

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель генерального

директора ФГУП НИИР



М.Ю. Сподобаев

16 04 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации - Федерального государственного унитарного предприятия «Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт радио» на диссертацию Кандаурова Николая Александровича на тему «Сигнально-кодовые конструкции для низкоэнергетических широкополосных радиолиний декаметрового диапазона», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 - «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

1. Актуальность темы исследования

В последнее время наблюдается повышенный интерес к КВ радиосвязи как к важнейшему средству резервной связи. КВ радиосвязь обладает большой надежностью и живучестью инфраструктуры в условиях чрезвычайных происшествий. Данный факт обеспечивает интерес со стороны специальных служб и пользователей в удаленных, труднодоступных районах. Важное значение КВ радиосвязь имеет для освоения Арктики.

В тоже время организация надежной передачи информации осложняется наличием многолучевого распространения сигналов, нестационарностью ионосферного канала вследствие движения отражающих слоев и изменением электромагнитных свойств ионосферы. Проблемой декаметрового диапазона является высокая загруженность источниками излучений, в том числе и мощными радиовещательными станциями. Одно из решений данной проблемы – вторичное использование частотного ресурса за счет организации передачи данных с помощью широкополосных шупомодобных сигналов. Это в то же время позволяет повысить энергетическую скрытность радиолинии.

На использование широкополосных сигналов в радиосвязи в декаметровом диапазоне существенное ограничение накладывает частотная дисперсия ионосферы, как среды распространения электромагнитных волн. Из-за частотной дисперсии отдельные части спектра широкополосного сигнала имеют различные задержки распространения. Частотная дисперсия в ионосферном канале приводит к искажениям формы

Вход. № 28/19
16 04 2019 г.
подпись

широкополосного сигнала. Известными методами прием такого искаженного сигнала возможен только при существенном увеличении мощности передатчика с целью компенсации энергетических потерь. Таким образом, актуальной становится задача разработки методов оценки и компенсации дисперсионных искажений, которые позволят расширить полосу используемых сигналов сверх полосы когерентности ионосферного канала.

В современное время все больше поднимается вопрос защищенности передачи данных. При передаче через ионосферный канал отраженный сигнал может быть принят в любой точке мира. Поэтому встает вопрос о повышении энергетической и структурной скрытности радиолиний для затруднения доступа к информации третьих лиц.

2. Структура и основные результаты работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и четырех приложений.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель работы и решаемые задачи, указаны научная новизна и значение полученных соискателем результатов для практики, представлены сведения о структуре работы и приведены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** проведен анализ существующих моделей ионосферных каналов. Описана модель широкополосного ионосферного канала, применяемая в диссертации. Рассмотрены существующие сигнально-кодовые конструкции, применяемые в декаметровых радиолиниях. Приведены основные характеристики радиолиний прототипов.

Вторая глава посвящена вопросу разработки нелинейных псевдослучайных последовательностей. Проанализированы существующие ансамбли линейных псевдослучайных последовательностей (Голд, Касами), а также нелинейные последовательности де Брейна. Исследованы их корреляционные характеристики. Предложен новый класс нелинейных последовательностей, основанных на сложении по модулю два линейных последовательностей Голда и нелинейных последовательностей де Брейна. Выполнен анализ корреляционных свойств новых последовательностей. Новый класс позволяет расширить объем ансамбля относительно известных линейных псевдослучайных последовательностей (Голд, Касами), при этом получить удовлетворительные выбросы взаимокорреляционной функции. Произведена оценка увеличения показателей структурной скрытности при использовании нового ансамбля последовательностей.

В **третьей главе** предложена новая сигнально-кодовая конструкция на основе помехоустойчивого кода NB-LDPC и ансамбля фазоманипулированных сигналов на базе новых псевдослучайных последовательностей. Произведено исследование влияния дисперсионных искажений на широкополосные сигналы при различной ширине полосы частот сигнала. Рассмотрены два метода оценки наклона дисперсионной характеристики. Проведено сравнение качества оценки и вычислительных затрат данных методов.

Предложен алгоритм следящего компенсатора дисперсионных искажений и схема обработки фазоманипулированных сигналов на его основе.

Четвертая глава содержит описание радиограммы для натуральных испытаний и алгоритм повышения структурной скрытности. Приведено описание макета приемной станции и разработанных программных модулей для приема сигнально-кодовой конструкции. Глава содержит результаты натуральных испытаний сигнально-кодовой конструкции и алгоритма ее приема с компенсацией дисперсионных искажений на однокачковой ионосферной трассе. Приведены результаты оценки эффективности предложенных решений.

В **заключении** сформулированы основные научные и практические результаты диссертационной работы, рекомендации по их использованию и перспективные направления дальнейшей разработки темы исследования.

3. Научная новизна работы.

Научная новизна работы заключается в:

- алгоритме повышения структурной скрытности низкоскоростной широкополосной декаметровый радиолнии за счет использования новых нелинейных псевдослучайных последовательностей, формируемых путем композиции нелинейных последовательностей де Брейна и линейных последовательностей Голда, и алгоритма формирования радиограммы;
- алгоритме обнаружения и приема широкополосных фазоманипулированных сигналов, обеспечивающем компенсацию дисперсионных искажений в следящем режиме;
- новой сигнально-кодовой конструкции на основе NB-LDPC кода и фазоманипулированных сигналов, в которой использование нового ансамбля нелинейных псевдослучайных последовательностей (НПСП) позволяет повысить структурную скрытность, а компенсация дисперсионных искажений – понизить требуемое отношение сигнал/шум при приеме, и вследствие этого повысить энергетическую скрытность.

4. Практическая ценность результатов диссертационной работы не вызывает сомнений и заключается в том, что разработанные в диссертации алгоритмы позволяют:

- повысить структурную и энергетическую скрытность радиолнии;
- компенсировать до 7 дБ энергетических потерь из-за дисперсионных искажений при ширине полосы сигнала 400 кГц;
- расширить используемую полосу частот сверх полосы когерентности ионосферного канала.

5. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается корректностью применения математического аппарата и согласованностью результатов, полученных с помощью разработанных методик, с результатами теоретического анализа, имитационного моделирования и натуральных испытаний. Полученные результаты

обсуждались со специалистами на научных конференциях.

6. Личный вклад автора.

Все выносимые на защиту результаты и положения, составляющие основное содержание диссертационной работы, разработаны и получены автором лично.

7. Соответствие работы заявленной специальности.

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 05.12.13 - «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

8. Апробация результатов работы.

Уровень апробации результатов диссертационной работы на международных и всероссийских конференциях, а также их опубликования в отечественных периодических научных изданиях представляется вполне достаточным и удовлетворяет требованиям положения о присуждении ученых степеней. Материалы диссертационной работы доложены и одобрены на 5 международных отраслевых научно-технических конференциях. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 5 статьях в рецензируемых журналах, входящих в Перечень ВАК. Получено 8 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

9. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Основные положения, результаты и выводы диссертационной работы рекомендуется использовать при разработке низкоэнергетических радиолиний декаметрового диапазона. Полученные результаты по компенсации дисперсионных искажений могут быть использованы при разработке высокоскоростных радиолиний.

10. Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации не приведен анализ вычислительной сложности предложенного алгоритма компенсации дисперсионных искажений.

2. В работе не представлена функциональная схема приемника, используемого в натуральных испытаниях.

3. Не полностью перечислены параметры модели ионосферного канала, используемой при имитационном моделировании.

11. Общее заключение по работе

Перечисленные замечания не снижают общую положительную оценку выполненного диссертационного исследования. Работа изложена на высоком научном уровне. Автореферат диссертации адекватно отражает содержание исследования, четко формулирует его основные положения и выводы. Диссертационная работа полностью удовлетворяет требованиям ВАК при Минобрнауки России, предъявляемым к квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук и соответствует пунктам 8 и 10 паспорта специальности 05.12.13 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций. Автор диссертации, Кандауров Николай Александрович

заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности 05.12.13 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Отзыв подготовили:

Лучин Дмитрий Вячеславович, кандидат технических наук, 05.13.05 - «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления», директор филиала, председатель НТС филиала, Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт радио» (ФГУП НИИР), Самарский филиал (филиал ФГУП НИИР - СОНИИР), Россия, 443011, г. Самара, ул. Советской армии, 217, тел.: +7 (846) 926-07-39, e-mail: dmyl@soniir.ru.

Маслов Евгений Николаевич, кандидат технических наук, 05.12.13 - «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», ученый секретарь НТС филиала, Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт радио» (ФГУП НИИР), Самарский филиал (филиал ФГУП НИИР - СОНИИР), Россия, 443011, г. Самара, ул. Советской армии, 217, тел.: +7 (846) 926-21-90, email: maslov@soniir.ru.

Диссертация, автореферат и отзыв на диссертацию обсуждены на заседании научно-технического совета Самарского филиала ФГУП НИИР - СОНИИР (протокол заседания НТС № 3/19 от 4 апреля 2019 г.).

Директор филиала, председатель НТС филиала

ФГУП НИИР - СОНИИР, к.т.н.

Д.В. Лучин

« 04 » 04 2019 г.

ученый секретарь НТС филиала

ФГУП НИИР - СОНИИР, к.т.н.

Е.Н. Маслов

« 04 » 04 2019 г.

Подписи Д.В. Лучина, Е.Н. Маслова заверяю.

Директор службы персонала ФГУП НИИР



В.А. Тютюнова

« 04 » 04 2019 г.