

На правах рукописи

Маслов Михаил Юрьевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ПОМЕЩЕНИЯХ
ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ И ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ**

Специальность 05.12.07

Антенны, СВЧ устройства и их технологии

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Самара, 2003

Работа выполнена в Поволжской Государственной Академии телекоммуникаций и информатики (ПГАТИ) Министерства Российской Федерации по связи и информатизации.

Научные руководители:

- доктор технических наук, профессор **Бузов А.Л.**
- доктор технических наук, профессор **Сподобаев Ю.М.**

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, с.н.с **Казанский Л.С.**
- кандидат технических наук, доцент **Шаталов В.Г.**

Ведущее предприятие **Самарский Государственный Технический Университет**

Защита диссертации состоится __ _____ **2003 г. в _____** на заседании диссертационного совета Д 219.003.002 в Поволжской Государственной Академии телекоммуникаций и информатики по адресу: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого 23.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью учреждения, просим выслать по адресу: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого 23, ПГАТИ.

С диссертацией соискателя можно ознакомиться в библиотеке Поволжской Государственной Академии телекоммуникаций и информатики.

Автореферат разослан «__» _____ 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 219.003.002,
доктор технических наук, профессор

Николаев Б.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы и состояние вопроса.

И в быту, и в процессе трудовой деятельности человека окружают разнообразные технические средства, создающие электромагнитные поля (ЭМП), которые обладают различными пространственно-временными характеристиками. Причем для одних технических средств генерация электромагнитной энергии является специфической особенностью, диктуемой их функциональным назначением, а для других – напротив, побочным явлением. Однако, в обоих случаях генерируемые поля могут являться как фактором загрязнения окружающей среды, так и каналом утечки информации. Первая проблема относится к электромагнитной безопасности, изучением вопросов которой занимается отдельная отрасль – «электромагнитная экология». Вторая проблема относится к вопросам информационной безопасности или защиты информации от несанкционированного доступа.

Целесообразность объединения названных проблем в рамках одной работы обусловлена сходностью базовых задач и подходов к их решению.

Вопросы расчета ЭМП излучающих технических средств телекоммуникаций достаточно хорошо изучены как в нашей стране, так и за рубежом. Однако анализ опубликованных работ указывает на то, что наиболее полно разработаны методики анализа, в основном, антенных систем, номенклатура которых хоть и весьма разнообразна, но содержит достаточно типовые конструкции. Кроме того, размещение излучающих тел практически всегда, за редким исключением, предполагается на открытых пространствах. При этом практически нерешенной остается задача расчета поля источников сложной конфигурации и произвольных частотных диапазонов, расположенных внутри закрытых помещений. Тем не менее, данная проблема представляет несомненный интерес с точки зрения электромагнитного прогнозирования в промышленных, офисных и бытовых помещениях.

Фундаментальными в области расчета ЭМП технических средств являются работы Шередько Е.Ю., Сподобаева Ю.М., Кубанова В.П., Маслова О.Н., Бузова А.Л., в которых предложены и обоснованы подходы к расчетному прогнозированию электромагнитной обстановки вблизи широкого класса излучающих технических средств и их комплексов.

Перечень технических средств, изменяющих электромагнитную обстановку в помещении, весьма разнообразен. При этом существенное влияние на структуру поля оказывают ограничивающие помещение стены, электрофизические свойства которых могут быть различными.

Помещение, для анализа, может быть представлено как ограниченная (стенами, полом, потолком и т.д.) область пространства со стабильными во времени пространственным положением и электрофизическими характеристиками границ, в которой известным образом дислоцирована система источников ЭМП, каждый из которых описывается как сторонний и может быть представлен адекватной электродинамической моделью.

Расчетное прогнозирование электромагнитной обстановки предполагает разработку электродинамических моделей технических средств, являющихся источниками ЭМП, которые, безусловно, должны обеспечивать возможность учета ограничивающих помещение стен.

Очевидно, что общие подходы, примененные названными выше авторами для электромагнитного мониторинга комплексов излучающих технических средств вполне применимы и для комплексного анализа закрытых помещений.

Как представляется автору, решение задачи комплексного анализа электромагнитной обстановки в помещениях целесообразно проводить в несколько этапов:

- систематизация сведений о технических средствах, расположенных в помещении, их классификация и разбиение на качественно однородные группы, для которых применимы сходные подходы к анализу;
- разработка электродинамических моделей различных источников и их групп;
- разработка методики учета стен, ограничивающих помещение;
- приведение результатов расчета ЭМП различных источников к единому критерию, удобному для оценки электромагнитной обстановки с той или иной точек зрения.

Предварительная оценка качественного состава источников в помещении позволяет выделить две категории:

- источники относительно простые по форме с простой конфигурацией излучающих токов (реальных или эквивалентных) – протяженные участки линий энергоснабжения, локальные участки телекоммуникационных линий передач, а также сосредоточенные источники низкочастотного поля - электрические генераторы, электродвигатели и пр.;
- источники достаточно сложной конфигурации с линейными размерами, сравнимыми с пространственным периодом изменения ЭМП – видеодисплейные терминалы, персональные ЭВМ, радиотелефоны и др.

Разработка электродинамических моделей для первой категории источников не представляет особой сложности и может быть проведена с использованием хорошо зарекомендовавших себя «классических» подходов, с использованием некоторых приближений и экспериментальных данных.

Для анализа источников второй группы необходима разработка универсальных, с точек зрения пространственной формы и соотношения линейных размеров с длиной волны, методик. Очевидно, что эти источники представляют интерес не только и не столько с точки зрения электромагнитной безопасности, сколько с точки зрения защиты информации. В частности, значительный интерес вызывает проблема расчета ЭМП ПЭВМ, в особенности ее видеотракта.

Приближенные модели подобных источников встречаются в литературе. Так, например, в работах Маслова О.Н. создана приближенная расчетная модель видеодисплейного терминала ПЭВМ путем замены последнего системой эквивалентных элементарных излучателей.

С точки зрения электродинамического моделирования рассматриваемые системы могут быть представлены как объемные проводящие тела сложной формы с сосредоточенным возбуждением. Такие тела могут быть аппроксимированы проволочными сетками, по проводникам которых протекают линейные токи. Подобные методы использовались ранее для электродинамического анализа антенных систем, расположенных вблизи проводящих тел сложной формы. Так в работе Брауде Л.Г. сетчатые модели использовались для анализа характеристик самолетных антенн.

Расчет ЭМП в этом случае потребует предварительного нахождения распределения тока по проводникам сетчатой модели, что, в свою очередь, требует решения одномерного интегрального уравнения (ИУ). Применительно к целям, поставленным в диссертационной работе, наиболее удобным и перспективным представляется подход на основе, так называемого, тонкопроволочного приближения. Методы численного решения ИУ применительно к задачам вычислительной электродинамики достаточно хорошо освещены в литературе. Наиболее

распространенными являются модификации известного метода моментов, например, метод Галеркина или метод сшивания в точках. Наиболее полное обобщенное описание метода моментов приводится в работе Харрингтона Р.Ф. (Harrington R.F.).

Во второй половине 20-го столетия практически все численные методы электродинамического анализа ориентировались на использование ЭВМ. Так, начиная с 50-х годов прошлого столетия, активно проводятся разработки замкнутых программных средств электродинамического анализа проводочных систем. Наиболее известными в этой области стали работы Бурка (Burke G.J.), Поджо (Poggio A.J.), Миллера (Miller E.K.) и Адамса (Adams R.W.), результаты которых стали основой различных версий известных программных пакетов AMP (Antenna Modeling Program) и NEC (Numerical Electromagnetic Code). Значительный вклад в теорию ИУ внесен Юдиным В.В., в работах которого исследованы методы решения одномерных ИУ с применением разнообразных моделей возбуждения с учетом симметрии различного характера. Методы и средства, использованные названными авторами, могут быть с успехом адаптированы к решению задач, поставленных в диссертационной работе.

Анализ электромагнитной обстановки в помещениях помимо собственно расчета поля расположенных в нем технических средств, требует учета стен, электрофизические параметры которых, вообще говоря, могут быть весьма разнообразными. Публикации, посвященные этим вопросам, практически отсутствуют, однако элементы различных родственных исследований имеются в ряде работ. Накопленный различными авторами материал можно подразделить на две группы. К первой группе следует отнести работы, посвященные анализу ЭМП излучающих систем, расположенных над полубесконечной средой, являющейся несовершенным диэлектриком. Ко второй группе относятся работы, посвященные решению задач дифракции ЭМП различной конфигурации на телах конечных размеров.

Большинство работ, относимых к первой группе, основаны на использовании известных интегральных выражений для потенциальных функций элементарных излучателей, впервые полученных Зоммерфельдом и Гершельманом. При этом наиболее строгие методики расчета полей излучающих систем, расположенных над полупроводящей поверхностью, рассмотрены в публикациях Крылова Г.Н. Методики Крылова Г.Н., основанные на применении приближенного импедансного граничного условия, справедливы на любых расстояниях от излучателей в частотных диапазонах ОНЧ, НЧ, СЧ, ВЧ.

Практически законченная теория излучающих систем, расположенных над полупроводящей поверхностью с выходом на программную реализацию всех вычислительных алгоритмов, создана в работах Сподобаева Ю.М. Его работы, основанные на методе зеркальных изображений с использованием приближенных граничных условий, позволяют достаточно строго рассчитывать поле в непосредственной близости от излучающей системы, распределение тока в которой известно.

Методики расчета поля линейных токов, расположенных вблизи стыка двух полубесконечных проводящих поверхностей, представлены в работах Кубанова В.П. Однако, для расчета поля в помещении, очевидно, необходим учет всех шести стен. Поэтому для настоящего исследования наибольший интерес представляют методы, позволяющие вычислять поле, рассеянное поверхностью ограниченных размеров. При этом, по очевидным соображениям, нет необходимости учета обратного влияния поля на источник. В данном случае исходная

задача может быть сведена к ИУ, как это сделано в монографии Захарова Е.В. и Пименова Ю.В.

Названный метод позволяет свести задачу рассеяния ЭМП произвольной конфигурации на идеально проводящей плоской поверхности произвольных очертаний к системе ИУ относительно плотности тока, наведённого на поверхность. В настоящей работе данный метод применен к выводу интегральных уравнений для случаев вертикального и горизонтального элементарных электрических излучателей (ЭЭИ), расположенных вблизи идеально проводящего экрана прямоугольной формы. Кроме того, общий подход, изложенный в названной работе, применен к выводу ИУ относительно тока на импедансной поверхности для учета конечной проводимости стен.

Целью настоящей работы является разработка методик и алгоритмов анализа ЭМП, создаваемых различными техническими средствами, размещенными в помещениях, с учетом реальной конфигурации и электрофизических параметров ограничивающих помещение стен, а также создание на основе этих алгоритмов программных модулей, которые составят основу автоматизированной системы электромагнитного мониторинга помещений.

В работе решаются следующие задачи:

1. Систематизация сведений о технических средствах, являющихся источниками ЭМП в помещениях. Выделение в их составе качественно однородных групп.
2. Разработка электродинамических моделей источников ЭМП относительно простой конфигурации, расположенных в помещении.
3. Разработка электродинамической модели локального участка сети энергоснабжения произвольной конфигурации.
4. Разработка методики анализа ЭМП, создаваемого объемными источниками сложной конфигурации, на основе аппроксимации проводящих поверхностей проволочными сетками и плоскими экранами и решения соответствующих интегро-дифференциальных уравнений.
5. Моделирование и исследование ЭМП, создаваемых видеотрактом персональной ЭВМ.
6. Разработка методики решения базовой задачи рассеяния ЭМП плоским идеально проводящим экраном прямоугольной формы.
7. Разработка методики решения базовой задачи рассеяния ЭМП поля плоской импедансной поверхностью ограниченных размеров.
8. Разработка методики расчета ЭМП источников, расположенных в закрытых помещениях с учетом электрофизических параметров стен.
9. Разработка алгоритма комплексного анализа электромагнитной обстановки в помещениях.
10. Исследования полей в реальных помещениях.

Научная новизна исследований заключается в следующем:

1. Решена задача рассеяния ЭМП произвольно ориентированного ЭЭИ плоским идеально проводящим экраном прямоугольной формы и импедансной поверхностью ограниченных размеров.
2. Разработаны электродинамические модели линейных и локальных источников квазистационарного поля для целей анализа электромагнитной обстановки в помещениях.
3. На основе метода ИУ с приближенными и точными ядрами разработана модель видеотракта персональной ЭВМ.

4. Разработаны методика и алгоритм комплексного анализа электромагнитной обстановки в помещениях с учетом многообразия присутствующих там источников.

5. Получены новые результаты анализа электромагнитной обстановки в реальном помещении.

Практическая значимость результатов работы заключается в том, что:

1. Разработанные методики расчета ЭМП в помещениях позволяют прогнозировать электромагнитную обстановку в любых промышленных, офисных и бытовых помещениях.

2. Разработанные в рамках диссертационной работы модели и методики электродинамического анализа источников в помещении обеспечили методическую базу для создания перспективной замкнутой автоматизированной системы анализа электромагнитной обстановки в помещениях.

3. Полученные в диссертации результаты анализа электромагнитной обстановки и разработанные методики обеспечивают основу для создания комплекса мер по нормализации электромагнитной обстановки в помещениях при решении задач электромагнитной и информационной безопасности.

Реализация результатов работы.

Результаты диссертационной работы использовались в НИР «Обмен» по проблемам создания теоретической, расчетно-методической и экспериментально-метрологической базы комплексных исследований электромагнитных излучений оконечных технических средств и сетей, обеспечивающих телекоммуникационные услуги населению, выполненной в Самарском отраслевом НИИ Радио (СОНИИР). Основные научные и прикладные результаты диссертационной работы использованы при выполнении комплекса работ, связанных с подготовкой рабочих материалов по НИР «Куница», проводимой в Поволжской Государственной академии телекоммуникаций и информатики (ПГАТИ). Реализация результатов работы подтверждена соответствующими актами.

Апробация результатов работы и публикации.

Основные результаты по теме диссертационного исследования докладывались на VIII, IX и X Всероссийских научных конференциях ПГАТИ (Самара, 2001, 2002 и 2003 г., соответственно), V Международной конференции студентов и молодых ученых (МГГУ, Москва, 2001 г.), X школе-семинаре «Электродинамика и техника СВЧ, КВЧ и оптических частот» (Москва, 2002 г.), 7-й Международной конференции «Экология и жизнь» (Нижний Новгород, 2002 г.).

По тематике диссертационных исследований автором (лично и в соавторстве) опубликовано 20 печатных работ. Основные научные и прикладные результаты опубликованы в 8 статьях в периодических научных изданиях и в 12 публикациях в форме тезисов докладов на российских и международных конференциях и семинарах.

На защиту выносятся:

1. Методика расчета ЭМП в закрытом помещении с учетом влияния на структуру поля поверхностей раздела с реальными электрофизическими параметрами, основанная на решении задачи рассеяния ЭМП произвольно ориентированного ЭЭИ плоским идеально проводящим экраном прямоугольной формы и импедансной поверхностью ограниченных размеров.

2. Электродинамические модели линейных и локальных источников квазистационарного поля для целей анализа электромагнитной обстановки в помещениях.

3. Методика анализа излучения видеотракта персональной ЭВМ, включающая аппроксимацию проводящих поверхностей системой проволочных сеток

и сплошных поверхностей и решение ИУ с приближенными и точными ядрами методом шивания в точках.

4. Алгоритм комплексного исследования электромагнитной обстановки в помещениях различного типа и новые результаты анализа ЭМП различных технических средств, расположенных в помещениях.

Объем и структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы и приложений. Основная часть работы содержит 205 страниц, включая 69 рисунков и 4 таблицы. Список литературы содержит 185 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, приведен обзор работ по теме диссертации, сформулированы цель и основные задачи исследования, описан состав и структура работы, определены ее новизна и практическая ценность.

В первом разделе диссертации «Разработка электродинамических моделей источников электромагнитного поля, расположенных в помещении» проведена классификация технических средств по частотным диапазонам и по характерным особенностям пространственной формы. При этом выделены следующие классы источников:

- линейные источники квазистационарного поля (локальные участки сетей телекоммуникаций и электроснабжения),

- локальные источники квазистационарного поля (оконечные устройства сетей электроснабжения и телекоммуникационных сетей, работающие на частотах до 1 МГц),

- локальные источники электромагнитных волн (технические средства УВЧ и более высокочастотных диапазонов).

Разработана электродинамическая модель локальных участков цепей энергоснабжения и низкочастотных телекоммуникационных сетей. В рамках решения данной проблемы сформулированы базовые задачи расчета поля прямолинейного и Т-образного участка линии передачи.

Разработанные модели обобщены на случай сложной разветвленной структуры проводников, для чего разработан алгоритм преобразования координат базовых элементов в общую систему.

Так же разработаны упрощенные электродинамические модели различных технических средств, являющихся источниками как квазистационарного, так и волнового полей.

Сформулированные принципиальные подходы к электродинамическому моделированию обеспечивают методологическую основу комплексного моделирования помещения с размещенными в нем локальными (сосредоточенными) и линейными (распределенными) источниками ЭМП различных частотных диапазонов: радиоприемными и звуковоспроизводящими устройствами, телевизионными приемниками, персональными ЭВМ и видеотерминалами, внутридомовыми абонентскими линиями телекоммуникаций и электропроводкой и т.д.

Второй раздел – «Разработка методики анализа ЭМП, создаваемого источниками произвольной конфигурации» – посвящен разработке строгой методики электродинамического моделирования технических средств, линейные размеры которых сравнимы с пространственным периодом изменения поля. Методика основана на аппроксимации корпуса технического средства системой сеток тонких проводников и сплошных поверхностей. Распределение тока на

проводниках сетчатой модели определяется путем решения одномерного интегро-дифференциального уравнения с приближенным ядром:

$$-\vec{l} \cdot \vec{E}_0(\vec{r}) = -\frac{i}{\omega \epsilon_0} \int_L I(l') \cdot \left[k^2 \vec{n} \cdot \vec{n}' - \frac{\partial^2}{\partial l \cdot \partial l'} \right] \cdot G(\vec{r}, \vec{r}') \cdot dl', \quad (1)$$

где l и l' – текущая координата и координата точки источника, соответственно, отсчитываемые вдоль криволинейного контура, проходящего вдоль осей проводников, $I(l')$ – осевой ток в проводнике, k – волновое число, \vec{n} – текущий вектор нормали, \vec{n}' – вектор нормали точки источника, $G(\vec{r}, \vec{r}')$ – функция Грина для свободного пространства.

Уравнение (1) имеет смысл осевого граничного условия для тангенциальной компоненты напряженности электрического поля.

Распределение тока на плоских поверхностях находится путем решения ИУ с точным ядром, получаемого из граничного условия для магнитного поля:

$$-\vec{n}(\vec{r}_0) \times \vec{H}_0(\vec{r}_0) = -\frac{1}{2} \vec{j}_s(\vec{r}_0) + \int_S \vec{n}(\vec{r}_0) \times \left\{ \vec{j}_s(\vec{r}') \times [\text{grad } G(\vec{r}, \vec{r}')] \right\} dS'. \quad (2)$$

Для всех ИУ разработаны методики численного решения методом сшивания в точках. При этом для аппроксимации решений использован кусочно-синусоидальный (для ИУ (1)) и кусочно-постоянный (для ИУ (2)) базисы.

Для тестирования методики и соответствующего программного модуля проведены исследования ЭМП видеотракта ПЭВМ. При этом получены новые результаты расчета компонент электрического и магнитного полей на различных частотах. На рис.1 приведен пример расчета электрического поля видеотракта ПЭВМ. Кроме расчета поля модели, расположенной в свободном пространстве, проводились исследования влияния заземления на структуру ЭМП видеотракта ПЭВМ на различных частотах.

Из полученных результатов сделаны следующие выводы:

- несмотря на существенное различие в частотах, на которых проводился расчет, структура поля оказывается очень похожей, ввиду того, что во всех частотных диапазонах работы ПЭВМ ЭМП носит ярко выраженный квазистационарный характер в пределах анализируемого объема;

- наличие неподключенного контура заземления слабо меняет картину поля как по уровню, так и по структуре;

- подключенное заземление существенно меняет картину поля вблизи ПЭВМ, уровни снижаются, исчезает преобладание некоторых компонент, обусловленное ориентацией возбуждения.

В третьем разделе – «Разработка методики расчета ЭМП источников, расположенных в

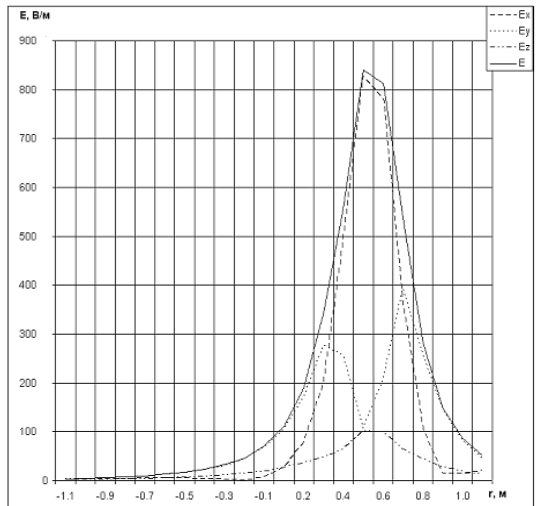


Рис. 1

закрытых помещениях» – сформулирована задача разработки базовых моделей для расчета пространственного распределения ЭМП источников, расположенных вблизи систем прямоугольных тел с произвольными электрофизическими параметрами.

В качестве базовой исследуется задача рассеяния ЭМП ЭЭИ прямоугольным тонким телом конечных размеров. При этом отдельно рассмотрены случаи идеальной проводимости и реальных электрофизических параметров.

В разделе выведены системы ИУ и дифференциальных уравнений относительно плотности поверхностного тока, наведенного на идеально проводящем экране (размером $a \times b$) полем ЭЭИ.

Для вертикального ЭЭИ система имеет вид:

$$\begin{aligned} \mu_0 \int_{-a/2}^{a/2} dx'' \int_{-b/2}^{b/2} j_x(\vec{r}'') G(\vec{r}, \vec{r}'') dy'' &= \frac{i}{\omega} \frac{\partial W}{\partial x''}; \\ \mu_0 \int_{-a/2}^{a/2} dx'' \int_{-b/2}^{b/2} j_y(\vec{r}'') G(\vec{r}, \vec{r}'') dy'' &= \frac{i}{\omega} \frac{\partial W}{\partial y''}; \\ \frac{\partial^2 W}{\partial x''^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y''^2} + \omega \epsilon_0 \mu_0 W &= i \alpha \mu_0 I l \left[\frac{ikz'}{|\vec{r}'' - \vec{r}'|} G(\vec{r}'', \vec{r}') + \frac{z'}{|\vec{r}'' - \vec{r}'|^2} G(\vec{r}'', \vec{r}') \right]; \\ j_x(\vec{r}'')|_{x''=\pm a/2} &= 0; \quad j_y(\vec{r}'')|_{y''=\pm b/2} = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Последняя строка в (3) – краевое условие, которому должно удовлетворять решение на граничной линии экрана.

Для горизонтального ЭЭИ, параллельного оси X получена система с меньшим числом уравнений, поскольку ток наведенный на экране, имеет лишь одну компоненту:

$$\begin{aligned} \mu_0 \int_{-a/2}^{a/2} dx'' \int_{-b/2}^{b/2} j_x(\vec{r}'') G(\vec{r}, \vec{r}'') dy'' &= -\mu_0 I l G(\vec{r}'', \vec{r}') + \frac{i}{\omega} \frac{\partial W}{\partial x''}; \\ \frac{\partial^2 W}{\partial x''^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y''^2} &= \omega \epsilon_0 \mu_0 W; \\ j_x(\vec{r}'')|_{x''=\pm a/2} &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Так же разработаны базовые модели для анализа электромагнитной обстановки вблизи источников ЭМП, расположенных в помещениях с учетом конечной проводимости материала стен. Реальные электрофизические параметры подстилающей поверхности учитываются за счет введения граничных условий типа поверхностного импеданса. В результате были получены системы уравнений, аналогичные по структуре (3) и (4), имеющие смысл приближенного граничного условия.

Для решения полученных систем разработана методика, включающая решение дифференциальных уравнений методом конечных разностей и ИУ методом сшивания в точках при кусочно-синусоидальном базисе.

В разделе выполнен электродинамический анализ ЭЭИ, расположенных вблизи тонких прямоугольных тел. На рис. 2 приведены некоторые результаты

расчета распределения компонент напряженности электрического поля вертикального ЭЭИ, расположенного над поверхностью с параметрами $\varepsilon=3$, $\sigma=0.001$ См/м.

Из полученных результатов сделаны следующие выводы. Поле вертикального излучателя, расположенного над идеально проводящим экраном, определяется, в основном, вертикальной компонентой, как этого требует граничное условие. В случаях экрана с полупроводящими свойствами, значительный вклад в суммарное поле вносят горизонтальные компоненты, которые тем больше, чем ниже проводимость экрана. Поле горизонтального вибратора в направлении максимального излучения во всех случаях имеет ничтожно малую вертикальную составляющую. При этом уровни основной компоненты оказываются меньше для случая с худшей проводимостью.

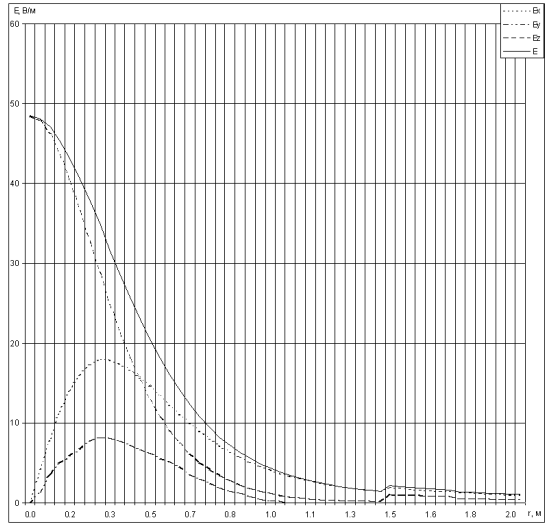


Рис. 2

В четвертом разделе – «Комплексный анализ электромагнитной обстановки в помещениях» – проведен анализ критериев оценки электромагнитной обстановки в помещениях с точки зрения электромагнитной и информационной безопасности. В частности, осуществлена систематизация по нормативным и научно-техническим источникам данных о допустимых уровнях электромагнитных полей для населения, принятых в России. Так же проведен сравнительный анализ допустимых уровней согласно нормативным базам России и ведущих в данной области зарубежных стран. В результате указано на существенные различия как в подходах к нормированию, так и в самих значениях предельно допустимых уровней.

Разработан алгоритм комплексного прогнозирования электромагнитной обстановки в помещении (рис. 3) с учетом зависимости излучения от режима работы источника (конкретной сети или прибора) и смешанного характера электромагнитной обстановки, обеспечивающие расчетное прогнозирование пространственного распределения уровней электромагнитных полей при типичных и экстремальных сочетаниях режимов источников.

Алгоритм включает в себя несколько этапов. Первым этапом является характеристика всех источников ЭМП, присутствующих в помещении, а так же определение фоновых уровней ЭМП. Далее следует формирование ситуационной модели: на основании формализации исходных данных осуществляются привязка источников в помещении по дислокации и пространственной ориентации с учетом их габаритных размеров.

В рамках комплексной электродинамической модели, на основании формализованных данных ситуационной модели выполняется унификация координат для всей системы источников. Далее проводится сортировка источников по нормируемым частотным диапазонам и формируется групповая электродинамическая модель для каждого диапазона. При этом каждый источник ЭМП не-

скольких диапазонов представлен в соответствующем числе групповых моделей. Выполняется сортировка источников каждого частотного диапазона по уровням интенсивности. На основании сравнительного анализа может быть принято решение об уточнении номенклатуры источников путем исключения из рассмотрения заведомо несущественных.

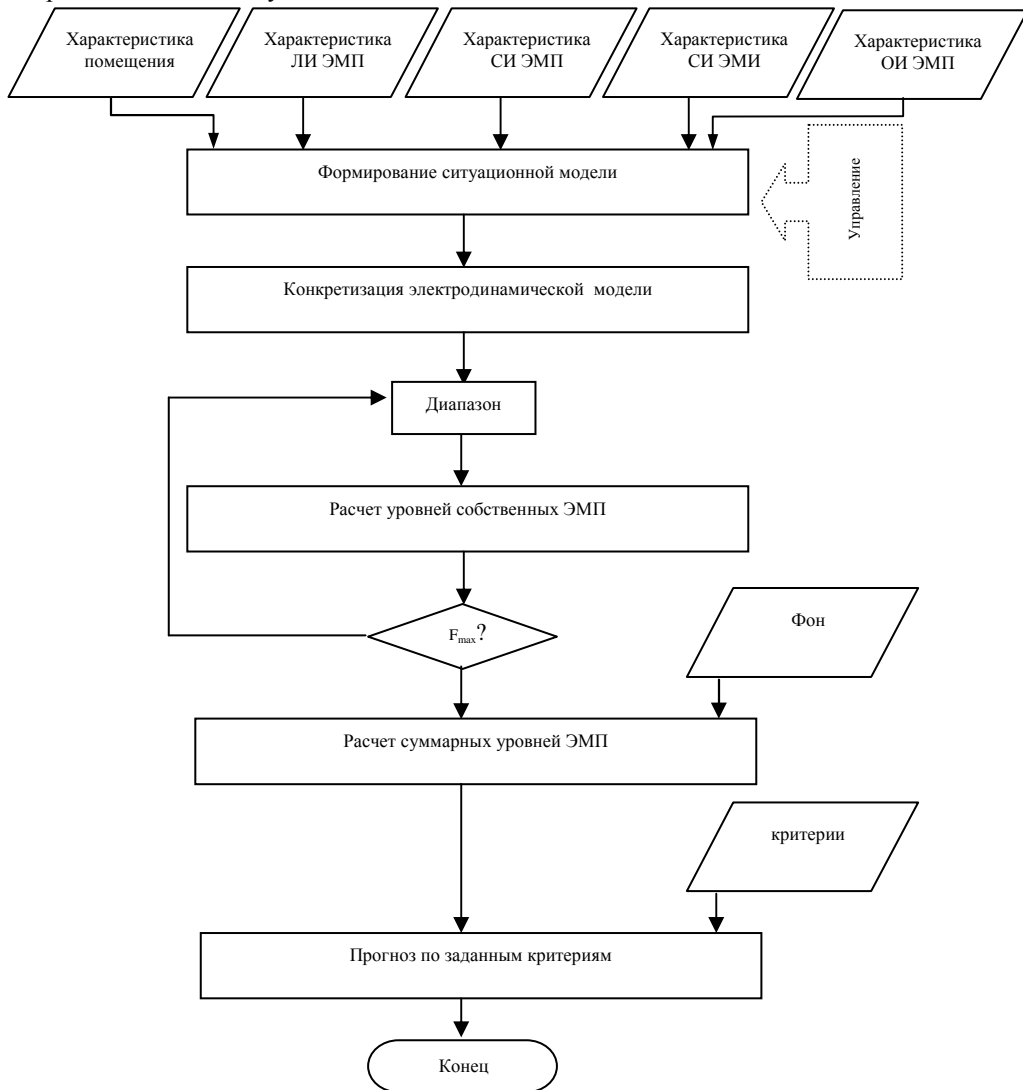


Рис. 3

Расчет уровней собственных ЭМП проводится отдельно для каждого частотного диапазона (групповой модели). При расчете определяются интенсивности сочетанных воздействий при различных сочетаниях режимов работы приборов

ров: типичном (с учетом среднего времени работы прибора в каждом режиме) и экстремальном (одновременная работа всех приборов в предельных режимах). Расчет суммарных уровней выполняется с учетом фоновых интенсивностей.

Итоговой операцией является формирование расчетного прогноза электромагнитной обстановки в помещении, который проводится на основе рассчитанных уровней суммарных ЭМП для различных частотных диапазонов. Обобщенная оценка формируется на основе суперпозиции нормированных с учетом тех или иных критериев интенсивностей ЭМП всех групп, т.е. смешанных воздействий всех источников различных частотных диапазонов. Результирующий прогноз представляет собой указанную обобщенную оценку, как функцию координат, в привязке к ситуационной модели для типичного и экстремального сочетаний режимов работы источников.

Для тестирования разработанной методики произведен расчет электромагнитных полей в реальном офисном помещении. При этом электромагнитная обстановка оценивалась как с точки зрения собственных значений интенсивностей полей на разных частотах, так и с точки зрения критерия электромагнитной безопасности для многочастотного комплекса. План офисного помещения, в котором проводилось электромагнитное прогнозирование, приведен на рис. 4. Результаты расчета критерия безопасности приведены на рис. 5

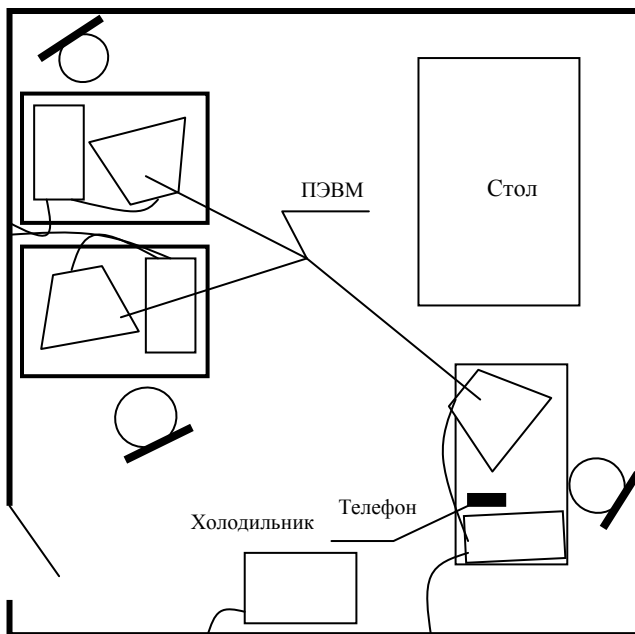


Рис. 4

На основе расчетов выявлен ряд закономерностей:

- на частоте 50 Гц максимальные уровни поля создаются не электропроводкой, а блоками питания устройств, в основном ПЭВМ;
- на частоте кадровой развертки 100 Гц картина поля существенно отличается от случая 50 Гц, т.к. источниками при этом являются только мониторы ПЭВМ, а

электропроводка и контур заземления возбуждаются слабо, аналогичный результат наблюдается на частоте строчной развертки 80 кГц;

- на верхней частоте видеосигнала ПЭВМ локальные всплески поля становятся более узкими вследствие того, что возбуждение локализовано в значительно меньшем объеме;

- на частоте работы радиотелефона локальный всплеск поля наблюдается только вблизи размещения базы, остальные металлические элементы возбуждаются слабо.

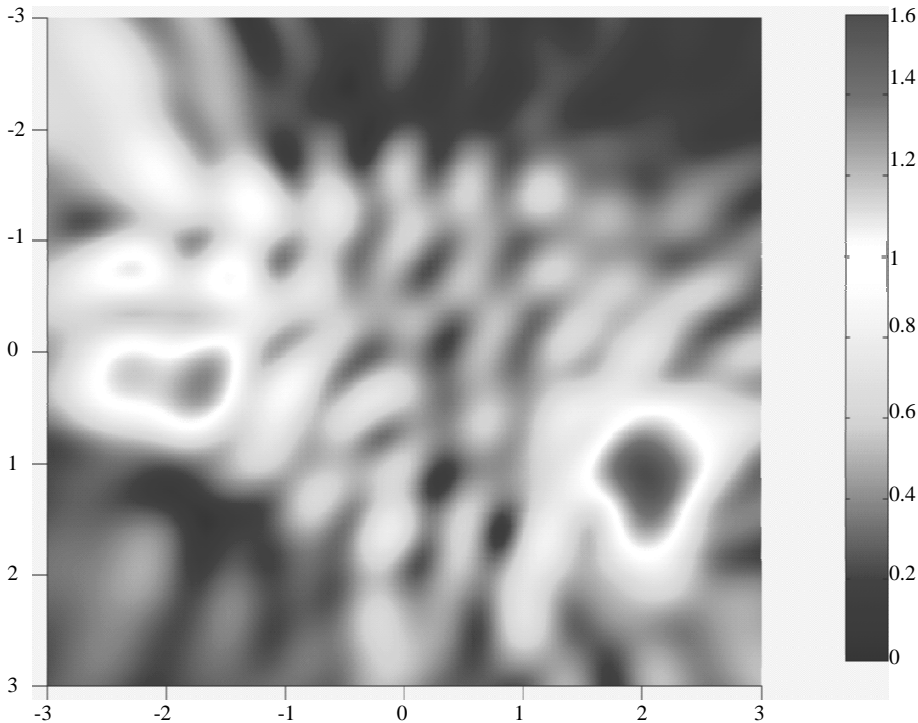


Рис. 5

В заключении сформулированы основные научные и научно-практические результаты работы.

Так, в составе всех технических средств, размещаемых в помещении, выделены:

- группа линейных источников;
- группа локальных источников.

Линейные источники, расположенные в помещении, как правило, создают в окружающем пространстве поле квазистационарного характера, в то время как локальные – могут образовывать как квазистационарные, так и волновые поля. Отсюда возникает следующая ступень классификации:

- источники квазистационарного поля;
- источники электромагнитного излучения.

Применительно к линейным источникам квазистационарного поля разработана строгая методика электродинамического моделирования, позволяющая

производить расчет поля разветвленных систем. Для анализа локальных источников квазистационарного и волнового полей разработана расчетно-экспериментальная методика, основанная на представлении анализируемого устройства системой электрического и магнитного диполей в первом случае и изотропным излучателем – во втором случае.

Среди локальных источников выделена промежуточная группа, к которой отнесены технические средства, размеры которых сравнимы с пространственным периодом изменения ЭМП, или пространственная форма которых существенным образом влияет на структуру поля в помещении. К таким источникам относятся персональные ЭВМ (видеотракт), радиотелефоны (если поле анализируется в непосредственной близости) и т.п.

Для моделирования технических средств данной категории разработан строгий подход, основанный на аппроксимации корпуса (корпусов) устройств системами тонких проводников и плоских проводящих экранов.

Кроме того, разработана методика, позволяющая моделировать помещение совокупностью тонких прямоугольных тел, обладающих различными электрофизическими параметрами.

Итогом работы явилась оформленная методика комплексного анализа электромагнитной обстановки в помещениях, объединившая в себе все методики и алгоритмы, разработанные в диссертации.

Все вычислительные процедуры, предложенные в диссертации, реализованы в виде программных модулей, которые в дальнейшем составят основу перспективной автоматизированной системы.

В приложениях приведены некоторые математические выкладки и результаты расчетов, не включенные в основную часть, а также акты внедрения результатов работы.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Бузов А.Л., Маслов М.Ю. Комплексное прогнозирование электромагнитной обстановки в помещениях. Электродинамические модели локальных источников электромагнитных волн // Тезисы докладов V Международного конгресса НАТ, Москва, 2001. – С. 27.

2. Бузов А.Л., Маслов М.Ю. Моделирование электромагнитных полей, возникающих за счёт антенного эффекта технических средств в закрытых помещениях // Антенны, вып.1 (56), 2002. – С. 9-12.

3. Бузов А.Л., Маслов М.Ю. Постановка задачи и выбор методов комплексного анализа электромагнитной обстановки в помещениях с детерминированным распределением источников // Электродинамика и техника СВЧ, КВЧ и оптических частот Т.IX, вып.3 (31), 2001. – С. 113-118.

4. Бузов А.Л., Маслов М.Ю. Комплексный анализ электромагнитной обстановки в помещениях // Тезисы докладов IX Всероссийской НК, Самара, ПГАТИ, март, 2002. – С. 112.

5. Маслов М.Ю. К вопросу об оценке электромагнитной безопасности помещений // Тезисы докладов X Всероссийская НК, Самара, ПГАТИ, март, 2003. – С.113.

6. Маслов М.Ю. Комплексное моделирование электромагнитной обстановки в промышленных и жилых помещениях // Тезисы докладов V международной конференции студентов и молодых учёных, Москва, МГГУ, 2001. – С. 339-341.

7. Маслов М.Ю. Разработка электродинамических моделей телевизионных приемников и видеодисплейных терминалов // Электродинамика и техника СВЧ, КВЧ и оптических частот, тезисы докладов, 2002. – С. 95.
8. Маслов М.Ю. Моделирование электромагнитных полей в помещениях с полупроводящими стенками // Вестник СОНИИР, №1, 2002. – С. 20-22.
9. Маслов М.Ю. Электродинамическое моделирование бесшнуровых телефонов // Тезисы докладов IX Всероссийской НК, Самара, ПГАТИ, март, 2002. – С.113.
10. Маслов М.Ю. Электродинамическое моделирование излучения бытовой и офисной техники // Электродинамика и техника СВЧ, КВЧ и оптических частот, Т.IX, вып.3 (31), 2001. – С. 119-126.
11. Маслов М.Ю., Минкин М.А. Комплексное прогнозирование электромагнитной обстановки в помещениях. Электродинамические модели локальных источников квазистационарного поля // Тезисы докладов V международного конгресса НАТ, Москва, 2001. – С. 26.
12. Маслов М.Ю., Минкин М.А. Принципы комплексного электродинамического моделирования электромагнитной обстановки в помещениях // Тезисы докладов VIII Всероссийской НК, Самара, ПГАТИ, март, 2001. – С. 160.
13. Маслов М.Ю., Ситникова С.В. Расчёт ЭМП сканирующего электронного луча // Тезисы докладов X Всероссийской НК, Самара, ПГАТИ, март, 2003. – С. 115.
14. Маслов М.Ю., Ситникова С.В., Сподобаев Ю.М. Моделирование излучения элементов видеотракта персональных ЭВМ // Инфокоммуникационные технологии, № 2, 2003. – С. 32-35.
15. Маслов М.Ю., Сподобаев Ю.М. Рассеяние электромагнитного поля прямоугольной апертуры границей раздела с полупроводящей средой, расположенной в зоне индукции // Антенны, вып.1 (68), 2003. – С. 52-56.
16. Маслов М.Ю., Сподобаев М.Ю. Применение современных программных пакетов электродинамического моделирования для анализа проволочных антенн // Тезисы докладов VIII Всероссийской НК, Самара, ПГАТИ, март, 2001. – С. 135.
17. Маслов М.Ю., Сподобаев М.Ю., Сподобаев Ю.М., Филиппов Д.В. Комплексное моделирование электромагнитных полей в промышленных и жилых помещениях // «Радиотехника» (журнал в журнале), №11, 2001. – С. 90-93.
18. Маслов М.Ю., Филиппов Д.В. Разработка вероятностной ситуационной модели электромагнитной обстановки в помещениях // Вестник СОНИИР, №2, 2002. – С. 23-25.
19. Maslov M.Y., Sitnikova S.V. Models of Radiations of Videodisplay Terminals // Ecology and Life (Science, Education, Culture): International Journal, Issue 7, Novgorod the Great, 2002. – P. 16.
20. Maslov M.Y., Spodobaev Y.M. Estimation of Electromagnetic Safety of Rooms in View of Statistical Regularities of Stay of the Person // Ecology and Life (Science, Education, Culture): International Journal, Issue 7, Novgorod the Great, 2002. – P. 14-15.