

На правах рукописи

Сивков Вадим Сергеевич

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕЛЕ-  
КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Специальность 05.13.13  
Телекоммуникационные системы и компьютерные сети

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Самара - 2007

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Поволжская государственная академия телекоммуникаций и информатики» (ГОУ ВПО ПГАТИ)

Научный руководитель:

- доктор технических наук, профессор

**Сподобаев Ю.М.**

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, профессор

**Кораблин М.А.**

- кандидат технических наук, доцент

**Чернов А.В.**

Ведущая организация:

**Институт систем обработки изображений (ИСОИ) РАН**

Защита диссертации состоится 21 декабря 2007 г. в 14-00 на заседании диссертационного совета Д 219.003.02 в Поволжской государственной академии телекоммуникаций и информатики по адресу: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, 23.

С диссертацией соискателя можно ознакомиться в библиотеке Поволжской государственной академии телекоммуникаций и информатики.

Автореферат разослан « 21 » ноября 2007 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 219.003.02  
доктор технических наук, доцент

**Мишин Д.В.**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Стремительное развитие телекоммуникационных систем за последние сто лет привело к серьезным изменениям электромагнитного фона планеты. Развитие телекоммуникационных систем порождает новые проблемы воздействия электромагнитных полей на человека и окружающую среду. Функционирование ряда систем телекоммуникаций основано на излучении электромагнитной энергии в окружающую среду. Некоторые технологии подразумевают равномерное распределение электромагнитного поля на большие территории. Вместе с тем человек не может отказаться от технологий, порождающих излучение электромагнитных полей. Следствием этого является возникновение проблем электромагнитной безопасности в отрасли «Связь». Сущность этих проблем в защите человека и окружающей среды от воздействия электромагнитных полей телекоммуникационных систем различных частотных диапазонов.

В условиях лавинообразного и часто неконтролируемого наращивания излучающих технических средств, когда человек практически всегда и везде находится под воздействием электромагнитного поля антропогенного происхождения, информация о возможных источниках и масштабах электромагнитного загрязнения связана с принятием ответственных административных, градостроительных и инвестиционных решений.

Основная проблема мониторинга электромагнитного поля на большой территории с помощью измерительной аппаратуры – невозможность получить достаточное количество информации. Измерениями на территории можно охватить только отдельные приземные участки местности. Получить полноценную картину электромагнитной обстановки мешает недоступность большинства участков территории. Причин такой недоступности множество – как естественных, так и искусственных. Существует так же проблема актуализации и обновления данных – чем больше контролируемая территория, тем меньше будет оперативность обновления информации. Альтернативой непосредственным измерениям на местности может стать расчетное прогнозирование электромагнитной обстановки. В этом случае возможен подход, основанный на многофакторной оценке масштабов электромагнитного загрязнения.

Расчет электромагнитной обстановки на больших территориях должен проводиться с учетом множества факторов, характеризующих данную местность (рельеф, растительность, застройка и т. п.) – такая информация содержится в цифровых моделях местности и в цифровых картах. Основным инструментом для работы с такими картами и моделями являются геоинформационные системы (ГИС).

Таким образом, актуальность темы необходимо обсуждать по нескольким направлениям.

**Проблема электромагнитной безопасности и оценки состояния окружающей среды по электромагнитному фактору.** В теории и практике проектирования телекоммуникационных систем сформировалось новое направление – обеспечение электромагнитной безопасности. Начало работ в этом направлении относится к концу 70-х (Е.Ю. Шередько, Ю.М. Сподобаев), началу 80-х годов (А.Л. Бузов, В.А. Романов). Различным направлениям электромагнитной безопасности посвя-

щены труды таких ученых как Казанский Л.С., Кольчугин Ю.И., Кубанов В.П., Маслов О.Н., Минкин М.А., Юдин В.В. На основе исследований этих ученых была сформирована нормативно-методическая база РФ по электромагнитной безопасности. Особенностью разработанных методик расчета является исследование электромагнитных полей на открытой территории в ближней зоне излучающих технических средств без учета застройки и рельефа.

Проблема оценки состояния окружающей среды по электромагнитному фактору – здесь различают несколько направлений для исследований. Одно из направлений - оценку качества окружающей среды по электромагнитному фактору. Исследования в этом направлении проходят в рамках Международного проекта по изучению электромагнитных полей - International EMF Project – что подчеркивает особую актуальность такой задачи.

**Создание программных комплексов оценки электромагнитной безопасности.** Главным инструментом мониторинга электромагнитной обстановки несомненно должен являться программно-аппаратный комплекс, позволяющий прогнозировать масштабы электромагнитного загрязнения и оценивающий состояние окружающей среды по электромагнитному фактору. Анализ программного обеспечения показал, что во всем мире существует около десятка программ, которые возможно адаптировать для решения задач электромагнитной безопасности. Самым мощным и широко используемым в России является ПК АЭМО - уникальный программный комплекс моделирования электромагнитной обстановки вблизи излучающих технических средств, созданный в Самарском НИИ Радио (СОНИ-ИР). Вместе с тем практически нет программ, позволяющих оценивать электромагнитную обстановку на больших территориях.

**Геоинформационные технологии в телекоммуникациях.** Любая телекоммуникационная система является пространственно - распределенным комплексом различных объектов. Применение ГИС в области телекоммуникаций позволяет решать множество различных задач – от инвентаризации объектов до визуализации электромагнитной обстановки. Существуют ГИС, адаптированные для решения задач оптимизации телекоммуникационных сетей (программный комплекс «Ресурс» на базе ГИС «Карта 2000»), планирования систем подвижной радиосвязи (Alcatel 955 Radio Network Planning), проектирования телекоммуникационных сетей (ГИС ПИАР), анализа зон обслуживания систем подвижной радиосвязи (ПК RADIUS). Применение геоинформационных технологий для решения задач электромагнитной безопасности телекоммуникационных систем – новое направление исследований в области телекоммуникаций и геоинформатики. В этом случае специализированная ГИС может быть использована как инструмент мониторинга электромагнитного загрязнения, как наглядная система инвентаризации источников электромагнитного поля и как система прогнозирования изменения качества экологической обстановки по электромагнитному фактору. Применение геоинформационных технологий позволит проводить геоэкологическое картографирование электромагнитной обстановки территории.

Анализ работ по данной тематике показывает, что комплексных систем электромагнитного мониторинга на базе геоинформационных технологий не существует. Есть немногочисленные узкоспециализированные программные продукты

для расчета зон покрытия в сетях подвижной связи. Информация по программам и методикам программного решения задач электромагнитной безопасности практически отсутствует. Следовательно, особенно актуальной является задача создания методик, алгоритмов и моделей, применимых к решению задач электромагнитной безопасности телекоммуникационных систем с помощью ГИС.

Таким образом, в настоящее время вопросам применения геоинформационных технологий для оценки электромагнитной безопасности в телекоммуникационной области уделено недостаточное внимание, что определяет актуальность диссертационных исследований.

**Целью данной работы** является разработка методов и инструментов оценки электромагнитной безопасности телекоммуникационных систем на основе геоинформационных технологий.

Для достижения этой цели в диссертации решена задача интеграции электродинамических моделей и геоинформационных технологий, а также разработан программный комплекс на базе геоинформационных технологий, позволяющий производить оценку электромагнитной безопасности телекоммуникационных систем, включая частные задачи:

- разработка методов и алгоритмов инвентаризации излучающих технических средств телекоммуникаций с использованием цифровых моделей местности;
- разработка структуры хранения информации об излучающих технических средствах телекоммуникаций на базе цифрового картографирования;
- разработка методов и алгоритмов анализа электромагнитной обстановки на больших территориях;
- разработка алгоритмов интеграции электродинамических моделей и геоинформационных технологий;
- разработка геоинформационной компьютерной среды для анализа и визуализации электромагнитной обстановки на больших территориях;
- апробация разработанных методов и средств путем решения практических задач;

В данной работе используются методы математического моделирования и анализа, методы оптимизации, численные методы расчета, объектно-ориентированное программирование, организация баз данных, методы анализа электромагнитного загрязнения на территории.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в следующем:

- решена задача интеграции геоинформационных технологий и электродинамических моделей;
- разработаны методики инвентаризации и хранения данных о системах телекоммуникаций с использованием геоинформационных технологий;
- разработаны методы и алгоритмы анализа электромагнитной обстановки на больших территориях;
- разработаны методики визуализации и геоэкологического картографирования электромагнитной обстановки на больших территориях;
- разработаны геоинформационные технологии мониторинга и решения проблем электромагнитной безопасности телекоммуникационных систем.

**Практическая значимость** диссертационной работе заключается в создании системы картографирования пространственного распределения электромагнитного поля. В информации об электромагнитной обстановке на территории нуждается множество потребителей: градостроители, телекоммуникационные и энергетические предприятия, экологические и санитарные службы, администрации всех уровней.

Материалы исследований воплотились в программный комплекс «Геоинформационная система электромагнитной безопасности» (ГИС ЭМБ), с помощью которого была проведена оценка электромагнитной обстановки различных телекоммуникационных систем на территории г. Самара и Самарской области.

#### **Реализация результатов работы**

Результаты диссертационной работы были использованы в подразделениях Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Самарской области при формировании региональной нормативно-методической базы электромагнитной безопасности, а также при организации и проведении мониторинга электромагнитного излучения технических средств на территории Самарской области. Результаты диссертационных исследований были использованы в подразделениях департамента городского хозяйства и экологии г. Самара при выполнении работ по инвентаризации и паспортизации источников электромагнитных излучений на территории г. Самара.

#### **Апробация результатов работы и публикации**

Основные результаты по теме диссертационных исследований обсуждались на следующих конференциях: V международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций», Самара, ПГАТИ, 16-18 ноября 2004; XII Российская научная конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников, аспирантов, Самара, ПГАТИ, 31 января-5 февраля 2005; IX международная экологическая конференция студентов и молодых ученых «Экологическая безопасность как ключевой фактор устойчивого развития», Москва, МГГУ, 19-21 апреля 2005; 6-ом международном симпозиуме по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии, Санкт-Петербург, 21-24 июня 2005; XXXIII Всероссийском семинаре «Актуальные вопросы охраны окружающей среды. Программное обеспечение для экологов», 21-25 ноября 2005, Москва, НПП «Логус»; XIII юбилейной российской научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, 30 января – 4 февраля 2006 г. Самара, ПГАТИ; VI международной научно-технической конференции "Проблемы техники и технологии телекоммуникаций", Самара, ПГАТИ, 20-23 ноября 2006; XIII международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь», Воронеж, 17-19 апреля 2007; VI международной научно-технической конференции «Физика и технические приложения волновых процессов», Казань, 17-21 сентября 2007. Актуальность и научная новизна исследований автора была отмечена Дипломом Президиума правления Московского Союза научных и инженерных общественных объединений за лучший доклад «Геоинформационные системы в электромагнитной экологии» на XI Международной экологической конференции студентов и молодых ученых «Экологическая безопасность как ключевой фактор устойчивого развития».

По тематике диссертационных исследований автором (лично и в соавторстве) было опубликовано 16 печатных работ, в числе которых статьи в журналах, рекомендованных ВАК (2), тезисы на Международных (6) и российских (8) конференциях.

**На защиту выносятся:**

1. Решение задачи интеграции геоинформационных технологий и электродинамических моделей.
2. Геоинформационная организация структуры хранения и обработки данных об излучающих технических средствах телекоммуникационных систем.
3. Методики и алгоритмы визуализации и геоэкологического картографирования электромагнитных полей на больших территориях.
4. Геоинформационные технологии решения задач электромагнитной безопасности для комплексов телекоммуникационных систем.

**Объем и структура работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы и приложений. Основная часть работы содержит 160 страниц, включая 71 рисунок и 3 таблицы. Список литературы содержит 198 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 научная ценность.

**В первом разделе** «Пространственный анализ излучающих технических средств телекоммуникационных систем» приводится систематизация источников электромагнитных полей на территории мегаполиса. Производится классификация телекоммуникационных систем по степени влияния на качество экологической обстановки по электромагнитному фактору. Выделяются несколько важных моментов, относящихся к особенностям отдельных частотных диапазонов:

1. Технические средства НЧ и СЧ диапазонов, размещенные на городских территориях и в пригородах, являются потенциально опасными, с точки зрения электромагнитной экологии и электромагнитной безопасности. Излучаемая ими мощность очень велика, а распределение электромагнитного поля можно считать практически неизменным.
2. Технические средства ВЧ диапазона, объединенные в приемо-передающие комплексы, являются наиболее сложными для анализа объектами, вследствие большого числа антенн, сложной и разветвленной системы фидерных устройств, постоянно меняющегося частотного расписания. Суммарная излучаемая мощность таких систем достаточно большая, кроме того, к особенностям ВЧ комплексов можно отнести наличие поверхностной волны и размещение излучающих комплексов на городской территории.
3. Технические средства УВЧ и ОВЧ диапазонов в настоящее время являются наиболее проблемными с точки зрения электромагнитной экологии и электромагнитной безопасности – излучатели этих диапазонов постоянно находятся вблизи человека. УВЧ диапазон является одним из самых жестко нор-

мируемых, вместе с этим телекоммуникационные системы, работающие в этом диапазоне, являются наиболее распространенными (телевидение, радиовещание). Системы подвижной связи, работающие в ОВЧ диапазоне, так же размещаются на селитебной территории, и являются не менее проблемными объектами с точки зрения электромагнитной экологии и электромагнитной безопасности.

4. Телекоммуникационные системы СВЧ и КВЧ диапазонов предназначены в основном для организации беспроводных линий связи, и являются не самыми проблемными с точки зрения электромагнитной экологии и электромагнитной безопасности.

В первом разделе определяются параметры и критерии электромагнитной безопасности систем телекоммуникаций, используемые при мониторинге электромагнитной обстановки больших территорий.

Также в первом разделе произведен пространственно-временной анализ электромагнитной обстановки систем излучателей различных частотных диапазонов.

Проектирование телекоммуникационной системы с точки зрения электромагнитной безопасности представляет собой оптимизационную задачу по размещению излучателей системы на территории с учетом не только обеспечения оптимальной конфигурации зон обслуживания, но и критериев электромагнитной безопасности. Исходными данными для такого проектирования является конфигурация селитебной территории, параметры излучающих технических средств системы, электромагнитная обстановка на данной территории.

Задача оптимизации в этом случае может быть выражена функцией минимума площади перекрытия санитарно-защитной зоны (СЗЗ) и селитебной территории:

$$F_{opt} = \min(Srиск) \quad (1)$$

здесь  $F_{opt}$  – функция оптимизации размещения СЗЗ на территории,  $Srиск$  – площадь, принадлежащая одновременно и СЗЗ и селитебной территории. Задача оптимизации считается идеально решенной, если найдено такое положение излучателей на территории, при котором  $F_{opt} = 0$ .

**Второй раздел** «Проектирование прикладных геоинформационных систем» посвящен вопросам применения ГИС в телекоммуникационной области, геоинформационным методикам решения задач электромагнитной безопасности и принципам проектирования геоинформационных приложений.

В начале раздела приведен обзор программного обеспечения, используемого в сфере электромагнитного мониторинга телекоммуникаций, и электромагнитной безопасности. Основное внимание в обзоре уделялось программам, в работе которых используются цифровые карты. Большинство рассмотренных программ ориентированы на решение определенной задачи для конкретной телекоммуникационной системы (например, оценка зоны обслуживания для систем подвижной радиосвязи). В структуру некоторых приложений входит цифровая картографическая основа, другие используют систему управления базами пространственных данных. Однако ни один из известных автору программных продуктов не в состоянии решать задачи электромагнитной безопасности телекоммуникационных систем на больших территориях.



Далее в разделе рассматриваются общие принципы применения геоинформационных технологий к решению задач электромагнитной безопасности. Одним из основных этапов при решении этих задач является процесс *инвентаризации* излучающих технических средств и других объектов телекоммуникационных систем. Сущность геоинформационного подхода к этапу инвентаризации заключается в создании цифровой карты телекоммуникационной системы. При этом чаще всего используется векторная модель пространственных данных.

В самом простом случае техническое средство на цифровой карте можно представить точечным векторным объектом (Shapes – Points).

На основе операций обработки прямых (Shapes – Lines) строятся более сложные алгоритмы обработки векторных моделей данных телекоммуникационных систем, объекты которых представлены на цифровой карте линейными фигурами (различные линии передачи, фидерные устройства и т. д.).

Объекты телекоммуникационных систем, имеющие сложную пространственную конфигурацию, могут быть представлены на цифровой карте полигонами (Shapes – Polygons).

Геоинформационные методики моделирования электромагнитной обстановки для решения задач электромагнитной безопасности – важное направление применения геоинформационных технологий в телекоммуникациях. Сущность этих методик состоит в интеграции географических объектов с электродинамическими моделями. На практике это означает, что исходные данные и условия расчета компонент электромагнитного поля, определяются на основе анализа набора цифровых карт и моделей местности, отражающих информацию о рельефе местности, застройке территории, растительности, гидрографии и т. д. По результатам таких расчетов строится *цифровая модель электромагнитного рельефа (ЦМЭР)* местности.

Система *визуализации* электромагнитных полей является связующим звеном между результатами расчетов в памяти ЭВМ и человеком-оператором геоинформационной системы. Принятие решений по вопросам электромагнитной экологии и безопасности происходит именно по результатам графического отображения электромагнитных полей и построенным картам электромагнитной обстановки. Сущность геоинформационного подхода в этом направлении – *создание карты электромагнитной обстановки, которая наиболее чётко отображает условия и решение поставленной задачи.*

Далее в разделе рассматриваются принципы разработки геоинформационных приложений и общая структура ГИС электромагнитной безопасности. В ГИС выделяют четыре основные подсистемы: ввода данных, хранения, анализа и вывода данных.

Исходными данными для подсистемы ввода данных служат карты, планы, снимки территорий определенных для электромагнитного мониторинга. Источниками сведений при создании конкретной системы могут быть также другие внешние источники, позволяющие получить цифровые данные.

Реализация подсистемы хранения данных зависит от варианта организации работы пользователей с системой: локальное рабочее место или клиент-серверная технология доступа к пространственным данным. Подсистема анализа ГИС ЭМБ

включает в себя несколько основных компонент. Наиболее важными из них являются компонента пространственного анализа и компонента электродинамического анализа. Подсистема вывода и визуализации данных предназначена, прежде всего, для создания условий интерактивного взаимодействия человека и ГИС ЭМБ – прежде всего это создание интерактивных карт электромагнитной обстановки территорий.

**В третьем разделе** «Обоснование методик расчета электромагнитной обстановки на больших территориях» представлен обзор электродинамических моделей различных частотных диапазонов, рассмотрены методы и алгоритмы формирования пространственных данных для систем электродинамического моделирования.

Задача интеграции методик моделирования электромагнитной обстановки и геоинформационных технологий является ключевым моментом в создании ГИС электромагнитной безопасности.

Интеграция геоинформационных технологий и электродинамических моделей позволяет учитывать при расчетах такие факторы, как рельеф местности, растительность, гидрографию, застройку территории.

Системы электродинамического моделирования в процессе расчетов используют три группы пространственных данных.

1. Базовые пространственные данные. Эти данные отображают географические сущности и являются неизменными на протяжении всех этапов расчета электромагнитной обстановки. Эти данные являются исходным материалом для создания двух других групп. К таким данным можно отнести рельеф, гидрографию, растительность, застройку и др.

2. Адаптированные пространственные данные. Эти данные создаются на основе базовых пространственных данных и отображают параметры географических сущностей, адаптированных для непосредственного использования в электродинамических моделях. Так же как и базовые данные, адаптированные пространственные данные остаются неизменными на протяжении всех этапов расчета электромагнитной обстановки. К таким данным можно отнести карту неравномерности рельефа, степени урбанизации территории и т. д.

3. Динамические пространственные данные. Эти данные отображают взаимосвязи между излучающими объектами и географическими сущностями – они постоянно меняются в процессе расчета компонент электромагнитного поля. К таким данным можно отнести карты прямой видимости для излучателя и точек наблюдения.

Далее в разделе рассматривается методика зонального разделения больших территорий для комбинированного моделирования электромагнитной обстановки, предложенная автором работы. Вся исследуемая территория классифицируется по нескольким признакам, в соответствии с которыми выявляются однородные (по данному признаку) области. Далее каждой точке территории присваиваются определенные свойства, в соответствии с ее принадлежностью к той или иной однородной области. Выбор методик в данной точке осуществляется на основе анализа набора присвоенных точке свойств.

В качестве основных признаков классификации территории используются критерии неравномерности рельефа и степени урбанизации.

Для определения степени неравномерности рельефа автором настоящей работы разработан программа-модуль для ГИС ЭМБ. Алгоритм работы модуля: каждая точка растровой карты рельефа окружается прямоугольным контуром заданного размера, на площади внутри этого контура определяются минимальная и максимальная высота рельефа местности, значение разности максимальной и минимальной высот присваивается данной точке. Соответственно при последующих вычислениях полученная карта дисперсии высот будет использоваться в качестве критерия выбора электродинамической модели расчета. Важным моментом в создании карты дисперсии высот рельефа является выбор площади анализа разности высот. Слишком большая площадка анализа приведет к неоправданному увеличению времени вычисления дисперсии для всей карты, а слишком малая величина площади анализа приведет к несоответствию полученных результатов с реальной обстановкой на местности. В результате многочисленных экспериментов автором данной работы установлена следующая эмпирическая зависимость площадки анализа дисперсии высот ( $S_{АДВ}$ ) от разности максимальной и минимальной высоты рельефа для всей карты местности ( $\Delta H$ ):

$$S_{АДВ} \approx \begin{cases} 30^2, \Delta H \leq 100 \\ \left(\frac{1}{3} \Delta H\right)^2, 100 < \Delta H \leq 1000 \\ 300^2, \Delta H > 1000 \end{cases} \quad (2)$$

Как видно из выражения (2) любая карта рельефа классифицируется по дисперсии максимальной и минимальной высоты, при этом все карты с  $\Delta H \leq 100$  метров относятся к «равнинным» и площадь анализа дисперсии высот для них составляет около  $900 \text{ м}^2$ , карты с «холмистым» рельефом имеют  $S_{АДВ} \approx \left(\frac{1}{3} \Delta H\right)^2$ , а карты с  $\Delta H > 1000$  метров считаются «гористыми» и для них  $S_{АДВ} = 0,09 \text{ км}^2$ .

Для анализа застройки территории необходимо получить растровую карту урбанизации территории. Для этого на первом этапе исходная векторная карта застройки преобразуется в растровую с помощью процедур гриддинга. После этого первичная растровая карта застройки обрабатывается программой-модулем определения степени урбанизации. Алгоритм работы этого модуля основан на вычислении концентрации строений на определенной территории. Исследуемая точка окружается прямоугольным контуром заданного размера, внутри этого контура подсчитывается площадь, занимаемая зданиями –  $S_{УРБ}$ . Если площадь, ограниченная контуром равна  $S_{КОНТ}$ , то степень урбанизации  $K_{УРБ}$  выражается отношением:

$$K_{УРБ} = S_{УРБ} / S_{КОНТ} \quad (3)$$

В результате многочисленных экспериментальных расчетов автором настоящей работы установлено, что оптимальная величина площади  $S_{КОНТ}$  приблизительно равна  $200 \text{ м}^2$ , чрезмерное увеличение этой площади ведет к неоправданной вычислительной нагрузке, а уменьшение приводит к неадекватной оценке реальной обстановки.

Далее в разделе рассматривается пример реализации авторской методики комбинированного моделирования на основе зонального разделения территории.

Несколько электродинамических моделей (и статистических и детерминистических) рассматриваются как единая база данных, в которой каждая модель имеет свой идентификатор (порядковый номер) и условия применения. Под условиями применения будем понимать диапазоны значений критериев классификации территории, для которых данная модель может применяться. Для нашего примера введем две модели: статистическую и детерминистическую, и назовем их соответственно «Стат. Модель-1» и «Дет. Модель-1». База данных, управляющая применением этих моделей на данной территории будет выглядеть так как показано ниже:

Идентификатор	Минимальная дисперсия рельефа	Максимальная дисперсия рельефа	Минимальная степень урбанизации	Максимальная степень урбанизации
Стат. Модель-1	0	20	0	0.3
Дет. Модель-1	20	500	0.3	1

Таблица 1

Рассмотрим подробнее алгоритм выборки нужной электродинамической модели для расчета с помощью таблицы 1. На исходную карту (рельеф + застройка) накладывается информация о излучателе. Ограничим площадь, на которой будут проводиться вычисления компонент электромагнитного поля, найдем максимальные значения неравномерности рельефа и степени урбанизации, а также вычислим среднее значение неравномерности рельефа и среднее значение степени урбанизации. При этом возможны следующие алгоритмы выбора электродинамической модели:

- 1) если максимальное значение неравномерности рельефа  $\Delta h < 20$  метров, и максимальная степень урбанизации  $K_{урб} < 0.3$ , то на всей площади расчета используется «Стат. Модель-1»;
- 2) если средние значения  $\Delta h > 20$  и  $K_{урб} > 0.3$ , то на всей территории расчета используется «Дет. Модель-1»;
- 3) самый общий случай – модель выбирается отдельно для каждой точки расчета.

Рассмотрим самый общий случай – для каждой точки, в которой необходимо рассчитать компоненты электромагнитного поля, производится выборка значений  $\Delta h$  и  $K_{урб}$ . Если оба критерия удовлетворяют условиям применимости какой-то одной модели то дальнейшие вычисления проводятся по алгоритмам этой методики. В случае выбора между моделями, выигрывает методика со старшим идентификатором. Поясним эту схему выбора на примере. Пусть в базе данных управления моделями расчета содержится четыре модели – две статистических и две детерминистических. «Стат. Модель-1» и «Стат. Модель-2» имеют идентификаторы «1» и «2», соответственно. Детерминистическим моделям «Дет. Модель-1» и «Дет. Модель-2» присвоены идентификаторы «3» и «4». В таблице 2 отображен возможный вариант такой базы данных управления моделями.

Таким образом, выбор между «Стат. Модель-1» и «Стат. Модель-2» будет сделан в пользу последней. Если же выбирать придется между «Дет. Модель-1» и «Дет. Модель-2» то выиграет «Дет. Модель-2».

Идентификатор	Минимальная дисперсия рельефа	Максимальная дисперсия рельефа	Минимальная степень урбанизации	Максимальная степень урбанизации
Стат. Модель-1	0	20	0	0.3
Стат. Модель-2	20	100	0.3	0.5
Дет. Модель-1	100	200	0.5	0.7
Дет. Модель-2	200	500	0.7	1

Таблица 2

В результате применения предложенной методики управления электродинамическими моделями расчета вся исследуемая площадь разбивается на множество областей, в каждой из которых действует своя методика расчета,

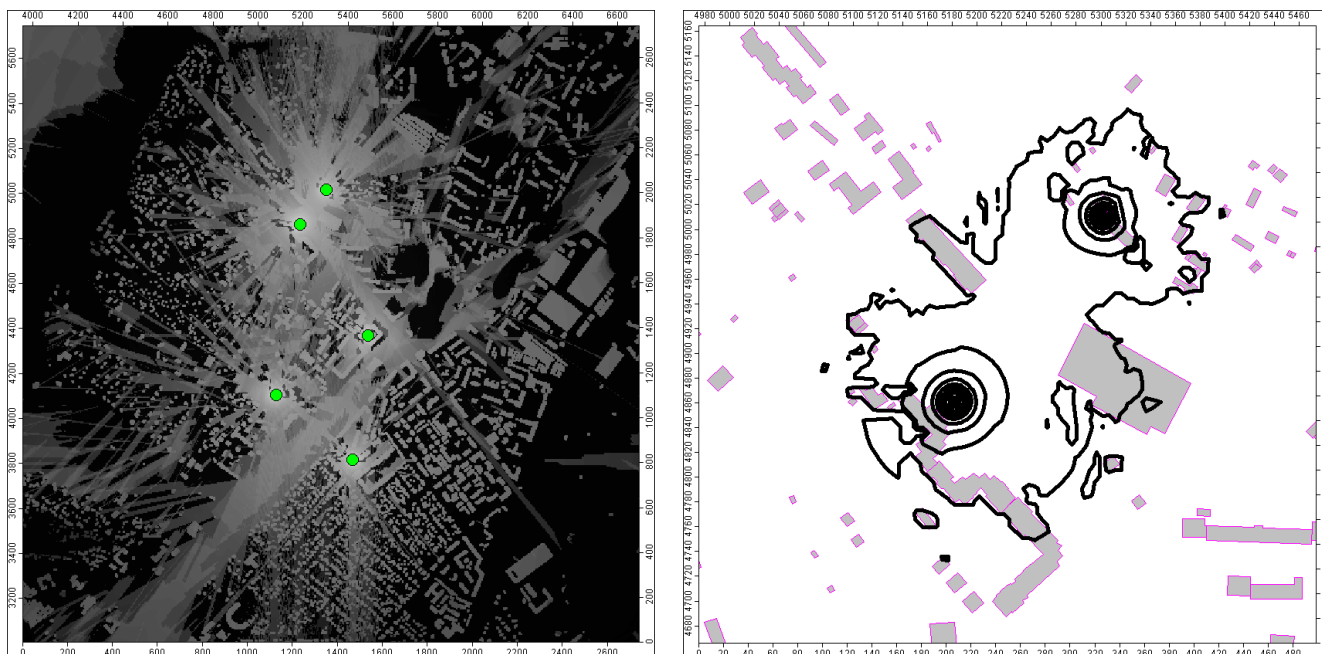
Таким образом, формирование методической базы электродинамических моделей заключается в создании *единой базы данных управления применением*. Каждой методике присваивается свой уникальный идентификатор и набор критериев применения. В свою очередь, идентификатор модели связан с программным модулем, реализующим алгоритмы вычисления компонент электромагнитного поля, соответствующие данной методике.

**Четвертый раздел** «Разработка геоинформационной системы электромагнитной безопасности» посвящен проектированию программного комплекса ГИС ЭМБ, методикам решения задач электромагнитной безопасности с применением этого комплекса, а также использованию ГИС ЭМБ для практического решения различных классов задач электромагнитной безопасности телекоммуникационных систем.

В первой части раздела рассматриваются архитектура программного комплекса ГИС ЭМБ и его основных компонент: графического интерфейса пользователя, библиотек модулей и интерфейса программирования.

Во второй части раздела рассматриваются алгоритмы работы с программным комплексом при решении различных задач электромагнитной безопасности с подробным описанием интерфейса пользователя ГИС ЭМБ.

Третья часть раздела полностью посвящена решению различных классов задач электромагнитной безопасности телекоммуникационных систем с применением ГИС ЭМБ. Рассмотрен класс задач, связанный с оценкой электромагнитной обстановки при изменении эксплуатационных параметров излучающих технических средств. Приведены примеры решения задач, связанных с электромагнитным мониторингом территорий по заданным критериям. Рассмотрено решение задач оптимизация размещения излучающих технических средств на выделенной территории по заданным критериям, определения предельно допустимых эксплуатационных параметров телекоммуникационных систем по критериям электромагнитной безопасности. Рассматриваются примеры общего мониторинга электромагнитной обстановки на территории и составления карт электромагнитного рельефа местности (рисунок 1).



**Рис. 1** Карты электромагнитного рельефа

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

Отмечено, что цель работы - разработка методов и инструментов оценки электромагнитной безопасности телекоммуникационных систем на основе геоинформационных технологий – достигнута. При этом решению данной задачи предшествовали классификация излучающих технических средств, разработка методик и алгоритмов оптимизации пространственного распределения излучателей, разработка фрагментов методик расчета электромагнитной обстановки на больших территориях. В рамках геоинформационных технологий были разработаны принципы построения, структура и программное обеспечение геоинформационной системы решения задач электромагнитной безопасности и анализа электромагнитной обстановки на больших территориях.

Разработаны алгоритмы оптимизации пространственного размещения излучающих объектов телекоммуникационных систем.

В рамках процесса интеграции геоинформационных технологий и электродинамического моделирования были разработаны методики формирования пространственных данных для электродинамических моделей, позволяющие значительно ускорять анализ электромагнитной обстановки на больших территориях.

Учитывая сложность мониторинга электромагнитной обстановки на больших территориях, были разработаны методики расчета компонент электромагнитного поля, позволяющие комбинировать статистический и детерминистический подходы к электродинамическому моделированию.

Разработанные методики и алгоритмы воплотились в программном комплексе ГИС ЭМБ – Геоинформационной Системе Электромагнитной Безопасности. В состав ГИС ЭМБ вошли модули пространственного анализа телекоммуникационных систем и модули подготовки пространственных данных для электромагнитного мониторинга.

В перспективе рассмотренные принципы электромагнитного мониторинга больших территорий и решения задач электромагнитной безопасности телекоммуникационных систем, реализованные в виде программных комплексов, могут быть использованы различными государственными службами и телекоммуникационными предприятиями в качестве эффективного инструмента контроля электромагнитной обстановки на территории.

В приложениях приведены акты внедрения результатов диссертационной работы.

### СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Сивков, В.С. Визуализация электромагнитной обстановки на больших территориях / В.С. Сивков // V Междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций»: материалы конференции. - Самара, 2004. – С. 208-209.
2. Сивков, В.С. Электродинамические модели в системах электромагнитного мониторинга / В.С. Сивков // XII Российская науч. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников, аспирантов: материалы конференции. - Самара, 2005. - С. 228-230.
3. Сивков, В.С. Представление излучающих технических средств как виртуальных объектов информационных систем / В.С. Сивков // XII Российская науч. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников, аспирантов: материалы конференции. - Самара, 2005. - С. 230-232.
4. Сивков, В.С. Геоинформационные системы в электромагнитной экологии / В.С. Сивков // IX Междунар. экологическая конф. студентов и молодых ученых «Экологическая безопасность как ключевой фактор устойчивого развития»: материалы конференции. - Москва, 2005. – С 13-14.
5. Сивков, В.С. Сподобаев, Ю.М. Проблемы создания геоинформационных систем / В.С. Сивков, Ю.М. Сподобаев // 6-ой Междунар. симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии: материалы симпозиума. - Санкт-Петербург, 2005. – С. 241-243.
6. Довбыш, В.Н. Маслов, М.Ю. Ружников, В.А. Сивков, В.С. Сподобаев, Ю.М. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ. Расчет электромагнитных полей распределительных и оконечных устройств сетей энергоснабжения / В.Н. Довбыш, М.Ю. Маслов, В.А. Ружников, В.С. Сивков, Ю.М. Сподобаев // Методические указания, утвержденные Министром природных ресурсов и охраны окружающей среды Самарской области. – Самара, 2005.
7. Сивков, В.С. Сподобаев, Ю.М. Инструменты экологического мониторинга электромагнитной обстановки / В.С. Сивков, Ю.М. Сподобаев // XXXIII Всероссийский семинар «Актуальные вопросы охраны окружающей среды. Программное обеспечение для экологов»: материалы семинара. – Москва, 2005. – С. 9-10.
8. Сивков, В.С. Сподобаев, Ю.М. Геоинформационные технологии в телекоммуникационном образовании / В.С. Сивков, Ю.М. Сподобаев // XIII юбилейная российская науч. конф. профессорско-преподавательского состава, науч.

- сотрудников и аспирантов: материалы конференции. – Самара, 2006. – С. 251.
9. Сивков, В.С. Геоэкологическое картографирование электромагнитной обстановки / В.С. Сивков // XIII юбилейная российская науч. конф. профессорско-преподавательского состава, науч. сотрудников и аспирантов: материалы конференции. – Самара, 2006. – С. 155.
  10. Сивков, В.С. Проблемы создания электромагнитного рельефа на больших территориях / В.С. Сивков // XIII юбилейная российская науч. конф. профессорско-преподавательского состава, науч. сотрудников и аспирантов: материалы конференции. – Самара, 2006. – С. 156.
  11. Довбыш, В.Н. Сивков, В.С. Сподобаев, Ю.М. Визуализация электромагнитной обстановки, создаваемой телекоммуникационными техническими средствами, расположенными на больших территориях / В.Н. Довбыш, В.С. Сивков, Ю.М. Сподобаев // Научно-технический и теоретический журнал «Антенны». – 2006.- № 10 (113). – С. 58-62.
  12. Сивков, В.С. Пространственный анализ телекоммуникационных систем на территории мегаполиса / В.С. Сивков // VI Междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций»: материалы конференции. - Самара, 2006.- С. 298-300.
  13. Сивков, В.С. Проблемы картографирования электромагнитной обстановки / В.С. Сивков // XIII Междунар. науч.-техн. конф. «Радиолокация, навигация, связь»: материалы конференции. - Воронеж, 2007. – С. 2135 – 2140.
  14. Довбыш, В.Н. Сивков, В.С. Сподобаев, Ю.М. Визуальное представление электромагнитной обстановки на территории мегаполиса / В.Н. Довбыш, В.С. Сивков, Ю.М. Сподобаев // XIII Междунар. науч.-техн. конф. «Радиолокация, навигация, связь»: материалы конференции. - Воронеж, 2007. – С. 2036 – 2041.
  15. Довбыш, В.Н. Сивков, В.С. Цифровая электромагнитная модель местности / В.Н. Довбыш, В.С. Сивков // Научно-технический и информационно-аналитический журнал «Инфокоммуникационные технологии». – 2007. - № 1. – С. 85 – 88.
  16. Сивков, В.С. Геоинформационные сети и телекоммуникационные системы / В.С. Сивков // VI Междунар. науч.-техн. конф. «Физика и технические приложения волновых процессов»: материалы конференции, приложение к журналу «Физика волновых процессов и радиотехнические системы». – Казань, 2007. – С. 308-309.