

*На правах рукописи*

**Овчинников Павел Евгеньевич**

**МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ДЕТЕКТИРОВАНИЯ  
СИГНАЛОВ С АПРИОРНО НЕИЗВЕСТНЫМИ  
СТАТИСТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ  
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

01.04.03 – Радиофизика

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Н. Новгород, 2009 г.

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Научный руководитель: доктор технических наук,  
профессор В.Р. Фидельман

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор И.Я. Орлов

доктор физико-математических наук  
В.Г. Яхно

Ведущая организация: НИИ нейрокибернетики им. А.Б. Когана  
Южного федерального университета  
Ростов-на-Дону

Защита состоится “20” \_\_\_\_\_ мая \_\_\_\_\_ 2009 г. в \_\_\_\_\_ 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.166.07 при Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского по адресу: 603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23, корп. 1, ауд. 420.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского.

Автореферат разослан “ 8 ” апреля \_\_\_\_\_ 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
к.ф.-м.н., доцент

Черепенников В.В.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ**

### **Актуальность темы**

Задача детектирования сигналов в условиях помех и непостоянства параметров является актуальной в различных областях. В работе рассматриваются приложения методов детектирования сигналов в задаче распознавания речи и задаче приёма модулированных сигналов.

Задача распознавания речи имеет большое значение для человеко-машинного взаимодействия. Прежде всего, распознавание речи используется для ввода информации в компьютеры. Постоянно растёт круг устройств с голосовым управлением: компьютеры, телефоны, бытовая техника.

Благодаря высокой помехоустойчивости и эффективному использованию спектральной полосы всё более широкое применение в системах цифровой связи находят различные виды угловой модуляции: прежде всего это фазовая и частотная манипуляция с малым числом уровней фаз и частот соответственно. При этом стандартные алгоритмы детектирования ведут себя неустойчиво в условиях высоких уровней шумов и нестабильности параметров канала передачи. В частности, такая ситуация возникает в спутниковых системах связи. Высокий уровень шумов обуславливается большими расстояниями между источниками и приёмниками и тем, что не всегда возможна работа в главном лепестке диаграммы направленности антенной системы. Орбитальное движение приводит к переменному эффекту Доплера, выражающемуся в смещении несущей частоты и масштабировании спектра. Построение и реализация оптимальных методов обнаружения и детектирования модулированных сигналов затрудняются тем, что статистические свойства шумов и величина доплеровского сдвига непостоянны. Априорная неизвестность параметров сигнала затрудняет построение формального алгоритма. Для решения подобных задач применяется аппарат искусственных нейронных сетей (ИНС). В развитие теории ИНС внесли вклад многие учёные: Маккалок, Питтс, Хебб, Розенблат, Хопфилд, А.Н. Колмогоров, Кохонен, А.И. Галушкин, А.Н. Горбань. Применение ИНС в составе системы обработки сигналов позволяет путём обучения ИНС в текущих условиях приёма формировать локальные по времени модели сигнала и шума и строить адаптивные методы обнаружения и детектирования.

### **Цель диссертации**

Целью диссертационной работы является разработка методов обработки сигналов в отсутствии предположений о моделях процессов, порождающих сигналы, с применением искусственных нейронных сетей. При построении системы обработки сигналов на базе ИНС необходимо выбрать структуру сети, определить способ параметризации сигналов и

обучить сеть с помощью алгоритма, позволяющего максимально использовать информацию, содержащуюся в данных эксперимента. Решению этих вопросов посвящена работа. В работе предлагаются нейросетевые методы решения задач распознавания фонов (в рамках общей задачи распознавания речи), детектирования сигналов с угловой модуляцией, обнаружения модулированных сигналов.

### **Научная новизна**

Для решения задачи автоматического распознавания речи в диссертационной работе предложен метод обучения нейронной сети, позволяющий обучать систему детектирования фонов без ручного сегментирования и пометки образцов речи. В отличие от традиционных методов предлагаемый метод не вносит в систему ложной информации, связанной с неточной сегментацией.

Для решения задач обнаружения и детектирования модулированных сигналов цифровых систем связи в диссертационной работе предложены нейросетевые методы, позволяющие проводить обнаружение и детектирование в условиях узкополосного шума и априорно неизвестного сдвига несущей частоты.

Предлагаемый в диссертационной работе метод обучения ИНС обеспечивает вычислительно эффективную оптимизацию информационного критерия обучения (энтропии ошибки). Кроме неявной оптимизации энтропии ошибки предлагаемый метод позволяет реализовывать дообучение на новых сигналах без «забывания» предыдущих.

### **Практическая значимость**

Традиционные методы распознавания речи требуют сегментации речевого сигнала как в процессе настройки системы (при обучении), так и при распознавании. Это относится как к акустически-фонетическому подходу к распознаванию речи, так и к методам распознавания по образцу. При использовании первого подхода выделяются отрезки сигнала с постоянными характеристиками, а при использовании второго подхода сигнал сегментируется эквидистантно для последующей (при обучении – ручной) пометки сегментов. Ручная сегментация и пометка являются рутинными, трудозатратными процедурами, кроме того ошибки оператора при выполнении этих процедур негативно сказываются на работе конечной системы распознавания речи. В диссертационной работе предложен метод обучения ИНС для распознавания фонов без ручных процедур сегментации и пометки сигналов.

Традиционные методы детектирования сигналов с угловой модуляцией требуют точного знания значения несущей частоты или введения в систему схем автоподстройки. При детектировании

фазоманипулированных сигналов из-за накопления ошибки возможен переход системы в режим «обратной работы», при таком переходе происходит смена полярности детектируемых символов. Традиционные методы обнаружения и детектирования опираются на статистические характеристики шума, которые непостоянны или совсем неизвестны в ряде практических задач. Предлагаемые в диссертационной работе методы обнаружения и детектирования обладают устойчивостью к изменениям несущей частоты и не требуют задания модели шума, т.к. обучаются на примерах сигналов, содержащих шум эфира и искажения, связанные с переменной несущей частотой.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

- Метод обучения нейронных сетей, основанный на информационном критерии энтропии ошибки и реализация нейросетевых алгоритмов на последовательных вычислительных машинах.
- Метод детектирования фонем с использованием ИНС, не требующий сегментирования речевых сигналов.
- Метод параллельного обнаружения и детектирования сигналов с угловыми видами манипуляции (фазо- и частотно-манипулированных), основанный на применении ИНС.
- Результаты моделирования и исследования устойчивости предложенных методов детектирования в условиях шумов и сдвига несущей частоты.

### **Апробация работы**

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались:

- на всероссийской научно-технической конференции «Информационные системы и технологии», Нижний Новгород, НГТУ, 2005, 2006, 2007 гг;
- на 14-ой Международной конференции по нейрокибернетике, Ростов-на-Дону, 2005 г;
- на V международной научно-технической конференции «Электроника и информатика – 2005», Зеленоград, МИЭТ, 2005;
- на VIII, IX, X всероссийских научно-технических конференциях «Нейроинформатика», Москва, МИФИ, 2006, 2007, 2008 гг;
- на IV международной конференции “Signal Processing Pattern Recognition and Applications”, Австрия, 2007;
- на IX, X международных конференциях «Цифровая обработка сигналов и ее применение». Москва, ИПУ РАН, 2007, 2008 гг;

- на XIII международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». Москва, МЭИ, 2007 г.;
  - на VIII международной научно-технической конференции “Искусственный интеллект-2007. Интеллектуальные системы”, пос. Дивноморское, 2007 г.
  - на X, XI научных конференциях по радиофизике. Нижний Новгород, РФ ННГУ, 2006, 2007 гг.;
  - на международном симпозиуме “International Symposium on Communications, Control and Signal Processing”, Мальта, 2008 г.;
- и опубликованы в статьях:
- в журнале “Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)”, 2005 г.;
  - в журнале «Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия Радиофизика», 2005 г.;
  - в журнале «Известия ВУЗов. Радиофизика», 2007 г.;
  - в журнале «Радиотехника и электроника», 2007 г.;
  - в журнале «Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского», 2007 г.

### **Личный вклад автора**

Автору принадлежит нейросетевой метод распознавания фонов, не требующий сегментирования и пометки речевых сигналов, метод детектирования фазо- и частотно-манипулированных сигналов, основанный на применении ИНС, метод параллельного обнаружения и детектирования модулированных сигналов, вычислительно эффективный метод обучения ИНС, оптимально использующий информацию из обучающей выборки путём минимизацией энтропии ошибки. Выбор направления исследований, постановка задач и обсуждение полученных результатов проводилось совместно с научным руководителем – заведующим кафедрой ИТФИ физического факультета ННГУ, профессором Фидельманом В.Р., ассистентом кафедры ИТФИ Семиным Ю.А. и доцентом кафедры ИТФИ Морозовым О.А. Аналитические и численные расчёты, реализация и модельное программное обеспечение предложенных методов выполнены лично автором.

### **Структура и объём диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и приложения. Общий объём диссертации составляет 102 страницы, включая 41 рисунок и список литературы из 164 наименований.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обосновывается актуальность работы, формулируются её цели, кратко излагается содержание диссертационной работы, отражается научная новизна и практическая ценность полученных результатов, приводятся основные положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации результатов.

**Первая глава** содержит краткий обзор нейросетевых методов решения задач классификации и применяемых для этой цели структур нейронных сетей.

Кратко изложены основы ИНС: описаны узлы (искусственные нейроны) и ряд типичных структур сетей. Приведено описание различных, и в том числе информационно оптимальных, алгоритмов обучения ИНС. Обсуждаются преимущества и недостатки, а также условия применения существующих методов обработки сигналов при помощи ИНС. Проведён обзор работ, посвящённых нейросетевым методам решения актуальных задач обработки радиосигналов. В числе приведённых присутствуют работы по фильтрации, фазовой автоподстройке частоты, определению типа модуляции и детектированию. Кратко описана типичная структура системы распознавания речи и возможности применения в ней ИНС. В заключении главы определяются основные направления диссертационного исследования.

Во **второй главе** рассматривается применение ИНС в задаче распознавания речи. В главе исследуется влияние размера нейронной сети на эффективность распознавания фонем в составе слов. Проводится исследование способов параметризации речевого сигнала. Рассмотрено применение линейного предсказания, частотно-временного анализа, кепстрального анализа и вейвлет-анализа. Способы сравниваются экспериментально, путём распознавания фонем по различным наборам параметров. Кроме того, при помощи самоорганизующихся карт Кохонена анализируются пространства признаков, образуемые исследуемыми

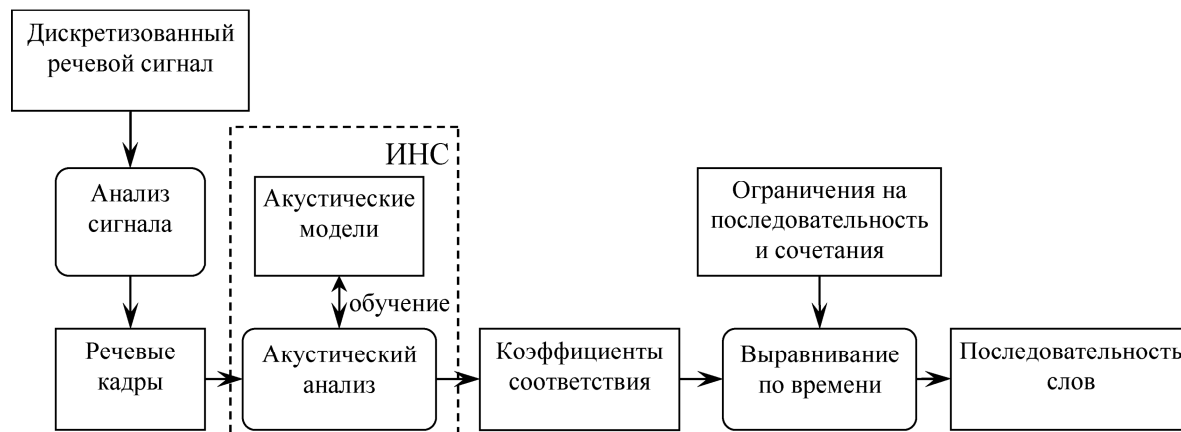
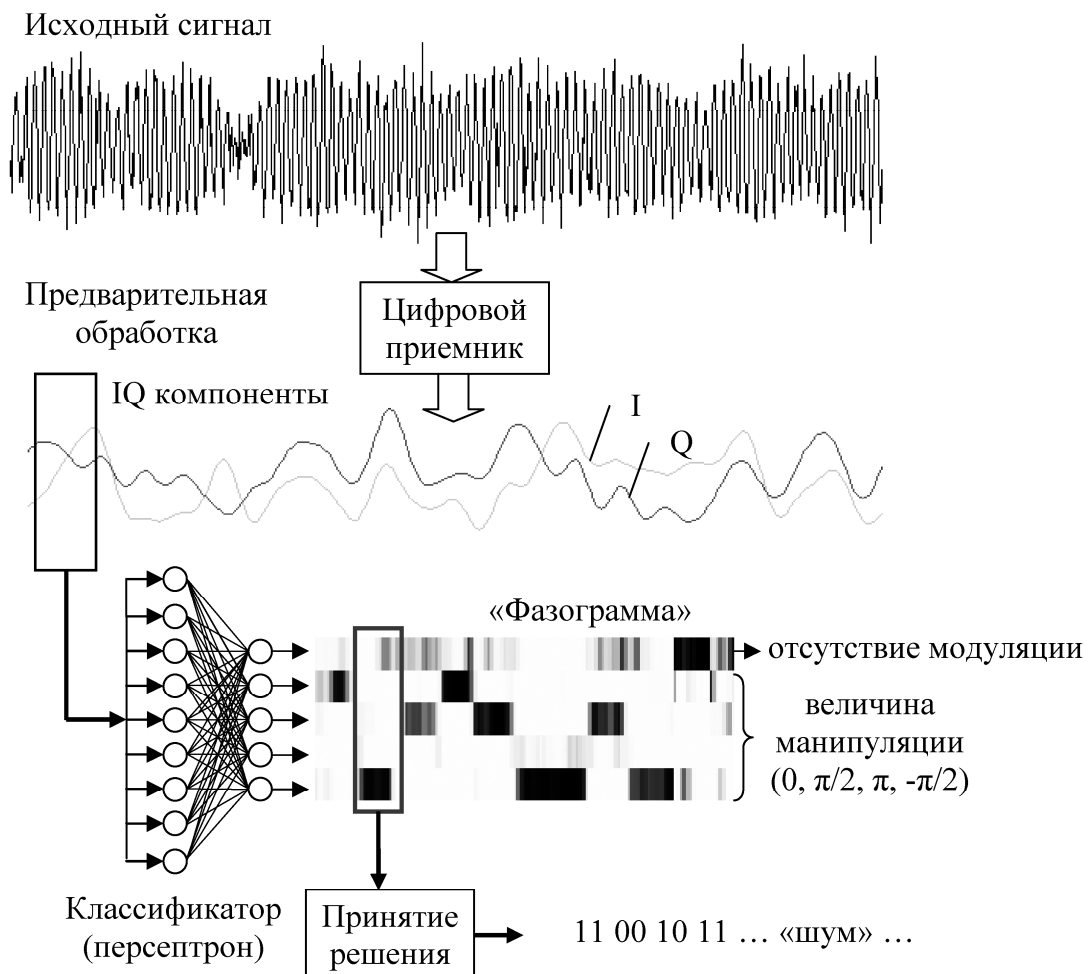


Рис. 1. Предлагаемая схема работы системы распознавания речи

способами параметризации.

В главе предлагается новый способ обучения нейронной сети для задачи распознавания фонем. Предлагаемый способ обучения в качестве входной информации требует лишь транскрипции слов из обучающей выборки и не требует ручной сегментации слов на фонемы. Применение ИНС и нового способа обучения позволяет упростить систему распознавания речи (рис. 1) благодаря автоматическому формированию акустических моделей при обучении ИНС и отказу от сегментации слов на фонемы. Приведены примеры распознавания фонем в составе слов при помощи сети, обученной предлагаемым методом. В заключении главы приведены основные результаты исследований по применению ИНС в задаче распознавания речи.

**Третья глава** посвящена разработке и исследованию методов решения при помощи ИНС задач обнаружения и детектирования модулированных сигналов (входит в состав схемы на рис. 2). В начале главы приводится общая схема предлагаемого метода детектирования фазоманипулированных (ФМ) сигналов. Затем описывается исследование

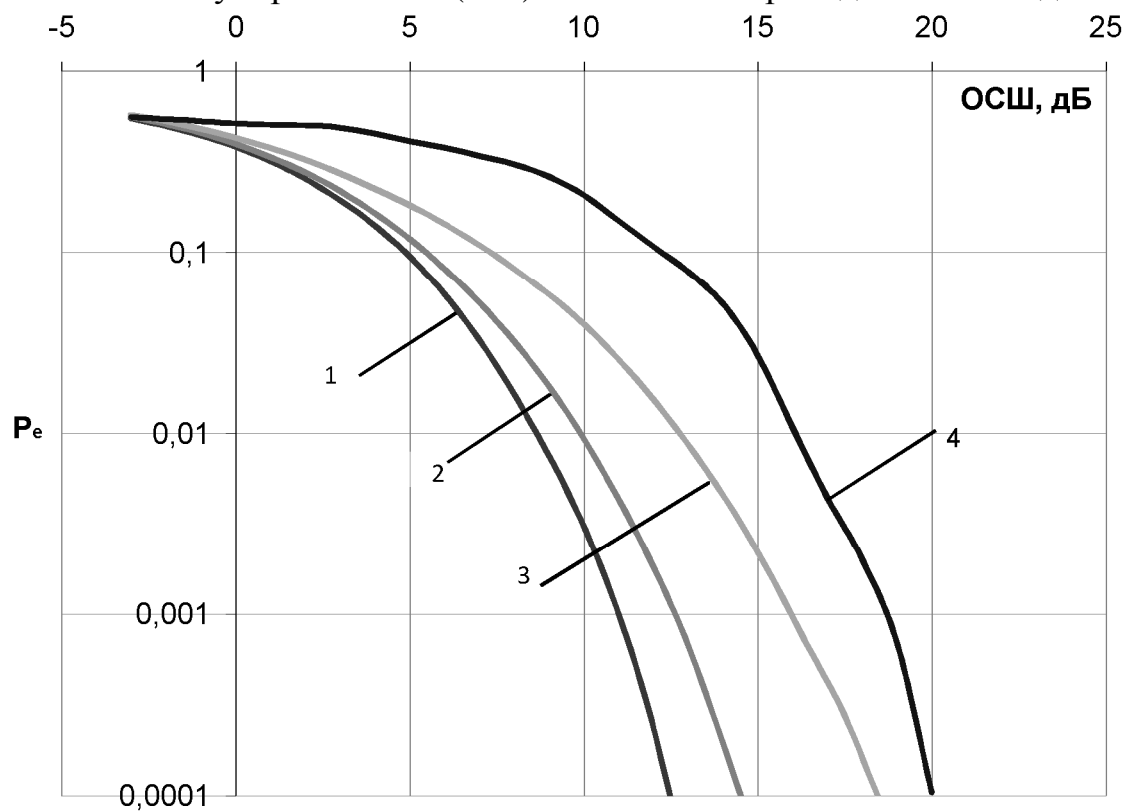


**Рис. 2.** Схема обнаружения и детектирования ФМ4 сигнала с использованием ИНС



влияния размеров сети на эффективность детектирования. После определения оптимального размера сети путём сравнительного эксперимента выбирается наиболее подходящий способ параметризации модулированного сигнала. Далее в главе описывается предлагаемый способ формирования обучающей выборки для настройки нейросетевой схемы на некогерентное детектирование в условиях аддитивных шумов. Для определения устойчивости в шуму и эффекту Доплера проводятся исследования вероятности ошибки детектирования предлагаемым методом в зависимости от отношения сигнал/шум при различных смещениях несущей частоты относительно известного значения. Полученные значения вероятностей ошибки детектирования сравниваются со значениями, полученными при детектировании стандартным методом по выходным сигналам схемы Костаса (рис. 3). Исследуется поведение вероятности ошибки предлагаемого метода детектирования при расширении обучающей выборки сигналами с различными несущими частотами. Исследуется влияние ширины частотной полосы приёмника на эффективность детектирования.

В дополнение к схеме детектирования фазоманипулированных сигналов в главе предлагается подобная схема для детектирования частотно-манипулированных (ЧМ) сигналов. Проводятся исследования



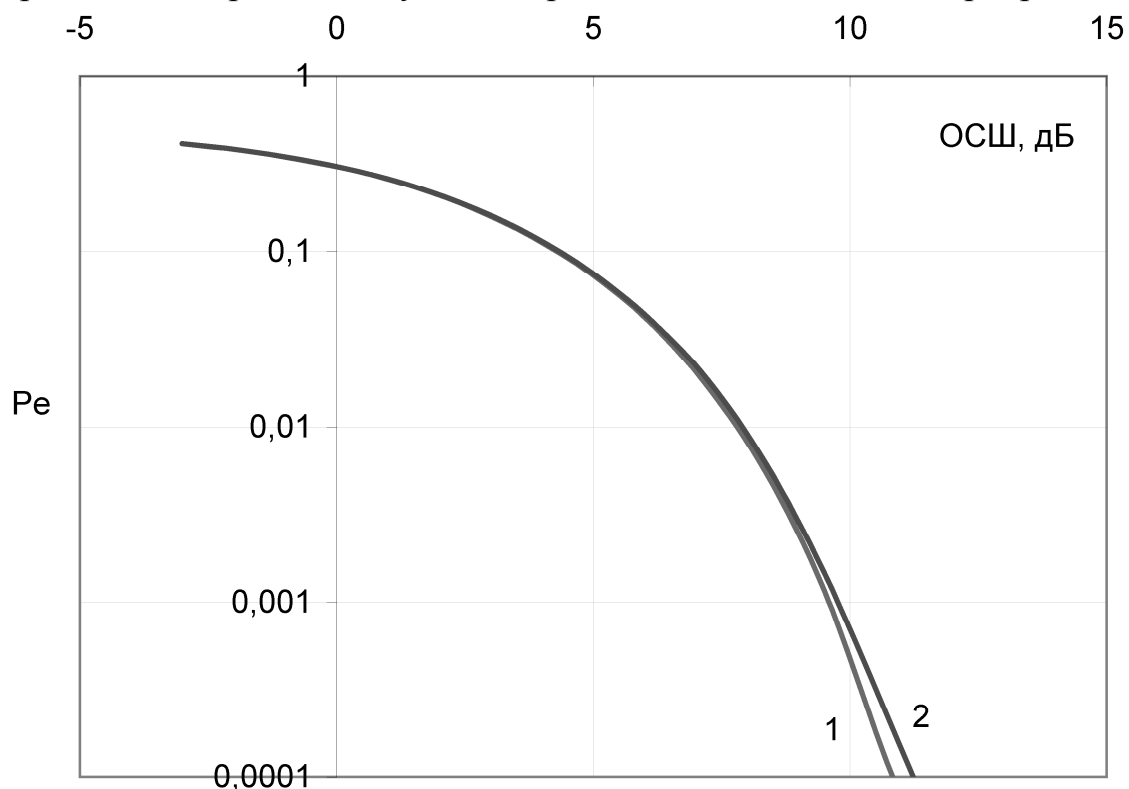
**Рис. 3.** Зависимости вероятности ошибки детектирования ФМ4 сигналов от отношения сигнал/шум. 1 –  $\Delta f_0=0$ ; 2 –  $\Delta f_0=0,5$  кГц; 3 –  $\Delta f_0=1$  кГц; 4 – схема Костаса. ОСШ – отношение сигнал/шум,  $P_e$  – вероятность символьной ошибки

устойчивости предложенной схемы к аддитивным шумам и сдвигу несущей частоты относительно известного значения. Приведены результаты сравнения эффективностей детектирования ЧМ сигналов предлагаемым и стандартным методами.

В главе предлагается основанный на ИНС метод одновременного обнаружения и детектирования модулированных сигналов. Схема предлагаемого метода представлена на рис. 2. Метод рассматривается на примере обнаружения и детектирования четырехпозиционного фазоманипулированного сигнала (ФМ4). Исследуется влияние шума в канале передачи и зашумлённости обучающей выборки на вероятность ошибки обнаружения при помощи предлагаемого метода.

В заключении главы приведены основные результаты, относящиеся к применению предлагаемых нейросетевых методов к задачам обнаружения и детектирования сигналов с угловыми видами модуляции.

**Четвёртая глава** посвящена программной реализации и экспериментальной проверке на реальных сигналах предлагаемых нейросетевых методов обработки. Описана эффективная реализация нейросетевых алгоритмов для последовательной вычислительной машины. Предложен метод быстрого обучения, неявно минимизирующий энтропию ошибки. Приведены результаты статистических экспериментов по определению времени обучения предлагаемым способом при различных



**Рис. 4.** Зависимости вероятности ошибки детектирования сигналов ЧМ2 от отношения сигнал/шум. 1 – по результатам моделирования, 2 – по результатам эксперимента

условиях. Приведены результаты экспериментов по обнаружению и детектированию узкополосных модулированных сигналов действующей системы связи. Вероятности ошибок, полученные в результате экспериментов, близки к вероятностям, полученным при моделировании (рис. 4). Данный результат подтверждает справедливость выводов моделирования и практическую применимость разработанных методов.

**В заключении** сведены основные результаты диссертационного исследования и выводы по работе в целом.

**В приложении** приведена процедура Дурбина для рекурсивного вычисления коэффициентов линейного предсказания.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Основные результаты диссертационного исследования заключены в следующем:

- Разработан и реализован универсальный алгоритм обучения ИНС. Основу алгоритма составляет информационный критерий энтропии ошибки. Использование информационного критерия позволяет повысить вероятность правильного детектирования, повысить устойчивость методов к изменению параметров, повысить скорость обучения.
- Разработан метод детектирования фонов на основе нейросетевого классификатора. Фонемы распознаются в составе слов, при этом предложенный метод обучения ИНС позволяет избежать сегментирования речевых сигналов и тем самым освобождает систему распознавания от ошибок, связанных с неточной ручной или автоматической сегментацией. Проведён анализ пространств признаков, образуемых различными способами параметризации. Исследовано влияние размеров ИНС и способа параметризации на эффективность детектирования фонов.
- Разработаны нейросетевые методы обнаружения и некогерентного детектирования сигналов с угловыми видами модуляции. В основе предлагаемых методов лежит общая схема обработки сигналов, что делает возможным постороение обобщённой аппаратной системы, настраиваемой на конкретную задачу обнаружения или детектирования ФМ или ЧМ сигналов путём загрузки весовых коэффициентов нейронной сети.
- Предложенные методы детектирования исследованы в условиях узкой спектральной полосы, аддитивных шумов и отклонения несущей частоты от известного значения. Результаты компьютерного моделирования показывают, что предлагаемые методы обладают не худшей (для ЧМ сигналов) или лучшей (для ФМ сигналов) устойчивостью к шуму по сравнению со стандартными методами. Полученные при моделировании показатели подтверждены экспериментально путём обнаружения и детектирования реальных ФМ и ЧМ сигналов.
- Важным свойством разработанных методов обработки является отсутствие необходимости синхронизации, присущей схемам автоподстройки. Предложенные в работе методы цифровой обработки сигналов обучаются на реализациях обрабатываемых

сигналов, поэтому не требуют априорного определения моделей и введения предположений о линейности, стационарности и гауссовости.

## СПИСОК РАБОТ ПО ДИССЕРТАЦИИ

Основное содержание диссертационной работы отражено в следующих публикациях:

1. Овчинников, П.Е. Разработка классификатора звуков на базе нейронной сети. / П.Е. Овчинников // Научная студенческая конференция физического факультета ННГУ: Тез. докл. – Н. Новгород: Нижегородский университет им. Н.И. Лобачевского, 2004. – С. 13.
2. Овчинников, П.Е. Ускорение обучения многослойного персептрона в задаче классификации фонем / П.Е. Овчинников, Ю.А. Семин // Проблемы нейрокибернетики (материалы 14-ой Международной конференции по нейрокибернетике). – Ростов-на-Дону, 2005. – Т. 2. – С. 128-132.
3. Морозов, О.А. Детектирование фазоманипулированного сигнала с применением искусственной нейронной сети / О.А. Морозов, П.Е. Овчинников, Ю.А. Семин // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия «Радиофизика». Выпуск 1(3). – ННГУ, 2005. – С. 143-147.
4. Ovchinnikov, P.E. Multilayer Perceptron Training without Word Segmentation for Phoneme Recognition / P.E. Ovchinnikov, Yu.A. Semin // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). – 2005. – V. 14, № 4. – P. 245-248.
5. Морозов, О.А. Применение искусственной нейронной сети для декодирования ФМ-сигналов / О.А. Морозов, П.Е. Овчинников // Электроника и информатика–2005. Тезисы доклада V Межд. Науч.-техн. конф. – Зеленоград, МИЭТ, 2005. – Ч.2. – С. 19.
6. Овчинников, П.Е. Влияние предварительной обработки данных на качество распознавания звуков нейронной сетью / П.Е. Овчинников, Ю.А. Семин // Информационные системы и технологии ИСТ-2005. Тезисы докладов всероссийской научно-технической конференции. – Нижегородский государственный технический университет, 2005. – С. 129.
7. Овчинников, П.Е. Обучение персептрона без сегментации слов из обучающей выборки в задаче распознавания звуков / П.Е.

- Овчинников, Ю.А. Сёмин // Научная сессия МИФИ-2006. VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2006» Сборник научных трудов. В 3-х частях. Ч.3. – М.: МИФИ, 2006. – С. 212-216.
8. Овчинников, П.Е. Обучение перцептрона по транскрипции в задаче распознавания звуков / П.Е. Овчинников, Ю.А. Сёмин // Информационные системы и технологии ИСТ-2006. Тезисы докладов международной научно-технической конференции. – Нижегородский государственный технический университет, 2006. – С. 167.
  9. Овчинников, П.Е. Сравнение методов параметризации речевых сигналов для задачи распознавания фонем / П.Е. Овчинников // (Десятая) Научная конференция по радиофизике, посвященная 90-летию ННГУ и 100-летию со дня рождения Г.С. Горелика. Труды конференции. – ННГУ, 2006.
  10. Овчинников, П.Е. Влияние способа параметризации звукового сигнала на эффективность распознавания фонем перцептроном / П.Е. Овчинников, Ю.А. Сёмин // Известия ВУЗов. Радиофизика. – 2007. Т. 50, № 4. – С. 350-356.
  11. Морозов, О.А. Метод декодирования фазоманипулированных сигналов по комплексной огибающей на основе искусственной нейронной сети / О.А. Морозов, П.Е. Овчинников // Радиотехника и электроника. – 2007. Т. 52, № 11. – С. 1371-1375.
  12. Морозов, О.А. Нейросетевое детектирование фазоманипулированного сигнала по фазовой линии / О.А. Морозов, П.Е. Овчинников, Ю.А. Сёмин // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – ННГУ, 2007, № 3. – С. 67-70.
  13. Овчинников, П.Е. Сравнение методов параметризации речевых сигналов для задачи нейросетевого распознавания фонем / П.Е. Овчинников, Ю.А. Сёмин // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы: Материалы Восьмой Международной научно-технической конференции. – Донецк, 2007. – С. 131-134.
  14. Овчинников, П.Е. Нейросетевое сравнение методов параметризации речевых сигналов для задачи распознавания фонем / П.Е. Овчинников, Ю.А. Сёмин // Научная сессия

- МИФИ-2007. VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2007» Сборник научных трудов. В 3-х частях. Ч.1. – М.: МИФИ, 2007. – С. 110-114.
15. Овчинников, П.Е. Влияние размера сети на эффективность нейросетевого детектирования фазоманипулированных сигналов / П.Е. Овчинников // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия: Цифровая обработка сигналов и её применение. Выпуск: IX-2. – Москва, 2007. – С. 563-566.
16. Морозов, О.А. Зависимость эффективности нейросетевого детектирования фазоманипулированных сигналов от размера сети / О.А. Морозов, П.Е. Овчинников // “Радиоэлектроника, электротехника и энергетика”. Тринадцатая Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов. 1-2 марта 2007 г.: Тезисы докладов в 3-х томах. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – Т.1. – С. 133-134.
17. Morozov, O. Detecting of PSK Signals by Complex Envelope based on Neural Network Approach / O. Morozov, P. Ovchinnikov // Proceedings of the Fourth IASTED International Conference on Signal Processing Pattern Recognition and Applications. – Calgary: ACTA Press, 2007. – P. 136-139.
18. Морозов, О.А. Влияние способа параметризации на эффективность нейросетевого детектирования фазоманипулированных сигналов / О.А. Морозов, П.Е. Овчинников, Ю.А. Семин // Труды XI научной конференции по радиофизике, посвящённой 105-летию со дня рождения М.Т. Греховой / Под ред. А.В. Кудрина, А.В. Якимова. – Н. Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2007. – С. 220-221.
19. Овчинников, П.Е., Нейросетевое детектирование сигналов с частотной манипуляцией / П.Е. Овчинников, М.Ю. Семёнова // Научная сессия МИФИ – 2008. X Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2008» Сборник научных трудов. В 2-х частях. Ч.1. – М.: МИФИ, 2008. – С. 18-25.
20. Морозов, О.А. Обнаружение фазоманипулированных сигналов при помощи искусственных нейронных сетей / О.А. Морозов, П.Е. Овчинников // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С.

Попова. Серия: Цифровая обработка сигналов и её применение.  
Выпуск: X-2. – Москва, 2008. – С. 677-679.

21. Morozov, O. Neural Network Detection and Decoding of PSK Signals / O. Morozov, P. Ovchinnikov // Proceedings of the 3rd International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP 2008). – 2008. – P. 292-294.



## **ОГЛАВЛЕНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Введение**

### **Глава 1. Применение ИНС в задачах обработки сигналов (литературный обзор)**

- 1.1. ИНС, основные понятия
- 1.2. Классификация образов при помощи ИНС
- 1.3. Приложения ИНС в задачах обработки сигналов
- 1.4. Выводы

### **Глава 2. Применение ИНС в задаче детектирования фонем без сегментирования речевого сигнала**

- 2.1. Определение размеров нейросетевого классификатора
- 2.2. Формирование набора параметров сигнала для распознавания фонем
- 2.3. Влияние способа параметризации на эффективность распознавания
- 2.4. Анализ пространств признаков речевого сигнала
- 2.5. Распознавание фонем без сегментирования речевого сигнала
- 2.6. Выводы

### **Глава 3. Применение ИНС в задачах обнаружения и детектирования модулированных сигналов в условиях непостоянства параметров**

- 3.1. Детектирование фазоманипулированных сигналов
- 3.2. Детектирование частотно-манипулированных сигналов
- 3.3. Обнаружение фазоманипулированных сигналов
- 3.4. Выводы

### **Глава 4. Реализация нейросетевых алгоритмов и эксперимент на реальных сигналах**

- 4.1. Реализация нейросетевых алгоритмов обработки сигналов
- 4.2. Эксперимент на реальных сигналах

### **Заключение**

### **Литература**

### **Приложение**