

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 537.86:004.056.5

ФИЛИППОВИЧ
Андрей Геннадьевич

**АНАЛИЗ ПОБОЧНЫХ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ
В БЛИЖНЕЙ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ И ДАЛЬНЕЙ ЗОНЕ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ
ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальностям 05.13.19 – Методы и системы защиты информации,
информационная безопасность и 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их
технологии

Минск 2014

Работа выполнена в Оперативно-аналитическом центре при Президенте Республики Беларусь и учреждении образования «Военная академия Республики Беларусь».

Научный руководитель **Рунов Адольф Владимирович**, кандидат технических наук, профессор, пенсионер

Официальные оппоненты: **Вилькоцкий Марат Антонович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информатики и основ электроники физического факультета учреждения образования «Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка»

Утин Леонид Львович, кандидат технических наук, доцент, начальник отдела государственного учреждения «Научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Республики Беларусь»

Оппонирующая организация Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко» Белорусского государственного университета

Защита состоится «29» января в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.06 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп.1, ауд. 232, тел. 293-89-39, e-mail: dissovets@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан «23» декабря 2014 года.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций, кандидат технических наук, доцент

Борискевич А.А.

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Для исключения возможности реализации угроз информационной безопасности в государстве создана комплексная система защиты информации, одной из основных функций которой является защита информации, обрабатываемой техническими средствами, от утечки по техническим каналам. Одним из таких каналов утечки информации является канал побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ). Его возникновение связано с тем, что информация в аппаратных устройствах и интерфейсах средств вычислительной техники обрабатывается с помощью модулированных информационными сообщениями электрических сигналов, являющихся источниками электромагнитного излучения. Информация, распространяемая ПЭМИ, может быть перехвачена средствами разведки на достаточно большом расстоянии (от единиц до нескольких сотен метров). Поэтому для принятия обоснованных мер по блокированию канала ПЭМИ технические средства обработки информации проходят процедуру специальных исследований.

В рамках проведения специальных исследований определяются размеры зоны приема сигнала ПЭМИ, представляющей собой сферу, в пределах которой существует теоретическая возможность перехвата информации в оптимальных условиях ведения разведки. Основной проблемой, возникающей при проведении специальных исследований, является измерение напряженности электромагнитного поля. Интенсивность ПЭМИ в современных технических средствах обработки информации невелика, и выделение опасного сигнала на фоне помех без использования специализированных приемных устройств, позволяющих осуществлять длительную процедуру периодического усреднения сигнала, возможно только на относительно небольших расстояниях от исследуемых средств обработки. По этой причине измерения напряженности поля приходится проводить в промежуточной или даже ближней зоне излучения. В этом случае обеспечить необходимую точность расчетов радиуса зоны приема сигналов ПЭМИ возможно только с использованием математических методов вычислительной электродинамики. Приближенные методы математического анализа ПЭМИ, применяемые в настоящее время, приводят к недопустимым ошибкам в расчетах.

В диссертационном исследовании развит математический аппарат, позволяющий проводить анализ побочных радиоизлучений в любой области пространства вокруг источника ПЭМИ (в том числе в ближней и промежуточной зоне излучения) с требуемой точностью. При этом становится возможным учет индивидуальных конструктивных особенностей исследуемого технического средства обработки информации, модели его возбуждения сторонними источниками поля и частоты сигнала ПЭМИ.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Материалы диссертации использовались в двух научно-исследовательских работах:

1. НИР «Спектр», выполненной в рамках Государственной программы защиты государственных секретов в Республике Беларусь на 2007 – 2010 гг., утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 19.06.2007 № 282.

2. НИР «Разработать технические нормативные правовые акты и методические документы для аттестации систем защиты информации» (НИР «Аттестат»), выполненной в рамках государственной программы «Развитие методов и средств системы комплексной защиты информации на 2011 – 2015 гг.», утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 01.02.2011 №116 «Об утверждении перечней научно-технических программ на 2011 – 2015 годы и на период до 2020 года и признании утратившими силу некоторых постановлений Совета Министров Республики Беларусь».

Получены акт и справка о внедрении результатов диссертации в научно-исследовательские работы.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является анализ побочных радиоизлучений, источником которых являются современные средства обработки информации, в ближней, промежуточной и дальней зоне, для уточнения математической модели, описывающей функциональную зависимость напряженности поля от расстояния, используемой при расчетах радиуса зоны приема побочных радиоизлучений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- получить и исследовать на сходимость системы интегральных уравнений для расчетов амплитудно-фазового распределения, возникающего на поверхности электродинамических объектов произвольной геометрии, состоящих из проводящих объемных тел и тонких проводников;

- получить математические выражения для напряженности электрического и магнитного полей, излучаемых электродинамическими объектами произвольной геометрии, состоящими из проводящих объемных тел и тонких проводников, в произвольной области пространства вокруг излучателя (в том числе в ближней и промежуточной зоне излучения);

- получить численное решение задачи влияния прямоугольного рефлектора конечных размеров на структуру электромагнитного поля полуволновой вибраторной антенны в ближней и промежуточной зоне излучения;

- провести экспериментальные исследования амплитудно-фазового распределения, возникающего на поверхности технических средств обработки информации;

- провести экспериментальные исследования частотного диапазона побочных радиоизлучений;

- провести анализ амплитудно-фазового распределения, а также напряженности электрического и магнитного полей, излучаемых техническими средствами обработки информации, в ближней, промежуточной и дальней зоне.

Объект исследования – технические средства обработки информации как источники побочных радиоизлучений.

Предмет исследования – амплитудно-фазовое распределение, возникающее на проводящей поверхности технических средств обработки информации; побочные радиоизлучения, создаваемые техническими средствами обработки информации.

Положения, выносимые на защиту

1. Анализ побочных радиоизлучений, источником которых являются современные средства обработки информации, позволивший обеспечить проведение расчетов функции зависимости напряженности поля от расстояния в ближней и промежуточной зоне излучения с погрешностью не более 5 % во всем частотном диапазоне.

2. Методика расчета амплитудно-фазового распределения, возникающего на поверхности электродинамических объектов произвольной геометрии, состоящих из проводящих объемных тел и тонких проводников, методом интегральных уравнений, учитывающая условие излучения Зоммерфельда, граничные условия для проводящих тел. По сравнению с методиками, основанными на методе конечных элементов и методе конечных разностей, для электродинамических объектов с линейными волновыми размерами, превышающими значение длины волны, размерность граничной задачи уменьшается не менее чем в 7 раз, а время, необходимое для проведения численных расчетов, не менее чем в 350 раз.

3. Методика расчета напряженности электромагнитного поля, излучаемого электродинамическими объектами произвольной геометрии, состоящими из проводящих объемных тел и тонких проводников, основанная на истокообразном представлении векторов электрического и магнитного

полей. В отличие от существующих методик, применяемых при оценке защищенности технических средств обработки информации, позволяет исследовать непрерывную трансформацию векторов напряженности поля при распространении непосредственно от проводящей поверхности технического средства в дальнюю зону излучения.

Личный вклад соискателя

Основные результаты диссертации получены автором самостоятельно. В совместно опубликованных работах автору принадлежат:

- методика расчета амплитудно-фазового распределения на поверхности электродинамических объектов произвольной геометрии, состоящих из проводящих объемных тел и тонких проводников, методом интегральных уравнений;

- методика расчета напряженности электромагнитного поля, излучаемого электродинамическими объектами произвольной геометрии, состоящими из проводящих объемных тел и тонких проводников, основанная на истокообразном представлении векторов электрического и магнитного полей;

- обоснование принципов формирования тестовых режимов в интерфейсах технических средств обработки информации, для целей формирования побочных электромагнитных излучений максимальной интенсивности;

- анализ побочных радиоизлучений, формируемых техническими средствами обработки информации, в ближней, промежуточной и дальней зоне.

Соавторами основных публикаций являются научный руководитель кандидат технических наук, профессор А.В. Рунов, осуществлявший определение целей, постановку задач и выбор методов исследований, и К.К. Шульган, участвовавший в обсуждении материалов диссертации.

Экспериментальные исследования по определению частотного диапазона побочных радиоизлучений выполнены совместно с сотрудниками ГП «НИИ технической защиты информации».

Апробация результатов диссертации

Теоретические и практические результаты диссертационных исследований докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях и семинарах: XII Международная научно-практическая конференция «Комплексная защита информации» (г. Ярославль, 13 – 16 мая 2008 г.); Международная научно-техническая конференция «Физика и технические приложения волновых процессов» (г. Санкт-Петербург, 15 – 18

сентября 2009 г.); Международная научно-техническая конференция «Физика и технические приложения волновых процессов» (г. Челябинск, 13 – 17 сентября 2010 г.); Международная военно-научная конференция ВА РБ «Актуальные аспекты инновационного развития вооруженных сил с учетом характера войн будущего» (г. Минск, 30 – 31 марта 2011 г.); XVI Международная научно-практическая конференция «Комплексная защита информации» (г. Гродно, 17 – 20 мая 2011 г.); XVII Международная научно-практическая конференция «Комплексная защита информации» (г. Суздаль, 15 – 18 мая 2012 г.); Международная научно-практическая конференция «Теоретические и прикладные проблемы информационной безопасности» (г. Минск, 21 июня 2012 г.); XVIII Международная научно-практическая конференция «Комплексная защита информации» (г. Брест, 21 – 24 мая 2013 г.); Научно-технические семинары в рамках НИР «Спектр» и НИР «Аттестат».

Опубликованность результатов диссертации

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 13 печатных работ, в том числе 6 статей в научных журналах; 1 статья в научно-практическом журнале, 6 публикаций в сборниках тезисов и докладов на международных научно-технических, научно-практических и военно-научных конференциях. Общий объем опубликованных материалов составляет 2,62 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, основной части из четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертационной работы составляет 155 страниц, из них 95 страниц основного текста, 71 рисунок на 45 страницах, 7 таблиц на 3 страницах, 2 приложения на 2 страницах, библиография из 102 наименований на 10 страницах, включая 13 публикаций автора на 1,5 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, показана необходимость повышения точности расчетов зоны приема сигналов побочных радиоизлучений при проведении специальных исследований современных технических средств обработки информации (ТСОИ). Для решения данной задачи требуется разработка математического аппарата, позволяющего

проводить анализ побочных радиоизлучений в произвольной области пространства вокруг ТСОИ (в том числе в ближней и промежуточной зоне). При этом должны учитываться индивидуальные конструктивные особенности ТСОИ, модель его возбуждения сторонними источниками поля и частота сигнала побочных радиоизлучений.

В **первой главе** диссертации приведены результаты анализа работ, посвященных исследованию вопроса оценки защищенности информации, циркулирующей в современных технических средствах обработки, от утечки по каналу ПЭМИ. Защищенность информации от утечки по каналу ПЭМИ оценивается при проведении специальных исследований ТСОИ и заключается в определении радиуса зоны приема сигнала побочных радиоизлучений на основании выражения для отношения сигнала к шуму на входе приемного тракта средства технической разведки.

Основной проблемой при проведении специальных исследований является расчет функциональной зависимости напряженности электрического и магнитного полей от расстояния. Это связано с тем, что ТСОИ формируют побочные радиоизлучения достаточно низкой интенсивности, и измерения напряженности поля при проведении специальных исследований приходится проводить в промежуточной, а иногда и в ближней зоне излучения. Обоснована необходимость использования более точных по сравнению с применяемыми на настоящий момент математическими моделями для расчета функциональной зависимости напряженности поля от расстояния в ближней и промежуточной зоне излучения на частотах свыше 100 МГц. Отмечено, что альтернативные математические модели, предполагающие использование теоремы эквивалентных поверхностных токов и выражений для векторного потенциала, малоприменимы, поскольку при их использовании процедура проведения электромагнитных измерений становится нереализуемой.

Проведен анализ научных работ, посвященных вопросам практического перехвата информации по каналу побочных радиоизлучений. Определены стандартные интерфейсы передачи данных в современных средствах обработки, являющиеся источниками побочных радиоизлучений, которые могут быть перехвачены средствами технической разведки. На основе анализа публикаций из открытых источников проведена предварительная оценка частотного диапазона побочных радиоизлучений. Показано, что в современных ТСОИ побочные радиоизлучения от интерфейсов передачи видеоизображения могут возникать на частотах от 10 до 2000 МГц, в других интерфейсах передачи данных в диапазоне частот от 10 до 300 МГц.

С учетом конструктивных особенностей современных ТСОИ, физически представляющих собой совокупность проводящих объемных тел (корпусы системного блока и периферийных устройств) и тонких проводников

(интерфейсные кабели), для математического моделирования побочных радиоизлучений был обоснован выбор метода интегральных уравнений электродинамики.

Во второй главе получены системы интегральных уравнений (ИУ) для расчета амплитудно-фазового распределения (АФР) на поверхности объектов произвольной геометрии, состоящих из проводящих объемных тел и тонких проводников, приведены результаты их исследования. В качестве основной для математического моделирования побочных радиоизлучений была выбрана следующая система ИУ:

$$\left\{ \begin{aligned} -i\omega\varepsilon_a \vec{E}_{\text{ст}}(M_0)\vec{l} &= \int_L I(M_1) \left((\vec{l}', \vec{l}) k^2 G(M_0, M_1) - \frac{\partial^2 G(M_1, M_0)}{\partial l \partial l'} \right) dl' + \\ &+ \oint_{S_2} \left(j_\omega(M_2)(\vec{\omega}', \vec{l}) k^2 G(M_0, M_2) - \frac{\partial G(M_2, M_0)}{\partial l \partial \omega'} \right) dS' + \\ &+ \oint_{S_2} j_\nu(M_2) \left((\vec{\nu}', \vec{l}) k^2 G(M_0, M_2) - \frac{\partial^2 G(M_2, M_0)}{\partial l \partial \nu'} \right) dS'; \\ \vec{H}_{\text{ст}}(M_0)\vec{\omega} &= -\frac{1}{2} j_\nu + \int_L I(M_1) \text{grad}G(M_1, M_0) [\vec{l}', \vec{\nu}] dl' + \\ &+ \oint_{S_2} j_\omega(M_2) \text{grad}G(M_1, M_0) [\vec{\omega}', \vec{\nu}] dS' + \oint_{S_2} j_\nu(M_2) \text{grad}G(M_1, M_0) [\vec{\nu}', \vec{\nu}] dS'; \\ \vec{H}_{\text{ст}}(M_0)\vec{\nu} &= \frac{1}{2} j_\omega + \int_L I(M_1) \text{grad}G(M_1, M_0) [\vec{l}', \vec{\omega}] dl' + \\ &+ \oint_{S_2} j_\omega(M_2) \text{grad}G(M_1, M_0) [\vec{\omega}', \vec{\omega}] dS' + \oint_{S_2} j_\nu(M_2) \text{grad}G(M_1, M_0) [\vec{\nu}', \vec{\omega}] dS', \end{aligned} \right. \quad (1)$$

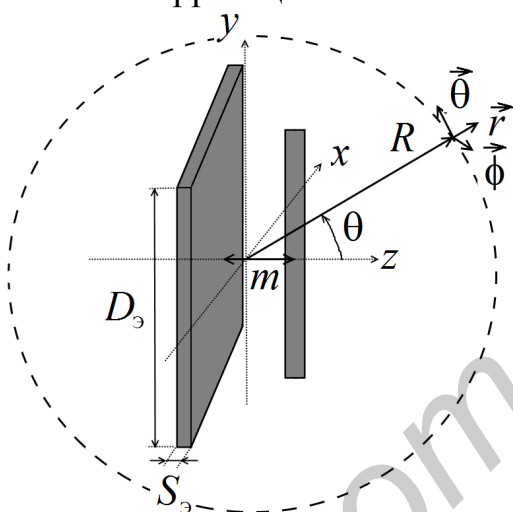
где $I(M)$, $j_{\nu, \omega}(M)$ – ток в тонком проводнике и компоненты плотности тока на поверхности проводящих объемных тел соответственно; $H_{\text{ст}}(M_0)$, $E_{\text{ст}}(M_0)$ – функции сторонних источников поля; $G = \frac{e^{-ikr}}{4\pi r}$ – функция Грина свободного пространства; r – расстояние между точкой наблюдения и интегрирования; M_1, M_2 – точки интегрирования; M_0 – точка наблюдения; ε_a, μ_a – абсолютные электрическая и магнитная проницаемости среды; k – волновое число; $\vec{l}, \vec{\nu}$ и $\vec{\omega}$ – орты локальных систем координат, расположенных на поверхностях тонкого проводника и проводящих объемных тел соответственно, штрихами обозначены координаты точки интегрирования.

Выбор системы ИУ (1) был обусловлен тем, что она не содержит производных от функции тока в проводнике и плотности тока на проводящей поверхности. Таким образом, при численном решении (1) могут быть

использованы импульсные базисные функции, что позволяет существенно сократить объем необходимых вычислений. Кроме того, при численном решении системы (1) требуется контролировать наименьшее количество параметров.

Исследован вопрос устойчивости, существования и единственности решения системы (1). Показано, что образующая матрица системы (1) хорошо обусловлена, что гарантирует устойчивость численного решения.

Рассмотрен вопрос существования решения на примере расчета АФР на проводящей поверхности излучателей, для которых известно аналитическое решение. В частности, с помощью системы (1) был проведен расчет АФР на поверхности вибраторной антенны с квадратным рефлектором (рисунок 1). Результаты расчетов представлены на рисунке 2. Полученная функция АФР, а также результаты расчета диаграммы направленности показали высокую степень корреляции с известным аналитическим решением.



$$\frac{D_3}{\lambda} = 0,9, \frac{m}{\lambda} = 0,333,$$

$$\frac{S_3}{\lambda} = 0,181, \frac{L_B}{\lambda} = 0,5$$

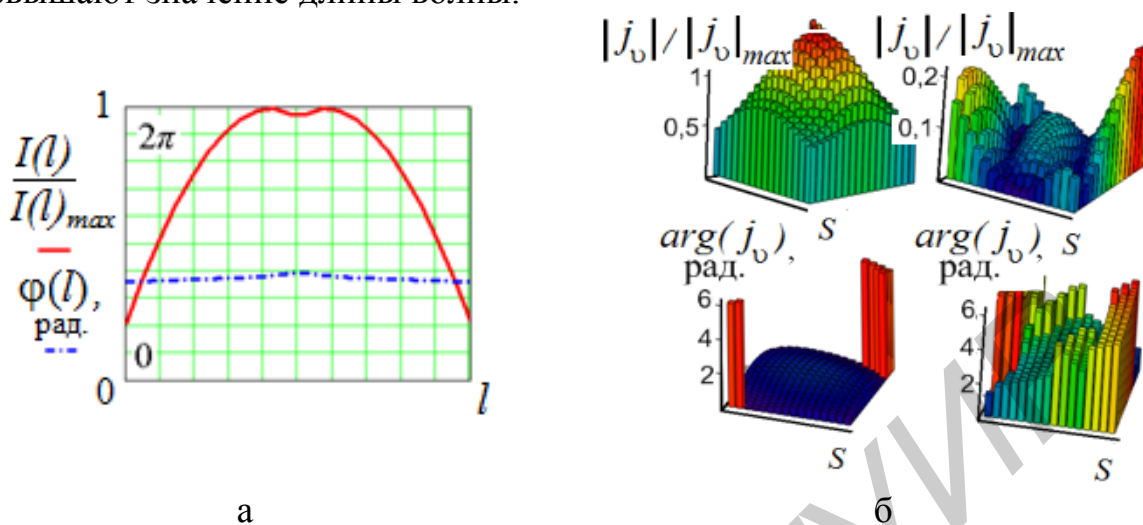
Рисунок 1 – Схема вибраторной антенны с квадратным рефлектором конечных размеров

Показано, что систему ИУ (1) можно эффективно использовать для расчета АФР на проводящей поверхности объектов более сложной геометрии (спиральные антенны с дисковыми экранами конечных размеров). Полученные результаты также имеют высокую степень корреляции с известными теоретическими результатами и экспериментальными данными.

Определены параметры регуляризации системы ИУ (1). Установлено, что линейный размер поверхностных сегментов при численном решении не должен превышать значение $0,1\lambda$ на гладких поверхностях и $0,05\lambda$ на участках с кривизной. Показано, что изломы геометрии необходимо сглаживать криволинейными поверхностями радиусом не менее $0,05\lambda$. Размер линейных сегментов не должен превышать значения $(5...9)a_0$, где a_0 – радиус проводника. В свою очередь параметр a_0 должен принимать значения в пределах $(0,005...0,01)\lambda$.

Применение системы ИУ типа (1) для решения граничных задач электродинамики по сравнению с методами конечных элементов и конечных разностей позволяет сократить размерность задачи не менее чем в 7 раз, а время, требуемое для решения задачи с помощью ПЭВМ, не менее чем в 350

раз, для электродинамических объектов, геометрические размеры которых превышают значение длины волны.



а – АФР на поверхности вибратора; б – АФР на лицевой и оборотной сторонах рефлектора

Рисунок 2 – АФР на поверхности вибраторной антенны с квадратным рефлектором конечных размеров

Исследованы условия, при которых происходит нарушение единственности решения полученных систем ИУ. Установлено, что в случае резонанса внутренней области объемных проводящих тел непосредственно к решению системы (1) происходит добавление функции собственных колебаний резонирующего тела. Для устранения этого эффекта необходимо на резонансных частотах вводить дополнительное граничное условие внутри объемного проводящего тела.

В **третьей главе** разработаны требования к тестовым сигналам в интерфейсах ТСОИ для формирования ПЭМИ максимально возможной интенсивности. Установлено, что в случае передачи тестовых сигналов в виде последовательностей прямоугольных видеоимпульсов необходимо обеспечивать выполнение следующего условия:

$$\frac{m}{2} = \frac{b}{k}, \quad (2)$$

где m – множество натуральных нечетных чисел; b – множество действительных чисел; k – скважность импульсов.

Показано, что передача импульсов со скважностью $k = 2$ обеспечивает формирование ПЭМИ максимально возможной интенсивности. Предложены виды тестовых сигналов для различных интерфейсов передачи видеоизображения. Получены уравнения для напряженности электрического и магнитного полей, излучаемых объектами произвольной геометрии,

состоящими из проводящих объемных тел и тонких проводников (при этом АФР полагается известным):

$$\begin{aligned}
E_l(M_0) = & \frac{i}{\omega \varepsilon_a} \int_L I(M_1) \left(\frac{e^{-ikr}}{4\pi r^3} \frac{3 - (kr)^2 + 3ikr}{r^2} \left((x - x')(\vec{l}, \vec{x}) + (y - y')(\vec{l}, \vec{y}) + (z - z')(\vec{l}, \vec{z}) \right) \times \right. \\
& \times \left((x - x')(\vec{l}', \vec{x}) + (y - y')(\vec{l}', \vec{y}) + (z - z')(\vec{l}', \vec{z}) \right) - \frac{e^{-ikr}}{4\pi r^3} \left(1 - (kr)^2 + ikr \right) \times \\
& \times \left((\vec{l}, \vec{x})(\vec{l}', \vec{x}) + (\vec{l}, \vec{y})(\vec{l}', \vec{y}) + (\vec{l}, \vec{z})(\vec{l}', \vec{z}) \right) dl + \\
& + \frac{i}{\omega \varepsilon_a} \oint_{S_2} j_\omega(M_2) \left(\frac{e^{-ikr}}{4\pi r^3} \frac{3 - (kr)^2 + 3ikr}{r^2} \left((x - x')(\vec{l}, \vec{x}) + (y - y')(\vec{l}, \vec{y}) + (z - z')(\vec{l}, \vec{z}) \right) \right) \times \\
& \times \left((x - x')(\vec{\omega}', \vec{x}) + (y - y')(\vec{\omega}', \vec{y}) + (z - z')(\vec{\omega}', \vec{z}) \right) - \frac{e^{-ikr}}{4\pi r^3} \left(1 - (kr)^2 + ikr \right) \times \\
& \times \left((\vec{l}, \vec{x})(\vec{\omega}', \vec{x}) + (\vec{l}, \vec{y})(\vec{\omega}', \vec{y}) + (\vec{l}, \vec{z})(\vec{\omega}', \vec{z}) \right) ds + \\
& + \frac{i}{\omega \varepsilon_a} \oint_{S_2} j_\nu(M_2) \left(\frac{e^{-ikr}}{4\pi r^3} \frac{3 - (kr)^2 + 3ikr}{r^2} \left((x - x')(\vec{l}, \vec{x}) + (y - y')(\vec{l}, \vec{y}) + (z - z')(\vec{l}, \vec{z}) \right) \times \right. \\
& \times \left((x - x')(\vec{\nu}', \vec{x}) + (y - y')(\vec{\nu}', \vec{y}) + (z - z')(\vec{\nu}', \vec{z}) \right) - \frac{e^{-ikr}}{4\pi r^3} \left(1 - (kr)^2 + ikr \right) \times \\
& \times \left((\vec{l}, \vec{x})(\vec{\nu}', \vec{x}) + (\vec{l}, \vec{y})(\vec{\nu}', \vec{y}) + (\vec{l}, \vec{z})(\vec{\nu}', \vec{z}) \right) ds, \\
H_l(M_0) = & \int_L I(M_1) \left(-\frac{e^{-ikr}}{4\pi r^3} (1 + ikr) \left((x - x') \left((\vec{l}', \vec{y})(\vec{l}, \vec{z}) - (\vec{l}', \vec{z})(\vec{l}, \vec{y}) \right) + \right. \right. \\
& + (y - y') \left((\vec{l}', \vec{z})(\vec{l}, \vec{x}) - (\vec{l}', \vec{x})(\vec{l}, \vec{z}) \right) + (z - z') \left((\vec{l}', \vec{y})(\vec{l}, \vec{x}) - (\vec{l}', \vec{x})(\vec{l}, \vec{y}) \right) \left. \right) dl + \\
& + \oint_{S_2} j_\omega(M_2) \left(-\frac{e^{-ikr}}{4\pi r^3} (1 + ikr) \left((x - x') \left((\vec{\omega}', \vec{y})(\vec{l}, \vec{z}) - (\vec{\omega}', \vec{z})(\vec{l}, \vec{y}) \right) + \right. \right. \\
& + (y - y') \left((\vec{\omega}', \vec{z})(\vec{l}, \vec{x}) - (\vec{\omega}', \vec{x})(\vec{l}, \vec{z}) \right) + (z - z') \left((\vec{\omega}', \vec{y})(\vec{l}, \vec{x}) - (\vec{\omega}', \vec{x})(\vec{l}, \vec{y}) \right) \left. \right) ds \\
& + \oint_{S_2} j_\nu(M_2) \left(-\frac{e^{-ikr}}{4\pi r^3} (1 + ikr) \left((x - x') \left((\vec{\nu}', \vec{y})(\vec{l}, \vec{z}) - (\vec{\nu}', \vec{z})(\vec{l}, \vec{y}) \right) + \right. \right. \\
& + (y - y') \left((\vec{\nu}', \vec{z})(\vec{l}, \vec{x}) - (\vec{\nu}', \vec{x})(\vec{l}, \vec{z}) \right) + (z - z') \left((\vec{\nu}', \vec{y})(\vec{l}, \vec{x}) - (\vec{\nu}', \vec{x})(\vec{l}, \vec{y}) \right) \left. \right) ds.
\end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
& \times \left((\vec{l}, \vec{x})(\vec{\nu}', \vec{x}) + (\vec{l}, \vec{y})(\vec{\nu}', \vec{y}) + (\vec{l}, \vec{z})(\vec{\nu}', \vec{z}) \right) ds, \\
H_l(M_0) = & \int_L I(M_1) \left(-\frac{e^{-ikr}}{4\pi r^3} (1 + ikr) \left((x - x') \left((\vec{l}', \vec{y})(\vec{l}, \vec{z}) - (\vec{l}', \vec{z})(\vec{l}, \vec{y}) \right) + \right. \right. \\
& + (y - y') \left((\vec{l}', \vec{z})(\vec{l}, \vec{x}) - (\vec{l}', \vec{x})(\vec{l}, \vec{z}) \right) + (z - z') \left((\vec{l}', \vec{y})(\vec{l}, \vec{x}) - (\vec{l}', \vec{x})(\vec{l}, \vec{y}) \right) \left. \right) dl + \\
& + \oint_{S_2} j_\omega(M_2) \left(-\frac{e^{-ikr}}{4\pi r^3} (1 + ikr) \left((x - x') \left((\vec{\omega}', \vec{y})(\vec{l}, \vec{z}) - (\vec{\omega}', \vec{z})(\vec{l}, \vec{y}) \right) + \right. \right. \\
& + (y - y') \left((\vec{\omega}', \vec{z})(\vec{l}, \vec{x}) - (\vec{\omega}', \vec{x})(\vec{l}, \vec{z}) \right) + (z - z') \left((\vec{\omega}', \vec{y})(\vec{l}, \vec{x}) - (\vec{\omega}', \vec{x})(\vec{l}, \vec{y}) \right) \left. \right) ds \\
& + \oint_{S_2} j_\nu(M_2) \left(-\frac{e^{-ikr}}{4\pi r^3} (1 + ikr) \left((x - x') \left((\vec{\nu}', \vec{y})(\vec{l}, \vec{z}) - (\vec{\nu}', \vec{z})(\vec{l}, \vec{y}) \right) + \right. \right. \\
& + (y - y') \left((\vec{\nu}', \vec{z})(\vec{l}, \vec{x}) - (\vec{\nu}', \vec{x})(\vec{l}, \vec{z}) \right) + (z - z') \left((\vec{\nu}', \vec{y})(\vec{l}, \vec{x}) - (\vec{\nu}', \vec{x})(\vec{l}, \vec{y}) \right) \left. \right) ds.
\end{aligned} \tag{4}$$

Выражения (3) – (4) позволяют производить расчеты напряженности поля в любой области пространства вокруг излучателя (в том числе в ближней и промежуточной зоне). С помощью системы (1) и выражений (3) – (4) впервые решена задача о влиянии рефлектора конечных размеров на структуру поля полуволновой вибраторной антенны в ближней и промежуточной зоне излучения. Показано, что под воздействием рефлектора в структуре поля полуволновой вибраторной антенны возникает продольная компонента

магнитного поля. Исследована трансформация поля при распространении от поверхности излучателя в дальнюю зону до расстояния, после которого происходит стабилизация, уточнена ближняя граница дальней зоны излучения. Проанализированы амплитудные и фазовые соотношения между векторами поля в ближней, промежуточной и дальней зоне излучения. Показана возможность использования ИУ, содержащих функцию Грина свободного пространства в явном виде, для решения граничных задач электродинамики в ближней зоне излучения.

В **четвертой** главе представлены результаты теоретического и экспериментального анализа ПЭМИ, формируемых современными ТСОИ. Для анализа выбран электродинамический объект, изображенный на рисунке 3. Данный объект, состоящий из двух объемных проводящих тел (корпусы системного блока и монитора), соединенных кабелем, представляет собой модель источника побочных радиоизлучений, возникающих в интерфейсах передачи видеоизображения.

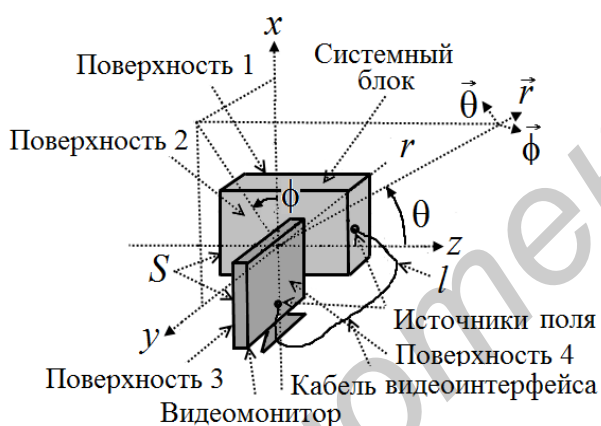


Рисунок 3 – Схема типового технического средства обработки информации

Для решения задачи анализа побочных радиоизлучений были проведены эксперименты, направленные на определение ряда начальных условий: геометрическое расположение сторонних источников ПЭМИ, их физические параметры (амплитуда и начальная фаза); верхняя граница частотного диапазона ПЭМИ. При проведении измерений в видеоинтерфейсах создавался тестовый режим передачи информации в соответствии с требованиями, представленными в главе 3.

Верхняя граница частотного диапазона ПЭМИ была определена экспериментально путем измерения напряженности поля, создаваемого ТСОИ различных производителей и конфигураций, в ближней зоне излучения. Измерения проводились в экранированной камере, частично покрытой электромагнитным поглотителем. В результате эксперимента было установлено, что верхнее значение частотного диапазона ПЭМИ современных ТСОИ не превышает 1800 МГц.

Изучение механизма возбуждения побочных радиоизлучений проводилось путем измерения напряженности поля над проводящей поверхностью ТСОИ с помощью датчика ближнего поля. Было установлено, что основное проникновение сигнала ПЭМИ на проводящую поверхность

ТСОИ осуществляется в местах соединения интерфейсного кабеля с корпусами системного блока и видеомонитора (см. рисунок 3). Разность фаз между сторонними источниками поля определяется следующим выражением:

$$\Delta\phi = 2\pi \frac{l_{\text{каб}}}{\lambda}, \quad (5)$$

где $l_{\text{каб}}$ – длина кабеля видеointерфейса.

С учетом начальных условий, определенных экспериментально, был проведен анализ побочных радиоизлучений в диапазоне частот 100–1800 МГц. Показано, что на частотах ПЭМИ до 900 МГц на проводящей поверхности ТСОИ доминирует режим стоячих волн. АФР характеризуется наличием достаточно глубоких амплитудных минимумов, а в пределах полуволн тока в АФР наблюдается незначительное изменение фазы (рисунок 4). С увеличением частоты сигнала ПЭМИ увеличивается количество полуволн тока, укладываемых на протяжении интерфейсного кабеля и проводящих поверхностей. Это означает, что в верхней части частотного диапазона ПЭМИ незначительное изменение конфигурации ТСОИ может привести к существенным изменениям в АФР (например, использование кабеля видеointерфейса большей длины), пространственной структуры излучаемого поля, а следовательно, и к изменению радиуса зоны приема сигнала ПЭМИ. Результаты проведенного анализа АФР были подтверждены экспериментально, путем измерения амплитудного распределения на проводящей поверхности ТСОИ. Из графиков рисунка 4 легко видеть, что результаты измерений амплитудного распределения на поверхности кабеля видеointерфейса обладают высокой степенью корреляции с теоретическими результатами.

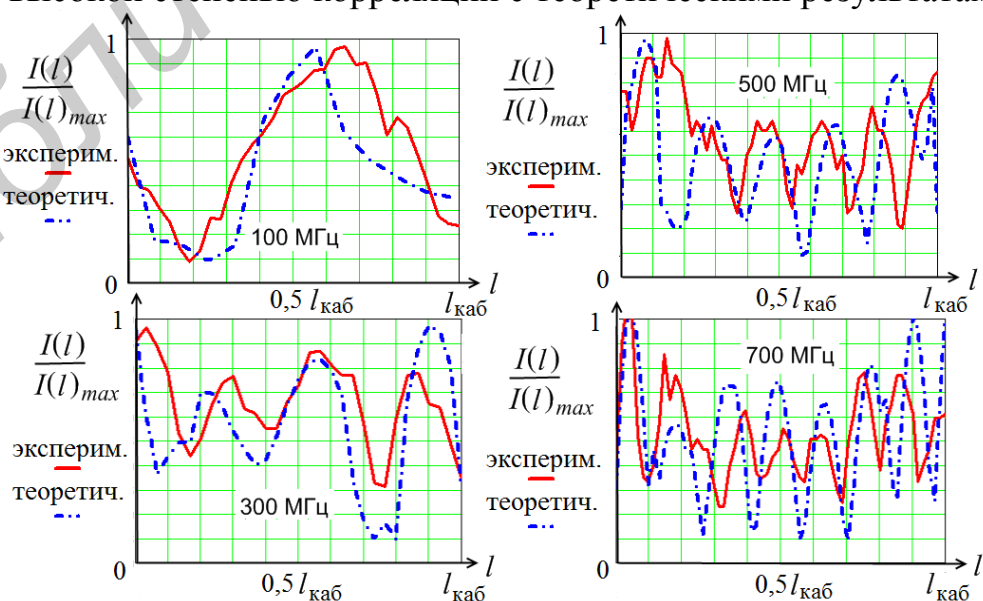


Рисунок 4 – Расчетные и экспериментальные распределения амплитуды тока в кабеле видеointерфейса

На частотах свыше 900 МГц возникает смешанный волновой режим. На различных участках проводящей поверхности ТСОИ могут возникать как стоячие волны, так и бегущие волны с замедленной фазовой скоростью (от 96 до 98,8 % от скорости света). Расчеты показывают, что в некоторых случаях режим бегущих волн может быть доминирующим. На рисунках 5 – 7 показан вид АФР на частотах 1100 и 1500 МГц в случае доминирования режима бегущей волны.

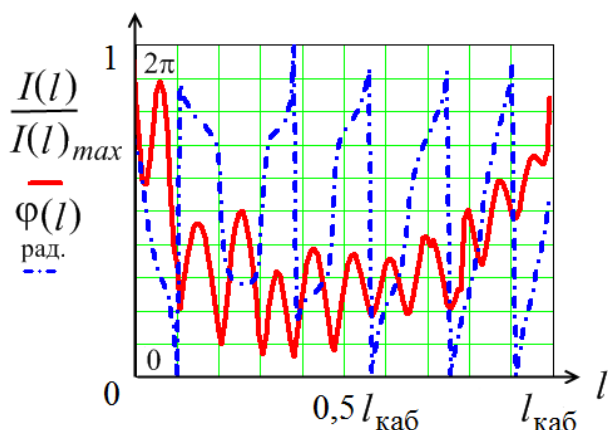


Рисунок 5 – АФР тока в кабеле видеointерфейса на частоте 1100 МГц

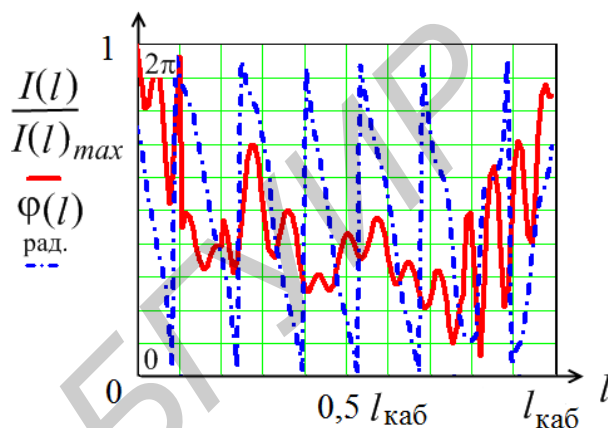


Рисунок 6 – АФР тока в кабеле видеointерфейса на частоте 1500 МГц

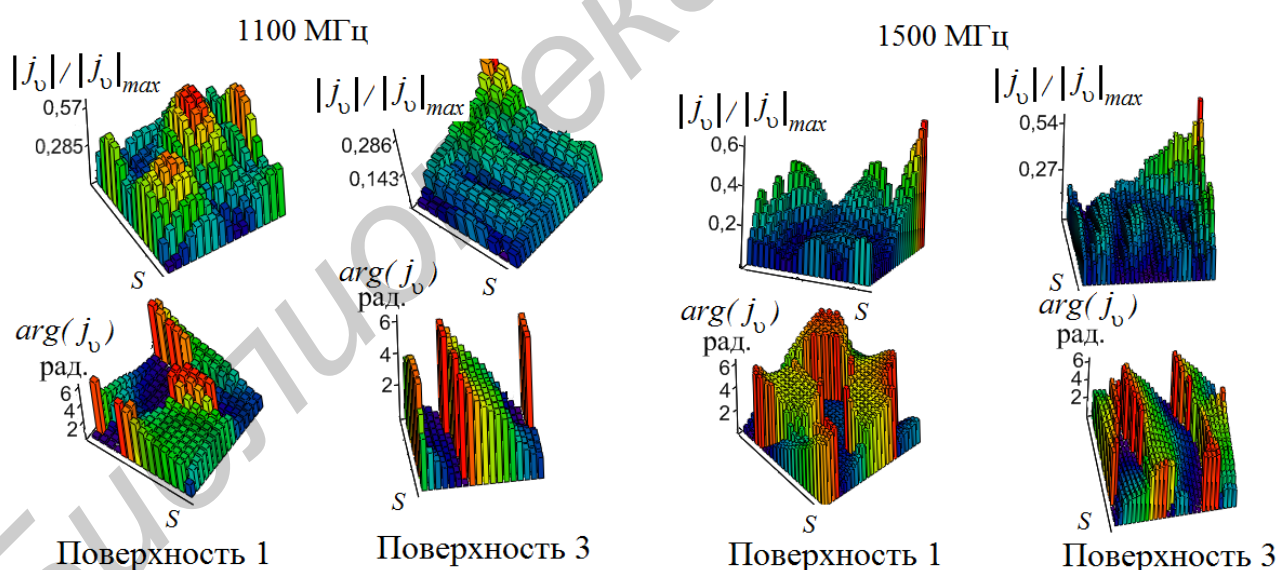


Рисунок 7 – АФР плотности тока на проводящих поверхностях системного блока и монитора на частотах 1100 и 1500 МГц

В этом случае АФР характеризуется отсутствием глубоких нулей в амплитудном распределении и линейным изменением фазового распределения. Проводящая поверхность ТСОИ выполняет функцию замедляющей системы, вдоль которой происходит направленный перенос электромагнитной энергии. Данный вывод подтверждают расчеты диаграмм излучения в дальней зоне (рисунок 8).

Установлено, что доминирование режима бегущей волны с замедленной фазовой скоростью на проводящей поверхности ТСОИ приводит к увеличению радиуса зоны возможного приема сигналов ПЭМИ до двух раз. Исследованы функциональные зависимости напряженности поля от расстояния. Показано, что в направлении главных максимумов диаграмм излучения в режиме смешанных волн в ближней и промежуточной зоне функция зависимости напряженности поля от расстояния может иметь локальные максимумы и минимумы (рисунок 9). Проанализированы амплитудные и фазовые соотношения между векторами поля в ближней и промежуточной зоне.

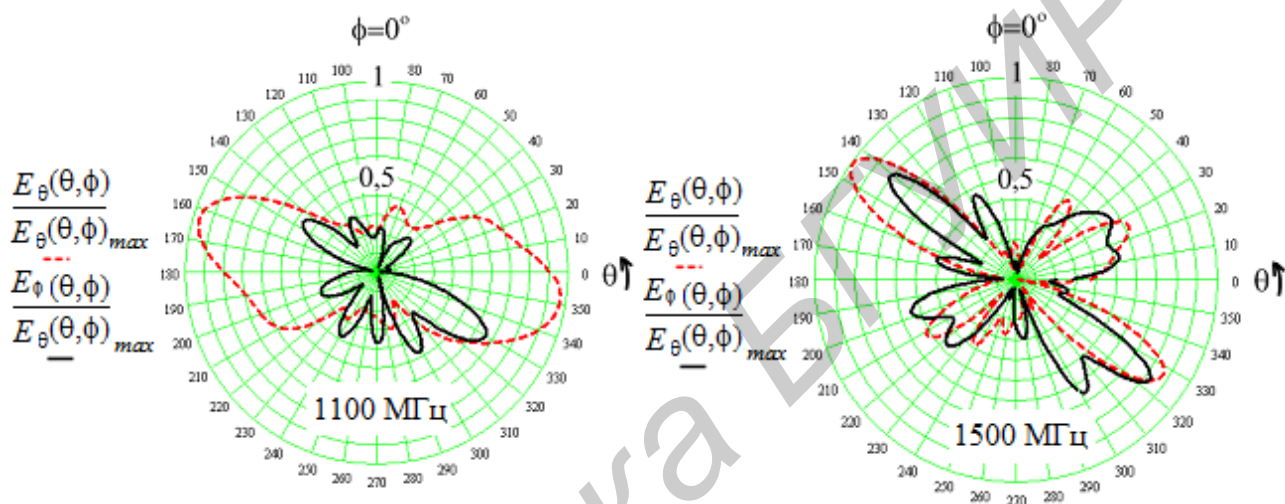


Рисунок 8 – Диаграммы излучения ТСОИ на частотах 1100 и 1500 МГц

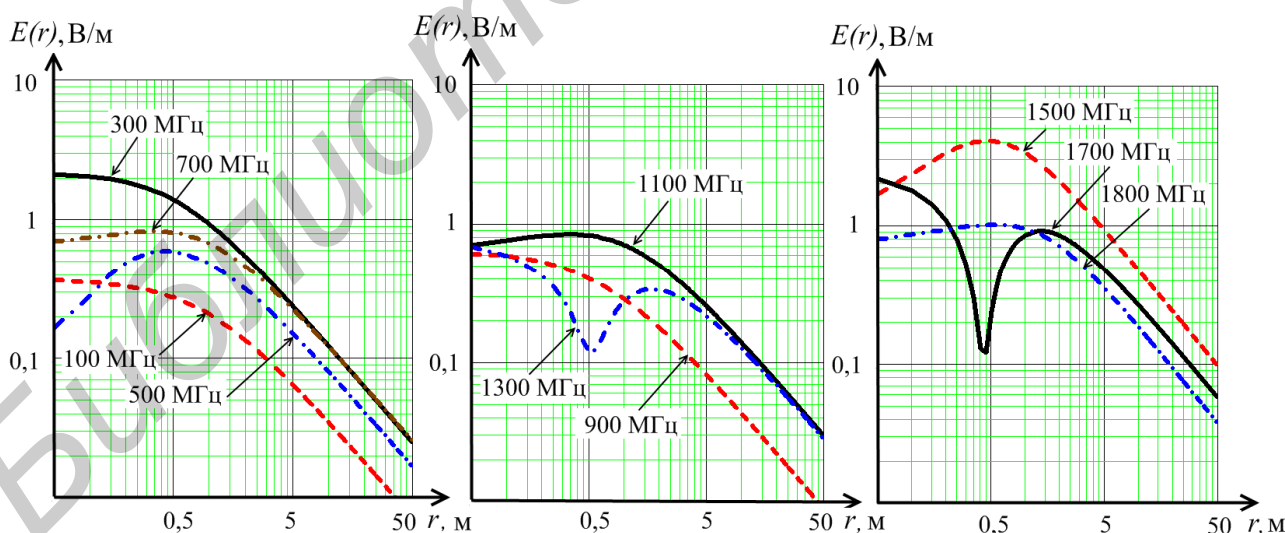


Рисунок 9 – Графики зависимости амплитуды напряженности электрического поля от расстояния

Показано, что использование классической трехзонной модели функциональной зависимости напряженности поля от расстояния приводит к существенной недооценке радиуса зоны приема сигналов ПЭМИ (до 5,9 раз).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Получены системы интегральных уравнений для численного анализа амплитудно-фазового распределения на поверхности электродинамических объектов, состоящих из проводящих объемных тел и тонких проводников произвольной геометрии. Проведены исследования сходимости, единственности и устойчивости решения, а также определена область значений параметров регуляризации. Показано, что по сравнению с другими методами вычислительной электродинамики (метод конечных элементов, метод конечных разностей) размерность задачи моделирования для объектов с волновыми размерами, превышающими значение длины волны, уменьшается не менее чем в 7 раз, а время расчета на ПЭВМ – не менее чем в 350 раз [1, 9, 10, 12].

2. Получены выражения для напряженности электромагнитного поля излучения и дифракции объектов, состоящих из проводящих объемных тел и тонких проводников, в произвольной области пространства (включая ближнюю и промежуточную зону излучения). Показана возможность использования интегральных уравнений, содержащих функцию Грина в явном виде, для анализа поля излучения в ближней и промежуточной зоне. Впервые решена задача о влиянии прямоугольного рефлектора конечных размеров на структуру поля полуволновой вибраторной антенны в ближней и промежуточной зоне. Предложенный математический аппарат позволяет проводить анализ поля в ближней и промежуточной зоне излучения методом интегральных уравнений для следующих новых типов электродинамических объектов: объемные проводящие тела; совокупность проводящих объемных тел и тонких проводников [3, 12].

3. Проведен анализ побочных радиоизлучений современных технических средств обработки информации. Экспериментально исследованы механизм возбуждения, а также диапазон частот побочных радиоизлучений. Проведен анализ амплитудно-фазового распределения, возникающего на проводящей поверхности технического средства обработки информации. Полученные результаты анализа подтверждены экспериментально. Установлено, что на частотах свыше 900 МГц возможно доминирование режима бегущих волн с замедленной фазовой скоростью, составляющей 96–98,8 % от скорости света. Показано, что возникновение режима бегущих волн способствует направленному распространению побочных радиоизлучений, что приводит к увеличению радиуса зоны приема сигналов ПЭМИ до двух раз [4, 6, 8, 11].

4. Обоснованы и экспериментально подтверждены требования к тестовым режимам передачи информации, позволяющим сформировать побочные радиоизлучения максимально возможной интенсивности [2, 7].

5. Проведен анализ побочных радиоизлучений в ближней, промежуточной и дальней зоне. Показано, что применение классической трехзонной модели функциональной зависимости напряженности поля от расстояния приводит к существенной недооценке радиуса зоны приема сигнала ПЭМИ [5, 13].

Рекомендации по практическому применению

1. На основе диссертационных исследований была разработана и внедрена в составную часть НИР «Аттестат» новая методика оценки защищенности информации, обрабатываемой в средствах вычислительной техники, от утечки по каналу побочных радиоизлучений.

2. Разработанный в диссертации математический аппарат может быть использован для следующих целей:

- проектирование антенных систем и элементов СВЧ устройств сложной геометрии (при этом возможен учет влияния на работу антенных систем различных элементов крепления, опор, монтажных элементов);

- оценка уровня побочных электромагнитных наводок от технических средств обработки информации в проводные линии, выходящие за пределы контролируемой зоны;

- оптимизация антенной системы нелинейных радиолокаторов для наиболее эффективного исследования объектов контроля в ближней зоне излучения;

- проведение исследований электромагнитной совместимости технических средств расчетными методами;

- оценка плотности потока мощности электромагнитного излучения технических средств с целью оценки его влияния на здоровье человека.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах

1. Филиппович, А.Г. Электродинамическое моделирование систем, состоящих из произвольных идеально проводящих объемных тел и произвольных тонких проводников конечных размеров / А.Г. Филиппович, А.В. Рунов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2011. – Т.14, № 2. – С. 39 – 45.

2. Филиппович, А.Г. Создание тестовых режимов для оценки защищенности ПЭВМ от утечки по каналам побочных электромагнитных излучений / А.Г. Филиппович, К.К. Шульган // Доклады БГУИР. – 2011. – № 4. – С. 80 – 85.

3. Филиппович, А.Г. Расчет электромагнитного поля излучения идеально проводящих тел произвольной геометрии / А.Г. Филиппович, А.В. Рунов // Вестник Военной академии Республики Беларусь. – 2011. – № 2. – С. 115 – 121.

4. Филиппович, А.Г. Моделирование побочных электромагнитных излучений ПЭВМ методом интегральных уравнений / А.Г. Филиппович // Доклады БГУИР. – 2012. – № 5. – С. 28 – 34.

5. Филиппович, А.Г. Применение метода интегральных уравнений для оценки защищенности ПЭВМ от утечки информации по каналу побочных электромагнитных излучений / А.Г. Филиппович // Вестник Военной академии Республики Беларусь. – 2012. – № 3. – С. 115 – 123.

6. Филиппович, А.Г. Моделирование побочных электромагнитных излучений ПЭВМ методом интегральных уравнений / А.Г. Филиппович // Безопасность информационных технологий. – 2012. – № 1. – С. 260 – 261.

Статьи в журналах, сборниках и материалах конференций

7. Филиппович, А.Г. Побочные электромагнитные излучения видеотракта ПЭВМ / А.Г. Филиппович // Управление защитой информации. – 2008. – Т. 12, № 1. – С. 92 – 96.

8. Филиппович, А.Г. Электродинамическое моделирование канала побочных электромагнитных излучений видеотракта ПЭВМ / А.Г. Филиппович // Комплексная защита информации : тез. и докл. XII Междунар. науч.-практ. конф., Ярославль, 13 – 16 мая 2008 г. / Изд-во ВНИИПВТИ. – Москва, 2008. – С. 177 – 179.

9. Филиппович, А.Г. Электродинамическое моделирование систем, состоящих из идеальных проводников и идеально проводящих замкнутых поверхностей методом интегральных уравнений / А.Г. Филиппович, А.В. Рунов // Физика и технические приложения волновых процессов : тез. и докл. Междунар. науч.-техн. конф., Челябинск, 13 – 17 сентября 2009 г. / Изд-во

Челяб. гос. ун-та ; редкол.: В.И. Тамбовцев [и др.]. – Челябинск, 2009. – С. 10 – 11.

10. Филиппович, А.Г. Моделирование электромагнитного излучения структур, состоящих из идеально проводящих объемных тел и проводников / А.Г. Филиппович, А.В. Рунов // Физика и технические приложения волновых процессов : тез. и докл. Междунар. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 15 – 18 сентября 2010 г. / Политехника ; редкол.: В.Ф. Дмитриков [и др.]. – Санкт-Петербург, 2009. – С. 105.

11. Филиппович, А.Г. Электродинамическое моделирование канала побочных электромагнитных излучений ПЭВМ / А.Г. Филиппович // Комплексная защита информации : тез. и докл. XVI Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 17–20 мая 2011 г. / Изд-во БелГИСС ; редкол.: А.Н. Курбацкий [и др.]. – Минск, 2011. – С. 295 – 296.

12. Филиппович, А.Г. Моделирование электромагнитного поля систем, состоящих из идеальных тонких проводников и идеально проводящих объемных тел произвольной геометрии / А.Г. Филиппович // Актуальные аспекты инновационного развития вооруженных сил с учетом характера войн будущего : тез. и докл. Междунар. воен.-науч. конф., Минск, 30 – 31 марта 2011 г. / УО ВАРБ. – Минск, 2011. – Ч. 3. – С. 12.

13. Филиппович, А.Г. Применение метода интегральных уравнений для оценки защищенности ПЭВМ от утечки информации по каналу побочных электромагнитных излучений / А.Г. Филиппович // Теоретические и прикладные проблемы информационной безопасности : тез. и докл. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 21 июня 2012 г. / Академия МВД ; редкол.: В.Б. Шабанов [и др.]. – Минск, 2012. – С. 180 – 183.



РЭЗІЮМЭ

Філіповіч Андрэй Генадзьевіч

Аналіз пабочных выпраменьванняў сродкаў апрацоўкі ў бліжняй, прамежкавай і дальняй зоне для мэтаў абароны інфармацыі

Ключавыя словы: пабочныя электрамагнітныя выпраменьванні, інтэгральныя ўраўненні, спецыяльныя даследаванні тэхнічных сродкаў апрацоўкі інфармацыі.

Мэта працы: аналіз пабочных радыёвыпраменьванняў, крыніцай якіх з'яўляюцца сучасныя сродкі апрацоўкі інфармацыі, у бліжняй, прамежкавай і дальняй зоне, для ўдакладнення матэматычнай мадэлі, якая апісвае функцыянальную залежнасць напружанасці поля ад адлегласці, якая выкарыстоўваецца пры разліках мінімальнага радыуса зоны прыёму пабочных радыёвыпраменьванняў.

Асноўныя вынікі: атрыманы і даследаваны на збежнасць, існаванне і ўстойлівасць рашэння сістэмы інтэгральных ураўненняў для разліку амплітудна-фазавога размеркавання на паверхні аб'ектаў адвольнай геаметрыі, якія складаюцца з праводзячых аб'ёмных цел і тонкіх праваднікоў. Атрыманы выразы для напружанасці поля, ствараемага электрадынамічнымі аб'ектамі, якія складаюцца з праводзячых аб'ёмных цел і тонкіх праваднікоў, у адвольнай вобласці прасторы (у тым ліку ў бліжняй і прамежкавай зоне выпраменьвання). Упершыню вырашана задача аб уплыве на структуру поля паўхвалевай вібратарнай антэны ў бліжняй і прамежкавай зоне выпраменьвання квадратнага рэфлектара канчатковых памераў. Праведзены тэарэтычныя і эксперыментальныя даследаванні працэсу фарміравання высокачастотных пабочных радыёвыпраменьванняў тэхнічнымі сродкамі апрацоўкі інфармацыі. Прааналізаваны асаблівасці амплітудных і фазавых суадносін паміж вектарамі поля пабочных радыёвыпраменьванняў у бліжняй і прамежкавай зоне.

Ступень выкарыстання: навуковыя вынікі працы выкарыстаны пры правядзенні навукова-даследчых работ па распрацоўцы метадык правядзення спецыяльных даследаванняў сродкаў вылічальнай тэхнікі ад уцечкі інфармацыі па канале пабочных электрамагнітных выпраменьванняў.

Галіна прымянення: матэматычнае мадэліраванне электрадынамічных аб'ектаў складанай формы, правядзенне спецыяльных даследаванняў тэхнічных сродкаў апрацоўкі інфармацыі.

РЕЗЮМЕ

Филиппович Андрей Геннадьевич

Анализ побочных радиоизлучений средств обработки в ближней, промежуточной и дальней зоне для целей защиты информации

Ключевые слова: побочные электромагнитные излучения, интегральные уравнения, специальные исследования технических средств обработки информации.

Цель работы: анализ побочных радиоизлучений, источником которых являются современные средства обработки информации, в ближней, промежуточной и дальней зоне, для уточнения математической модели, описывающей функциональную зависимость напряженности поля от расстояния, используемой при расчетах минимального радиуса зоны приема побочных радиоизлучений.

Основные результаты: получены и исследованы на сходимость, существование и устойчивость решения системы интегральных уравнений для расчета амплитудно-фазового распределения на поверхности объектов произвольной геометрии, состоящих из проводящих объемных тел и тонких проводников. Получены выражения для напряженности поля, создаваемого электродинамическими объектами, состоящими из проводящих объемных тел и тонких проводников, в произвольной области пространства (в том числе в ближней и промежуточной зоне излучения). Впервые решена задача о влиянии на структуру поля полуволновой вибраторной антенны в ближней и промежуточной зоне излучения квадратного рефлектора конечных размеров. Проведены теоретические и экспериментальные исследования процесса формирования высокочастотных побочных радиоизлучений техническими средствами обработки информации. Проанализированы особенности амплитудных и фазовых соотношений между векторами поля побочных радиоизлучений в ближней и промежуточной зоне.

Степень использования: научные результаты работы использованы при проведении научно-исследовательских работ по разработке методик проведения специальных исследований средств вычислительной техники от утечки информации по каналу побочных электромагнитных излучений.

Область применения: математическое моделирование проводящих электродинамических объектов сложной формы, проведение специальных исследований технических средств обработки информации.

SUMMARY

Filipovich Andrey

Analysis of side radio emissions from computers in the near, intermediate and far zone for the purpose of information security

Keywords: side electromagnetic leakage, integral equations, special studies of technical means of information processing.

Aim of work is to analyze the side radio emission from the modern tools of information processing, in the near, intermediate and far field in the purpose to improve the mathematical model describing the functional dependence of the field strength from the distance used on calculating the minimum radius of receiving zone of the side radio emissions.

Main results: obtained and examined for convergence, existence and stability of solutions systems of integral equations for calculation of amplitude and phase distribution on the surface of objects of arbitrary geometry, consisting of conductive bodies and thin wires. The obtained expression for the field strength generated from electrodynamic objects consisting of conductive bodies and thin wires in an arbitrary region of space (include the near and intermediate zone of the radiation). For the first time solved the problem of the influence on the structure of the field half-wave array antenna in the near and intermediate radiation area square reflector with finite size. Theoretical and experimental studies process of the high-frequency side radio emissions from technical means of information processing. Analyzed the amplitude and phase relations between the vectors of the field side of the radio emission in the near and intermediate zone.

Recommendation for the usage of the results: scientific results of the work are used at carrying out of research works on developing methods of special studies of computers from information leakage of side electromagnetic radiation.

Areas of application: electromagnetic modeling of objects with arbitrary shape, consisting of volume conducting bodies and thin wires, special studies of technical means for information processing.

Научное издание

Филиппович Андрей Геннадьевич

**АНАЛИЗ ПОБОЧНЫХ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ
В БЛИЖНЕЙ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ И ДАЛЬНОЙ ЗОНЕ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ
ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**

Специальности 05.13.19 – Методы и системы защиты информации,
информационная безопасность и 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их
технологии

Автореферат диссертации на соискание учетной степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 16.12.2014
Гарнитура «Таймс»
Уч.-изд. л. 1,4

Формат 60×84 $\frac{1}{16}$
Отпечатано на ризографе.
Тираж 60 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,63.
Заказ 474.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014,
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014
ЛП №02330/264 от 14.04.2014.
220013, Минск, П.Бровки, 6