



ДКМ канала связи сигналами BFSK. Для ее повышения используют различные способы применения тестовых сигналов и адаптивных эквалайзеров, помехоустойчивого кодирования, разнесенного приема и т.д. Но применение этих способов в большинстве случаев сопровождается понижением скорости передачи и ограничено рассмотрением ДКМ КС с дискретной многолучевостью.

Однако в последние годы разработаны методы устранения дискретной многолучевости в ДКМ каналах связи за счет применения цифровых фазированных антенных решеток (ФАР), которые открывают возможности существенного повышения одновременно помехоустойчивости, скорости передачи и надежности связи в однолучевых ДКМ каналах.

Реализация этих возможностей в настоящее время затрудняется тем, что в однолучевых ДКМ каналах связи присутствует диффузная многолучевость, которая обусловлена рассеянием ДКМ волны на мелкомасштабных неоднородностях ионосферы и приводит к замираниям принимаемых сигналов.

Известно, что в арктических широтах часто наблюдаются возмущения ионосферы, сопровождаемых усилением мелкомасштабных неоднородностей (уровня диффузности) и увеличением глубины замираний принимаемых сигналов, что оказывают существенное влияние на снижение помехоустойчивости и надежности приема сигналов с заданными параметрами в однолучевых ДКМ каналах связи. Можно предположить, что на основе измерения (зондирования) уровня диффузности ионосферы возможно выбрать такие параметры цифровых сигналов (их тип, кратность модуляции, рабочую частоту, характеристики разнесения), которые обеспечат достижение заданных требований к помехоустойчивости и надежности ДКМ каналов связи.

Поэтому тема диссертационных исследований соискателя Белокопя Д.А., посвященная параметрическому синтезу ДКМ каналов связи с цифровыми сигналами в условиях диффузности ионосферы, представляется актуальной.

## **2. Структура и основные результаты работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав основного текста, заключения, 3 приложений, списка литературы, включающего 161 наименований, и изложена на 190 страницах машинописного текста.

Во **введении** обоснована актуальность (практическая и научная) работы, определены объект и предмет диссертационного исследования, поставлены

цель, общая и частные научные задачи исследования, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов исследования, а также основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** проведен системный анализ существующих моделей и методов обеспечения помехоустойчивости приема цифровых сигналов, особенно с фазовой модуляцией (M-PSK) и квадратурно-амплитудной (M-QAM), в радиоканалах с замираниями. Рассмотрены основные проблемы ДКМ каналов связи и ограничения в условиях ионосферной диффузности, определены ключевые параметры и задачи исследования. Показаны альтернативные методы повышения надежности ДКМ каналов связи. Проведена математическая постановка общей научной задачи, определены ограничения исследования.

**Вторая глава** посвящена решению первой частной научной задачи. Представлена методика оценки надежности декаметрового канала связи при одиночном приеме сигналов BFSK с замираниями Райса в условиях диффузности ионосферы. При ее разработке проанализированы численные и аналитические методы оценки надежности связи. Проведено их сравнение. Показано, что в условиях нормальной диффузности ионосферы значения надежности связи, полученные с помощью приближенной аналитической формулы могут быть существенно завышены по сравнению со значениями, рассчитанными с помощью численных методов. Представлен алгоритм оценки надежности ДКМ канала связи при одиночном приеме сигналов BFSK с замираниями Райса в условиях диффузности ионосферы.

**В третьей главе** представлены результаты решения второй и третьей частных научных задач диссертационного исследования. На основе результатов решения первой частной задачи была разработана методика оценки надежности ДКМ канала связи при разнесенном приеме цифровых сигналов (M-PSK, M-QAM) с замираниями Райса в условиях диффузности ионосферы. В процессе решения второй частной научной задачи использован известный апробированный математический аппарат оценки помехоустойчивости связи с различными цифровыми видами модуляции. В совокупности с другой известной методикой оценки параметра глубины замираний сигнала в зависимости от степени диффузности ионосферы получен новый научный результат в виде методики оценки надежности ДКМ канала связи при разнесенном приеме цифровых сигналов (M-PSK, M-QAM) с замираниями Райса в условиях диффузности ионосферы. На ее основе разработан алгоритм и предложена блок-схема алгоритма выбора параметров

ДКМ канала связи в условиях диффузности ионосферы для обеспечения требуемой надежности связи на основе результатов оценки уровня диффузности ионосферы.

**В четвертой главе** на основе разработанных методик обоснованы технические решения и практические рекомендации. Разработана структурная схема комплекса обеспечения требуемой надежности ДКМ канала связи при разнесенном приеме многократных цифровых сигналов с замираниями Райса в условиях диффузности ионосферы.

**В заключении** диссертации представлены основные результаты и выводы, которые были получены в процессе исследования.

### **3. Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Научная новизна результатов диссертационного исследования состоит в следующем:

На основе применения методов системного анализа проблемы обеспечения требуемой помехоустойчивости и надежности однолучевого ДКМ канала связи в условиях диффузности ионосферы обоснованы противоречия в практике и науке, сформулирована общая научная задача исследования.

2. Разработана методика оценки надежности ДКМ канала связи с сигналами BFSK с райсовскими замираниями в зависимости от выбора отношения рабочей частоты к МПЧ при повышенных требованиях к помехоустойчивости с учетом диффузности ионосферы, которая, в отличие от известных, позволяет более достоверно оценить надежность связи (поскольку в однолучевом ДКМ канале преобладают райсовские замирания сигнала).

3. Разработана методика оценки надежности ДКМ канала связи при разнесенном приеме сигналов с цифровыми видами модуляции (*M*-PSK, *M*-при райсовских замираниях в зависимости от выбора отношения рабочей частоты к МПЧ при допустимой вероятности ошибки, которая, в отличие от известных, позволяет учесть влияние диффузности ионосферы при оценке надежности ДКМ канала связи с многократными цифровыми сигналами.

4. Разработана методика выбора параметров ДКМ канала связи для обеспечения требуемой надежности связи, которая, в отличие от известных, позволяет осуществить многопараметрическую адаптацию за счет выбора отношения рабочей частоты к МПЧ, вида и кратности модуляции, характеристик разнесения приемных антенн (их количества и допустимого разноса).

На основе результатов решения общей научной задачи достигнута цель диссертационного исследования по обеспечению требуемой надежности связи в однолучевом ДКМ канале с многократными цифровыми сигналами ( $M$ -PSK, зондирования уровня диффузности ионосферы и применения разработанной методики выбора параметров ДКМ канала связи позволяют в условиях сильной диффузности ионосферы обеспечить повышение надежности ДКМ канала связи на 55...64% за счет разнесенного приема на  $n=2-4$  антенны и на 11...16 % – за счет выбора кратности ( $M$ ) и вида модуляции.

#### **4. Значимость для науки и практики результатов, полученных автором диссертации**

**Теоретическая значимость.** Диссертационные исследования расширяют научные знания о влиянии диффузности ионосферы на надежность однолучевого ДКМ канала связи с цифровыми сигналами. Работа создает научную базу для дальнейших исследований в области разработки адаптивных систем радиосвязи

**Практическая значимость.** На основе разработанных технических решений и практических рекомендаций представляется возможным разработать принципы проектирования ДКМ систем связи, обеспечивающие перспективные требования по помехоустойчивости и надежности приема сигналов в условиях и естественных и искусственных возмущений ионосферы. Кроме того, практическая значимость исследований подтверждается актами внедрения результатов диссертационной работы.

#### **5. Степень обоснованности и достоверности результатов диссертационного исследования.**

Обоснованность и достоверность теоретических положений, выводов и заключений не вызывает сомнений и подтверждается использованием исходных данных, полученных из практики и на апробированных математических (или физических) моделях, обоснованным выбором основных допущений и ограничений, принятых в качестве исходных при формулировании постановок научных задач, также корректным использованием современного математического аппарата, высокой сходимостью теоретически (аналитически) полученных результатов с экспериментальными данными, полученными с помощью статистического моделирования.

## **6. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Основные результаты и выводы, полученные в диссертационной работе, могут быть рекомендованы к использованию при разработке перспективных систем передачи информации. Они могут быть использованы в научно-производственном предприятии «ПРИМА» (г. Нижний Новгород), АО «РИМР» (г. Санкт-Петербург), ОАО "Радиозавод" (г. Санкт-Петербург), АО «Радиоэлектронные технологии» (г. Москва) и других организациях, занимающиеся разработкой телекоммуникационных систем.

Считаем целесообразным, кроме того, использование научных результатов диссертации в учебном процессе учреждений высшего образования в процессе обучения по специальностям, которые связаны с передачей дискретной информации по радиоканалам декаметрового диапазона.

Рекомендуется продолжение работ в данном направлении.

## **7. Внедрение результатов работы.**

Основные результаты диссертационного исследования были реализованы: 1) в ФГКВОУ ВО «Военная академия связи имени» (г. Санкт-Петербург) в ходе выполнения научно-исследовательской работы «Опорник-ВНС-ВАС»; 2) в АО «НПО «Рязаньприбор» при выполнении инициативной работы «Разработка аппаратуры передачи специальных данных ПД-442»; 3) в АО «РАДИЙ-ТН» (г. Москва) в ходе выполнения опытно-конструкторской работы «Лир»; 4) в учебном процессе кафедры радиосвязи ФГКВОУ ВО «Военная академия связи» (г. Санкт-Петербург).

## **8. Публикация и апробация и публикация результатов исследования.**

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 20 научных трудах по теме диссертационной работы, в том числе: в 7 статьях в журналах из перечня ВАК по специальности 2.3.1; в 2 статьях в журналах, индексируемых в базе RSCI; в 1 патенте РФ на изобретение и 1 патенте на полезную модель; в 2 свидетельствах о государственной регистрации программы для ЭВМ; в 7 докладах на Международных и Всероссийских научно-технических конференциях.

Данный перечень опубликованных работ позволяет сделать вывод о качественном и глубоком проведенном исследовании, а также его апробации.

## **9. Соответствие паспорту научной специальности.**

Тема и содержание диссертации соответствуют области исследования специальности и пунктам паспорта:

п.2. Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

п.7. Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем.

п.11. Методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества, надежности функционирования сложных систем управления и их элементов.

Данные обстоятельства свидетельствуют о соответствии диссертационного исследования паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

## **10. Замечания и недостатки по диссертационной работе**

Диссертационная работа выполнена на высоком профессиональном уровне и заслуживает в целом положительной оценки. В то же время она не лишена недостатков, а именно:

В проведенном диссертационном исследовании имеются следующие замечания:

1. Отсутствует анализ возможности обеспечения требуемой надежности в однолучевом ДКМ канале связи с диффузностью ионосферы на основе известной системы с испытательным импульсом (СИИП).

2. Полученные оценки надежности связи в однолучевом ДКМ КС в условиях диффузности ионосферы ограничены рассмотрением только для одного случая для исходных данных о дальности связи (2000 км) и технических параметров передатчика и приемника. Целесообразно было рассмотреть больше вариантов исходных данных организации ДКМ КС.

3. В диссертации отмечено, что известна структурная схема комплекса оценки надежности ДКМ канала связи и выбора его параметров при одиночном приеме сигналов BFSK с замираниями Накагами в условиях диффузности ионосферы, приведенная на рис. 1.10. Однако ссылка на источник заимствования не указана.

4. В главе 2 и 3 приведены графики зависимости надежности связи в ДКМ канале от выбора вида модуляции, рабочей частоты, уровня диффузности и мощности передатчика (1000 или 100 Вт). Однако в 4 главе при

обосновании технических решения и практические рекомендации отсутствуют выводы о влиянии мощности передатчика для повышения надежности ДКМ связи.

5. В тексте диссертации и автореферата присутствует некоторое количество орфографические и стилистические ошибки.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и не ставят под сомнение основные выводы диссертации.

## **11. Общая оценка диссертационной работы**

Диссертация написана строгим научным языком, каждая глава содержит конкретные выводы, что облегчает понимание материала. Поставленные в работе цели соответствуют полученным результатам. Все основные результаты диссертации опубликованы. Результаты работы и разработанные методики апробированы на российских и международных конференциях.

Автореферат диссертации соответствует основным положениями работы и адекватно отражает содержание диссертации.

Диссертация в целом представляет собой законченный научный труд, в котором содержатся решения задачи, имеющей существенную научную и практическую значимость.

## **12. Заключение**

Таким образом, диссертация Белоконя Дмитрия Александровича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решены задачи, имеющие существенное значение для области декаметровый радиосвязи.

Диссертационная работа написана автором самостоятельно, выполнена на актуальную тему, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

Диссертационная работа соответствует критериям, предъявляемым в отношении кандидатских диссертаций, которые установлены пп. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней (утв. Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), а ее автор, Белоконь Дмитрий Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Отзыв на диссертацию Белокопя Д.А. рассмотрен и одобрен на заседании научно-исследовательской лаборатории «Инфокоммуникационные технологии» Управления научной и инновационной деятельности (УНИД) ПГУТИ 10 октября 2025 года, протокол № 6.

Отзыв составил:

доктор технических наук, профессор Мишин Дмитрий Викторович  
старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории  
«Инфокоммуникационные технологии» УНИД ПГУТИ,  
профессор кафедры «Радиоэлектронные системы»  
(443010, г. Самара. ул. Л.Толстого, д.23)  
Рабочий телефон: 8 (846) 332-58-53. E-mail: d.mishin@psuti.ru



Д.В. Мишин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Поволжский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики»

Адрес: 443010, г. Самара. ул. Л.Толстого, д.23

Телефон: 8 (846) 333-58-56.

E-mail: info@psuti.ru

Вебсайт: www.psuti.ru