

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Михаила Юрьевича Старовойтова «Разработка и исследование новых алгоритмов комбинирования антенн на приеме в системах ММО с пространственным мультиплексированием», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

### I. Актуальность темы диссертационной работы

Однопользовательский режим ММО (в работе он называется SU ММО) в диапазонах до 3 ГГц является сейчас и будет в перспективе широко использоваться в системах мобильной передачи данных. В сетях 5-го поколения новые диапазоны частот в сантиметровых и миллиметровых диапазонах волн будут использоваться как высокоскоростные каналы передачи данных с точечными зонами покрытия на местности поверх сети базовой услуги в диапазонах до 3 ГГц с непрерывной зоной покрытия.

В диссертационной работе М.Ю. Старовойтова изучается комбинирование сигналов на приемной стороне радиолинии в звеньях до схем обработки сигнала, предназначенных для повышения помехоустойчивости системы связи с ММО. Эта тема актуальна для сетей сотовой связи общего пользования, в которых ограниченное количество цепей детектирования, всегда меньше числа антенн в приемных терминалах, является конструктивной нормой.

Особое значение имеет проблема определение условий, в которых возможно качественное предсказание характеристик радиосреды хотя бы на миллисекунды вперед для антенной решетки, расположенной на подвижном объекте. Новые результаты в данном направлении исследований весьма востребованы на сегодня, поскольку могут быть использованы как для выбора антенн в приемной решетке, описанного в диссертационной работе, так и для более широкого круга применений, связанных с управлением радиоресурсами в сотовых сетях.

Таким образом диссертационная работа М.Ю. Старовойтова, посвященная повышению помехоустойчивости SU ММО, является актуальной в том числе для развития в будущем сетей 5-го поколения.

### II. Структура и содержание диссертационной работы

Общий объем диссертационной работы 127 страниц, она включает введение, пять глав, заключение, список литературы, приложения, включающие акт, подтверждающий внедрение результатов диссертации. В работе содержатся 36 рисунков, 12 таблиц, список литературы насчитывает 112 позиций.

Вход. № 79/18  
«09» 06 2018 г.  
подпись

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируется цель и основные направления, задачи и методы исследований.

В первой главе излагаются известные результаты, касающиеся темы диссертационной работы. Приведена модель системы однопользовательского MIMO (SU MIMO SM) с пространственным мультиплексированием каналов, с линейным комбинированием сигналов приемных антенн. Для полного описания комбинирования в данной модели достаточно знания всех элементов матрицы  $F$  линейного комбинирования на приеме. Приводятся результаты численных экспериментов для известных из научной литературы методов комбинирования на приеме для различных критериев определения элементов матрицы  $F$ . Обосновывается выбор критерия максимизации взаимной информации в канале как предпочтительного для реализации на практике схем линейного комбинирования. Отмечается необходимость предсказания матрицы канала для выбора антенн на приеме в условиях нестационарного во времени радиоканала. Излагаются основные факты из стандарта LTE по передаче и обработке пилотной информации, а также по предсказанию матрицы канала на моменты времени в будущем.

Во второй главе предлагается новая функциональная схема комбинирования сигналов на приеме. Разрабатывается и предлагается новый алгоритм расчета параметров для этой схемы. Для сочетания новой схемы и алгоритма расчета параметров проводятся численные эксперименты по определению помехоустойчивости системы SU MIMO. Итоговая помехоустойчивость системы сравнивается с помехоустойчивостью для системы с простым выбором антенн, и для известной системы с комбинированием антенн на приеме. Показывается, что при наложении ограничения на аппаратную сложность схемы, предложенный метод комбинирования дает выигрыш в помехоустойчивости по сравнению с простым выбором антенн.

В третьей главе анализируются возможности комбинирования антенн в условиях существенно нестационарного радиоканала. Для традиционных методов предсказания параметров радиоканала из условия кругового считывания пилотной информации с антенн приемной решетки выводится ограничение на достижимую помехоустойчивость системы MIMO при выборе антенн на приеме.

Дается описание условий радиоокружения вокруг ориентированной приемной линейной антенной решетки на движущемся транспортном средстве, выполнение которых даст возможность обойтись без кругового считывания пилотной информации на приеме. Предложен вычислительный алгоритм предсказания параметров канала и выбора приёмных антенн в соответствующих условиях радиосреды. Помехоустойчивость системы MIMO в результате применения нового метода проверяется в численных экспериментах.

В четвертой главе изучается влияние на сравнительную помехоустойчивость искажений информации о матрице состояний канала на его приемной стороне, предложенных и известных методов комбинирования антенн. Проводятся численные эксперименты для исследования влияния случайных искажений, не нарушающих рэлеевского характера замираний в матрице оценки канала. В результате формулируется утверждение, что при добавлении искажениях такого вида, выигрыш в помехоустойчивости системы с применением новых методов, предложенных в главе 2 и главе 3, по сравнению с соответствующими известными методами не уменьшается.

В пятой главе проводятся модельные эксперименты с применением помехоустойчивого кодирования и мягкой демодуляции. Дается описание оценки возможного увеличения покрытия на местности режима SU MIMO при некоторых типовых предположениях о характере застройки и условиях распространения радиосигнала на большом фрагменте сети подвижной связи. Результаты экспериментов приводятся в виде графиков и таблиц для распространенных и интересных для практики случаев MIMO для модуляции КАМ-16 и КАМ-64. Эффективность применения новых методов выражается в увеличении площади покрытия на местности на десятки процентов.

В Заключении даются выводы из диссертационной работы в целом.

### **III. Научная новизна и практическая ценность полученных результатов**

1.Автором предложена новая функциональная схема «додетекторного» комбинирования MIMO сигналов на приеме, которая для случая стационарного радиоканала, обеспечивает улучшение помехоустойчивости системы SU MIMO SM по сравнению с известными схемами.

2.Для радиоканала, характеристики которого нестационарны, разработан алгоритм предсказания параметров канала при скоростном движении подвижного объекта, позволяющий получить выигрыш в помехоустойчивости системы от выбора антенн по сравнению со случаем без выбора антенн.

3.Установлена граница «сверху» для приема с выбором антенн с использованием предсказания параметров нестационарного радиоканала.

4.Основные результаты исследований: схема додетекторного комбинирования и алгоритм предсказания параметров радиоканала нашли внедрение в работах компании NOKIA в рамках программы по развитию мобильной связи.

### **IV. Личный вклад автора**

Наличие двух публикаций в журналах из рекомендованного списка ВАК с авторством М.Ю. Старовойтова свидетельствует о большой доле самостоятельности автора в получении основных теоретических результатов, заложенных в основу диссертационной работы.

Диссертация написана в едином научном стиле, изложение последовательное и , материалы глав и параграфов логически увязаны между собой.

Для публикаций М.Ю. Старовойтова, выполненных в соавторстве, список авторов указан полностью. Во всех разделах работы, где автор цитировал либо использовал результаты других исследований, даны корректные ссылки на работы, собранные в списке литературы.

#### **V. Достоверность полученных результатов**

Полученные графики помехоустойчивости, представленные в диссертационной работе, согласуются с аналогичными графиками из работ других авторов для известных режимов ММО, полученными для идентичной модели системы с использованием аналогичных методов исследования в модельных экспериментах. Модельные эксперименты проводились в среде MATLAB в соответствии с известными рекомендованными методиками.

#### **VI. Соответствие автореферата основному содержанию диссертационной работы**

Текст автореферата адекватно отражает основные идеи, изложенные в диссертационной работе. Графики и таблицы, включенные в автореферат, дают верное представление о результатах модельных экспериментов.

#### **VII. Замечания к диссертационной работе**

1. В работе не отражены результаты применения предложенных методов для моделей радиоканала, отличных от канала с рэлеевскими замираниями;
2. В Главе 3 дан новый метод предсказания характеристик канала ПЗ, но его применение предложено только для выбора антенн на приеме. Не описаны другие сценарии, в которых применение ПЗ дало бы выигрыш;
3. В работе понятие «нестационарный» канал не имеет чёткого однозначного определения, тем не менее ориентируясь на разумные трактовки термина предполагается, что в этих условиях многочастотные сигналы и помехоустойчивость систем OFDM существенно зависит от соотношения параметров канала и параметров сигнала;
4. В приложениях 5 и 6 диссертационной работы даются алгоритмы А2.3 и А3.1 в виде, приближенном к текстам программ. В то же время в главах 2 и 3 эти алгоритмы описаны с помощью логических схем. Не ясно, зачем понадобились приложения 5 и 6;
5. Буквенно-цифровые обозначения предлагаемых методов в стиле «С+А» (схема +

алгоритм) достаточно тяжелы для восприятия. Для восприятия было бы лучше придумать словесную маркировку, позволяющую также именовать все используемые методы;

### **VIII. Итоговое заключение**

Диссертационная работа М.Ю. Старовойтова выполнена на должном квалификационном уровне в соответствии с требованиями, предъявляемыми к работам на соискание степени кандидата технических наук.

Структура и оформление диссертационной работы и автореферата отвечают требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842.

Замечания к диссертационной работе не умаляют ее научного и практического значения, содержание соответствует пункту 8 паспорта специальности 05.12.13 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Считаю целесообразным присвоение Михаилу Юрьевичу Старовойтову степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13.

Заведующий кафедрой «Радиосвязь, радиовещание и телевидение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (ПГУТИ),  
член IEEE, академик Международной академии связи,  
доктор технических наук,  
профессор



Сергей Николаевич Елисеев

Адрес организации:

443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, дом 23,

тел. 8 846 333 58 56,

email: [eliseev-sn@psuti.ru](mailto:eliseev-sn@psuti.ru)

Подпись Елисеева С.Н. заверяю

Учёный секретарь Учёного совета ПГУТИ

К.э.н., доцент



О.В.Витевская