Корниенко Алексей Викторович. Алгоритмы синтеза и обработки короткоимпульсных сверхширокополосных сигналов в радиосистемах передачи информации с учетом мешающих факторов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.12.04 / Корниенко Алексей Викторович; [Место защиты: Рязан. гос. радиотехн. ун-т]. - Рязань, 2008. - 145 с. : ил. РГБ ОД, 61:08-5/780

РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

04200850689

C:\Users\Pavel\AppData\Local\AppData\Local\Temp\FineReader11.00\media\image1.png

Корниенко Алексей Викторович

**АЛГОРИТМЫ СИНТЕЗА И ОБРАБОТКИ КОРОТКОИМПУЛЬСНЫХ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ В РАДИОСИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С УЧЕТОМ МЕШАЮЩИХ ФАКТОРОВ**

ДИССЕРТАЦИЯ на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

Научный руководитель: Д.т.н., профессор Кириллов Сергей Николаевич

Рязань - 2008

ВВЕДЕНИЕ 5

1. СИНТЕЗ РЕАЛИЗУЕМЫХ ФОРМ КОРОТКОИМПУЛЬСНЫХ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ ПО НЕСКОЛЬКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА В РАДИОСИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ 13
   1. Вводные замечания 13
   2. Синтез формы короткоимпульсі юго сверхширокополосного сигнала с минимальной ЭФФЕКТИВНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ПРИ минимальной ширине энергетической диаграммы направленности антенной системы с учетом требований по реализации 16
      1. [***Обоснование показателей качества короткоимпульсных сверхширокополосных сигналов* *16***](#bookmark1)
      2. [***Многокритериальный синтез формы короткоимпулъсного сверхширокополосного сигнала* *20***](#bookmark6)
      3. ***Сравнение синтезированного короткоимпулъсного сверхширокополосного сигнала с общеизвестными* *24***
   3. [Синтез робастного к искажениям короткоимпульсного сверхширокополосного сигнала возбуждения антенной системы 28](#bookmark8)
      1. ***Определение формы сигнала возбуждения антенной системы при известном сигнале***

***в дальней зоне* *28***

* + 1. [***Регуляризация решения обратной задачи* *30***](#bookmark11)
  1. [Синтез модулированной последовательности короткоимпульсных СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ сигналов для увеличения энергетической эффективности обработки 34](#bookmark15)

[**/. *4.1 Методы модуляции последовательности короткоимпульсных сверхширокополосных сигналов* *34***](#bookmark16)

1. [***Модификация алгоритма покоординатного спуска для синтеза дискретной кодовой последовательности короткоимпульсных сверхширокополосных сигналов* *41***](#bookmark17)
2. [***Многокритериальный синтез кодовой последовательности модулированной пачки короткоимпульсных сверхширокополосных сигналов* .т.... *46***](#bookmark18)
   1. [Выводы 51](#bookmark20)
3. РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ КОРОТКОИМПУЛЬСНЫХ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ В РАДИОСИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ 53
   1. Вводные замечания 53
   2. Учет влияния среды распространения на форму короткоимульсных сверхширокополосных сигналов при обработке 56
      1. [***Влияние атмосферы на характеристики короткоимульсных сверхширокополосных сигналов* *56***](#bookmark23)
      2. ***Обоснование алгоритма обработки последовательности короткоимпульсных сверхширокополосных сигналов с учетом искажений, полученных при распространении* *60***
   3. Использование череспериодной корреляционной обработки короткоимпульсных

[сверхширокополосных СИГНАЛОВ 64](#bookmark19)

* 1. Энергетическое і іакопление пачки короткоимпульсных сверхширокополосных

импульсов 68

* 1. использование алгоритма вейвлет-анализа при обработке короткоимпульсных

сверхширокополосных СИГНАЛОВ 71

* 1. Помехоустойчивость короткоимпульсных сверхширокополосных радиосистем

ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ 76

* 1. [ВЫВОДЫ 82](#bookmark41)

3 АНАЛИЗ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ КОРОТКОИМПУЛЬСНЫХ

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ РАДИОСИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ 85

1. Вводные замечания 85
2. [формирование короткоимпульсного сверхширокополосного сип іала 87](#bookmark42)
3. ***Формирование короткоимпульсного сверхширокополосного излучения***

***с использованием диодов с резким восстановлением запирающих свойств* *87***

1. [***Практическая реализация генератора короткоимпульсных сверхширокополосных сигналов* *90***](#bookmark47)
2. Радиосистема передачи иі іформации с внутрипериодной позиционной модуляцией

[короткоимпульсных сверхширокополосных сигналов 93](#bookmark22)

1. ***Модуляция и демодуляция последовательности короткоимпульсных сверхширокополосных сигналов* *93***
2. [***Временная синхронизация в короткоимпульсной сверхширокополосной радиосистеме передачи информации* *96***](#bookmark39)
3. [***Сверхширокополосная щелевая антенна* *100***](#bookmark52)
4. [***Практическая реализация* *102***](#bookmark53)
5. [***Экспериментальные исследования* *105***](#bookmark54)
6. Анализ разработанной короткоимпульсной сверхширокополосной радиосистемы

передачи информации 107

1. [Выводы 109](#bookmark56)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 110](#bookmark57)

[СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 114](#bookmark58)

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 138

[СПИСОК АББРЕВИАТУР И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 138](#bookmark59)

ПРИЛОЖЕНИЕ II 142

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ПЕРЕДАТЧИКА И ПРИЕМНИКА КОРОТКОИМПУЛЬСНОЙ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ 142

**ПРИЛОЖЕНИЕ III 144**

**КОПИИ АКТОВ О ВНЕДРЕНИИ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ 144**

Актуальность темы. В настоящее время проявляется активный интерес к возможности использования в радиосистемах передачи информации (РСПИ) сверхширокополосных сигналов (СШП). Под СШП сигналами по­нимаются сигналы с шириной спектра ***Af=fe - fu*** определяемой как разность верхней^ и нижней ***fu*** частот спектра, сопоставимой с его средней частотой ***fo~(fe + /н)/2*** так, что показатель широкополосности ***/uq = Af/fn>*** 0,25 [1]. Од­ной из разновидностей СШП сигналов являются короткоимпульсные сигна­лы, отличающиеся короткой во времени формой без явного заполнения сину­соидальным колебанием [2]. Использование короткоимпульсных СШП (КСШП) сигналов с длительностью порядка 0,1... 10 не., обладающих широ­кой полосой спектра, значительной проникающей способностью и скрытно­стью, позволяет получить высокие значения показателей качества РСПИ. Ве­сомый вклад в этой области внесли как российские ученые - Ширман Я.Д., Астанин Л.Ю., Бахрах Л.Д., Урядников Ю.Ф., Иммореев И.Я., Осипов M.JT. и др. [1...6], так и зарубежные - Тейлор Дж. Д., Хармут Х.Ф., Вон Намгуг и др. [7... 10]. Использование КСШП сигналов позволяет повысить один из основ­ных показателей качества РСПИ - скорость передачи информации за счет большой ширины спектра [11]. Кроме того, применение КСШП сигналов обеспечивает высокую скрытность из-за малого значения удельной спек­тральной плотности мощности (СПМ), что затрудняет обнаружение таких сигналов. С другой стороны по сравнению с узкополосными сигналами влия­ние естественных или искусственно созданных помех приводит к меньшим потерям при обработке, т.к. в этом случае часть спектра КСШП сигнала по­раженная помехой имеет меньшее относительное значение [7].

Однако КСШП сигналы обладают существенным недостатком — по­скольку ширина полосы частот такого сигнала большая, очень трудно подоб­рать подходящую по характеристикам антенну и рассчитать искажения, воз­никающие при передаче. Кроме того, на КСШП сигнал сильно воздействуют искажения при распространении в пространстве из-за неравномерного зату­хания по частоте [12].

Важной характеристикой КСШП сигнала влияющей на многие показа­тели качества РСПИ является его форма [2], поэтому синтез оптимальной по тому или иному критерию формы КСШП сигнала становится приоритетной задачей в данном направлении. Однако формирование требуемой формы КСШП сигнала затруднено его практической реализуемостью. Современные формирователи позволяют реализовывать ограниченный набор форм КСШП сигналов [13], поэтому при синтезе необходимо учитывать практическую реализуемость полученного сигнала.

Обработку КСШП сигнала на приемной стороне необходимо проводить оптимальным образом [6], для чего требуется проанализировать известные алгоритмы обработки с целью определения их характеристик при наличии различных искажений сигнала при формировании и распространением в сре­де. В устройстве обработки также возникают трудности с генерацией эталон­ной формы КСШП сигнала на входе системы для обеспечения согласованной фильтрации.

Для увеличения энергетической эффективности обработки КСШП сиг­налов в РСПИ часто используют накопление пачки импульсов [14]. Важными характеристиками пачки КСШП сигналов является тип модуляции и конфи­гурация используемой кодовой последовательности. Поэтому актуальной за­дачей является выбор и обоснование типа модуляции, его параметров, а так­же кодовой последовательности.

Кроме того, все перечисленные выше аспекты построения КСШП РСПИ требуют экспериментальной проверки в практической реализации. Это затра­гивает решение сопутствующих вопросов обеспечения синхронизации при­емника и передатчика, а также реализации формирователя КСШП сигналов на современной элементной базе.

Таким образом, актуальными являются задачи синтеза кодовой последо­вательности и формы КСШП сигналов с учетом влияния искажений при формировании, излучении и распространении в пространстве, а также разра­ботки алгоритмов обработки КСШП сигналов.

**Цель работы.** Целью работы является синтез форм и кодовой последо­вательности, а также разработка алгоритмов обработки КСШП сигналов в интересах повышения показателей качества РСПИ.

Поставленная цель работы включает решение следующих задач:

1. Обоснование показателей качества и синтез формы КСШП сигнала с учетом реализуемости.
2. Определение формы КСШП сигнала возбуждения антенны с учетом искажений для получения требуемой формы сигнала в дальней зо­не.
3. Анализ видов модуляции последовательности КСШП сигналов и

синтез кодовой последовательности для формирования сложного КСШП сигнала, обеспечивающей высокую помехоустойчивость передачи.

1. Анализ искажений, вносимых в КСШП сигнал при распростране­

нии в пространстве и разработка алгоритма обработки искаженного сигнала.

1. Анализ потерь в отношении сигнал-шум (ОСШ) в различных алго­

ритмах обработки КСШП сигналов.

1. Определение устойчивости КСШП сигналов в РСПИ, использую­щих различные алгоритмы обработки к узкополосным и импульс­ным помехам.
2. Анализ практической реализация РСПИ с КСШП сигналами при

учете синхронизации передающей и приемной части.

**Методы исследования.** В работе использовались методы статистиче­ской радиотехники и математической статистики, регуляризации решений, вариационного, матричного исчисления и вычислительной математики. Дан­ные теоретические методы сочетались с экспериментальными исследования­ми на основе имитационного моделирования и проведении натурных экспе­риментов.

**Научная новизна.** В рамках данной диссертационной работы получены следующие новые научные результаты:

1. Синтезирован КСШП сигнал симметричной формы по критерию качества, обеспечивающего минимум ширины энергетической диа­граммы направленности антенны. Проведено сравнение синтезиро­ванного КСШП сигнала с общеизвестными и показано его преиму­щество по заданному критерию и по энтропийному критерию скрытности.
2. Определена форма сигнала возбуждения искажающей антенны для получения требуемой формы КСШП сигнала в дальней зоне, а так­же проведена регуляризация полученного решения для уменьшения влияния искажений КСШП сигнала в антенне.
3. Разработана модификация алгоритма покоординатного спуска (ПС) для синтеза дискретных кодовых последовательностей КСШП сиг­налов, обеспечивающего более низкий уровень боковых лепестков (УБЛ) автокорреляционной функции (АКФ) по сравнению с извест­ным методом ПС.
4. Показаны преимущества одновременной модуляции полярности и позиции для синтезированного КСШП сигнала и синтезирована дискретная кодовая последовательность (ДКП), дающая выигрыш по энтропийному критерию скрытности по сравнению с кодами Хаффмана.
5. Обоснованы алгоритмы обработки КСШП сигнала, обеспечиваю­щие минимальные потери в ОСШ при обработке по сравнению с общеизвестными в случае искажений сигнала в среде распростра­нения, а также действии узкополосной и импульсной помехи.
6. Исследована помехоустойчивость предложенного алгоритма по сравнению с общеизвестными и показано его преимущество на
7. . 11 дБ в требуемом ОСШ при одинаковой вероятности правиль­ного обнаружения при воздействии узкополосной помехи и белого шума. При воздействии импульсной помехи наилучшим является алгоритм на основе вейвлет-анализа.

**Достоверность.** Достоверность результатов и выводов, полученных в диссертационной работе, обеспечивается качественным и количественным сопоставлением результатов имитационного моделирования с известными положениями теории обработки сигналов.

**Практическая ценность работы.** Полученные в работе формы КСШП сигналов и алгоритмы их обработки могут успешно применяться в РСПИ различного назначения. Разработанная в работе КСШП РСПИ показывает возможность практической реализации канала передачи данных в сложных условиях распространения. Результаты работы внедрены в разрабатываемые радиолинии управления и телеметрии космических аппаратов в ФГУП «Рос­сийский научно-исследовательский институт космического приборострое­ния», в устройствах тече-трассопоиска ООО «Техно-АС», а также использу­ются в системах беспроводного управления сложными механизированными системами в ООО «АВБ Лабе», что подтверждено соответствующими акта­ми.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1 Синтезированный КСШП сигнал симметричной формы, обеспечи­вающий на 7... 10 % более высокие характеристики по критерию минимума ширины энергетической диаграммы направленности по сравнению с ранее известными.

1. Высокоэффективная модификация алгоритма ПС позволяющая по­лучить выигрыш в уменьшении УБЛ АКФ ДКП от 1,5 до 2,8 дБ при длине последовательности до 500 символов по сравнению с мето­дом ПС.
2. Алгоритм обработки КСШП сигналов в случае искажений при рас­пространении в пространстве на основе метода регуляризации, по­зволяющий на 4...7 дБ снизить потери в ОСШ при обработке и на
3. .8 дБ получить выигрыш в ОСШ в характеристиках обнаружения при воздействии белого гауссовского шума и узкополосных помех по сравнению с алгоритмами череспериодной корреляционной об­работки (ЧПКО), энергетического обнаружителя и алгоритмом на основе вейвлет-анализа.

**Апробация работы.** Результаты работы докладывались на следующих конференциях:

1. ИХ Всероссийская научно-техническая конференция студентов мо­лодых ученных и специалистов "Новые информационные техноло­гии в научных исследования и в образовании" 2003, г. Рязань.
2. 12-я Международная научно-техническая конференция «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекомму­никации» 2003, г. Рязань.
3. 13-я Международная научно-техническая конференция «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекомму­никации» 2004, г. Рязань.
4. 6-я Международная конференция "Цифровая обработка сигналов и ее применения" 2004, г. Москва.
5. 10-я Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов "Радиоэлектроника, электротехника и энергетика" 2004, г. Москва.
6. IX Всероссийская научно-техническая конференция студентов мо­лодых ученных и специалистов "Новые информационные техноло­гии в научных исследования и в образовании" 2004, г. Рязань.
7. X Всероссийская научно-техническая конференция студентов мо­лодых ученных и специалистов "Новые информационные техноло­гии в научных исследования и в образовании" 2005, г. Рязань.
8. 14-я Международная научно-техническая конференция «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекомму­никации» 2005, г. Рязань.
9. XI Всероссийская научно-техническая конференция студентов мо­лодых ученных и специалистов "Новые информационные техноло­гии в научных исследования и в образовании" 2006, г. Рязань.
10. 30-я Всероссийская научно-практическая конференция “Сети и сис­темы связи” 2006, г. Рязань.
11. V Международная конференция "Идентификация систем и задачи управления" SICPRO '06 2006, г. Москва.
12. 31-я Всероссийская научно-практическая конференция “Сети и сис­темы связи” 2007, г. Рязань.
13. 15-я Международная научно-техническая конференция «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекомму­никации» 2008, г. Рязань.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 24 работы. Из них 8 статей в журналах рекомендованных ВАК РФ для кандидатских диссертаций, 3 статьи в межвузовских сборниках, 13 тезисов докладов.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введе­ния, трех глав, заключения, списка литературы из 201 наименований и 3 при­ложений. Диссертация содержит 145 с., в том числе 121 с. основного текста, 1 таблицу и 56 рисунков.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю признательность своему научному руководителю: д. т. н., проф. Кириллову Сергею Николаевичу за неоценимую помощь и огромную моральную поддержку, оказанную в про­цессе работы над диссертацией. Автор также благодарит своих коллег, аспи­рантов и сотрудников кафедры радиоуправления и связи РГРТУ за высказан­ные замечания, содействие и помощь в процессе работы и оформления дис­сертации. Выражаю особую благодарность своим родным и близким за пре­доставленную возможность заниматься научной деятельностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе работы над диссертацией была разработана РСПИ, исполь­зующая синтезированную последовательность КСШП сигналов, и осуществ­лена ее практическая реализация.

В первой главе работы были обоснованы показатели качества сигналов, используемых в РСПИ и синтезирована форма КСШП сигнала, минимизи­рующая ширину энергетической диаграммы направленности антенны. Про­ведено сравнение синтезированного КСШП сигнала с известными и показано его преимущество. Определена форма КСШП сигнала возбуждения иска­жающей антенны, обеспечивающая требуемую форму сигнала в дальней зо­не, проведена регуляризация полученного решения. Синтезирована модули­рованная последовательность КСШП сигналов по энтропийному критерию максимизации скрытности.

Во второй главе работы проанализировано влияние атмосферы на харак­теристики передаваемого сигнала и предложен алгоритм обработки, учиты­вающий искажения при распространении. Проведено сравнение предложен­ного алгоритма и общеизвестных по потерям в ОСШ при обработке и харак­теристикам обнаружения. Показаны выигрыши предложенного алгоритма по сравнению с известными.

В третьей главе работы обоснована структура формирователя КСШП сигнала и разработана функциональная схема РСПИ, с учетом требования по синхронизации приемника и передатчика. Собран макетный образец РСПИ и проведены экспериментальные исследования. Экспериментально показана возможность передачи информации в сложных условиях распространения и получены зависимости вероятности ошибки на бит от расстояния, позво­ляющие обосновать требования к мощности передатчика или к структуре ал­горитма помехоустойчивого кодирования.

Основные результаты диссертации можно сформулировать в следующем виде:

1. Синтезирован КСШП сигнал по критерию, учитывающему не­сколько показателей качества, позволяющему получить выигрыш по сравнению с моноциклом Гаусса в ширине энергетической диа­граммы направленности АС на 13%, в коэффициенте прямоуголь- ности ДН на 7%, по критерию скрытности на *6%* при проигрыше в компактности во временной области всего лишь на 2,6%.
2. Решена задача определения сигнала возбуждения АС для получения требуемой формы излученного КСШП сигнала в дальней зоне. Проведена регуляризация полученного решения по методу А.Н. Ти­хонова и показано преимущество сигнала с учетом регуляризации по сравнению с сигналом, полученным без регуляризации в средне­квадратичной ошибке не менее чем в 2 раза при воздействии сину­соидальных искажений частотной характеристики АС с учетом за­конов распределения искажений.
3. Показано преимущество использования модуляции, как по времен­ному положению КСШП импульса, так и по полярности (ПИМ- ПМИ). Предложена модификация алгоритма покоординатного спуска учитывающая изменение нескольких знаков последователь­ности и проведен синтез ДКП КСШП сигналов по критерию, вклю­чающему в себя такие показатели качества, как скрытность и УБЛ АКФ. Показано преимущество синтезированных кодовых последо­вательностей по сравнению с кодами Хаффмана по критерию скрытности на 13%.
4. Показано, что применение методов обработки, использующих фильтры, частотные характеристики которых синтезированы исхо­дя из применения информации о производной сигнала, а также ме­тода регуляризации А.Н. Тихонова возможно получить более низ-

111

кие и более робастные зависимости потерь в ОСШ по сравнению с фильтром согласованным с неискаженным сигналом или с усред­ненным по искажениям сигналом. Проигрыш в ОСШ при использо­вании указанных методов уменьшается на 7 дБ.

1. Использование ЧПКО дает более равномерный, но высокий проиг­рыш в ОСШ при обработке. В среднем уменьшение проигрыша в ОСШ при использовании метода регуляризации на 23% меньше чем при использовании ЧПКО. Главным преимуществом ЧПКО являет­ся возможность не учитывать форму и искажения КСШП сигнала при обработке, но данный алгоритм является более сложным в реа­лизации.
2. Алгоритм на основе энергетического обнаружения проигрывает в ОСШ на 8... 17 дБ по сравнению с алгоритмом на основе регуляри­зации, что делает его наименее эффективным при обработке КСШП сигналов, но наиболее простая возможность реализации данного ал­горитма и отсутствие необходимости в информации о форме КСШП сигнала и его искажениях делает данный алгоритм привле­кательным в приложениях требующих наименьшую стоимость го­тового изделия.
3. Алгоритм обработки КСШП сигналов на основе вейвлет-анализа с синтезированным исходя из формы сигнала вейвлет-базисом позво­ляет существенно уменьшить требуемый уровень ОСШ при малых значениях искажений на 2... 10 дБ. Использование данного алго­ритма позволяет динамически адаптироваться к текущей помеховой обстановке, что повышает характеристики РСПИ с КСШП сигнала­ми.
4. Сравнение алгоритмов обработки КСШП сигналов при воздействии белого шума, узкополосной и импульсной помех показывает, что наиболее эффективным при неопределенности информации относи-

тельно искажений формы КСШП сигнала являются алгоритмы: при действии белого шума — на основе метода регуляризации (выигрыш на 3...8 дБ), при действии узкополосной помехи - на основе метода регуляризации (выигрыш на 1...12 дБ), при действии импульсной помехи - алгоритма на основе вейвлет-анализа (выигрыш на 2...11 дБ).

1. Обоснована схема формирования КСШП сигнала на основе ДДРВ, обеспечивающая приемлемый уровень мощности при достаточной простоте практической реализации.
2. Разработаны структурные схемы приемника и передатчика КСШП РСПИ на основе сигналов с ПИМ-МПИ, обеспечивающие синхро­низацию за счет дополнительного тактового синхронизационного импульса в последовательности. В качестве алгоритма обнаружения выбран энергетический накопитель, как наиболее простой в прак­тической реализации. Разработаны электрические принципиальные схемы и печатные платы приемника и передатчика. Собран макет­ный образец КСШП РСПИ.
3. Проведены практические исследования по передаче данных сквозь препятствие в виде кирпичной стены, получены зависимости веро­ятности ошибки на бит от дальности линии передачи информации и от типа используемого алгоритма обработки, показывающие полу­чение устойчивой синхронизации и низкую вероятность ошибки на бит даже при таких сложных условиях распространения.

Таким образом, полученные результаты диссертационной работы позво­лят улучшить характеристики устройств формирования и обработки КСШП сигналов при воздействии искажений на сигнал в антенном тракте, а также сложных условиях распространения и следовательно повысить показатели качества РСПИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ширман Я.Д. Разрешение и сжатие сигналов. М.: Сов.радио, 1974. 360 с.
2. Астанин Л.Ю., Костылев А.А. Основы сверхширокополосных ра­диолокационных измерений. М.: Радио и связь, 1989. 192 с.
3. Иммореев Я.И. Сверхширокополосная локация: основные особен­ности и отличия от традиционной радиолокации. // Электромагнит­ные волны и электронные системы. 1997. Т.2. №1. С. 81-88.
4. Бахрах Л.Д., Израилович М.Я. Методы коррекции сигналов антенн сверхкоротких импульсов. // Антенны. 2002. № 5. С. 26-33.