

## ОТЗЫВ

официального оппонента Мазепы Романа Богдановича

на диссертационную работу

Шорина Василия Олеговича

«Разработка адаптивных алгоритмов управления информационным обменом для системы широкополосного радиодоступа технологии МАКВИЛ»,

на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 2.2.15 – «Системы, сети и устройства

телекоммуникаций»

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

Актуальность диссертационного исследования обусловлена современными тенденциями развития профессиональных систем подвижной радиосвязи, функционирующих в условиях усложняющейся радиоэлектронной обстановки, роста требований к качеству обслуживания и устойчивости информационного обмена. Технология МАКВИЛ, являясь отечественным стандартом профессиональной радиосвязи, широко применяется в системах информационного взаимодействия следующих отраслей индустрии: ж\д транспорта, автотранспорта, нефтегазовых предприятий и т.п. В связи с тем, что она сочетает широкополосную OFDM с радиоинтерфейсом уровня 4G с архитектурой и режимами работы характерными для профессиональной радиосвязи, такими как транкинговый режим, DMO, групповой вызов и т.д. По отношению к известным системам профессиональной радиосвязи APCO25, DMR, TETRA и других она имеет преимущества в широкополосности возможности получения мультимедийных данных и

Вход. № 21/26  
«28» 01 2026  
подпись

голосовой связи с высокой скоростью и качеством. Вместе с тем ее практика эксплуатации выявляет ряд ограничений, связанных с использованием универсальных алгоритмов обработки сигналов, не полностью учитывающих специфику сигнальной структуры и режимов работы данной технологии. Основные проблемы использования технологии МАКВИЛ связаны с тем, что данная технология была разработана под диапазон частот 1800 МГц, а в России для такой связи были выделены частоты 300 и 400 МГц, при этом ее спектр сигнала находится между двумя мощными спектрами сигналов систем связи ФСО и ФСБ. Кроме того, нет доступных данных о свойствах применения этой технологии на указанных частотах, прежде всего, о характеристиках действующих помех. Это порождает необходимость решения следующих научных задач:

1. Анализ наиболее существенных факторов, влияющих на информационный обмен в системах радиосвязи, использующих технологию МАКВИЛ, в выделенном для их функционирования частотном диапазоне в Российской Федерации.

2. Разработать концепцию совершенствования технологии МАКВИЛ с целью получения высокого уровня помехоустойчивости и высокого трафика в реальных условиях применения в Российской Федерации.

### **Цель работы и научные результаты исследования**

На основе изучения условий и практики эксплуатации системы радиосвязи МАКВИЛ в Российской Федерации автором получены следующие результаты:

Система работает в условиях трех категорий воздействия: шумовых помех, помех ЭМС и деформации сигналов, вызванных их многолучевым распространением. При этом наиболее сложным из мешающих факторов является деформация сигналов, вызванных их многолучевым распространением. Дополнительным потенциалом совершенствования являются используемые вендором в хэндовере сигнально кодовые конструкции, снижающие эффективность информационного обмена в системах радиосвязи использующих технологию МАКВИЛ.

Исходя из этого автор правильно определил основную цель исследования в совершенствовании алгоритмов функционирования систем с технологией МАКВИЛ направленной на повышение эффективности информационного взаимодействия в такой системе широкополосной профессиональной радиосвязи.

Для достижения поставленной цели были в качестве научных задач определены следующие:

- Разработать адаптивный алгоритм синхронизации и коррекции характеристик радиоканала по RS врезкам, учитывающий реальные параметры технологии МАКВИЛ, динамику движения абонента, и обеспечивающий более высокую помехоустойчивость по сравнению со известными алгоритмами вендора

- Разработать рекомендации по аналогово-цифровой обработке сигнала, обеспечивающие повышенную эффективность борьбы с мощными внешними помехами без изменения аппаратной части абонентского устройства.

- Разработать рекомендации по организации режима хэндовера в технологии МАКВИЛ, позволяющие повысить скорость и объём информационного обмена в системе связи.

### **Научная новизна**

1. Разработан адаптивный алгоритм синхронизации и коррекции характеристик радиоканала по RS врезкам физического уровня технологии МАКВИЛ, который заключается в накоплениях оценок сдвига частоты и задержки несколькими способами, а также коррекции искажений по Pilot-символам, который в отличие от алгоритмов других систем связи, использующих технологию МАКВИЛ, обеспечивает выигрыш в 5 дБ в отношении сигнал/шум при заданном качестве оценки характеристик радиоканала.

2. Разработан способ аналогово-цифровой обработки сигнала, который отличается от известных тем, что без изменения аппаратной части приемного устройства он предотвращает блокировку АЦП, что позволяет повысить помехоустойчивость и получить выигрыш в 18 дБ.

3. Разработаны рекомендации по организации режимов хэндовера основанные на алгоритмах синхронизации и коррекции искажений, которые отличаются от известных в системах использующих технологию МАКВИЛ тем, что границы и условия выполнения хэндовера определяются с учетом реального качества радиоприема и скорости передвижения абонентов. Это позволяет увеличить зону бесконфликтного соединения в 1.5 раза

### **Теоретическая значимость**

Теоретическая значимость диссертационного исследования состоит в развитии методов адаптивной обработки сигналов в широкополосных OFDM-системах, а также в уточнении взаимосвязей

между точностью оценки параметров радиоканала, процедурами синхронизации и механизмами управления соединениями. Представленные в работе модели расширяют теоретические представления о функционировании систем профессиональной радиосвязи.

### **Практическая значимость**

Практическая значимость работы определяется возможностью непосредственного применения разработанных алгоритмов и рекомендаций в действующих и перспективных системах радиосвязи на базе технологии МАКВИЛ, что подтверждено полученными актами внедрения. Она, по существу, определяется непосредственным внедрением результатов работы при оптимизации структуры системы связи, проводимой ООО «НПП ИРТ» и использованием разработанных алгоритмов в программном обеспечении оборудования выпускаемого ООО «Завод «Эталон». Результаты диссертации могут быть использованы при проектировании, модернизации и оптимизации сетей профессиональной подвижной радиосвязи.

### **Достоверность результатов**

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным выбором методов теоретического анализа, моделирования и экспериментальных исследований. Согласованность теоретических выводов с результатами моделирования и натурных экспериментов подтверждает их надежность и воспроизводимость.

## **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, характеризуются достаточной степенью обоснованности и внутренней логической согласованностью. Автором последовательно реализован системный подход к решению поставленных задач, включающий анализ существующих методов, разработку новых алгоритмических решений и их всестороннюю проверку. Используемый математический аппарат основан на методах статистической радиотехники, теории вероятностей и цифровой обработки сигналов, что соответствует современному уровню развития данной научной области.

В частности, в первом разделе соискатель обосновывает направления совершенствования сетей и узлов профессиональной связи МАКВИЛ с учетом специфики ее применения в Российской Федерации. Выделяется три направления:

- совершенствование методов и алгоритмов синхронизации и коррекции искажений сигнала, вносимых каналов, с учетом динамики движения абонента.

- повышение помехоустойчивости работа базовых и абонентских станций в условиях близкорасположенных в частотной области мощных помех;

- оптимизация алгоритмов хэндовера в условиях городской застройки, типовой для российских регионов.

Во втором разделе диссертации автором рассматривается множество алгоритмов оценивания частотного сдвига (3 шт.), оценивания задержки сигнала (7 шт.), коррекции частотной

характеристики канала (3 шт.) и их комбинаций, применимых для физической структуры сигнала МАКВИЛ с учетом наличия в ней парных пилот символов. Комбинации указанных алгоритмов были реализованы в форме программных моделей для оценивания их количественных показателей качества с использованием модели канала, учитывающей различную степень мобильности абонента. В результате проведенного моделирования были установлены наилучшие комбинации алгоритмов для различной скорости перемещения абонентов. На основе результатов моделирования разработан адаптивный к динамике движения абонента алгоритм синхронизации и коррекции характеристик радиоканала, который позволяет получить выигрыш в отношении сигнал/шум 5 дБ при заданном качестве оценки характеристик радиоканала.

В третьем разделе диссертации автор приводит аналитические расчеты, связывающие количественные значения увеличения уровня подавления близкорасположенных по спектру мощных помех с потерями чувствительности радиоприемного тракта на границе частотного диапазона, выделенного для работы системы профессиональной связи МАКВИЛ в России. Указанные аналитические расчеты выполнены с учетом специфики используемой электронной компонентной базы, используемой для производства абонентских терминалов. Основываясь на результатах расчетов, соискатель вносит изменения в характеристики радиоприемного тракта, путем тонкой, но обоснованной настройки фильтрующих цепей трансивера AD9361. В результате натурных экспериментов установлено, что теоретически предсказанных уровень увеличения подавления мощных помех в соседствующем частотном диапазоне (не менее, чем 18 дБ) достигается.

Это приводит к желаемому дополнительному снижению уровня помех в рабочем диапазоне частот после оцифровки сигнала и наложения остаточных спектральных компонент из соседнего частотного диапазона. Указанный способ аналогово-цифровой обработки сигнала, включающий научно обоснованную настройку радиоприемного тракта абонентского терминала, запатентован.

В результате проведения натурального эксперимента на отрезке развернутой сети МАКВИЛ в г. Москве, установлено, что предложенные автором решения позволяют повысить эффективность информационного обмена в системе широкополосной профессиональной радиосвязи МАКВИЛ, что количественно выражается в увеличении зоны бесконфликтного обслуживания абонентов в условиях городской застройки до 1,5 раз и увеличении средней скорости передачи информации до 34%. Указанные решения легли в основу сформулированных научно-обоснованных рекомендаций по их применению при проектировании сетей профессиональной связи.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. В числе поставленных задач присутствует разработка адаптивного алгоритма, но не представлен принцип работы этого алгоритма, что не дает достаточного основания для предметной дискуссии с автором.

2. В диссертации и автореферате утверждается, что рассмотрено несколько типов хэндовера в технологии МАКВИЛ и указано, что каждый из типов имеет потенциал к улучшению, но не представлено сопоставление этих потенциалов.

## **Апробация результатов**

Результаты отражены в 14 научных публикациях, 4 из которых — в рецензируемых журналах из перечня ВАК.

## **Заключение**

Диссертационная работа Шорина Василия Олеговича является завершённым научно-квалификационным исследованием, в котором решена актуальная научно-техническая задача повышения качества информационного обмена в системах радиосвязи на базе технологии МАКВИЛ.

Тема и содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 2.2.15 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» в части пункта №2 «Исследование новых технических, технологических и программных решений, позволяющих повысить эффективность развития цифровых сетей, систем и устройств телекоммуникаций»

Основные научные положения и выводы диссертации отражены в автореферате, обладают новизной, теоретической и практической ценностью, подтверждённой расчётами, моделированием и натурными испытаниями. Замечания по диссертационной работе не снижают ценности научно-квалификационной работы. Положения, выносимые на защиту отражены в научных публикациях и апробированы на научных конференциях.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Шорина Василия Олеговича соответствует всем требованиям **Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного**

Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), а её автор **заслуживает** присуждения учёной степени **кандидата технических наук** по специальности 2.2.15 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Мазепа Роман Богданович, кандидат технических наук по специальности 05.12.02 - Системы и устройства передачи информации по каналам связи, профессор кафедры 402 «Радиосистемы и комплексы управления, передачи информации и информационная безопасность» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московского авиационного института (национального исследовательского университета)»

Адрес: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

Тел.: +79152318375

E-mail: mrb402@mai.ru

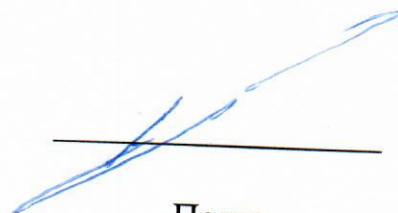
  
Подпись

Мазепа Р.Б.

26.01.2026

Я, Мазепа Роман Богданович, даю согласие на включение своих персональных данных, содержащихся в настоящем отзыве, в документы, связанные с защитой диссертации Шориным Василием Олеговичем, и их дальнейшую обработку.

Р.Б. Мазепа

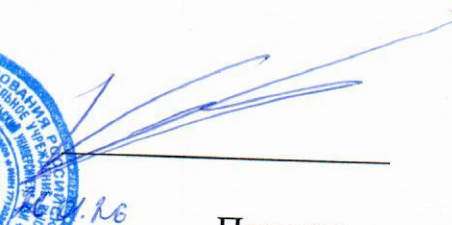


Подпись

26.01.2026

Подписи профессора к.т.н. Мазепы Р.Б. заверяю директор  
дирекции института №4 «Московского авиационного института  
(национального исследовательского университета)»

В.В. Кирдяшкин



Подпись