission through a conducting screen perforated periodically with apertures. - Microwave theory Tech., 1970, vol. MT-18, N.9, p.627-632.
11. Lee S.W. Scattering by dielectric loaded screen. - IEEE Trans. Antennas Propagat., 1971, vol. AP-19, N.5, p.656-665.

- I2 Montgomery J.P. Scattering by an infinite periodic array of thin conductor on a dielectric sheet. - IEEE. Trans. Antennas Propagat., 1975, vol. Ap-23, N.1, p.70-75.
- I3 Archer M.J. Periodic multielement strip gratings. - Electron. Lett., 1982, vol. 18, N.22, p.958-959.
- I4 Handy S.M.A., Parker E.A. Current distribution on the element of a square loop. Frequency selective surface. - Electron. Lett., 1982, vol.18, N.14, p.624-626.
- I5 Tsao C.H. and Mittra R. A spectral-Interation Approach for Analyzing scattering from Frequency selective surface. - IEEE.Trans.Antennas Propagat., 1982, vol.Ap-30, N.2, p.303-308.
- I6 Harrington P.F. Field computation by moment methods. - New York: Macmillan, 1968, - 238 p.
- I7. Миттра Р. Вычислительные методы в электродинамике. - М.: Мир, 1977, 485 с.
- I8. Keller J.B. Geometrical theory of diffraction. - J.Opt.Soc. Amer., 1962, vol.52, N.2, p.116-130.
- I9. Kouyoumjian R.G., Pathak P.G. A Uniform Geometrical Theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface. - Proc. IEEE, 1974, November, vol.62, p.1416-1437.
20. Ahluwalia D.S., Lewis R.M. and Boersma J. Uniform asymptotic theory of diffraction by a plane screen. - SIAM J. Appl. Math., 1968, vol.16, N.14, p.783-807.
21. Уфимцев П.Я. Метод краевых волн в физической теории дифракции. - М.: Сов. радио, 1962. - 243 с.
22. Clemmow P.C. Edge currents in diffraction theory. - IEEE. Trans. Antennas Propagat., 1956, July, vol.AP.4, p.282-287.
23. Иванян М.И. Асимптотика геометрической теории дифракции и фокального разложения в теории излучения открытого конца круглого волновода с фланцем. - Изв. АН Арм.ССР, 1980, т.15,

№6, с.444...447.

24. Mittra R., Ko W.L., Rahmat-Samii Y. Transform approach to electromagnetic scattering. - *Proc. IEEE*, 1979, vol.67, N.11, p.1486-1503.
25. Mittra R., Rahmat-Samii Y., and Ko W.L. Spectral theory of diffraction. - *J.Appl.Phys.*, 1976, May, vol.10, p.1-13.
26. Фок В.А. Распределение токов возбуждаемых плоской волной на поверхности проводника. - *Журн. exper. и теор. физики*, 1945, №12, с.683...702.
27. Архипова Н.А., Репин В.М. Дифракция электромагнитных волн на отверстии на экране. - *Числ. Методы электродинам.* - М.: МГУ, 1983, с.21...26.
28. Вечтомов В.А., Хандамиров В.Л. Применение методов моментов к расчету собственных волн периодических решеток проволочных элементов. - *Сб. Маш. проектир. устройств и систем СВЧ.* - М.: Моск. ин-т радиотехники, электроники и автоматики, 1962, с.169...178.
29. Васильев Е.Н. Теория электромагнитных волн. Тез. докл. международного симпозиума . - М.: Наука, 1971, с.200...206.
30. Hurd R.A., Jull E.V. Theory of a reflection grating with narrow grooves. - *Radio sci.*, 1981, vol.16, N.3, p.271-277.
31. Галишнинкова Т.Н., Илинский А.С. Исследование задач дифракции и распространения волн: Тез. докл. VI Всесоюзного симпозиума по дифракции и распространению волн. Ереван, 1973, т.1, с.437...441.
32. Goldhirsh J., Knepp D.L., Doviak R.J. Radiation from a dipole near a conducting cylinder of finite length. - *IEEE. Trans. Electromagnetic Compatibility*, 1970, vol. EMC-12, N.3, p.96-105.

33. Knepp D.L., Goldhirsh J. Numerical analysis of Electromagnetic radiation of smooth conducting bodies arbitrary shape. - IEEE. Trans. Antennas Propagat., 1972, vol.AP-20, N.3, p.585-588.
34. Kastner R. and Mittra R. A spectral iteration technique for analyzing scattering from arbitrary bodies, Part II: Conducting cylinders with H-wave excitation. - IEEE. Trans. Antennas Propagat., 1985, vol.AP-31, N.3, p.555-557.
35. Тихонов А.Н., Дмитриев В.И. Метод расчета распределения тока в системе линейных вибраторов и диаграммы направленности этой системы. - Сб. вычислит. методы и програм. - М.: МГУ, 1968, №10, с.3...8.
36. Репин В.М. Численный метод решения задачи об электромагнитной связи объемов через отверстия. - Журн. вычислит. математики и мат. физики. - М.: АН СССР, 1971, т.II, №I, с.I52...I63.
37. Репин В.М., Свешников А.Г. Оптимизация геометрических размеров в задаче об излучении через щели. - Сб. вычислит. методы и програм. - М.: МГУ, 1973, т.20, стр.289...296.
38. Иванов В.П. Решение задачи дифракции плоской волны на периодической решетке. - Журн. вычислит. математики и мат. физики. - М.: АН СССР, 1970, т.I0, №3, с.673...684.
39. Van der Berg F.M. Diffraction theory of a reflection grating. - Appl. sci. Res., 1971, vol.24, N.2/3, p.226.
40. Carlemon F. Sur la resolution de certaines equation integrales. Archiv fur Math. astr., Sys., Bd., 1922, vol.16, N.26, p.112.
41. Конторович М.И. Усредненные граничные условия для сетки, состоящей из непараллельных и непрямолинейных проводников расположенных на плоской поверхности. - Радиотехника и электроника, 1972, т.I7, №6, с.II6I...II70.

42. Золотухина Н.М. Усредненные граничные условия для плоской щелевой решетки. – Радиотехника и электроника, 1975, т.20, №3, с.629...632.
43. Конторович Л.В., Крылов В.И. Приближенные методы высшего анализа. – М.: Физматгиз, 1962. – 708 с.
44. Литвиненко Л.Н., Просвирин С.Л., Шестопалов В.П. Метод последовательных уточнений для решения линейных уравнений с фредгольмовым оператором, возникающих в некоторых задачах дифракции волн. – В кн.: Теория дифракции и распространения волн: Тез. докл. УІ Всесоюзного симпозиума по дифракции и распространению волн. Ереван, 1973, т.І, с.405...409.
45. Литвиненко Л.Н., Просвирин С.Л., Шестопалов В.П. Численный метод для решения линейных уравнений с фредгольмовым оператором. – Харьков: ИРЭ. АН УССР, 1972, препринт №2І. – 27 с.
46. Боровиков В.А., Кинбер Б.Е. Геометрическая теория дифракции. – М.: Связь, 1978. – 247 с.
47. Кинбер Б.Е. Об учете многократных дифракций матриц рассеяния. – Радиотехника и электроника, 1964, т.9, с.1954...1604.
48. Бабич В.М., Булдырев В.С. Асимптотические методы в задачах дифракции коротких волн. – М.: Наука, 1972. – 456 с.
49. Кравцов Ю.А. Об одной модификации метода геометрической оптики. – Изв. вузов, сер. Радиофизика, 1964, т.7, №4, с.664...673.
50. Кравцов Ю.А. Асимптотическое решение уравнений Максвелла вблизи каустики. – Радиофизика и электроника, 1964, т.7, №6, с.1049...1056.
51. Газазян Э.Д., Кинбер Б.Е. Асимптотика осесимметричных пучков электромагнитных волн. – Изв. вузов, сер. Радиофизика, 1971, т.14, №8, с.1219...1223.
52. Токатлы В.И., Кинбер Б.Е. Коротковолновая асимптотика осе-

- симметричных волновых пучков. – Изв. вузов, сер. Радиофизика, 1971, т.14, №5, с.761...767.
53. Леонтович М.А., Фок В.А. Решение задачи о распространении электромагнитных волн вдоль поверхности земли по методу параболического уравнения. – Журн. exper. и теор. физики, 1946, т.16, №7, с.557...573.
54. Keller J.B. and Buchal R.N. Boundary layer problems in diffraction theory. – Commun. Pure Appl. Math., 1960, vol.8, N.1, p.85-114.
55. Бабич В.М., Булдырев В.С., Молотков И.А., Метод пограничного слоя в задачах дифракции коротких волн и его становление. – В кн.: Теория дифракции и распространения волн: Тез. докл. VI Всесоюзного симпозиума по дифракции и распространению волн. – Ереван, 1973, т.1, с.350...357.
56. Нефедов Е.И., Фияльковский А.Т. Асимптотическая теория дифракции электромагнитных волн на конечных структурах. – М.: Наука, 1972. – 204 с.
57. Гринберг Г.А. Новый метод решения задачи дифракции электромагнитных волн на плоскости с безграничной прямолинейной щелью и родственных ей проблем. – Журн. технич. физики, 1957, т.27, №11, с.2595...2605.
58. Гринберг Г.А. О дифракции электромагнитных волн на полосе конечной ширины. – Докл. АН СССР, 1959, т.129, №2, с.295...298.
59. Боровиков В.А. Дифракция на многоугольниках и многогранниках. – М.: Наука, 1966. – 445 с.
60. Хаскинд М.Д., Вайнштейн Л.А. Дифракция плоских волн на щели и ленте. – Радиотехника и радиоэлектроника, 1964, т.9, №106, с.1800...1811.

61. Уфимцев П.Я. Вторичная дифракция на диске. – Журн. технич. физики, 1958, т.28, –3, с.583...591.
62. Уфимцев П.Я. Вторичная дифракция на ленте. – Журн. технич. физики, 1958, т.28, №3, с.569...582.
63. Уфимцев П.Я. Асимптотическое исследование задачи о дифракции на ленте. – Радиотехника и электроника, 1969, т.14, №7, с.1173...1185.
64. Уфимцев П.Я. Асимптотическое решение задачи о дифракции на ленте в случае граничных условий Дирихле. – Радиотехника и электроника, 1970, т.15, №5, с.914...923.
65. Clemov P.C. The plane wave spectrum representation of electromagnetic fields. – New York.: Pergamon Press. – 217 p.
66. Фелсен Л., Маркувиц Н. Излучение и рассеяние волн. – М.: Мир, 1978, т.1. – 547 с.
67. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973, – 719 с.
68. Хестанов Р.Х. Дифракция произвольного поля на полуплоскости. – Радиотехника и электроника, 1970, т.15, №2, с.289...297.
69. Зверев В.А. Радиооптика. – М.: Советское радио, 1975. – 304 с.
70. Cooley J.W. and Tukey J.W. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. – Math. Comput., 1965, Apr., vol.19, p.297-301.
71. Brigham E.O., Morrow R.E. The fast-Fourier transform. – IEEE spectrum, December 1967, vol.4, N.12, p.63-70.
72. Harris F.J. On the use of Window for harmonic analysis with the discrete Fourier transform. – Proc. IEEE, 1978, vol.66, N.1, p.51-83.
73. Фельд Я.Н. О принципе двойственности в теории дифракции электромагнитных волн у плоских экранов. – Докл. АН СССР, 1948, т.60, №8, с.1165...1167.

74. Merkner J. • Strenge Theorie der Beugung elektromagnetischer Wellen der Vollkommen leitenden Krettscheibe, Zs. Naturforsch., 1948, N. 3, p. 506-517.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение.....	3
Глава 1. Классические методы теории дифракции.....	4
Глава 2. Математический аппарат спектрально-итерационной теории дифракции.....	26
2.1. Дифракционная теория Гюйгенса-Кирхгофа.....	35
2.2. Решение дифракционных уравнений с разделением переменных.....	38
2.3. Дифракция электромагнитной волны на цилиндричес- кой решетке.....	46
2.4. Спектрально-итерационная теория дифракции.....	51
Глава 3. Спектрально-итерационные задачи дифракции на ленточ- ных решетках и перфорированных экранах.....	58
3.1. Перпендикулярное прохождение E-поляризованной вол- ны.....	58
3.2. Нормальное падение H-поляризованной волны.....	66
3.3. Наклонное падение E-поляризованной волны.....	69
3.4. Наклонное падение H-поляризованной волны.....	74
3.5. Наклонное прохождение произвольно поляризованной волны сквозь ленточную решетку.....	76
3.6. Прохождение волны сквозь произвольно перфорирован- ный экран в прямоугольных координатах.....	87

3.7. Прохождение волны сквозь перфорированный экран в косоугольной системе координат	98
Глава IV. Численные спектрально-итерационные расчеты дифракционных структур	103
4.1. Вычисление полей и наведенных токов	103
4.2. Алгоритм многосвязной итерации	114
4.3. Сходимость, устойчивость и достигаемая точность итерационного решения	120
4.4. Дифракционные характеристики ленточных решеток	131
4.5. Дифракционные характеристики перфорированных и дополняющих проводящих экранов	160
Заключение	167
Литература	169

