

На правах рукописи



ЛОГВИНОВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ
ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ЭМС И
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ
БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СЕТЕЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ В
СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ**

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства
телекоммуникаций».

Самара 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном бюджетном учреждении высшего профессионального образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (ФГОБУ ВПО ПГУТИ)

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Тяжев Анатолий Иванович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор, декан факультета телекоммуникаций и радиотехники, заведующий кафедрой мультисервисных сетей и информационной безопасности ФГОБУ ВПО ПГУТИ

Карташевский Вячеслав Григорьевич

кандидат технических наук, начальник научного отдела 3 ФГУП НИИР Самарского филиала «Самарское отделение научно-исследовательского института радио» г. Самара

Севостьянов Сергей Викторович

Ведущая организация: Самарский государственный технический университет

Защита диссертации состоится 20 апреля 2012 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д219.003.02 в Поволжском государственном университете телекоммуникаций и информатики по адресу:

443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, 23.

С диссертацией соискателя можно ознакомиться в библиотеке ПГУТИ.

Автореферат разослан 19 марта 2012 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д219.003.02,

доктор технических наук, профессор



Мишин Д. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В результате бурного развития сотовых сетей подвижной связи во всем мире количество абонентов в последние годы росло в них практически по экспоненциальному закону. За последние 15 лет оно увеличилось примерно до 1,5 млрд. Такие темпы роста не имеют прецедента в истории электросвязи и выглядят действительно чудом. Для огромного числа людей сотовый телефон стал незаменимым как в личной жизни, так и в профессиональной деятельности. Сети сотовой связи явились эффективным катализатором общественных процессов, способствуя ускорению решения многочисленных проблем, возникающих в разных сферах жизни.

Интенсивное развитие систем персональной радиосвязи привело к их значительной концентрации даже в сельской местности. Следствием этого явилось усложнение электромагнитной обстановки (ЭМО) и возрастание как внутрисистемных (внутри одной сети), так и межсистемных (между различными сетями) помех, что вызвало проблему совместного функционирования радиоэлектронных средств. Перспективы развития систем персональной радиосвязи, в том числе сотовой, в значительной степени зависят от корректного и рационального планирования, проводимого с помощью специальных геоинформационных систем. Однако развитие технологий планирования отстает от развития радиотелекоммуникационных систем, что усложняет развивающуюся ситуацию и приводит к накоплению проблем создания таких систем.

Ответить на вопрос: будет ли определенная сеть сотовой связи (ССС) функционировать в данной ЭМО, создаваемой излучениями базовых и мобильных станций, как данной сети, так и других ССС, а также других источников радиоизлучений и помех, с требуемым качеством, позволяет решение задачи оценки ЭМС.

Решение задачи определения оптимального места расположения базовых станций ССС в условиях сельской местности является также немаловажной задачей. В сельской местности число абонентов невелико и при правильном расположении базовых станций на местности можно значительно увеличить зону покрытия не увеличивая их количество. Это, с одной стороны, реализует один из основных принципов мобильной связи, формулируемый как «связь в любое время и в любом месте», с другой стороны, минимизирует затраты.

В настоящий момент разработано достаточное количество методов и методик решения указанных задач. Однако они не универсальны и позволяют решать задачи ЭМС и определения оптимального расположения базовых станций (БС) для частных случаев или задачи решаются с некоторыми допущениями и погрешностями, либо разработаны для городских условий.

Работа соответствует п. 11 «Разработка научно-технических основ технологии создания сетей, систем и устройств телекоммуникаций и обеспечения их эффективного функционирования» и п. 14 «Разработка методов исследования, моделирования и проектирования сетей, систем и

устройств телекоммуникаций» в части защиты приложений паспорта специальности 05.12.13 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Целью диссертационной работы является разработка и исследование элементов универсальной экспертной системы, позволяющих решать задачи ЭМС и оптимизации положения базовых станций в сельской местности по критерию максимизации зоны уверенного приема. В связи с вышеизложенным можно выделить следующие **основные задачи диссертационной работы:**

- исследование и сравнительная оценка существующих методик расчета электромагнитной совместимости и расположения базовых станций в сетях сотовой связи;

- разработка программного продукта, позволяющего на основе существующих методик и исходных данных (поляризации антенн, мощности передатчиков, минимальной напряженности поля в точке приема и т.д.) оценить ЭМС различных РЭС и предложить их рациональное расположение;

- определение зоны уверенного приема в сетях сотовой связи для сельской местности на основе теории поверхностей и дифференциальной геометрии;

- разработка элементов экспертной системы, позволяющих определять электромагнитную совместимость радиоэлектронных средств и оптимизировать сеть сотовой связи в сельской местности по критерию максимизации уверенного приема.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Для определения зоны уверенного приема в сетях сотовой связи в сельской местности используется теория поверхностей и дифференциальная геометрия, что повышает точность расчетов, снижает вычислительные затраты.

2. Разработан алгоритм расчета оптимального расположения базовых станций в сети сотовой связи для сельской местности, обеспечивающий максимальную зону уверенного приема при заданном числе базовых станций.

Обоснованность и достоверность результатов подтверждается следующим:

- для оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств использованы известные методики и рекомендации, произведено сравнение полученных автором результатов с экспериментальными данными, полученными другими исследователями;

- при исследовании работы элементов экспертной системы применялось моделирование на ЭВМ и производилось сравнение отдельных результатов с данными, приведенными в литературе и апробированными в организациях, где использовались материалы диссертации.

Практическая ценность работы состоит:

- в разработке программного продукта, позволяющего на основе теории графов и существующих методик исследовать электромагнитную совместимость как однородных РЭС, так и РЭС различного назначения;
- в разработке алгоритмов и программы, позволяющих оценивать электромагнитную совместимость и проектировать сети сотовой связи в сельской местности с оптимальным расположением БС по критерию максимизации зоны уверенного приема.

В работе использованы положения теории криволинейных поверхностей, тензорного исчисления, дифференциальной геометрии, условий распространения радиоволн, теории графов.

Результаты диссертационной работы в виде программного продукта и конкретных расчетных данных нашли применение в открытом акционерном обществе «Средневолжская межрегиональная ассоциация радиотелекоммуникационных систем» и в филиале ФГУП «Радиочастотный центр» Приволжского федерального округа, о чем свидетельствуют полученные акты о внедрении.

Отдельные результаты работы внедрены в учебный процесс на кафедре радиосвязи, радиовещания и телевидения Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 69 наименований и двух приложений, в целом содержит 136 страниц текста, в том числе 32 рисунка и 4 таблицы (без приложения).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель определения зоны уверенного приема в сетях сотовой связи в сельской местности с учетом рельефа местности и застройки на основе теории поверхностей и дифференциальной геометрии.
2. Программный продукт, позволяющий на основе существующих методик производить оценку ЭМС сетей сотовой связи с учетом поляризации радиоволн и антенн.
3. Алгоритм расчета оптимального расположения базовых станций в сельской местности с учетом рельефа местности как элемента базы знаний экспертной системы.

Основные результаты работы обсуждались на XIV Российской научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, г. Самара, 2007; XV Российской научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, г. Самара, 2008г., XVI Российской научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, г. Самара, 2009г., XVII Российской научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных

сотрудников и аспирантов, г. Самара, 2010г., XVIII Российской научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, г. Самара, 2011г., XIX Российской научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, г. Самара, 2012г.

По материалам диссертации опубликовано 10 работ, в том числе 3 статьи в журнале «Инфокоммуникационные технологии», включенном в перечень ВАК, и свидетельство об отраслевой регистрации электронного ресурса.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены цели и задачи исследования, показана новизна и практическая ценность работы, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В главе 1 "Обзор существующих методик расчета электромагнитной совместимости и оптимального расположения базовых станций сетей сотовой связи" дан обзор современных методик расчета ЭМС. Показано, что основным методом оценки ЭМС является математическое моделирование, в том числе компьютерный эксперимент, проводимый на основе математических моделей излучений радиопередатчиков (РПД), восприимчивости радиоприемников (РПУ), характеристик антенно-фидерных устройств (АФУ), условий распространения радиоволн с учетом рельефа местности, различных шумовых и помеховых воздействий, а также процессов взаимовлияния радиоэлектронных средств (РЭС) друг на друга.

Существуют детерминированный и статистический подходы к оценке ЭМС.

Классический детерминированный подход к оценке ЭМС РЭС заключается в анализе "дуэльных ситуаций", когда оценка ЭМС производится для двух РЭС с известными параметрами, одно из которых рассматривается в качестве приемника полезного сигнала, а второе РЭС является источником непреднамеренных радиопомех. Выделяют также "комбинационные ситуации", когда взаимные помехи образуются в группе из трех и более РЭС.

В работе поставлена и решается следующая задача: задана группа однородных РЭС $\{N_i\}, i = 1 \dots N$, размещенных в территориальном районе $\{A \times A\}$ таким образом, что матрица взаимных удалений имеет вид $\|R_{ij}\|$, $R_{ij} \neq 0, i, j = 1 \dots N$, а степень взаимовлияния РЭС в дуэльных ситуациях определяются функцией частотно-территориального разноса $\Delta f_{ij}(R_{ij})$, допускающей аппроксимацию релейной функции вида:

$$\Delta f_{ij}^{(II)} = \Delta f_0 [\Theta(R_{ij}) - \Theta(R_{ij} - R_0)], \quad (1)$$

где Δf_0 - минимально допустимая частотная расстройка при $0 < R_{ij} < R_0$, R_0 - максимальная дальность взаимовлияния, $\Theta(R)$ - функция Хевисайда:

$$\Theta(R) = \begin{cases} 1, & \text{при } R > 0, \\ 0, & \text{при } R \leq 0. \end{cases}$$

Соотношение (1) характеризует взаимовлияние РЭС в дуэльной ситуации с учетом основных каналов излучения и приема.

Принципиальным недостатком детерминированных способов оценки ЭМС является невозможность анализа большой совокупности взаимодействующих РЭС с априорно неизвестными параметрами, что характерно для систем сотовой связи. Здесь необходимо оценивать совокупное воздействие множества независимых сигналов на РЭС, характеризующихся различными структурами и алгоритмами функционирования, а также наличием случайных параметров.

Оценка ЭМС при большой совокупности взаимодействующих РЭС связана со сложностью построения математической модели ее функционирования, характеризующейся случайными факторами: количеством мобильных станций (МС), временем их работы и местоположением МС, случайными физическими процессами в канале радиосвязи, а для сети с кодовым разделением каналов (CDMA) еще и двусторонним управлением мощностью передатчиков МС и БС.

Статистический подход к оценке ЭМС основан на задании статистических распределений параметров РЭС (координаты, частоты, мощности излучений и др.), расчете статистических характеристик ЭМО и статистической оценке воздействия ЭМО на РЭС.

Из вышеизложенного вытекает задача: задана группа из $\{N_i\}, i = 1 \dots N$ однородных сетей сотовой связи, размещаемых в общем территориальном районе $A \times A$ и сетка $\{f_m\}, m = 1 \dots M$ присваиваемых сетям частот. МС каждой сети размещаются случайным образом в зонах радиусом R_a . Количество МС каждой сети и их активность таковы, что обеспечивается 100% загрузка ее рабочей частоты. Центры зон различных сетей размещаются в территориальном районе $A \times A$ случайным образом по равномерному закону. Взаимовлияние между МС соседних сетей работающих на совпадающих частотах, отсутствует при выполнении следующей системы неравенств:

$$\begin{cases} R_{1_i k_i} < q \cdot \min(R_{1_j 1_i}, R_{1_j k_i}, R_{k_j 1_i}, R_{k_j k_i}), \\ R_{1_j k_j} < q \cdot \min(R_{1_i 1_j}, R_{1_i k_j}, R_{k_i 1_j}, R_{k_i k_j}), \end{cases}$$

где $R_{1_i k_j}$ - расстояние между МС i -той сети и k -той МС j -той сети, $q \leq 1$ - защитный коэффициент по расстоянию, имеющий аналогичный смысл с защитным отношением сигнал/помеха.

Требуется оценить ЭМС так, чтобы вероятность взаимовлияния хотя бы одной пары сетей не превышала допустимой (P_{don}).

Для решения этой задачи прежде всего необходимо определить зависимость вероятности взаимовлияния между МС двух сетей в зависимости от взаиморасстояния центров зон размещения сетей и величины радиусов этих зон $P_{взlj} = \Phi(R_{lj}, R_a)$. Задача может быть решена методом статистических испытаний. В зонах i -той и j -той сетей случайным образом размещается по паре МС (l, k) , вычисляются необходимые расстояния

$R_{l_i k_j}, R_{l_i k_i} \dots$ и проверяется выполнение соотношения. Полученная зависимость $P_{\text{вз}ij}(R_{ij}/R_a)$, аппроксимируется соотношением вида:

$$P_{\text{вз}ij} = \begin{cases} \exp \left(0.09 + 0.07 \frac{R_{ij}}{R_a} + 5.2 \cdot 10^{-3} \frac{R_{ij}^2}{R_a^2} + 0.08 \frac{R_{ij}^3}{R_a^3} \right) & \text{при } 0 \leq R_{ij} \leq 4R_a \\ 0, & \text{при } R_{ij} > 4R_a \end{cases}$$

Полученная зависимость используется для определения характеристик вероятностного графа, отображающего условия взаимовлияния сетей в рассматриваемом районе. По случайному закону с равномерной плотностью распределения в территориальном районе формируется реализация положения центров зон размещения МС сетей сотовой связи и вычисляется матрица их взаиморасстояний $\|R_{ij}\|$, которая с помощью соотношения отображается в матрицу вероятностей взаимовлияния МС различных сетей $\|P_{\text{вз}ij}\|$ при работе на совпадающих частотах в данной реализации их положения в территориальном районе. Матрице $\|P_{\text{вз}ij}\|$ ставится в соответствие вероятностный граф G , в котором вершины i, j считаются смежными (соединены ребром с весом $P_{\text{вз}ij}$), если $P_{\text{вз}ij} \neq 0$. Задача оценки ЭМС решается методом раскраски вероятностного графа G .

Основным недостатком данных методов является существенное упрощение моделей распределения случайных параметров РЭС с целью получения их статистических характеристик аналитическими методами, что на практике приводит к некорректным статистическим выводам.

В главе 2 "Исследование электромагнитной совместимости различных сетей сотовой связи" на основе существующих методик и рекомендаций разработан алгоритм исследования ЭМС сетей сотовой связи. Для примера выбрано межсистемное взаимодействие сотовых систем связи стандартов EGSM-900 и CDMA-800.

Уравнение ЭМС РЭС может быть записано в следующем виде [Л1]:

$$P_{\text{МИН}} - P_{\text{ОГ}} \geq A + k \cdot (\sqrt{2} - 1) \cdot \sigma \quad (2)$$

где $P_{\text{МИН}}$ - чувствительность РПМ (рецептора радиопомех), дБВт; A - защитное отношение РПМ в совмещенном канале, дБ; $k \cdot (\sqrt{2} - 1) \cdot \sigma$ - запас на замирания сигнала и радиопомехи, дБ; $P_{\text{ОГ}}$ - мощность радиопомехи на входе РПМ, дБВт.

$$P_{\text{ОГ}} = P_{\text{РПД}} + G_{\text{РПД}}(\varphi_{\text{РПМ}}) + G_{\text{РПМ}}(\varphi_{\text{РПД}}) + U_{\text{РПД}} + U_{\text{РПУ}} + N(\delta f) - L(R), \quad (3)$$

Где $P_{\text{РПД}}$ - мощность радиопередатчика источника радиопомех, дБВт;
 $G_{\text{РПД}}(\varphi_{\text{РПУ}})$ - коэффициент усиления антенны РПД в направлении на РПУ, дБ;
 $G_{\text{РПУ}}(\varphi_{\text{РПД}})$ - коэффициент усиления антенны РПУ в направлении на РПД, дБ;
 $U_{\text{РПД}}, U_{\text{РПУ}}$ - затухание в антенно-фидерном тракте РПД и РПУ, дБ;
 $N(\delta f)$ - ослабление радиопомехи в линейном тракте РПУ, дБ;

$\delta f = f_{\text{РПД}} - f_{\text{РГУ}}$ – частотная расстройка, МГц; $L(R)$ - потери на трассе распространения сигналов от источника радиопомех) к РПУ (рецептору радиопомех), дБ.

Результаты расчета ЭМС сотовых систем связи EGSM-900 и CDMA-800 показывают следующее: разнос БС систем CDMA и EGSM на расстояние 410 и более метров обеспечивает ЭМС БС этих систем. Это расстояние можно уменьшить, применяя специальные преселекторы и/или фильтры.

Разнос МС систем CDMA и EGSM на расстояние 15 и более метров обеспечивает ЭМС МС этих систем. Но, т.к. расстояние между МС - случайный фактор, обеспечить защитное расстояние между МС нельзя. Если принять, что МС будут находиться на расстоянии не ближе 0,5 м, то из-за мешающего сигнала МС EGSM, зона обслуживания БС CDMA уменьшается.

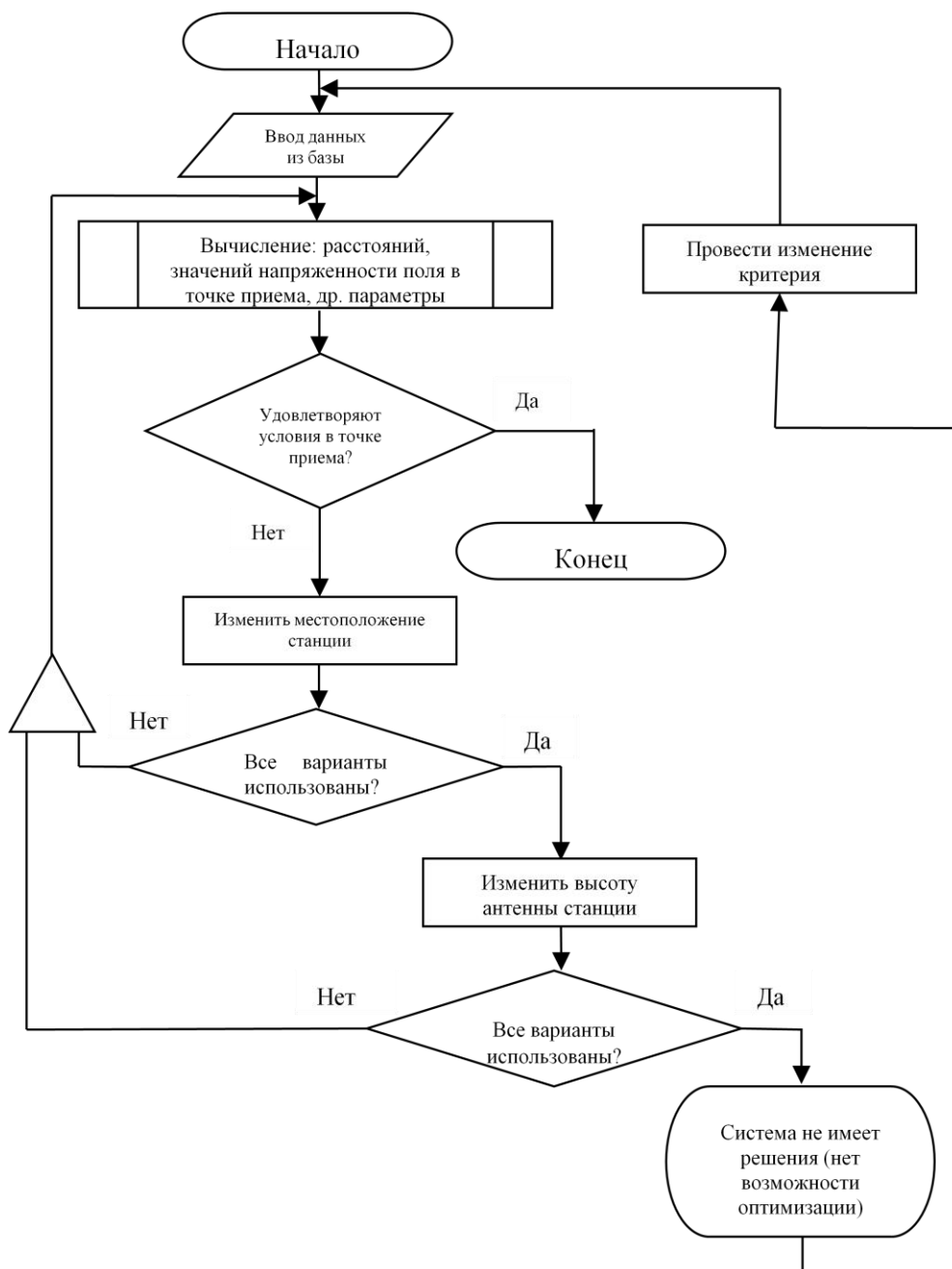


Рис. 1. Блок-схема алгоритма программы

Здесь же на основе теории графов разрабатывается алгоритм и программа, позволяющая оценивать ЭМС различных типов РЭС и БС сетей сотовой связи. Данное программное средство зарегистрировано в отраслевом фонде алгоритмов и программ [4].

Программа позволяет на основе технических характеристик БС и различных типов РЭС (несущей частоты, типа поляризации антенн, высоты их подъема, мощности передатчика, приоритетности и т.д.) и особенностей среды распространения радиосигнала (типа местности) оценить электромагнитную обстановку заданного района. Кроме этого имеется возможность оценить взаимное влияние проектируемой БС и уже действующих в данном районе РЭС с точки зрения ЭМС.

Алгоритм программы изображен на рис. 1.

В главе 3 "Применение теории поверхностей и дифференциальной геометрии для определения местоположения базовых станций сельской местности" предлагается математическая модель застройки и рельефа местности на основе теории криволинейных поверхностей и дифференциальной геометрии, которая позволяет оптимизировать расположение БС сетей сотовой связи с точки зрения максимизации зон уверенного приема.

С математической точки зрения мы имеем, как минимум, две поверхности, одна из которых является поверхностью рельефа местности, а вторая воображаемая поверхность, образована фронтом радиоволн, излучаемых антенной БС. Эти две поверхности в некоторых областях, называемых областью уверенного приема, примыкают друг к другу (рис. 2а). Очевидно, что при разумном размещении БС мы расширим область уверенного приема.

На рис. 2б показаны эти же зоны уверенного приема в горизонтальной плоскости, причем радиус окружности соответствует зоне уверенного приема.

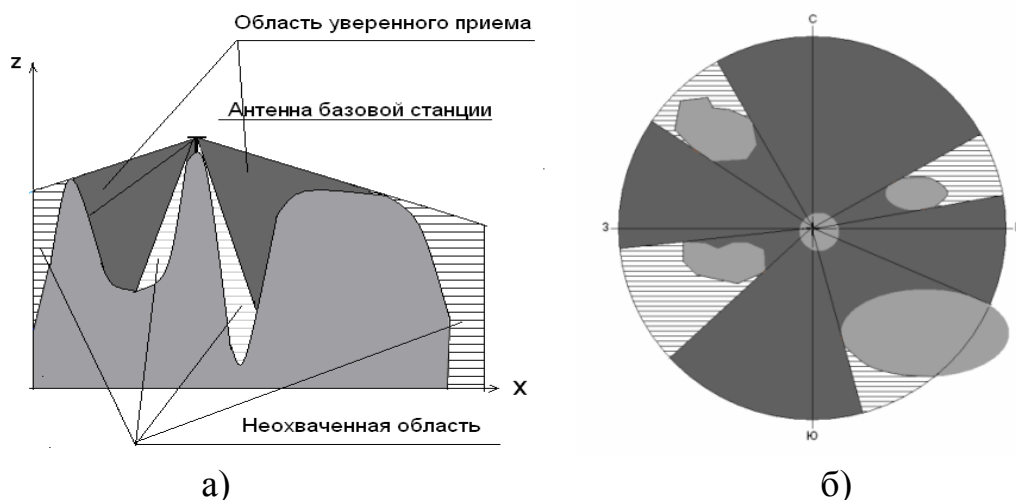


Рис. 2. а) Рельеф местности и области уверенного приема, б) Зоны уверенного приема и зоны, находящиеся в тени

Для пересеченной местности мы имеем $w = f(x, y)$, где w – высота точки поверхности с координатами x, y . Эти данные представлены в табличном виде и являются результатом геодезической съемки (геоинформация).

Этой функции можно поставить во взаимно-однозначное соответствие поверхность, погруженную в обычное евклидово пространство R^3 , с декартовыми координатами x, y, w . В цилиндрических координатах r, φ, w поверхность будет описываться функцией $w = f(r, \varphi)$ (рис. 3). На поверхность наложена криволинейная сетка поверхностных координат. Например, l_x, l_y – поверхностные криволинейные координаты, которые получаются в результате сечения поверхности семейством вертикальных плоскостей WOX и WOY (рис. 3). В цилиндрических координатах можно ввести криволинейные координаты l_r, l_φ , где l_r – криволинейный радиус, получаемый с помощью сечения поверхности плоскостью WOR , а $l_\varphi = r\varphi$ – дуга окружности. Задаваемые таким образом на поверхности криволинейные координаты являются в общем случае косоугольными – углы между координатными линиями на поверхности не всегда прямые, как в случае ортогональных координат.

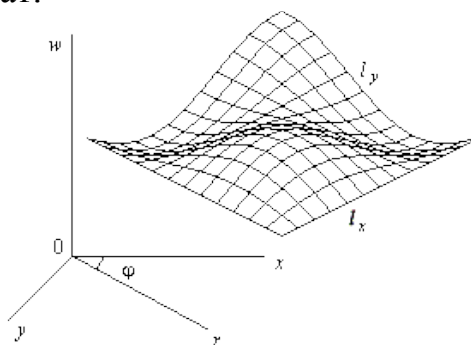


Рис. 3. График поверхности в декартовых координатах

Введем угол наклона касательной θ_x к кривой, получаемой сечением поверхности $w = f(x, y)$ вертикальной плоскостью WOX , в текущей точке x . Аналогично углы θ_y и θ_r вводятся для цилиндрической системы координат.

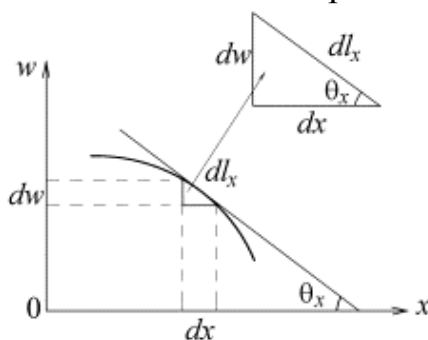


Рис. 4. Сечение WOX поверхности $w = f(x, y)$

Запишем основные выражения, связывающие дифференциалы в декартовой системе координат dx, dy и в криволинейной системе координат dl_x, dl_y . Имеем в сечениях WOX (рис. 4) [Л2];

$$\partial l_x = \sqrt{1 + \left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2} \partial x, \quad (4)$$

$$\partial x = \partial l_x \cos \theta_x, \quad \partial l_x^2 = \partial w^2 + \partial x^2,$$

$$\partial w = \partial l_x \sin \theta_x, \quad \frac{\partial w}{\partial x} = \operatorname{tg} \theta_x, \quad (5)$$

$$\text{для сечений WOY: } \partial y = \partial l_y \cos \theta_y, \quad \partial w = \partial l_y \sin \theta_y, \quad \frac{\partial w}{\partial y} = \operatorname{tg} \theta_y. \quad (6)$$

Соответствующие формулы верны и в цилиндрических координатах для сечения WOR. Формулы (5) задают неявно связь между декартовыми переменными и криволинейными длинами на поверхности, в общем случае $x(l_x, l_y), y(l_x, l_y), z(l_x, l_y, \theta_x, \theta_y)$.

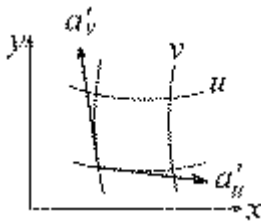


Рис. 5. Малый элемент

Рассмотрим малый элемент площади dS_0 в плоскости (x, y) (рис. 5). Под малым элементом будем понимать элемент поверхности, соизмеримый с длиной волны радиосигнала.

Введем радиус-вектор

$$\vec{a} = (x(u, v), y(u, v)). \quad (7)$$

Его дифференциал в произвольном направлении [Л2]:

$$\partial \vec{a}_i = (x'_i \partial l, y'_i \partial l). \quad (8)$$

Площадь малого элемента dS_0 построим как модуль векторного произведения двух векторов:

$$\partial S_0 = |\partial \vec{a}_u \times \partial \vec{a}_v| = \begin{vmatrix} i & j & k \\ x'_u \partial u & y'_u \partial u & 0 \\ x'_v \partial v & y'_v \partial v & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x'_u & y'_u \\ x'_v & y'_v \end{vmatrix} \partial u \partial v = J \partial u \partial v, \quad (9)$$

где J – определитель матрицы Якоби (якобиан) перехода для любой точки M криволинейного пространства, т.е. $dS_0 = dx dy = J du dv$.

Суммой значений dS_0 является площадь уверенного приема БС (S_R), размер которой зависит от местоположения БС и высоты подъема антенны.

Применение теории поверхностей, тензорного исчисления и аппарата дифференциальной геометрии позволяет определить местоположение БС для расширения зоны уверенного приема в сельской местности.

В главе 4 "Оптимальное расположение базовых станций на рельефе сельской местности с учетом электромагнитной совместимости" разрабатывается алгоритм для решения задачи выбора расположения базовых станций ССС при смешанном типе рельефа местности с учетом ЭМС. Здесь же рассмотрены вопросы создания компьютерной системы, позволяющей использовать как имеющиеся программные продукты, так и алгоритмы и программы, предложенные автором.

Алгоритм анализа влияния рельефа местности на оптимальное расположение БС с учетом вышеприведенных рассуждений и использованием предложенной математической модели, приведен на рис. 6.

Из баз знаний и данных выбирается функция, которая описывает поверхность рельефа местности. Производится расчет ее площади S_0 . После

этого начинается итерационный процесс по расчетам площади уверенного приема S_R для каждой базовой станции. При этом координаты каждой станции выбираются из условия максимального соотношения S_R/S_0 . При выборе оптимального расположения базовых станций учитывается зависимость значения элементарной площади ∂S_0 (9) от параметров, обусловленных различием свойств земной поверхности и неоднородностями структуры грунта. Программа завершает работу при максимальном соотношении

$\frac{\sum S_{R(n)} - \sum S_{пер(n)}}{S_0}$, где $\sum S_{пер(n)}$ – площадь перекрытия зон уверенного приема БС.

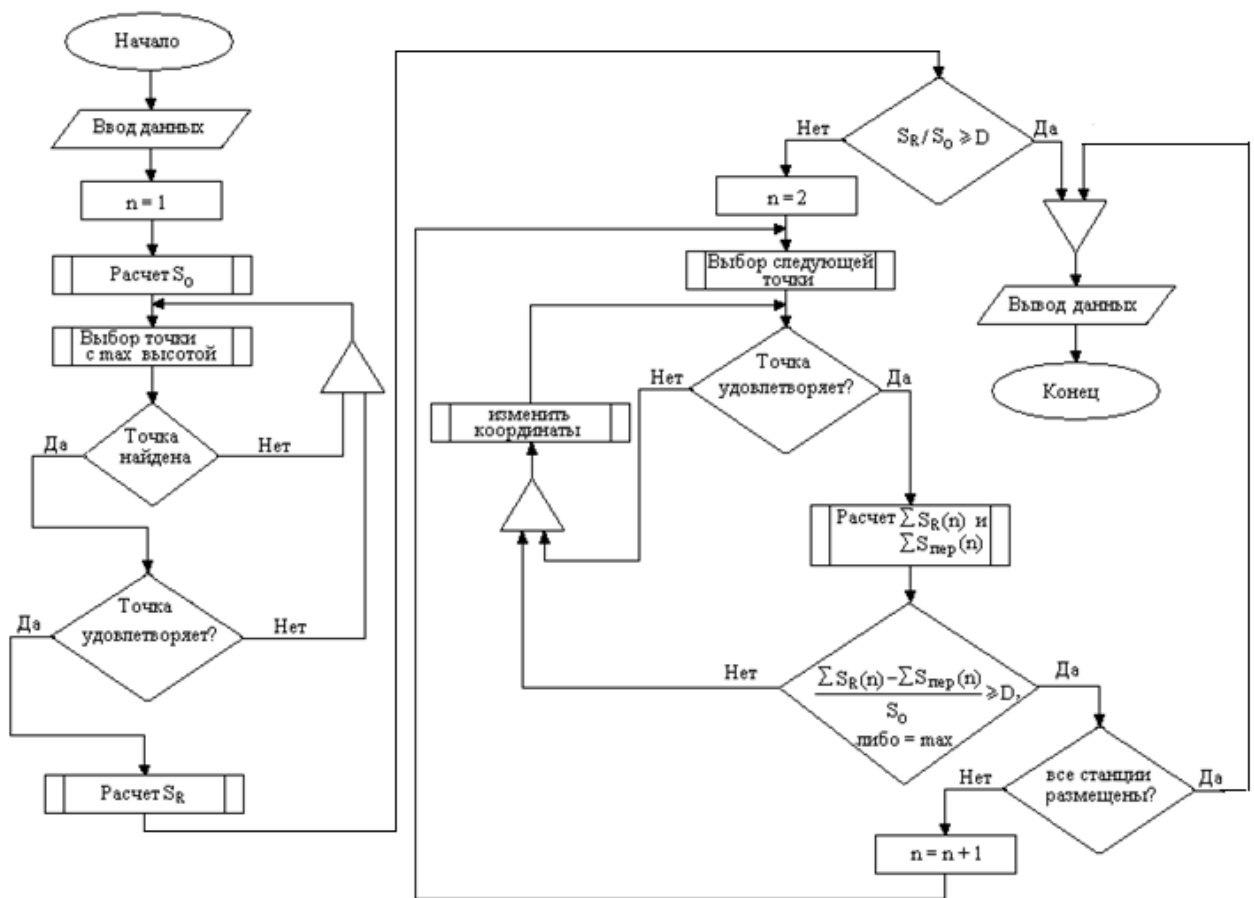


Рис. 6. Схема алгоритма анализа влияния рельефа местности на оптимальное расположение БС

Определение оптимального расположения БС – сложная многогранная задача, для решения которой требуется применение нескольких разноплановых программ. Все внешние программы могут быть объединены в базу знаний, тогда компьютерный комплекс превращается в экспертную систему, имеющую специальный настраиваемый интерфейс, совместимый с этой базой знаний.

В базу данных входят географические параметры данной местности (трехмерные координаты местности (x , y и z) и координаты БС, тип рельефа местности, его свойства, технические характеристики БС).

На рис.7 показана структура экспертной системы.



Рис. 7. Структура экспертной системы

При решении проблемы определения оптимального расположения БС с точки зрения максимизации зон уверенного приема целесообразно первоначально оценить электромагнитную обстановку и зоны возможного местоположения БС с точки зрения ЭМС с действующими РЭС. Для этого возможно применение программы, описанной в главе 2. Далее эксперт определяет участки местности, где установка БС технически невозможна или наоборот предпочтительна. С учетом предварительно определенных районов расположения БС производится расчет их оптимального расположения с точки зрения максимизации зон уверенного приема с помощью программы, описанной в главе 4.

В случае применения экспертной системы появляется возможность наиболее точно решать поставленную задачу, используя преимущества различных методов для решения конкретной задачи. Результаты этого решения будут зависеть от полноты и качества создания двух баз: базы знаний и базы данных.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработана программа, позволяющая на основе существующих методик оценить ЭМС различных РЭС. С точки зрения определения расположения БС программа определяет взаимное влияние проектируемой БС и уже действующих в данном районе РЭС с точки зрения ЭМС.
2. Для определения зоны уверенного приема в сетях сотовой связи сельской местности с учетом рельефа местности и застройки использована математическая модель на основе теории поверхностей и дифференциальной геометрии, что повышает точность расчетов, снижает вычислительные затраты.
3. Разработан алгоритм расчета оптимизации сети сотовой связи по критерию максимизации зоны уверенного приема. Область применения алгоритма –

местность с низкой плотностью населения и отсутствием высотных строений, т.е. в местах преимущественно прямолинейного распространения радиоволн.

4. Предложено использование разработанных программ и методик для оценки ЭМС РЭС и для определения местоположения базовых станций сетей сотовой связи в качестве элементов экспертной системы. Применение экспертной системы позволяет учесть многообразие и разнородность условий, возникающих при решении задачи оптимального расположения БС.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Логвинов А. В., Тяжев А. И. Методы оптимального присвоения частот [Текст]/Логвинов А. В., Тяжев А. И.// XV рос. науч. конф. ППС, науч. сотрудников и аспирантов: тез. докладов , 2008 г., г. Самара. – Самара, 2008. – С. 132-133.
2. Логвинов А. В. Оптимизация расположения базовых станций систем сотовой связи стандарта 3G [Текст]/ Логвинов А. В.// XVI рос. науч. конф. ППС, науч. сотрудников и аспирантов: тез. докладов , 2009 г., г. Самара. – Самара, 2009. – С. 133-134.
3. Логвинов А. В. Оптимизация числа базовых станций в условиях сильно пересеченной местности [Текст] / Логвинов А. В.// Инфокоммуникационные технологии. – 2009 . - №2 – С.41-45.
4. Логвинов А. В. Оптимизация расположения базовых станций в сетях поколения 3G// Свидетельство об отраслевой регистрации электронного ресурса № 00182.
5. Логвинов А. В. Алгоритмический подход к вопросу оптимизации расположения базовых станций в сетях сотовой связи с учетом обеспечения ЭМС [Текст]/ Логвинов А. В.// XVII рос. науч. конф. ППС, науч. сотрудников и аспирантов: тез. докладов , 2010 г., г. Самара. – Самара, 2010. – С. 122-123.
6. Логвинов А. В. Экспертная оценка анализа электромагнитной совместимости и оптимального места расположения базовых станций сетей сотовой связи [Текст] / Логвинов А. В.// Проблемы техники и технологии телекоммуникаций: тез. докладов IX МНТК, 2010г., г.Уфа. – Уфа, 2010. – С.204-205.
7. Логвинов А. В. Алгоритмический подход к вопросу оптимизации расположения базовых станций в сетях поколения 3G [Текст] / Логвинов А. В.// Инфокоммуникационные технологии. – 2010. - №4 С.64-67.
8. Логвинов А. В. Эспертная система анализа оптимального местоположения базовых станций сетей сотовой связи [Текст]/ Логвинов А. В.// XVIII рос. науч. конф. ППС, науч. сотрудников и аспирантов: тез. докладов , 2011 г., г. Самара. – Самара, 2011. – С. 137.
9. Логвинов А. В. Алгоритм оптимизации расположения антенн базовых станций сотовой связи в сельской местности [Текст] / Логвинов А. В.// Инфокоммуникационные технологии. – 2012. -№1 С.69-73.
10. Логвинов А. В. Оптимизация расположения базовых станций сотовой связи в сельской местности [Текст]/ Логвинов А. В.// XIX рос. науч. конф. ППС, науч. сотрудников и аспирантов: тез. докладов , 2012 г., г. Самара. – Самара, 2012. –С. 129.

СПИСОК ЦИТИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Л1. Тихвинский В. О. Сети подвижной связи третьего поколения. Экономические и технические аспекты развития в России. [Текст] / Тихвинский В. О. Под ред. члена-корреспондента РАН Зубарева Ю. Б. 2-е издание, исправленное и дополненное.М.: Радио и связь. – 2004. – 312 с.
- Л2. Нинул А. С. Тензорная тригонометрия. Теория и приложения. [Текст]/ Нинул А. С. М.: Мир. - 2004, 336 с.