

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Покаместова Дмитрия Алексеевича «Формирование сигнальных конструкций для систем связи с множественным доступом на основе разреженных кодов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

Диссертационная работа Покаместова Д.А. посвящена вопросам повышения помехоустойчивости систем цифровой связи путем использования метода множественного доступа на основе разреженных кодов SCMA. Рассматриваемый метод был предложен в 2013 году в качестве альтернативы ортогональному частотному мультиплексированию OFDMA, которое применялось в сетях связи четвертого поколения. Использование метода SCMA на практике сопряжено с рядом проблем, решение которых до сих пор не было достаточно освещено в литературе. Одной из таких проблем является разработка методов формирования сигнальных конструкций, позволяющих обеспечить связь на необходимом числе поднесущих. Этому направлению и посвящена работа соискателя. Очевидно, тема диссертации **актуальна**, т.к. исследуется технология, применение которой позволит увеличить спектральную эффективность систем связи.

**Диссертация соответствует специальности 05.12.04** – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» в областях исследования:

«Разработка и исследование методов и алгоритмов обработки радиосигналов в радиосистемах телевидения и связи при наличии помех. Разработка методов разрушения и защиты информации» (п. 4 паспорта специальности).

«Исследование и разработка радиотехнических систем и устройств передачи информации, в том числе радиорелейных и телеметрических, с целью повышения их пропускной способности и помехозащищенности» (п.6 паспорта специальности).

Диссертация изложена на 157 страницах, включает в себя введение и четыре главы, библиография содержит 111 наименований.

**Во введение** приведена краткая информация о развитии метода многостанционного доступа, основанного на применении разреженных кодов (SCMA), описаны существующие проблемы и приведены соответствующие



публикации ведущих коллективов. Сформулирована цель и задачи исследования, обозначены научная новизна, актуальность и ценность работы. Приведены научные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** описаны некоторые аспекты применения разреженных матриц в системах связи, например, в помехоустойчивых кодах с малой плотностью проверок на четность. Рассмотрены методы множественного доступа: ортогональное частотное уплотнение OFDMA, неортогональное уплотнение N-OFDMA, NOMA и ряд других. Описаны основные алгоритмы и методы, лежащие в основу SCMA.

**Во второй главе** рассмотрены основные вопросы по формированию и обработке сигналов с SCMA. Описан алгоритм детектирования SCMA символов – алгоритм передачи сообщений МРА. Проведена оценка вычислительной сложности этого алгоритма. Показано, что увеличение размеров кодовых книг SCMA не приведет к существенному увеличению количества операций МРА. Приводятся новые методы формирования кодовых книг для произвольного числа поднесущих. Автор предлагает формировать разреженные матрицы в соответствии с алгоритмом Галлагера и сигнальные созвездия по оригинальному алгоритму. Заканчивается глава описанием результатов моделирования систем связи с SCMA при передаче в каналах с белым гауссовским шумом, и сравнением полученных результатов помехоустойчивости с помехоустойчивостью известных систем.

**Третья глава** посвящена рассмотрению передачи сигналов с SCMA в многолучевых каналах с частотными замираниями. Автор предлагает способы оценки дисперсии шума в таких каналах. Также предлагается способ снижения влияния ошибки этой оценки путем изменения сигнального созвездия SCMA. Как и во второй главе, для предложенных методов и алгоритмов проводится моделирование и сравнение с существующими системами. Результаты моделирования показывают превосходство SCMA с предлагаемыми кодовыми книгами по помехоустойчивости над OFDMA и SCMA с известными книгами.

**Четвертая глава** диссертации посвящена описанию проведенного эксперимента. Создан лабораторный макет, позволяющий формировать сигналы с SCMA и передавать их по проводным и беспроводным каналам передачи. Сигналы формировались по схеме, приближенной к стандарту LTE. Определены вероятности битовых ошибок при различной излучаемой мощности сигналов. Показано, что система SCMA, работающая по предложенным автором методам и алгоритмам, в реальных условиях имеет меньшую вероятность ошибки и большую помехоустойчивость по сравнению с существующими системами. Эксперимент подтверждает сделанные автором в предыдущих главах выводы.



**Заключение** содержит выводы, сделанные по всем главам диссертации. Имеется два приложения – акты о внедрении результатов на предприятии «Микран» и в учебном процессе кафедры ТОР ТУСУРа.

По материалам диссертации автором опубликовано 22 работы, в том числе: 7 в журналах из списка ВАК, 5 включены в базу данных Scopus.

**Уровень апробации результатов работы** достаточен.

Диссертация **обладает практической значимостью**. Результаты работы могут быть использованы при создании широкополосных многоканальных сетей связи, обладающих высокими показателями помехоустойчивости и спектральной эффективности.

**Автореферат** отражает содержание диссертации.

**Научной новизной** обладают следующие результаты диссертации.

Методы формирования сигнальных конструкций SCMA на основе предложенных автором кодовых книг, позволяющие обеспечить связь и множественный доступ на требуемом числе поднесущих.

Результаты помехоустойчивости систем связи с SCMA для каналов с АБГШ и многолучевостью.

Способ снижения ошибок системы связи с SCMA при передаче сигналов в каналах с многолучевостью.

Оценка вычислительной сложности алгоритма МРА (Message Passing Algorithm). Показано, что она линейно зависит от размеров кодовых книг.

**Личный вклад соискателя** в решение научной задачи высокий.

Вместе с тем, диссертация **не лишена ряда недостатков**:

1. При имитационном моделировании системы связи с SCMA не учитывалось влияние рассогласования частоты сигнала и опорной частоты приемника, например, в результате эффекта Доплера и нестабильности частот.

2. Выводы по результатам главы 1 неудачные, напоминающие описание рассмотренных автором вопросов.

3. В главах 2 и 4 сравнение сигналов SCMA проведено с сигналами OFDM 8-PSK и OFDM QAM-8. Каковы результаты сопоставления с характеристиками OFDM QAM-16?

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают уровень высокой научно-практической значимости диссертации.

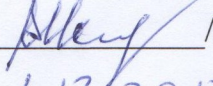


Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему и на высоком научном уровне. В ней успешно решены поставленные задачи исследования. Работа соответствует требованиям п. 9 «Положения» о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации.

Считаю, что автор диссертации, Покаместов Дмитрий Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент

Заведующий кафедрой "Средства связи и информационная безопасность"  
ФГБОУ ВО "Омский государственный технический университет» (ОмГТУ)  
доктор технических наук, профессор,

Майстренко Василий Андреевич  /В.А. Майстренко/  
ОмГТУ

Адрес: 644050, г. Омск, Пр. Мира, д. 11

Телефон: (3812) 65-85-60

Веб-сайт: <http://omgtu.ru>

e-mail: [info@omgtu.ru](mailto:info@omgtu.ru)

Подпись профессора Майстренко В.А. удостоверяю

Учёный секретарь университета 