



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
**ВОРОНЕЖСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ «ВЕГА»**

Московский пр., д. 7-б, г. Воронеж, 394026
телефон: (473) 262-27-03, факс: 262-27-20
e-mail: box@vega.techno-r.ru; http://vniivega.ru
ОКПО 29692071, ОГРН 1053600451013
ИНН/КПП 3662103035/366201001

27.10.2025 № 135/3876

на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
АО «ВНИИ «Вега»


П. С. Ференев
« 27 » 10 2025 г.


ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Белокопя Дмитрия Александровича, выполненной на тему: «Параметрический синтез декаметрового канала связи с цифровыми сигналами в условиях диффузности ионосферы», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)»

Анализ современных и перспективных систем декаметровой (ДКМ) систем связи показывает, что они создаются на базе протоколов и стандартов MIL-STD-188-11 OC/D, STANAG 4285 и STANAG 4539. Системы используют для передачи информации сигналы с цифровыми видами многократной ($M \geq 2$) модуляции сигналов (например, с фазовой модуляцией (PSK) с кратностью модуляции $M=4, 8, 16$, с квадратурной амплитудной модуляцией (QAM) с кратностью модуляции $M=16, 32, 64$). Скорость передачи информации в таких модемах достигает до 240 кбит/с.

Важнейшим показателем качества работы систем ДКМ связи является надежность (вероятность) связи, которая описывается как вероятность того,

что помехоустойчивость (или вероятность ошибки $P_{\text{ош}}$) приема сигналов будет не хуже допустимого значения ($P_{\text{ош доп}}$). В настоящее время требования к надежности ДКМ связи ($D_{\text{св тр}} = 0,85$) практически не изменились по сравнению с традиционным значением ($D_{\text{св тр}} = 0,8$), а требования к допустимой вероятности ошибки возросли почти на 2 порядка (с $P_{\text{ош доп}} = 3 \times 10^{-3}$ до $P_{\text{ош доп}} = 10^{-5}$). Обеспечить такую вероятность ошибки можно только при организации однолучевой (одномодовой) ДКМ радиолинии. Однако в условиях диффузности ионосферы (т. е. возрастания интенсивности мелкомасштабных ионосферных неоднородностей) и возникновении в однолучевой ДКМ радиолинии замираний, близких к релейским, допустимое для обеспечения $P_{\text{ош доп}} = 10^{-5}$ отношение сигнал/шум (СШ) возрастает до $Z_{\text{доп}} = 50$ дБ, что на 25 дБ превышает традиционное значение. При использовании в системах ДКМ связи сигналов с цифровыми видами многократной (PSK, QAM) допустимое отношение сигнал/шум (СШ) должно быть еще больше: $Z > 50$ дБ. Поэтому при реализуемом в настоящее время отношении СШ на входе приемника ДКМ связи $Z \leq 40$ дБ можно обеспечить надежность связи лишь $D_{\text{св тр}} < 0,5$.

Таким образом, анализ влияния диффузности (мелкомасштабных возмущений) ионосферы на надежность ДКМ связи при передаче цифровых сигналов с многократной модуляцией показал, что предъявляемые требования к надежности ($D_{\text{св тр}} = 0,85$) и помехоустойчивости ($P_{\text{ош доп}} = 10^{-5}$) связи можно обеспечить традиционными путями (за счет увеличения мощности излучения передатчика и применения узконаправленных антенн) только при реализации отношении СШ на входе приемника ДКМ связи $Z > 65$ дБ, что практически недостижимо.

Данные обстоятельства свидетельствуют о наличии актуальной практической проблемы, которая состоит в том, что в условиях диффузности ионосферы обеспечить перспективные требования к надежности ДКМ связи $D_{\text{св тр}} = 0,85$ при допустимой вероятности ошибки $P_{\text{ош доп}} = 10^{-5}$ и реализуемом отношении СШ на входе приемника $Z \leq 40$ дБ при приеме цифровых сигналов только за счет повышения мощности передатчика и узконаправленных антенн не представляется возможным.

Проведенный автором системный анализ возможных путей повышения качества работы ДКМ показал, что обеспечить требуемую надежность ДКМ связи ($D_{\text{св тр}} = 0,85$ при $P_{\text{ош доп}} = 10^{-5}$) при приеме цифровых сигналов в условиях диффузности ионосферы возможно на основе зондирования уровня

диффузности и выбора (синтеза) параметров сигналов (рабочей частоты, вида и кратности модуляции) и способа их пространственной обработки (кратности интервала разнесения).

Поэтому тема диссертационного исследования, посвященная «параметрическому синтезу декаметрового канала связи с цифровыми сигналами в условиях диффузности ионосферы», представляется актуальной.

Результат диссертационного исследования имеет научную значимость для развития декаметровых систем связи. Автором получены следующие **научные результаты**:

1, Применение методов системного анализа проблемы обеспечения требуемой помехоустойчивости и надежности однолучевого ДКМ канала связи в условиях диффузности ионосферы (возрастания ее уровня) позволили сформулировать противоречие в науке и практике, а также вышолнить постановку общей научной задачи.

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 ($P_{\text{ош доп}} = 10^{-5}$) с учетом диффузности ионосферы, которая отличается от известных тем, что позволяет более достоверно оценить надежность связи, так как 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-QAM) с различной кратностью модуляции 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, которая отличается от известных тем, что 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 отличается от известных тем, что позволяет осуществить многопараметрическую адаптацию ДКМ КС за счет выбора: отношения рабочей частоты к МПЧ, вида и кратности модуляции, характеристик разнесения приемных антенн (количества и дистанции допустимого разноса приемных антенн).

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.

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

Основные результаты работы опубликованы в 9 рецензируемых статьях, в том числе 2 из них опубликованы в журналах, индексируемых в базе RSCI: «Журнал Радиоэлектроники» и «Известия вузов России. Радиоэлектроника». Кроме того, получены 2 патента РФ и 2 свидетельства о гос. регистрации программ на ЭВМ.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)» по следующим пунктам:

2 — «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»;

7 — «Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем»;

1 1 — «Методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества и надежности сложных систем».

Вместе с тем, судя по автореферату, в диссертации имеется ряд недостатков:



- 1) отсутствует определение уровня диффузности ионосферы и методика его оценки;
- 2) отсутствует анализ характеристик существующих отечественных и зарубежных декаметровых радиостанций, которые используют цифровые сигналы (M-PSK, M-QAM);
- 3) присутствуют отдельные орфографические и стилистические ошибки.

Отмеченные замечания, в целом, не влияют на положительную оценку работы. не снижают достоверности и корректности полученных результатов.

Считаем, что диссертационная работа «Параметрический синтез декаметрового канала связи с цифровыми сигналами в условиях диффузности ионосферы» представляет собой законченную квалификационную работу, удовлетворяет пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Правительством Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями и дополнениями), 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 составили:

Д.Э.Н., К.Т.Н., профессор
К.Т.Н., С.Н.С.

Штефан Владимир Иванович

Нехорошев Георгий Валентинович

Контактные данные:

Даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.




Штефан В.И.

Нехорошев Г.В.