



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

У-804

5-2004-55

На правах рукописи
УДК 51-7 + 517.518.8 + 61:007 + 539.1.05

УСТИНИН
Михаил Николаевич

**СПЕКТРАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО
И НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

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

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

344.1ш

Дубна 2004

Работа выполнена в Институте математических проблем биологии РАН,
г.Пушино Московской области

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
член-корреспондент РАН Константин Владимирович Рудаков

доктор физико-математических наук,
профессор Иосиф Моисеевич Иванченко

доктор физико-математических наук,
профессор Владимир Владимирович Смолянинов

Ведущая организация:

Межведомственный суперкомпьютерный центр (г.Москва)

Защита диссертации состоится « _____ » _____ 2004г. в _____
на заседании диссертационного Совета Д720.001.04 в Лаборатории
информационных технологий Объединенного института ядерных
исследований, г.Дубна, Московская область

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2004 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

кандидат физико-математических
наук

З.М.Иванченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Для современного этапа развития науки и техники характерно получение и использование больших объемов информации. Как показывает опыт, с течением времени эта тенденция только усиливается – развитие вычислительной техники, телекоммуникаций и регистрирующей аппаратуры приводят к неуклонному росту количества данных. Следовательно, возрастают и требования к средствам и методам их обработки и анализа, что заставляет наращивать вычислительные мощности создаваемых информационных систем.

Для ряда задач получения (моделирования или регистрации) данных и их обработки представляется актуальным создание единого методического подхода, основанного на общих математических принципах. Спектрально-аналитические методы отличаются высокой эффективностью и могут быть избраны в качестве ядра такого единого подхода, при этом их основным преимуществом является совмещение цифровых расчетов с аналитическими преобразованиями и выводами с целью повышения точности и скорости вычислений на ЭВМ. Алгоритмическое и программное обеспечение, создаваемое на их основе, обладает высокой универсальностью и может быть включено в программные и аппаратно-программные комплексы различного назначения.

В обобщенном виде этапы исследовательских и практических задач обработки данных, решаемых в диссертации, могут быть записаны в следующей последовательности:

I. Регистрация или моделирование данных в натурном или вычислительном эксперименте.

II. Выделение или очистка полезной информации, коррекция ошибок регистрации.

III. Анализ результатов, научные выводы или медицинская диагностика.

Для задач вычислительной физики характерны большие объемы вычислений и необходимость получения аналитического представления расчетных данных для дальнейшего использования. Зачастую в этих задачах применение спектральных подходов является необходимым условием, при этом в задачах моделирования аппроксимация функций выполняется уже на первом этапе.

В основе современной медицинской диагностики лежат цифровые методы регистрации сигналов и изображений, что также приводит к получению больших объемов информации.

В последние годы бурно развивается магнитная энцефалография, дающая возможность полностью неинвазивного и бесконтактного получения информации о процессах, происходящих как в коре головного мозга, так и в более глубоких его отделах. При этом весьма актуальным остается создание

новых методов выделения сигналов, интересующих исследователей и врачей, из общей спонтанной активности.

Создание цифровых рентгенодиагностических комплексов также является весьма актуальной задачей. Применение таких аппаратов избавляет от необходимости использовать дорогую рентгеновскую фотопленку, в то же время предоставляя все преимущества компьютерной обработки снимков и передачи их по каналам связи. Необходимо создать программное обеспечение, которое обеспечит весь цикл регистрации, обработки, предъявления, хранения, печати и передачи по каналам связи цифровых рентгеновских снимков. Кроме того, цифровая форма регистрации открывает новые возможности для развития количественных методов диагностики, и спектрально-аналитические подходы, несомненно, найдут здесь свое применение.

Целью диссертационной работы является:

- рассмотрение с единых методических позиций различных задач моделирования, регистрации и анализа экспериментальных данных;
- разработка обобщенного спектрально-аналитического подхода к указанным проблемам;
- алгоритмическое и программное воплощение развитого математического аппарата;
- создание комплексов программ для решения фундаментальных и прикладных естественнонаучных задач.

Научная новизна

С единых позиций рассмотрены различные задачи получения и анализа данных экспериментов, от вычислительной ядерной физики до медицинской рентгеновской диагностики. Найдено, что спектрально-аналитические подходы могут быть эффективно применены для решения указанных задач.

Развита методика решения задач о реакциях в малонуклонных системах с реалистическими взаимодействиями. С помощью этой методики решена задача о рассеянии нейтрона на альфа-частице, изучен вопрос о вкладе различных компонент нуклон-нуклонных взаимодействий, что является первым безмодельным решением реалистической задачи о реакциях в системе с числом нуклонов, большим трех.

Найдены высокоточные аппроксимации семейств решений нелинейной задачи о поляроне и F-центре. Выполнены аппроксимации большого числа решений задачи о поляроне в кластерах различного размера, найдены простые зависимости коэффициентов разложения от радиуса кластеров, позволяющие компактно представить все семейство решений.

Создан интегрированный программный комплекс для разветвленного одновременного анализа данных магнитной энцефалографии и магниторезонансной томографии, представляющий собой эффективный поисковый инструмент исследователя. Существенным отличием комплекса является высокая гибкость в выборе сценария обработки энцефалограмм и решения обратных задач, а также развитый графический интерфейс. При анализе сложных пространственно-временных данных возможно использовать ортогональные разложения по различным базисам, включая тригонометрический базис Фурье, классические ортогональные многочлены и собственный базис Карунена-Лозва, выбирая оптимальную стратегию обработки.

Разработан и реализован на практике аппаратно-программный комплекс «Приставка цифровая компьютерная к медицинскому рентгеновскому аппарату», обладающая важным новым свойством – возможностью оптической перестройки поля зрения. Такая перестройка позволяет в несколько раз увеличивать разрешение снимка за счет соответствующего сокращения геометрического размера снимка. В состав комплекса включены программы коррекции изображений на основе спектрального подхода, что открывает возможности для развития количественных методов диагностики.

Практическая значимость

Спектрально-аналитические подходы, развитые в диссертации, найдут свое применение при решении других задач вычислительной физики. Результаты аппроксимации поляронных решений уже использовались при расчетах матричных элементов в различных математических моделях.

Обладает высокой практической значимостью программный комплекс для магнитной энцефалографии, обеспечивающий: а) возможность оперативного анализа и моделирования данных МЭГ по различным сценариям; б) решение обратных задач для разных моделей источников; в) представление результатов локализации на томограмме головы испытуемого. Создание такого комплекса особенно важно для проведения поисковой работы по апробированию новых подходов к обработке данных МЭГ.

Весьма велика значимость создания цифровых рентгенодиагностических комплексов и программного обеспечения к ним. Можно оценить ее масштаб, исходя из того факта, что в настоящее время в России имеются десятки тысяч медицинских рентгеновских аппаратов. Представляется оптимальным создание цифровых регистрирующих устройств – приставок к уже существующим пленочным рентгенаппаратам. Внедрение таких приставок позволит вывести рентгеновскую диагностику на совершенно новый уровень, обеспечив решение задач телемедицины и количественной диагностики.

На защиту выдвигаются следующие результаты:

1. Единый спектрально-аналитический подход к получению, обработке и анализу данных вычислительного и натурального эксперимента. Суть метода состоит в аналитическом представлении изучаемых функций для дальнейшего использования. В рамках метода применяются различные подходы к аппроксимации функций, с использованием широкого диапазона базисных функций.

2. Методика решения задач о реакциях в малонуклонных системах с реалистическими взаимодействиями, показана ее применимость для расчета реакций с числом частиц до 8 включительно. Решена задача о рассеянии нейтрона на альфа-частице, изучен вопрос о вкладе различных компонент нуклон-нуклонных взаимодействий.

3. Высокоточные аппроксимации семейств решений нелинейной задачи о поляроне и F-центре, а также о поляроне в кластерах. С использованием этих аппроксимаций выполнены расчеты матричных элементов перехода электрона между белками в рамках поляронной модели.

4. Комплекс программ для интегрированного анализа магнитных энцефалограмм и магниторезонансных томограмм мозга человека. В состав комплекса входят программы обработки и анализа магнитоэнцефалограмм, основанные на ортогональных разложениях по различным базисам, включая тригонометрический базис Фурье, классические ортогональные многочлены и собственный базис Карунена-Лозва. Комплекс выполнен в среде программирования MATLAB и содержит развитый графический интерфейс.

5. Аппаратно-программный комплекс для получения и обработки медицинских рентгеновских изображений без применения пленки. Комплекс позволяет получать цифровые диагностические снимки, не уступающие по информативности пленочным, при существенном снижении доз облучения. Коррекция диагностических изображений производится с помощью спектральных методов.

Реализация результатов работы

Работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ Института математических проблем биологии РАН. Обобщенный спектрально-аналитический метод опубликован в монографии и учебном пособии, а также в серии журнальных статей.

Комплекс программ для обработки данных магнитной энцефалографии реализован в среде программирования MATLAB и используется в Лаборатории обработки данных ИМПБ РАН для анализа нейрофизиологических экспериментов.

Аппаратно-программный комплекс «Приставка цифровая компьютерная к медицинскому рентгеновскому аппарату» разрешен Министерством здравоохранения РФ к использованию в медицинских учреждениях и внедрен в медицинскую практику. С 1997 года приставка работает в одной из больниц

Московской области, с ее помощью выполнено около 50 тысяч диагностических снимков. Ведется работа по тиражированию и широкому внедрению приставки, на опытном заводе Института биологического приборостроения РАН выпущена малая серия.

Апробация работы

Материалы диссертации докладывались на Международном коллоквиуме «Новые информационные технологии» (Москва, 1991), Международном симпозиуме «Математические теории биологических процессов», (Калининград, 1993), 5-й Международной конференции «Image Processing and Computer Optics», (Самара, 1994), на 9-й Скандинавской конференции по анализу изображений (Упсала, Швеция, 1995), на VI, VII, VIII, IX, X и XI Всероссийских конференциях «Математические методы распознавания образов» (Звенигород, Москва, Пушкино, 1993-2003), на I Всероссийской конференции «Спектральные методы обработки информации в научных исследованиях» (Пушино, 2000), на Международной конференции «Real Time Data» (Дубна, 1994), на Международной конференции «Математика. Компьютер. Образование» (Пушино, Дубна, 1995-1996), на 2-ой Всероссийской конференции «Расознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии» (Ульяновск, 1995), на 11-й Всероссийской конференции «Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов решения задач математической физики» (Пушино, 1996), на Международной конференции «Интеллектуализация обработки информации» (Алушта, 1996), на Международной научно-технической конференции МНТК-98 (Москва, 1998), на 34-м и 38 совещаниях по ядерной спектроскопии, (Алма-Ата, Баку, 1984, 1988) на 12 Международной конференции «Few-Body Problem in Physics» (Ванкувер, Канада, 1989), на 4, и 5-й Пушкинских школах молодых ученых, (Пушино, 1999-2001), на Российско-Южнокорейском семинаре-презентации «Biotechnology-2002», (Пушино, 2002).

Пакет программ для обработки данных магнитной энцефалографии вошел в число основных результатов Российской академии наук в 2002 году.

Аппаратно-программный комплекс для получения и обработки цифровых рентгеновских изображений без применения рентгеновской пленки демонстрировался на 16 российских и международных выставках, награжден дипломами и медалями, в том числе Золотой медалью ВВЦ (Москва, 1998), Золотой медалью с отличием Международного салона изобретений «Eureka'98» (Брюссель, Бельгия, 1998) и Серебряной медалью III Московского международного салона инноваций и инвестиций (Москва, 2003).

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 67 печатных работ, в том числе 1 монография, 1 учебное пособие, 10 статей в журналах, 5 статей в сборниках и 4 патента. Остальные работы – труды конференций и тезисы докладов.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и трех приложений. Общий объем работы составляет 252 страницы, включая 60 рисунков и 23 таблицы. Список литературы включает 205 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** сформулированы основные идеи работы, дано краткое резюме содержания, приведены результаты.

Первая глава посвящена изложению методической основы работы - обобщенного спектрально-аналитического метода обработки данных эксперимента, в ней описаны результаты поиска возможных путей совмещения цифровых расчетов с аналитическими преобразованиями и выводами с целью повышения точности и скорости вычислений на ЭВМ. При этом сохраняется наглядность аналитических выводов и возможность на каждом шаге вычислений иметь аналитическое представление вычисляемых характеристик, искомых параметров и оценок.

Успешная реализация комбинированного метода обработки данных непосредственно зависит от формы аналитического описания исходных числовых массивов. Метод основан на аппроксимации данных отрезками ортогональных рядов с использованием классических ортогональных полиномов и функций непрерывного и дискретного аргументов. Замечательные аппроксимативные свойства ортогональных базисов определяют их привлекательность при решении указанных ранее задач, а использование результатов аппроксимации в разнообразных аналитических преобразованиях и выводах для получения требуемых оценок или характеристик делает классические ортогональные базисы перспективным инструментом в имеющемся множестве методов и подходов аналитического описания цифровых информационных массивов.

Теория классических ортогональных базисов есть обобщение теории рядов Фурье на алгебраические полиномы. Их отличительная особенность состоит, главным образом, в том, что в большинстве формул, задающих конкретные базисы, имеются параметры, изменение которых может заметно менять свойства ортогональных полиномов и весовых функций, образующих конкретный ортогональный базис. Последнее обстоятельство особенно важно в задачах оптимальной аналитической аппроксимации, когда заданная

точность должна быть обеспечена наиболее коротким отрезком ортогонального ряда. Применение специальных адаптивных процедур обеспечивает оптимальную (квазиоптимальную) аналитическую аппроксимацию данных на цифровых ЭВМ в автоматическом режиме. Появляется реальная возможность весьма эффективно проводить разнообразные аналитические преобразования и выводы, способствующие получению в аналитической форме необходимых оценок и характеристик. Выведенные в общем виде заранее формулы вводятся в ЭВМ программно либо “записываются” в постоянное запоминающее устройство. При поступлении цифровых информационных массивов выполняется их описание в аналитической форме. Вычисленные при этом коэффициенты разложения направляются в соответствующие ячейки памяти, в которых хранятся выведенные формулы для вычисления требуемых оценок и характеристик. Причем дальнейшее нахождение искомых характеристик по предлагаемой схеме определяется временем обмена данными в ЭВМ. Работа в описываемом режиме исключает необходимость проведения многократных расчетов и не приводит к счетной неустойчивости. Повышается точность и скорость получения искомых оценок. Высокая универсальность метода обеспечивается достаточно полным набором формул и аналитических соотношений в пространстве коэффициентов разложения, выведенных для каждого используемого базиса при решении типовых задач обработки данных независимо от их физической природы.

Разработанные алгоритмы обеспечивают решение следующих задач анализа изображений и распознавания образов: аналитического описания данных; «сжатия» объема представления информации; фильтрации низкочастотных и высокочастотных помех; определения геометрических характеристик объекта; реализации процедур масштабирования; определения координат и ориентации объекта в поле зрения, а также расстояния до него; реализации спектральной процедуры распознавания. Решение задач анализа изображений проводится путем получения соответствующих оценок по коэффициентам разложения. Дальнейшее увеличение эффективности данного метода связано с решением задачи ускорения процедуры вычисления коэффициентов разложения. Перспективы высокоскоростного расчета коэффициентов связываются с возможностью построения специализированного вычислителя, совместимого с серийными ЭВМ. Последовательная алгоритмизация выполнения разнообразных аналитических преобразований и выводов для наиболее употребляемых ортонормированных базисов является основой формирования альтернативной вычислительной технологии, особенно удобной при решении задач распознавания в широком смысле. Предлагаемая технология обеспечивает высокое быстродействие при решении информационных задач, требуемую точность вычислений и их наглядность при сравнительно небольшой стоимости таких вычислителей за счет распараллеливания операций и высокой унификации блоков, их

образующих. Программирование для решения разнообразных задач на рассматриваемых вычислителях будет сведено к минимуму за счет предварительного выполнения аналитических преобразований и выводов в пространстве коэффициентов разложения.

Полученные результаты демонстрируют высокую эффективность обобщенного спектрально-аналитического метода применительно к решению информационных задач различного назначения. В рамках предлагаемого подхода эффективно решаются следующие задачи: аналитическое описание цифровых информационных массивов, полученных в эксперименте или путем теоретических расчетов для получения необходимых оценок или характеристик; аналитическое описание одномерных, плоских и пространственных кривых с целью сжатия объема представления данных, а также для разработки аналитических алгоритмов распознавания сложных конфигураций; математическое моделирование (замена реальной модели эквивалентной с заданной точностью в виде отрезка ортогонального ряда); исследование сложных динамических систем, математическая модель которых неизвестна, путем аналитического описания динамики отдельных звеньев или блоков исследуемого объекта; синтез технических устройств с заданными динамическими характеристиками.

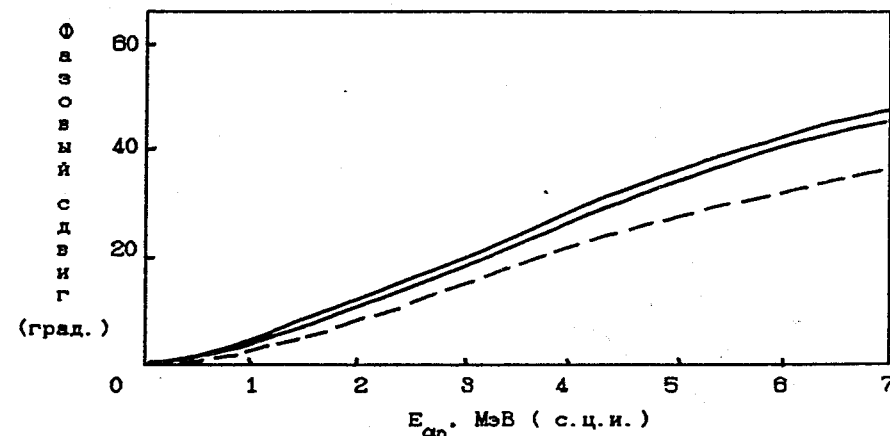
Во второй главе изложено решение задачи о рассеянии нейтрона на альфа-частице с реалистическими нуклон-нуклонными взаимодействиями, выполненное в рамках алгебраической версии метода резонирующих групп (МРГ).

Первый раздел посвящен общей постановке задачи: изучается вопрос о микроскопическом описании легких ядер и реакций с помощью нерелятивистского уравнения Шредингера для системы нуклонов на основе реалистических нуклон-нуклонных сил - парных взаимодействий, хорошо воспроизводящих свойства системы двух нуклонов в нерелятивистском диапазоне энергий ($E_{л.с.} < 350-400$ МэВ). Для них характерны: сложная операторная форма, большая роль нецентральных компонент и сильное отталкивание на малых межнуклонных расстояниях (кор).

Во втором разделе излагаются основы предлагаемой методики расчетов реакций по МРГ на основе реалистических NN-взаимодействий. Кратко описан метод резонирующих групп, рассмотрены основные приемы, позволяющие проводить упомянутые расчеты: использование простых высокоточных представлений для ВФ фрагментов, найденных из решения соответствующих уравнений Шредингера; приближенный учет кора при помощи ястровских множителей; аппроксимация всех подынтегральных функций суммами гауссовых экспонент. Изложен также метод вычисления матричных элементов.

В разделе 2.3 рассматриваются практические вопросы применения указанной методики, описываются алгоритмы расчетов, обсуждаются вопросы сходимости результатов и контроля точности.

Четвертый раздел посвящен изложению результатов, полученных при решении задачи α -рассеяния в беспolarизационном приближении. Сначала рассмотрены результаты расчетов с модельными потенциалами и модельными ВФ α -частицы, воспроизведены результаты таких расчетов, полученные другими авторами, выявлены некоторые закономерности, полезные для дальнейшего. Далее мы переходим к изложению результатов реалистических расчетов в беспolarизационном приближении МРГ. Приводятся фазы α -рассеяния, найденные с реалистическими взаимодействиями EN и SSC, делаются выводы о роли отдельных компонент взаимодействия в расщеплении фаз по полному моменту.

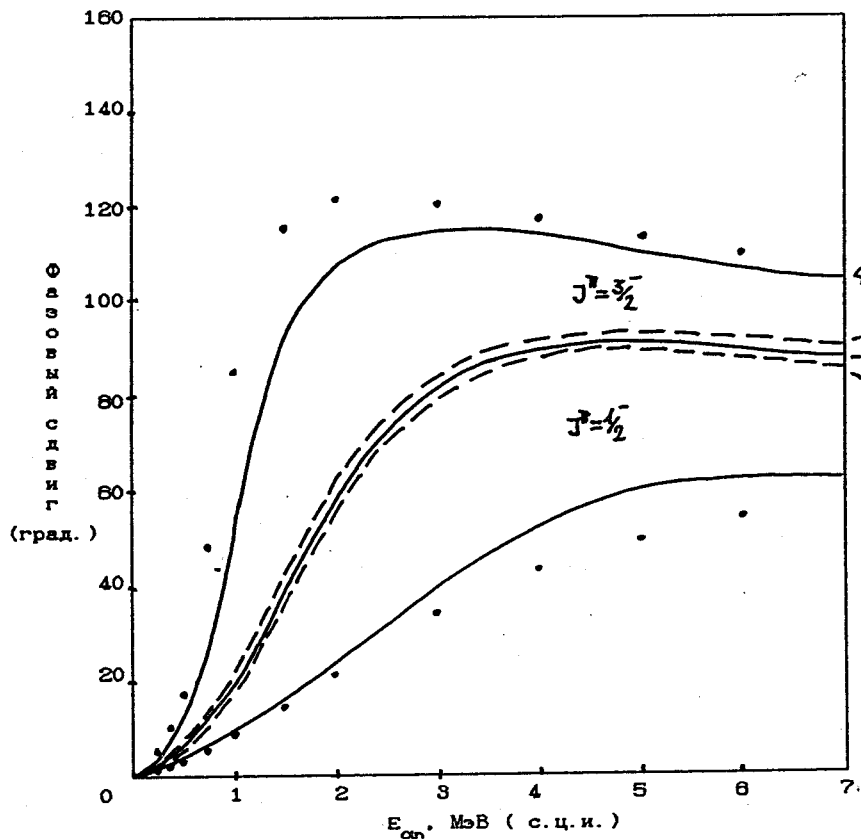


Фазы α -рассеяния. Сплошные кривые – расчет для реалистических NN-сил без учета спин-орбитальных сил. Расщепление обусловлено тензорными силами. Штриховая кривая – расчет с одними центральными силами.

В разделе 2.5 разбираются вопросы учета поправок к беспolarизационному приближению. Проведено сравнение двух формулировок МРГ, получено, что часто используемая формулировка приводит к неверной оценке роли искажения кластеров, если используются неточные волновые функции фрагментов. Исследована роль искажений α -кластера типа резонанса ^5He , сделаны выводы об их малом влиянии на результаты расчетов.

Раздел 2.6. формулирует основные результаты. Найдено, что в беспolarизационном приближении МРГ реалистические NN-силы слишком слабы для воспроизведения экспериментальных данных по α -рассеянию.

Для этого потребовалось бы усиление их притягивающих компонент примерно в полтора раза. В указанном приближении оказывается весьма малым вклад тензорных сил. Полученные результаты почти не зависят от используемой разновидности реалистических NN-взаимодействий.



Фазы α -рассеяния. Точки – эксперимент. 1 – «средняя» экспериментальная фаза. 2,3 – фазы, отвечающие реалистическим NN-силам с увеличенным притяжением, без учета спин-орбитальных сил. 4,5 – фазы, рассчитанные с учетом реалистических ls -сил.

В результате сравнения различных формулировок уравнений МРГ найдено, что часто используемая формулировка этих уравнений приводит к неверным результатам при попытках учесть поляризацию фрагментов реакции, если расчеты проводятся с неточными волновыми функциями кластеров.

Получено, что поляризация α -кластера типа резонанса ${}^5\text{He}$, а также некоторые обобщения дают малый вклад в задаче α -рассеяния с реалистическими NN-силами.

Третья глава диссертации посвящена спектрально-аналитическим подходам к математическому моделированию и представлению решений в задачах о поляроне.

В первом разделе приводится аппроксимация решений нелинейной задачи из теории конденсированного состояния. Описание многих физических процессов для электронов в полярных средах проводится в терминах теории полярона. Анализ этих задач основан на решениях уравнения Шредингера для свободных и связанных поляронов

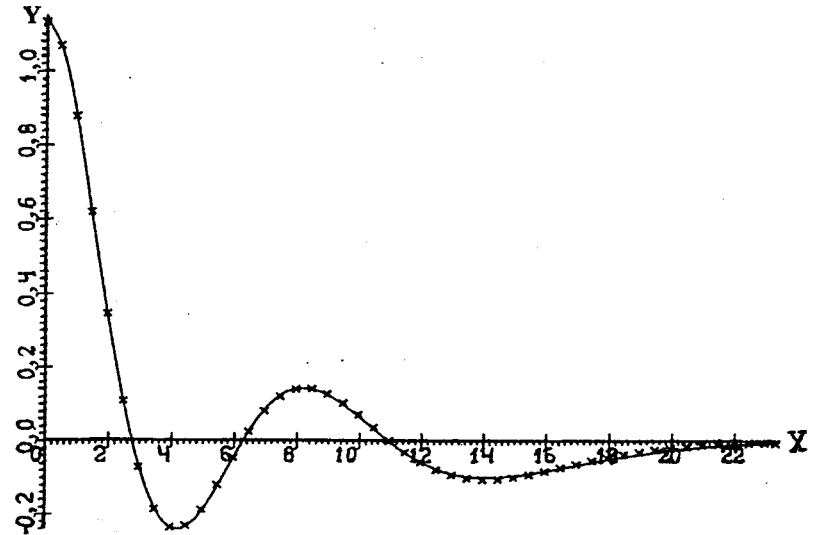
$$\left(\frac{\hbar^2}{2\mu} \Delta_r + \frac{Ze^2}{\epsilon_0 r} + ce^2 \int \frac{|\varphi(r')|^2}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|} d^3 r' \right) \varphi(r) + W\varphi(r) = 0.$$

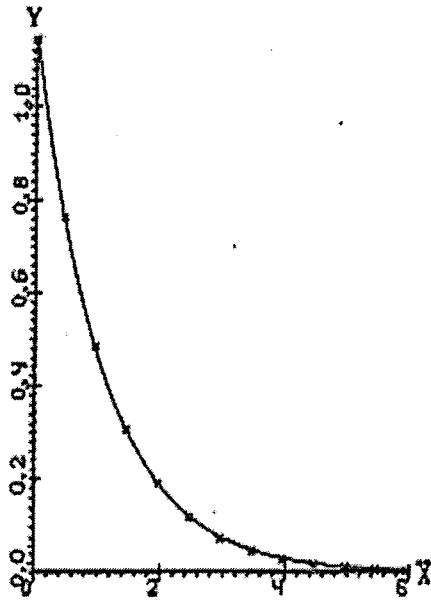
Для аппроксимации численных решений уравнения используются ортонормированные функции Лагерра

$$l_n(mx) = L_n(mx) \sqrt{m} \exp\left(-\frac{mx}{2}\right).$$

Для оптимизации базиса относительно аппроксимируемой функции, то есть для получения максимально точной аппроксимации при минимальном числе базисных функций, используется масштабный коэффициент m . Выполнена аппроксимация численных решений для свободного полярона, с нулевой по третьей моде, приводятся таблицы коэффициентов разложения в двух формах – в виде ряда по функциям Лагерра и в виде произведения степенного ряда на экспоненту.

На рисунке показан результат аппроксимации численного решения для свободного полярона (третья мода).





Далее рассмотрена аппроксимация решений нулевого приближения для связанного полярона, даны таблицы коэффициентов разложения в зависимости от параметра ν . При этом пределу $\nu \rightarrow \infty$ соответствует переход к атому водорода. Из таблицы коэффициентов следует, что при увеличении параметра ν аппроксимация с заданной точностью достигается все меньшим числом базисных функций. Это хорошо согласуется с известными результатами для атома водорода и наглядно иллюстрируется рисунком, где показан результат аппроксимации нулевой моды с параметром $\nu = 4,0872$ одной функцией Лагерра (экспонентой).

В разделе 3.2 обсуждаются аналитические аппроксимации решений нелинейного уравнения Шредингера для избыточного электрона в кластере из полярных молекул. Получены простые аналитические выражения для волновых функций и потенциалов поляризации, приближающие численные решения с точностью порядка одного процента. Выполнена аппроксимация волновых функций, а также потенциалов поляризации для кластеров разных размеров. Найдено, что при больших радиусах кластеров волновые функции могут быть описаны общей формулой, не зависящей от радиуса кластера. Это соответствует переходу к пределу сплошной среды и подтверждается совпадением волновой функции с результатом аппроксимации решения соответствующего уравнения, найденным в первом разделе главы.

В четвертой главе рассмотрен комплекс программ для интегрированной обработки, выделения полезного сигнала и решения обратной задачи магнитной энцефалографии. В соответствии с общей схемой получения и анализа данных, задачей данной части работы было создание спектрально-аналитических подходов к обработке и анализу результатов натуральных экспериментов, проводимых с пациентами и контрольными субъектами. Созданные методы были реализованы в виде программ на языке MATLAB 6.5 и объединены в комплекс, позволяющий проводить разветвленную обработку магнитных энцефалограмм, решать обратную задачу и представлять результаты в наглядном виде на ЯМР-томограммах испытуемых.

Первый раздел главы кратко формулирует задачи магнитной энцефалографии:

- функциональное картирование мозга для операций;
- экспериментальное исследование работы головного мозга;
- исследование патологической спонтанной активности.

В разделе также описано используемое экспериментальное оборудование - 148-канальный измерительный стенд Magnes 2500 WH в больнице Бельвю, в Центре нейромагнетизма Медицинского факультета Нью-Йоркского университета.

К настоящему времени на описанном оборудовании проведено свыше ста экспериментов, ведется интенсивная работа по их обработке и анализу, нацеленная на диагностику болезни Паркинсона и других расстройств. При этом весьма актуальным остается создание новых методов выделения сигналов, интересующих исследователей и врачей, из общей спонтанной активности. Опыт показал необходимость создания программного комплекса, который обеспечил бы: а) возможность оперативного анализа и моделирования данных МЭГ по различным сценариям; б) решение обратных задач для разных моделей источников; и, наконец, в) представление результатов локализации на томограмме головы испытуемого. Создание такого комплекса особенно важно для проведения поисковой работы по апробированию новых подходов к обработке данных МЭГ.

В разделе 2 кратко описан программный комплекс MRIAN, представляющий собой графическую среду для визуализации и анализа магнито-резонансных томограмм (МРТ) головного мозга и магнитоэнцефалограмм (МЭГ).

MRIAN позволяет выполнять

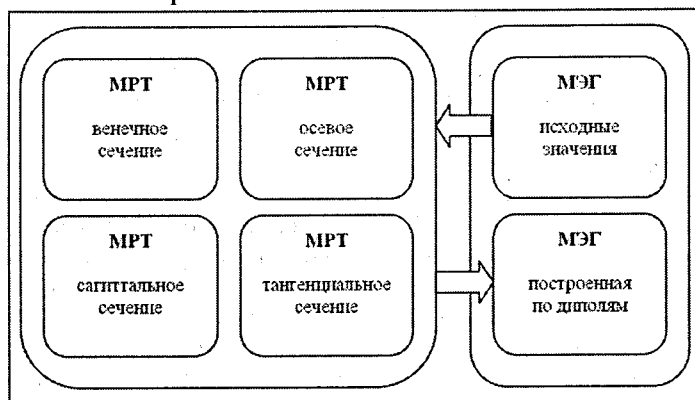
- чтение файлов с МРТ, МЭГ и временными рядами,
- удаление из МЭГ каналов с артефактами,
- выбор произвольного участка данных для детального анализа,
- выделение полезного сигнала из МЭГ,
- амплитудное картирование МЭГ на поверхности головы,
- пространственную локализацию источников магнитного поля,

- построение томографических срезов мозга с отображением диполей,
- оценку достоверности найденных дипольных источников,
- хранение и распечатку получаемых изображений,
- запись видеороликов по результатам работы.

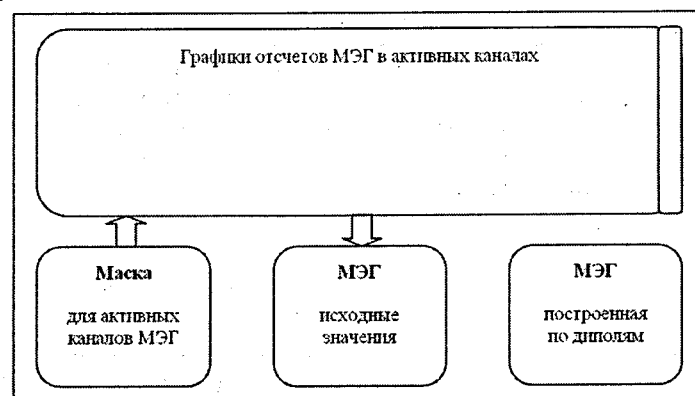
Определены форматы экспериментальных данных, используемых в задаче: магнито-резонансной томограммы и магнитной энцефалограммы, введены понятия временных рядов и дипольных траекторий объектов.

Третий раздел четвертой главы описывает графический интерфейс пользователя, перечисляет основные окна, предназначенные для работы с МЭГ/МРТ, временным рядом МЭГ и функциями времени.

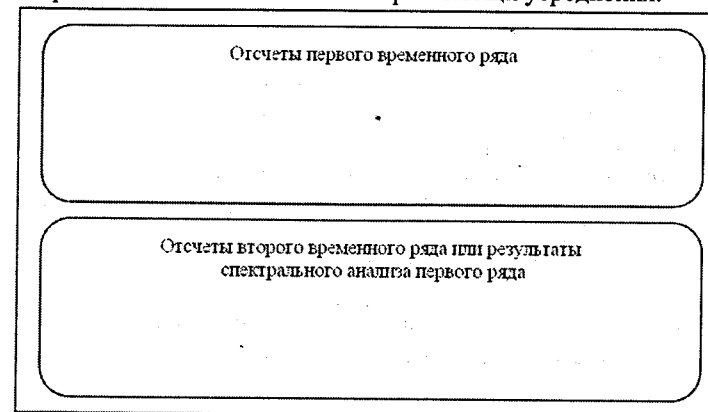
Основным окном программы является окно «MRI Analysis» для совместного представления данных МРТ и МЭГ. Из этого окна производится решение обратной задачи в выбранный момент времени и результаты решения отображаются на томограмме.



Окно «MEG Analysis» предназначено для работы с отрезком временного ряда МЭГ и позволяет увидеть все каналы МЭГ на некотором промежутке времени.



Окно «MEG Function» предназначено для работы с временными рядами, прежде всего, для интерактивного выбора так называемых «триггеров» - моментов времени для очистки сигнала при помощи усреднения.



В четвертом разделе рассмотрены удаление артефактных каналов МЭГ и задание маски активных каналов.

Раздел 5 главы 4 посвящен решению прямой задачи магнитной энцефалографии, состоящей в нахождении магнитного поля по известным источникам, моделируемым точечными токовыми диполями. Каждый такой диполь характеризуется двумя векторами: \mathbf{r}_0 - радиус-вектор диполя (положение диполя) и \mathbf{Q} - вектор, задающий направление и силу диполя (момент диполя). Для вычисления магнитной индукции на поверхности головы используется модель токового диполя в проводящей сфере. Для датчика магнитного поля, находящегося в точке \mathbf{r} и имеющего направление \mathbf{n} , уравнение записывается как:

$$B(\mathbf{r}_0, \mathbf{Q}) = \frac{\mu_0}{4\pi r^2} ((F(\mathbf{Q} \times \mathbf{r}_0) - (\mathbf{Q} \times \mathbf{r}_0, \mathbf{r}) \nabla F), \mathbf{n}), \quad \text{здесь} \quad F = a(ar + r^2 - (\mathbf{r}_0, \mathbf{r})),$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7},$$

$$\nabla F = (a^2 r^{-1} + a^{-1}(\mathbf{a}, \mathbf{r}) + 2a + 2r)\mathbf{r} - (a + 2r + a^{-1}(\mathbf{a}, \mathbf{r}))\mathbf{r}_0, \quad \mathbf{a} = \mathbf{r} - \mathbf{r}_0, \quad a = |\mathbf{a}|, \quad r = |\mathbf{r}|, \quad |\mathbf{n}| = 1,$$

В шестом разделе рассмотрена обратная задача магнитной энцефалографии, состоящая в нахождении источников магнитного поля по известным значениям магнитной индукции на некотором количестве датчиков, расположенных на поверхности головы. Для решения этой задачи минимизируется целевая функция, зависящая от источников магнитного поля

$$f = \sum_{i=1}^N w_i (B_i - B_i^0)^2 \rightarrow \min.$$

В седьмом разделе разбирается построение различных временных рядов на основе МЭГ, таких, как отдельный канал, средняя амплитуда по каналам, средняя мощность, различные корреляционные функции.

Восьмой раздел главы 4 рассматривает вопросы очистки данных усреднением по триггерам, выделенным в процессе анализа временных рядов.

Раздел 9 посвящен выделению вызванных потенциалов без использования внешних триггеров. Основная предметная задача, для решения которой разрабатывался данный программный комплекс, состоит в анализе общей спонтанной активности головного мозга с целью выделения слабых сигналов, обусловленных некоторыми патологиями, и в решении обратной задачи магнитной энцефалографии по нахождению источников этих сигналов.

Как правило, для выделения этих сигналов используются внешние проявления патологической активности, например, миограммы при паркинсоническом треморе.

Триггеры для усреднения выставляются в моменты времени, соответствующие максимумам электрического сигнала на мышце, подверженной тремору, затем по ним производится усреднение. Однако, во многих случаях внешние проявления патологии не позволяют уверенно выделить сигнал.

Для решения этой задачи необходимо распознать искомую активность в общем потоке данных, выставить триггеры по моментам распознавания, а затем произвести усреднение с целью очистки магнитного поля для решения обратной задачи. Предполагается, что признаки для распознавания можно найти по данным, полученным на пациентах или контрольных субъектах. Основная научная цель создания данного программного комплекса состояла в предоставлении инструментария, позволяющего искать подходы к решению данной задачи.

В качестве тестовой задачи для программы было выбрано выделение вызванного потенциала слухового отклика на внешний стимул, подаваемый с частотой около 7 Гц. Сначала по моментам подачи стимула был выделен сигнал вызванного потенциала и решена обратная задача. Затем с помощью программы была успешно решена задача распознавания вызванного потенциала в общем потоке данных спонтанной активности, причем отношение сигнал/шум составляло 1/10, и проведено усреднение по моментам распознавания. Решение обратной задачи показало совпадение координат источника.

В пятой главе диссертации рассматривается приложение цифровых и спектрально-аналитических методов обработки информации в задачах современной медицинской диагностики. Подробно описывается цифровая компьютерная приставка к медицинскому рентгеновскому аппарату. Рассмотрены методы обработки и сжатия изображений, применяемые в практической работе с цифровыми диагностическими снимками. Предложены подходы к решению некоторых актуальных задач медицинской диагностики.

Потребности медицины всегда были мощным стимулом развития науки и техники и, наоборот, многие передовые достижения эффективно внедрялись в области здравоохранения. Успехи современных информационных и

коммуникационных технологий находят свое применение в области медицинской диагностики и дистанционного предоставления медицинских услуг, прежде всего, консультационных. Эта широкая, бурно развивающаяся в последние годы область получила общее название «телемедицина». Телемедицинские системы, создаваемые в настоящее время, решают различные задачи, поэтому в их состав входят разные компоненты. В то же время, общими для всех таких систем являются диагностическая и телекоммуникационная подсистемы. Мы не рассматриваем здесь вопросы телекоммуникаций, предполагая, что их решение в каждой создаваемой телемедицинской сети индивидуально. А вот диагностические подсистемы широкого класса сетей телемедицины должны содержать целый ряд общих компонент. Речь идет о сетях районного и сельского уровней, в которые должно быть включено компьютеризованное оборудование для рентгеновской, кардиологической, ультразвуковой, эндоскопической и других широко распространенных диагностических систем.

Ключевым вопросом компьютеризации является перевод получаемой информации в цифровую форму для передачи по сетям связи. Для целого ряда методов медицинской диагностики является общим представлением результатов обследования в виде изображения или последовательности изображений (снимки, видеозаписи ультразвуковых и эндоскопических обследований). Отсюда и общие задачи получения, обработки и хранения цифровых диагностических изображений.

В главе подробно рассмотрена цифровая компьютерная приставка к медицинскому рентгеновскому аппарату. Актуальность работы по ее созданию обусловлена, с одной стороны, общим техническим прогрессом в медицине, цифровой фотографии и компьютерной технике, а с другой стороны, тяжелым положением, сложившимся в массовом медицинском обслуживании, в частности, невозможностью рентгеновской диагностики из-за отсутствия рентгеновской пленки. При создании приставки с самого начала параллельно создавались как аппаратная, так и программная часть комплекса.

В первом разделе главы введены основные понятия цифровой рентгенографии, рассмотрен процесс формирования цифрового изображения, дано определение его основных характеристик: пространственного и контрастного разрешения.

Во втором разделе обсуждаются некоторые из существующих систем цифровой рентгенографии, приводятся их характеристики.

Третий раздел пятой главы посвящен изложению основных принципов работы аппаратного комплекса, созданного для регистрации цифровых медицинских снимков. Комплекс выполнен в виде приставки, которая может работать с любым рентгеновским источником, применяемым для медицинской диагностики или дефектоскопии. Приставка предназначена для проведения рентгенографических медицинских исследований, то есть для получения отдельных снимков или серий снимков, с интервалом не менее 2 с.

Аппаратный комплекс включает в себя следующие основные части:

- устройство приема изображения (УПИ), включающее светозащитный тубус с люминесцентным экраном и зеркалом поворота изображения, кронштейн и сенсорную часть с матричной цифровой камерой;
- персональную ЭВМ с монитором и принтером (ПЭВМ);
- программное обеспечение.

Приставка управляется через специальную программу, снабженную экраным интерфейсом; взаимодействие оператора с приставкой осуществляется мышью и клавиатурой ПЭВМ. Программа обеспечивает возможность записи и хранения получаемых снимков в памяти ПЭВМ в виде файлов изображения в стандартных форматах, систематизацию снимков и их протокольных атрибутов в базе данных, распечатку их принтером ПЭВМ на обычной бумаге. Программа позволяет также применять различные виды обработки снимков, с целью повышения их диагностической информативности. Средний объем цифрового снимка – 1 Мб. Более подробно программно-алгоритмическая часть комплекса рассмотрена в следующих разделах данной главы.

Приставка обеспечивает получение снимков при установке параметров экспозиции оператором с пульта рентгеновской установки в пределах рекомендованных доз для съемки на рентгеновскую пленку, как правило, в несколько раз ниже. Приставка позволяет рассматривать снимок через 2 секунды после рентгеновской экспозиции или получать и рассматривать серию снимков, сделанных с интервалом в 2 секунды.

В таблице приведены основные технические данные приставки:

| | |
|--|----------------|
| Размер поля снимка в обзорном режиме | 395x315 мм |
| в прицельном режиме | 155x135 мм |
| Пространственное разрешение в обзорном режиме, не менее | 1.4 пар лин/мм |
| в прицельном режиме, не менее | 2.8 пар лин/мм |
| Контрастная чувствительность при дозе на снимок в плоскости экрана не более 1,0 мР | |
| в обзорном режиме | 2,0% |
| в прицельном режиме | 1,5% |
| Динамический диапазон | 150 |
| Неравномерность распределения яркости, не более | 15% |
| Геометрические искажения, не более | 1% |

Комплекс обеспечивает следующие показатели чистоты поля изображения:

- число белых точек на экране монитора не превышает 0.01 % от числа элементов приемной матрицы на любом прямоугольном участке поля размером не менее 1/10 от общей площади кадра;
- не допускается выделяющаяся структура в поле изображения, наблюдаемая невооруженным глазом.

Важнейшим конструктивным отличием аппаратного комплекса является возможность получения снимков в двух режимах: обзорном и прицельном. В обзорном режиме производится съемка крупных участков, а в прицельном - малых, со значительным повышением разрешения. Применение прицельного режима позволяет увеличить разрешение за счет перераспределения ресурсов камеры на съемку выбранного участка.



Приставка относится к классу проекционных цифровых рентгеновских систем, общим для которых является следующий принцип: рентгеновские лучи, проходя через объект, попадают на люминесцентный экран, который светится под их действием. Цифровая фотокамера посредством зеркала и объектива снимает изображение с экрана.

Такая система имеет свои достоинства, в частности, отсутствие электронно-оптического преобразователя, который обычно очень дорог, и отсутствие ограничений на время экспозиции, так как используется фотокамера вместо телекамеры.

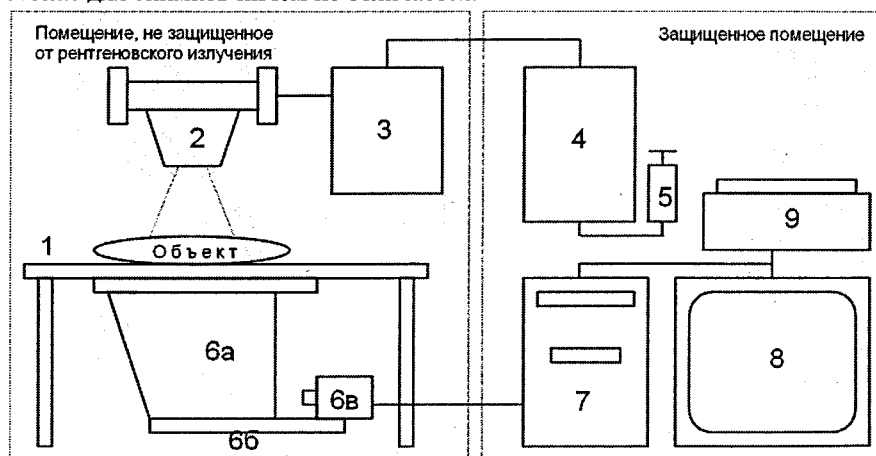
При таком подходе появляются факторы, которые сильно влияют на качество изображения, в частности, качество люминесцентного экрана. Обычные люминесцентные экраны светятся слабо вследствие низкого КПД преобразования рентгеновских лучей в видимый свет. Поэтому одна из главных задач состоит в поисках экрана, который бы хорошо светился, и одновременно давал приемлемое разрешение, либо в разработке нужной конструкции. Чем тоньше экран, тем выше разрешение и тем слабее он

светится. Если увеличить толщину, улучшится светимость и снизится разрешение, по той же причине необходим особо светосильный объектив камеры.

При создании приставки удалось найти или изготовить комплектующие, позволившие удовлетворить противоречивым требованиям, предъявляемым к подобным системам, а именно: во-первых, необходимо получить диагностический снимок хорошего качества и подвергнуть пациента как можно меньшей дозе облучения.

Конструкция комплекса обладает новизной, обеспечившей возможность ее патентования.

На схеме показаны состав и размещение приставки в рентгеновском кабинете. На рисунке показан случай размещения устройства приема изображения на снимочном столе. Работа приставки при размещении на стойке для снимков ничем не отличается.



Состав и размещение приставки.

Компоненты оборудования рентгенкабинета: 1. Стол для снимков; 2. Источник рентгеновского излучения; 3. Генератор питания источника излучения; 4. Операторский пульт; 5. Пультовая кнопка включения источника излучения.

Компоненты приставки: 6. Устройство приема изображения (УПИ); 6а. Светозащитный тубус с люминесцентным экраном и зеркалом поворота оптической оси; 6б. Кронштейн для установки камеры; 6в. Цифровая камера с объективом; 7. Персональный компьютер с интерфейсным оборудованием; 8. Монитор; 9. Принтер.

В разделах 5.4-5.9 рассматривается программный комплекс для получения цифровых рентгеновских изображений, обосновывается выбор языка программирования и среды разработки. Компьютерная программа получения, просмотра, обработки, хранения и распечатки цифровых

рентгеновских изображений предназначена для работы с медицинскими рентгеновскими изображениями, получаемыми с помощью электронной фотокамеры и представленными в виде цифровых массивов данных. Основной задачей программы является обеспечение протокола работы регистрирующего устройства в соответствии с работой всего комплекса в целом. Кроме того, в программный комплекс входят базовые функции обработки изображений. Программа работает в интерактивном режиме взаимодействия с пользователем - врачом, осуществляющим съемку, и представляет результаты своей работы в максимально понятном для оператора виде.

Программа входит в состав автоматизированного рабочего места рентгенолога на базе персонального компьютера в рентгеновском кабинете учреждения здравоохранения.

Программа обеспечивает:

- настройку регистрирующего устройства на сеанс работы;
- возможность изменения оператором различных характеристик сеанса, таких, как время экспонирования кадра, количество оттенков в изображении, усиление, гамма-коррекция и т.д.;
- захват кадра с регистрирующего устройства;
- отображение кадра, захваченного с регистрирующего устройства, в специальных окнах просмотра;
- возможность сохранения цифрового снимка на диске в стандартных общепринятых форматах хранения графических изображений;
- возможность считывания ранее сохраненного снимка для просмотра;
- стандартные операции взаимодействия с универсальным буфером обмена Windows для обмена данными (изображениями) с другими программами;
- выделение информативного фрагмента снимка и запись его на диск в виде отдельного файла;
- ведение специализированной рентгенографической базы данных о пациентах, содержащей как графическую (снимки), так и различного рода текстовую информацию;
- работу с принтером с целью получения документов;
- предоставление различной информации о ходе сеанса и состоянии ресурсов компьютера.

Программа также обеспечивает:

- невозможность захвата нового кадра на место существующего;
- возможность одновременного доступа к нескольким снимкам;
- невозможность выхода из программы без сохранения или сознательного стирания каждого вновь сделанного снимка.

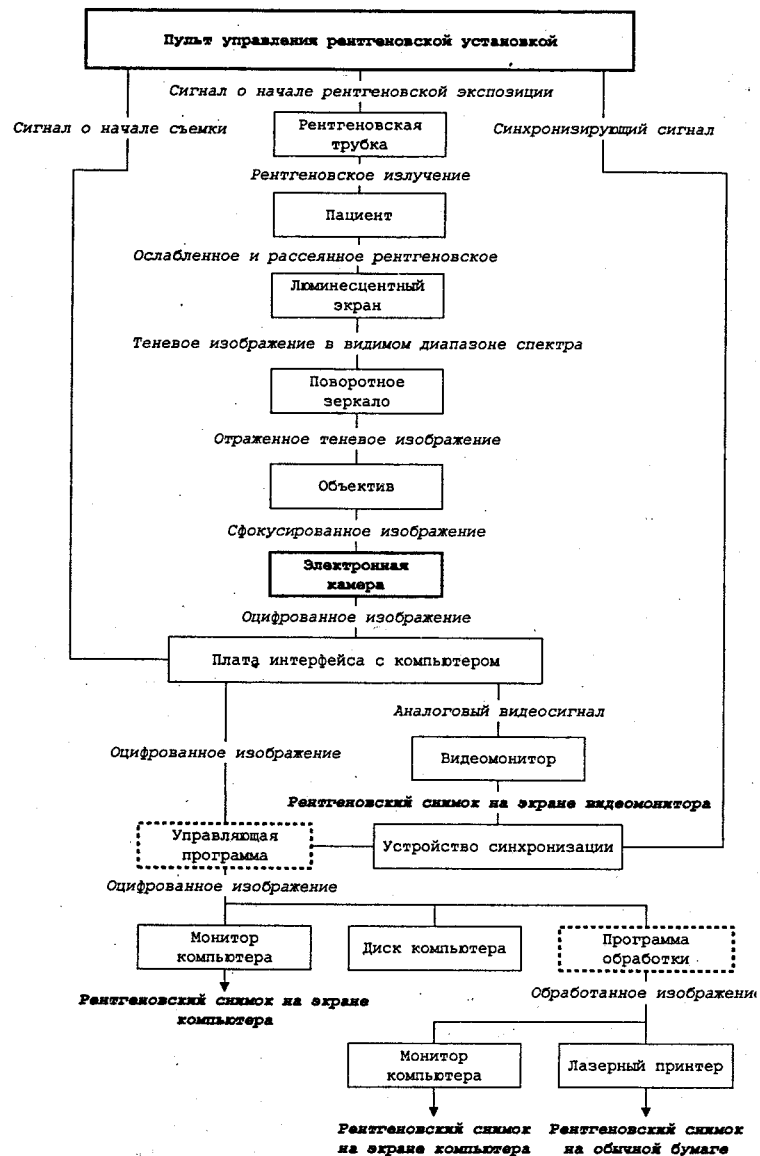


Схема показывает место и роль программы в рентгеновской системе и сам процесс взаимодействия аппаратной и программной части.

Программа работает под управлением русифицированной версии операционной системы Windows 98 или XP.

Снимки, полученные или обрабатываемые с помощью программы, записываются на диск в формате Device-Independent Bitmap, принятом в операционной системе Windows, или в формате Portable Network Graphics.

Программа устойчиво работает при следующей минимальной конфигурации технических средств:

- персональный компьютер на базе процессора Intel Pentium ;
- оперативная память 256 мегабайт;
- свободная дисковая память 20 мегабайт.

При создании ПО немаловажную роль сыграл тот факт, что данная программа является продуктом, предназначенным для использования в медицинских учреждениях врачами и медицинскими сестрами, знакомыми с компьютерной технологией, как правило, на минимальном уровне. Поэтому вопросу доступности программного интерфейса было уделено значительное внимание.

В десятом разделе дано описание процедур обработки изображений, применяемых в программе, разобраны особенности различных задач нахождения и исправления дефектов.

Сочетание малой контрастности получаемого снимка и повышенный уровень шумов являются серьезными препятствиями для цифровой обработки изображения. Так, например, обработка рентгеновского изображения обычными методами дифференцирования (типа выделения границ) приводит к получению вместе с границами большого количества артефактов, что затрудняет использование такого удобного аппарата, как граничное описание объектов. Рассмотрены наиболее часто применяемые операции обработки, такие, как коррекция контраста/яркости, выравнивание гистограммы, операции со скользящим окном и другие.

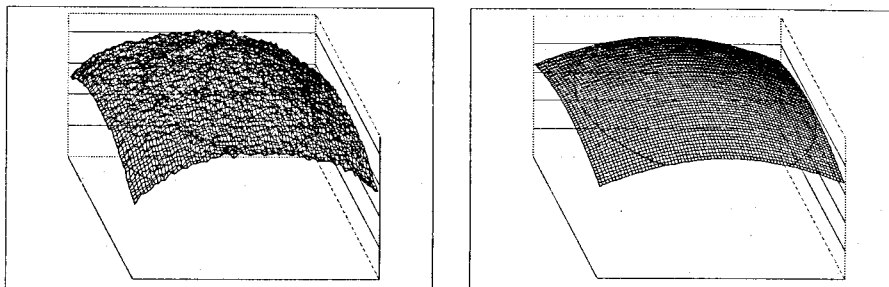
Остановимся более подробно на задаче исправления оптического искажения яркости. Освещенность изображений, получаемых в данной системе, в центре и на краю поля неодинакова. Наблюдается затемнение по краям изображения. Этот эффект является нежелательной помехой при автоматической обработке снимков. Практически невозможно производить какие-либо яркостные измерения, необходимые при количественной диагностике.

При коррекции этого дефекта используется 2-мерная аппроксимация эталонного изображения полиномами Чебышева:

$$F_{corr}(i, j) = \sum_{m, n=0}^2 C_{mn} \cdot T_m(x_i) \cdot T_n(y_j),$$

$$C_{mn} = \int T_m(x) \left[\int T_n(y) \cdot F(x, y) \cdot W(y) dy \right] W(x) dx.$$

Если восстановить по полученным коэффициентам изображение, то получится гладкая поверхность без точечных помех:



Используя точки этой поверхности, можно выравнивать любые другие снимки, снятые при тех же условиях. Для каждой точки изображения по эталонной поверхности подсчитывается коэффициент, как отношение максимальной яркости на эталонной поверхности к яркости текущей точки эталонной поверхности. Для получения 'истинной' яркости текущей точки исходная яркость умножается на этот коэффициент.

Тестирование показало, что достаточно найти матрицу коэффициентов Чебышева размером 3 на 3, с помощью которой изображение выравнивается вполне удовлетворительно.

В заключительном разделе главы сформулированы ее основные результаты:

- Создан аппаратно-программный комплекс для получения и обработки цифровых рентгеновских снимков;
- Разработано программное обеспечение для получения цифровых рентгеновских снимков с регистрирующего устройства;
- Разработаны и реализованы базовые алгоритмы обработки изображения: улучшения качества и коррекции дефектов.

Разработанная цифровая установка и описанный здесь программный комплекс с 1997 года работают в клинических условиях. За это время было сделано около 50 тысяч медицинских диагностических снимков. Аппаратно-программный комплекс подготовлен к массовому производству (выпущена малая серия) и получил разрешение Министерства здравоохранения РФ на медицинское применение.

Заключение к диссертации кратко формулирует основные результаты и выводы.

Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Дедус Ф.Ф., Дедус А.Ф., Махортых С.А., Устинин М.Н. (1997) . Учебное пособие «Обобщенный спектрально-аналитический метод в задачах управления, навигации и распознавания образов», СВВКИУ РВСН, Серпухов, 340с.
2. Дедус Ф.Ф., Махортых С.А., Устинин М.Н., Дедус А.Ф. (1999) Обобщенный спектрально-аналитический метод. Задачи анализа изображений и распознавания образов. М.: Машиностроение, 357с.
3. Dedus F.F., Dedus A.F. and Ustinin M.N. (1992) A New Data Processing Technology for Pattern Recognition and Image Analysis Problems. *Pattern Recognition and Image Analysis*, Vol.2, № 2, pp.195-207.
4. Dedus A.F., Dedus F.F., Makhortykh S.A., Ustinin M.N. (1993) Analytical description of multidimensional signals for solving problems of pattern recognition and image analysis. *Pattern Recognition and Image Analysis*. Vol.3, №4, pp.459-469.
5. Dedus F.F., Makhortykh S.A. and Ustinin M.N. (1996) A Generalized Spectral Analytical Method of Data Processing for Signal Processing and Image Analysis Problems, *Pattern Recognition and Image Analysis*, vol.6, no.1, pp.84-85.
6. Dedus F.F., Dedus A.F., Makhortykh S.A. and Ustinin M.N. (1999) Generalized Spectral-Analytic Method and Algebraic Algorithms for Pattern Recognition, *Pattern Recognition and Image Analysis*, vol.9, no.4, pp.578-583.
7. Dedus F.F., Makhortykh S.A. and Ustinin M.N. (2001) Description of videodata in orthogonal bases of the continuous and discrete arguments and algebraic algorithms of pattern recognition. *Pattern Recognition and Image Analysis*. vol.11, no.1, pp.153-154.
8. Dedus F.F., Dedus A.F., Makhortykh S.A. and Ustinin M.N. (2002) Application of the Generalized Spectral-Analytic Method in Information Problems, *Pattern Recognition and Image Analysis*, vol.12, no.4, pp.429-437.
9. Эфрос В.Д., Устинин М.Н. (1985) Метод кластерного базиса для микроскопического описания легких ядер и реакций. *Ядерная физика*, том 42, № 7, стр. 125-133.
10. Устинин М.Н., Эфрос В.Д. (1986) Решение задачи об $n\alpha$ -рассеянии на основе реалистических NN-взаимодействий. Вопросы атомной науки и техники, - серия: Ядерно-физические исследования, вып.3(36), стр. 23.
11. Устинин М.Н., Эфрос В.Д. (1989) Алгебраический кластерный подход к расчетам низкоэнергетических реакций. $n\alpha$ -рассеяние с реалистическими NN-взаимодействиями. Неприменимость бесполяризационного приближения. *Ядерная физика*, Т.49, №5, стр.1297-1308.
12. Устинин М.Н. (1996) Аппроксимация решений нелинейной краевой задачи о поляроне в кластере. *Изв. Академии наук. Сер. Физическая*. Т. 60, вып.9, с.98-102.
13. Dedus F.F., Dedus A.F., Makhortykh S.A., Ustinin M.N. (1995) Generalized spectral-analysis method: Theoretical fundamentals. *Proc.SPIE*, vol.2363, p.109-112.

14. Dedus F.F., Makhortykh S.A., Ustinin M.N. (1995) Generalized spectral-analytic method: Applications. *Proc.SPIE*, vol.2363, p.113-118.
15. Н.Н.Назипова, М.Н.Устинин. (2002) Решение задач расшифровки генетической информации, заложенной в биологических последовательностях. В книге «Компьютеры и суперкомпьютеры в биологии» Под редакцией В.Д.Лахно и М.Н.Устинина. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002, стр.392-422.
16. Устинин М.Н., Махортых С.А., Молчанов А.М., Ольшевец М.М., Панкратов А.Н., Панкратова Н.М., Сухарев В.И., Сычев В.В. (2002) Задачи анализа данных магнитной энцефалографии. В книге «Компьютеры и суперкомпьютеры в биологии». Под редакцией В.Д.Лахно и М.Н.Устинина. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, с.327-348.
17. Устинин М.Н., Никонов И.А., Ольшевец М.М. (2002) Цифровая диагностика и телемедицина. В книге «Компьютеры и суперкомпьютеры в биологии». Под редакцией В.Д.Лахно и М.Н.Устинина. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, с.458-474.
18. Арапов Н.А., Корнев А.Н., Кулаков В.И., Никонов И.А., Санталов Б.Ф., Устинин М.Н., Фокин В.А., Яшин В.А. (1997). Компьютерная программа получения, просмотра, обработки, хранения и распечатки цифровых рентгеновских изображений. Российское агентство по правовой охране программ для ЭВМ, баз данных и топологий интегральных микросхем, свидетельство №970443 от 11.09.97.
19. Арапов Н.А., Корнев А.Н., Кулаков В.И., Никонов И.А., Санталов Б.Ф., Устинин М.Н., Фокин В.А., Яшин В.А. (1998) Аппарат для получения компьютерных рентгеновских изображений. Комитет Российской Федерации по патентам и товарным знакам, свидетельство на полезную модель №6637 от 24.07.97.
20. Арапов Н.А., Корнев А.Н., Кулаков В.И., Никонов И.А., Санталов Б.Ф., Устинин М.Н., Фокин В.А., Яшин В.А. (1999) Аппарат для получения компьютерных рентгеновских изображений и способ получения таких изображений. Российское агентство по патентам и товарным знакам, патент на изобретение N2134450.
21. Санталов Б.Ф., Арапов Н.А., Устинин М.Н., Фокин В.А., Яшин В.А. (1999) Экран для визуализации рентгеновских изображений. Российское агентство по патентам и товарным знакам, патент на изобретение N2134461.
22. Эфрос В.Д., Устинин М.Н. (1986) Метод кластерного базиса для реакций с легчайшими ядрами и $n+\alpha$ -рассеяние с реалистическими NN-взаимодействиями. Препринт ИАЭ-4270/2.
23. Устинин М.Н., Дедус Ф.Ф., Терещенко С.П. (1987) Аппроксимация решений нелинейной самосогласованной задачи о поляроне и F-центре. Препринт ИАЭ-4270/2.
24. Устинин М.Н., Эфрос В.Д. (1988) Алгебраический кластерный подход к расчетам низкоэнергетических реакций. $n+\alpha$ -рассеяние с реалистическими NN-

- взаимодействиями. Неприменимость бесполяризованного приближения. Препринт ИАЭ-4689/2.
25. Устинин М.Н. (1989) Учет поляризации кластеров в квантовомеханической задаче нескольких тел. Препринт ИАЭ-4689/2.
26. Устинин М.Н. (1990) Исследование рассеяния в системе пяти нуклонов с реалистическими NN-взаимодействиями методом резонирующих групп. Автореферат кандидатской диссертации.
27. Устинин М.Н. (1990) Исследование рассеяния в системе пяти нуклонов с реалистическими NN-взаимодействиями методом резонирующих групп. Кандидатская диссертация.
28. Дедус А.Ф., Дедус Ф.Ф., Устинин М.Н. (1991) Новая технология обработки сигналов в задачах управления и научных исследованиях. Доклады Международного коллоквиума «Новые информационные технологии», М.: МЦНТИ, с.240.
29. Куликова Л.И., Махортых С.А., Устинин М.Н., Чемерис Н.А. (1991) Об одном подходе к математической обработке данных по культивированию микроорганизмов и интерпретации полученных результатов. Доклады Международного коллоквиума «Новые информационные технологии», М.: МЦНТИ, с.258.
30. Дедус Ф.Ф., Куликова Л.И., Махортых С.А., Устинин М.Н., Чемерис Н.А. (1993) Обработка данных микробиологического эксперимента и модель биосинтеза. Материалы международного симпозиума «Математические теории биологических процессов», Калининград, с.86-92.
31. Dedus A.F., Dedus F.F., Koliada A.A., Makhortykh S.A., Otlivanchik E.A., Revinskiy V.V., Sisakian I.N., Ustinin M.N. (1994) Generalized spectral-analytic method, soft- and hardware facilities of image analysis and pattern recognition. Proceedings of 5 International Workshop on Digital Image Processing and Computer Graphics "Image Processing and Computer Optics", Samara, p.19.
32. Dedus F.F., Makhortykh S.A., Ustinin M.N. (1995) Generalized spectral-analytic method for the problems of signal processing and image analysis.- In: Proceedings of The 9th Scandinavian Conference on Image Analysis, Uppsala, Sweden, pp.973-980.
33. Ф.Ф.Дедус, С.А.Махортых, М.Н.Устинин, Ф.Ф.Дедус (мл.). (1999) Решение задач фильтрации, распознавания и прогнозирования с помощью классических ортогональных базисов дискретного аргумента. В кн.: Математические методы распознавания образов. Доклады IX Всероссийской конференции. М., с.37-38.
34. Ф.Ф.Дедус, С.А.Махортых, А.Н.Панкратов, М.Н.Устинин. (1999) Об ортогональных разложениях в электронной картографии. В кн.: Математические методы распознавания образов. Доклады IX Всероссийской конференции. М., с.173-175.
35. Дедус А.Ф., Дедус Ф.Ф., Махортых С.А., Устинин М.Н. (2000) Обобщенный спектрально-аналитический метод обработки данных. Доклады I

Всероссийской конференции «Спектральные методы обработки информации в научных исследованиях» (Спектр-2000), Москва, с.141-143

36. Дедус Ф.Ф., Махортых С.А., Устинин М.Н. (2000) Описание видеоданных в ортогональных базисах непрерывного и дискретного аргументов и алгебраические алгоритмы распознавания образов. Доклады I Всероссийской конференции «Спектральные методы обработки информации в научных исследованиях» (Спектр-2000), Москва, с.141-143.

37. Дедус Ф.Ф., Махортых С.А., Устинин М.Н. (2000) Применение обобщенного спектрально-аналитического метода в информационных задачах. Доклады I Всероссийской конференции «Спектральные методы обработки информации в научных исследованиях» (Спектр-2000), Москва, с.303-308.

38. Ольшевец М.М., Устинин М.Н. (2001) Современные методы спектрального анализа в применении к данным магнитной энцефалографии. В кн.: Математические методы распознавания образов. Доклады X Всероссийской конференции. М., с.264-266.

39. Сухарев В.И., Дедус Ф.Ф., Устинин М.Н., Махортых С.А. (2001) Классические ортогональные полиномы дискретной переменной: анализ и классификация временных записей магнитных энцефалограмм. В кн.: Математические методы распознавания образов. Доклады X Всероссийской конференции. М., с.299-300.

40. Сычев В.В., Махортых С.А., Молчанов А.М., Панкратова Н.М., Устинин М.Н. (2001) Идентификация стохастической динамики и режимы магнитной активности мозга. В кн.: Математические методы распознавания образов. Доклады X Всероссийской конференции. М., с.301-303.

41. Никонов И.А., Устинин М.Н. (1999) Диагностика остеопороза по цифровым снимкам в компьютерной рентгеновской системе. В кн.: Математические методы распознавания образов. Доклады IX Всероссийской конференции. М., с.220.

42. Ольшевец М.М., Устинин М.Н. (1999) Использование wavelet-базисов в задачах обработки цифровых рентгеновских изображений. В кн.: Математические методы распознавания образов. Доклады IX Всероссийской конференции. М., с.221.

43. Ольшевец М.М., Устинин М.Н. Реализация некоторых операций обработки изображений в компьютерной системе цифровой рентгенографии. Доклады I Всероссийской конференции «Спектральные методы обработки информации в научных исследованиях» (Спектр-2000), Москва, 2000, с.309-312.

44. Устинин М.Н., Дедус Ф.Ф., Дедус А.Ф., Махортых С.А. (1993) Обобщенный спектрально-аналитический метод в задачах распознавания образов и анализа изображений. Тезисы конференции ММРО-6, г.Москва.

45. Устинин М.Н. Решение обратной задачи проточной цитометрии с использованием ортогональных разложений. (1993) Тезисы конференции ММРО-6, г.Москва.

46. Устинин М.Н., Дедус Ф.Ф. (1993) Фильтрация помех с использованием ортогональных многочленов дискретной переменной. Тезисы конференции ММРО-6, г.Москва.

47. Ustinin M.N. (1994) The flow cytometry data deconvolution as the problem of image processing. Proceedings of 5 International Workshop on Digital Image Processing and Computer Graphics "Image Processing and Computer Optics", Samara, p.54.

48. Dedus F.F., Dedus A.F., Koliada A.A., Makhortykh S.A., Otlivanchik E.A., Revinskiy V.V., Sisakian I.N., Ustinin M.N. (1994) Generalized spectral-analysis method as a basis for real-time data processing. International Conference on Real Time Data RTD'94. Conference Handbook, Dubna, p.59-60.

49. Ustinin M.N. (1994) The real-time data processing in the flow cytometry experiments. International Conference on Real Time Data RTD'94. Conference Handbook, Dubna, p.63.

50. Устинин М.Н., Дедус Ф.Ф., Дедус А.Ф., Махортых С.А. (1995) Обобщенный спектрально-аналитический метод – перспективная информационная технология. Тезисы международной конференции «Математика. Компьютер. Образование», М., с.66.

51. Ustinin M.N. (1995) Analytic data-representation in the deconvolution problem. Тезисы международной конференции «Математика. Компьютер. Образование», М., с.160.

52. Дедус Ф.Ф., Махортых С.А., Устинин М.Н. (1995) Обобщенный спектрально-аналитический метод обработки данных для задач обработки сигналов и анализа изображений. Тезисы докладов 2-ой Всероссийской конференции «Расознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии», Ульяновск, с.35-37.

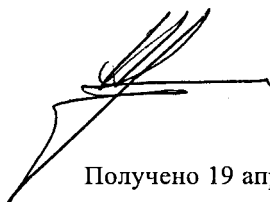
53. Устинин М.Н., Дедус Ф.Ф., Дедус А.Ф., Махортых С.А. (1995) Вычислительная технология реального времени. В сб. тезисов конференции ММРО-7 «Математические методы распознавания образов», 25-30 сентября, Москва, с.88-89.

54. Дедус А.Ф., Дедус Ф.Ф., Махортых С.А., Устинин М.Н. (1996) Обобщенный спектрально-аналитический метод обработки информационных массивов. Тезисы докладов 11-й Всероссийской конференции «Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов решения задач математической физики», Пущино, с.29-30.

55. Устинин М.Н. (1996) Решение обратной задачи проточной цитометрии на основе гибридных ортогональных разложений. Тезисы докладов 11-й Всероссийской конференции «Теоретические основы и конструирование численных алгоритмов решения задач математической физики», Пущино, с.67.

56. Дедус А.Ф., Дедус Ф.Ф., Устинин М.Н., Махортых С.А. (1996) Комбинированные численно-аналитические методы в современных информационных системах. Тезисы международной конференции «Интеллектуализация обработки информации», Алушта, с.9.

57. Дедус Ф.Ф., Дедус А.Ф., Махортых С.А., Устинин М.Н. (1997) О вычислительной технологии распознавания образов, основанной на обобщенном спектрально-аналитическом методе. Тезисы конференции ММРО-8 «Математические методы распознавания образов», Москва, с.39-40.
58. Дедус А.Ф., Дедус Ф.Ф., Махортых С.А., Устинин М.Н. (1998) Аналитические алгоритмы распознавания образов и анализа изображений. Тезисы докладов Международной научно-технической конференции МНТК-98, Москва, с.20-21.
59. Дедус А.Ф., Дедус Ф.Ф., Махортых С.А., Устинин М.Н. (1998) Основы обобщенного спектрально-аналитического метода и его применение в задачах теории систем автоматического управления. Тезисы докладов Международной научно-технической конференции МНТК-98, Москва, с.20-21.
60. Устинин М.Н., Эфрос В.Д. (1984) Рассеяние нейтрона на альфа-частице в методе резонирующих групп. Тезисы докладов 34-го совещания по ядерной спектроскопии. Л.: Наука, стр.409.
61. Устинин М.Н., Эфрос В.Д. (1988) Неадекватность бесполяризационного приближения к расчету реакций с легчайшими ядрами на основе реалистических NN-взаимодействий. Тезисы докладов 38 совещания по ядерной спектроскопии. Л.: Наука, стр.401.
62. Ustinin M.N., Efros V.D. (1989) $n^4\text{He}$ scattering. Inadequacy of nonpolarization approximation in the light nuclei reactions calculations for the realistic NN-forces case. 12 International conference on Few-Body Problem in Physics. Tri 89-2 Vancouver BC, Canada.
63. Устинин М.Н., Махортых С.А. (1997) Методы анализа изображений и распознавания образов в обратных задачах биомагнитных исследований. Тезисы докладов VIII Всероссийской конференции «Математические методы распознавания образов», М., с.191-192.
64. С.А.Махортых, В.И.Сухарев, М.Н.Устинин. (1999) Обратные задачи магнитной энцефалографии. Тезисы докладов 4-й Пущинской школы молодых ученых, Пушино, с.9.
65. Ольшевец М.М., Устинин М.Н. (2001) Спектральный анализ данных магнитной энцефалографии. Тезисы докладов 5-й Пущинской конференции молодых ученых. Пушино.
66. Сычев В.В, Сухарев В.И., Устинин М.Н. (2001) Программное обеспечение для анализа данных магнитной энцефалографии. Тезисы докладов 5-й Пущинской конференции молодых ученых. Пушино.
67. Ustinin M.N., Ol'shevetz M.M., Arapov N.A., Santalov B.F., Yashin V.A., Kulakov V.I. (2002) Rural center of telemedicine based on digital diagnostics. Russian-South Korean Seminar-presentation "Biotechnology-2002". Abstracts, Pushchino, p.75.



Получено 19 апреля 2004 г.