

На правах рукописи

Земнюков Николай Евгеньевич

**АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ СРЕДСТВА
ПРИЁМА И ОБРАБОТКИ АКУСТИЧЕСКИХ
СИГНАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВИГНЕРА-ВИЛЯ
И ФУНКЦИИ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ**

01.04.03 – радиофизика

01.04.06 – акустика

Автореферат

диссертация на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Нижний Новгород – 2012

Работа выполнена
в Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского
г. Нижний Новгород

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор Е.И. Шкелёв

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор В.Р. Фидельман
кандидат физико-математических наук В.И. Турчин

Ведущая организация: ФГБНУ НИРФИ г. Нижний Новгород

Защита состоится 29 февраля 2012 г. в 15 часов на заседании диссертационного
совета Д 212.166.07 при Нижегородском государственном университете им.
Н.И. Лобачевского по адресу: 603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23,
корп.1, ауд. 420.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ННГУ.

Автореферат разослан 27 января 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

В.В. Черепенников

Общая характеристика работы

Предметом данной диссертационной работы является создание, теоретическое обоснование и использование в научных экспериментах и практических приложениях в области акустики и гидроакустики методов и средств обработки сигналов, используемых при передаче информации, контроле состояния, зондировании и диагностике физических объектов.

Актуальность темы диссертации

Задачи приёма информации в акустическом канале связи, исследование поведения подводных объектов по принятым от них сигналам, а также задачи диагностики среды распространения звука актуальны и имеют приложения в области морских исследований, океанографии, морской добычи полезных ископаемых, сбора научных данных, навигации, устройствах вибродиагностики, в геолого- и сейсморазведке, а также в других областях науки и техники, связанных с приёмом и обработкой сигналов, требующей высокого время-частотного разрешения.

В диссертации представлены два направления исследований. Первое посвящено цифровым методам спектрально-временной обработки и цифровым адаптивным системам. Второе – синтезу аналоговых устройств для входных цепей приёмных систем. Основной задачей данной работы явилось создание и использование в научных экспериментах методов и средств обработки акустических сигналов.

Цель работы

Целью диссертационной работы является:

1) Исследование метода спектрально-временного анализа на основе взаимного преобразования Вигнера-Виля, включая оценку его частотно-временного разрешения, помехоустойчивости и работоспособности посредством теоретического обоснования, экспериментальных исследований в лабораторных и реальных условиях и численного моделирования.

2) Исследование возможности применения взаимного преобразования Вигнера-Виля в системах вибродиагностики и системах, контролируемых перемещения мобильных объектов (меньше длины волны).

3) Теоретическое исследование и экспериментальная проверка возможности применения взаимного преобразования Вигнера-Виля для определения дисперсионных свойств среды методом активного зондирования.

4) Исследование, разработка экспериментальная проверка адаптивных методов и алгоритмов для приёмных систем звукоподводной связи, функционирующих в условиях действия помех, многолучевого распространения и пространственного перемещения приёмо-передающих устройств.

5) Исследование применимости взаимной функции неопределённости с синтезируемым поисковым методом опорным колебанием для обработки сложных шумоподобных сигналов от быстроподвижных объектов в условиях, когда движение объекта вызывает значительные изменения закона модуляции.

6) Разработка активных фильтров с заданными частотными и фазовыми характеристиками при учёте ограничений, обусловленных технологическим разбросом параметров элементной базы, на основе метода многофункционального параметрического синтеза.

Научная новизна

В диссертационной работе предложены:

1. методы и средства спектрально-временной обработки с повышенным частотно-временным разрешением на основе взаимного преобразования Вигнера-Виля, предназначенные

- для измерения параметров угловой модуляции сигналов с большой базой,
- для измерения параметров мелкомасштабных движений мобильных объектов,
- для измерения частотно-временных характеристик сигналов от импульсных источников в волноведущих средах,
- для исследования дисперсионных свойств среды распространения звука, особенно сред со слабой дисперсией;

2. адаптивная гидроакустическая система для приёма кодированных заданным набором (алфавитом) символов фазоманипулированных сигналов со случайным временем прихода от источников с малой скоростью перемещения, в основу работы которой положено последетекторное вычисление взаимной функции неопределённости с опорным сигналом, соответствующим заданному алфавиту символов;

3. способ обработки сложных сигналов, основанный на синтезе опорного колебания поисковым методом с целью определения параметров исследуемого сигнала по критерию максимума модуля взаимной функции неопределённости при нулевом смещении по времени и по частоте;
4. метод многофункционального синтеза активных фильтров по совокупности требуемых частотных и фазовых характеристик с учётом дискретности и технологического разброса параметров элементной базы.

Практическая значимость работы

Полученные в работе результаты и предложенные средства аналоговой и цифровой обработки сигналов могут быть использованы при разработке приёмных устройств каналов связи, гидролокационных систем и программно-аппаратных средств, предназначенных для определения параметров движения мобильных объектов и для исследования свойств среды распространения сигналов.

Предлагаемые методы цифровой обработки могут найти применение в устройствах вибродиагностики, в геолого- и сейсморазведке, в областях науки и техники, связанных с приёмом и обработкой сигналов с большой базой, а также в измерительных системах с высоким время-частотным разрешением.

Предложенная методика дискретного многофункционального синтеза активных аналоговых фильтров упрощает их разработку и позволяет синтезировать фильтры с заданными амплитудно- и фазо-частотными характеристиками при наличии ограничений на номиналы используемой элементной базы.

Результаты работы могут быть внедрены в учебный процесс в Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского (ННГУ) при разработке и проведении лекционных курсов и лабораторных занятий. Можно рекомендовать использование разработанных в диссертации методов спектрально-временной обработки сигналов в НИРФИ (г. Н.Новгород), ННГУ, ИПФ РАН (г. Н.Новгород), ОАО ГНПП «Регион» (г. Москва), ОАО «Концерн «МПО – Гидроприбор» (г. С-Петербург).

Основные положения, выносимые на защиту

1. метод обработки сигналов с применением взаимного преобразования Вигнера-Виля позволяет увеличить частотно-временное разрешение и устойчивость к воздействию помех приёмных устройств в гидроакустических каналах связи, повы-

шает точность измерения параметров движения мобильных объектов и применим для исследования дисперсионных свойств сред распространения сигналов, особенно сред со слабой дисперсией;

2. адаптивный метод обработки сложных сигналов, основанный на синтезе параметров опорного сигнала поисковым методом с критерием максимума модуля взаимной функции неопределённости при нулевом смещении по времени и по частоте, позволяет измерять параметры сложных сигналов от быстроподвижных объектов, движение которых вызывает значительные изменения закона модуляции;

3. метод многофункционального синтеза активных фильтров позволяет создавать фильтрующие звенья со строго заданными частотными и фазовыми характеристиками при наличии дискретности и технологического разброса параметров элементной базы.

Публикации и апробация результатов

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались:

- на XXVI отраслевой научно-технической конференции «МПО-МС 2007», Санкт-Петербург, 2007;
- на научной конференции по радиофизике, Нижний Новгород, 2007;
- на научной конференции по радиофизике, Нижний Новгород, 2008;
- на международной научно-технической конференции ИСТ-2008, Нижний Новгород, 2008;
- на международном симпозиуме INTELS'2008, Нижний Новгород, 2008,

и были опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК:

- «Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского», серия «Радиофизика» 2009;
- «Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского», серия «Радиофизика» 2010;
- «Известия вузов. Радиофизика» 2010;
- «Информационно-измерительные и управляющие системы» 2011;
- «Датчики и системы» 2011;
- «Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского», 2011;

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, трёх разделов, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 145 страниц, включая 41 рисунок, 4 таблицы и список литературы из 135 наименований.

Краткое содержание диссертации

Во введении дана краткая характеристика современного состояния решаемых в диссертационной работе научных задач. Приведён обзор литературы, обоснована актуальность работы, сформулированы её цель и выносимые на защиту положения.

В первом разделе показана возможность применения взаимного преобразования Вигнера-Виля (ПВВ) в качестве инструмента частотно-временного анализа с учётом свойственных ему особенностей.

В разделе 1.1 даны общие сведения о преобразовании Вигнера-Виля и функции неопределённости Вудворда (ФНВ). Обсуждаются особенности их применения для спектрально-временного анализа, которые сводятся к следующему: 1) ПВВ эффективно в отношении непрерывных и импульсных сигналов, частотно-временные свойства которых можно представить в форме зависимости мгновенной частоты (активного спектра) от времени; 2) ФНВ применима для анализа сложных широкополосных сигналов, корреляционные свойства которых характеризуются «острыми» и быстро спадающими максимумами. Билинейные ПВВ и ФНВ обладают сильно выраженными интермодуляционными искажениями, наличие которых усложняет процедуру спектрально-временного анализа. Поэтому в диссертации для обработки сигналов $u(t)$ используются линейные взаимные преобразования

$$R \langle \nu \rangle \equiv \int_{-\infty}^{\infty} u\left(t - \frac{\tau}{2}\right) s_0^*\left(t + \frac{\tau}{2}\right) e^{j2\pi\nu t} dt - \text{взаимная функция неопределенности,}$$

$$P \langle f \rangle \equiv \int_{-\infty}^{\infty} u\left(t - \frac{\tau}{2}\right) s_0^*\left(t + \frac{\tau}{2}\right) e^{-j2\pi f \tau} d\tau - \text{взаимное преобразование Вигнера-Виля,}$$

в которых $s_0(t)$ – опорный сигнал, сконструированный по образцу полезной составляющей $s(t)$ в исследуемом сигнале $u(t)$, τ и ν – сдвиги по времени и частоте соответственно.

В разделе 1.2 исследуется метод взаимного ПВВ применительно к сигналам $u(t)$, полезная составляющая $s(t)$ которых образована суммой $s(t) = \sum_i s_i(t)$ нескольких импульсов $s_i(t) = A_i(t)\cos(2\pi f_i t + \varphi_i)$ ($i = 1, 2, 3, \dots$) с частотами f_i , начальными временами t_i и длительностями $\tau_i = \tau$. В качестве опорного использовался импульсный сигнал $s_0(t) = A_0(t)\cos(2\pi f_0 t + \varphi_0)$, с частотой f_0 , начальным временем t_0 и длительностью $\tau_0 = \tau$. Результат обработки таких сигналов – взаимное распределение Вигнера-Вия (ВРВВ) $P(t, f)$ – является продуктом взаимодействия $s(t)$ и $s_0(t)$, модуль которого $|P(t, f)|$ характеризует распределение взаимной мощности на плоскости частота-время. Активные области $|P(t, f)|$ лежат вблизи частот $\bar{f}_i = (f_i + f_0)/2$ и времён $\bar{t}_i = (t_i + t_0)/2$. Это служит основанием применения ПВВ для частотно-временной селекции многокомпонентных сигналов, в том числе тогда, когда имеется перекрытие по времени или по частоте образующих $s(t)$ импульсных составляющих. Теоретически рассчитана дисперсия оценки частоты и временного положения импульсных сигналов $s_i(t)$ при действии помехи в виде гауссова шума в полосе $\Delta f_{ш}$. Результаты расчёта подтверждены численным моделированием на примере сигналов со скачкообразным изменением частоты и фазоманипулированных по псевдослучайному закону сигналов.

Раздел 1.3 посвящён анализу сигналов, полезные составляющие которых могут состоять из некоторого числа мод

$$s_k(t) = A_k \exp \left(j \left(2\pi \int_0^t f_k(x) dx + \varphi_k(t) \right) \right) = A_k e^{j\phi_k(t)} \quad (k - \text{номер моды}),$$

обладающих большой длительностью и непрерывным в широких пределах изменением частоты (являются сигналами с большой базой). Активные области ВРВВ таких сигналов сосредоточены вблизи частот $\bar{\nu}_k(t) = (\nu_k(t) + \nu_0(t))/2$, согласованных с мгновенными частотами $\nu_k(t) = f_k(t) + d\varphi_k(t)/dt = d\phi_k(t)/dt$ и $\nu_0(t) = f_0(t) + d\varphi_0(t)/dt = d\phi_0(t)/dt$ полезных составляющих $s_k(t)$ ($k > 0$) и опорного колебания $s_0(t)$ ($k = 0$). Дана теоретическая оценка разрешающей способности Δf по частоте и Δt по времени, которую даёт распределение квадрата модуля $|P(t, f)|^2$ ВРВВ (см. в связи с этим распределение $|P(t, f)|^2$ на рис. 1а для сигнала $u(t)$, в составе которого имеются три моды). Показано,

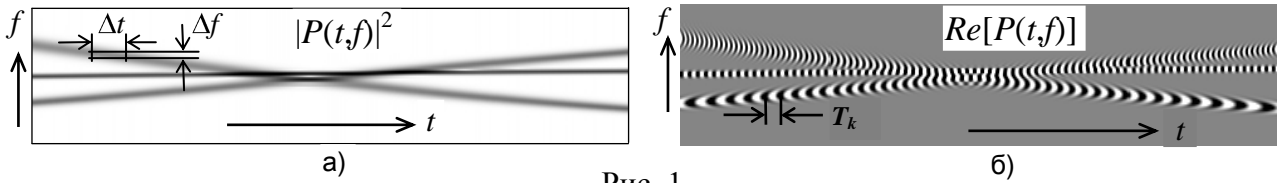


Рис. 1

что в случае, когда девиация частоты $\bar{\nu}_k(t)$ в пределах окна интегрирования T_w не превышает $2.5/T_w$, получаемые из $|P(t, f)|^2$ величины Δf и Δt близки к тем, которые даёт обычное ПВВ. Исследована роль фазовых множителей во взаимных распределениях $P_k(t, f) = |P_k(t, f)| e^{j\Delta\phi_k(t)}$ для отдельных мод, связанных с разностью $\Delta\phi_k(t) = \phi_k(t) - \phi_0(t)$ мгновенных фаз. Наличие фазовых множителей приводит к колебаниям $R_k(t) = Re[P(t, f = \nu_k(t))]$ и $I_k(t) = Im[P(t, f = \nu_k(t))]$ в реальной и мнимой частях ВРВВ, периоды T_k которых зависят от разностей мгновенных частот $\nu_k(t)$ и $\nu_0(t)$: $T_k = 1/(\nu_k(t) - \nu_0(t))$. На рис. 1б показан характер подобных колебаний в реальной части $Re[P(t, f)]$ ВРВВ трёхмодового сигнала $u(t)$, распределение квадрата модуля $|P(t, f)|^2$ которого представлено на рис. 1а. Анализ колебаний $R_k(t)$ и $I_k(t)$ позволяет увеличить не только частотно-временное разрешение, но даёт возможность производить измерения с точностью до мгновенной фазы. При этом дисперсия ошибки измерения мгновенной частоты сигнала при шумовой помехе со спектральной мощностью N_0 и при опорном колебании с энергией E_0 уменьшается до величины $\sigma_{\Delta f}^2 = 2N_0E_0\Delta f/\Delta f_{in}$, что обусловлено фильтрующими свойствами взаимного ПВВ, определяемыми частотным разрешением Δf . Произведена оценка помехоустойчивости взаимного ПВВ посредством численного моделирования с использованием одномодового сигнала $s(t)$ с заданным законом изменения частоты $f(t)$, синусоидального опорного колебания $s_0(t)$ и шумовой добавки (белого гауссова шума с различной мощностью). Показано, что дисперсия оценки $f(t)$ близка к $\sigma_{\Delta f} \approx (\sqrt{3}/\pi T_w) \sqrt{P_u/P_c}$ (P_u и P_c – соответственно мощность шума и мощность сигнала), если девиация частоты $\bar{f}(t) = (f(t) - f_0)/2$ в пределах окна интегрирования меньше $2.5/T_w$.

Эффективность спектрально-временного анализа с применением взаимного ПВВ подтверждена результатами лабораторного эксперимента (**раздел 1.4**), в котором акустический сигнал $u(t)$ принимался подвижным приёмником, совершающим колебания с амплитудой меньше длины волны. Оценивалась точность измерения ско-

рости и характера движения приёмника. Измерения проводились в условиях, когда максимальная скорость приёмника не достигала значений, которые можно было бы измерять, основываясь на эффекте Доплера и применяя «скользящее» преобразование Фурье. Обусловленный движением приёмника сдвиг по частоте был измерен путём анализа колебаний реальной $R(t) = \text{Re}[P(t, f=f_0)]$ части взаимного ПВВ при синусоидальном опорном сигнале, частота которого f_0 была сдвинута на некоторую величину относительно частоты излучённого сигнала. Были зафиксированы движения приёмника с максимальной скоростью 17 см/с. Показано также, что в совокупности реальная $R(t)$ и мнимая $I(t) = \text{Im}[P(t, f=f_0)]$ части взаимного ПВВ позволяют выявить характер движений путём анализа перемещения изображающей точки на фазовой I - R плоскости.

В разделе 1.5 представлена структура цифровой системы сбора и обработки данных, предназначенная для реализации взаимного преобразования Вигнера-Вилля применительно к задачам вибродиагностики и измерения параметров мелкомасштабных движений мобильных объектов. Система имеет в своём составе специализированные вычислители и цифровой процессор сигналов и способна работать в реальном масштабе времени.

Раздел 1.6 посвящён исследованию морской среды методом активного воздействия и с обработкой принятого сигнала посредством взаимного ПВВ. Исследования базировались на экспериментальных данных, полученных в Чёрном море. Представлены результаты спектрально-временной обработки сигналов от импульсных источников (от взрывных источников и от пневмоизлучателей), а также от источников ЛЧМ сигналов с полосой качания 216 – 236 Гц. Точка приёма располагалась на морском дне на глубине ~ 1200 м и на расстоянии около 200 км от источника. Анализ импульсных сигналов показал их сложную многомодовую структуру и подтвердил высокое частотно-временное разрешение ПВВ. ЛЧМ сигналы применялись при исследовании дисперсионных свойств среды распространения звука, а выполнявшиеся в ходе исследований измерения основывались на сопоставлении принятого сигнала $u(t)$ с копией исходного сигнала $s_{ucx}(t)$, использовавшегося в качестве опорного. Была достигнута разрешающая способность по частоте, при которой отклонение частотно-временного профиля $f(t)$ принятого сигнала $u(t)$ от исходного линейного профиля $f_{ucx}(t)$ излученного сигнала $s_{ucx}(t)$ может быть измерено с точностью $|\Delta f(t)| < 0.5/T_w$, что

невозможно получить, применяя существующие средства цифрового спектрального анализа на основе преобразования Фурье. Результаты анализа ЛЧМ сигналов, основанного на измерении отклонения закона модуляции от линейного, позволили сделать предположение о возможности применения ВРВВ для исследования дисперсионных свойств среды.

В разделе 2 исследуются два типа адаптивных систем и их рассмотрению посвящены разделы 2.1 и 2.2.

Раздел 2.1 содержит обоснование необходимости адаптивной обработки сигналов в гидроакустическом канале связи, особенностью которого являются вызванные средой относительные перемещения приёмника и передатчика. Представлена цифровая адаптивная гидроакустическая система приёма и обработки кодированных заданным набором символов (алфавитом) фазоманипулированных сигналов со случайным временем прихода. Соответствие заданному алфавиту определяется посредством последетекторного вычисления взаимной функции неопределённости по каждому символу. Система способна работать в реальном масштабе времени и включает адаптивный полосовой фильтр, синхронный детектор, вычислители ВФН с адаптивными пороговыми обнаружителями на выходах, с помощью которых в небольших пределах подстраивается частота опорного синусоидального колебания, поступающего на синхронный детектор и в качестве обучающей функции на входной адаптивный полосовой фильтр. Необходимость подстройки частоты опорного колебания обусловлена упомянутыми выше особенностями канала связи с перемещающимися с малой скоростью источником и приёмником сигналов. Приведены результаты численного моделирования системы. Проверена её работоспособность посредством обработки реального сигнала по данным эксперимента в морских условиях.

В разделе 2.2 предложена адаптивная система идентификации сложных фазоманипулированных по псевдослучайному закону сигналов, излучённых (или переизлучённых) быстроподвижным объектом в условиях, когда движение объекта приводит к значительному искажению закона модуляции. Способ идентификации основан на синтезе параметров опорного сигнала поисковым методом с критерием максимума модуля взаимной функции неопределённости при нулевом смещении по времени и по частоте. Целью синтеза является определение параметров исследуемого сигнала $u(t)$

путём достижения их соответствия параметрам опорного колебания $s_0(t)$. Система предназначена для обработки сигналов, поступающих от быстроподвижных и совершающих сложные движения объектов, и её работа предполагает предварительную запись принимаемого сигнала на носитель информации.

Раздел 3 посвящен построению активных фильтров (АФ), выполняющих задачу частотной селекции в аналоговом тракте приёмной аппаратуры. Рассмотрен многофункциональный синтез АФ по совокупности требуемых характеристик, реализованный методом нелинейного математического программирования. Идея метода состоит в привязке решения задачи к глобальному экстремуму целевой функции $F(X)$ и нахождению её координат. Применительно к синтезу АФ такая задача решается относительно пространства дискретных параметров (номиналов резисторов и конденсаторов, параметров), значения которых соответствуют рядам промышленных номиналов Е6 – Е192. Приведены примеры синтеза АФ для приёмного тракта гидроакустической аппаратуры с заданными АЧХ и ФЧХ.

Подобный подход использовался в разделе 2.2 при синтезе опорного колебания для системы обработки фазоманипулированного сигнала с той разницей, что упомянутый в разделе 2.2 синтез производился на сетке непрерывных параметров.

В Заключение диссертации сформулированы основные результаты работы.

Список литературы содержит библиографические описания источников, ссылки на которые имеются в тексте диссертации.

Основные результаты диссертации

1. Разработаны методы, программные и аппаратные средства спектрально-временной обработки с повышенным частотно-временным разрешением на основе взаимного преобразования Вигнера-Виля для измерения параметров угловой модуляции сигналов с большой базой, для измерения параметров мелкомасштабных движений мобильных объектов, для измерения частотно-временных характеристик сигналов от импульсных источников в волноведущих средах, для исследования дисперсионных свойств среды распространения звука, особенно сред со слабой дисперсией. Увеличение разрешения достигается детальным анализом профилей сечений распределений реальной и мнимой частей ВРВВ.

2. Для применения в гидроакустических каналах связи предложена адаптивная, способная работать в реальном времени система приёма и обработки сложных фазоманипулированных по псевдослучайному закону со случайным временем прихода сигналов, принадлежащих заданному алфавиту символов, соответствие которому проверяется путём вычисления взаимной функции неопределённости.

3. Предложен способ идентификации сложного фазоманипулированного по псевдослучайному закону сигнала, излучённого (или переизлучённого) быстроподвижным объектом в условиях, когда движение объекта приводит к значительному искажению закона модуляции. Способ идентификации заключён в подборе (синтезе) опорного колебания, повторяющего образ исследуемого сигнала. Задача синтеза опорного колебания решается поисковым методом с целевой функцией, сформированной по трём аддитивным критериям – максимуму модуля взаимной функции неопределённости и минимуму смещения по частоте и времени.

4. Предложена методика многофункционального синтеза активных фильтров по совокупности требуемых частотных и фазовых характеристик с учётом дискретности параметров элементной базы, позволившая значительно сократить время разработки аналоговых трактов.

Список публикации по теме диссертации

1. Бугров В.Н., Зайцев С.В., Земнюков Н.Е. САПР для синтеза активных фильтров. // Материалы XXVI отраслевой научно-технической конференции «Морское подводное оружие. Морские подводные работы – вопросы проектирования, конструирования и технологий», г. Санкт-Петербург, 2007г.
2. Шляхова Е.А., Земнюков Н.Е. Подводный акустический маяк-ответчик. // Материалы XXVI отраслевой научно-технической конференции «Морское подводное оружие. Морские подводные работы – вопросы проектирования, конструирования и технологий», г. Санкт-Петербург, 2007г.
3. Корокозов М.Н., Земнюков Н.Е. К вопросу оптимизации обработки импульсных частотно-манипулированных сигналов. // Материалы XXVI отраслевой научно-технической конференции «Морское подводное оружие. Морские подводные работы – Вопросы проектирования, конструирования и технологий», г. Санкт-Петербург, 2007г.

4. Земнюков Н.Е., Зайцев С.В. Синтез активных фильтров с многопетлевой обратной связью. В кн.: «Тр. 11-ой научной конференции по радиофизике. 7 мая 2007 г.» Н.Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2007.
5. Земнюков Н.Е., Зайцев С.В. Дискретный синтез активных полиномиальных фильтров. В кн.: «Тр. 11-ой научной конференции по радиофизике. 7 мая 2007 г.» Н.Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2007.
6. Бугров В.Н., Земнюков Н.Е. Методы синтеза активных фильтров в гидроакустическом частотном диапазоне. // Материалы Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии (ИСТ-2008)», г. Нижний Новгород, 2008г.
7. Земнюков Н.Е., Трубин Г.М. Синтез и построение активного декадного фильтра гидрофонного тракта. В кн.: «Тр. 12-ой научной конференции по радиофизике. 7 мая 2008 г.» Н.Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2008.
8. Земнюков Н.Е. Контроль пороговых статических и динамических воздействий на трубопроводы с помощью трехкомпонентного акселерометра. // Материалы Восьмого Международного симпозиума «Интеллектуальные системы (INTELS'2008)», г. Нижний Новгород, 2008г.
9. Бугров В.Н., Лупов С.Ю., Земнюков Н.Е., Корокозов М.Н. Дискретный синтез цифровых рекурсивных фильтров. // Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, 2009, № 2. с. 76 – 82.
10. Zaitsev B.D., Kuznetsova I.E., Zemnyukov N.E., Proidakov V.I., Teplykh A.A. Plate acoustic waves for low frequency delay line stalling signals up to 0.5 ms. // «International Congress on Ultrasonics», Universidad de Santiago de Chile, 2009г.
11. Шкелев Е.И., Земнюков Н.Е. Трехкоординатный измеритель ускорений с подавлением внешних шумовых воздействий. // Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского №1, стр.96 – 98 г. Н. Новгород, 2010г.

12. Шкелев Е.И., Земнюков Н.Е. Спектрально-временной анализ с применением взаимного преобразования Вигнера-Виля. // Изв. вузов - Радиофизика, 2010. Т. 53. № 2. с. 134.
13. Шкелев Е.И., Бугров В.Н., Земнюков Н.Е. Обработка сложных сигналов от подвижных источников с применением взаимной функции неопределенности. // Информационно-измерительные и управляющие системы №3, стр.85 – 89, г. Москва, изд. «Радиотехника», 2011г.
14. Шкелев Е.И., Земнюков Н.Е. Система обработки данных для вибродиагностики подвижных объектов. // Датчики и Системы, 2011, № 12, с. 15 – 19.
15. Шкелев Е.И., Земнюков Н.Е., Корокозов М.Н., Стромков А.А., Марышев А.П., Диденкулов И.Н. О возможности применения взаимного преобразования Вигнера-Виля для исследования дисперсионных свойств среды // Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского № 5 (3), с. 97–102, г. Н. Новгород, 2011г.

Оглавление диссертации

Введение	5
Общая характеристика работы	5
Актуальность работы	18
Цель работы	18
Задачи работы	18
Научная новизна	19
Основные положения, выносимые на защиту	20
Практическая значимость работы	21
Апробация работы	21
Публикации	22
Структура и объем работы	22
1. Спектрально-временной анализ сигналов на основе взаимного преобразования Вигнера-Виля	25
1.1. Общие сведения о преобразовании Вигнера-Виля и функции неопределённости Вудворда	26
1.2. Измерение параметров сигналов с импульсной модуляцией	32
1.3. Анализ сигналов с непрерывной угловой модуляцией	45
1.4. Исследование параметров мелкомасштабных движений (эксперимент с подвижным приёмником звука)	57
1.5. Система сбора и обработки данных для измерения параметров мелкомасштабных движений мобильных объектов	63
1.6. Исследование свойств среды методом взаимного	

преобразования Вигнера-Вилля	66
Анализ сигналов, вызванных импульсным воздействием	68
Анализ дисперсионных свойств среды при воздействии сигналами с линейной частотной модуляцией	76
1.7. Выводы к разделу 1	85
2. Адаптивные системы обработки сложных сигналов с применением взаимной функции неопределённости	87
2.1. Адаптивный приёмник фазоманипулированного сигнала со случайным временем прихода	88
2.1.1. Структура и функциональные блоки приёмника	89
Адаптивный RLS-фильтр	91
Программный блок вычисления адаптивного порога обнаружения	96
2.1.2. Численное моделирование приёмной системы и проверка её работоспособности	99
Численный эксперимент	99
Проверка работоспособности приёмной системы по результатам обработки данных натурального эксперимента	101
2.2. Обработка фазоманипулированного сигнала с искаженным частотно-временным профилем	103
2.3. Выводы к разделу 2	110
3. Синтез фильтрующих звеньев приёмных устройств гидроакустического канала связи	112
3.1. Описание поискового метода синтеза параметров фильтрующих устройств	113
Постановка задачи многофункционального синтеза	114
Блок-схема компьютерной программы синтеза	117
3.2. Синтез корректирующего активного фильтра нижних частот на сетке дискретных параметров	118
3.3. Дискретный синтез декадного полосового активного фильтра	124
3.4. Выводы к разделу 3	128
Заключение	130
Литература	132