

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Сергея Владиславовича Козлова «Обработка фазоманипулированных широкополосных сигналов в условиях взаимных помех», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 Радиофизика

*Актуальность работы.* В условиях нарастающего усложнения сигнально-помеховой обстановки задачи исследования и разработки перспективных способов повышения эффективности систем радиосвязи (СРС) являются актуальными и важными как с теоретической, так и с практической точек зрения. В настоящее время широкое распространение получили системы связи с фазоманипулированными широкополосными сигналами (ФМШПС), которые, как правило, работают в условиях взаимных помех. Однако, несмотря на большое количество работ, посвященных исследованию влияния взаимных помех на прием ФМШПС, практически отсутствуют методики проведения теоретических оценок характеристик СРС в условиях взаимных помех с учетом внутренних шумов приемного устройства. В этой связи тематика диссертационной работы С. В. Козлова, связанной с разработкой методики оценки характеристик эффективности обработки ФМШПС и анализом влияния взаимных помех и шумов аппаратуры на эффективность работы СРС, является актуальной.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников из 83 наименований. По структуре и объему работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Во введении сформулированы цель и задачи работы, теоретическая и практическая значимость полученных результатов,

их достоверность, научная новизна и положения, выносимые на защиту.

В первой главе описаны основные виды распространенных в настоящее время ФМШПС, виды помех и особенности приема сигналов. Изложено современное состояние исследований отечественных и зарубежных авторов, посвященных обработке ФМШПС в условиях взаимных помех: приведены известные подходы, основанные как на приближенных теоретических методах, так и на статистическом моделировании, их результаты и ограничения. Сформулированы актуальные проблемы, исследованию которых посвящены последующие главы диссертации.

Во второй главе приведено решение задачи обнаружения ФМШПС с бинарной фазовой модуляцией в условиях взаимных помех. С помощью характеристической функции получены выражения для вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги для общего случая наличия у амплитуды ФМШПС регулярной и флуктуирующей составляющих. В процессе изложения приведены все необходимые выкладки и обоснованы сделанные допущения. Проведено статистическое моделирование процесса обнаружения ФМШПС квадратурным корреляционным приемником в условиях взаимных помех. Установлено хорошее соответствие результатов статистического моделирования и полученных аналитически соотношений.

В третьей главе рассмотрены задачи обнаружения и приема ФМШПС с квадратурной фазовой модуляцией в условиях взаимных помех. В соответствии с методологией, изложенной во второй главе, получены выражения для вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги при приеме ФМШПС с квадратурной фазовой модуляцией в условиях взаимных помех. Кроме того, решена задача когерентного приема ФМШПС с квадратурной фазовой модуляцией в условиях взаимных помех и получены новые аналитические соотношения для средней вероятности ошибки оценивания значения бита информации с учетом фазовых флуктуаций системы фазовой

автоподстройки частоты. Приведены результаты сравнения частных случаев полученных новых результатов с известными, а также с результатами для ФМШПС с бинарной фазовой модуляцией.

В четвертой главе рассмотрены задачи обнаружения и приема ФМШПС с бинарной фазовой модуляцией в условиях взаимных помех с учетом искажений сигналов входным полосовым фильтром приемника. Получены новые аналитические соотношения для вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги, средней вероятности ошибки оценивания значения бита информации. Установлено, что в случае наличия полосового фильтра на входе приемника максимальные значения вероятности правильного обнаружения достигаются при ненулевых задержках принимаемого сигнала относительно опорного. Приведен анализ физических причин роста влияния межсимвольной интерференции на эффективность приема ФМШПС при сужении полосы пропускания фильтра.

*Научная новизна* результатов диссертации, выносимых на защиту, состоит в том, что на основе предложенных математических моделей взаимных помех разработаны методики анализа эффективности обработки ФМШПС с бинарной и квадратурной фазовой модуляцией при обнаружении и оценке значений информационного символа. Получены новые аналитические выражения, определяющие вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги, а также средней вероятности ошибки оценивания информационного символа в случае наличия у полезного и помеховых сигналов регулярных и флуктуирующих составляющих. Данные результаты отличаются от известных учетом влияния взаимных помех на процесс обнаружения. Кроме того, в случае анализа алгоритмов обработки ФМШПС с бинарной фазовой модуляцией учтено влияние искажений, вносимых входным полосовым фильтром приемника. Автором разработан алгоритм статистического моделирования

на ЭВМ процесса обнаружения ФМШПС с бинарной фазовой модуляцией на фоне взаимных помех и шумов аппаратуры.

В работе автор адекватно использовал разнообразные аналитические и вычислительные методы современной теории статистической радиотехники, методы теории вероятностей и математической статистики, теории функции комплексного переменного, методы и технологии статистического имитационного моделирования. Все это позволяет утверждать, что результаты диссертационной работы выглядят *обоснованными*.

Результаты работы *достоверны*, поскольку имеют понятную физическую трактовку, получены с применением взаимно дополняющих теоретических и экспериментальных методов исследования, логически следуют из проведенного в диссертации анализа и согласуются с результатами других исследователей.

Полученные в диссертации результаты имеют достаточно высокую *теоретическую и практическую значимость*, так как развивают теорию статистической обработки ФМШПС в условиях взаимных помех и могут быть использованы при проектировании СРС, предназначенных для работы в таких условиях.

Материалы диссертации достаточно подробно опубликованы в открытой печати и апробированы на международных и всероссийских конференциях. Основные результаты диссертации опубликованы в 14 работах, включая 6 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ.

В целом следует отметить, что диссертация представляет собой законченную работу, в которой достаточно подробно и логично изложены постановки решаемых задач, особенности применяемых методов исследований и полученные результаты. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Вместе с тем диссертационная работа С. В. Козлова имеет следующие недостатки:

1. В работе предполагается отсутствие корреляции между функциями  $p_1^{(0)}(t)$  и  $p_2^{(0)}(t)$  (стр. 18). На практике это обычно

достигается специальным подбором псевдослучайной последовательности, однако на данное допущение в работе явно не указывается.

2. Выводы диссертации по третьей главе не отражают результатов, полученных для условий воздействия различного количества помех, например рис. 3.3, 3.7.

3. Сравнение частных случаев полученных результатов с известными работами представлено недостаточно наглядно, читателю приходится обращаться к использованным источникам. Кроме того, результаты сравнения следовало бы отразить в выводах третьей главы диссертации.

4. В работе показано, что наличие полосового фильтра в приемном устройстве приводит к тому, что максимальные вероятности правильного обнаружения достигаются при ненулевых значениях временной задержки принимаемого сигнала относительно опорного, но не сформулированы рекомендации для повышения эффективности приема ФМШПС с учетом смещения максимальных значений вероятности правильного обнаружения.

5. Алгоритм моделирования и реализованную на его основе программу для ЭВМ следовало бы обобщить на случай использования ФМШПС с более сложными видами модуляции.

6. В диссертации имеется умеренное количество опечаток и неточностей, например на стр. 19, 30, в формулах (1.7), (2.2) и др., а на стр. 5 отсутствует текст. В пункте 1.2 дважды повторяются цель исследования и задачи исследования (стр. 26, 27 и 28, 29), уже перечисленные во введении (стр. 7, 8).

Указанные недостатки, тем не менее, не снижают общего положительного впечатления о работе и носят в большей степени рекомендательный характер.

*Вывод.* Диссертация Козлова Сергея Владиславовича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является законченной научно-квалификационной работой, обладающей научной новизной и содержащей значимые результаты.

Автореферат диссертации корректно отражает ее основное содержание.

Работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор – Сергей Владиславович Козлов – заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 Радиоп физика.

Официальный оппонент  
заместитель начальника организационно-научного и редакционного отдела  
ФКОУ ВО «Воронежский институт  
Федеральной службы исполнения наказаний»  
кандидат физико-математических наук, доцент



Куцов Руслан Владимирович

«5» апреля 2018 г.

Подпись Р. В. Куцова удостоверяю

Начальник отдела кадров ФКОУ ВО  
Воронежский институт ФСИН России



А. А. Шкуменов

Почтовый адрес: 394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, д. 1а  
организационно-научный и редакционный отдел.

Телефон: +7 (473) 260-68-09

e-mail: vifsin-nauka@yandex.ru