На правах рукописи

СЫСКОВ
Алексей Мстиславович

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА МЕТОДАМИ СВЧ РАДИОТЕРМОГРАФИИ

05.11.17 - Приборы, системы и изделия медицинского назначения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент Кубланов Владимир Семенович

Официальные оппоненты: Обухов Юрий Владимирович – доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, заведующий лабораторией;

Веснин Сергей Георгиевич – кандидат технических наук, ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт радиотехники», начальник отдела.

Ведущая организация: ООО «Научно-производственная инновационная фирма «Гиперион»

Защита состоится «12» декабря 2012 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.14 при Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана в зале Ученого Совета по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан «__» _____ 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Самородов Андрей Владимирович

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
2011387
Сысков А.М.Программно-аппа

ан 1 ул.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Биофизической основой многих методов функциональной диагностики является взаимодействие биологических структур с внешними физическими полями либо исследование собственных физических полей биологических объектов. Последнее направление активно разрабатывалось в СССР и было оформлено в виде научной программы «Физические поля биологических объектов». Руководитель программы – академик РАН Ю.В. Гуляев.

В ходе выполнения программы под руководством д.т.н. В.С. Кубланова разработан комплекс, включающий радиотермограф, для регистрации радиояркостной температуры глубинных структур головного мозга методом динамического картирования. Показана возможность достоверной регистрации малых флуктуаций радиояркостной температуры радиотермографом с флуктуационной чувствительностью 0,05 К. Регистрация флуктуаций проводится на фоне средней термодинамической температуры тканей 310 К.

Новый диагностический метод привлек внимание врачей-исследователей для изучения состояния тканей головного мозга при ишемических состояниях (Власов А.Л.), при синдроме преждевременного старения и в постнатальном онтогенезе (Хабибрахманова Л.Х., Никитин В.С.), при исследовании кровоснабжения и уровня гидратации тканей головного мозга человека в постнатальном онтогенезе (Груздев Д.В.).

Однако остались недостаточно изученными вопросы идентификации нарушений физиологических механизмов по результатам анализа флуктуаций радиояркостной температуры. Полученные результаты информационного анализа требуют интерпретации с использованием физических моделей терморегуляции и транспорта жидкости.

Цель работы

Создание программно-аппаратного комплекса СВЧ радиотермографии головного мозга для неинвазивного получения диагностически значимых признаков флуктуаций радиояркостной температуры при выявлении функциональных нарушений системы мозгового кровообращения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обобщить и проанализировать накопленный опыт медико-биологического применения СВЧ-термографов, дать критическую оценку используемых технологических и методических решений;
- провести расчетно-теоретические исследования по оценке влияния биофизических свойств тканей и структур головного мозга на параметры сигнала радиояркостной температуры;
- разработать систему оптимизации данных биомедицинских экспериментов по регистрации радиояркостной температуры;

МГТУ
им. Н.Э Баумана
Библиотека

- провести сбор и анализ базы данных сигналов радиояркостной температуры практически здоровых пациентов и страдающих различными функциональными нарушениями.

Методы исследований

При решении перечисленных задач были использованы методы моделирования информационных систем, теории биотехнических систем, теоретической электродинамики, обработки сигналов, распознавания образов, теории вероятностей и математической статистики.

Научная новизна

- с использованием уравнения Пеннеса получены оценки влияния характеристик многослойной структуры тканей головного мозга на сигнал СВЧ радиотермографа при изменении условий окружающей среды, определено влияние процессов терморегуляции тканей головного мозга на спектральные характеристики сигнала;
- с использованием формальной модели анализа данных Загоруйко Н.Г., разработан алгоритм поиска диагностически значимой системы признаков на основе анализа вейвлет-образов реализаций радиояркостной температуры, включающий процедуру автоматического распознавания методом k-средних;
- разработана факторная модель отображения функционального состояния пациентов и условий проведения биомедицинских экспериментов на диагностически значимую систему признаков;
- сформирована база результатов исследований 103 пациентов, содержащая сведения о пациентах (пол, возраст, место жительства), клинические данные в соответствии с МКБ-10, условия проведения исследований и результаты измерения радиояркостной температуры;
- разработаны предложения по перспективному построению аппаратной и программной части комплекса СВЧ радиотермографии для применения в клинических условиях.

Практическое значение работы

Разработанный программно-аппаратный комплекс используется в клинической практике восстановительной медицины и реабилитации при неинвазивной диагностике функциональных и морфологических изменений системы кровоснабжения тканей головного мозга.

С использованием программно-аппаратного комплекса продолжаются работы по наполнению базы данных реализаций и исследованию пациентов с функциональными и морфологическими нарушениями системы мозгового кровообращения.

Материалы диссертации легли в основу практических занятий по дисциплине «РЭС в решении информационно-медицинских задач» в Институте радиоэлектроники и информационных технологий УрФУ.

Научные положения, выносимые на защиту

- комплекс специализированных алгоритмов оптимизации данных биомедицинского эксперимента позволил выделить из вейвлет-образа радиояркостной температуры головного мозга систему признаков, содержащую диагностически значимую информацию о пациентах с сосудистыми нарушениями для флуктуаций радиояркостной температуры с периодами (10;20) с и (60;70) с;
- результаты моделирования процессов формирования флуктуаций собственного ЭМИ в тканях мозга, говорят о том, что флуктуации радиояркостной температуры с периодом более 60 с в большей степени вызываются локальными изменениями температуры тканей головного мозга, флюктуации с периодами менее 20 с не могут быть вызваны локальными изменениями температуры тканей головного мозга и, следовательно, определяются динамикой транспорта жидкости;
- структурная схема построения контактного СВЧ радиометра с совмещенными антенной и модулятором позволяет уменьшить влияние шумов и затухания сигнала в линиях связи на результаты измерения флуктуаций радиояркостной температуры;
- организация программного обеспечения комплекса позволяет производить оптимизацию данных биомедицинских экспериментов по исследованию функциональных процессов головного мозга методами СВЧ радиотермографии.

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всероссийской научно-технической конференции «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы», г. Рязань, 2003 г. (диплом за лучший доклад); весенней отчетной научно-практической конференции аспирантов УГТУ (2003-2005); Международной конференции по проблемам восстановительной медицины, г. Пенза, 2004 г.; IX Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии», г. Владимир, 2010 г.; научно-технической конференции «МЕДТЕХ-2010», Кипр, г. Ларнака, 2010 г.; V Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь», г. Москва, 2011 г.; научно-технической конференции «Радиолокационные системы малой и сверхмалой дальности», г. Москва, 2011 г.; 13-ой научно-технической конференции «Медтех-2011», Испания, г. Пальма де Майорка, 2011 г.; XI Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии», г. Владимир, 2012.

Внедрение результатов работы

Созданный программно-аппаратный комплекс прошел апробацию в Свердловском областном клиническом психоневрологическом госпитале для ветеранов войн, в Институте медицинских клеточных технологий

г. Екатеринбурга, Республиканском клиническом госпитале ветеранов войн Республики Марий Эл.

Применение системы оптимизации данных эксперимента позволило в клинических условиях создать базу данных результатов биомедицинских экспериментов по исследованию функции гомеостаза головного мозга методами СВЧ радиотермографии. База данных содержит информацию о 103 пациентах с диагнозами артериальная гипертензия, вегето-сосудистая дистония и практически здоровых пациентах. В качестве функциональных нагрузок использовались антиортостатическая нагрузка и задержка дыхания.

С использованием материалов диссертации выполнены следующие работы: исследование влияния ишемических поражений тканей головного мозга на флуктуации радиояркостной температуры; исследование функциональных инволютивных изменений в жизненно важных системах стареющего организма; исследование гидратации тканей в постнатальном периоде.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 15 работ, из них 4 статьи в рецензируемых научных журналах и изданиях для опубликования основных научных результатов диссертаций.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, заключения, списка литературы из 125 наименований. Основное содержание работы изложено на 135 страницах, содержит 43 рисунка и 9 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность разработки программно-аппаратного комплекса для исследования функциональных процессов головного мозга методами СВЧ радиотермографии, формулируются цели и задачи исследования, определяются положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе рассмотрены физические особенности излучения биологических тканей. Метаболические процессы и процессы кровотока в тканях головного мозга, условия взаимодействия с окружающей средой представлены, как звенья системы терморегуляции тканей головного мозга, предназначенной для выполнения функции температурного гомеостаза. Обобщены данные о существующих способах мониторинга температурных изменений тканей головного мозга. Показано, что пассивные методы СВЧ наиболее перспективны для неинвазивных измерений.

Проведен обзор применения программно-аппаратных комплексов СВЧ радиотермографии для решения задач функционального картирования. Рассмотрены способы организации программно-аппаратных комплексов СВЧ

радиотермографии, результаты исследований излучения головного мозга в диапазоне частот от 0,6 ГГц до 1 ГГц.

Анализ математического обеспечения программной части комплексов показал, что для решения задачи изучения функциональных процессов головного мозга наиболее перспективным является информационный анализ флуктуаций радиояркостной температуры глубинных структур мозга, измеряемой контактным способом на поверхности головы. Так, с использованием методов спектрального анализа и вейвлет преобразования получены результаты, которые позволяют считать, что флуктуации с периодом на интервале (10;70) с имеют физиологическую природу. Рассмотрение последних исследований, в которых проводился анализ флуктуаций радиояркостной температуры с использованием модифицированного вейвлета Морле, показало, что при применении ряда функциональных проб наблюдается преобладание флуктуаций с периодами на интервале (10;20) с. Однако остались недостаточно изученными вопросы идентификации нарушений физиологических механизмов по результатам анализа флуктуаций радиояркостной температуры. Полученные результаты информационного анализа требуют интерпретации с использованием моделей терморегуляции и транспорта жидкости.

Математический аппарат анализа флуктуаций радиояркостной температуры предъявляет особые требования к точности измерений с использованием радиотермографа. Наибольшее распространение в задачах исследования функциональных процессов получила схема радиотермографа Людеке. Одной из проблем при построении радиотермографа по этой схеме является снижение потерь полезного сигнала в линии связи с вынесенной антенной.

По результатам анализа принципов построения и результатов применения программно-аппаратных комплексов СВЧ радиотермографии сформулированы следующие требования к ним:

- программная часть комплекса должна строиться, в рамках системы оптимизации данных биомедицинского эксперимента и позволять формировать диагностически значимую систему признаков для идентификации нарушений физиологических механизмов транспорта жидкости и метаболизма тканей головного мозга;
- аппаратная часть радиотермографа, построенного по схеме Людеке, должна использовать решения, позволяющие снизить потери полезного сигнала в линии связи с вынесенной антенной.

Во **второй главе** представлены количественные оценки влияния биофизических свойств тканей на сигнал СВЧ радиотермографа, основанные на математических моделях процессов в тканях головы.

Математическая модель формирования температурного профиля головы использует уравнение биотеплопроводности Пеннеса (1).

$$\frac{d^2T(x)}{d^2x} + \frac{\dot{q}_m + \rho_{tiss}\omega\rho_b c_b[T_a - T(x)]}{K} = 0, \quad (1)$$

где T(x) – функция распределения температуры вдоль оси x, направленной по нормали к поверхности головы; $\dot{q}_m$-тепловыделение в результате метаболизма; ω – интенсивность кровотока; ρ_{tiss}, ρ_b- плотность ткани и крови соответственно; c_b- теплоемкость крови; T_a – температура артериальной крови, K – коэффициент теплопроводности ткани.

Для получения значения радиояркостной температуры на поверхности головы используется итеративная процедура (2), где учитывается влияние изменения температур отдельных слоев головы.

$$T_{я\,i} = T_{я(i-1)}\, k_i + \alpha_i\, T_i,$$
$$k_i = \exp\left(-2\,\alpha_i\, d_i\right),$$
$$\alpha_j = \omega\sqrt{\frac{\mu_i\,\varepsilon_i}{2}\left(\sqrt{1+\frac{\sigma_i^2}{\omega^2\,\varepsilon_i^2}} - 1\right)}, \quad (2)$$

где μ_i, ε_i- соответственно, абсолютные значения магнитной и диэлектрической проницаемости слоя; σ_i - проводимости соответствующего слоя; d_i - толщина соответствующего слоя; i=0,1,2,3,4 соответственно для белого вещества головного мозга, серого вещества головного мозга, ликвора, кости, кожи.

Проанализировано влияние изменений параметров внешней среды (температура и теплопередача) на температурный профиль головы и сигнал СВЧ радиотермографа. Показано, что при изменении условий внешней среды наибольший вклад в изменение сигнала СВЧ радиотермографа вносят верхние слои головного мозга толщиной до 5 мм, а изменения в слоях головного мозга, расположенных глубже, вызывают изменения радиояркостной температуры в пределах флуктуационной чувствительности радиотермографа. Для нормальных условий эксперимента определены граничные условия изменений температуры 25±1,5 °C и коэффициента теплопередачи 4±0,2 $\frac{\text{Вт}}{°\text{C}*\text{м}^2}$, при которых радиояркостная температура изменяется в пределах флуктуационной чувствительности радиотермографа.

Локальные изменения температуры тканей головы T описываются уравнением (3).

$$\frac{Ctiss}{\rho_b * C_b * rCBF} * \dot{T} + T - \left(T_a + \frac{\Delta H * rCMRO_2}{\rho_b * C_b * rCBF}\right) = 0, \quad (3)$$

где C_{tiss} , C_b – теплоёмкость ткани и крови соответственно; T_a – температура артериальной крови; $rCBF$ - интенсивность кровотока; $rCMRO_2$ - коэффициент потребления кислорода тканями головного мозга; ΔH – энергия, высвобождаемая при окислении глюкозы в виде тепла, на один моль кислорода

С учетом особенностей формирования температурного профиля головы (1) и на основании сведений из опубликованных работ по исследованию взаимосвязи интенсивности локального кровотока $rCBF$ и коэффициента потребления кислорода тканями $rCMRO_2$ при функциональных пробах (визуальная нагрузка, вдыхание газовой смеси), определена взаимосвязь предельного изменения локальной температуры тканей и постоянной времени процесса изменения температуры (рис. 1).

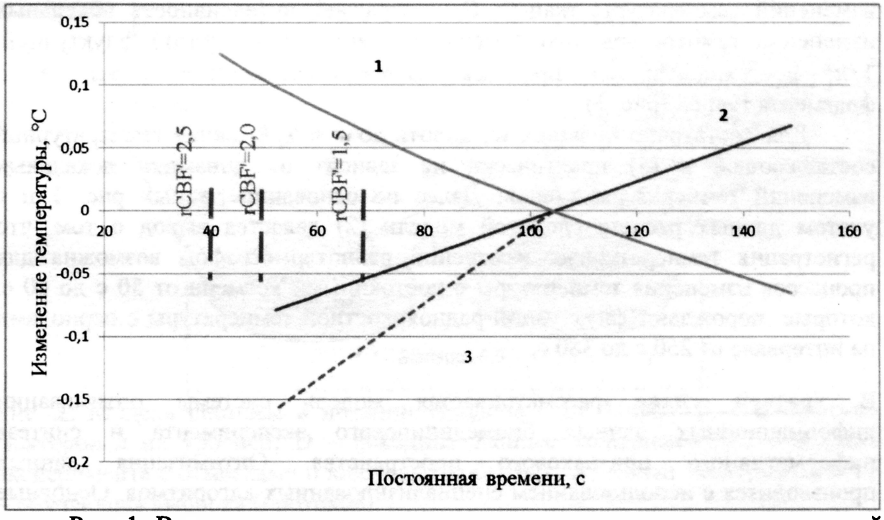

Рис. 1. Взаимосвязь установившегося отклонения температуры тканей головного мозга и постоянной времени процесса изменения температуры. Линия 1: активация кровотока и метаболизма в слое 1 головы; относительное изменение кровотока находится на интервале от 0,7 до 2,5. Линия 2: активация кровотока и метаболизма в глубине головного мозга (слой 0); относительное изменение кровотока находится в пределах от 0,7 до 2,0. Линия 3: активация только кровотока в слое 0 и слое 1 головы; относительное изменение кровотока находится в переделах от 1 до 2,0. Вертикальные штриховые линии rCBF` – метки постоянной времени, соответствующие различным значениям относительного прироста кровотока (2,5; 2,0; 1,5).

На основании полученных предельных значений отклонений локальной термодинамической температуры тканей (рис. 1) и с использованием итеративной процедуры оценки изменений радиояркостной температуры (2) был сделан вывод о том, что для функциональной пробы вдыхания газовой смеси возможна достоверная регистрация изменений радиояркостной температуры.

Рассмотрено влияние процессов локальной терморегуляции тканей головного мозга на амплитудно-частотные характеристики реализаций

радиояркостной температуры. Случайный нестационарный процесс электромагнитного излучения тканей рассмотрен, как кусочно-стационарный со спектральной плотностью:

$$Z(w) = X(w) + \sum_i C_i \cdot \frac{1/k_i^2}{1 + w^2/k_i^2} \quad (4)$$

где первая компонента X(w) определяет вклад изменения коэффициента поглощения тканей, вторая компонента отражает вклад изменений температуры тканей: C_i – отражает интенсивность локальных изменений температуры i-го фрагмента тканей, w – частота флуктуаций, $1/k_i^2$– постоянная времени процесса локального изменения температуры i-го фрагмента тканей (рис. 1).

Для достаточно больших w, вплоть до $w \approx 1/k$, вклад температурной составляющей в (4) практически не зависит от динамики локальных изменений температуры тканей. Далее на основании данных рис. 1 и с учетом данных расчета слоистой модели (2) делается вывод о том, что регистрация температурных изменений радиотермографом возможна для процессов изменения температуры с постоянными времени от 50 с до 60 с, которые порождают флуктуаций радиояркостной температуры с периодами на интервале от 250 с до 380 с.

В **третьей главе** рассматривается модель системы оптимизации информационных данных биомедицинского эксперимента и синтеза информативного признакового пространства. Оптимизация данных производится с использованием специализированных алгоритмов. Основные этапы обработки данных формализованы в виде процессной модели с потоками структурированных данных в нотации Йордона - Де Марко (рис. 2).

Система оптимизации данных биомедицинских экспериментов на рис. 2 использует расширенное структурированное описание гипотезы h о свойствах признакового пространства, предложенное Загоруйко Н.Г. (5)

$$h = \langle M, O, V, T, A \rangle, \quad (5)$$

где M – множество тех индивидуумов, относительно которых высказывается гипотеза; O – конечный набор средств наблюдения или измерения; V – словарь или конечный набор символов для записи результатов наблюдений в обучающей выборке Pr; T – тестовый алгоритм; анализирующий обучающие выборки Pr; A - матрица факторных нагрузок (коэффициентов регрессии факторов по признакам).

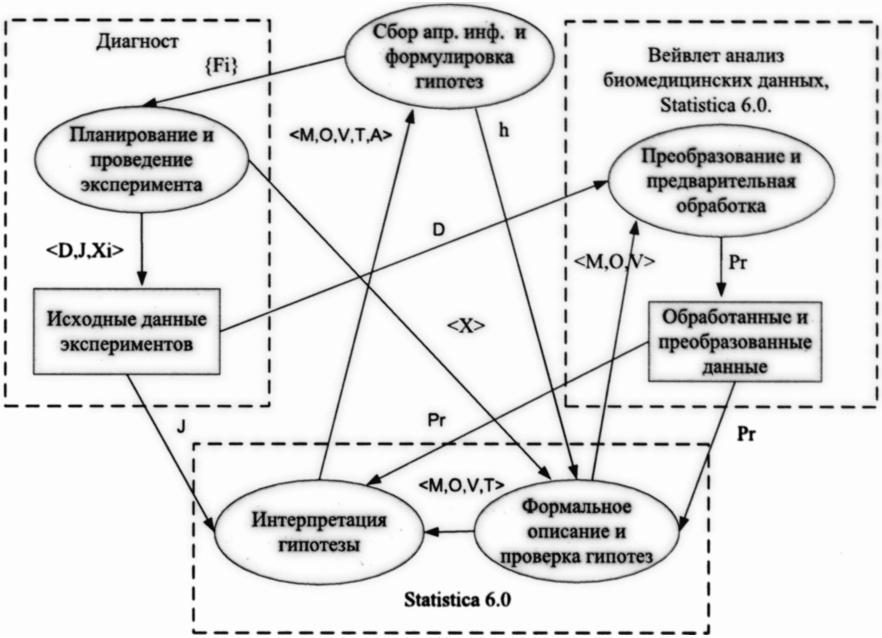

Рис. 2. Модель системы в нотации Йордона - Де Марко. F_i – множество факторов и их уровней; D – исходные данные эксперимента; J – журнал эксперимента с отметками о ключевых событиях; X_i – план эксперимента; Pr – обучающая выборка (протокол).

Основная задача оптимизации данных – формирование и селекция на множестве частотно-временных параметров флуктуаций собственного электромагнитного излучения головного мозга информационно значимых подсистем признаков при выявлении функциональных нарушений процессов транспорта жидкости и метаболизма головного мозга.

Формирование параметров производится с использованием средства наблюдения - модифицированного вейвлета Морле. На базе частотно-временного образа реализации формируются векторы признаков для каждого из исследуемых интервалов периодов флуктуаций. В работе при формировании векторов признаков используются следующие интервалы периодов флуктуаций радиояркостной температуры:
(0;10) с; (10;20) с; (20;30) с; (30;40) с; (40;50) с; (50;60) с; (60;70) с; (70;80) с; (80;90) с; (90;100) с; (100;110) с; (110;120) с.

Каждому интервалу периодов ставится в соответствие обучающая выборка *M*, состоящая из образов реализаций в виде векторов признаков. Обучающая выборка включает в себя реализации, соответствующие двум состояниям здоровья пациентов. Относительно объектов обучающей выборки *M* формулируется гипотеза о наличии компактных групп объектов в соответствии с априорной информацией о состоянии здоровья пациентов.

Тестовый алгоритм *T* производит селекцию обучающих выборок *M*. В процессе селекции проводится проверка гипотезы о соответствии априорной информации полученному с использованием решающей функции разбиению объектов обучающей выборки *M*. В качестве решающей функции используется метод кластерного анализа k-средних. Стоимость потерь решающей функции вычисляется с использованием меры информативности:

$$N = -\sum_j P(W_j) \sum_i P(W_j / S_i) \log P(W_j / S_i), \qquad (6)$$

где $P(W_j)$ – доля реализаций обучающей выборки, которые относятся к образу W_j. $P(W_j/S_i)$ – доля реализаций, принадлежащих к образу W_j, но отнесенных решающей функцией к подмножеству S_i.

Для получения робастных оценок стоимости потерь используется метод перекрестной проверки. На базе множества оценок стоимости потерь формируется доверительный интервал значения стоимости потерь обучающей выборки.

Таким образом, для каждой обучающей выборки *M* получаем стоимость потерь и доверительный интервал значения стоимости потерь.

На основании совокупности оценок стоимости потерь исследователем осуществляется выбор границы информативности. Выборки, доверительный интервал, которых содержит значения стоимости потерь меньше N_0, считаются информативными, в дальнейшем проводится работа по интерпретации таких выборок с использованием матрицы факторных нагрузок *A*.

В **четвертой главе** рассматриваются возможные перспективные подходы к построению радиофизического программно-аппаратного комплекса на базе комплекса МРТРС, используемого при исследовании функциональных процессов головного мозга.

Разработанная модель системы оптимизации данных биомедицинского эксперимента (рис. 2) формирует требования к комплексу прикладного программного обеспечения как к открытой информационной системе. Открытость информационной системы позволяет использовать при анализе данных, как пакеты собственной разработки, так и программное обеспечение сторонних производителей. В настоящей работе были использованы пакеты программного обеспечения (рис. 2): Statistica 6.0 и дополнительно созданные расширения его стандартных модулей; программное обеспечение «Диагност»; авторское программное обеспечение «Вейвлет анализ биомедицинских данных».

Одним из перспективных направлений развития аппаратной части комплекса является обеспечение достоверности измерения радиояркостной температуры. На базе структурной схемы организации радиотермографа Людеке предлагается совместить переключатель и антенну в одном конструктивном блоке. На рис. 3 представлена перспективная структурная

схема СВЧ радиотермографа с совмещенными в одном блоке переключателем и антенной.

Для замкнутого переключателя и разомкнутого переключателя на вход радиометрического приемника подаются сигналы U_1 и U_2 соответственно.

$$T_x \cdot (1 - \Gamma_0^2) \cdot \eta_a . \eta_к + T_а \cdot (1 - \eta_а) + T_к \cdot (1 - \eta_к) + T_{гш} \cdot \eta_к \cdot \eta_а = U_1 \quad (7)$$

$$T_{гш} \cdot \eta_к + T_к \cdot (1 - \eta_к) = U_2 \quad (8)$$

В уравнениях (7) и (8) T_x – радиояркостная температура тела; $T_а$ – термодинамическая температуры антенны; $T_{гш}$ – шумовая температура управляемого генератора шума, $\eta_а$., $\eta_к$ – к.п.д. антенны и кабеля соответственно; Γ_0 - коэффициент согласования антенны с телом.

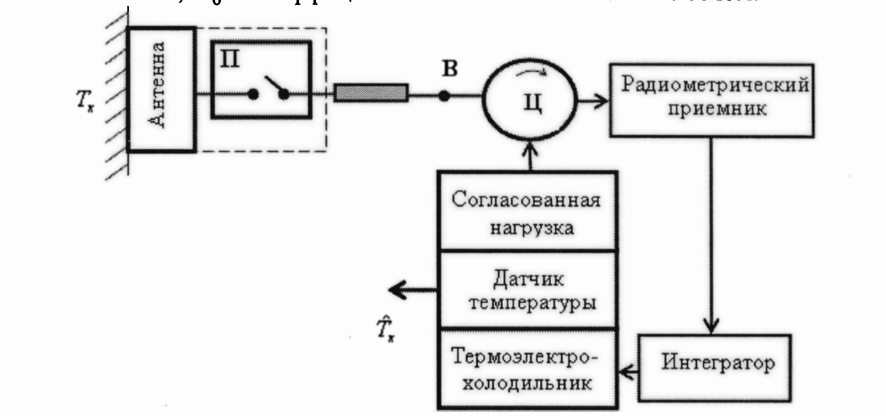

Рис. 3. СВЧ радиотермограф с вынесенными конструктивно совмещенными антенной и переключателем

Так как представленная схема относится к схеме модуляционных радиотермометров, то условие U1=U2=0 позволяет при вычислении T_x не учитывать потери $T_к \cdot (1 - \eta_к)$, так как они входят в (7) и в (8).

Таким образом, совмещение антенны и переключателя в одном конструктивном элементе позволяет снизить влияние изменения параметров линии связи между антенной и переключателем.

В **пятой главе** приводятся результаты оптимизации данных биомедицинских экспериментов, проведенных в рамках клинической апробации радиофизического программно-аппаратного комплекса МРТРС.

Клиническая апробация радиофизического комплекса проводилась в Свердловском областном клиническом психоневрологическом госпитале для ветеранов войн, в Институте медицинских клеточных технологий г. Екатеринбурга, Республиканском клиническом госпитале ветеранов войн Республики Марий Эл.

По результатам клинической апробации была сформирована база результатов исследований 103 пациентов, содержащая сведения о пациентах (пол, возраст, место жительства), клинические данные в соответствии с МКБ-10, условия проведения исследований и результаты измерения радиояркостной температуры. К исследованиям привлекались пациенты, давшие информированное согласие на их проведение. Возраст пациентов от 9 до 70 лет. В базе присутствуют практически здоровые пациенты, пациенты с диагнозами артериальная гипертензия, вегето-сосудистая дистония. В базе также имеются пациенты с ишемическими повреждениями тканей головного мозга.

В соответствии с процедурой, описанной в главе 3 отдельно для каждой обучающей выборки формировалось признаковое пространство, вычислялась информативность через меру стоимости потерь и её доверительного интервала (рис. 4). В результате было выявлено, что информативные обучающие выборки формируются для периодов флуктуаций радиояркостной температуры на следующих интервалах (10;20) с и (60;70) с. Информативные выборки формируются в результате применения функциональной пробы антиортостаз на множестве реализаций, включающих пациентов с диагнозами артериальная гипертензия, вегето-сосудистая дистония и без патологий кровообращения (норма).

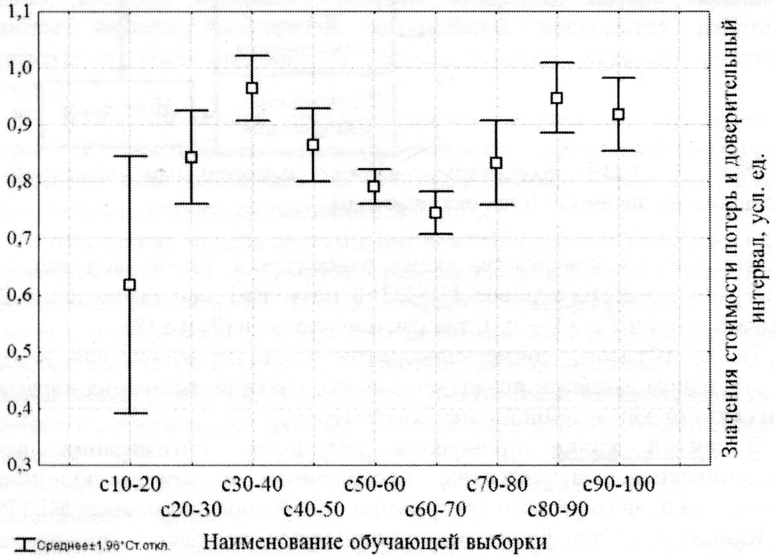

Рис. 4. Информативность систем признаков для обучающих выборок, сформированных на множестве реализаций, включающих пациентов с диагнозами артериальная гипертензия, вегето-сосудистая дистония и без патологий кровообращения (норма).

Для анализа структуры признакового пространства информативных обучающих выборок использовался метод факторного анализа. На рис. 5

представлены проекции реализаций обучающей выборки, сформированной для интервала периодов флуктуаций (10;20) с.

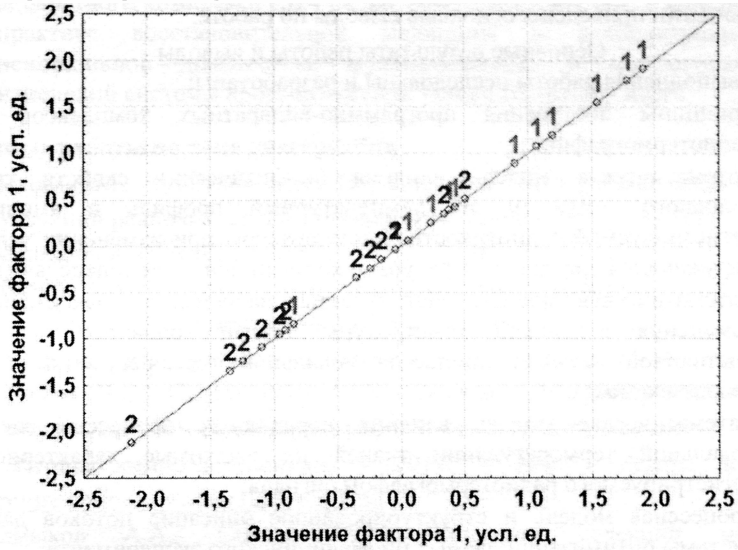

Рис. 5. Проекция реализация для обучающей выборки (10;20) с; метка «2» - реализации пациентов с артериальной гипертензией и вегето-сосудистой дистонией; метка «1» - реализации пациентов без патологий кровообращения.

На основании анализа меры информативности, факторных нагрузок и свойств проекций реализаций на основной фактор в формулируются следующие выводы:

- наиболее информативными при выявлении функциональных нарушений процессов транспорта жидкости и метаболизма головного мозга являются флуктуации радиояркостной температуры на интервалах периодов (10;20) с и (60;70) с;
- флуктуации радиояркостной температуры до функциональной пробы не несут диагностически значимой информации;
- разделение реализаций в признаковых пространствах соответствующих флуктуациям с периодами (10;20) с и (60;70) имеет характерные отличия, а именно для флуктуаций с периодами (10;20) с имеет место компактное расположение реализаций здоровых пациентов и больных пациентов с частичным перекрытием, для флуктуаций с периодами (60;70) с присутствуют две компактные группы, в одной из которых присутствуют исключительно реализации больных пациентов, во второй группе присутствуют реализации больных и здоровых пациентов.

В **заключении** приведены основные выводы по работе.

Основные результаты работы и выводы

В ходе выполнения работы исследованы и разработаны:

- принципы построения программно-аппаратных комплексов СВЧ радиотермографии;
- математическая модель влияния биофизических свойств тканей головного мозга на их температурный профиль и амплитуду регистрируемой радиояркостной температуры при изменении условий окружающей среды (температуры и коэффициента теплопередачи);
- математическая модель, определяющая зависимость максимального изменения локальной температуры тканей головного мозга от постоянной времени процессов локальной терморегуляции тканей головного мозга;
- математическая модель влияния переходных процессов системы локальной терморегуляции тканей на частотные характеристики регистрируемого радиотермографом сигнала;
- процессная модель и структурированное описание потоков данных системы оптимизации данных биомедицинского эксперимента;
- процедура и алгоритмы поиска информативной системы признаков с использованием метода кластерного анализа k-средних;
- отображение информативных подсистем признаков на пространство основных факторов;
- комплекс программ для ввода, хранения, оптимизации и визуализации информации в рамках системы оптимизации данных биомедицинского эксперимента;
- способы увеличения точности измерения радиояркостной температуры с помощью радиотермографа, построенного по схеме Людеке.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

- применение программно-аппаратного комплекса МРТРС позволяет получать достоверную диагностически значимую информацию о динамике жидкости и энергетических процессах в тканях головного мозга;
- в случайном процессе изменений радиояркостной температуры головного мозга можно выделить флуктуации радиояркостной температуры с интервалами периодов (10;20) с и (60;70) с, которые являются базой для формирования диагностически значимой системы признаков;
- флуктуации радиояркостной температуры на интервале периодов колебаний (10;20) с и (60;70) с отражают изменения коэффициента поглощения ткани в связи с процессами транспорта жидкости в тканях мозга;

- наиболее перспективным является применение программно-аппаратного комплекса СВЧ радиотермографии МРТРС в клинической практике восстановительной медицины и реабилитации при неинвазивной диагностике функциональных и морфологических изменений системы кровоснабжения тканей головного мозга.

Основные работы по теме диссертации

1. Сысков А.М., Кубланов В.С., Парашин В.Б. Информационный анализ флуктуаций радиояркостной температуры тканей головного мозга // Медицинская техника. – 2012. – № 3. – С. 14-17
2. Кубланов В.С., Азин А.Л., Сысков А.М. Природа флуктуаций собственного электромагнитного излучения головного мозга // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2010. – №9. – С. 45-54
3. Кубланов В.С., Седельников Ю.Е., Сысков А.М. Совершенствование характеристик СВЧ-радиотермографов в медицинских задачах // Журнал радиоэлектроники. – 2012. – №4. – Режим доступа: http://jre.cplire.ru/iso/apr12/6/text.html
4. Калмыков А.А., Сысков А.М. Критерии селекции моделей идентификации при использовании метода k-средних для решения диагностических задач // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – 2008. – № 9. – С. 205-211
5. Сысков А.М., Кубланов В.С. Разработка программно-аппаратного комплекса для исследования функции гомеостаза головного мозга методами СВЧ радиотермографии // Научно-техническая конференция Медико-технические технологии на страже здоровья: Сборник докладов 25.09-02.10 2011 г. Пальма де Майорка (Испания). – М., 2011. – С. 50-54
6. Кубланов В.С., Костоусов В.Б., Сысков А.М. О некоторых информационных возможностях радиофизического комплекса МРТРС при функциональных исследованиях головного мозга // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии: Тез. докл. IX Международной научно-технической конференции с элементами научной молодежной школы. – Владимир, 2010. – С. 442-445
7. Сысков А.М., Кубланов В.С. Радиофизический комплекс в задачах информационного анализа функциональных процессов в организме человека // Научно-техническая конференция Медико-технические технологии на страже здоровья: Тез. докл. 25.09-02.10 2010. г. Ларнака (Кипр). – М., 2010. – С.45-49
8. Кубланов В.С., Сысков А.М., Борисов В.И. Распознавание образов в частотно-временном множестве собственного электромагнитного

излучения головного мозга // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии: Тез. докл. XI МНТК. – Владимир, 2012. – С. 402-405

9. Кубланов В.С, Сысков А.М. Об организации исследований информационных характеристик электромагнитного излучения // Всероссийская научно-техническая конференция Биосистемы – 2003: Тез. докл. – Рязань, 2003. – С. 116
10. Сысков А.М. К вопросу организации базы данных для медицинского информационно-программного исследовательского комплекса // II Международная конференция по проблемам восстановительной медицины: Тез. докл. – Пенза, 2004. – С. 174-176
11. Кубланов В.С., Сысков А.М. Радиофизический комплекс МРТРС в задаче исследования функциональных процессов головного мозга //Научно-техническая конференция Радиолокационные системы малой и сверхмалой дальности. Тез. докл. – Режим доступа: http://seminar.rslab.ru/reports/2011-01-27
12. Совершенствование характеристик СВЧ-радиотермографов в медицинских задачах / Потапова О.В. [и др.] // V Всероссийская научно-техническая конференция Радиолокация и радиосвязь: Тез. докл. – М., 2011. – С. 241-246
13. Калмыков А.А., Сысков А.М. Методика проведения эксперимента при исследовании информационных характеристик собственного излучения головного мозга в радиодиапазоне // Международный научно-промышленный форум Приборостроение: Тез. докл. – Екатеринбург, 2003. – С. 234-235
14. Сысков А.М., Кубланов В.С. Получение полезных данных из материалов экспериментов по исследованию информационных характеристик собственного излучения биологического объекта в радиодиапазоне // МНТК СВЯЗЬ-ПРОМ в рамках 2-го Евро-Азиатского международного форума Связь-Промэкспо: Тез. докл. – Екатеринбург, 2005. – С. 246-247
15. Сысков А.М., Калмыков А.А. Исследование методов восстановления и визуализации информации о собственных излучениях биологических объектов в радиодиапазоне // IV отчётная конференция молодых учёных ГОУ ВПО УГТУ-УПИ: Тез. докл. – Екатеринбург, 2003. – С. 171-172