**Каменецкий, Борис Семёнович. Разработка способов формирования и приёма M-ичных стохастических многочастотных сигналов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.12.04 / Каменецкий Борис Семёнович; [Место защиты: С.-Петерб. гос. ун-т телекоммуникаций им. М.А. Бонч-Бруевича].- Санкт-Петербург, 2013.- 199 с.: ил. РГБ ОД, 61 13-5/2044**

Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»

На правах рукописи

04201356390

Каменецкий Борис Семёнович

**РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ФОРМИРОВАНИЯ
И ПРИЁМА М-ИЧНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ
МНОГОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ**

05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства

телевидения

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор

Чесноков Михаил Николаевич

Санкт-Петербург -2013

**СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ 5

1. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРИЁМА

М-ИЧНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ

СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ НА МНОГИХ НЕСУЩИХ 13

* 1. Современное состояние СПИШПС... 13
	2. Существующие тенденции в области генерирования и передачи сигналов для

СПИШПС 17

* 1. [Модели каналов для СПИ ШПС 33](#bookmark5)
	2. [Постановка научной задачи 41](#bookmark12)
	3. Выводы по главе 43
1. РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ФОРМИРОВАНИЯ И АНАЛИЗ СВОЙСТВ

ОРТОГОНАЛЬНЫХ М-ИЧНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ МНОГОЧАСТОТНЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ 45

* 1. Разработка способа формирования ОУС СМГПППС 45
	2. [Разработка датчика исходных АПП 51](#bookmark30)
	3. [Примеры ансамблей ОУС и ООС СМПШПС 54](#bookmark31)
	4. [Анализ свойств ортогональных СМПШПС 57](#bookmark32)
		1. [Структура СМПШПС 57](#bookmark33)
		2. [Анализ корреляционных свойств СМПТППС 61](#bookmark34)
		3. [Анализ и методы ограничения пик-фактора СМПТППС 65](#bookmark35)
		4. [Анализ структурной скрытности СМПТППС 73](#bookmark37)
	5. Расчёт ресурсов, требуемых для выполнения процедуры ортогонализации

Г рама-Шмидта 84

* 1. [Разработка способа формирования ОУС СМПШПС с помощью ОАВ 87](#bookmark41)
	2. Выводы по главе 92

з

З РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПРИЁМА ОРТОГОНАЛЬНЫХ М-ИЧНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ МНОГОЧАСТОТНЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ 94

1. Разработка способа приёма многомерных ортогональных СМПШПС на основе

алгоритма с использованием аппарата НМФ в ДВ 94

1. Разработка способа приёма ортогональных СМПШПС на основе алгоритма с

ОСДП с использованием аппарата НМФ в ДВ 106

1. Разработка способа оценивания импульсной характеристики КВ канала с

использованием ортогональных СМПШПС 116

1. [Некогерентный демодулятор для ОУС СМПШПС для УКВ канала 126](#bookmark64)
2. [Выводы по главе 129](#bookmark66)
3. АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ПРИЁМА ОРТОГОНАЛЬНЫХ М-ИЧНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ МНОГОЧАСТОТНЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ

ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ 130

* 1. Анализ помехоустойчивости некогерентного приёма ОУС СМПШПС 130
	2. Анализ помехоустойчивости квазикогерентного приёма ортогональных

СМПШПС для канала с постоянными параметрами и АБГШ 134

* 1. Анализ работы и характеристик помехоустойчивости для устройства

квазикогерентного приёма ортогональных СМПШПС для каналов с замираниями и АБГШ 136

* 1. Анализ характеристик помехоустойчивости для СПИ с ортогональными

СМПШПС для канала с замираниями в условиях воздействия комплекса импульсных и флуктуационных помех 143

* 1. Анализ помехоустойчивости некогерентного приёма ОУС СМПШПС.,

сформированных с помощью ОАВ, для канала с постоянными параметрами и АБГШ 146

* 1. Выводы по главе 148
1. РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО РЕАЛИЗАЦИИ РАДИОСИСТЕМ С М-ИЧНЫМИ СТОХАСТИЧЕСКИМИ МНОГОЧАСТОТНЫМИ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМИ

ШИРОКОПОЛОСНЫМИ СИГНАЛАМИ 150

* 1. Помехозащищённая СПИ с МД с ОУС СМГПППС, сформированными с

помощью ОАВ, на базе современной ВП 150

* + 1. Описание и анализа работы системы 150
		2. Оценка достижимых характеристик предложенного алгоритма

некогерентного приема ортогональных СМПШПС на базе ПЛИС Virtex II 166

* 1. Система НЗИ и ПСИ с ортогональными СМПШПС, сформированными с

помощью процедуры Грама-Шмидта 169

* + 1. [Постановка задачи 169](#bookmark73)
		2. [Характеристики предложенной системы 172](#bookmark74)
	1. [Выводы по главе 179](#bookmark75)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 181

[СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 184](#bookmark76)

ЛИТЕРАТУРА 187

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время возродился интерес специалистов к системам связи, использующим для передачи информации широкополосные сигналы (ШПС). В то же время, уже в позапрошлом десятилетии наметилась тенденция к конвергенции технологий OFDM (англ. Orthogonal Frequency Division Multiplexing - ортогональное частотное разделение с мультиплексированием) и CDMA (англ. Code Division Multiple Access - кодовое разделение с множественным доступом). Всё это подтверждается большим числом современных зарубежных источников по соответствующей тематике.

В то же время, несмотря на активное развитие архитектуры существующих систем, методов кодирования, перемежения и синхронизации, зачастую в них по- прежнему используются сигналы, обладающие детерминированной структурой, такие, как функции Уолша. Это обуславливает лёгкость обнаружения структуры передаваемого сигнала, постановки имитационных помех и перехвата важной информации.

Таким образом, при сохранении существующих тенденций (активное использование технологий OFDM и CDMA) требуется искать новые формы сигналов и новые виды модуляции, обеспечивающие системам связи различного назначения скрытность и защиту от преднамеренных помех.

Для новых ансамблей сигналов важно синтезировать приёмное устройство, учитывающее все достижения теории связи, цифровой обработки сигналов. Обе эти задачи: разработка способов формирования ансамблей новых многочастотных широкополосных сигналов и разработка способов их приёма - являются актуальными и решаются в рамках данной диссертационной работы.

Проблемам формирования и приёма сложных, в том числе, стохастических сигналов посвящены работы Р.Р. Биккенина [4], Л.Е. Варакина [6], В.П. Ипатова [16], В.И. Коржика [19, 21], Ю.Б. Окунева [24], Г.И. Тузова [37], М. Хаслера [65] и многих других учёных.

Предложения по формированию сигналов, обладающих повышенной структурной скрытностью и устойчивостью к оптимизированным помехам, были сделаны такими исследователями, как Дж. Дайер и Б. Натараджан [84], П. Карабинис [110, 114], М.Н. Чесноков [29, 59], С. Атвэл [55].

Способы приёма сложных, в том числе, стохастических широкополосных сигналов на основе аппарата оптимальной нелинейной фильтрации марковских процессов разрабатывались в работах В.А. Чердынцева [41, 42], В.Н. Харисова [36], И.В. Тихонова и Н.К. Кульмана [34, 35], А.И. Перова [25] и других.

Однако многие вопросы, связанные с формированием и обработкой такого рода сигналов остались недостаточно изученными. Речь идёт, в том числе, о разработке способов формирования и приёма ортогональных М-ичных стохастических широкополосных сигналов, обладающих повышенной структурной скрытностью и устойчивостью к оптимизированным помехам.

**Объектом исследования** являются М-ичные стохастические многочастотные параллельно-последовательные широкополосные сигналы (СМПШПС).

**Предмет исследования** - способы формировании и приёма М-ичных стохастических многочастотных параллельно-последовательных

широкополосных сигналов.

**Целью работы** является разработка способов формирования и приёма М- ичных стохастических многочастотных параллельно-последовательных широкополосных сигналов.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе формулируются решения следующих частных задач:

1. Исследование существующих способов формирования и приёма М-ичных стохастических многочастотных ШПС, определение основных тенденций в этой области.
2. Разработка способов формирования СМПШПС.
3. Анализ свойств СМПШПС.
4. Разработка способов приёма СМПШПС.
5. Разработка предложений по реализации радиосистем с СМПШПС.

**Методы исследований.** В ходе исследований применялись методы линейной алгебры, статистической теории связи, нелинейной марковской фильтрации, теории потенциальной помехоустойчивости, теории вероятности, теории спектрального корреляционного обнаружения сигналов, компьютерного имитационного моделирования, динамического программирования. При моделировании и разработке программ использовались, языки программирования C++, Matlab, Verilog.

**Достоверность результатов** подтверждается применением строгого математического аппарата, отсутствием противоречия результатов диссертационной работы и сделанных на их основании выводов известным научным данным, результатами моделирования в среде Simulink пакета программ Matlab, а также экспериментом, проведённым с использованием современной аппаратной платформы.

**Научная новизна** присутствует в следующих результатах работы:

1. Разработано 2 способа формирования ансамблей ортогональных в усиленном

смысле (ОУС) (в том числе, ортогональных в обычном смысле (ООС)) М-ичных стохастических многочастотных параллельно-последовательных

широкополосных сигналов, обладающих большей структурной скрытностью[[1]](#footnote-1) и большей устойчивостью к оптимизированным помехам по сравнению с известными сигналами.

1. Исследованы свойства полученных сигналов: автокорреляционные функции (АКФ), пик-фактор. Также произведено сравнение структурной скрытности СМПШПС, сформированных с помощью процедуры ортогонализации Грама- Шмидта и сигналов с модуляцией МОК (М-ичное ортогональное кодирование) на основе современного метода обнаружения сигналов с использованием функции спектральной корреляции, демонстрирующее, что ортогональные СМПШПС

обладают повышенной структурной скрытностью по сравнению с относительно широко используемыми сигналами с модуляцией МОК с функциями Уолша в качестве опорных кодовых последовательностей. С помощью методов имитационного моделирования получены кривые помехоустойчивости для системы передачи информации (СПИ) с ортогональными СМПШПС для случаев канала с замираниями и без замираний.

1. На основе аппарата нелинейной марковской фильтрации (НМФ) в дискретном времени (ДВ) разработано 2 способа квазикогерентного приёма ортогональных СМПШПС - синтезированы 2 многофункциональных алгоритма их демодуляции и синхронизации, учитывающие воздействие комплекса импульсных, сосредоточенных и флуктуационных помех.
2. Произведено сравнение эффективности применения сформированных ортогональных СМПШПС и сигналов с модуляцией ФМ-2 для целей зондирования коротковолнового (КВ) канала и передачи служебной информации (ПСИ), результаты которого показывают, что СМПШПС обеспечивают показатели, сопоставимые с показателями, которые возможно получить при применении традиционных сигналов при большей структурной скрытности.

**Практическая значимость работы.**

1. Предложенные в работе способы формирования ансамблей ОУС (в том числе, ООС) СМПШПС позволяют формировать сигналы, обладающие повышенной структурной скрытностью и помехозащищённостью, которые могут быть использованы в корпоративных системах связи, системах связи специального назначения, системах военной связи.
2. Полученная в среде Simulink пакета программ Matlab на основе синтезированного многофункционального алгоритма демодуляции и синхронизации ортогональных СМПШПС модель приёмного устройства для канала с замираниями и дискретной многолучёвостью, учитывающая воздействие комплекса импульсных, сосредоточенных и флуктуационных помех, может быть реализована на современных вычислительных платформах (ВП) и использована для оценки состояния коротковолнового (КВ) канала и ПСИ по КВ каналу.
3. Макет системы передачи информации с ортогональными СМПШПС, сформированными с помощью обобщённого алгоритма Витерби (ОАВ), доказывает работоспособность соответствующей системы и её реализуемость на базе современной ВП (программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) Virtex II, процессор TMS320C6416t). Предложенная СПИ может быть использована с необходимыми модификациями в рамках разработки помехозащищённых систем связи с множественным доступом (МД), например, внутрикорпоративных систем связи, систем сотовой связи, систем связи специального назначения и систем военной связи.

**Внедрение результатов исследований.** Результаты исследований внедрены в ООО «Научно-производственное предприятие «Новые технологии телекоммуникаций» (ООО «НПП «НТТ») при разработке помехозащищённой радиосистемы передачи информации с множественным доступом, а также в ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» что подтверждено справками о внедрении.

**Апробация работы.** Результаты диссертации докладывались, обсуждались и были одобрены на 61-й, 62-й, 63-й научно-технических конференциях

профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов СПбГУТ [30, 32, 49, 53], на I международной научно-технической и научно- методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» [2, 46], на X международной научно-технической конференции «Физика и технические приложения волновых процессов» [44, 47], а также на V международном научном конгрессе «Нейробиотелеком-2012» [18].

**Публикации.** На тему диссертации опубликовано 13 печатных работ, 3 из которых в журналах, включённых в перечень ВАК РФ [43, 50, 52] 1 работа опубликована в журнале «Труды учебных заведений связи» [51], 2 включены в тезисы докладов X международной научно-технической конференции «Физика и технические приложения волновых процессов», 2 включены в тезисы докладов I международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании», 4 включены в тезисы докладов 61-й, 62-й, 63-й научно-технических конференций

профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов СПбГУТ, 1 включена в тезисы докладов V международного научного конгресса «Нейробиотелеком-2012». На основе материалов, включённых в диссертационную работу, составлена и подана 1 заявка на изобретение [12].

**Основные результаты, выносимые на защиту.**

1. Способ формирования ортогональных в усиленном смысле М-ичных

стохастических многочастотных параллельно-последовательных

широкополосных сигналов, который позволяет получить ансамбли сигналов, обладающих большей структурной скрытностью и большей устойчивостью к оптимизированным помехам по сравнению с известными сигналами.

1. Результаты анализа характеристик помехоустойчивости, скрытности, корреляционных свойств и пик-фактора ортогональных М-ичных стохастических многочастотных параллельно-последовательных широкополосных сигналов.
2. Способы приёма ортогональных М-ичных стохастических многочастотных параллельно-последовательных широкополосных сигналов, разработанные на основе аппарата нелинейной марковской фильтрации в дискретном времени с учётом воздействия комплекса импульсных, сосредоточенных и флуктуационных помех, обеспечивающие возможность работы системы передачи информации в условиях замираний, многолучёвости и сложной помеховой обстановки.
3. Предложения по реализации радиосистем с ортогональными М-ичными

стохастическими многочастотными параллельно-последовательными

широкополосными сигналами.

**Объём и структура работы.** Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 118 наименований. Работа содержит 199 страниц текста, включая 62 рисунка, 18 таблиц.

В **главе 1** рассматриваются существующие способы формирования и приёма М-ичных стохастических ШПС. Выделены основные результаты проведённого анализа литературы и патентного обзора: обоснована актуальность разработки новых или улучшенных СПИ с ШПС, продемонстрированы направления

проводимых исследований в области формирования и приёма шумоподобных сигналов, перспективность комбинирования технологий CDMA и OFDM.

Описываются модели каналов, соответствующих возможным областям применения предлагаемых в работе М-ичных стохастических Till ІГ учитывающие аддитивный белый гауссовский шум (АБГШ), замирания, дискретную многолучёвость и комплекс импульсных, сосредоточенных и флуктуационных помех.

В главе 1 производится постановка научной задачи.

В **главе 2** предлагается способ формирования ОУС СМППШС из аналоговой псевдослучайной последовательности (АПЛ) с использованием модифицированной процедуры Грама-Шмидта. Описывается возможность перехода от способа формирования ОУС СМПШПС к способу формирования ООС СМПШПС, как к частному случаю. Раскрывается принцип работы выбранного для формирования СМПШПС датчика исходной АПП.

Анализируется структура СМПШПС. Приводятся осциллограммы и графики нормированных АКФ СМПШПС. Приводятся результаты исследования пик- фактора СМПШПС. Предлагаются методы его снижения. Производится анализ структурной скрытности СМПШПС на основе современного метода определения структуры сигналов, использующего функцию спектральной корреляции (ФСК). Рассчитываются ресурсы, требуемые для выполнения процедуры ортогонализации Грама-Шмидта. Предлагается способ формирования ОУС СМПШПС с использованием ОАВ.

В **главе** 3 представлена процедура синтеза двух многофункциональных алгоритмов демодуляции и синхронизации для системы передачи информации с ортогональными СМПШПС на основе аппарата нелинейной марковской фильтрации (НМФ) в дискретном времени (ДВ). При демодуляции обеспечивается разделение приходящих лучей, учитывается необходимость борьбы с импульсными, сосредоточенными и флуктуационными помехами. Также учитываются особенности канала связи, по которому передаётся информация (наличие/отсутствие замираний). Рассматриваются различные современные

методы определения задержек многолучевых компонент принимаемого сигнала (оценки профиля многолучёвости). В качестве метода, используемого в работе, выбирается наиболее простой метод на корреляторах. Далее описывается процедура синтеза алгоритма оценивания импульсной характеристики КВ канала с помощью ортогональных СМПШПС на основе выбранного метода. Также в главе 3 приводится и описывается функциональная схема некогерентного демодулятора для СПИ с ОУС СМПШПС.

В главе 4 приводится анализ характеристик помехоустойчивости СПИ с ОУС и ООС СМПШПС при различных условиях в канале связи (фактор дискретной многолучёвости, наличие/отсутствие замираний, наличие/отсутствие помех). На основе модели, полученной в среде Simulink пакета программ Matlab для СПИ с ортогональными СМПШПС, доказывается работоспособность

многофункционального алгоритма демодуляции и синхронизации, синтезированного в подразделе 3.1. Также в 4 главе даны характеристики помехоустойчивости СПИ с ОУС СМПШПС, полученными на основе ОАВ.

В **5 главе** рассматриваются предложения по реализации радиосистем с ортогональными СМПШПС. Описывается разработанная на базе современной ВП (ПЛИС VirtexII, процессор TMS320C6416t) помехозащищённая СПИ с МД с ОУС СМПШПС, полученными на основе ОАВ. Приводятся осциллограммы и спектрограммы передаваемого сигнала, зависимость вероятности ошибки на бит (ВОБ) от отношения сигнал/шум (ОСШ). Описывается система наклонного зондирования ионосферы (НЗИ) и ПСИ с СМПШПС, сформированными с использованием процедуры ортогонализации Грама-Шмидта. Перечисляются требования, предъявляемые к системе. Приводится зависимость вероятности правильной оценки профиля многолучёвости от ОСШ при различном числе многолучевых компонент в принимаемом сигнале. Производится сравнение по ряду эксплуатационных характеристик предложенной системы НЗИ и ПСИ с существующей системой аналогичного назначения.

В заключении обобщаются полученные научные результаты диссертационной работы, даются рекомендации по направлениям дальнейших исследований.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертационной работе решена научная задача разработки способов формирования и приёма М-ичных стохастических многочастотных параллельно­последовательных широкополосных сигналов.

В процессе проведённых в диссертационной работе исследований получен ряд научных результатов:

1. Разработано 2 способа формирования ортогональных в усиленном смысле СМПШПС.
2. Приведены результаты анализа характеристик помехоустойчивости, скрытности, корреляционных свойств и пик-фактора ортогональных СМПШПС.
3. Разработано 2 способа приёма ортогональных СМПШПС на основе аппарата нелинейной марковской фильтрации в дискретном времени с учётом воздействия на полезный сигнал комплекса импульсных, сосредоточенных и флуктуационных помех.
4. Разработаны предложения по реализации радиосистем с ортогональными СМПШПС - помехозащищённой системы передачи информации с множественным доступом, системы наклонного зондирования ионосферы и передачи служебной информации.

Лично автором разработаны следующие вопросы, содержащие научную новизну:

1. Способ формирования ортогональных в усиленном смысле СМПШПС с использованием алгоритма ортогонализации Грама-Шмидта.
2. Результаты анализа характеристик помехоустойчивости, скрытности, корреляционных свойств и пик-фактора ортогональных СМПШПС.
3. Способы приёма ортогональных СМПШПС на основе аппарата нелинейной марковской фильтрации в дискретном времени с учётом воздействия на полезный сигнал комплекса импульсных, сосредоточенных и флуктуационных помех.
4. Эксплуатационные характеристики радиосистем с ортогональными СМПШПС - помехозащищённой системы передачи информации с

множественным доступом, системы наклонного зондирования ионосферы и передачи служебной информации, - полученные с помощью методов макетирования (в первом случае) и имитационного моделирования (во втором случае).

При непосредственном участии автора в соавторстве с профессором Чесноковым М.Н., аспирантами Литвиновым А.А. и Соловьёвым А.А. был разработан способ формирования ансамблей ортогональных СМПИІПС на основе обобщённого алгоритма Витерби.

Практическая ценность диссертационного исследования состоит в том, что:

1. Разработано 2 способа формирования ортогональных М-ичных стохастических многочастотных параллельно-последовательных ШПС, которые могут применяться в системах радиосвязи, где предъявляются повышенные требования к скрытности и помехозащищённости.
2. Полученная в среде Simulink пакета программ Matlab на основе синтезированного многофункционального алгоритма демодуляции и синхронизации ортогональных СМПШПС модель приёмного устройства для канала с замираниями и дискретной многолучёвостью, учитывающая воздействие комплекса импульсных, сосредоточенных и флуктуационных помех, может быть реализована на современных вычислительных платформах и использована для оценки состояния КВ канала и передачи служебной информации по КВ каналу.
3. Разработанный на базе современной вычислительной платформы (ПЛИС Virtex II, процессор TMS320C6416t) макет системы передачи информации с ортогональными в усиленном смысле СМПШПС, сформированными с помощью обобщённого алгоритма Витерби, может быть использован в рамках создания помехозащищённой системы передачи информации с множественным доступом.

Практическая ценность работы подтверждается также тем, что была подана патентная заявка на способ генерирования кодов, передаваемых в телекоммуникационных сетях (на основе этих кодов получены ортогональные в усиленном смысле СМПШПС, сформированные с помощью обобщённого алгоритма Витерби).

Научные результаты диссертационной работы апробированы на научно- технических конференциях, в том числе международных, опубликованы в сборниках тезисов к докладам на конференциях, статьях в журналах, в том числе входящих в перечень ВАК, отчётах о научно-исследовательской работе, заявке на изобретение.

Результаты работы реализованы на ведущем предприятии ООО «Научно- производственное предприятие «Новые технологии телекоммуникаций», а также в ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» (г. Санкт-Петербург) в отчетных материалах о НИР «Разработка научно-технических принципов построения и технического облика подсистемы определения характеристик НЗИ и передачи служебной информации (ПСИ) с использованием многочастотных стохастических ШПС (МЧС ШПС)» [28], что подтверждается соответствующими справками о внедрении.

Результаты диссертационного исследования могут найти своё продолжение и применение при разработке систем радиосвязи различного назначения, в том числе и тех, в которых предъявляются повышенные требования к скрытности и помехозащищённости. Отдельной областью исследования являются многомерные СМПШПС, формирование сигнальных созвездий СМПШПС. Также открытой для изучения и дальнейшей проработки является тема, касающаяся вопросов передачи и приёма СМПШПС в условиях множественного доступа.

1. Структурная скрытность (СС) - это свойство сигнала, характеризующее устойчивость к определению закона его формирования. Низкая СС даёт возможность осуществлять постановку имитационных помех и тем самым препятствовать работе радиосистемы. Следовательно, высокая СС обеспечивает радиосистемам повышенную помехозащищённость. [↑](#footnote-ref-1)