

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Душкін Володимир Давидович



Метод дискретних особливостей в задачах
дифракції на періодичних структурах
(математичні моделі та обчислювальні схеми)

01.05.02 — математичне моделювання та обчислювальні
методи в наукових дослідженнях

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Харків — 1997

Дисертація

ЛННБ України ім.В.Стефаника

Робота виконана у Харківському



00761117 (N)

Науковий керівник: доктор фіз.-мат. наук,
професор,
Гандель Юрій Володимирович,

Офіційні опоненти: доктор фіз.-мат. наук,
професор,
Масалов Сергій Олександрович,

кандидат фіз.-мат. наук,
доцент,
Міщенко Віктор Олегович.

Провідна організація: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка,
НАН України, м. Львів

Захист дисертації відбудеться 21 березня 1997р.
о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 02.02.03 Харківського
державного університету (310077, Харків, пл.Свободи, 4, ауд. 6-48).

З дисертацією можна ознайомитись у Центральній науковій бібліотеці ХДУ.

Автореферат розісланий 7 лютого 1997 р.

Учений секретар
спеціалізованої
вченої ради

Єрмаков В.Г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність роботи:

Прогрес у галузі потужної та надпотужної електроніки, який був обумовлений широким освоєнням релятивістських електронних пучків (РЕП) (зі струмами до 100 кА та енергією до 10 Мев), висунув нові проблеми у галузі методів математичного моделювання цих процесів. Ці нові проблеми обумовлені якісними відмінностями надпотужних НВЧ-приладів від традиційних, зокрема: процеси генерації НВЧ мають багатомодовий характер, електродинамічні структури надпотужних НВЧ приладів мають вигляд відкритих резонаторів, поперечні розміри яких можуть бути такі ж як і подовжні, РЕП може істотно змінювати електродинамічні властивості "холодної" структури.

Ці властивості потужних НВЧ-приладів не дозволяють ефективно використовувати методи математичного опису, які базуються на традиційній теорії збудження хвильоводів та резонаторів, а також чисельні методи, які базуються на безпосередньому розв'язку рівнянь електродинаміки. Частково ці труднощі дозволили подолати методи, які було запропоновано у роботах Бугайова С.П., Канавця В.І., Кошелєва В.І. та інших.

Основним кроком цих схем є зведення крайової задачі для систем звичайних диференціальних рівнянь другого порядку до системи нелінійних диференціальних рівнянь першого порядку, яка є стійкою до початкових даних та до похибок обчислень. Ця система далі розв'язується за допомогою методу Рунге-Кутта. Ця схема моделювання процесів, які відбуваються в надпотужних НВЧ-генераторах, задовільно підтверджується експериментальними даними, але з-за великого обсягу аналітичної та чисельної роботи застосування її для прогнозування результатів експериментів, а також оптимізації параметрів потужних НВЧ-приладів являється проблематичним. Використання схем математичного моделювання, які базуються, наприклад, на методі Вінера-Хопфа, також призводить до необхідності виконання великої кількості попередньої аналітичної роботи та великого обсягу чисельних розрахунків. Це пояснюється складною геометрією ЕДС: вони є скінченно періодичними структурами, які складаються з великої кількості елементів.

Таким чином, необхідність розробки нових принципів математичного моделювання фізичних процесів у потужних НВЧ-приладах, створення обчислювальних алгоритмів для реалізації цих моделей та програмного

М. В. Стефанюк
АН України

забезпечення обчислювальних методів становить актуальну задачу.

З цими проблемами пов'язані проблеми побудови математичних моделей, універсальних алгоритмів задач дифракції електромагнітних хвиль на періодичних структурах з довільною конфігурацією екранів. У роботах Шестопалова В.П., Літвіненко Л.М., Масалова С.О., Третякова О.О., Просвірінна С.Л. та інших розроблені ефективні методи чисельного моделювання багатьох задач дифракції. Більшість цих методів призначена для розв'язання окремої задачі і ґрунтується на врахуванні геометричних властивостей структур. Але для розв'язання практично важливих задач синтезу та діагностики виникає необхідність побудови універсальних методів, які можна застосовувати до розв'язання задач дифракції на періодичних структурах довільного типу. Побудові цих методів були присвячені роботи Шестопалова В.П., Тучкіна Ю.А., Окуно У. (Окуно У.), Ікуно Х. (Ікуно Н.). Вперше двовимірні задачі дифракції Е-поляризованих хвиль на періодичній системі стрічок довільного профілю вивчалися в роботах Панасюка В.В., Саврука М.П., Назарчука З.Т., в їх роботах також розроблено алгоритми чисельного розв'язку відповідних задач дифракції Н-поляризованих хвиль. Основним кроком побудови цих алгоритмів було зведення модельних задач до чисельного розв'язку інтегральних рівнянь першого роду з логарифмічною особливістю (у випадку Е-поляризації) та до чисельного розв'язку гіперсингулярних інтегральних рівнянь першого роду (у випадку Н-поляризації). Ці інтегральні рівняння розв'язувались чисельно за допомогою квадратурних формул інтерполяційного типу. Використання цих методів дозволило дослідити фізичні властивості ряду структур цього типу, зокрема періодичної системи параболічних екранів.

Відомо (Тіхонов А.Н., Кольтон Д.), що для інтегральних рівнянь першого роду з логарифмічною особливістю важко побудувати стійкий метод їх чисельного розв'язку, а математичного обґрунтування вищезгаданих методів не було дано.

У роботах Ю.В. Ганделя, С.В. Еременко, І.К. Ліфанова та Т.С. Полянської були запропоновані та математично обґрунтовані методи та алгоритми чисельного розв'язку двовимірних задач дифракції на багатоеlementних неперіодичних структурах з замкнених та розімкнених циліндрів довільного профілю, але відповідних алгоритмів для періодичних задач не було розроблено. Також не було проведено чисельного експе-

рименту, який би використовував ці обчислювальні схеми.

Таким чином, побудова ефективних, строго обґрунтованих математично методів розв'язку задач дифракції на багатоелементних структурах з циліндрів довільного профілю, їх програмна реалізація та проведення чисельного експерименту на їх основі становить актуальну задачу.

Мета роботи та основні завдання наукового дослідження

Розробка універсальних та ефективних алгоритмів чисельного моделювання електродинамічних процесів, які базуються на чисельному розв'язанні систем сингулярних інтегральних рівнянь за допомогою методу дискретних особливостей (МДО);

створення на основі цих алгоритмів пакетів програм та проведення за їх допомогою чисельного експерименту у широкому діапазоні частот для задач дифракції електромагнітних хвиль на періодичних структурах з складною геометрією рефлекторів та для задач про збудження надрозмірних ЕДС релятивістськими електронними пучками;

проведення аналізу розроблених схем чисельного моделювання на стійкість щодо погіршення геометрії рефлекторів, чутливість до зміни параметрів у резонансному діапазоні частот та проведення оптимізації алгоритму щодо зменшення часу роботи програм.

Достовірність отриманих результатів забезпечується математичним обґрунтуванням багатьох процедур чисельного розв'язку, порівнянням отриманих чисельних результатів з результатами, які були отримані за допомогою інших методів та експериментальними даними.

Методи дослідження:

В роботі використані методи математичної фізики, теорії диференціальних та інтегральних рівнянь, математичного моделювання та обчислювальної математики.

Наукова новизна роботи

Вперше було побудовано дискретні математичні моделі дифракції електромагнітних хвиль на періодичних структурах складної геометричної форми та дискретні математичні моделі процесів збудження надрозмірних ЕДС релятивістськими електронними пучками.

На базі побудованих алгоритмів були створені пакети програм за до-

помогою яких проведено чисельний експеримент, що довів високу ефективність розроблених алгоритмів у всьому резонансному діапазоні частот при збільшенні кількості елементів структур та стійкість розроблених алгоритмів щодо "погіршення" геометрії рефлекторів.

Чисельно були отримані нові результати для двох режимів взаємодії РЕП з надрозмірними періодичними структурами, які становлять інтерес для спеціалістів у галузі потужної НВЧ-техніки.

Теоретичне та практичне значення:

Запропоновано дискретні математичні моделі дифракції електромагнітних хвиль на періодичних структурах складної геометричної форми та дискретні математичні моделі процесів збудження надрозмірних ЕДС релятивістськими електронними пучками.

Розроблені алгоритми та програми використані в чисельному експерименті, який є частиною планової роботи кафедри математичної фізики та обчислювальної математики Харківського державного університету. Практичні результати використовуються у Науковому фізико-технологічному центрі МО та НАН України (м. Харків).

Апробація роботи

Результати роботи доповідались на конференціях, симпозіумах та семінарах: VI-ому міжнародному симпозіумі "Метод дискретных особенностей в задачах математической физики" (м. Харків 1993р.), IV й міжнародній конференції "Mathematical Methods in Electromagnetic Theory" (ММЕТ*94) (м. Харків 1994р.), IV Міжнародній конференції імені академіка М.П.Кравчука (м. Київ 1995р.), Другій Всеукраїнській конференції молодих науковців України (м. Київ 1995р.), Науково-технічній конференції "Техника и физика электронных систем и устройств" (м. Суми 1995р.), Республіканському семінарі "Междисциплинарные исследования и оптимизация в задачах математической физики" наук. керівник д.т.н. В.П.Путятін (м. Харків 1995р.) та Республіканському семінарі "Ефективные методы розв'язання задач математической физики", д.ф.-м.н. В.А. Щербина і д.ф.-м.н. Ю.В. Гандель. (м. Харків, 1995,1996р.)

Публікації

За темою дисертації було опубліковано 9 робіт, список яких наведено у кінці автореферату.

Структура і обсяг роботи

Робота складається з вступу, трьох розділів, висновку, додатку та списку літератури з 67 найменувань, загальний обсяг роботи становить 139 сторінок.

Зміст роботи

У вступі обґрунтовується актуальність тематики досліджень, дається характеристика методології дослідження, сформульовані основні наукові положення, що виносяться до захисту, наведена коротка анотація отриманих результатів по главах.

Перша глава присвячена побудові математичних моделей розв'язку двовимірних періодичних задач дифракції та побудові універсальних засобів їх розв'язку. Універсальність цих підходів у тому, що для достатньо великої кількості відмінних задач побудовано алгоритми, які є близькими за структурою та чисельною реалізацією.

У цій главі розв'язання двовимірних періодичних задач дифракції Е- та Н- поляризованих хвиль було зведено до розв'язання систем сингулярних та гіперсингулярних рівнянь першого роду, які мають вигляд зручний для використання МДО.

До структур, які розглядаються у цій, главі належать одношарові та багатшарові стрічкові періодичні структури, багатоеlementні ножові ґратки, жалюзі, структури з циліндрів та півциліндрів, синусоїдальний екран та ін., які є складовою частиною багатьох приладів сучасної електронної техніки.

У першому параграфі першої глави розглядаються задачі дифракції Е- поляризованих хвиль нормально падаючих на багатоеlementну періодичну структуру, яка складається з гладких замкнених або розімкнених циліндрів.

Так, задачі дифракції на періодичних системах стрічок довільного профілю було зведено до системи СІР:

$$\frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{1}{t - \tau} \cdot \frac{v_p(t) dt}{\sqrt{1-t^2}} + \frac{1}{\pi} \sum_{q=1}^M \int_{-1}^1 K_{p,q}^2(\tau, t) \frac{v_q(t) dt}{\sqrt{1-t^2}} = f'_p(\tau), \quad (1)$$

$$p = 1, \dots, M,$$

з додатковими умовами:

$$\frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \ln |t - \alpha| \frac{v_p(t) dt}{\sqrt{1-t^2}} + \frac{1}{\pi} \sum_{q=1}^M \int_{-1}^1 K_{p,q}^1(\alpha, t) \frac{v_q(t) dt}{\sqrt{1-t^2}} = f_p(\alpha), \quad (2)$$

$$p = 1, \dots, M,$$

де $K_{p,q}^1(\alpha, t)$, $K_{p,q}^2(\tau, t)$ та $f_p(\tau)$ -неперервні за Гельдером функції, та α -довільна, але фіксована точка інтервалу $(-1, 1)$ та M - кількість елементів структури на періоді.

Розсіяне поле $u^q(Y_0, Z_0)$ виражається через розв'язок системи СІР $v_q(t)$, $q = 1, \dots, M$ за допомогою формул:

$$u^q(Y_0, Z_0) = -\frac{1}{\pi} \sum_{q=1}^M \int_{-1}^1 \frac{v_q(t) dt}{\sqrt{1-t^2}} G(y_q(t) - Y_0, z_q(t) - Z_0),$$

$$G(y, z) = \frac{\pi}{2i} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} H_0^1 \left(k \sqrt{(y + 2\pi n)^2 + z^2} \right). \quad (3)$$

За допомогою нескладних формул через функції $v_p(t)$, $p = 1, \dots, M$ виражаються також і інші фізичні величини.

Так, задачі дифракції на періодичній системі з замкнених циліндрів зводяться до розв'язку систем сингулярних інтегральних рівнянь, які мають вигляд:

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \left(\frac{t - \tau}{2} \right) \cdot j_p(t) dt + \frac{1}{2\pi} \sum_{q=1}^M \int_0^{2\pi} K_{p,q}^4(\tau, t) \cdot j_q(t) dt = f_p'(\tau), \quad (4)$$

$$p = 1, \dots, M,$$

з додатковими умовами:

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \ln \left| \sin \left(\frac{\alpha - t}{2} \right) \right| \cdot j_p(t) dt + \frac{1}{2\pi} \sum_{q=1}^M \int_0^{2\pi} K_{p,q}^3(\alpha, t) \cdot j_q(t) dt = f_p(\alpha), \quad (5)$$

$$p = 1, \dots, M,$$

де $K_{p,q}^3(\alpha, t)$, $K_{p,q}^4(\tau, t)$ та $f_p(\tau)$ -неперервні за Гельдером функції, α - довільна, але фіксована точка інтервалу $(0, 2\pi)$ та M - кількість елементів структури на періоді.

У другому параграфі першої глави задачі дифракції Н- поляризованих хвиль на багатоелементних періодичних структурах з гладких розіркнених або замкнених циліндрів було зведено до систем гіперсингулярних інтегральних рівнянь, для ядер яких було дано вираз, зручний для проведення обчислень та використання МДО. Зокрема, задачі дифракції Н-поляризованих хвиль на періодичних системах розіркнених циліндрів було зведено до такої системи гіперсингулярних рівнянь (ГР):

$$\begin{aligned} & -\frac{4}{|L_p|^2} \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{\nu_p(t)}{(t-\tau)^2} \sqrt{1-t^2} dt + \\ & + \frac{k^2}{2} \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \ln|t-\tau| \nu_p(t) \sqrt{1-t^2} dt + \\ & + \frac{1}{\pi} \sum_{q=1}^M \int_{-1}^1 K_{p,q}^5(\tau, t) \nu_q(t) \sqrt{1-t^2} dt = F_p^1(\tau), \end{aligned} \quad (6)$$

де $K_{p,q}^5(\tau, t)$ та $F_p^1(\tau)$ -неперервні за Гельдером функції, $|L_p|$ - довжина p -ої стрічки та M - кількість елементів структури на періоді. У цьому випадку розсіяне поле $u^*(Y_0, Z_0)$ виражається через розв'язок системи ГР $\nu_q(t)$, $q = 1, \dots, M$ за допомогою формул:

$$u(Y_0, Z_0) = -\frac{1}{\pi} \sum_{q=1}^M \int_{-1}^1 \nu_q(t) \sqrt{1-t^2} \frac{\partial}{\partial n} G(Y_0 - y_q(t), Z_0 - z_q(t)) dt,$$

де функція $G(y, z)$ така ж, як і в (3).

У третьому параграфі першої глави на прикладі задач дифракції електромагнітних хвиль на періодичній системі стрічок, які знаходяться над імпедансним екраном, показано спосіб зведення широкого класу задач дифракції Е- та Н- поляризованих хвиль, які нахільно падають на багатоелементну стрічкову структуру (при відсутності або наявності екранів), до систем сингулярних інтегральних рівнянь, у ядрі яких окрім особливості Коші є й логарифмічна особливість.

Четвертий параграф першої глави присвячений дискретизації отриманих систем СІР та ГІР (процесу зведення розв'язку СІР та ГІР до розв'язку систем лінійних алгебраїчних рівнянь).

Друга глава присвячена чисельному моделюванню процесів, які виникають при дифракції електромагнітних хвиль на багатоелементних системах брусів, гребінці, багатоелементних системах стрічок з діелектричним заповненням хвильоводних каналів. Розв'язок цих задач у випадку Е-поляризації було зведено до чисельного розв'язку систем СІР:

$$\frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \left\{ \frac{2\varphi_p}{\pi} \cdot \frac{1}{t-\tau} + \frac{\varphi_p}{2} \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{t-\tau}{2} \right) + \frac{\varphi_p}{2} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{\tau+t}{2} \right) \right\} \cdot \frac{v_p(t) dt}{\sqrt{1-t^2}} + \frac{1}{\pi} \sum_{q=1}^M \int_{-1}^1 K_{p,q}^6(t, \tau) \cdot \frac{v_q(t) dt}{\sqrt{1-t^2}} = F_p^2(\tau), \quad p = 1, \dots, M \quad (7)$$

з додатковими умовами:

$$\frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{v_p(t) dt}{\sqrt{1-t^2}} = 0, \quad p = 1, \dots, M, \quad (8)$$

де $K_{p,q}^6(\tau, t)$, $F_p^2(\tau)$ - неперервні за Гельдером функції, φ_p - константи, які характеризують геометричні властивості структур та M - кількість елементів структури на періоді.

Відповідні задачі дифракції Н-поляризованих хвиль зводяться до чисельного розв'язку систем СІР:

$$\frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \left\{ \frac{2\varphi_p}{\pi} \cdot \frac{1}{t-\tau} + \frac{\varphi_p}{2} \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{t-\tau}{2} \right) - \frac{\varphi_p}{2} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{\tau+t}{2} \right) \right\} \cdot \frac{v_p(t) dt}{\sqrt{1-t^2}} +$$

$$+\frac{1}{\pi} \sum_{q=1}^M \int_{-1}^1 K_{p,q}^7(t, \tau) \cdot \frac{v_q(t) dt}{\sqrt{1-t^2}} = F_p^3(\tau), \quad p = 1, \dots, M \quad (9)$$

з додатковими умовами:

$$\frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \left\{ \ln|t - \tau_p| + \frac{1}{2} \cdot \ln \left| \cos \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{\tau_p + t}{2} \right) \right| \right\} \frac{v_p(t) dt}{\sqrt{1-t^2}} +$$

$$+\frac{1}{\pi} \sum_{q=1}^M \int_{-1}^1 K_{p,q}^8(\tau_p, t) \cdot \frac{v_q(t) dt}{\sqrt{1-t^2}} = F_p^4(\tau_p)$$

$$p = 1, \dots, M, \quad (10)$$

де $K_{p,q}^7(\tau, t)$, $K_{p,q}^8(\tau, t)$, $F_p^3(\tau)$, $F_p^4(\tau)$ - неперервні за Гельдером функції, φ_p - константи, які характеризують геометричні властивості структур, τ_p , $p = 1, \dots, M$, - довільні, але фіксовані точки інтервалу $(-1, 1)$ та M - кількість елементів структури на періоді.

Такі системи зустрічаються при розв'язку досить широкого класу задач математичної фізики. Для їх чисельного розв'язку використовується алгоритмічна схема МДО. Однак у цей час ще не існує строгого математичного обґрунтування збіжності процесу наближень у рівномірній або інтегральній метриці. Тому однією з задач проведеного чисельного експерименту була перевірка надійності отриманих результатів та порівняння їх з результатами, які були отримані за допомогою інших методів, зокрема шляхом співставлення їх з результатами, викладеними у першій главі. У четвертому параграфі другої глави запропоновано засоби перетворення ядер інтегральних рівнянь до вигляду зручного для проведення обчислень, які дозволяють у ряді випадків у декілька разів зменшити час роботи програм.

Третя глава присвячена побудові математичних моделей процесів, які виникають при збудженні релятивістським електронним пучком надрозмірних систем відкритого та хвильоводного типів. Як вже було сказано вище, інтерес до систем цього типу був викликаний якісними відмінностями цих ЕДС від традиційних. У той же час застосування традиційних

методів математичного опису до розв'язку цих проблем виявляється трудомістким або малоефективним. Розроблені автором алгоритми чисельного моделювання цих процесів дозволяють подолати ці труднощі. Вони стали основою створення пакетів програм для ПЕОМ, за допомогою яких були отримані нові чисельні результати, що мають практичне значення для фахівців у галузі надпотужної НВЧ-техніки. Модельні задачі було зведено до систем СІР (9-10). Загальна схема зведення цих задач до систем СІР та схема їх дискретизації, внаслідок універсальності застосованих методів, не зазнала істотних змін у порівнянні з схемами, які викладені у другій главі, але у чисельній реалізації сталися суттєві зміни. Пов'язані ці зміни з тим, що структури є неперіодичними та багатоеlementними (кількість елементів структур у більшості випадків дорівнює 10-50), що призводить до необхідності розв'язання систем СІАУ великої розмірності.

У третьому параграфі викладені засоби оптимізації процесу обчислень для задач цього типу. Вони ґрунтуються на врахуванні блочної структури матриць та симетрії точок дискретизації. У цьому параграфі також викладені засоби заміни інтегралів від швидкозмінюючих функцій, які входять у вираз для ядер інтегральних рівнянь, рядами, які збігаються абсолютно. Ці засоби оптимізації роботи програм, разом з засобами, викладеними у другій главі, дозволили суттєво зменшити час роботи програм.

У висновку зроблені підсумки проведеного наукового дослідження. У додатку дано опис проведеного чисельного експерименту, результати якого наведені.

Основні результати роботи:

-Задачі дифракції Е-поляризованих та Н-поляризованих хвиль на багатоеlementних періодичних системах замкнених та розімкнених циліндрів зведено до систем сингулярних та гіперсингулярних інтегральних рівнянь першого роду, які мають вигляд зручний для обчислень та використання МДО.

-Розроблено пакет програм, який дозволив провести чисельний експеримент для задач дифракції на багатоеlementних періодичних ґратках таких типів: ґратки з вертикальних та горизонтальних стрічок, жалюзі, ґратки з еліптичних циліндрів, синусоїдальний екран та ін; проведено ряд чисельних експериментів, які довели стійкість використаних обчи-

слювальних схем, щодо "погіршення" геометрії рефлекторів (випадок витягнутих еліпсів та синусоїдальний екран з великою амплітудою).

-Для інтегрального рівняння першого роду, в ядрі якого є окрім сингулярної ще й логарифмічна особливість, розроблено строго обґрунтований математично метод чисельного розв'язку, який є модифікацією методу дискретних особливостей; на його базі було розроблено програму, за допомогою якої було проведено чисельний експеримент, який довів високу ефективність даного засобу чисельного розв'язку.

-Було одержано систему сингулярних інтегральних рівнянь задачі дифракції Н-поляризованої хвилі, яка нахильно падає на періодичну гребінку.

-За допомогою розробленого пакету програм проведено чисельний експеримент для таких періодичних систем: багатоеlementні періодичні системи з брусів, гребінка, багатоеlementні ножові ґратки з діелектричним заповненням хвильоводних каналів; при цьому розглядались випадки обох поляризацій, було проведено співставлення результатів з результатами, які були отримані іншими методами.

-На базі математичної моделі про збудження надрозмірної структури пучком електронів розроблено алгоритми та програми чисельного розв'язання цієї задачі, а також були розроблені програмні засоби, які дозволяють оптимізувати кількість виконуваних операцій та зменшити час обчислень.

-Чисельно отримані нові результати для двох режимів взаємодії релятивістських електронних пучків з надрозмірними ЕДС (режим збудження ЕДС поблизу частот π та 2π видів коливань), які становлять інтерес для фахівців у галузі потужної НВЧ-техніки.

Особистий внесок автора:

В спільних публікаціях особистий внесок В.Д. Душкіна становлять розроблені алгоритми чисельного моделювання, програмна реалізація цих алгоритмів, результати проведеного чисельного експеримента а також розроблені засоби оптимізації роботи програм.

Основні положення дисертації опубліковані в таких працях:

1. Гандель Ю.В. Душкін В.Д. Численное решение сингулярного интегрального уравнения задач дифракции электромагнитных волн на решетке/ ХГУ,- Харьков, 1993.-20с. Библиогр.: с.19-20,- Деп в ГНТБ

Украины 18.02.93 N 208-Ук.93

2. Гандель Ю.В., Душкин В.Д., Фельдман М.Б. Численный анализ дифракции электромагнитных волн на периодических многоэлементных решетках состоящих из прямоугольных брусьев/ ХГУ,-Харьков,1994.-26с. Библиогр: с. 25-26,- Деп в ГНТБ Украины 05.12.94 N 22-90-Ук.94

3. Dushkin V., Gandel Yu., Morozova N. Numerical realization for the diffraction problems on multielemental gratings// Proceedings of International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory. -Kharkov, 1994. -P.95-98

4. Dushkin V.D. Hypersingular Integral Equations of Two-Dimensional Diffraction Problems on Periodic Structures// Proceedings of International Conference "Boundary Value Problems, Special Functions and Fractional Calculus".- Belarus, Minsk, 1996.- P.89-92

5. Душкин В.Д. Системы сингулярных интегральных уравнений задач дифракции на периодических структурах//Интегральні перетворення та їх застосування до крайових задач математичної фізики: Збірник наукових праць Інституту математики НАН України.- Київ, 1996. - Вип. 12 - С.66-72

6. Душкин В.Д. Математические модели задач дифракции Н-поляризованных волн на периодических структурах //Математическое моделирование: Збірник наукових праць Інституту математики НАН України.- Київ, 1996. - С.92-95

7. Гандель Ю.В., Душкин В.Д. Сингулярні інтегральні рівняння задач дифракції електромагнітних хвиль //Інтегральні перетворення та їх застосування до крайових задач математичної фізики: Збірник наукових праць Інституту математики НАН України.- Київ, 1996. - Вип. 13 - С.14-24

8. Dushkin V. Mathematical Models of Two-Dimensional Diffraction Problems on Periodic Structures //Proceedings of International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (ММЕТ*96).-Lviv, 1996. -P. 483-486

9. Гандель Ю.В., Душкин В.Д., Загинайлов Г.И. Новый численно - аналитический подход в теории возбуждения сверхразмерных электродинамических структур// Электромагнитные волны и электронные системы, Международный научно-теоретический журнал.- М.: ИПРЖ Радиотехника. -1996.-Т.1,№1-С.38-48

Душкин В.Д. Метод дискретных особенностей в задачах дифракции на периодических структурах (математические модели и вычислительные схемы). Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.05.02 - математическое моделирование и вычислительные методы в научных исследованиях, Харьковский гос. ун-т, Харьков 1997.

Защищается 9 научных работ, которые содержат разработку и реализацию математических моделей электродинамических процессов, основанных на численном решении систем сингулярных и гиперсингулярных интегральных уравнений. Установлена высокая надежность и эффективность предложенных вычислительных алгоритмов при решении широкого класса задач электродинамики. Осуществлена программная реализация предложенных схем математического моделирования и на ее базе был проведен вычислительный эксперимент, результаты которого приводятся.

Dushkin V.D. Method of discrete singularities on the diffraction problems on periodic structures (mathematical methods and calculus schemes). Candidate of Phys. & Math. Sci. thesis, speciality 01.05.02 - Mathematical Modeling and Numerical Methods in Scientific Research. Kharkov State University, Kharkov, 1997.

An algorithms of numerical modeling of various electromagnetic waves diffraction processes on multielemental gratings has been built. These algorithms are based on numerical solution of singular and hypersingular integral equations of the first kind. For the numerical solution the method of discrete singularities has been used. A various numerical results has been obtained.

Ключові слова: математичні моделі задач дифракції, сингулярні та гіперсингулярні інтегральні рівняння, чисельний експеримент, надрозмірні електродинамічні системи.

Подп. к печ. 05.02.97 Формат 60x84 1/16. Бумага тип. №1
Способ печати офсетный. Усл.печ. л.1.0
Уч.-изд. л.1.0 Тираж 100 экз. Зак. №6-912

Фирма «ВСВ»

310003 г. Харьков, пл. Конституции, 1

AB 36.919