

На правах рукописи



КУЦ Леонид Валентинович

**АЛГОРИТМЫ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЙ ОБРАБОТКИ
РАДИОТЕРМОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
В СИСТЕМАХ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ**

Специальность 05.13.17 – теоретические основы информатики

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

ПЕНЗА – 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия» на кафедре «Информационные технологии и менеджмент в медицинских и биотехнических системах».

- Научный руководитель –** доктор технических наук, профессор
Истомина Татьяна Викторовна.
- Официальные оппоненты:** **Мясникова Нина Владимировна,**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Пензенский
государственный университет»,
профессор кафедры «Автоматика
и телемеханика»;
Селиванов Евгений Павлович,
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная
технологическая академия», профессор
кафедры «Прикладная информатика».
- Ведущая организация –** ФГБОУ ВПО «Астраханский
государственный университет», г. Астрахань.

Защита диссертации состоится 06 июня 2012 г., в 12 часов, на заседании диссертационного совета Д 212.337.01 при Пензенской государственной технологической академии по адресу: 440039, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а / 11.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия».

Автореферат разослан 04 мая 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Чулков Валерий Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время возрастает роль информационного обеспечения в задачах автоматической обработки данных медико-диагностических исследований и принятия решений на основе их результатов с помощью медицинских информационных систем.

Целью создания информационных систем в медицине является повышение эффективности принятия диагностических решений в условиях воздействия неинформативных влияющих факторов. Эта цель достигается путем широкого применения в системах диалогового режима, позволяющего обеспечить общение врача с компьютером во время проведения диагностики. Однако особенности получения информации о состоянии биологических объектов сопряжены со значительными трудностями выделения информативной составляющей (ИС) на фоне интенсивных помех различного типа, перекрывающих спектр ИС.

Одной из актуальных задач современной медицины является ранняя диагностика новообразований. Особую тревогу вызывает смертность от рака молочной железы (МЖ). Согласно данным статистических исследований, в США каждая 8-я женщина в течение своей жизни заболевает раком молочной железы, а в России – каждая 10-я. В течение многих лет основным методом диагностики новообразований являлась маммография – рентгенологическое исследование МЖ. Данная методика связана с лучевой нагрузкой, требует наличия высококвалифицированного специалиста-рентгенолога для правильной интерпретации снимков и недостаточно информативна при диагностике МЖ женщин молодого возраста. В последние годы у женщин моложе 35 лет в качестве метода исследования используется ультразвуковая диагностика. Эта абсолютно безвредная методика обладает высокой информативностью и точностью. Однако тщательное исследование занимает много времени, и должно проводиться высококвалифицированным специалистом, при этом трактовка полученных результатов часто носит субъективный характер. Одним из наиболее точных методов диагностики новообразований на сегодняшний день является МРТ – магнитно-резонансная томография, но сложность и высокая стоимость обследования делают невозможным его массовое применение.

С середины 90-х годов онкологами используется метод радиотермометрии (РТМ), основанный на измерении интенсивности электромагнитного излучения внутренних тканей, которая пропорциональна их температуре. Известно, что клетки новообразований выделяют большее количество тепла по сравнению со здоровыми клетками, что обуславливает повышение температуры в зоне поражения и изменение электромагнитного излучения, которое может быть зарегистрировано при помощи специального датчика. Микроволновая РТМ используется для ранней комплексной диагностики патологии в онкологических учреждениях. Теоретические основы использования РТМ-метода базируются на исследованиях А. Баррета, М. Готерье, В.С. Троицкого. В 1997 году во Всероссийском институте радиотехники был разработан компьютеризированный радиотермометр РТМ-01-РЭС, позволяющий измерять тепловую активность глубинных тканей исследуемого органа.

Острой проблемой РТМ-диагностики является обеспечение помехозащищенности, т.к. плотность мощности излучения тканей человека не превышает $10 - 14 \text{ Вт/м}^2$, что соизмеримо с фоновым шумом. Основными источниками помех являются персональные компьютеры, сотовые телефоны и другое электронное оборудование.

Проблема традиционно решается проведением измерения собственного излучения тканей в специальных экранированных помещениях, что обеспечивает выделение очень слабого сигнала, излучаемого тканями человека на фоне сильных внешних электромагнитных помех. Снижению остроты проблемы способствует применение помехозащищенных радиометров, обеспечивающих проведение измерения собственного излучения без специального экранирования помещений и открывающих возможности для практического использования микроволновой РТМ в медицинской практике. Несмотря на значительные успехи в области создания помехозащищенных радиометров, остаются нерешенными многие вопросы, требующие дополнительной проработки. К таким вопросам относится существенное влияние ряда внешних факторов на РТМ-информацию.

Основной проблемой в информационных системах принятия диагностических решений является низкая точность измерений из-за воздействия на ИС сигнала неинформативной составляющей (НИС) в виде шумов и помех различного происхождения. В настоящее время отсутствуют эффективные алгоритмы выделения ИС РТМ на фоне НИС и универсальные показатели оценки степени помехоподавления, разработка которых необходима для повышения качества диагностики.

В настоящее время в России и за рубежом активно развивается направление по созданию алгоритмов помехоустойчивой обработки информации. Большой вклад в развитие теории помехозащищенности информационных систем внесли российские ученые В.А. Котельников, Э.К. Шахов, Е.В. Михайлов. Многие исследователи привлекают к решению данной задачи относительно новый аппарат вейвлет-преобразования (ВП), основным достоинством которого является возможность исследования особенностей сигнала как в частотной, так и во временной областях. Однако вопросы применения ВП для выделения ИС на фоне интенсивных помех проработаны недостаточно, т.к. отсутствуют четкие правила для выбора сочетания вейвлет-параметров для выделения ИС. Поэтому в данном направлении необходимы дальнейшие исследования.

Таким образом, разработка алгоритмов помехоустойчивой обработки радиотермометрической информации, выбор системы показателей качества выделения ИС на фоне НИС и информационных моделей сигнала и помех являются **актуальными** задачами.

Объектом научного исследования является информация о состоянии биообъекта; **предметом** исследования – модели информативной и неинформативной составляющих радиотермометрической информации и алгоритмы шумоподавления, повышающие эффективность технических средств РТМ-диагностики.

Целью диссертационной работы является разработка алгоритмов помехоустойчивой обработки радиотермометрической информации и системы

показателей качества выделения её информативной составляющей, обеспечивающих повышение точности измерения внутренней температуры биообъекта в условиях интенсивных помех различного вида.

Для достижения цели поставлены следующие задачи исследования.

1. Анализ помех, возникающих в процессе получения радиотермометрической информации и разработка моделей информативной и неинформативной составляющих сигналов датчиков РТМ.

2. Обоснование и разработка алгоритма помехоустойчивой обработки радиотермометрической информации и системы показателей качества выделения информативной составляющей радиотермометрических изображений на фоне помех различного вида.

3. Разработка алгоритма выбора оптимального сочетания вейвлет-параметров для помехоустойчивой обработки радиотермометрических изображений.

4. Разработка методики проведения радиотермометрической диагностики в условиях интенсивных помех, анализ результатов исследования и совершенствование программного обеспечения комплекса “РТМ-Диагностика”.

Методы исследований. Для решения поставленных задач использовались методы цифровой обработки сигналов и изображений, теоретические основы радиотермометрии, вейвлет-преобразование, а также методы имитационного и математического моделирования в среде *MatLab*.

Научная новизна работы.

1. Разработан алгоритм обработки радиотермометрической информации на основе вейвлет-преобразования, отличающийся функционированием одновременно в частотной и временной областях и позволяющий повысить помехоустойчивость при измерении температуры биообъекта.

2. Синтезирована система показателей качества выделения информативной составляющей радиотермометрической информации на фоне неинформативной в виде шумов различного вида, отличающаяся наличием в своем составе как субъективных, так и объективных показателей и позволяющая проводить сравнительный анализ эффективности работы различных вариантов алгоритма.

3. Разработан алгоритм выбора оптимального сочетания вейвлет-параметров на основе предложенной системы показателей качества выделения информативной составляющей радиотермометрической информации.

4. Разработана методика проведения радиотермометрической диагностики в условиях интенсивных помех, позволяющая повысить точность измерения внутренней температуры биообъекта в условиях интенсивных помех с помощью разработанных алгоритмов на основе вейвлет-преобразования.

Практическая значимость работы.

1. Созданы адекватные информационные модели радиотермометрических изображений для разработки средств уменьшения влияния помех различного вида на информативную составляющую.

2. Разработаны новые модули программного обеспечения, повышающие эффективность работы аппаратно-программных комплексов РТМ в условиях интенсивных помех.

Внедрение результатов работы.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований использованы в ООО “Фирма РЭС” при разработке комплекса РТМ-диагностики, а также внедрены в учебный процесс кафедр “Информационные технологии и системы” и “Информационные технологии и менеджмент в медицинских и биотехнических системах” Пензенской государственной технологической академии.

Обоснованность и достоверность научных результатов обеспечивается аргументированным применением математического аппарата, основных допущений и ограничений, положительными результатами испытаний и внедрением, подтвержденным соответствующим актом.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Алгоритм помехоустойчивой обработки радиотермометрической информации на основе вейвлет-преобразования в базисе Добеши.

2. Система показателей качества выделения информативной составляющей радиотермометрической информации на фоне шумов различного вида, включающая объективные и субъективные оценочные показатели.

3. Алгоритм выбора оптимального сочетания вейвлет-параметров, основанный на применении предложенной системы показателей качества, и полученная система параметров: базисный вейвлет Добеши, третий уровень разложения, мягкая пороговая обработка, функция расчета пороговой обработки Донохо-Джонстона.

4. Методика проведения радиотермометрической диагностики в условиях интенсивных помех, включающая административный и алгоритмический методы уменьшения помех и позволяющая уменьшить погрешность измерения внутренней температуры биообъекта.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы обсуждены на следующих научно-технических конференциях: межрегиональной научно-практической конференции студентов и аспирантов “Инновационные технологии в экономике, информатике, медицине и образовании” (г. Пенза, 2009 – 2010 гг.); научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых “Актуальные проблемы науки и образования” (г. Пенза, 2009 г.); международной научно-технической конференции “Современные информационные технологии” (г. Пенза, 2009 – 2010 гг.); Международной научно-практической конференции “Современные проблемы отечественной медико-биологической и фармацевтической промышленности. Развитие инновационного и кадрового потенциала Пензенской области” (г. Пенза, 2011 г.); VIII Международном симпозиуме “Электроника в медицине. Мониторинг, диагностика, терапия” (г. Санкт-Петербург, 2012 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ, из них 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы из 102 наименований. Диссертация изложена на 151 листе машинописного текста и содержит 83 рисунка, 9 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту, показана научная новизна и практическая ценность диссертационной работы.

В первой главе на основе анализа проблем информационного обеспечения своевременной диагностики новообразований выявлено, что на результат принятия диагностического решения большое влияние оказывает неинформативная составляющая в виде шумов различного вида. Обоснован выбор объекта исследования – в качестве информационной модели в работе исследуется РТМ-изображение и помехи, возникающие при его регистрации.

Проведен обзор современных технических методов и средств обработки информации о новообразованиях, на основе которого предложена их систематизация (рисунок 1), а также выявлены преимущества и недостатки рассмотренных методов диагностики новообразований.

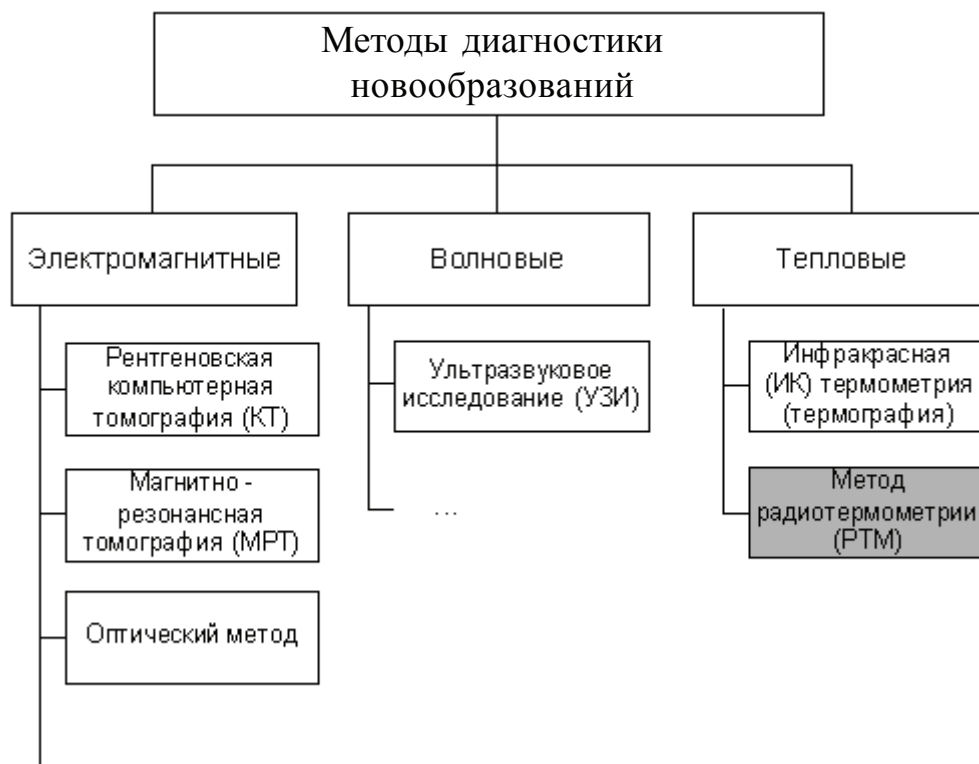


Рисунок 1 – Методы диагностики новообразований

В качестве метода, способного на ранних стадиях и без вредного воздействия на биообъект диагностировать новообразования, выбран метод РТМ-диагностики, описаны общие принципы получения и обработки информации с помощью радиотермометра РТМ-01-РЭС. Радиометр измеряет собственное электромагнитное излучение тканей в микроволновом диапазоне. Если прислонить микроволновую антенну к телу, то мощность электромагнитного излучения на выходе антенны будет пропорциональна радиометрической (яркостной) температуре тканей под антенной T_{rad}

$$P = kT_{rad}\Delta f(1 - R), \quad (1)$$

где P – мощность шумового сигнала на выходе антенны, k – постоянная Больцмана, Δf – полоса частот радиометра, R – коэффициент отражения антенны.

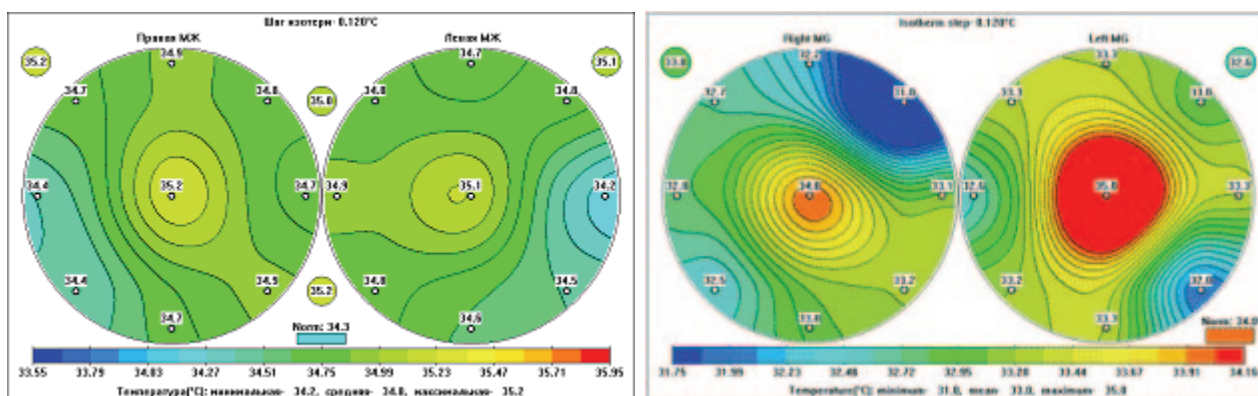
Измеряемая радиометрическая температура определяется как

$$T_{rad} = \int_{-\infty}^{\infty} T(r) * C(r) dV, \quad C(r) = \frac{\sigma/2[\bar{E}(r)]^2}{\int_{-\infty}^{\infty} \sigma/2[\bar{E}(r)]^2 dV}, \quad (2)$$

где $T(r)$ – термодинамическая температура, r – текущая координата, $C(r)$ – весовая радиометрическая функция, $\bar{E}(r)$ – вектор электрического поля создаваемого антенной в исследуемом объеме, σ – электропроводность тканей.

Из (2) вытекает, что для расчета радиометрической температуры необходимо располагать сведениями о распределении термодинамических температур $T(r)$ и о поле антенны $[\bar{E}(r)]^2$ в биологическом объекте. Биологический объект представляет собой многослойную структуру, включающую кожу, ткани МЖ и злокачественную опухоль. Каждая ткань характеризуется своими биофизическими и теплофизическими параметрами.

Рисунок 2 иллюстрирует способ визуализации поля температур, где каждому значению температуры соответствует на экране монитора свой цвет. Участки с пониженной температурой передаются “холодными” цветами (синим, голубым, зеленым), а с повышенной температурой – “теплыми” цветами (розовым, красным).



а) б)
Рисунок 2 – Поля внутренних температур: а – в норме; б – при патологии

При использовании этого способа четко наблюдаются зоны температурных аномалий, соответствующие расположению злокачественных новообразований. Помехи от электрооборудования вносят ошибки в результаты исследований, поэтому необходим их анализ с целью подавления в процессе преобразования сигналов, а также разработка системы показателей качества РТМ-информации для улучшения диагностики.

Во второй главе проведен анализ источников электромагнитных помех, влияющих на информативную составляющую радиотермометрической информации. В ходе измерительного эксперимента на ИС сигнала накладывается НИС, представляющая собой искажения, вносимые за счет погрешности чувствитель-

ного элемента датчика, тракта передачи, погрешности аналого-цифрового преобразователя и т.д. Основными источниками электромагнитных помех являются персональные компьютеры, сотовые телефоны, медицинская техника, лифты. От влияния на ИС помех от лифтов и медицинской техники можно избавиться путем рационального размещения оборудования и административным регламентом, а снижения помех от оргтехники и средств связи можно добиться только использованием алгоритмов шумоподавления.

Анализ шумов показал, что для исследования помехоустойчивости РТМ-систем целесообразно использовать модель аддитивного белого гауссова шума, импульсного шума и их сочетания. Белый гауссов шум является адекватной моделью наиболее общего вида шума, используемого для исследования систем радиосвязи. Он характеризуется равномерной спектральной плотностью и аддитивным способом воздействия на сигнал. Импульсный шум характерен для систем передачи изображений по радиоканалам, а также для цифровых систем передачи и хранения изображений.

Аддитивный белый шум описывается соотношением:

$$g(x, y) = f(x, y) + n(x, y), \quad (3)$$

где $f(x, y)$ – исходное изображение, $g(x, y)$ – зашумленное изображение, $n(x, y)$ – аддитивный и не зависящий от сигнала шум с гауссовым распределением функции плотности вероятности.

Импульсный шум проявляется как замена части пикселей на изображении значениями фиксированной или случайной амплитуды:

$$g(x, y) = (1 - p) * f(x, y) + p * i(x, y), \quad (4)$$

где $i(x, y)$ – модель импульсного шума, p – бинарный параметр, принимающий значения 0 и 1.

Проведенный анализ спектральных преобразований при обработке РТМ-изображений выявил, что вейвлет-преобразование наиболее эффективно выделяет ИС РТМ-информации на фоне НИС. Вейвлет-анализ позволяет оценить не только вклад какой-либо составляющей сигнала, но и её пространственно-временную локализацию. Коэффициенты ВП несут значительно больше информации о свойствах сигнала, чем преобразование Фурье, или иные виды частотных преобразований.

На рисунке 3 представлена общая схема шумоподавления РТМ-изображения с помощью дискретного вейвлет-преобразования (ДВП).

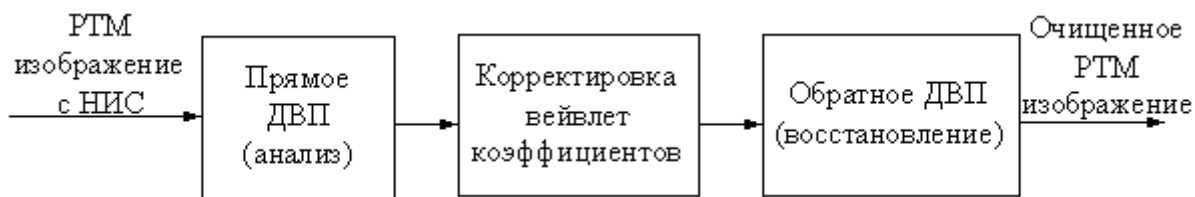


Рисунок 3 – Общая схема подавления шума на основе ВП

Вейвлет-базисы, в отличие от преобразования Фурье, имеют разные базовые функции, свойства которых ориентированы на решение различных задач. Аналитический обзор вейвлет-базисов позволил выявить, что для выделения ИС РТМ-изображения на фоне НИС по форме наиболее подходят базисы Добеши и Мейера. Выбор базисов основывается на использовании показателей качества изображений (рисунок 4), которые либо являются субъективными, либо опираются на объективные характеристики изображений: их форму, оценку искажения деталей и т.д.



Рисунок 4 – Показатели качества РТМ-изображения

Для выбора оптимального сочетания параметров ВП, особенно вейвлет-базиса, при котором будет обеспечиваться эффективное выделение ИС РТМ-изображения, разработана система показателей качества, которая учитывает как объективные, так и субъективные составляющие.

Для оценки качества очищенного РТМ-изображения в области ВП используются следующие показатели: среднеквадратичная погрешность (MSE) и отношение сигнал/шум (SNR). В качестве субъективного показателя признано целесообразным использовать пятибалльную шкалу.

Обозначим качество РТМ-изображения предикатом K_z . Обозначим в виде баллов B_z по пятибалльной шкале качества, $z = 1..5$:

$$B_z = \begin{cases} B_1 = 5, \text{ если } K_z \text{ отлично;} \\ B_2 = 4, \text{ если } K_z \text{ хорошо;} \\ B_3 = 3, \text{ если } K_z \text{ удовлетворительно;} \\ B_4 = 2, \text{ если } K_z \text{ плохо;} \\ B_5 = 1, \text{ если } K_z \text{ очень плохо.} \end{cases} \quad (8)$$

Точность восстановления повышается при $MSE \rightarrow 0, SNR \rightarrow \infty$. Основным показателем принято значение MSE , дополнительным – SNR :

1) среднеквадратичная погрешность (MSE – mean square error) восстановленного сигнала $r'(i, j)$ размерностью $X \times Y$ определяется как

$$MSE_{i,j} = \sqrt{\frac{1}{XY} \sum_{i=1}^X \sum_{j=1}^Y [r(i,j) - r'(i,j)]^2}, \quad (9)$$

где $r(i,j)$ – эталонный сигнал без искажений. При $r(i,j) = r'(i,j)$ $MSE_{i,j} = 0$.

2) отношение сигнал/шум (SNR – signal to noise ratio) восстановленного сигнала $r'(i,j)$ размерностью $X \times Y$ определяется как

$$SNR_{i,j} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^X \sum_{j=1}^Y \frac{[r(i,j)]^2}{[r(i,j) - r'(i,j)]^2} \right), \quad (10)$$

где $r(i,j)$ – эталонный сигнал без искажений. При $r(i,j) = r'(i,j)$ $SNR_{i,j} \rightarrow \infty$.

Разработан дополнительный показатель качества радиотермометрического изображения K_{RTM} :

$$K_{RTM} = \frac{MSE * SNR}{B_z}. \quad (11)$$

Очевидно, что качество радиотермометрического изображения максимально при:

$$K_{RTM} \max = \begin{cases} MSE \rightarrow 0; \\ SNR \rightarrow \infty; \\ B_z \rightarrow 5. \end{cases} \quad (12)$$

Разработана процедура выбора оптимальных параметров ВП для РТМ-изображения с различными типами НИС (рисунок 5, а), на базе которой создан алгоритм выбора оптимального сочетания вейвлет-параметров (рисунок 5, б).

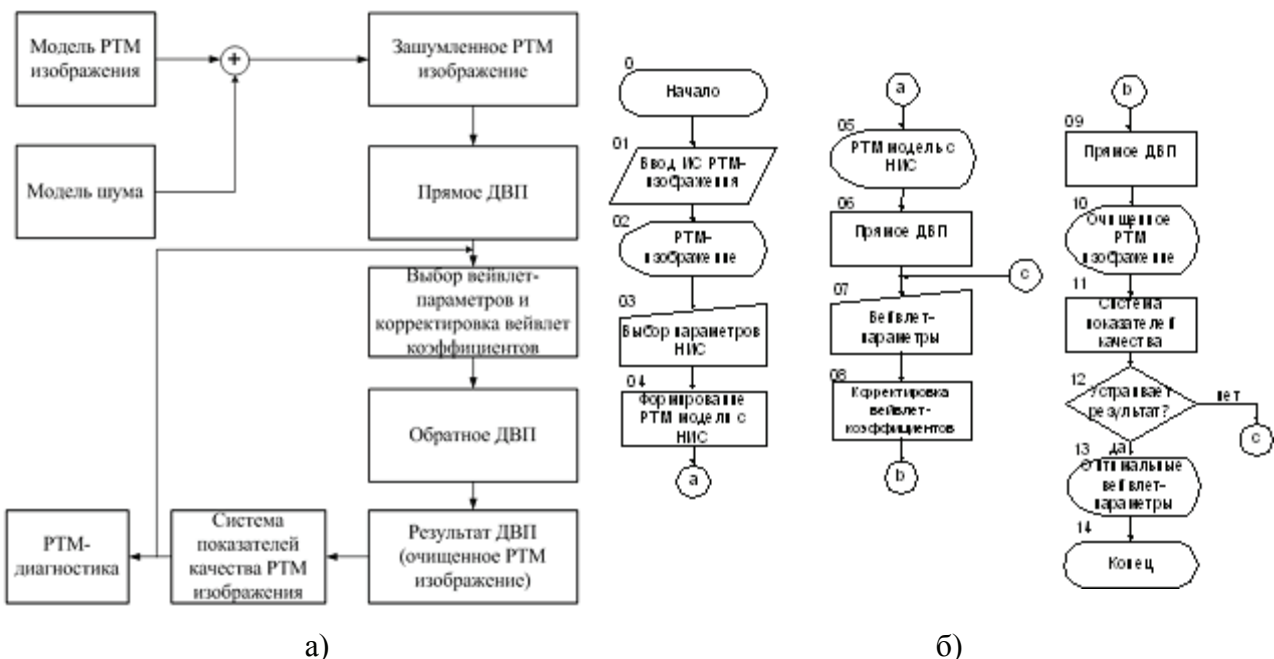


Рисунок 5 – Процедура выбора оптимальных параметров ВП РТМ-изображения (а); алгоритм выбора оптимального сочетания ВП (б)

Полученное оптимальное сочетание вейвлет-параметров используется для уменьшения влияния на РТМ-информацию НИС в виде различного вида шумов.

В третьей главе разработаны модели радиотермометрического изображения для решения задачи выбора оптимального сочетания параметров ВП на основе разработанной системы показателей качества для эффективного выделения ИС на фоне НИС.

Исходное радиотермометрическое изображение $t(i, j)$ представляется в виде суммы ИС $r(i, j)$ и НИС $n(i, j)$. В качестве НИС использовались аддитивный белый гауссов шум $n_g(i, j)$, импульсный шум $n_{imp}(i, j)$, их сочетание $n_{gimp}(i, j) = n_g(i, j) + n_{imp}(i, j)$. Радиотермометрическое изображение с влиянием на него НИС представлено в следующем виде:

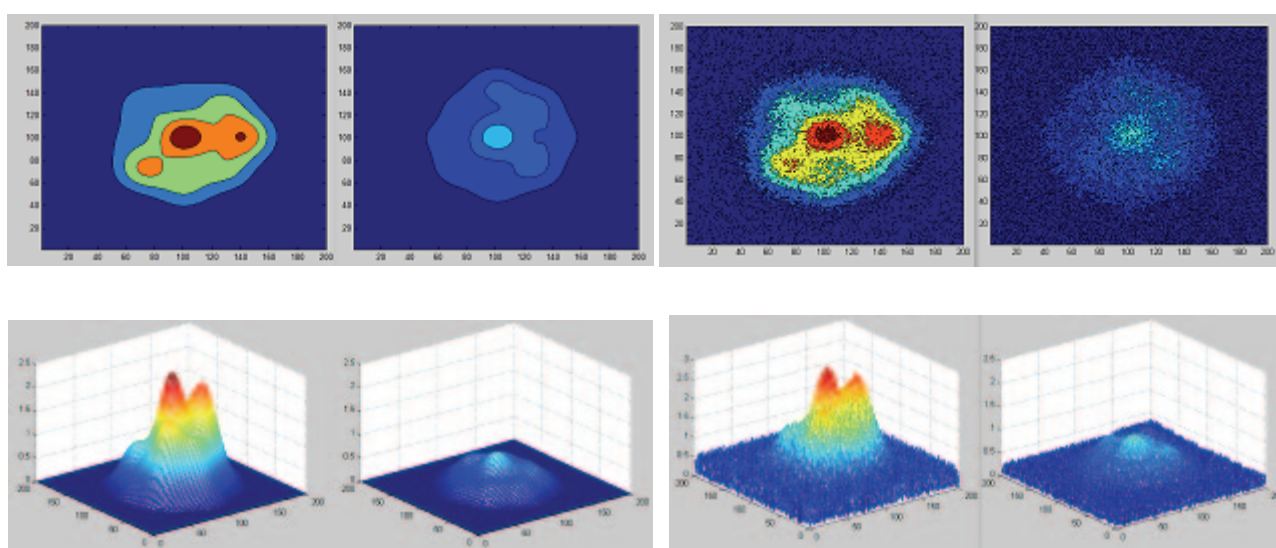
$$t(i, j) = r(i, j) + n(i, j) \quad (13)$$

или в матричном виде:

$$t(i, j) = \begin{Bmatrix} r_{11}, & r_{12}, \dots & r_{1Y}, \\ r_{21}, & r_{12}, \dots & r_{2Y}, \\ \dots & \dots & \dots \\ r_{X1}, & r & r_{XY} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} n_{11}, & n_{12}, \dots & n_{1Y}, \\ n_{21}, & n_{12}, \dots & n_{2Y}, \\ \dots & \dots & \dots \\ n_{X1}, & n_{X2}, \dots & n_{XY} \end{Bmatrix}. \quad (14)$$

На рисунке 6, а представлена ИС РТМ-изображения $r(i, j)$, смоделированная в системе *MatLab*, характерная для заболевания левой молочной железы, а на рисунке 6, б – РТМ-изображение $t(i, j)$ в виде суммы ИС $r(i, j)$ и белого гауссова шума $n_g(i, j)$ со значениями отношения сигнал/шум 25 дБ.

Результаты измерений визуализируются в виде полей температур. Более горячие области отображаются желтым и красным цветами, свидетельствующими о наличии патологии. Холодные области, свидетельствующие об отсутствии патологий – голубым и синим.



а)

б)

Рисунок 6 – ИС РТМ-изображения (а); ИС с влиянием НИС на РТМ-изображение (б)

Оценка информативности спектра выполнена расчетом среднеквадратичной погрешности (MSE), отношения сигнал/шум (SNR), пятибалльной шкалы качества и предложенным обобщенным показателем качества РТМ-изображения. Выбор базисного вейвлета производился из: вейвлет Хаара (*haar*); вейвлет Мейера (*dmey*); вейвлет Добеши (*db*). В качестве способа пороговой обработки использовался жесткий (*hard*) и мягкий (*soft*) способы. Функция расчета пороговой обработки выбиралась из следующих вариантов: глобальный порог Берга-Массара; порог Донохо-Джонстона; адаптивный порог Берга-Массара.

В таблицу 1 сведены результаты очистки термограммы с заболеванием левой молочной железы от белого гауссова шума со значением SNR 25 дБ.

Таблица 1 – Очистка ИС РТМ-изображения с белым гауссовым шумом

№	Функций расчета порога	Пороговая обработка	Вейвлет-базис	MSE	SNR (дБ)	Шкала качества	Предложенный показатель $K_{РТМ}$
1	Адаптивный порог Берга-Массара	Мягкая	Добеши	0,12	39,3	5	0,94
			Симлет	0,2	36,6	5	1,46
			Хаара	1,8	12,6	3	7,56
			Мейера	0,3	34,3	5	2,05
		Жесткая	Добеши	0,7	26	5	3,64
			Симлет	0,7	25,3	5	3,54
			Хаара	2,1	7,3	3	3,16
			Мейера	0,8	22,6	5	3,61
2	Порог Донохо-Джонстона	Мягкая	Добеши	0,1	41,6	5	0,83
			Симлет	0,11	39	5	0,85
			Хаара	1,8	14	3	8,4
			Мейера	0,11	39	5	0,85
		Жесткая	Добеши	0,7	25,6	5	3,58
			Симлет	0,7	24,6	5	3,44
			Хаара	2,3	4	3	1,73
			Мейера	0,8	22,3	5	3,56
3	Глобальный порог Берга-Массара	Мягкая	Добеши	0,2	36,3	5	1,45
			Симлет	0,2	35,3	5	1,41
			Хаара	1,2	11,3	3	4,52
			Мейера	0,3	34	5	2,04
		Жесткая	Добеши	0,8	23,6	5	3,77
			Симлет	0,8	23	5	3,68
			Хаара	2,4	4	3	2,4
			Мейера	0,8	22,3	5	3,56

По данным таблицы можно сделать вывод, что для данного вида сигналов оптимальным сочетанием вейвлет-параметров для выделения ИС на фоне белого гауссова шума (SNR 25 дБ) является базис Добеши, мягкая пороговая обработка, функция расчета порога по алгоритму Донохо-Джонстона.

На рисунке 7 представлены результаты по выделению ИС с оптимальным сочетанием параметров на основе ВП.

В таблицу 2 сведены результаты по выделению ИС радиотермометрического изображения с разными значениями SNR (20 дБ, 15 дБ, 10 дБ, 5 дБ) на основе ВП, используя оптимальное сочетание вейвлет-параметров, полученных выше (таблица 1).

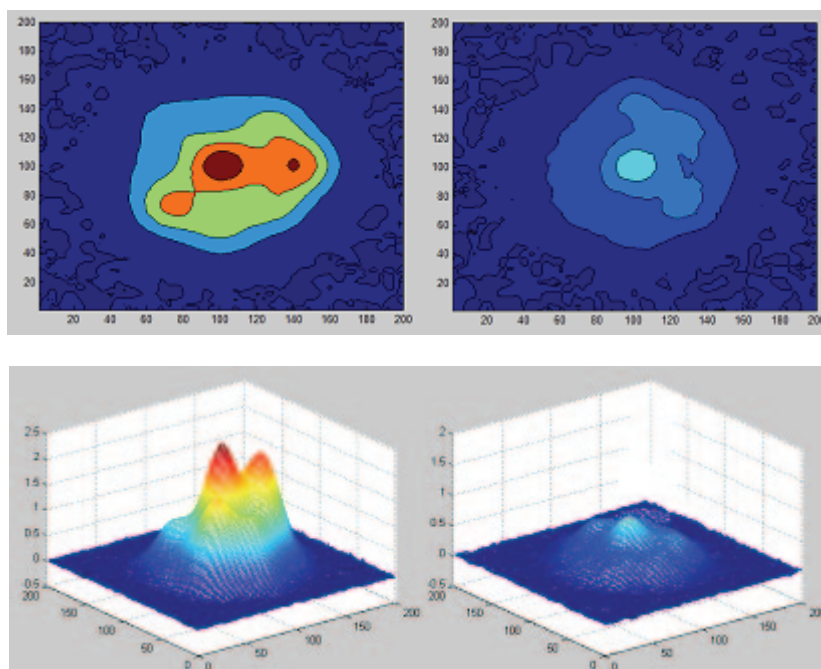


Рисунок 7 – Результат очистки зашумленного сигнала с помощью ВП

Таблица 2 – Результаты выделения ИС на фоне НИС с разными значениями SNR

Зашумленное РТМ-изображение				Очищенное РТМ-изображение			
SNR дБ	MSE	Шкала качества (пятибалльная)	Предложенный показатель $K_{РДМ}$	MSE	SNR (дБ)	Шкала качества (пятибалльная)	Предложенный показатель $K_{РДМ}$
25	0,7	4	4,37	0,1	41,6	5	0,83
20	0,95	3	6,33	0,2	36,3	5	1,45
15	1,7	3	8,5	0,6	26	5	3,12
10	1,95	2	9,75	0,9	19	4	4,27
5	2,3	1	11,5	1,3	11,3	3	4,91

Из результатов, приведенных в таблице 2, следует вывод, что предложенный алгоритм помехоустойчивой обработки радиотермометрической информации с оптимальным сочетанием вейвлет-параметров позволяет уменьшить влияние шума на ИС по значению SNR в среднем на 40%. Таким образом, очищенный сигнал обеспечивает качественные результаты по выделению ИС.

Результаты по выделению ИС радиотермометрической информации на фоне НИС в виде шумов разного вида представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Выделения ИС РТМ-информации на фоне НИС

Вид шума	MSE	SNR (дБ)	Шкала качества (пятибалльная)	Показатель $K_{РДМ}$
Белый гауссов шум (SNR 25 дБ)	0,1	41,6	5	0,83
Белый гауссов шум (SNR 20 дБ)	0,2	36,3	5	1,45
Импульсный шум	0,1	43	5	0,86
Импульсный шум и белый гауссов шум (SNR 20 дБ)	0,2	34,6	4	1,73

По результатам расчетов, сведенным в таблицу 3, можно сделать вывод о том, что предложенный алгоритм помехоустойчивой обработки информации позволяет уменьшить влияние НИС. Предложенный показатель качества выделения ИС радиотермометрической информации на фоне НИС дает возможность выбора оптимального сочетания вейвлет-параметров.

Определены направления для модернизации ПО и структуры комплекса РТМ с целью повышения эффективности его работы в условиях интенсивных помех: усовершенствование ПО для снижения влияния НИС на РТМ-измерения; использование сочетания параметров ВП, оптимальных для типовой ситуации проведения исследования; разработка обобщенной схемы системы, обеспечивающей автоматизированную подстройку к конкретной сигнально-помеховой обстановке при проведении РТМ-исследования.

В четвертой главе рассмотрена методика настройки прибора РТМ и представлено описание программы работы с РТМ, учитывающей процесс подготовки к обследованию, при этом показаны особенности выбора исследуемого органа, указана последовательность локализации измеряемых точек, предоставлены данные нескольких серий измерений для получения более точного результата обследования.

Для обеспечения получения эффективных результатов разработана методика проведения диагностического исследования (рисунок 8, а).



Рисунок 8 – Методика РТМ-обследования в условиях интенсивных помех (а); алгоритм помехоустойчивой обработки РТМ информации (б)

Использование разработанного алгоритма помехоустойчивой обработки радиотермометрической информации (рисунок 8, б) в методике проведения РТМ-обследования дает более качественные результаты при принятии диагностического решения информационной системы из-за уменьшения влияния НИС. На рисунке 9, а представлена схема проведения эксперимента в условиях повышенного влияния шумов различного вида.

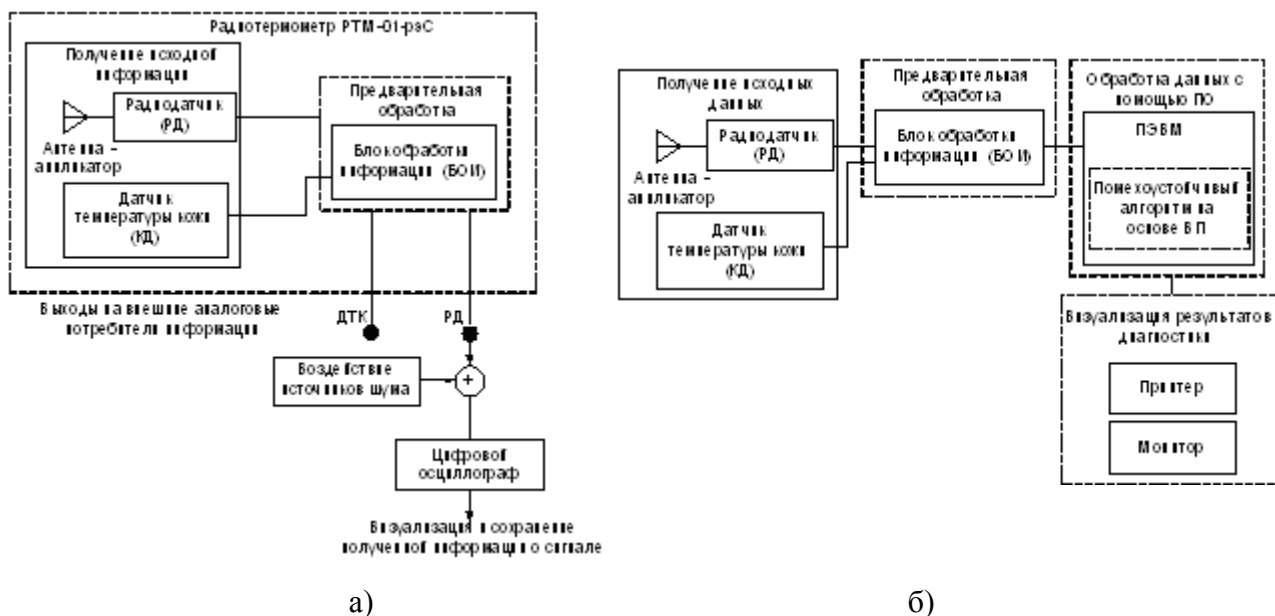


Рисунок 9 – Схема эксперимента в условиях воздействия внешних шумов (а); усовершенствованная схема комплекса РТМ-01-РЭС (б)

В качестве внешних источников шума были использованы: мобильные телефоны, микроволновая печь, персональный компьютер. В процессе исследований эти устройства включались с 10 по 20 секунду эксперимента.

На рисунке 10 представлен внешний вид аппаратуры и форма сигнала с аналогового выхода радиодатчика (РД) при влиянии сотового телефона в момент проведения эксперимента.



Рисунок 10 – Аппаратура для проведения эксперимента и результаты

Результаты, полученные в ходе эксперимента, были сохранены на флэш-носителе и обработаны с помощью разработанного алгоритма помехоустойчивой обработки РТМ-информации.

Для повышения качества диагностики необходимо использовать алгоритм помехоустойчивой обработки РТМ-информации. Для этого предлагается использовать структуру (рисунок 9, б). В данной схеме предусмотрен дополнительно

разработанный модуль “Помехоустойчивый алгоритм на основе ВП” для уменьшения влияния НИС.

В таблицу 4 сведены результаты эксперимента с использованием экранирования источников помех, без использования экранирования в условиях интенсивных помех и после обработки радиотермометрической информации в условиях интенсивных помех на основе ВП с оптимальным сочетанием вейвлет-параметров. Было проведено 100 экспериментов, в таблице 4 представлен фрагмент массива полученных результатов измерений.

Таблица 4 – Результаты эксперимента в условиях интенсивных помех

№ эксп.-та	$T_{ид}, ^\circ C$	$T_{п}, ^\circ C$	$T_{э}, ^\circ C$	$T_{оч}, ^\circ C$	$\delta_{п}, \%$	$\delta_{э}, \%$	$\delta_{оч}, \%$
1	33,4	36,3	35,4	33,9	8,5	5,9	1,4
2	33,4	36	35	33,9	7,7	4,7	1,4
3	33,2	36,1	35,2	33,7	8,7	6	1,5
4	33,4	36	34,8	33,9	7,7	4,2	1,4
5	33,3	35,9	34,6	33,8	7,8	3,9	1,5
6	33,2	35,7	34,3	33,7	7,5	3,3	1,5
7	33,3	35,8	34,7	33,8	7,5	4,2	1,5
8	33,4	36,1	35,1	33,9	8,1	5	1,4
9	33,2	35,8	34,6	33,7	7,8	4,2	1,5
10	33,4	36,2	35,3	33,9	8,3	5,6	1,4
Ср. знач.	33,3	35,9	34,9	33,8	8	4,7	1,5

Здесь $T_{ид}$ – температура в условиях, приближенных к идеальным; $T_{п}$ – температура в условиях интенсивных помех; $T_{э}$ – температура с экранированием; $T_{оч}$ – температура после вейвлет-очистки; $\delta_{п}$, $\delta_{э}$ и $\delta_{оч}$ – относительные погрешности температур $T_{п}$, $T_{э}$ и $T_{оч}$ соответственно.

Разработанный алгоритм вейвлет-очистки РТМ-информации позволяет уменьшить относительную погрешность измерений в условиях интенсивных помех в среднем на 7%.

Для дальнейшего совершенствования обработки РТМ-информации создана схема адаптивного выбора оптимальных вейвлет-параметров (рисунок 11).

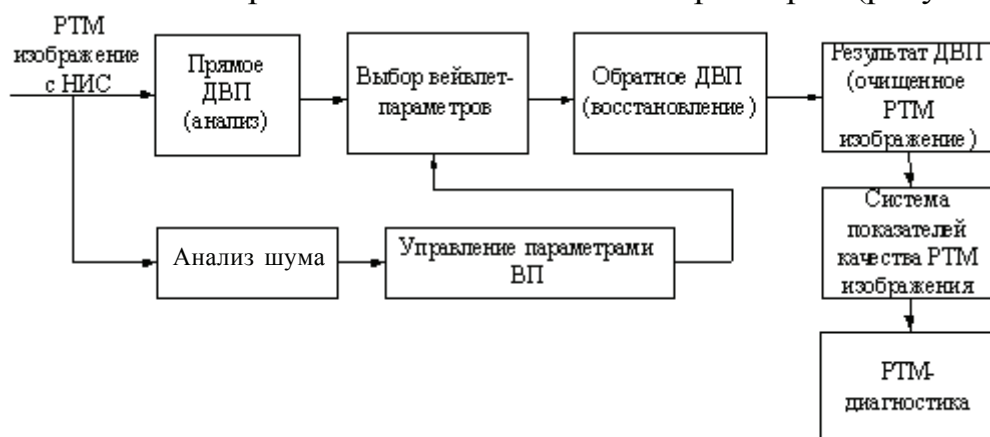


Рисунок 11 – Схема автоматизированной обработки РТМ-изображения

Таким образом, разработанные модели и алгоритмы помехоустойчивой обработки РТМ-информации обеспечивают уменьшение погрешности измерений внутренней температуры биообъекта, что позволяет повысить эффективность выявления новообразований на ранних стадиях обследования.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основе анализа помех, возникающих при получении радиотермометрической информации, разработаны модели информативной и неинформативной составляющих в виде сочетания импульсного и гауссова шума.

2. Разработан алгоритм помехоустойчивой обработки радиотермометрической информации на основе ВП, позволяющий эффективно выделять ИС в условиях повышенной зашумленности.

3. Синтезирована система показателей качества выделения ИС РТМ-информации на фоне НИС, позволяющая осуществлять сравнительный анализ эффективности работы различных вариантов алгоритмов на основе ВП.

4. Разработан алгоритм выбора оптимального сочетания вейвлет-параметров на основе системы показателей качества выделения ИС радиотермометрической информации, позволяющий уменьшить относительную погрешность измерений в условиях интенсивных помех в среднем на 7%.

5. Синтезирована методика проведения РТМ-диагностики в условиях интенсивных помех и проведен анализ результатов эксперимента, который подтвердил эффективность разработанных алгоритмов на основе ВП, обеспечивающих уменьшение влияния помех от внешних источников, в том числе в промышленном комплексе “РТМ-Диагностика”.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Куц, Л.В. Выбор спектрального преобразования для получения вектора информативных признаков / Л.В. Куц, А.А. Кузнецов // Радиопромышленность. – Москва: Изд-во ОАО “ЦНИИ “Электроника”, 2010. – Вып. 2. – С. 58–68.

2. Куц, Л.В. Подход к идентификации распределенных сигналов на основе их структурного представления / А.В. Куц, Л.В. Куц, А.Б. Щербань // Вопросы радиоэлектроники. Серия ОТ. – Москва: Изд-во ОАО “ЦНИИ “Электроника”, 2011. – С. 20–29.

3. Куц, Л.В. Вейвлет-анализ в диагностике рака молочной железы / Л.В. Куц, Т.В. Истомина // Вестник аритмологии. Материалы конгресса VIII Международного симпозиума “Электроника в медицине. Мониторинг, диагностика, терапия”. – Санкт-Петербург: НИИ кардиологии им. В.А. Алмазова Росздрава, 2012. – С. 132.

Публикации в других изданиях:

4. Куц, Л.В. Применение вейвлет преобразования для обработки сигналов. / Л.В. Куц, А.А. Кузнецов // Актуальные проблемы науки и образования: Сборник материалов II научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Пенза: ПГТА, 2009. – С. 5–7.

5. Куц, Л.В. Применение вейвлет преобразования для повышения качества сигнала с выхода интегратора. / Л.В. Куц, А.А. Кузнецов // Инновационные технологии в экономике, информатике и медицине: Сборник статей VI межрегиональной научно-практической конференции студентов и аспирантов. – Пенза: ПГТА, 2009. – С. 109–110.

6. Куц, Л.В. Применение вейвлет Хаара для выделения информативной составляющей в интегрирующих аналогово-цифровых преобразователях / Л.В. Куц, А.А. Кузнецов, В.А. Юрманов // Современные информационные технологии – 2009: Сборник статей международной научно-технической конференции. – Пенза: ПГТА, 2009. – С. 41–46.

7. Куц, Л.В. Структурный подход к идентификации информационных объектов. / Л.В. Куц, А.Б. Щербань // Информационные технологии в экономике, информатике и медицине: Сборник статей VII Межрегиональной научно-практической конференции студентов и аспирантов. – Пенза: ПГТА, 2010. – С. 78–79.

8. Куц, Л.В. Устранение влияния шумов в системе измерения расхода жидкости. / Л.В. Куц, К.В. Гудков // Информационные технологии в экономике, информатике и медицине: Сборник статей VII Межрегиональной научно-практической конференции студентов и аспирантов. – Пенза: ПГТА, 2010. – С. 76–77.

9. Куц, Л.В. Идентификация изображений методами IS-анализа. / Л.В. Куц, А.Б. Щербань // Современные информационные технологии – 2010: Сборник статей международной научно-технической конференции. – Пенза: ПГТА, 2010. – Вып. 12. – С. 22–26.

10. Куц, Л.В. Обработка результатов измерений кориолисового расходомера. / Л.В. Куц, А.А. Кузнецов, К.В. Гудков // Современные информационные технологии – 2010: Сборник статей международной научно-технической конференции. – Пенза: ПГТА, 2010. – Вып. 12. – С. 45–47.

11. Куц, Л.В. Определение параметров гармонического затухающего сигнала при наличии шума. / Л.В. Куц, Л.Г. Когельман, А.А. Кузнецов // Современные информационные технологии – 2010: Сборник статей международной научно-технической конференции. – Пенза: ПГТА, 2010. – С. 190–196.

12. Куц, Л.В. Использование вейвлет-преобразования в диагностике рака молочной железы / Л.В. Куц // Современные проблемы отечественной медико-биологической и фармацевтической промышленности. Развитие инновационного и кадрового потенциала Пензенской области: Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Научн. издание. – Пенза: ФГУП НТЦ “Информрегистр”, 2011. – С. 586–588.

Компьютерная верстка Д.Б. Фатеева, Е.В. Рязановой

Сдано в производство 02.05.2012. Формат 60x84 ¹/₁₆

Бумага типогр. №1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,10. Уч.-изд. л. 1,11. Заказ № 2168. Тираж 100.

Пензенская государственная технологическая академия.
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ ул. Гагарина, 1^а/11.