

**ОТЗЫВ  
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

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 телекоммуникации»

На оппонирование представлены:

- диссертация на 156 страницах
- автореферат диссертации объемом 1 авт.л.

**Актуальность темы диссертационных исследований.**

В настоящее время в условиях стремительного развития рынка мобильных телекоммуникаций достаточно остро стоит проблема повышения эффективности приема-передачи разнохарактерного пакетного трафика с обеспечением параметров QoS. Основными направлениями повышения эффективности мобильных систем связи являются разработка новых помехоустойчивых кодов, методов пространственно-временной фильтрации, адаптивной компенсации внутрисистемных помех, а также использование новых математических моделей и алгоритмов статистической обработки сигналов.

В условиях воздействия различного рода источников помех, шума, абонентских сигналов, реальное статистическое распределение сигнально-помехового комплекса далеко не всегда адекватно описывается стандартными малопараметрическими распределениями, что снижает помехоустойчивость современных систем подвижной связи. В то же время основным фактором, ограничивающим помехоустойчивость связи, являются внутрисистемные помехи множественного доступа. Автором показано, что известные оптимальные и квазиоптимальные алгоритмы компенсации внутрисистемных помех имеют следующие недостатки:

- 1) высокую вычислительную сложность, а для оптимальных алгоритмов экспоненциально зависят от количества активных абонентов;





2) работают в условиях воздействия помех и шума, описываемых моделью аддитивного белого гауссовского шума и не учитывают более сложный и многообразный вероятностный характер распределения.

Из вышеизложенного следует, что тема диссертации Кадушкина В.В., цели и задачи, на достижение которых она направлены, актуальны и востребованы.

### **Общая характеристика и структура диссертационной работы**

Диссертационная работа Кадушкина В.В. изложена грамотным техническим языком, а ее структура отражает логику решения поставленной основной научной задачи.

В первой главе производится анализ алгоритмических решений, построенных на основе технологии многопользовательского детектирования, позволяющей компенсировать влияние комплекса внутрисистемных помех, а также методология полигауссова синтеза алгоритмов и устройств обработки сигналов в негауссовских каналах. Показано, что для повышения комплексной эффективности систем связи с подвижными объектами требуется поиск новых комбинированных алгоритмических решений. Предложен комплексный показатель эффективности для учета множества основных критичных параметров эффективности, а также методика синтеза и анализа комбинированных полигауссовых алгоритмов многопользовательского приема сигналов (ПГ-МПД) в негауссовских каналах.

Во второй главе на основе базовой методологии синтеза оптимальных полигауссовых алгоритмов обнаружения-различения-разрешения сигналов в комплексе негауссовских помех и многопользовательского приема определены этапы синтеза комбинированного ПГ-МПД алгоритма, представлена математическая модель системы и канала связи, а также выполнен анализ существующих подходов к синтезу полигауссовых алгоритмов обработки сигналов.

На основе расширенной классификации выполнен сравнительный анализ основных типов алгоритмов многопользовательского детектирования (МПД), позволивший выявить наиболее рентабельные с точки зрения «эффективность-вычислительная сложность» решения.

Третья глава посвящена разработке комбинированного ПГ-МПД алгоритма на основе базовых методологий полигауссова анализа и синтеза алгоритмов, а также методологии многопользовательского детектирования. Методами 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 работы предложенного комбинированного алгоритма.



В четвертой главе представлена реализация синтезированного в третьей главе алгоритма в виде оригинального устройства, позволяющего вести обработку в параллельно-конвейерном режиме с небольшим конечным набором выполняемых операций. Также определены и оценены основные системные параметры, входящие к комплексный показатель эффективности: получена оценка вычислительной сложности алгоритма с точки зрения общего числа выполняемых операций, оценена асимптотическая эффективность предложенного алгоритма, отражающая устойчивость работы алгоритма/устройства к влиянию внутрисистемных помех и проблемы «ближний-дальний», получены оценки вероятности битовой ошибки. Проведено сравнение данных параметров с ближайшим аналогом.

### **Новизна полученных результатов, степень их обоснованности и достоверности**

Автором впервые предложена методика синтеза комбинированных полигауссовых алгоритмов многопользовательского приема сигналов для систем связи с кодовым разделением каналов на основе комплексного показателя эффективности, которая позволяет совместно рассматривать несколько важных системных параметров.

На основе предложенной методики синтеза разработан помехоустойчивый алгоритм многопользовательского приема сигналов в комплексе внутрисистемных и внешних негауссовских помех, который позволяет снизить вероятность ошибки по сравнению с аналогичными алгоритмами на основе технологии многопользовательского детектирования. Предложена реализация комбинированного алгоритма в виде устройства, обладающего высокой параллельностью обработки в каждую тактовую единицу времени.

Для экономии вычислительных ресурсов адаптивных процедур анализа случайных входных процессов автором проведена оценка условий представления негауссовских помех малым числом компонент вероятностной смеси для получения приемлемой ошибки аппроксимации распределений.

Достоверность полученных результатов подтверждается корректным и обоснованным применением математического аппарата, а также согласованностью полученных теоретических результатов и результатов математического моделирования

### **Значимость результатов для науки и практики**

Полученные результаты доказывают возможность создания класса комбинированных полигауссовых многопользовательских алгоритмов обработки сигналов для систем связи различного назначения, позволяющих повысить помехоустойчивость и снизить вычислительную сложность.



Подтверждением этому являются разработанные:

- методика синтеза комбинированных ПГ-МПД алгоритмов;
- математические модели комбинированного ПГ-MMSE алгоритма;
- запатентованное устройство, реализующее ПГ-MMSE алгоритма.

### **Оценка диссертации по ее завершенности, стилю и языку изложения**

Диссертационная работа Кадушкина В.В. представляет собой законченное научное исследование, содержащее решение актуальной научно-технической задачи повышение эффективности систем подвижной связи в условиях воздействия комплекса помех и шума с негауссовским характером распределения вероятности.

Работа написано грамотно, хорошим языком. Диссертация содержит достаточно поясняющего иллюстративного материала в виде схем, графиков, а также таблиц. Основные цитируемые положения сопровождаются ссылками на источники.

В целом диссертация по объему и оформлению соответствует требованиям ГОСТ. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям и в достаточной мере раскрывает ее содержание.

### **Апробация, публикация и внедрение результатов работы**

Научные результаты Кадушкина В.В. отражены в 20 печатных работах, в том числе в пяти статьях, рецензируемых ВАК РФ, одной статье, индексируемой в базе данных Scopus, одной монографии и учебном пособии, одном патенте и одиннадцати материалах международных научных конференций.

Результаты неоднократно докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях международного уровня.

Результаты внедрены в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах ООО «КБ Навигационные технологии», а также в образовательном процессе.

Исходя из вышеизложенного следует, что автором в достаточной степени апробированы результаты научных исследований, имеется достаточное количество публикаций.

### **Замечания по диссертационной работе.**

*По существу содержания диссертации.*

- Неясно, почему в Главе 2 представлен сравнительный анализ множества алгоритмов многопользовательского детектирования, однако в разделе 4.2.3 при оценке вероятности ошибки производится сравнение только с MMSE алгоритмом.



- В диссертации автором разрабатывается устройство, реализующее предложенный комбинированный алгоритм многопользовательского приема сигналов (Глава 4), декларируются достоинства данного устройства. Однако в тексте диссертации не указано подтверждаются ли данные достоинства на физическом прототипе или опытном образце.
- На стр.139 диссертации указано, что алгоритмом принимается решение о наличии одной из компонент полигауссового представления негауссовской помехи, однако в разделе 3.3.3 при обосновании выбора количества компонент аппроксимирующей плотности вероятности автором показано, что целесообразно использовать три компонента. Таким образом, неясно как эти утверждения соотносятся друг с другом.
- На стр.87 диссертации представлен сравнительный анализ различных алгоритмов кластеризации для использования в качестве алгоритма адаптации для предложенного комбинированного ПГ-MMSE алгоритма и делается выбор в пользу EM алгоритма. Требуется пояснения, чем вызван выбор автором именно EM алгоритма, ведь в литературе известны различные улучшенные модификации данного алгоритма.

*По представлению результатов диссертации.*

Несмотря на то, что работа написана достаточно грамотным языком в тексте диссертации присутствуют следующие ошибки, погрешности и неточности:

- Стр. 6 - не указан полный перечень сокращений, используемый в диссертации (в т.ч. QoE, ССПО, КАМ и т.д.)
- Глава 2 - неточности при обозначении векторов и матриц, в частности, используется двойное обозначение полужирным шрифтом и чертой над символом.
- Глава 3 – достаточно избыточно (на нескольких страницах) приводится известный метод инверсии матрицы методом алгебраических дополнений.
- Рис.3.2 – функциональная схема не читается.

Тем не менее, указанные замечания не снижают научной и практической ценности представленной диссертационной работы, которая заслуживает положительной оценки.

### **Заключение**

Считаю, что диссертация Кадушкина В.В. Работа актуальна, обладает внутренним единством и логической завершенностью. Тема диссертации и область

решаемых задач соответствует паспорту специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникации.

На основании вышесказанного считаю, что диссертация Кадушкина В.В. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему на высоком профессиональном уровне. Диссертация удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (п.9 – 13, редакция от 21.04.2016), а ее автор – Кадушкин Владислав Валерьевич – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникации.

Официальный оппонент,  
Заведующий кафедрой  
Мультисервисных сетей  
и информационной безопасности  
Поволжского государственного  
университета телекоммуникаций и  
информатики (ФГБОУ ВО ПГУТИ)  
доктор технических наук  
по специальности 05.12.13, профессор

Карташевский Вячеслав Григорьевич

Адрес места основной работы:  
443010, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23  
Рабочий телефон: 8 (846) 333-53-50  
E-mail: kartash@psati.ru

Подпись Карташевского В.Г. заверяю:

Ученый секретарь совета ПГУТИ



Витевская О.В.



## СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

по диссертации Кадушкина Владислава Валерьевича

«Комбинированный алгоритм и устройство многопользовательского приема сигналов в системах подвижной связи с негауссовскими каналами» по специальности 05.12.13 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Фамилия, имя, отчество	Полное наименование организации, являющейся основным местом работы (с указанием города), должность	Ученая степень (с указанием шифра и наименования специальности, по которой защищена диссертация)	Список основных публикаций по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций)
Карташевский Вячеслав Григорьевич	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникации и информатики», г. Самара, заведующий кафедрой Мультисервисных сетей и информационной безопасности	Доктор технических наук, по специальности 05.12.02 – Системы и устройства передачи информации по каналам связи	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Карташевский В.Г., Бельский К.А., Семенов Е.С. Прием «в целом» сигналов OFDM в доплеровском канале с памятью // Радиотехника, №10, 2017, с. 126-132</li><li>2. Карташевский В.Г., Мещеряков М.С., Кузнецова Е.А. Метод ядерного оценивания распределений с «тяжелыми» хвостами // Электросвязь, №6, 2017, с. 58-62</li><li>3. Карташевский В.Г., Букашкин С.А., Сапрыкин А.В. Анализ функционирования узла сети специального назначения в условиях неточного знания параметров трафика // Радиотехника №4, 2017, стр. 93-97</li><li>4. Карташевский В.Г. Прием сигналов OFDM в каналах с рассеянием при оценивании параметров канала / В.Г. Карташевский, Е.С. Семенов, А.А. Филимонов // Радиотехника. – 2016. – № 12. – с. 48-54.</li><li>5. Карташевский В.Г. Рекуррентная модификация алгоритма приема «в целом» с поэлементным принятием решения / В.Г. Карташевский // Радиотехника. – 2016. – № 6. – с. 149-153.</li></ol>

		<p>6. Карташевский В.Г. Прием сигналов OFDM в каналах с рассеянием / В.Г. Карташевский, К.А. Бельский, К.С. Слипечук // Радиотехника. – 2015. – № 2. – с. 62-68.</p> <p>7. Карташевский В.Г. Исследование алгоритмов фильтрации приема дискретных сообщений при использовании технологии MIMO в каналах с памятью / В.Г. Карташевский, О.С. Коняева // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2015. – Т. 18. – № 1. – с. 18-22.</p> <p>8. Карташевский В.Г. Метод численного решения уравнения Линдл для системы массового обслуживания G/G/1 /И.А. Блатов,В.Г. Карташевский , Н.И. Козырева // Телекоммуникации, № 11, 2014, с.2-6</p> <p>9. Карташевский В.Г. Аппроксимация произвольной плотности распределения суммами экспонент / И.А. Блатов, В.Г. Карташевский, Н.В. Киреева, Л.Р. Чупахина // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2013. – № 2. – с. 53-57.</p>
--	--	--

Верно:

Проректор по науке и инновациям  
 ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет  
 телекоммуникаций и информатики»,  
 доктор технических наук, профессор



М.п.

В.А. Бурдин

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.