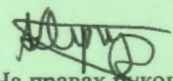


81552

Д-36

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



На правах рукописи

УДК 517.5+683.32+57

Дергузов Аркадий Владимирович

C17

КЛАССИФИКАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА СИСТЕМ В РАМКАХ  
СПЕКТРАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ПОДХОДА.

Специальность: 05.13.18 – математическое моделирование, численные  
методы и комплексы программ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Объединенный институт  
ядерных исследований  
Дубна 2006  
БИБЛИОТЕКА

Работа выполнена в Институте математических проблем биологии РАН.

Научный руководитель:

кандидат физико–математических наук,

С.А. Махортых

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

Ф.Ф. Делус.

кандидат физико–математических наук

В.И. Цветков

Ведущая организация:

Волгоградский государственный университет

Защита состоится «28» декабря 2006 г. в «14<sup>00</sup>» на заседании диссертационного совета Д.720.001.04 в Объединенном институте ядерных исследований (Лаборатория информационных технологий), г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Объединенного института ядерных исследований

Автореферат разослан «23» ноября 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

кандидат физико–математических наук

З.М. Иванченко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы В диссертации разработаны и изложены методы представления и обработки данных, представленных в численном и аналитическом видах, основанные на аппроксимации сигнала отрезками ортогональных рядов с использованием классических ортогональных многочленов и функций непрерывного и дискретного аргументов.

Тенденции к росту объемов информационных массивов и повышению требований к точности и полноте их обработки за минимальное время заставляют разработчиков новых информационных систем наращивать их вычислительные мощности. В связи с этим, в настоящее время остается актуальной задача создания новых методов обработки данных, которые, наряду с обеспечением заданной точности и скорости обработки, не требовали бы обязательного увеличения мощности вычислительных комплексов.

Можно сформулировать следующие основные требования к аналитическому описанию цифровых информационных массивов: обеспечение заданной точности описания возможно более простым аналитическим выражением; простота реализации на цифровых ЭВМ; возможность выполнения процедур в автоматическом режиме; адаптивность алгоритмов аналитического описания к особенностям каждого сигнала; унифицированность структуры описания независимо от природы и особенностей сигнала; возможность реализации метода в условиях отсутствия априорной информации о сигнале. В основе используемого в работе метода (ОСАМ) лежит принцип реализации комбинированного численно-аналитического метода, позволяющего повысить оперативность и достоверность обработки информационных массивов, а также использовать преимущества, как числовых расчетов, так и аналитических преобразований и выводов.

### -Цель работы.

Целями настоящей диссертационной работы являются:

1. Разработка методов спектрального представления (разложений по базису ортогональных сферических функций) распределений магнитной индукции (МИ) по поверхности головы для решения задач классификации и распознавания картин распределения магнитной индукции по поверхности головы для локализации источников биомагнитной активности головного мозга.

2. Разработка методов спектрального описания акустического поля в одномерных акустических системах по базису Сонина – Лагерра при решении задач резонансно-импедансной диагностики и контроля для акустического каротажа скважин и трубопроводов.

3. Разработка методов оценки акустических (динамических, статических) свойств грунтов в условиях проведения измерений в ближней вибрационной зоне для решения задач экологического контроля и оценки виброакустической обстановки в городских условиях. Разработка процедур оптимального представления звукового поля усеченным ортогональным рядом разложения по базису полиномов Якоби.

Методы исследования. В качестве теоретической основы диссертации применялись: обобщенный спектрально-аналитический метод (ОСАМ) для представления и обработки аналитической и цифровой информации, методы решения некорректных задач параметрической идентификации, методы статистического оценивания параметров динамических систем, теория вероятностей и математическая статистика, методы линейной алгебры, вычислительные методы, разделы математического и функционального анализа. При исследовании предложенных алгоритмов идентификации использовался пакет прикладных программ, разработанный автором.

#### Научную новизну работы определяют:

1. Впервые разработан и протестирован метод спектрального представления данных магнитной энцефалографии (МЭГ) для решения задач локализации источников биоманитной активности различной природы (вызванная, спонтанная) в областях коры головного мозга.

2. Впервые получены и использованы разложения функции давления волны в системе по базису Сонина – Лагерра для решения задач резонансно – импедансной диагностики и контроля одномерных акустических систем в задачах акустического каротажа скважин и трубопроводов.

3. Впервые предложены и реализованы процедуры вычисления акустических (динамических, статических) свойств систем (грунтов) в городских условиях с короткой базой сейсмических наблюдений в условиях отсутствия, неполноты или противоречивости части имеющихся геологической информации.

Созданы эффективные программные пакеты и модули для решения следующих задач: классификации паттернов магнитной индукции на поверхности черепной коробки при различных видах активности в коре

головного мозга, библиотека программ неинвазивной диагностики и контроля одномерных акустических систем в задачах акустического каротажа скважин и трубопроводов, программный комплекс определения акустических свойств грунтов в городских условиях и метод эффективного представления звукового поля набором усеченных ортогональных многочленов.

Практическая ценность Разработанные в диссертационной работе методы спектрального представления информации и аппроксимации экспериментальных данных функциями ортогональных базисов нашли применение для решения целого ряда научно - исследовательских и прикладных задач. Разработанные программы обеспечивают представление анализируемого сигнала по оптимальному базису модифицированных ортогональных полиномов, обеспечивая при этом выбор адекватных базисных функций, весовых функций и масштабных коэффициентов. Модули, входящие в программный пакет, являются также составными частями программ решения конкретных практических задач, представленных в данной работе. Предложенные алгоритмы и их программная реализация позволяют повысить точность математических моделей, а также сократить сроки подготовки оригинальных программ и затраты труда разработчиков систем диагностики и контроля в биомедицине и экологии. Последнее возможно благодаря тому, что при написании программного продукта использовались новейшие достижения в области объектно-ориентированного программирования.

В дальнейшем разработанные спектральные методы классификации паттернов магнитной индукции на поверхности головы при различных видах биоманитной активности и результаты анализа стохастической динамики сигнала МЭГ планируется использовать в клинической практике. Предложенные методы оценки акустических свойств грунтов применяются при строительстве новых станций метро для оценки влияния движения поездов метрополитена на экологическую обстановку в г. Москва и являются частью Федерального нормативного документа СП 23-105-2004 «Оценка вибрации при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена», Госстрой, 2004.

#### Основные положения, выносимые на защиту:

1. Модели, алгоритмы и программное обеспечение в задачах спектральной классификации данных МЭГ и локализации источников нормальной и патологической активности.

2. Модели одномерных акустических систем с сосредоточенным дефектом. Резонансно-импедансный метод и программное обеспечение диагностики (дефектоскопии) в задачах каротажа скважин и трубопроводов.

3. Метод и программное обеспечение решения обратных задач томографии грунтов в задачах экологического мониторинга.

Апробация работы. Основные результаты работы были представлены на V International congress on mathematical modelling, Dubna, Moscow region, September 30-October 6, 2002, на конференциях Математические методы распознавания образов ММРО-10, 11, 12, Москва, 2001, 2003, 2005гг., 7th International conference on pattern recognition and image analysis: new information technologies, PRIA-7-2004, St.-Petersburg, 2004, на Пушкинских школах-конференциях молодых ученых: 5-й, 6-й, 7-й, 9-й, г. Пушкино, 2001 – 2005 г., Интернет-конференции «Информационно-вычислительные технологии в решении фундаментальных научных проблем и прикладных задач химии, биологии, фармацевтики, медицины», ИВТН-2005, 2005, Москва, I Международной конференции Математическая биология и биоинформатика, Пушкино, 9-15 октября 2006 г.

Публикации. По результатам исследований автором опубликовано 15 работ. Ссылки приведены в диссертации.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Основное содержание имеет объем 104 страниц. Список литературы включает 159 наименований. В приложении представлена Справка о внедрении результатов диссертационной работы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается краткое описание изучаемых в диссертации задач, обосновывается их актуальность, формулируется цель и задачи работы, изложены методы исследования, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава посвящена обзору исторических аспектов и современного состояния проблем спектрального представления информации и обзору аспектов задач решаемых в практической части диссертации.

Вторая глава посвящена изложению основ обобщенного спектрально-аналитического метода (ОСАМ).

В третьей главе основное внимание уделяется задачам классификации и распознавания картин распределения магнитного поля по поверхности головы пациента для решения задач локализации источников биомагнитной активности головного мозга.

Магнитное поле на поверхности скальпа описывается “прямой задачей МЭГ”. Согласно исходных данных положения, ориентации, значения магнитной индукции токового источника строится картина магнитной индукции на всей поверхности черепной коробки. Для локализации источников биомагнитной активности необходимо решать “обратную задачу МЭГ”. В качестве признакового пространства, при решении задач классификации типа магнитной активности в записи и распознавания участков с патологией предлагается использовать набор сферических гармоник магнитной индукции по поверхности головы, остающиеся инвариантными при совершении операций, связанных с поворотами на сфере. Выбор информативных признаков осуществляется на этапе обучения алгоритма и основан на оценке изменчивости признаков, коэффициентов Фурье, в классе изучаемых объектов. Для сокращения объема обучающей выборки предлагается ограничить ее только такими паттернами, которые не получают друг из друга поворотом. Основная сложность в реализации данной процедуры связана с неполнотой данных – датчики покрывают не всю поверхность сферы, охватывающей голову, а примерно 2/3 ее части [3]. Это приводит к тому, что визуально картина распределения поля может существенно измениться при повороте. Для решения данной проблемы разработана процедура экстраполяции данных. Так как задача совмещения двух распределений сводится к поиску соответствующего поворота сферы, были использованы свойства представления группы  $SO(3)$  и его матричных элементов, выражающихся через полиномы Лежандра и присоединенные сферические функции [4].

Предлагаемая общая схема распознавания записей МЭГ:

- 1) Обучение алгоритма распознавания по прецедентам; предварительная обработка данных (оценка достоверности показаний в измерительных каналах); вычисление значений сигнала в узловых точках на сфере (интерполяция данных); вычисление коэффициентов разложения  $a_m$ ;

для элементов обучающей выборки соответствующих каждому типу активности вычисляются средние значения и дисперсии признаков;

для обучающей выборки определяются наиболее информативные признаки, максимально разделяющие элементы с различными типами активности.

2) Результатом первого этапа является реализация алгоритма в режиме распознавания. На основании использования значений наиболее информативных коэффициентов разложения (признаков), предъявляемого к распознаванию распределения поля, и средних значений и дисперсии признаков элементов обучающей выборки, соответствующих разным типам активности, делается заключение о принадлежности записи МЭГ к тому или иному типу активности. В связи с отсутствием данных на лицевой области черепной коробки предлагается методика экстраполяции данных на лицевую область методом многоэтапной процедуры аппроксимации функции МИ на данной области.

Далее приводятся результаты и анализ результатов работы алгоритмов распознавания. Предлагаемый спектральный подход классификации данных МЭГ протестирован на клинических записях, содержащих аномальную активность, связанную с болезнью Паркинсона. В качестве обучающей выборки использовались записи МЭГ, в моменты времени которых, присутствовала патология. Выбор записей производился на основе визуального анализа и с использованием контрольных записей миограмм (кривых тремора, снимаемых с конечностей испытуемого пациента). Также формировалась выборка записей, характеризующаяся нормальным типом активности. Для исключения влияния изменений значений магнитной индукции на картину распределения МИ по поверхности черепной коробки проводилась нормализация записей масштабированием. Для нормализованных данных далее осуществлялась процедура идентификации всех имеющихся записей на принадлежность их к классу записей с патологической активностью. При этом использовались спектральные признаки пространственного распределения МЭГ с учетом предложенных критериев информативности. Контроль результатов классификации производился на основе прямого сопоставления абсолютных значений функции МИ с набором эталонных распределений в обучающей выборке. Формально принадлежность сигнала заданному классу определялась неравенством:

$$\sum_{j=0}^{147} |B^j - B_{st,j}^j| < \Delta_{st} \quad (1)$$

для всех  $i$ , где  $i$  – номер записи  $B_{st,i}^j$  обучающей выборке,  $B^j$  – оцениваемое распределение МИ.

$$\Delta_{st} = \max_{k,i} \sum_{j=0}^{147} |B_{st,k}^j - B_{st,i}^j| \quad (2)$$

“диаметр” обучающей выборки.

Далее осуществлялась процедура разложения сигнала МИ по базису сферических функций, результатом которого явился массив сферических гармоник. Следующим этапом явилась непосредственно процедура спектральной классификации записей МЭГ на основе прецедентной информации, содержащейся в обучающей выборке. В качестве правил, классифицирующих записи МЭГ, были использованы несколько вариантов. На рис. 1 представлен результат классификации записей, классифицирующим условием принадлежности записей одной группе являлось число случаев совпадения гармоник в обучающей и анализируемой выборках в пределах некоторой заданной погрешности. При этом число совпадений должно превышать заданную пороговую величину.

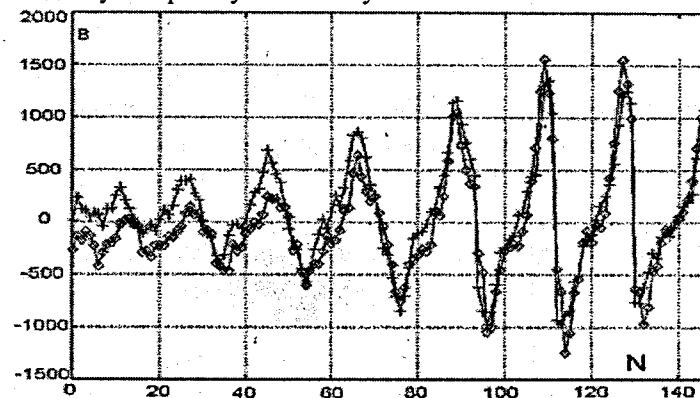


Рис. 1 Значения МИ в каналах измерения.

Такая же процедура классификации записей была проделана и для других критериев выбора информативных признаков.

Далее излагаются результаты решения обратной задачи, как для обучающей выборки, так и найденных спектральным алгоритмом записей МЭГ, при этом локализация источников осуществляется по методу

минимизации функционала невязки экспериментального и вычисленного распределения МИ при найденных положениях источников, использовалась программа MRIAN (ИМПБ РАН).

На рис. 2 приведена локализация дипольных источников найденных записей на основании предварительной спектральной классификации [5, 6]. Для обучающей выборки в 67 моментах времени было найдено 180 точек с хорошо локализуемыми в одной области источниками.

На рис. 3 приведена локализация одного из токовых дипольных источников записей МЭГ с паркинсонической патологией и с нормальным типом активности, число дипольных источников полагалось равным двум, выбор записей производился на основе визуального анализа записей.

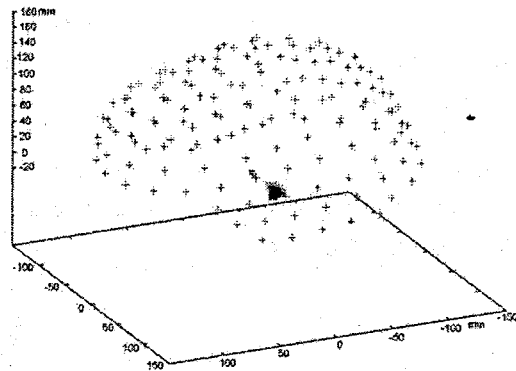


Рис. 2

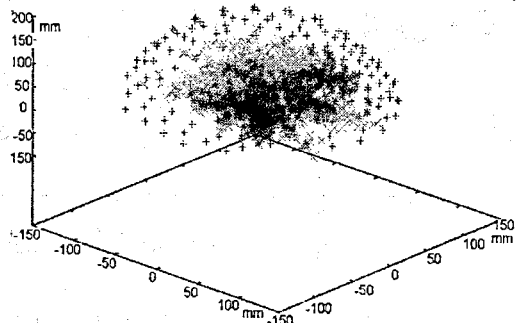


Рис. 3

На рис. 4 представлен результат локализация одного из токовых дипольных источников записей МЭГ с паркинсонической патологией и с нормальным

типом активности, число дипольных источников полагалось равным двум и выбор записей производился на основе предлагаемого спектрального подхода.

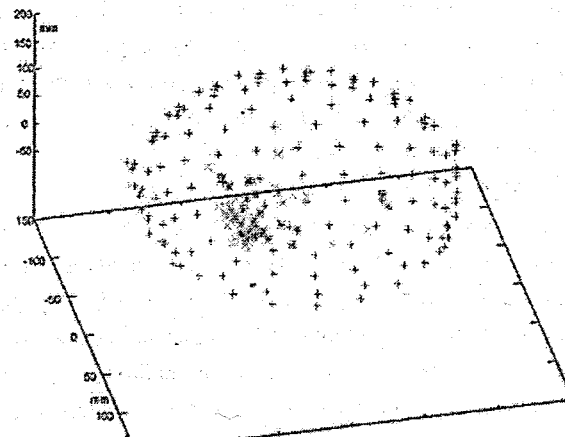


Рис 4. Локализация одного токового диполя на основании результатов спектрального анализа для сигнала в норме – ж, патологии – ж, при этом источник патологии локализуется в точке (21, -33, 59).

Далее приводятся результаты применения методов исследования нелинейных динамических свойств систем для классификации данных МЭГ как у здоровых людей так и больных паркинсонизмом. При этом происходило вычисление корреляционной размерности фазового пространства, образованного коэффициентами разложения Фурье анализируемых записей МЭГ, как для случаев нормального типа активности, так и записей МЭГ с диагностируемой патологией, при этом для восстановления аттрактора анализируемой системы использовался метод временной задержки координат.

Анализ данных МЭГ. Исходные данные МЭГ представляют собой матрицу коэффициентов разложения (сферических гармоник) анализируемых записей  $A$ . Метод решения поставленной задачи следующий: выбирается наиболее информативный столбец матрицы  $A$  из условия максимизации дисперсии признаков во временной области, т.е. находится  $\max_{j \in \{1, \dots, N\}} (D[a_{1,j}], D[a_{2,j}], \dots, D[a_{N,j}])$ . Затем полученный вектор-столбец разбивается на два вектор - столбца, соответствующих различным состояниям активности головного мозга. Для каждого полученного столбца рассчитывается

размерность соответствующего аттрактора. Результаты проведенного исследования показали, что с некоторой долей условности стабилизация размерности аттрактора сигнала с патологией происходит раньше. Это свидетельствует о более простой динамике МЭГ во время вспышки паркинсонической активности: корреляционная размерность аттрактора, во время приступа 6,2, во время нормально состояния в полтора раза больше ~ 9,7. Соответственно размерность фазового пространства (оценка размерности исходной динамической системы)  $n=9$  и  $n=15$ .

Четвертая глава рассматривает резонансно – импедансный метод диагностики одномерных акустических систем. В качестве примера применения резонансно-импедансного метода к решению практических задач акустики приведем отклик одномерной конечной акустической системы цилиндрической трубы (заполненной жидкостью скважины) на импульсное акустическое воздействие. Целью данной работы является исследование изменения спектральных частотных характеристик представленной системы при изменении физических и геометрических свойств участка диссипации акустической волны.

В качестве математической модели рассматриваемой системы была предложена модель ограниченной “узкой трубы” с резонатором Гельмгольца в зоне локальной аномалии. На рисунке 5 представлена математическая модель рассматриваемой системы состоящей из трубы и резонатора Гельмгольца в зоне аномалии, длиной  $l$  и площадью  $s$ .

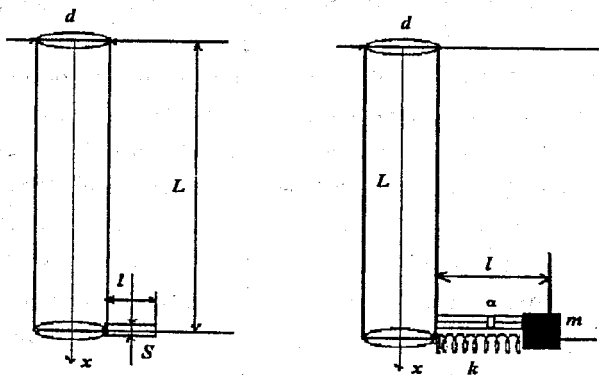


Рис. 5 Механическая модель изучаемой системы (скважина с дефектом стенки).

Так как размеры трубы ограничены, то в результате приложения внешнего импульсного воздействия на трубу 1) образуются стоячие волны определенных дискретных частот – собственные колебания системы, коэффициент затухания которых определяется характеристиками локальной аномалии и параметрами системы. В нашем случае полагаем, что труба закрыта с двух сторон жесткими крышками, что определяет соответствующие граничные условия.

Для представления свободных колебаний в системе (трубе) используем суперпозицию ее собственных колебаний, взятых с теми или иными амплитудами, причем в качестве базисных функции удобно использовать полиномы Сонина - Лагерра в виду затухающего характера колебаний.

Функция  $P(t)$  давления волны в зависимости от времени может быть разложена по системе ортонормированных полиномов Сонина - Лагерра  $L_n^\alpha(t)$  в соответствии со следующим выражением:

$$P(t) = \sum_{n=0}^N c_n L_n^\alpha(mt), \quad (3)$$

где  $c_n$  - коэффициенты разложения функции  $P(t)$ . Для одномерной волны, давление в трубе в зависимости от координаты вдоль трубы и времени определяется решениями волнового уравнения и для  $l$ -й спектральной составляющей давления волны в трубе:

$$A_l = \frac{P_0 \omega_0^2}{c^2 k_l^2 + (-\alpha_l - i\omega_l)^2} \quad (4)$$

Распределение давлений в обертоном номера  $l$  имеет вид:

$$p_l(x,t) = A_l e^{-\alpha_l t - i\omega_l t} \cos(k_l x). \quad (5)$$

Колебания резонатора являются источником вторичных волн, которые, интерферируя с полем в трубе, приводят к изменению последнего, что и требуется идентифицировать. Спектральные составляющие колебаний  $B_l$  в резонаторе:

$$B_l = \frac{A_l s}{m(-\alpha_l - i\omega_l)^2 + \beta(-\alpha_l - i\omega_l) + k}$$

Резонансная частота в системе определяется условием:

$$\omega = \frac{i\beta \pm \sqrt{4mk - \beta^2}}{2m} \quad (6)$$



Давление волны в трубе  $\tilde{P}(t, x)$  определяется суммой давлений собственных колебаний трубы и давления вынужденных колебаний, вызванных реакцией резонатора.

$$\tilde{P}(t, x) = \sum_l A_l \sin(k_l x) e^{-\alpha_l t - i\omega_l t} + \sum_l R_l e^{-\alpha_l t - i\omega_l t} \quad (7)$$

Таким образом, значения коэффициентов разложения  $C_n$  давления в трубе  $\tilde{P}(t, z)$  по функциям базиса полиномов Сонина - Лагерра, определяются следующим выражением:

$$C_n = \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{P}(t, x) L_n^\alpha(mt) \quad (8)$$

Для повышения чувствительности рассматриваемого резонансно - импедансного метода выделения гармоник, на которых наблюдается резонанс, производится дополнительная оптимизация путем выбора масштабного коэффициента  $m$  в определении полинома  $L_n^\alpha(mt)$ .

Предлагаемый спектральный подход к исследованию характеристик одномерных акустических систем численно тестировался на модели акустического каротажа скважины, заполненной жидкостью, при наличии дефекта стенки. Моделируемая система характеризуется следующими физическими параметрами. Рассматривалась скважина глубиной 50 м., параметры дефекта (трещины) задавались глубиной и поперечными размерами (площадью), определяющими параметры резонатора Гельмгольца. Безразмерный коэффициент затухания в системе принимался 0.02.

На первом этапе для приведенных акустических характеристик системы аналитически определялось поведение звукового поля в системе в отсутствие резонансного взаимодействия падающей и рассеянной на аномалию волны. Зависимость функции  $P(t)$  описывалась ее спектральным аналитическим представлением в тригонометрическом базисе (7). Методом варьирования параметров резонатора (дефекта) определялась чувствительность моделируемой акустической системы к влиянию локальной аномалии.

На следующем шаге определялось спектрального представления колебаний по базису полиномов Сонина - Лагерра согласно выражению (8) (тригонометрический ряд переопределялся в новом базисе). Рассматривались случаи, как резонансного рассеяния, так и вдали от резонанса. При этом также определялись геометрические характеристики резонатора, собственная частота которого бы соответствовала одной из собственных частот трубы. На рис. 6

представлены коэффициенты разложения функции давление волны  $P(t)$  в верхней точке скважины: 1 - коэффициенты разложения в случае отсутствия резонанса, 2 - в случае резонанса.

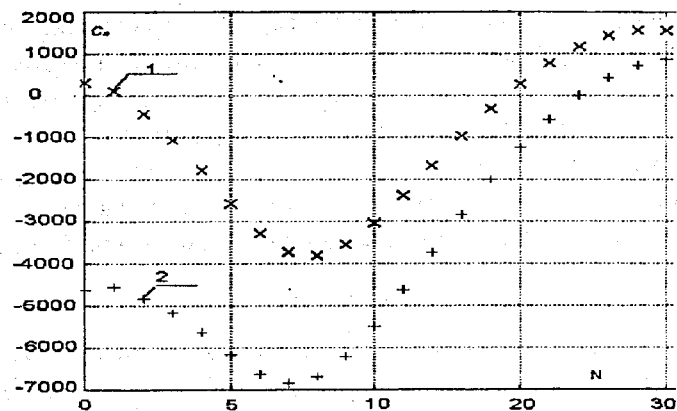


Рис. 6. Коэффициенты разложения функции давление волны  $P(t)$ .

Для повышения чувствительности предлагаемого резонансно - импедансного метода диагностики к резонансным гармоникам алгоритм настраивался подбором оптимального значения масштабного множителя  $m$  в определении полинома  $L_n^\alpha(mt)$ . При выбранных значениях параметров системы оптимальное значение масштабного множителя  $m_{opt} = 2,05$ .

В пятой главе рассматриваются методы оценки акустических параметров грунта. Постановка задачи связана с задачами контроля виброакустической обстановки в городских условиях. Излагаются сложности связанные с определением геофизических свойств грунтов и как следствие постановка обратной задачи для реальных грунтов не является тривиальной и как следствие на практике используют методы расчета, являющиеся в значительной степени эмпирическими.

В соответствии с общей постановкой задачи и требованиями процедуры расчета величин вибрации на поверхности грунта требуется определение следующих параметров: типа стратификации - число слоев и толщину каждого слоя (далее принимается общее число слоев  $1 \leq N_c \leq 3$  с существенно

отличающимися свойствами); плотности грунта  $\rho$ ; скоростей продольных и поперечных упругих волн  $c_l$  и  $c_t$  и коэффициента затухания  $\beta$  в каждом слое.

Решение обратной задачи оценки параметров грунта производится методом подбора их конкретных величин с подстановкой в расчетную схему и сравнением рассчитанных значений с набором измеренных величин на разных расстояниях от источника вибрации. При этом в качестве начального приближения берутся нижние значения скорости продольных волн и минимальные величины коэффициента затухания для соответствующего грунта. Задаются также максимальные значения тех же параметров для соответствующего типа грунта. С учетом постоянства коэффициента Пуассона, скорость поперечных волн в грунте находится по формуле

$$c_t = c_l \left[ \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \right]^{1/2} \quad (9)$$

Если при первой прогонке требуемого соответствия с экспериментом достичь не удастся, необходимо варьировать значения оцениваемых параметров.

Анализ ведется начиная с простейшей однослойной модели, если при этом требуемая точность подгонки к данным эксперимента не достигается осуществляется переход к двух- и трехслойным моделям. Начальными значениями для скорости продольных волн выбирается величина  $c=100$  м/с, а для коэффициента затухания  $\beta=0,05$ . Описанный подход тестировался с использованием экспериментальных данных, полученных в Тоннельной ассоциации России. Они включали величины вибрации на поверхности земли. Волновое поле возбуждалось серией слабых стандартизованных взрывов в шахте глубиной 22 м. Измерялись вертикальные и горизонтальные значения виброускорения на расстояниях  $l = 0, 10, 20, 30, 40$  м от шахты. Сопоставление расчетных (при найденных значениях параметров) и экспериментальных данных (уровней  $L$  вертикальных проекций виброускорения  $a$ ) для октавных полос 16, 31,5 и 63 Гц приведены на рис. 8. Результаты расчетов демонстрируют хорошее соответствие измерениям на малых расстояниях, при этом точность увеличивается с ростом частоты. Это свидетельствует об оптимальности выбора весовой функции для октавного диапазона 63 Гц и необходимости ее коррекции для частот 16 и 31,5 Гц.

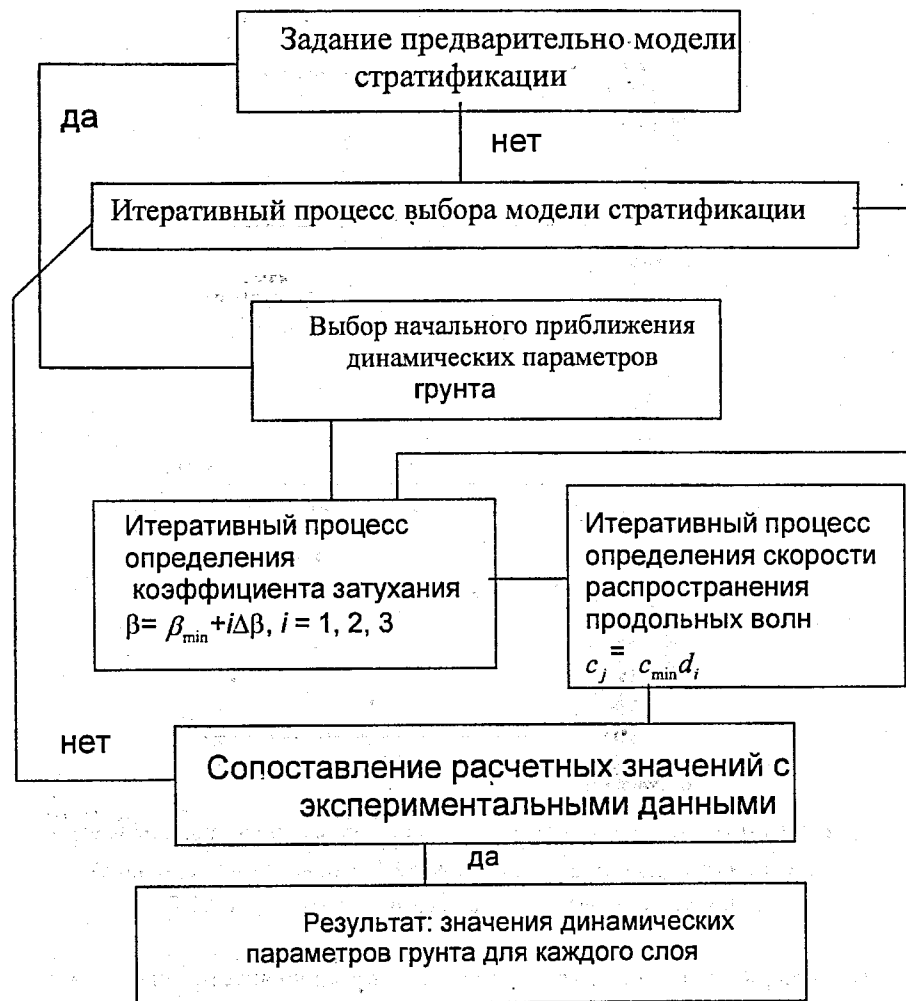


Рис. 7 Блок-схема реализации алгоритма определения динамических параметров грунта.

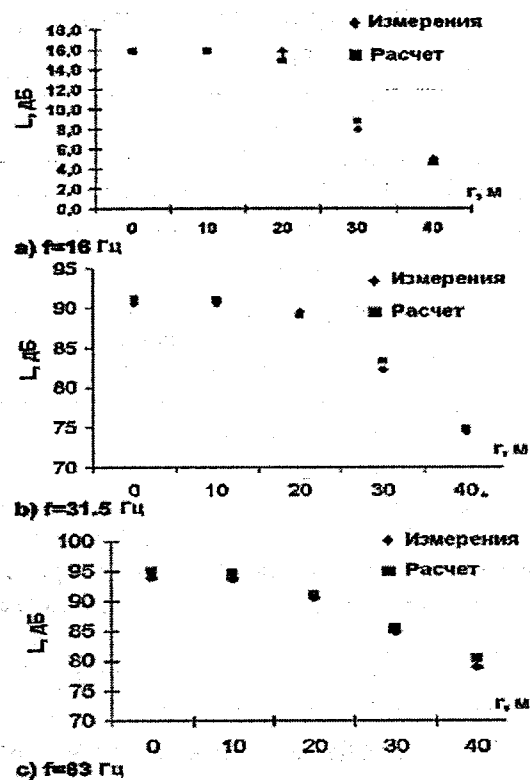


Рис. 8 Сопоставление расчетных (при найденных значениях параметров) и экспериментальных данных (уровней  $L$  вертикальных проекций виброускорения) для октавных полос 16, 31,5 и 63 Гц.

В основной части предлагается подход к описанию акустических данных и параметрической идентификации систем на основе ортогональных разложений. Метод использует адаптивную настройку аппроксимации цифрового массива усеченным ортогональным рядом. Все последующие процедуры анализа проводятся в пространстве коэффициентов разложения.

Предлагаемый метод был использован для решения обратной задачи в случае волновода в грунте. Последний возникает, например, в период промерзания поверхностного слоя грунта или при его оттаивании, что ведет к водонасыщенности верхнего слоя. И первое, и второе приводит к тому, что

скорость распространения упругих волн (прежде всего продольных) вблизи поверхности выше, чем на глубине.

Звуковое давление  $p$  в мягком грунте (приближение жидкой среды) описывается уравнением

$$\frac{d^2 p}{dz^2} + \omega^2 \left[ \frac{1}{c^2(z)} - \frac{1}{c_0^2} \right] p = 0, \quad (10)$$

Для аппроксимации решения уравнения (4) используются модифицированные полиномы Якоби  $R_n^{\alpha\beta}(x)$  [2], определенные на интервале  $(0, +\infty)$ . Этот базис позволяет получить хорошую аппроксимацию для  $p(z)$  рядом длиной  $N=4$ .

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Результаты работы демонстрируют высокую эффективность метода в решении задачи классификации данных магнитной энцефалографии и выделения участков записи с активностью мозга, связанной с патологическими процессами при паркинсонизме. Исследована возможность корректной экстраполяции данных на область сферы, охватывающей голову, на которой биомагнитные данные отсутствуют (примерно 1/3 общей площади). В случаях, имеющих клинические проявления в виде тремора, корректность предлагаемого метода классификации подтверждается независимым анализом миограмм. Основным результатом настоящей работы можно назвать разработку достаточно эффективной и быстрой процедуры разбиения всего временного ряда, представляющего запись МЭГ на два класса. При этом моменты времени, в которых присутствует аномальная компонента активности, становятся исходными данными в задаче локализации участков мозга, связанных с рассматриваемой патологией. Для дополнительного контроля полученных результатов классификации по спектральным характеристикам МЭГ и результатам решения обратной задачи локализации источников активности был проведен размерностный анализ участков сигнала с диагностируемой патологией и сигналом в норме. В результате можно сделать вывод о том, что переключение от нормальной в аномальную активность приводит к упрощению динамики сигнала. Размерность лежащей в основе изменчивости динамической системы снижается ориентировочно с 15 до 9, а размерность (сложность) аттрактора системы с 9,7 до 6,2. Таким

образом, размерность участка сигнала может быть дополнительным диагностическим признаком.

2. Результаты проведенного моделирования показали эффективность предлагаемого спектрально - импедансного метода в задачах диагностики и контроля одномерных акустических систем. Метод демонстрирует высокую чувствительность к значениям параметров аномалии (в особенности вблизи значений параметров, соответствующих резонансному рассеянию на дефекте.) Использование разложений по полиномам Сонина - Лагерра позволяет получить оптимальные представления исходных данных, что связано с характером поведения сигнала и возможностями адаптации метода к области существования сигнала, а также к параметрам затухания в системе. К достоинствам предлагаемого подхода можно отнести его достаточно высокую помехоустойчивость, что объясняется операцией интегрирования анализируемого сигнала в процессе его разложения по выбранному базису. Система диагностики, основанная на изучении низкочастотных акустических свойств системы, может использоваться в качестве самостоятельного дистанционного инструмента контроля и в совокупности с альтернативными методами каротажа.

3. Разработаны процедуры анализа экспериментальных вибрационных и акустических данных, на основе которых разработан метод оценки параметров грунта в городских условиях, которые впоследствии могут использоваться в прямых задачах акустического экологического контроля. Применение предлагаемой процедуры позволяет получать удовлетворительные оценки значений параметров грунта для большинства реальных ситуаций с мягкими или средне жесткими грунтами, свойства которых меняются достаточно медленно в горизонтальном направлении. Наличие априорной геологической информации полезно для получения более надежных результатов, но не является обязательным. Знание распределения величин вибрации на поверхности грунта позволяет получить хорошую аппроксимацию вибрации в верхних приповерхностных слоях. При этом могут быть получены также распределения упругих и диссипативных свойств. Переход от представления поведения акустического поля набором экспонент к рядам ортогональных многочленов позволяет существенно улучшить точность аппроксимации и соответственно надежность оценки искомым упругих и диссипативных параметров.

1. С.А.Рыбак, С.А.Махортых, С.А.Костарев, А.В.Дергузов. Методы оценки акустических параметров грунта. *Акустич. журнал*. 2004, т.50, №3, с. 1-9.

2. A. V. Derguzov and S. A. Makhortykh, "Spectral Analysis and Data Classification in Magnetoencephalography", *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2006, Vol. 16, No. 3, pp. 497-505.

3. А.В. Дергузов, С.А. Махортых "Резонансно-импедансный метод диагностики одномерных акустических систем" "Контроль. Диагностика" №4 2006.

4. А.В. Дергузов, С.А. Махортых "Распознавание патологической активности в записях магнитных энцефалограмм при болезни Паркинсона" *Электронный журнал "Исследовано в России"*, 149, стр. 1562-1573, 2005 <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/149.pdf>

5. А.В. Дергузов, С.А. Махортых, Р.А. Семечкин "Комплексная диагностика паркинсонизма по данным магнитной энцефалографии" *Электронный журнал "Исследовано в России"*, 065, стр. 646-659, 2006 г. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/065.pdf>

6. Программа для ЭВМ «Спектральный анализ, классификации и диагностика цифровых массивов / SpectMate». Авторы: С.А.Махортых, В.А.Дергузов, Л.И.Куликова, А.Н.Панкратов. Зарегистрирована в реестре программ Российским агентством по патентам и товарным знакам (Роспатент) 10.02.2004, № рег. 2004610405.

7. A.V. Derguzov and S.A. Makhortykh // "Spectral methods in magnetic encephalography inverse problem" // V international Congress on mathematical modelling, September 30-October 6, 2002 Dubna, Moscow region

8. А.В.Дергузов, С.А.Махортых. Аппроксимация и классификация пространственных данных магнитной энцефалографии. Труды 10-й конференции Математические методы распознавания образов (ММРО-10). Москва.:2001. Стр.196-198.

9. А.В.Дергузов, С.А.Махортых. Неинвазивная диагностика состояния одномерных механических систем. Труды 10-й конференции Математические методы распознавания образов (ММРО-10). Москва.:2001. Стр.198-201.

10. А.В.Дергузов, С.А.Махортых. Анализ и идентификация функций, заданных на сфере. Сб. докладов 11 конференции «Математические методы распознавания образов». Москва., 2003, с.65-67.

11. А.В. Дергузов, С.А. Махортых “Неинвазивная диагностика локальных артериальных аномалий” // Биология – наука 21 века, 5 Пушкинская конференция молодых ученых 16-20 апреля 2001 года

12. А.В.Дергузов, С.А.Махортых. Аппроксимация данных магнитной энцефалографии на сфере. Тезисы докладов 6-й Пушкинской школы молодых ученых, секция «Математическая и вычислительная биология», Пушкино, 2002, с.175.

13. А.В. Дергузов, С.А. Махортых “Спектральная диагностика механических систем” // Биология – наука 21 века, 9 Пушкинская конференция молодых ученых 18-22 апреля 2005 года

14. А.В. Дергузов, С.А. Махортых Spectral methods of magnetic encephalograms classification. 7th International Conference on pattern recognition and image analysis: new information technologies PRIA-7-2004. Conference proceedings. St.-Petersburg. P. 655-657.

15. A.V.Derguzov and S.A.Makhortykh, R.A.Semechkin. Computer diagnostics of Parkinson's disease according to the data of magnetic encephalography. Математическая биология и биоинформатика. Доклады I Международной конференции. Пушкино, 9-15 октября 2006 г., с.100.