

**Федеральное государственное казенное военное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Военная академия ракетных войск стратегического назначения
имени Петра Великого»**

143900, г. Балашиха, ул. Карбышева, 8

Экз. № 1

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника
Военной академии РВСН
имени Петра Великого
по учебной и научной работе
генерал-майор

М. Рябченко
М. Рябченко

«31» октября 2025 г.

М.П.

ОТЗЫВ

официального оппонента Филатова Владимира Ивановича на диссертационную работу Белокопя Дмитрия Александровича на тему: «Параметрический синтез декаметрового канала связи с цифровыми сигналами в условиях диффузности ионосферы», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)

Актуальность темы исследований для науки и практики.

Исследование методик оценки и обеспечения надежности декаметровой (ДКМ) радиосвязи остается актуальным направлением исследований в связи с возрастающей потребностью в эффективных технологиях высокоскоростной передачи информации на большие расстояния в сложных геофизических условиях. Проблема надежности ДКМ радиосвязи выходит на первый план из-за возрастания требований к качеству (помехоустойчивости) связи, особенно при передаче цифровых сигналов в условиях возмущений ионосферы. Это обусловлено тем, что современные ДКМ системы связи создаются на базе стандартов (MIL-STD-188-110, STANAG), которые используют многократные цифровые сигналы с фазовой (PSK) и квадратурной амплитудной (QAM)

модуляции с кратностью до $M = 64$. Эти виды модуляции обеспечивают повышение скорости передачи информации до 240 Кбит/с при некотором снижении помехоустойчивости (увеличении вероятности ошибки $P_{\text{ош}}$) приема сигналов по сравнению с традиционными видами модуляции (например, частотной телеграфии BFSK). При этом требования к обеспечению помехоустойчивости (допустимой вероятности ошибки $P_{\text{ош доп}}$) приема сигналов возросли на два порядка: с $P_{\text{ош доп}} = 3 \cdot 10^{-3}$ до $P_{\text{ош доп}} = 10^{-5}$.

В настоящее время требования к надежности ДКМ связи (определяемой как вероятность того, что вероятность ошибки $P_{\text{ош}}$ будет не хуже допустимого значения $P_{\text{ош доп}}$) возросли незначительно (с $D_{\text{св тр}} = 0,8$ до 0,85). Однако обеспечить их при возрастании допустимой вероятности ошибки до $P_{\text{ош доп}} = 10^{-5}$ в условиях традиционного допущения о релейских замираниях в ДКМ каналах связи практически невозможно.

В настоящее время что предъявляемые требования к надежности ($D_{\text{св тр}} = 0,85$) и помехоустойчивости ($P_{\text{ош доп}} = 10^{-5}$) приема цифровых сигналов в ДКМ каналов связи выполняются за базе предварительного экспериментального выбора рабочих частот, обеспечивающих однолучевой прием сигналов с неглубокими замираниями.

Однако в условиях возмущений ионосферы, которые сопровождаются возрастанием интенсивности мелкомасштабных неоднородностей (уровня диффузности) ионосферы, вызывающих диффузное рассеяние радиоволн и глубокие замирания принимаемых сигналов, выбрать такие рабочие частоты не представляется возможным.

Поэтому представляется актуальными практическая цель диссертационного исследования, которая состоит в обеспечении требуемой надежности ДКМ каналов связи с цифровыми сигналами в условиях диффузности ионосферы, и научная задача разработки методики параметрического синтеза ДКМ канала связи с одиночным и пространственно-разнесенным приемом цифровых сигналов, позволяющей обеспечить требуемую надежность в условиях диффузности ионосферы.

Анализ содержания диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Работа изложена на 189 страницах. Список литературы состоит из 161 наименования. Также в работе представлено 3 приложения.

Во **введении** диссертации соискатель показал актуальность проводимых исследований, обосновал объект, предмет научных исследований, а также определил цель и научную задачу. Представлены основные положения, выносимые на защиту, и практическая значимость работы, приведено её краткое описание. Показан личный вклад соискателя.

В первой главе диссертации проведен анализ существующих ДКМ систем связи, а также проблемы обеспечения требуемой надежности ДКМ канала связи с цифровыми сигналами возникающей из-за диффузной многолучевости принимаемых сигналов образующейся из-за мелкомасштабных неоднородностей электронной концентрации в ионосфере. Обосновано противоречие в практике. Показаны известные методики повышения помехоустойчивости и надежности ДКМ канала связи. С помощью методов системного анализа было обосновано, что наиболее предпочтительным является метод выбора параметров ДКМ канала связи на основе результатов оценки уровня диффузности ионосферы. В результате подробного анализа существующей методики оценки и выбора параметров ДКМ канала связи было выявлено противоречие в науке, на основании которого была сформулирована общая научная задача.

В завершении главы построено дерево целей, выполнена декомпозиция общей научной задачи на три частные задачи, реализуемые в ходе диссертационного исследования.

Вторая глава диссертации посвящена решению первой частной научной задачи исследования. Она заключается в разработке методики оценки надежности ДКМ канала связи (КС) при одиночном приеме сигналов BFSK с замираниями Райса в условиях диффузности ионосферы. Выполнена модернизация известной методики в части оценки допустимого отношения сигнал/шум (C/Π), требуемого для обеспечения допустимой помехоустойчивости с учетом замираний Райса, которые встречаются в 90 % случаев в ДКМ каналах связи. Проведена сравнительная оценка допустимого отношения C/Π при замираниях Райса, полученного с помощью численных методов и с использованием ее приближенной аналитической зависимости. Было показано, что в условиях сильной диффузности ионосферы значения надежности

связи, полученные с помощью приближенной аналитической зависимости полностью совпадает со значениями, полученными численно.

В конце главы разработан алгоритм оценки надежности ДКМ КС 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. Вторая частная научная задача посвящена разработке методики оценки надежности ДКМ КС при разнесенном приеме многократных цифровых сигналов с замираниями Райса в условиях диффузности ионосферы. Представлен графический метод оценки допустимого отношения С/Ш при приеме цифровых сигналов PSK с кратностью $M=4, 8, 16$ и QAM с кратностью $M=16, 32, 64$, на основе графиков, построенных с помощью численных методов и производящей функции моментов. Таким образом, известная методика оценки надежности ДКМ связи была модернизирована в части учета пространственно-разнесенного приема цифровых сигналов PSK и QAM с замираниями Райса в условиях диффузности ионосферы.

Совокупность решения первой и второй частных научных задач позволила решить третью частную научную задачу, которая состоит в разработке методики выбора параметров ДКМ КС в условиях диффузности ионосферы для обеспечения требуемой надежности связи на основе результатов оценки уровня диффузности ионосферы. На основе разработанной методики построен алгоритм обеспечения требуемой надежности ДКМ канала связи с цифровыми сигналами в условиях диффузности ионосферы.

В четвертой главе представлены практические рекомендации и технические решения по обеспечению требуемой надежности ДКМ канала связи с цифровыми сигналами в условиях диффузности ионосферы. Показано, что современные требования к помехоустойчивости ($P_{\text{ош.доп}} = 10^{-5}$) и надежности ($D_{\text{св.тр}} = 0,85$) связи могут быть обеспечены в условиях сильной диффузности ионосферы при приеме сигналов PSK и QAM при пространственно-разнесенном приеме на две и четыре антенны. При этом разнесение на четыре антенны существенно увеличивает диапазон рабочих частот, на которых обеспечивается

требуемая надежность связи, что актуально в задаче обеспечения электромагнитной совместимости. Технические решения представлены в виде схемы программно-аппаратного комплекса, научная новизна которого подтверждается патентами на полезную модель и изобретение.

В заключении соискатель представил основные результаты и выводы проведенных диссертационных исследований.

Разделы диссертации изложены логично, на достаточно высоком научно-техническом и математическом уровне.

Анализ автореферата диссертации показал, что он соответствует основным положениям работы и в достаточной мере отражает её содержание.

Научная новизна результатов диссертационного исследования и их теоретическая значимость.

Научная новизна диссертационного исследования обоснована получением следующих результатов:

1. Разработана методика системного анализа проблемы обеспечения требуемой помехоустойчивости и надежности однолучевого ДКМ КС в условиях диффузности ионосферы (возрастания ее уровня), которая позволила обосновать выбор пути разрешения выявленного противоречия в практике и сформулировать научную задачу разработки методики параметрического синтеза ДКМ КС на основе результатов зондирования ионосферы.

2. Разработана методика оценки надежности ДКМ КС с сигналами BFSK с райсовскими замираниями в зависимости от выбора отношения рабочей частоты к максимально применимой частоте (МПЧ) при повышенных требованиях к помехоустойчивости ($P_{\text{ош.доп}} = 10^{-5}$) приема сигналов с учетом диффузности ионосферы.

3. Разработана методика оценки надежности ДКМ КС при разнесенном приеме сигналов с цифровыми видами модуляции (M -PSK, M -QAM) с райсовскими замираниями в зависимости от выбора отношения рабочей частоты к МПЧ при допустимой вероятности ошибки ($P_{\text{ош.доп}} = 10^{-5}$) с учетом диффузности ионосферы.

4. Разработана методика выбора параметров ДКМ КС для обеспечения требуемой надежности связи.

5. За счет решения общей научной задачи достигнута цель диссертационного исследования по обеспечению требуемой надежности связи в однолучевом ДКМ канале ($D_{\text{св.тр}} = 0,85$ при $P_{\text{ош.доп}} = 10^{-5}$) с многократными

цифровыми сигналами (M -PSK, M -QAM) в условиях диффузности ионосферы. Результаты 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 с многократными цифровыми сигналами на 55...64% за счет разнесенного приема на $n=2-4$ антенны и на 11...16 % за счет выбора кратности (M) и вида модуляции.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке новых и развитии существующих методик оценки надежности и помехоустойчивости ДКМ канала связи с цифровыми сигналами в условиях диффузности ионосферы на основе результатов ее GPS-зондирования с использованием двухчастотного приемника спутниковых радионавигационных систем (СРНС) GPS/ГЛОНАСС.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в том, что разработанные методики позволяют выработать практические рекомендации по выбору параметров ДКМ канала связи с цифровыми сигналами для обеспечения требуемой надежности связи в условиях диффузности ионосферы.

Степень обоснованности и достоверности результатов диссертационного исследования.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается применением апробированного научно-методического аппарата при решении поставленных научных задач, апробацией полученных результатов и их практической реализацией, корректностью принятых допущений и ограничений.

Внедрение результатов работы.

Основные результаты диссертационного исследования использованы ФГКВООУ ВО «Военная академия связи имени» (г. Санкт-Петербург), АО «НПО «Рязаньприбор» (г. Рязань), АО «РАДИЙ-ТН» (г. Москва).

Апробация и публикация результатов исследования.

Основные результаты диссертационной работы отражены в 20 научном труде 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-практических конференциях.

Соответствие паспорту специальности.

Полученные в работе результаты соответствуют паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки):

- 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.

Замечания по диссертационной работе.

В качестве замечаний по работе можно отметить следующее:

1. В диссертации автор недостаточно подробно изложил методику применения численных методов для оценки надежности ДКМ канала связи.

2. В диссертационном исследовании представлена возможность повышения надежности канала связи за счет уменьшения кратности модуляции. При этом известно, что вместе с кратностью модуляции уменьшается пропускная способность канала. Однако автором вопросы снижения пропускной способности ДКМ КС при диффузности ионосферы подробно не рассмотрены.

3. При оценки допустимого отношения сигнал/шум для цифровых сигналов используются численные методы, однако более предпочтительным является аналитические методы. Поэтому не ясно, почему они не были использованы в работе?

4. В диссертации автор уделил недостаточное внимание особенностям современных методов синхронизации принимаемых цифровых сигналов для оценки надежности декаметрового канала связи.

5. Формула (4.1) для оценки уровня диффузности ионосферы приведена без учета его зависимости от угла наклона трассы GPS мониторинга ионосферы.


Следует отметить, что данные замечания не снижают ценности проведенных научных исследований.

Выводы. Диссертационная работа Белоконя Дмитрия Александровича выполнена на достаточно высоком научном уровне, обладает внутренним единством и представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для развития декаметрового диапазона СВЧ.

Диссертация выполнена на актуальную тему и полностью соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (принятым Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года), а ее автор, Белоконь Дмитрий Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

Докторант федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого» кандидат технических наук, доцент

 В.И. Филатов

30 октября 2025 г.

Кандидатская диссертация защищена по специальности 20.01.09 – Военные системы управления, связи и навигации.

Подпись официального оппонента

кандидата технических наук, доцента Филатова В. И. заверяю.

Начальник отдела кадров академии

 Е. Иванов

143900, г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8.

Тел.: +7 (495) 524-07-63;

E-mail: vf110@mail.ru