СЕКЦИЯ 16

Радиофизические методы в исследованиях сред

Гаврилов В.М., Дементьев В.К., Назарова Ю.Ю., Никитин О.Р.
Анализ распределения электромагнитного поля,
создаваемого мобильным телефоном внутри головы человека

Герасимова О.В., Никитин О.Р., Яковлев В.В.
Радиометрический метод диагностики новообразований

Дорофеев Н.В.
Обнаружение Pi-2 сигналов в автоматизированных системах
научных исследований геомагнитного поля Земли

Епихин Е.В., Кузьминов А.В.
Обнаружение находящихся в грунте неметаллических предметов
с помощью радиолокатора со ступенчатым изменением рабочей частоты

Кириллов И.Н.
Геоинформационная система для мониторинга и прогнозирования
уровня акустического загрязнения окружающей среды

Никитин О.Р., Голихин А.В.
Моделирование радиотеплового зондирования растительных покровов
в восьмимиллиметровом диапазоне с подвижными платформами

Никитин О.Р., Кисляков А.Н., Шулятьев А.А.
Алгоритм радиометрического комплексирования данных
многоканального мониторинга земной поверхности

Орехов А.А.
Фазометрический принцип регистрации данных геодинамического контроля

Смирнов В.Ю.
Оценка зависимости параметров фокусировки ФАР
от диэлектрических проницаемостей слоистой среды

Стерликова И.В.
Исследование суточных изменений амплитуд
иррегулярных геомагнитных пульсаций
в области средних геомагнитных широт

В.М. Гаврилов
В.К. Дементьев
Ю.Ю. Назарова
О.Р. Никитин
Владимирский государственный университет
600000 г. Владимир, ул. Горького, д. 87
e-mail: olnikitin@mail.ru

Анализ распределения электромагнитного поля, создаваемого мобильным телефоном внутри головы человека

В настоящее время мобильная связь получила очень широкое распространение. В связи с этим не утихают дискуссии об опасной угрозе, создаваемой мобильным телефоном. Медики до сих пор не дали точный ответ о вреде, который причиняет мобильная трубка.

В данной работе предлагается оценить интенсивность поля, создаваемого мобильным телефоном в голове человека, применяя строгие электродинамические методы. Для решения этой задачи было выполнено компьютерное моделирование распределения поля в голове человека с применением пакета CST Microwave Studio 201. Модель головы человека с расположенным около нее мобильным телефоном представлена на рис. 1.

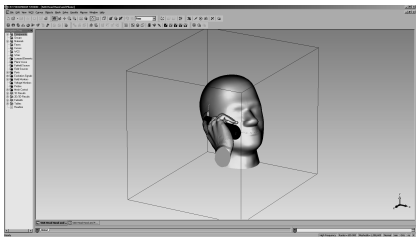

Рис.1

Современные мобильные телефоны GSM работают в двухдиапазонном режиме 900 … 1800 МГц. Соответственно моделирование было выполнено на двух частотах. Антенна, расположенная в мобильном телефоне, обладает диаграммами направленности с учетом влияния руки и головы человека, представленными на рис. 2 – 7.

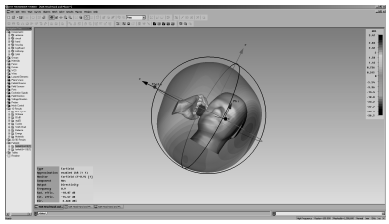

Рис. 2

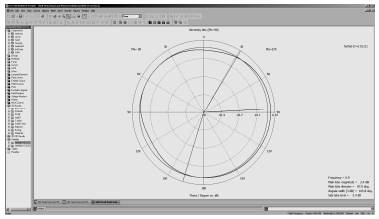

Рис. 3

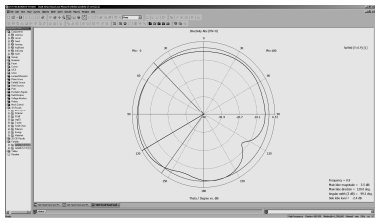

Рис. 4

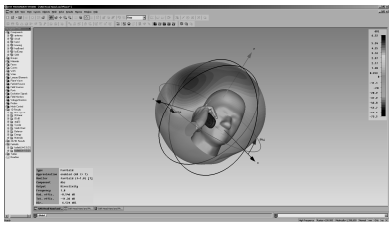

Рис. 5

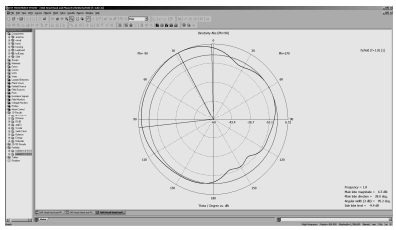

Рис. 6

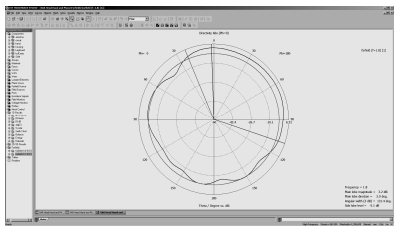

Рис. 7

Как видно из рис. 2 – 7 максимум диаграммы направленности направлен в сторону головы человека, но диаграмма направленности антенны характеризует поле в дальней зоны. Для оценки влияния излучения, создаваемого мобильным телефоном на голову человека, необходимо определить распределение поля в ближней зоне.

Рис. 8 – 11 показывают двух и трехмерное распределение электрического поля в ближней зоне на частотах 900 … 1800 МГц.

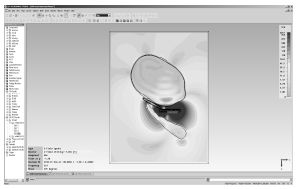

Рис. 8

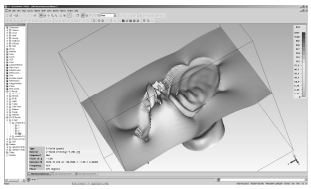

Рис. 9

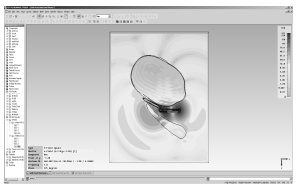

Рис. 10

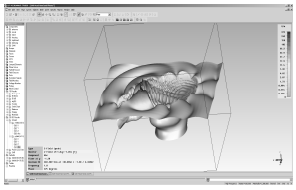

Рис. 11

Анализ поля в ближней зоне показал, что проникающая способность поля в нижнем диапазоне частот выше, чем на более высоких частотах, а соответственно и влияние излучения телефона сильнее в более низком диапазоне частот. Кроме этого видно, что большая часть энергии всё-таки отражается от головы человека, не оказывая влияние на головной мозг. Однако при этом видно, что часть мощности проникает в головные ткани человека. Распределение поглощаемой мощности на частотах 900 и 1800 МГц показаны на рис. 12 – 13.

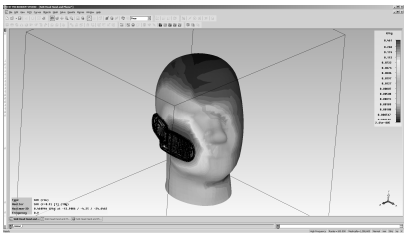

Рис. 12

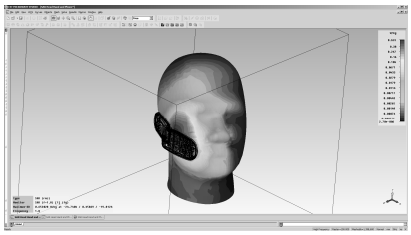

Рис. 13

Из рис.12 – 13 видно, что основная часть поглощаемой мощности рассеивается в области скулы человека, нагревая поверхностные ткани. При этом часть мощности проходит в голову человека, оказывая на нее существенное влияние.

В настоящее время для уменьшения влияния мобильного телефона на голову человека ведутся разработки антенн с так называемым пониженным уровнем поглощаемой мощности в голове человека.

Литература

1. Побаченко, С.В. Сопряженность параметров энцефалограммы мозга человека и электромагнитных полей шумановского резонатора по данным мониторинговых исследований / С.В. Побаченко, А.Г. Колесник // Биофизика.– 2006.– Т. 51. Вып. 3.– С. 534 – 538.

2. Побаченко, С.В. Влияние активации мобильных телефонов стандарта GSM на биоритмическую структуру электрогенеза мозга человека / С.В. Побаченко, А.В. Пономарёв // Биомедицинская радиоэлектроника.– 2009.– № 3.– С. 50 – 55.

3. Электромагнитное поле и здоровье человека / под ред. Ю.Г. Григорьева.– М., Изд-во РУДН, 2002.– С. 177.

О.В. Герасимова
О.Р. Никитин
В.В. Яковлев
Владимирский государственный университет
600000 г. Владимир, ул. Горького, д. 87
e-mail: olka405@yandex.ru;
e-mail: olnikitin@mail.ru

Радиометрический метод диагностики новообразований

В настоящее время рак молочной железы является наиболее распространенной патологией у женщин. На данный момент наблюдается тенденция к заболеванию раком во всё более раннем возрасте, поэтому в наши дни основной задачей является диагностика этого заболевания на ранних стадиях.

СВЧ-радиометрия занимает лидирующее положение среди неинвазивных методов определения глубинной температуры. Метод основан на оценке измерения температуры ткани на глубине 7 – 14 см в дециметровом диапазоне волн [1]. В качестве количественного критерия оценки используется градиент температуры. Полученные значения градиента температуры для каждой точки измерения подвергаются компьютерной обработке и выводятся на экран монитора или принтер в условных цветах, соответствующих конкретному интервалу температуры. В формировании термоасимметрической картины патологического очага лежат не количественное соотношение нормальной и патологической ткани, а качественные изменения, за счет которых и происходит изменение разности температур, связанное с формированием новой сосудистой сети, усилением метаболизма при злокачественных новообразованиях [2].

Метод радиотермометрии по своему принципу действия абсолютно безопасен и безвреден для пациентов и обслуживающего персонала, так как при исследовании производится измерение интенсивности собственного электромагнитного излучения тканей человека. Радиотермометрия обладает уникальной способностью обнаруживать в первую очередь быстро растущие опухоли.

К наиболее острым проблемам относится выбор рабочей частоты (длины волны), важный с двух точек зрения – обеспечения высокого разрешения и эффективной глубины зондирования. Визуализация глубинных процессов требует применения более низких рабочих частот. Напротив, для получения лучшего разрешения необходимы более высокие рабочие частоты. Таким образом, необходимо определить оптимальную рабочую частоту.

На базе данного метода был проведен эксперимент по обнаружению неоднородности на разных глубинах залегания. На рис. 1 показана структурно-функциональная схема экспериментальной установки

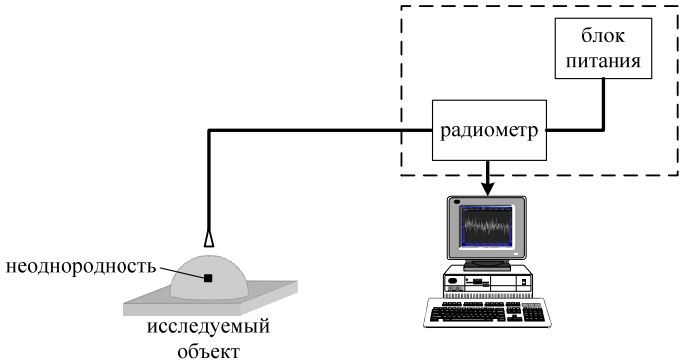

Рис. 1. Структурно-функциональная схема экспериментальной установки

В качестве объема, имитирующего грудную ткань, был взят фторопласт, его диэлектрическая проницаемость приблизительно равна 2[3]. С помощью радиометра при температуре $T_{комн.} = 27°$ С была измерена зависимость радиояркостной температуры фторопластового объема без наличия неоднородности – $T_{я_ФТ} = 277{,}089$ К и яркостная температура графита при тех же условиях – $T_{я_ГР} = 308{,}267$ К. В качестве неоднородности использовался графит с разными геометрическими размерами (табл. 1.). На рис. 2 представлены графики зависимостей контрастов яркостной температуры фторопластовой модели без неоднородности и с помещенными внутри нее на разных глубинах неоднородностями разных размеров.

Таблица 1

Номер образца	Геометрические размеры, см
1	0,5 × 0,5 × 0,5
2	1,0 × 1,0 × 1,0
3	1,5 × 1,2 × 1,2
4	2,0 × 2,0 × 2,0

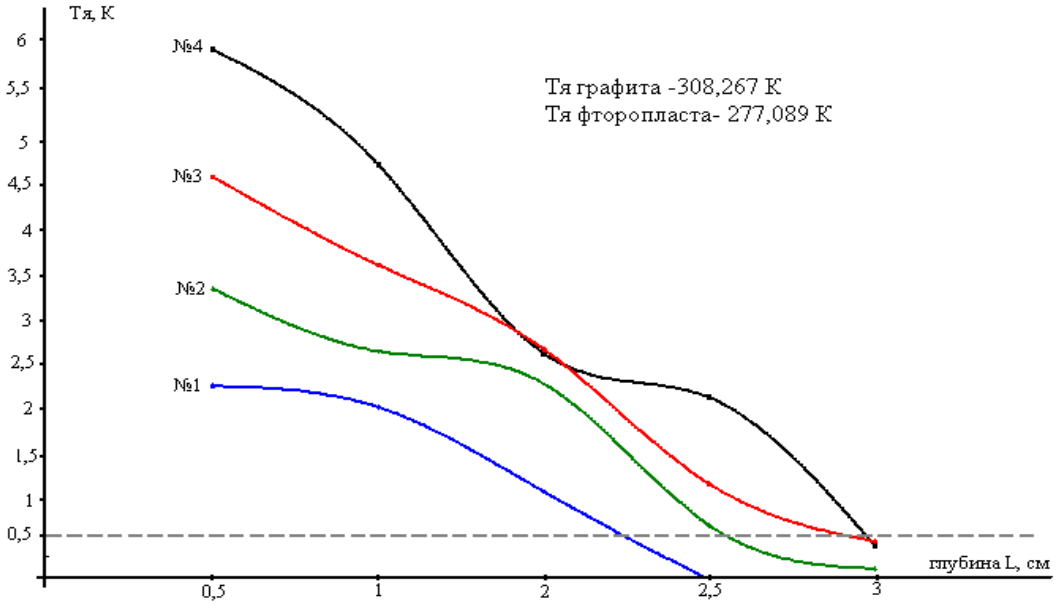

Рис. 2. Распределение контрастов яркостной температуры для фторопластовой модели при работе с неоднородностями разных размеров в зависимости от глубины погружения

Из приведенного графика видно следующее.

1. С увеличением глубины погружения для неоднородностей различного размера величина радиояркостного контраста снижается.

2. Зависимость яркостного контраста для всех образцов от увеличения глубины погружения образца не носит монотонно убывающего характера.

3. Уменьшение размера неоднородности значительно снижает величину глубины погружения, на которой данная неоднородность может быть обнаружена.

Ограничения и недостатки перечисленных методов диагностики опухолевых процессов молочной железы дают стимул для развития дополнительных инструментов отображения молочной железы либо улучшения показателей уже существующих методов с целью обнаружения опухолей и постановки диагноза.

Литература

1. Никитин, О.Р. Радиометрические СВЧ-методы диагностирования новообразований молочной железы / О.Р. Никитин [и др.] // Биомедицинская радиоэлектроника – 2010.– № 7.– С. 24 – 28.

2. Возможности диагностики мультицентрического рака молочной железы [Интернет-ресурс].– http://netoncology.ru/press/articles

3. Фторопласт [Интернет ресурс].– http://www.hamshop.ru/spravochnik/ftoroplast.html

Н.В. Дорофеев
Муромский институт Владимирского государственного университета
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
e-mail: itpu@mivlgu.ru

Обнаружение Pi-2 сигналов в автоматизированных системах научных исследований геомагнитного поля Земли

Использование возмущений естественного геомагнитного поля при магнитотеллурическом зондировании, электромагнитном контроле и прогнозировании сейсмоактивности Земли обусловлено невозможностью генерирования локационных электромагнитных сигналов необходимой мощности в ультранизкочастотном диапазоне (сотые и тысячные доли Герц). Однако из-за случайного характера регистрируемых геомагнитных сигналов и алгоритмических погрешностей возникают существенные проблемы при выделении из общей неоднородной структуры геомагнитного поля [1].

Неоднородность рассматриваемого геомагнитного поля предполагает спектрально-пространственную неоднородность самого источника геомагнитных сигналов. В этом случае при обработке должно обеспечиваться выделение сигналов унитарных иррегулярных геомагнитных возмущений и возможность пространственной точечной аппроксимации источника с определенной статистической точностью. Поставленная задача решается на распределенной системе пеленгаторных пунктов с применением методики, основанной на предварительной частотной селекции и пространственно-временной регрессионной обработке информативных сигналов [2], [3].

Для уменьшения алгоритмических ошибок при определении пространственно-временных параметров геомагнитных сигналов в блоке предварительной обработки вводится вейвлет-фильтрация [4].

Обнаружение информативных сигналов происходит на основе огибающей $A(k)$ отфильтрованного сигнала. Решающее правило для обнаружителей при этом имеет вид

$$Л = \sum_{k=1}^{n} \left(y(k) \cdot s_н(k) \right) \underset{\hat{H}_0}{\overset{\hat{H}_1}{\gtrless}} h' = \frac{2\sigma_0^2 \cdot \ln(h) + a^2 \cdot \sum_{k=1}^{n} {s_н}^2(k)}{2a}, \qquad (1)$$

где

$s_н(k)$ – обнаруживаемый нормированный по амплитуде сигнал определяемый из соотношений (2) и (3);

a – максимальное значение амплитуды входной реализации $y(k)$;

h – порог обнаружения;

h' – нормированный порог обнаружения;

σ_0^2 – дисперсия шума;

$Л$ – отношение правдоподобия.

Литература

1. Кузичкин, О.Р. Методы и устройства обработки информации в системе мониторинга импульсных геомагнитных источников / О.Р. Кузичкин // М: САЙНС-ПРЕСС, 2008

2. Кузичкин О.Р., Благов М.Н. Обнаружение сигнала иррегулярного возмущения на основе регрессионного анализа / О.Р. Кузичкин, М.Н. Благов // Радиотехника.– 2006.– № 6

3. Дорофеев, Н.В. Алгоритм выделения иррегулярных возмущений геомагнитного поля на сети станций / Н.В. Дорофеев, О.Р. Кузичкин // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем.– М.: Горячая линия – Телеком, 2007

4. Дорофеев, Н.В. Алгоритмы обнаружения и выделения Pi-2 сигналов в системах геодинамического контроля на основе вейвлет анализа / Н.В. Дорофеев, О.Р. Кузичкин // Методы и устройства формирования и обработки сигналов в связи и локации. Радиосистемы.– 2009.– № 5.

Е.В. Епихин
А.В. Кузьминов
Владимирский государственный университет
600000 г. Владимир, ул. Горького, д. 87
e-mail: epihinevgeniy@mail.ru
e-mail: kuzminovaleksan@gmail.com
e-mail: kuzminov_aleksan@mail.ru

Обнаружение находящихся в грунте неметаллических предметов с помощью радиолокатора со ступенчатым изменением рабочей частоты

В ряде приложений необходимо обнаруживать и опознавать закопанные в землю предметы. Заметим, что в последние годы в связи с резко возросшим производством пластмассовых изделий повсеместно осуществляется замена металлических труб пластмассовыми.

Применению электромагнитных методов препятствуют две основные причины: исключительно высокое поглощение энергии радиоволн в грунте и ухудшение разрешающей способности на низких частотах, которые пытаются использовать для его уменьшения.

Для идентификации находящихся в грунте неметаллических предметов пригодны радиолокаторы с импульсными и ЧМ-сигналами. Для определения расстояния до обнаруженного предмета в реальном масштабе времени используется как амплитуда, так и фаза отраженного сигнала.

Расстояние до предмета (цели) определяется посредством последовательного измерения разности фаз между переданным и принятым сигналами на всех используемых рабочих частотах.

Рассмотрим случай, когда цели, коэффициенты рассеяния которых равны соответственно S_0, S_1, S_2, ... $S_{k,...}$ S_{N-1} находятся на квантовых расстояниях 0, Δy, $2\Delta y$, $3\Delta y$, $(N-1)y$ от радиолокатора. Частота излучаемого сигнала меняется скачком, то есть $f_n = f_0 + n \cdot \Delta f$ где $n = 0, 1, 2, \ldots N-1$, а Δf – приращение частоты. Принимаемый сигнал представляет собой сумму сигналов, отраженных от всех имеющихся целей. Если выполняется условие, где v – скорость распространения сигнала в грунте, то выражение для принятого сигнала можно записать в форме, аналогичной обратному дискретному преобразованию Фурье.

$$Hn = \sum_{k=0}^{N-1} hk \times \exp\left(\frac{j \times 2 \times \pi \times k \times n}{N}\right)$$

где $hk = K_k \cdot V_0 \cdot S_k \cdot \exp\left(\frac{j \times 4 \times \pi \times f_o \times k \times Дy}{v}\right)$; V_0 – амплитуда передаваемого сигнала; коэффициент $Кк$ учитывается затухание сигнала во время передачи и чувствительность приемника; H_n – амплитуда принимаемого сигнала.

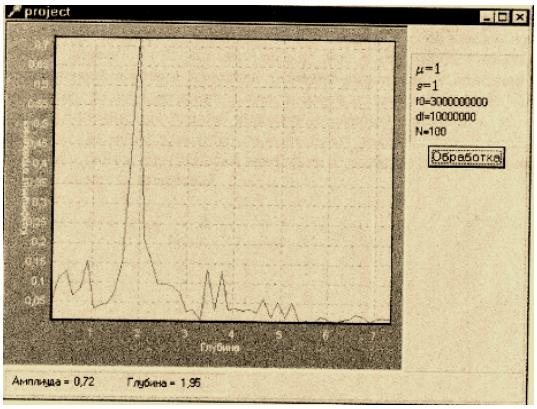

Рис. 1

Поскольку величины H_n и hk связаны преобразованием Фурье, то hk можно определить, вычисляя ДПФ для измеренной величины H_n. Затем можно найти S_k, то есть найти зависимость коэффициента отражения от глубины.

Для обработки результатов исследования была создана программа, моделирующая трехслойную среду. С помощью такой модели можно найти принятый сигнал и далее, используя выше описанный алгоритм, можно построить график распределения коэффициентов отражения от глубины.

Был проведен эксперимент, подтверждающий правильную работу алгоритма программы. Производились измерения фазы сигнала на различных частотах – 3000… 3990 МГц с шагом в 10 МГц (100 измерений).

Для реального применения такого способа можно использовать приборы с интерфейсом КОП, управляемые компьютером. Недостатком такой системы будет являться очень медленное измерение параметров, так как на каждое измерение надо отвести время 1 – 2 с. Это время, для того чтобы приборы вошли в установившийся режим, измерили значение амплитуды и прислали в компьютер результаты своих измерений. Более дорогой и быстрый вариант – приборы VXI. Третий вариант построения автоматизированной системы – это виртуальные приборы.

И.Н. Кириллов
Муромский институт Владимирского государственного университета
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д.23

Геоинформационная система для мониторинга и прогнозирования уровня акустического загрязнения окружающей среды

Создание акустического благополучия в городе – проблема многих отраслей градостроительства. Ее решение возможно только при комплексном подходе, максимально учитывающем все геоэкологические особенности исследуемой территории. Наиболее точно это возможно сделать при использовании геоинформационных систем и технологий, которые позволяют выявить проблемные участки и причину (источник) их загрязнения. Именно поэтому в больших городах требуется постоянно проводить мониторинг уровня акустического шума.

В докладе рассматривается геоинформационная система, позволяющая производить автоматизированный мониторинг уровня акустического загрязнения городских территорий, в ходе которого можно не только оценить имеющуюся угрозу населению города, но и с большой точностью определить источник шума, что позволяет предпринять наиболее эффективные меры по его снижению.

Система состоит из отдельных друг от друга пассивного и активного каналов, которые проводят измерения объекта по различным параметрам.

Активный канал предназначен для определения вектора скорости воздушных масс. Его принцип действия заключается в измерении какого-либо эффекта, создающегося при прохождении акустических колебаний сквозь поток жидкости или газа. Прибор, работающий в ультразвуковом диапазоне радиочастот, основывается на принципе измерения разности времени прохождения акустических колебаний в прямом и обратном направлении в воздушной среде.

Суть данного метода заключается в том, что скорость распространения звуковых волн определяется скоростью звука в среде, а также продольной и поперечной составляющими скорости движения потока.

Для пространственного определения движения потока используется несколько пар датчиков, расположенных на осях перпендикулярно друг другу. Датчик состоит из восьми пьезоэлементов, попарно образующие четыре измерительных базы. Базы конструктивно расположены на двух ортогональных сварных фермах в виде обруча, находящихся под углом 90° в горизонтальной плоскости и 45° в вертикальной плоскостях.

Пары датчиков включаются попарно, то есть когда измерение происходит в какой-либо из плоскостей, то другие пары датчиков в это время отключены. В устройстве это легко организовать с помощью специального блока коммутации.

Главным управляющим элементом устройства является процессор, он осуществляет такие функции как

– генерация ультразвукового импульса;
– управление коммутацией;
– вычисление времени пролета звуковой волны;
– обеспечение синхронизации с другими устройствами.

Усилители приемного и передающего канала должны быть с низким уровнем собственных шумов, чтобы минимизировать погрешность измерений. Блок обработки осуществляет фильтрацию сигнала от посторонних (в том числе и фоновых) шумов.

Совершенно очевидно, что такое устройство имеет ряд преимуществ перед своими аналогами, которые основаны на использовании механических датчиков, поскольку оно может работать в критических условиях окружающей среды, требует минимум обслуживания, имеет повышенную точность измерений и более жесткие климатические условия эксплуатации.

Пассивный канал системы состоит из высокочувствительного приемного датчика звукового диапазона частот, имеющий круговую диаграмму направленности. Задача этой системы состоит именно в измерении уровня акустического шума приземного пространства.

Для каждого канала в устройстве организован свой блок обработки, который в свою очередь управляются блоком управления и синхронизации. Для коммутации каналов реализован специальный блок коммутации, подчиняющийся блоку управления.

После этого все данные измерений при помощи блока синхронизации попадают на персональный компьютер и уже в нем обрабатываются специальной программой.

Исходя из полученных данных и электронных карт местности GPS или ГЛОНАС, персональный компьютер может показать уровень шума в данной точке местности, а также просчитать скорость ветра, тем самым смоделировать уровень шумовой угрозы определенным участкам местности, например, жилым районам города.

О.Р. Никитин
А.В. Голихин
Владимирский государственный университет
600000 г. Владимир, ул. Горького, д. 87
e-mail: Olnikitin@mail.ru
e-mail: Golihin.alexey@gmail.com

Моделирование радиотеплового зондирования растительных покровов в восьмимиллиметровом диапазоне с подвижными платформами

В работе рассматриваются радиофизические методы дистанционной оценки параметров подстилающей поверхности. С помощью разработанных программ проведен анализ радиотеплового излучения растительных покровов. Создана экспериментальная установка для пассивного метода дистанционного зондирования. Проведено экспериментальное исследование зависимости уровня радиотеплового излучения исследуемой среды от ее биохимического состояния.

Решение многих научных и народно-хозяйственных задач связано с исследованием запасов природных ресурсов и изучением состояния различных участков земной поверхности.

Исследование их прямыми методами во многих случаях неэффективно и сопряжено со значительными техническими и финансовыми трудностями. В связи с этим всё большее распространение в последнее время получает дистанционное зондирование поверхности Земли и Океана, в частности выполняемое и в СВЧ-диапазоне волн с использованием активных радиолокационных (скаттерометры) и пассивных радиометрических (радиометры) средств измерения.

Возрос интерес отдельных регионов ко многим частным геофизическим задачам. В первую очередь, регионы проявляют интерес к решению задач, связанных с картированием почв, их биологическим состоянием, к распределению приповерхностных водоносных слоев, особенно в зонах повышенной экологической опасности, к периодическим оценкам состояния культурных растительных посевов и загрязненности динамических и статических водоемов. Особый интерес представляют специфические задачи, связанные с лесными пожарами и возгораниям торфяников (обнаружение, ограничивание, оценка динамики и т. д.) и реализация их с помощью радиометрических методов дистанционного зондирования земной поверхности в СВЧ- и КВЧ-диапазонах.

В рамках региона решение вышеуказанных задач радиометрическими методами становится вполне приемлемой при использовании в качестве носителей беспилотных радиоуправляемых летательных аппаратов. Для решения этой, несомненно, актуальной научно-технической задачи необходимы предварительные лабораторные исследования и теоретические прогнозы, которые заключаются в оценке радиотеплового излучения наиболее часто встречающихся фрагментов земной поверхности, в том числе и слоисто-неоднородных. Представляют интерес оценки уровня радиотеплового излучения от открытой, относительно однородной торфяной поверхности, от плодородного слоя почвы, от кустарниковой растительности при различных вегетативных этапах и в особенности оценка радиотеплового излучения от участков земной поверхности с подпочвенными водоносными слоями.

Полученными исследованиями установлена взаимосвязь вегетативного состояния растительного покрова (овса) от появления ростков до момента, предшествующего колосованию, с уровнем радиотеплового излучения. Исследования проводились при различных поляризациях принимаемого радиотеплового излучения и углах наблюдения. Измерения выполнялись с подвижной платформы, перемещающейся с различной скоростью.

Из экспериментальных исследований следует, что радиотепловое излучение имеет выраженный максимум при длине ростков близкой к 1,5 см при фиксированной влажности (60 – 70 %). При этом имеется выраженная поляризационная зависимость: вертикальной поляризации соответствует большее излучение, уменьшающееся при поляризации, стремящейся к горизонтальной.

Каждый росток может рассматривается как автономный излучатель, у которого излучательная способность связанна с длиной и электродинамическими свойствами. На ранних стадиях водная концентрация в ростках достигает 95 % с учетом диэлектрических свойств раствора, заполняющего ростки, и взаимодействия с другими ростками. Излучательная способность возрастает при раз-

мерах, кратных длине волны. С ростом растений снижается концентрация влаги в излучателях, следовательно, снижается поглощательная способность и радиотепловое излучение. Рост радиотеплового излучения при углах близких к 90° сопряжен с уменьшением расстояния между раскрывом рупора и излучающей поверхностью.

При повышении влажности почвы происходит относительно кратковременное повышение влагосодержания ростков, что приводит к увеличению излучательной способности растительного покрова с большей высотой, при этом сохраняется частотная зависимость излучательной способности (кратность длине волны).

Из сопоставления зависимостей для статического измерения и для движущейся каретки видно, что характер зависимости остается тот же, но при этом уровень излучения в случае движущийся платформы снижается в локальных максимумах, размеры которых меньше или равны скорости перемещения платформы на постоянную времени радиометра. На участках с соотносительно медленными имениями зависимость от скорости практически не проявляется.

Результаты экспериментальных исследований сравнивались со значениями радиотеплового излучения, полученного путем математического моделирования, выполненного с помощью разработанного пакета прикладных программ, что позволило скорректировать соотношения, использовавшиеся при компьютерном моделировании и повысить достоверность его результатов.

Для экспериментальных исследований влияния экологических нарушений в биосистеме на уровень радиотеплового излучения растительный покров путем недостаточного увлажнения почвы был доведен до практически полного обезвоживания. При этом растительные волокна образуют настельный покров на почве из вьющихся произвольной формы преимущественно горизонтально ориентированных фрагментов. Для высыхающей растительности преимущественным влиянием в композиции растительный покров-почва является влияние почвы, при этом с уменьшением влажности почвы возрастает ее отражающая способность, следовательно, уменьшается радиотепловое излучение.

Полученные результаты физических исследований и компьютерного моделирования могут быть использованы для идентификации состояния растительного покрова, осуществляющейся с помощью радиометрических комплексов, размещенных на летательном аппарате.

Литература

1. Николаев, А.Г. Радиотеплолокация (пассивная радиолокация) / А.Г. Николаев, С.В. Перцов; под ред. А.А. Красовского.– М.: Сов. радио, 1964.– 336 с.

О.Р. Никитин
А.Н. Кисляков
А.А. Шулятьев
Владимирский государственный университет
600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
e-mail: olnikitin@mail.ru

Алгоритм радиометрического комплексирования данных многоканального мониторинга земной поверхности

Методы дистанционного зондирования различных объектов имеют бесспорные преимущества перед контактными методами измерений за счет получения информации о параметрах изучаемого объекта на расстоянии путем измерения связанных с этими параметрами величин. При этом возникает ряд проблем, касающихся точности идентификации исследуемых объектов [1].

Данные, получаемые от различных датчиков дистанционного зондирования, имеют свои характерные особенности, обусловленные физикой формирования и представления этих данных (обычно в виде двумерных изображений), а также характеристиками трактов сигнала. Для сравнения рассмотрим основные характеристики интересующих нас датчиков (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики датчиков

Тип датчика	Тип представления данных	Полезные признаки
Видеодатчик	2D-полутоновое видеоизображение	Форма, размеры, текстура, внутренняя структура объектов
Тепловизор	2D-тепловое изображение	Форма, max- / min-эмиссия, количество и расположение горячих пятен, окружение
СВЧ-радиометр	1D-профиль, 1D- / 2D-поляризационное изображение	Размер, количество и расположение объектов

Изображения, полученные с помощью СВЧ-радиометра, менее информативны, однако характеризуются неизменным качеством в условиях дождя, тумана и облачности. Данные особенности определяют выбор алгоритмов предварительной обработки и распознавания [2].

Комплексирование данных различной физической природы может осуществляться на основе объединения данных, полученных в ходе раздельного анализа информации, поступающей от каждого датчика. Большинство современных подходов к построению многоканальных систем предполагает уже не комплексирование многозональной информации в прежнем понимании, а сложный многоэтапный процесс совместного анализа данных, основанный на классификации объединенных наборов признаков, выделяемых в ходе анализа изображений различных каналов и их комбинаций [3]. При этом на различных этапах анализа оказываются полезны изображения от разных датчиков. Это определяет необходимость проведения дальнейших исследований в данной области.

Спектрозональный принцип съемки основан на интегрировании отраженной от поверхности Земли электромагнитной энергии в нескольких соприкасающихся диапазонах [4]. Спектрозональное разделение наблюдаемой сцены приводит к уменьшению пространственной разрешающей способности датчиков в каждом канале по сравнению с той, которая могла бы быть получена при панхроматической съемке во всем спектральном диапазоне.

Задачи комплексирования называют геометрическими и радиометрическими. Геометрическое комплексирование состоит в субпиксельном совмещении видеоданных из различных спектральных зон в единой системе координат. Целью радиометрического комплексирования является объединение разнозональных данных с тем, чтобы с возможно максимальной четкостью передать на синтезируемом изображении все объекты, отображенные на разнозональных снимках [5].

Пусть $B_i = \{B_1, B_2, B_3\}$, $i = 1, 2, \ldots K$ – трехзональное ($K = 3$) изображение, которое изображается в системе координат с осями B_1, B_2 и B_3 в некоторую замкнутую область. Будем считать, что представленные для радиометрического комплексирования изображения геометрически совмещены и "очищены" от шумов. Для случая, когда все три изображения одинаковы, то есть $B_1 = B_2 = B_3$, в трехмерном пространстве все точки отображаются на линии, наклоненной к каждой их трех координатных плоскостей под углом 45°. Проекции этих точек на координатные плоскости располагаются на биссектрисах. Чем больше отличаются яркости одноименных элементов в различных спектральных каналах, тем больше удаляются точки от этих биссектрис. Отклонения точек от биссектрисы можно рассматривать как степень отличия отражательной способности точек наблюдаемой сцены в конкретных зонах спектра. При удалении точек от биссектрисы усиливаются спектрозональные различия изображений, и тем самым повышается их информативность.

Последовательное выполнение процессов геометрического и радиометрического комплексирования позволяет сформировать спектрозональное изображение, на котором с высокой степенью четкости отображаются все объекты, по-разному представленные на спектрозональных снимках.

С целью оценки эффективности данной методики было проведено упрощенное компьютерное моделирование. Упрощение заключалось в использовании в качестве исходного изображения цветного фотоснимка участка земной поверхности. Панхроматическое RGB-изображение в видимом диапазоне разбивалось на три спектральных поддиапазона – красный (R), зеленый (G) и синий (B). Тем самым моделировалась ситуация, когда данные изображения формируются с помощью трех различных датчиков аналогично ситуации формирования изображений радиометром, тепловизором и видеокамерой.

Данный алгоритм был реализован с помощью пакета MATLAB. По нему было проведено комплексирование изображений в различных диапазонах.

После проведения процедур предварительной обработки данных исходное и дочерние изображения были оконтурены с помощью известных алгоритмов (Собела, Кэнни и др.). Далее проводилось наложение контуров всех трех каналов и сравнение с оконтуренным комплексированным изображением.

По результатам данной процедуры видно, что оконтуривание цветного изображения дает усредненный результат оконтуривания по всем трем каналам. Это позволяет сделать вывод о целесообразности комплексирования изображений, полученных в микроволновом, инфракрасном и оптическом (видимом) диапазонах, в плане повышения информативности результата.

Литература

1. Анисимов, Б.В. Распознавание и цифровая обработка изображений: учеб. пособие для студентов вузов / Б.В. Анисимов, В.Д. Курганов, В.К. Злобин.– М.: Высш. шк., 1983.– 295 с.

2. Дейвис, Ш.М. Дистанционное зондирование: количественный подход / Ш.М. Дейвис [и др.]; под ред. Ф. Свейна и Ш. Дейвис; пер. с англ.– М.: Недра, 1983.– 415 с.– Перизд. США, 1978.– 296 с.

3. Техническое зрение в системах управления мобильными объектами – 2010: тр. науч.-тех. конф.-семинара (Таруса, 16 –18 марта 2011 г.) / под ред. Р.Р. Назирова.– Таруса, 2011.– С. 31 –34.

4. Злобин, В.К. Обработка изображений в геоинформационных системах: учеб. пособие / В.К. Злобин, В.В. Еремеев, А.Е. Кузнецов.– Рязань: Рязанский гос. радиотехн. ун-тет, 2006.– 264 с.

5. Злобин, В.К. Совместная обработка спектрозональных изображений с целью повышения их дешифруемости / В.К. Злобин, В.В. Еремеев, А.Е. Кузнецов // Системы анализа и синтеза изображений.– Рязань: Рязанский гос. радиотехн. ун-тет, 2002.. – С. 3 – 11.

6. Никитин, О.Р. Комплексирование данных многоканального мониторинга земной поверхности / О.Р. Никитин, А.Н. Кисляков, А.А. Шулятьев // Методы и устройства передачи и обработки информации: Всероссийский науч.-тех. журнал.– 2011.– Вып. № 1.

7. Никитин, О.Р., Кисляков А. Н., Шулятьев А. А. Многоспектральный метод дистанционного зондирования в задачах экологического мониторинга / О.Р. Никитин, А.Н. Кисляков, А.А. Шулятьев // Методы и устройства передачи и обработки информации: Всероссийский науч.-тех. журнал.– 2011.– Вып. № 13.

А.А. Орехов
Муромский институт Владимирского государственного университета
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
e-mail: itpu@mivlgu.ru

Фазометрический принцип регистрации данных геодинамического контроля

Применение многополюсных электроустановок в системах геоэлектрического контроля позволяет осуществлять эффективный геодинамический мониторинг среды в условиях действия промышленных и климатических помех, а также сложной застройки, характерных для большинства промышленных объектов [1], [2]. Методика выделения геодинамических вариаций среды предполагает регистрацию и анализ двухкомпонентного электрического поля, созданного многополюсным источником зондирующих сигналов при фиксированном положении как источников, так и измерительного базиса. Слежение за объектом осуществляется за счет управления параметрами зондирующих сигналов при одновременной регистрации фазовых характеристик поля и компенсации текущего тренда геоэлектрических сигналов в точках наблюдения.

В указанной работе [3] рассмотрен метод геоэлектрического контроля, позволяющий проводить исследования с существенным уменьшением аппаратурных затрат и соответственно с более высокой надежностью и точностью регистрации геодинамики поверхностных неоднородностей. Метод заключается в том, что в качестве зондирующего сигнала используется несколько источников, расположенных вблизи исследуемого объекта, и использовании одного стандартного измерительного датчика электрического поля. В простейшем случае могут использоваться два точечных источника А и В и измерительный датчик О, расположенный по линии АВ и на равных расстояниях от источников.

Точечные источники А и В излучают зондирующие сигналы, сдвинутые по фазе на $\pi/2$ относительно друг друга. Следует отметить, что при другом расположении источников относительно датчика, а также при многополюсном зондировании фазовые сдвиги между тестовыми сигналами могут быть иными. В результате принципа суперпозиции полей источников А и В результирующий сигнал имеет вид

$$\mathrm{Im}U = U_a \sin\varphi_1 + U_b \sin\varphi_2,$$
$$\mathrm{Re}U = U_a \cos\varphi_1 - U_b \cos\varphi_2,$$

где φ_1, φ_2 – фазовые сдвиги, учитывающие реактивную составляющую коэффициента передачи среды $U_a = KI_0 / Z_a /$, $U_b = KI_0 / Z_b /$.

В отличие от электроразведочных методов, в данном случае информационным регистрируемым параметром является не амплитуда, а фаза φ результирующего сигнала U и при условии балансировки тестовых сигналов определяется следующим соотношением:

$$\varphi = \mathrm{arctg}(U_b / U_a) = \mathrm{arctg}(/ Z_b // Z_a /).$$

Таким образом, рассмотренный принцип позволяет повысить точность измерений геоэлектрических сигналов в фазометрических системах геоэлектрического контроля.

Литература

1. Огильви, А.А. Геоэлектрические методы изучения карста / А.А. Огильви; под ред. А.И. Заборовского.– М.: Изд-во Московского ун-та, 1956.

2. Константинов, И.С. Организация систем автоматизированного контроля геодинамических объектов / И.С. Константинов, О.Р. Кузичкин // Информационные системы и технологии.– 2008.– №№ 4 – 3 / 272 (550).– С. 9 – 13.

3. Кузичкин, О.Р. Организация геоэлектрического мониторинга карста на основе эквипотенциальных электроразведочных методов / О.Р. Кузичкин, А.Н. Камшилин, Н.Е. Калинкина // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика.– 2007.– № 12.– С. 48 – 53.

В.Ю. Смирнов
Владимирский государственный университет
600000 г. Владимир, ул. Горького, д. 87
e-mail: Valerasic@yandex.ru

Оценка зависимости параметров фокусировки ФАР от диэлектрических проницаемостей слоистой среды

Зачастую в задачах дистанционного зондирования природных и биологических сред, медицинской диагностики и множестве других задач используемые электромагнитные поля распространяются не в однородном изотропном пространстве, а в слоистых средах. При этом, очевидно, параметры антенны будут ухудшаться за счет малой доли энергии преломленной волны, но кроме этого замедление волны в диэлектрике скажется на фазах лучей пришедших в точку фокусировки, тем самым ухудшая фокусирующие свойства антенны или полностью их уничтожая. Исходя из этого актуальной задачей является оценка ухудшения параметров фазированной антенной решетки, сфокусированной в ближней зоне, при фокусировке в слоистой среде.

Пусть антенная решетка расположена вблизи границы раздела двух сред и необходимо осуществить оценку распределения электромагнитного поля во второй среде. Антенная решетка расположена в первой среде вблизи плоской бесконечной границы и сфокусирована во второй среде, электродинамические параметры сред ε_1, μ_1 и ε_2, μ_2 соответственно. Использовалось лучевое приближение; граница раздела и точка фокусировки находятся в дальней зоне отдельного излучателя, но в ближней зоне антенной решетки в целом. Для упрощения расчетов направленными свойствами излучателя пренебрегаем.

Вычисление фокусирующего фазового сдвига на каждом излучателе проводилось в предположении свободного изотропного пространства с параметрами первой среды. Излучение каждого элемента решетки задавалось множеством лучей равномерно распределенных в полупространстве. Выбор числа излучателей определялся точностью получаемого решения. Во втором полупространстве поле преломленной волны формируется всеми излучателями антенной решетки и определяется суммой амплитуды полей, соответствующих отдельным лучам с учетом фазы. Для упрощения расчета пространство разбивается на элементарные объемы. Все лучи попавшие в локальный объем суммируются с учетом фазы луча на границе объема.

Произведем оценку влияния диэлектрической проницаемости на положение фокальной области относительно точки фокусировки.

Практически интерес представляет смещение положения фокальной области относительно заданной точки вследствие наличия второй среды с отличными электродинамическими параметрами.

В качестве модели антенной решетки была взята линейная решетка из 25-ти изотропных излучателей, расстояние между которыми равно $1{,}5\lambda$. Размеры первой и второй сред 5 и 15λ соответственно. Точка фокусировки удалена от антенной решетки на 7λ. Будем считать, что антенна расположена в вакууме ($\varepsilon_1 = \mu_1 = 1$). Так как наибольший практический интерес представляет влияние диэлектрической проницаемости на параметры фокусировки, магнитную проницаемость примем постоянной и равной единице.

Результаты проведенного моделирования позволяют сделать вывод о том, что параметры фокусировки, такие как смещение фокальной точки, длина и диаметр фокальной области увеличиваются, приближенно, по линейному закону относительно увеличения диэлектрической проницаемости второй среды.

Анализ параметров показал, что фокальная область значительно ухудшает свои свойства во второй среде, в основной по причине того, что фокусировка электромагнитного поля рассчитывалась для свободного пространства. Самый простой и в то же время перспективный способ улучшения фокусирующих свойств – это введение корректирующего фазового множителя, учитывающего наличие среды с отличными диэлектрическими параметрами.

И.В. Стерликова
Муромский институт Владимирского государственного университета
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23

Исследование суточных изменений амплитуд иррегулярных геомагнитных пульсаций в области средних геомагнитных широт

Иррегулярные геомагнитные пульсации являются носителями информации о физических процессах в ионосфере, магнитосфере и межпланетном пространстве, поскольку тесно связаны со всеми фазами протекания магнитосферных суббурь [1], [2]. Не исключена возможность использования иррегулярных геомагнитных пульсаций в качестве предвестников землетрясений. В связи с этим актуален вопрос исследования наземной пространственно-временной структуры поля геомагнитных пульсаций.

В работе представлены результаты исследования временной структуры поля иррегулярных геомагнитных пульсаций на среднеширотной станции Белое озеро (геомагнитная широта 55°, геомагнитная долгота 113°). Записи пульсаций обработаны в реальном масштабе времени на специализированной установке – цифровом анализаторе спектров. Пульсации регистрировались непрерывно в течение 12-ти часов внезапно начавшейся магнитосферной суббури в ночь с 12 на 13 октября 1974 г. и охватывали временной интервал от полуночного (20 UT) до полуденного (8UT) геомагнитных меридианов. С помощью установки были вычислены и выведены на печать амплитудные спектры в каждом часовом интервале. Дальнейшая обработка спектров производилась вручную и включала несколько этапов, в том числе построение калиброванных частотных характеристик, построение нормированных спектров с применением ручной фильтрации спектров цифрового анализатора (спектры диапазона частот 0,01 – 0,1 Гц были оцифрованы с шагом по частоте 0,0125 Гц). Следующие этапы обработки включали построение усредненных во времени (в пределах одного часа) спектров. Для этого амплитудные спектры были разбиты на 9 частотных полос с шагом 0,01 Гц. В каждой из частотных полос был рассчитан интеграл

$$A = \int_{\omega 1}^{\omega 2} S(\omega) d\omega ,$$

где

A – амплитуда сигнала;

S(ω) – спектральная плотность;

ω_1 и ω_2 – граничные частоты.

В частотной полосе 0,01 – 0,02 Гц (период колебаний 50 – 100 с) для азимутальной компоненты геомагнитного поля на среднеширотной станции Белое озеро (WL) выделяются три энергетических максимума примерно одинаковой интенсивности 16 нТл. Один из них приходится на середину временного интервала 6 – 7 ч МГВ (2 – 3 UT), два других – симметричны относительно утреннего максимума 4 – 5 ч МГВ (24 – 1 UT) , 8 – 9 ч МГВ (4 – 5 UT).

Эти три максимума прослеживаются и в других частотных полосах фильтрации сигнала. Однако интенсивность их меняется. С увеличением частоты (уменьшением периода до 14 – 17 с) энергия перераспределяется в сторону полуденного меридиана. И остается один ярко выраженный максимум в 8 – 9 ч МГВ (4 – 5 UT). Его интенсивность в 2 – 3 раза выше интенсивности геомагнитных пульсаций в других временных интервалах.

Этот экспериментально наблюдаемый факт можно объяснить дрейфом источника иррегулярных пульсаций Pi1 к востоку.

Литература

1. Стерликова, И.В. Магнитосферные суббури в геомагнитных пульсациях / И.В. Стерликова, А.П. Иванов.– М.: ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, 1997.– 108 с.

2. Стерликова, И.В. Пространственно-временная структура поля иррегулярных геомагнитных пульсаций как отражение магнитосферно-ионосферной связи: автореф. дис. … д-ра физ-мат. наук / Стерликова Индиана Вячеславовна.– М., 2006.– 57 с.