

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента на диссертацию Егорова Станислава  
Геннадьевича на тему  
«Исследование помехоустойчивых широкополосных сетей радиосвязи  
системы управления движением судов», представленную на соискание  
ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13.  
«Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»**

### **1. Актуальность темы диссертационного исследования**

В настоящее время в России и в мире широко распространены широкополосные системы различного назначения, такие как Wi-Fi, DVB-S2/S2x, DVB-T2, DRM, LTE, 5G и другие. Популярность таких систем обусловлена устойчивостью широкополосных технологий к сложным условиям эксплуатации (например, работе в каналах с быстрыми частотно-селективными замираниями или в городских условиях), а также возможностью эффективного применения эквалайзеров в таких системах, при относительно высокой скорости передачи данных.

С другой стороны, применение систем автономного судовождения (САС) повышает уровень автоматизации и дистанционного управления морскими судами, что особенно важно для модернизации инфраструктуры современных морских портов и обеспечения движения автономных грузопассажирских судов в портовых зонах. Благодаря своей очевидной привлекательности широкополосные системы связи находят применение и при разработке систем автономного судовождения (САС). Одна из важнейших задач, требующих решения для успешного внедрения САС – повышение помехоустойчивости линий радиосвязи при сохранении высоких скоростей передачи данных.

Многие эффективные алгоритмы обработки сигналов в широкополосных системах связи обладают чрезмерно высокой вычислительной сложностью, растущей экспоненциально с увеличением порядка модуляции и количества учитываемых каналов.

Цель исследования заключается в решении инженерно-технических проблем, возникающих перед разработчиками современных широкополосных систем радиосвязи, таких как борьба с нелинейными искажениями (высоким пик-фактором), создание методов обработки сигналов, обеспечивающих компромисс между помехозащищённостью и ресурсоёмкостью вычислений. Исходя из изложенного, тема данной диссертации представляется **актуальной.**

## **2. Научная новизна результатов исследований**

- а) Разработаны модели многоканальных сигналов систем DS-CDMA. Синтезированы стохастические дифференциальные уравнения, применение которых снижает сложность проведения компьютерного моделирования.
- б) Предложены новые аналитические выражения для расчета параметров сложного канала связи.
- в) Найдены ранее неизвестные корреляционные особенности поведения сигналов на выходе канального селектора. Предложен способ снижения межканальных помех, вызванных нелинейными искажениями многоканального сигнала.
- г) Разработан набор моделей для изучения систем передачи данных, учитывающий влияние комплекса факторов на качество связи.
- д) Составлены алгоритмы для программного сопровождения и навигации судов в порту. Алгоритмы позволяют точно определить положение корабля и позволяют корректировать движение даже при сложной нелинейной траектории движения судна.

## **3. Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций**

По материалам представленной диссертации опубликовано 24 печатных работы, включая 10 статей в рецензируемых изданиях ВАК, из них 2 статьи в рецензируемых журналах ВАК категории К1 и 5 статей в журналах категории К2; 2 статьи в международных изданиях. Автором получены два свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Анализ публикаций показывает, что основные положения, выносимые на защиту диссертационного исследования, получили всестороннее и адекватное освещение в трудах и выступлениях автора. В работах корректно сформулированы и обоснованы их актуальность и научная новизна, что свидетельствует о хорошем уровне методологической подготовки и аналитических навыках автора.

## **4. Теоретическая и практическая значимость работы**

Научная и практическая значимость работы состоит в совокупности алгоритмов, программ, методик и технических решений, позволяющих повысить надежность управления движением судов за счет повышения помехоустойчивости сетей связи и навигации.

## **5. Общая характеристика работы**

Диссертация состоит из введения, четырех основных глав, заключения, перечня используемых сокращений, списка литературы, включающего 172



источника, трех приложений. Общий объем диссертации составляет 230 страниц.

**Введение.** Во введении обосновывается актуальность исследования, связанного с повышением помехоустойчивости сетей радиосвязи в системах управления движением судов (СУДС). Подчеркивается необходимость модернизации существующих сетей радиосвязи для обеспечения безопасности и надежности навигации, особенно в условиях интенсивного морского трафика и сложных условий распространения радиоволн.

**Раздел 1.** Рассмотрено современное состояние систем управления движением судов, включая их цели и задачи, объекты использования результатов исследования, характеристику технологий связи и навигации. Проведен анализ и классификация существующих способов, современных и перспективных методов ортогонального и неортогонального разделения каналов. Проанализированы способы позиционирования в сетях связи с кодовым разделением каналов и выполнено обоснование показателей качества систем связи и позиционирования.

**Раздел 2.** Приведена структура многопозиционной автономной навигационной системы (АНС) и многоканальной морской отказоустойчивой системы связи (МОСС) и их сопряжение с береговыми пунктами управления. Исследуется математическая модель МОСС с кодовым разделением каналов (DS-CDMA), системы сигналов, детекторы, вероятности ошибок и варианты оценки местоположения. В конце второй главы выполнен анализ распределения мощности абонентов при совместном использовании неортогонального разделения каналов по мощности (PD-NOMA) и минимизация вероятности ошибок.

**Раздел 3.** Выполнен анализ нелинейных искажений в системах радиодоступа с МДКР. Приведен подробный сравнительный анализ различных моделей нелинейных характеристик групповых усилителей, таких как модель Раппа, Салеха и Горбани и др. Оцениваются возможные последствия нелинейных искажений на работу системы и описываются общие подходы к снижению негативного воздействия нелинейных искажений.

**Раздел 4.** Представлена общая методика статистического моделирования алгоритмов цифровой обработки сигналов в системах радиосвязи. Разработана стохастическая модель группового сигнала и программа для компьютерного моделирования сигналов с кодовым разделением каналов для оценки помехоустойчивости. Предлагаются практические рекомендации по улучшению технических характеристик систем связи с учетом выявленных нелинейных эффектов.

**Заключение.** Подведены итоги исследования, обобщены основные результаты и предложены направления дальнейших разработок. Приложения

