

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

на правах рукописи

ВАСИЛЬЕВА ТАТЬЯНА ДМИТРИЕВНА



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ВИБРАТОРА,  
РАСПОЛОЖЕННОГО ВЕЛИЗИ ЭКРАНА С РЕБРАМИ

01.04.03 - радиофизика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Харьков - 1992

№ 26.35

Работа выполнена в Радиоастрономическом институте АН Украины

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук  
Просвирнин Сергей Леонидович

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор  
Хижняк Николай Антонович  
(ХФТИ АН Украины, г. Харьков);

доктор физико-математических наук  
Назарчук Зиновий Теодорович  
(ФМИ АН Украины, г. Львов).

Ведущая организация - ФТИНТ АН Украины, г. Харьков

Защита состоится "18" марта 1993 г. в 14.00 час.  
на заседании специализированного совета Д 053.06.04  
при Харьковском госуниверситете по адресу:  
310077, г. Харьков-77, пл. Свободы, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ХГУ.

Автореферат разослан "4" февраля 1993 г.

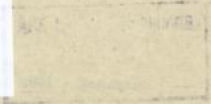
Ученый секретарь  
специализированного совета

В.И.Чеботарев

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00825731 (Q)



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы.

Широко применяемые в антенной технике излучающие вибраторы на практике часто располагаются вблизи различных металлических тел. Присутствие этих тел существенно влияет на параметры излучателя, если длина распространяющейся электромагнитной волны значительно меньше или соизмерима с размерами препятствия. На практике (в технике связи, радиолокации и т. п.) желательно знать заранее степень этого влияния, чтобы обеспечить требуемые характеристики излучения. Для этого необходимо или проводить экспериментальные исследования, которые в большинстве случаев являются трудоемкими и дорогостоящими, или заниматься теоретическим анализом. Такой анализ предполагает построение математической модели (постановку соответствующей задачи дифракции и получение ее решения в виде, удобном для дальнейшего анализа) и создание эффективных алгоритмов и программ.

Строгое решение задачи при сложной форме металлического объекта зачастую в настоящее время либо невозможно, либо практически сложно из-за математических трудностей. Поэтому при построении моделей реальную форму рассеивателя часто заменяют более упрощенной, удобной для анализа: с координатными поверхностями, гладкими границами и т. п. Однако, если длина распространяющейся волны соизмерима с размерами препятствия, нельзя пренебречь особенностями его геометрии. Восстановление картины поля вблизи экранов, содержащих ребра, при применении прямых численных методов требует больших затрат машинного времени и предъявляет повышенные требования к объему памяти ЭВМ.

Одним из способов повышения эффективности расчетов при

изучении дифракции волн на структурах, содержащих изломы и кромки, в резонансном диапазоне частот является учет особенности решения в окрестности геометрической сингулярности. Такой подход активно применяется при решении задач спектральным методом. При этом система базисных функций выбирается такой, чтобы точно моделировать поведение полей при приближении к ребру. Если экран разомкнут или имеет изломы под разными углами, поведение полей вблизи ребер различно. Точный учет особенностей вблизи каждого из них затруднителен, поэтому в настоящее время в рамках этого метода существуют только работы, в которых рассматривают либо замкнутые экраны с одинаковыми двугранными углами при ребрах, либо учитывают лишь некоторые из сингулярностей.

Таким образом, актуальным является разработка методики, позволяющей получать строгое решение задач дифракции как на замкнутых, так и на незамкнутых многогранных экранах с любыми двугранными углами при ребрах, дающее устойчивые численные результаты.

Несмотря на большое число теоретических работ по вопросу дифракции электромагнитных волн на цилиндрических экранах с ребрами, лишь небольшое количество из них посвящено моделированию работы широко применяющихся в антенной технике электрических вибраторов вблизи металлических объектов.

Так как излучатели на практике работают в различных условиях, для анализа необходимо иметь широкий набор моделей, чтобы подбирать наиболее адекватную реальной физической ситуации.

Цель работы состоит в построении математических моделей дифракции электромагнитных волн как на замкнутых, так и на незамкнутых цилиндрических экранах с ребрами, создании на их основе эффективных вычислительных программ и использовании их

для изучения влияния металлических тел на излучение электрических вибраторов в резонансном частотном диапазоне.

#### Метод исследования.

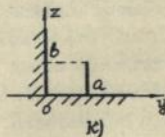
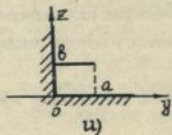
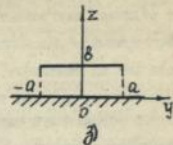
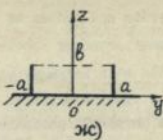
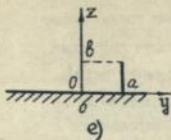
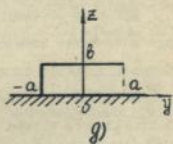
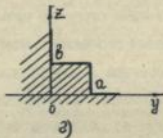
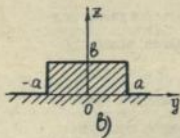
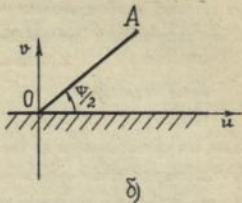
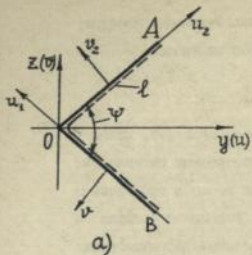
Рассматриваются двумерные модели рассеивателей, конфигурации которых приведены на рис. 1. Для построения решения задач дифракции используется спектральный метод в сочетании с методом частичного обращения оператора. Решения относятся к классу строгих численно-аналитических решений дифракционных задач.

Для всех рассматриваемых структур применяется единый подход: подлежащее определению рассеянное поле ищется в виде потенциала двойного слоя (случай Н-поляризации). Незвестная функция плотности поверхностного потенциала на каждой грани представляется в виде ряда по полиномам Чебышева с соответствующим весовым множителем. Такое представление (независимо от величины двугранных углов при ребрах на краях грани) позволяет единым образом получить строгое решение задач дифракции волн как на замкнутых, так и на незамкнутых экранах. Важным является то, что при этом удается выделить и аналитически обработать статическую часть оператора рассеяния, относящегося к отдельной грани. В итоге решения всех рассматриваемых задач сводятся к решению корректных систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) второго рода, позволяющих получать устойчивые численные результаты на ЭЕМ.

Единый подход при построении решений обеспечивает методу определенную универсальность.

Научная новизна диссертации.

Предложен новый подход к решению двумерных задач диф-



реакции волн на идеально проводящих цилиндрических экранах с ребрами, являющийся дальнейшим развитием спектрального метода с использованием полуобращения оператора, позволивший:

-получить строгое решение как для замкнутых, так и для незамкнутых структур;

-рассмотреть цилиндрические экраны с любыми двугранными углами при ребрах.

Впервые с использованием метода полуобращения оператора получено строгое решение задач дифракции плоской Н-поляризованной электромагнитной волны и поля элементарного электрического диполя на:

-выступе прямоугольного поперечного сечения на металлической плоскости;

-цилиндрическом экране прямоугольного поперечного сечения, две смежные грани которого лежат на бесконечных идеально проводящих плоскостях;

- Г-образных металлических экранах на металлической плоскости.

Разработана методика, позволяющая получать азимутальные ДН излучения элементарного вибратора, расположенного вблизи цилиндрического металлического экрана.

Обоснованность и достоверность полученных в работе результатов определяется тем, что все рассмотренные задачи решены в строгой постановке. Из приведенного для ключевой задачи доказательства корректности результатов при решении системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) следует корректность решений всех остальных задач, т.к. они получены единым образом. Каждый оператор соответствующих им СЛАУ имеет идентичный среди рассмотренных в ключевой задаче и, поэтому, не

требует дополнительного исследования.

Проводился контроль точности численных решений по выполнению закона сохранения энергии. Приведены численные результаты, показывающие быструю сходимость метода редукции. Проведенные в работе сравнения полученных характеристик с некоторыми, известными из литературы, показали хорошее совпадение. Численные результаты, полученные для тонкого выступа при решении задачи электромагнитной совместимости, совпали с экспериментальными данными.

Практическая ценность полученных результатов.

Задачи, рассмотренные в работе, могут использоваться при моделировании поведения электромагнитного излучения вблизи металлических объектов, размеры которых соизмеримы с длиной распространяющейся волны. Все полученные решения реализованы в виде эффективных программ численного расчета на языке FORTRAN-4, выходными параметрами которых являются важные на практике характеристики реальных электродинамических систем. Благодаря выбранному методу, программы имеют высокое быстродействие и могут применяться для проведения предварительного теоретического анализа, необходимого при использовании в резонансном частотном диапазоне вибраторных антенн на объектах с металлическими конструкциями.

Проведенный в диссертации теоретический анализ работы электрических вибраторов вблизи металлических экранов позволяет дать ряд практических рекомендаций по выбору места расположения вибраторов для их наиболее эффективной работы.

Построенные модели могут также применяться при решении задач электромагнитной совместимости. В результате расчетов энергетических характеристик диполя вблизи одиночного выступа

выработаны рекомендации по выбору размеров экрана для обеспечения необходимого ослабления мощности излучения за ним.

#### Апробация работы.

Основные результаты опубликованы в 9 печатных работах. Ряд материалов включен в отчет по НИР [5]. Материалы диссертации докладывались на 1-й Всесоюзной научно-технической конференции "Устройства и методы прикладной электродинамики" (г. Одесса, 1988 г.), на семинаре "Объемные интегральные схемы в научном приборостроении СВЧ диапазона" (г. Севастополь, 13-14.06.88 г.), на X Винницком симпозиуме по дифракции и распространению волн (18-21.09.90), на VIII семинаре-совещании "Численные методы решения прямых и обратных задач электродинамики СВЧ" (г. Львов, Институт прикладных проблем механики и математики АН Украины, 28.05-1.06.1990г.), на VI Межгосударственной школе-семинаре "Техника, теория, математическое моделирование и САПР систем сверхбыстрой обработки информации на ОИС СВЧ и КВЧ" (Калининград, сентябрь 1992г.).

#### Объем и структура работы.

Диссертация состоит из введения, трех разделов и заключения. Она содержит 93 страницы основного текста, 36 страниц рисунков и таблиц, список литературы из 50 наименований.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертация состоит из введения, трех разделов и заключения.

Во введении диссертации обоснована актуальность темы, дан краткий литературный обзор по рассматриваемым вопросам,

сформулирована цель работы, описана методика исследований, кратко изложено содержание работы и представлены основные результаты и выводы, выносимые на защиту.

В первом разделе подробно описывается методика представления искомым полем для замкнутых и незамкнутых экранов. Электромагнитное поле в присутствии источников излучения и металлических экранов представляет собой суперпозицию падающего  $U_i$  и рассеянного  $U_s$  полей. Причем, в случае Н-поляризации, рассеянное поле представляется в виде потенциала двойного слоя, т.е. в виде интеграла от произведения плотности потенциала (в этом случае эквивалентной плотности индуцированного поверхностного тока) на нормальную производную от функции Грина: 
$$U_s = \int_L \mu \frac{\partial G}{\partial n} dl.$$
 Интегрирование проводится вдоль поперечного сечения контура рассеивателя  $L$ : в случае замкнутого экрана этот контур замкнут. Такое представление используется в дальнейшем для построения решения всех рассмотренных в работе задач дифракции.

В качестве ключевой при изучении дифракции на цилиндрических экранах с ребрами рассматривается задача рассеяния плоской Н-поляризованной волны на угольном экране (рис. 1а). Характерные ее особенности: асимметрия в условиях на ребрах, необходимость учета конечного значения тока на ребре при  $\psi \neq 0$ , особенности в граничных условиях из-за неопределенности нормали на ребре - всегда присутствуют, если рассматривать незамкнутые экраны с изломами или замкнутые экраны с различными двугранными углами при ребрах. Угольный экран является наиболее характерной составной частью многогранных структур, поэтому разработка техники применения спектрального метода с последующим полуобращением оператора для "уголка" является методически целесообразной. Кроме того, решение данной дифракционной зада-

чи имеет практическую ценность, так является хорошей математической моделью широко используемой в антенной технике уголко-вой антенны.

При строгом решении задач дифракции на экранах с изломами возникает необходимость удовлетворения условиям конечности энергии в любой ограниченной области пространства, включая окрестности ребер. Это условие накладывает ограничение на поведение поля вблизи ребра. Поперечная компонента поля возле среднего (O) и крайних (A, B) ребер уголкового экрана имеет различную степень возрастания с приближением к ребру: вблизи крайних  $H_x \sim O(\rho^{1/2})$ ,  $E_{y,z} \sim O(\rho^{-1/2})$ ,  $\rho \rightarrow 0$ ; вблизи среднего ребра она зависит от угла раскрыва экрана  $\psi$ :  $H_x = \text{const} + O(\rho^\tau)$ ,  $E_{y,z} \sim O(\rho^{1+\tau})$ ,  $\rho \rightarrow 0$ , где  $\tau = \pi / (2\alpha - \psi)$ . Для однозначного решения уравнений Максвелла не обязательно знать априори численное значение  $\tau$ . Важно учесть положительную нижнюю границу этой величины, которая соответствует сингулярности поля наиболее высокого порядка. Учитывая этот факт, предлагается при разложении плотности поверхностного тока на каждой грани в представлении рассеянного поля в виде  $U_s = \int \mu_j \frac{\partial G}{\partial n} d\ell_j$  использовать полиномы Чебышева второго рода  $U_n(u)$  с соответствующим весовым множителем. Этот множитель  $(1-u^2)^{1/2}$  определяет характер поведения поля вблизи ребра и соответствует наиболее сильной особенности, поэтому при любом  $\psi$  условие конечности энергии будет выполнено. Для учета конечности тока на ребре при  $\psi \neq 0$  и возможности обращения его в 0 на крайних ребрах, система базисных функций дополняется функциями 1 и  $u$ :

$$\mu_j(u) = \gamma(1+u) + \sqrt{1-u^2} \sum_{n=0}^{\infty} c_n U_n(u),$$

где  $\gamma$  - константа, учитывающая конечность тока на ребре.

Поскольку на ребре углового экрана понятие нормальной производной не имеет смысла, нужно потребовать более общего условия, чем  $\partial U_s / \partial n = -\partial U_i / \partial n$  на поверхности экрана. Необходимо, чтобы "поток" искомой функции  $U_s$  сквозь  $h = h_1 \cup h_2$  равнялся некоторой заданной величине. Граничное условие формулируется следующим образом. Пусть  $q(u, v)$  - произвольная функция, непрерывная во всем пространстве и на  $h$ ; ее значение на  $h$  обозначим  $q(s)$ . Возьмем кривую  $\ell$  с непрерывной кривизной вблизи  $h$  и вычислим интеграл произведения  $q \frac{\partial U_s}{\partial n}$  вдоль  $\ell$ , где производная взята по нормали к  $\ell$ . Ставится задача найти функцию  $U_s$ , для которой

$$\int_{\ell} q \frac{\partial U_s}{\partial n} ds = - \left[ \int_{h_1} q(s) \frac{\partial U_i}{\partial n} ds + \int_{h_2} q(s) \frac{\partial U_i}{\partial n} ds \right], \quad (1)$$

когда контур  $\ell$  стремится к контуру  $h$ . В качестве  $q$  на  $\ell$  можно выбрать элементы базиса в пространстве непрерывных функций. Тогда требование выполнения граничного условия, сформулированного в виде (1), сводится к проектированию уравнения, полученного на основе исходного граничного условия  $\frac{\partial U_s}{\partial n} = -\frac{\partial U_i}{\partial n}$ , на выбранный базис.

Оператор бесконечной СЛАУ состоит из двух частей: первая описывает дифракцию на одной из граней уголка, а вторая - взаимодействие с соседней гранью. В операторе, относящемся к одной грани, выделим статическую часть (неравную нулю при  $k=0$ ). Ее матрица оказывается диагональной, поэтому статическая часть оператора легко обращается. Благодаря выбору в качестве элементов базиса многочленов Чебышева, удается обратить эту часть оператора аналитически. После такого обращения получаем СЛАУ второго рода:  $x - Ax + Bx = F$ , обладающую высокой сходимостью при

численных расчетах на ЭВМ. В работе доказано, что такая СЛАУ корректно разрешима.

Приведены численные результаты. Составленная программа позволяет рассчитывать диаграмму направленности, эффективный поперечник рассеяния, распределение плотности индуцированных поверхностных токов на гранях при любом угле раскрыва экрана. Алгоритм эффективен и в случае, когда уголок превращается в ленту (при  $\psi = \pi$ ). Результаты расчета распределения плотности поверхностного тока на ленте, полученные изложенным методом и найденные ранее независимо, совпали. Возможность в рамках метода перехода к ленте имеет важное методическое значение, так как свидетельствует о том, что метод позволяет, во-первых, построить универсальный алгоритм для решения задач дифракции волн на экранах с различным числом граней и, во-вторых, сегментировать отдельные электрически большие грани.

Во втором разделе приведено решение двумерных задач дифракции плоской Н-поляризованной электромагнитной волны и поля линейного электрического диполя на идеально проводящем прямоугольном выступе на металлической плоскости (рис. 1в) в строгой постановке. В результате использования метода зеркального изображения исходная задача сводится к решению эквивалентной задачи о дифракции на прямоугольном бруске. К задаче о дифракции на бруске можно также свести задачу об излучении диполя вблизи цилиндрического экрана прямоугольного поперечного сечения, две смежные грани которого лежат на бесконечных плоскостях (рис. 1г), путем двукратного применения метода зеркального изображения. Для решения использовался тот же подход, что и при решении задачи дифракции на уголковом экране. Плотность наведенных поверхностных токов на каждой грани представлялась в виде ряда по полиномам Чебышева второго рода с соответствующей весовой

функцией. Как уже отмечалось, такой базис обеспечивает выполнение условия на ребре при любом значении угла между гранями экрана, даже в случае, когда поле имеет наиболее сильную особенность (бесконечно тонкое ребро), т.е. когда экран разомкнут. Этот факт и единый подход к решению в случае замкнутых и незамкнутых экранов позволили построить ряд математических моделей на основе полученного для бруса решения путем исключения из рассмотрения одной или нескольких граней. Таким образом получено решение для Г-образного идеально проводящего экрана на металлической плоскости (рис. 1д).

Созданы эффективные алгоритмы для численного анализа рассеянных полей. Программы расчета, написанные на языке FORTRAN-4, позволяют вычислить ряд важных характеристик рассеянных полей: ДН в угломестной плоскости, распределение плотности поверхностных токов вдоль экрана, коэффициенты рассеяния.

Проведен численный анализ работы вибраторной антенны (линейный электрический диполь) вблизи выступа конечной толщины и Г-образных металлических экранов на идеально проводящей плоскости. Показано, как меняются направленные свойства антенны в зависимости от места ее расположения относительно экрана и от конфигурации металлических конструкций. Приведены зависимости коэффициентов рассеяния от частоты и положения излучателя, по которым можно определить размеры экранов и места расположения вибраторов, при которых мощность излучения будет максимальна.

Ряд важных в практическом отношении характеристик электродинамических структур можно получить, моделируя объекты с помощью бесконечно тонких металлических неоднородностей. Такое упрощение допустимо, если их ширина мала по сравнению длиной распространяющейся электромагнитной волны. В третьем разделе получено решение задач дифракции поля линейного электрического

диполя на протяженных ленточных неоднородностях: бесконечно тонком выступе на металлической плоскости (рис. 1е), системе двух выступов (рис. 1ж) и ленте над металлической плоскостью (рис. 1з) на основе решения задачи дифракции волн на выступе конечной толщины.

На основе задачи дифракции на прямоугольном цилиндре, две смежные грани которого лежат на идеально проводящих бесконечных плоскостях, получено решение для ленточных неоднородностей, расположенных в идеально проводящем прямоугольном уголке с бесконечными гранями (рис. 1и,к) вблизи излучателя. Решения сведены к СЛАУ второго рода и реализованы в виде эффективных вычислительных программ. Теоретический анализ с их помощью позволяет выработать рекомендации по расположению излучателя для его наиболее эффективной работы.

На основе расчетов энергетических характеристик диполя вблизи одиночного выступа выработаны рекомендации по выбору размеров экрана для обеспечения (при решении задачи электромагнитной совместимости) необходимого ослабления мощности излучения. Полученные теоретическим путем результаты совпали с экспериментальными данными.

Построено также решение задачи дифракции на бесконечно тонком выступе на металлической плоскости, где в качестве излучателя рассматривается трехмерный диполь, являющийся источником сферической волны. Такая модель наиболее близка реальной физической ситуации, когда на практике в качестве излучателя используется диполь Герца. Эта модель дает дополнительные возможности в изучении реальных электродинамических систем. Так на примере модели с одиночным бесконечно тонким выступом показано, как можно получить ДН системы в азимутальной плоскости.

Проведено сопоставление ДН в поперечной плоскости для двумерной и трехмерной моделей излучателя. Сравнение показало совпадение результатов. Таким образом, если на практике интересоваться параметрами излучения в угломестной плоскости, можно ограничиться решением двумерной задачи.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы по работе.

Основные результаты и выводы работы, выносимые на защиту.

1. Предложен новый подход к решению задач дифракции электромагнитных волн на цилиндрических идеально проводящих экранах с ребрами, позволяющий получать строгое решение как для замкнутых, так и для незамкнутых структур с любыми двугранными углами при ребрах. Разработанный математический аппарат является дальнейшим развитием теории рассеяния электромагнитных волн, базирующейся на спектральном методе и методе полуобращения оператора задачи.

2. Впервые получено строгое решение двумерных задач дифракции Н-поляризованной электромагнитной волны и поля элементарного электрического диполя на прямоугольном выступе, Г-образных экранах на металлической плоскости, а также на цилиндре прямоугольного поперечного сечения, две смежные грани которого лежат на бесконечных идеально проводящих плоскостях. Полученные решения обладают определенной универсальностью и позволяют на их основе получить решения для ряда ленточных неоднородностей.

3. Все полученные решения реализованы в виде эффективных вычислительных алгоритмов и быстродействующих программ на языке FORTRAN-4 и могут успешно применяться для теоретического анализа работы вибраторных антенн вблизи металлического экра-

нов, размеры которых соизмеримы с длиной распространяющейся волны.

4. Обнаружено и изучено явление возрастания мощности излучения электрического диполя, расположенного вблизи Г-образного металлического экрана на металлической плоскости. Установлены условия возникновения "поршневой" волны в рассмотренной электродинамической системе.

#### Основные публикации по теме диссертации

1. Васильева Т. Д., Кочин В. Н., Литвиненко Л. Н., Просвирнин С. Л. Рассеяние электромагнитных волн металлическими цилиндрами сложной формы на границе раздела двух сред // Тезисы докладов I Всесоюзной научно-технической конференции "Устройства и методы прикладной электродинамики". - М.: Изд-во МАИ. - 1988. - С. 24.
2. Васильева Т. Д., Кочин В. Н., Просвирнин С. Л. Рассеяние волн прямоугольным выступом на металлической плоскости. /РИАН УССР. - Харьков: 1988. - 16 с. Дел. в ВИНТИ 21.12.88, N 8880-ВВ8.
3. Васильева Т. Д., Просвирнин С. Л., Янсон О. И. Излучение вибраторов вблизи металлических экранов различной конфигурации - Харьков, 1989. - 40с. - (Препринт/АН УССР. РИАН УССР; N24).
4. Васильева Т. Д., Янсон О. И. Излучение диполя, расположенного вблизи бесконечно тонкого ленточного выступа. // Тезисы докладов на конф. мол. ученых и спец. РИАН - Харьков. - 1989 - С. 5.
5. Исследования неоднородных сред и образований радиофизическими методами: Отчет / Сеницын В. Г., Просвирнин С. Л., Ва-

- сильева Т. Д. и др. - Гос. рег. N 01.85.0015260, Раздел 3. - Харьков: РИАН Украины, 1989.
6. Васильева Т. Д., Литвиненко Л. Н., Просвирнин С. Л. Дифракция волн на двумерном угольном экране // ДАН УССР. Сер. А. - 1990. - N 6. - С. 58-62.
7. Васильева Т. Д. Моделирование излучения электрического вибратора, расположенного вблизи выступа на идеально проводящей плоскости // Вопросы дифракции и распространения волн: Междувед. сб. / МЭТИ. М., 1990. С. 82-87.
8. Васильева Т. Д., Литвиненко Л. Н., Просвирнин С. Л. Спектральный метод в двумерных задачах дифракции волн на плоских экранах с ребрами // Сб. Волны и дифракция - 90 - М: Физич. общество СССР - 1990 - Т. 1. - С. 242-245.
9. Васильева Т. Д., Просвирнин С. Л., Резник И. И. Спектральный метод в двумерных задачах дифракции электромагнитных волн на незамкнутых экранах с ребрами. // Техника, теории, математическое моделирование и САПР систем сверхбыстрой обработки информации на объемных интегральных схемах СВЧ и КВЧ лекции, доклады, сообщения IV Межгосударственной школы-семинара. - М.: Изд. МГП РНТОРЭС им. Полова. - 1992. - Т. 2. - 141 с.

*Сильева*

Подп. в печ. 21.01.93г. Формат 60x80/16  
Бум. офс. Усл. печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 1  
Тираж 100 экз. Заказ 5. Бесплатно

---

Ротапринт ИРЭ АН Украины  
г. Харьков-85, ул. Ак. Проскуры, 12

247081

AB 26.553  
**AB 26.553**