

УТВЕРЖДАЮ  
Ректор ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени  
М.Т.Калашникова»  
д.э.н., профессор

В.П. Грахов  
« \_\_\_\_\_ » 2017 г.

## ОТЗЫВ

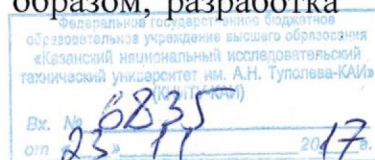
ведущей организации на диссертацию Кадушкина Владислава Валерьевича «Комбинированный алгоритм и устройство многопользовательского приема сигналов в системах подвижной связи с негауссовскими каналами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

На рассмотрение были представлены один том диссертации (объемом 156 страниц) и автореферат (объемом 1 авторский лист).

### Актуальность темы исследования

Обеспечение помехоустойчивости радиотехнических систем связи имеет важное народно-хозяйственное значение. С развитием рынка мобильных телекоммуникаций, в условиях растущего информационного трафика и числа абонентов, ограниченности полосы пропускания, выделенной операторам мобильных систем связи, решение данной задачи с использованием различных методов разделения радиоканала особенно актуально. Одним из перспективных методов разделения каналов, используемых, в частности, в сетях мобильной связи 3-го поколения является кодовое разделение ввиду того, что данный метод позволяет наиболее полно использовать частотный ресурс. Но, для таких систем существенным ограничением помехоустойчивости системы являются помехи, создаваемые большим числом активных абонентов (внутрисистемные помехи).

Наряду с внутрисистемными помехами существенное влияние на работоспособность систем связи оказывают различного рода внешние помехи в отведенной полосе приема. В силу указанных факторов реальные вероятностные распределения смеси сигналов, помех и шума имеют достаточно сложный и нестандартный характер. Таким образом, разработка



вероятностные распределения смеси сигналов, помех и шума имеют достаточно сложный и нестандартный характер. Таким образом, разработка новых методов и алгоритмов обработки сигналов в помехах позволит повысить эффективность систем связи с кодовым разделением каналов, обеспечить высокую надежность обмена информацией и высокую пропускную способность. Решение и внедрение указанной ключевой задачи является актуальным и имеет важное народно-хозяйственное и оборонное значение.

### **Общая характеристика работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и заключения.

В главе 1 проводится анализ перспективных технологий обработки сигналов для систем связи с кодовым разделением каналов, а также требований к их оценке. По результатам анализа предложен новый комплексный показатель эффективности, который позволяет совместно учитывать множество выбранных основных системных параметров эффективности, разработана методика синтеза комбинированных алгоритмов многопользовательского приема сигналов (ПГ-МПД).

В главе 2 определены принципиальные этапы синтеза комбинированных ПГ-МПД алгоритмов, рассмотрены базовые подходы к синтезу алгоритмов на основе базовой методологии синтеза оптимальных полигауссовых алгоритмов, являющейся неотъемлемой частью комбинированных ПГ-МПД алгоритмов. Разработана расширенная классификация алгоритмов многопользовательского приема, а также выполнен их сравнительный анализ, позволивший выявить наиболее рентабельные, с точки зрения эффективность-вычислительная сложность, решения.

Глава 3 посвящена синтезу комбинированного полигауссового алгоритма многопользовательского приема сигналов с компенсацией помех по критерию минимума среднеквадратической ошибки (ПГ-MMSE), разработаны блок схема и функциональная схема для данного алгоритма. Методом математического моделирования произведена оценка возможности и условий представления негауссовских помех малым числом компонент вероятностной смеси, которая позволяет получить приемлемую ошибку аппроксимации при реализации адаптивных процедур анализа входных случайных процессов.

В главе 4 предложено оригинальное устройство, реализующее разработанный ПГ-MMSE алгоритм и обладающее высоким уровнем распараллеливания выполняемых векторно-матричных операций в каждую тактовую единицу времени. В соответствии с методикой синтеза ПГ-МПД алгоритмов определены и оценены основные системные параметры, входящие к комплексный показатель эффективности для разработанного ПГ-MMSE алгоритма.

**Научная новизна полученных результатов** заключается в том, что получены следующие оригинальные результаты:

1. Предложена методика синтеза класса комбинированных полигауссовых алгоритмов многопользовательского приема сигналов (ПГ-МПД) для CDMA систем подвижной связи с использованием комплексного показателя эффективности в виде множества основных системных параметров.

2. Разработан новый помехоустойчивый комбинированный алгоритм многопользовательского приема сигналов в комплексе внутрисистемных и внешних негауссовских помех, обеспечивающий снижение вероятности ошибки, повышение системной емкости по сравнению с аналогичными алгоритмами многопользовательского приема.

3. Методом математического моделирования произведена оценка условий и возможности представления негауссовских помех малым числом компонент вероятностной смеси для получения приемлемой ошибки аппроксимации в процессе реализации адаптивных процедур анализа входных случайных процессов.

4. Разработано оригинальное устройство, реализующее комбинированный алгоритм приема сигналов и обладающее высоким уровнем распараллеливания векторно-матричных операций в каждую тактовую единицу времени, в виду возможности потоковой организации вычислительных процедур в параллельно- конвейерном режиме обработки отсчетов входного вектора.

**Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором диссертации.**

Теоретическая значимость работы заключается в развитии методики синтеза комбинированных полигауссовых многопользовательских алгоритмов приема сигналов, включая разработку полигауссового многопользовательского алгоритма с компенсацией внутрисистемных помех

по критерию максимального правдоподобия для систем связи с кодовым разделением каналов, а также в получении оценки возможности и условий представления негауссовских помех малым числом компонент вероятностной смеси в процессе реализации адаптивных процедур анализа входных случайных процессов.

Практическая значимость работы заключается в разработке устройства приема сигналов в условиях воздействия заданного комплекса внутрисистемных помех и негауссовских помех, позволяющего снизить вероятность ошибки в диапазоне 1.12 – 5.2 раз по сравнению с ближайшим известным аналогом при различной сигнально-помеховой обстановке, а также обеспечить полиномиальную вычислительную сложность.

### **Публикации по теме диссертации и апробация работы**

Основные положения диссертации опубликованы в 20 печатных работах, в том числе в 5 статьях рецензируемых научных изданий ВАК РФ, 1 статье, индексируемой в базе данных Scopus, 1 монографии, 1 учебном пособии, 1 патенте и 11 тезисах докладов на всероссийских и международных конференциях. Количество публикаций и апробация работы соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.**

Результаты диссертационной работы могут использоваться для оптимизации существующих систем связи с кодовым разделением каналов в условиях сложной радиообстановки и разработки принципиально новых устройств многопользовательского приема.

### **Основные замечания по диссертации**

1. При описании методики синтеза комбинированных полигауссовых алгоритмов многопользовательского приема сигналов предлагается использовать комплексный показатель эффективности, однако автором не уточняется каким образом осуществляется параметрическая оптимизация комбинированного алгоритма в соответствии с выбранным набором параметров эффективности.

2. В тексте диссертации не указано каким образом ошибка аппроксимации, возникающая при полигауссовом представлении негауссовских помех, влияет на помехоустойчивость разработанного комбинированного алгоритма.

3. На стр.82 в разделе вводимые допущения автором указано, что статистические параметры помехи считаются известными, поскольку в состав алгоритма вводится блок БОП, однако неясно, для чего в структуре алгоритма вводится дополнительный канал обработки помеха+шум. Тем самым вводится дополнительная избыточность и, как следствие, повышается вычислительная сложность алгоритма в целом.

4. Рисунок 3.5 б: неясно, откуда автором взяты данные для построения двумерного представления плотности вероятности реализации помех.

5. Диссертация не лишена опечаток, неточностей и погрешностей при оформлении:

- в выражениях по тексту диссертации принято двойное обозначения векторов, в частности в формулах (2.10), (2.12), (2.13), (2.15) чертой, а далее по тексту диссертации – выделение полужирным шрифтом;

- Рисунки 3.2 (стр.84), 3.5 (стр.94), 3.9 (стр.103) плохо читаются;

- выполнен некорректный перенос Таблицы 2 (стр.32), Таблицы 3.4 (стр.93), Таблицы 4.2 (стр.128), Таблица 4.7 и 4.8 (стр.134);

- Несоответствие обозначения блока 2 на рисунке 4.1 (Блок корреляционной обработки) и упоминания в тексте на стр.113 (блок поликорреляционной обработки).

В качестве пожелания следует отметить целесообразность продолжения исследований в области разработки комбинированных полигауссовых-многопользовательских алгоритмов приема сигналов, обладающих улучшенными показателями комплексной эффективности.

#### **Соответствие содержания диссертации заявленной специальности**

Диссертация Кадушкина Владислава Валерьевича на тему «Комбинированный алгоритм и устройство многопользовательского приема сигналов в системах подвижной связи с негауссовскими каналами» соответствует паспорту специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций по следующим пунктам: п.5 «Развитие и разработка новых методов дифференцированного доступа абонентов к ресурсам сетей, систем и устройств телекоммуникаций»; п.8 «Исследование и разработка новых сигналов, модемов, кодеков, мультиплексоров и селекторов, обеспечивающих высокую надежность обмена информацией в условиях воздействия внешних и внутренних помех»; п.11 «Разработка научно-технических основ технологии создания сетей, систем и устройств телекоммуникаций и обеспечения их эффективного функционирования».

### **Личный вклад соискателя в получение результатов исследования**

Личный вклад автора заключается в том, что им проведена работа по анализу, систематизации и оценке эффективности существующих алгоритмов многопользовательской приема сигналов в гауссовских каналах и полигауссовых алгоритмов приема сигналов при воздействии негауссовских помех, предложена методика синтеза класса комбинированных полигауссовых алгоритмов многопользовательского приема сигналов с использованием комплексного показателя эффективности и на основе предложенной методики разработан новый комбинированный алгоритм с компенсацией внутрисистемных помех по критерию минимума среднеквадратической ошибки в негауссовских каналах. Автором предложена реализация указанного алгоритма в виде оригинального устройства многопользовательского приема сигналов.

### **Заключение**

Диссертация Кадушкина Владислава Валерьевича на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенных автором исследований решена научная задача повышения эффективности CDMA систем подвижной связи в условиях воздействия комплекса помех и шума с негауссовским характером распределения вероятности, имеющее важное значение для развития страны, что соответствует п.9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.


Отзыв обсужден и одобрен на заседании  
Ученого совета Приборостроительного факультета  
(протокол от 23 октября 2017 года №24).

Отзыв составили:

Заведующий кафедрой «Радиотехника»  
федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего  
образования «Ижевский государственный  
технический университет имени  
М.Т. Калашникова», к.т.н., доцент  
Адрес: 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7.  
Телефон: 8 (3412) 77-60-55 доб. 2129  
E-mail: kan-kan@istu.ru


Копысов  
Андрей  
Николаевич

Профессор кафедры «Радиотехника»  
федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего  
образования «Ижевский государственный  
технический университет имени  
М.Т. Калашникова», д.т.н., профессор  
Адрес: 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7.  
Телефон: 8 (3412) 77-60-55 доб. 2129  
E-mail: hvv@istu.ru



Хворенков  
Владимир  
Викторович

Секретарь ученого совета  
Приборостроительного факультета  
федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего  
образования «Ижевский государственный  
технический университет имени  
М.Т. Калашникова», к.т.н., доцент  
Адрес: 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7.  
Телефон: 8 (3412) 77-60-55 доб. 2129  
E-mail: kaisin@istu.ru



Кайсин  
Алексей  
Егорович

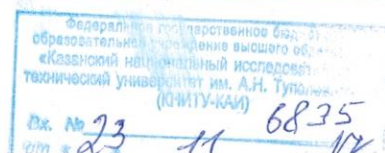
Сведения о лице, утвердившим отзыв:

Грахов Валерий Павлович – ректор, заведующий кафедрой «Промышленное и гражданское строительство» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», доктор экономических наук (08.00.05 Экономика и управление народным хозяйством), профессор.

## СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по кандидатской диссертации Кадушкина Владислава Валерьевича на тему  
«Комбинированный алгоритм и устройство многопользовательского приема  
сигналов в системах подвижной связи с негауссовскими каналами»  
по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

1.	Полное наименование организации	ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "ИЖЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.Т. КАЛАШНИКОВА"
2.	Сокращенное наименование организации	ФГБОУ ВО "ИжГТУ ИМЕНИ М.Т. КАЛАШНИКОВА"
3.	Место нахождения	426069, г. Ижевск, улица Студенческая, 7
4.	Почтовый адрес организации с указанием индекса	426069, г. Ижевск, улица Студенческая, 7
5.	Телефон с указанием кода города	(3412)77-60-55
6.	Адрес электронной почты	info@istu.ru
7.	Адрес официального сайта в сети «Интернет»	http://www.istu.ru/
8.	Список основных публикаций работников ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Абилов А.В. Математическая модель передачи потоковых данных прикладного уровня по беспроводным каналам связи / М.М. Павлова, А.В. Абилов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7. – № 11. – с. 142-146.</li> <li>2. Бояршинов М.А. Обработка сигналов OFDM в радиостанциях коротковолнового диапазона / М.А. Бояршинов, Ю.Т. Загидуллин, Д.В. Колотов, А.В. Савельев // Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. – 2013. № 3 (59). – с. 95-98.</li> <li>3. Жидяев А.В. Исследование энергетических характеристик сигналов, применяемых для передачи данных по декаметровому каналу / А.В. Жидяев, А.Н. Копысов, А.А. Богданов, А.В. Савельев, М.Л. Никитин // Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. – 2015. – № 3 (67). – с. 85-88.</li> <li>4. Климов И.З. Оценка эффективности использования общего канала связи на основе имитационного моделирования / И.З. Климов, В.Е. Минин, А.В. Жидяев // Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. – 2014. – № 1 (61). – с. 102-105.</li> <li>5. Климов И.З. Синтез широкополосного сигнала с равномерным спектром / О.А. Волков, И.З. Климов // Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. – 2014. – № 1 (61). – с. 105-109.</li> </ol>





- |  |  |
|--|--|
|  | <p>6. Климов И.З. Прием многочастотного широкополосного сигнала / О.А. Волков, И.З. Климов // Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. – 2014. – № 2 (62). – с. 95-98.</p> <p>7. Никитин М.Л. Особенности построения широкополосного программно-определяемого радиомодема с использованием аппаратных возможностей ПЛИС / М.Л. Никитин, А.Н. Копысов, М.М. Марков // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015. – № 3 (27). – с. 59-62.</p> <p>8. Никитин М.Л. Методы синтеза составных частотно-временных сигналов / М.Л. Никитин, А.Н. Копысов, В.В. Хворенков, А.А. Богданов, А.В. Жидяев // Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. – 2015. – № 3 (67). – с. 93-97.</p> <p>9. Ушаков П.А. Использование инвариантных свойств хаотических сигналов в синтезе новых помехоустойчивых широкополосных систем передачи информации / К.Н. Леонов, А.А. Потапов, П.А. Ушаков // Радиотехника и электроника. – 2014. – Т. 59. – № 12. с. 1209.</p> <p>10. Хворенков В.В. Пути построения аппаратно-программных комплексов связи / Д.Ю. Полин, М.А. Бояршинов, В.В. Хворенков // Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. – 2013. – № 1 (57). – с. 108-111.</p> |
|--|--|

Ректор  
ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»



В.П. Грахов