

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Батанова Виталия Викторовича
«Развитие теории передачи цифровых сигналов по спутниковым радиолиниям с
частотной и временной дисперсией»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук
по специальности 1.3.4 – «Радиофизика»

Актуальность темы диссертации.

Рецензируемая диссертация посвящена исследованию проблем развития и анализа методов обработки цифровых сигналов, используемых в спутниковых информационных системах, с целью оптимизации энергетических потенциалов линий связи путем снижения искажений, обусловленных неоднородностью, дисперсионными свойствами и временной нестационарностью среды распространения. В работе рассматривается земная ионосфера, влияние которой сказывается в основном в R- и L- частотных диапазонах и атмосфера (с учетом влагосодержания), влияние которой сказывается на более высокочастотных линиях связи (Ka, Q/V – диапазоны).

Рассматриваемый в работе класс сигналов включает цифровые сигналы с различными видами манипуляции - многопозиционные цифровые сигналы с фазовой, квадратурно-амплитудной и амплитудно-фазовой манипуляцией, характеризующиеся «сложными» созвездиями комплексных огибающих. Их особенностью является высокая информационная емкость до 8 бит/с/Гц по отношению к известным «классическим» (с двоичной фазовой манипуляцией) с частотной эффективностью 1 бит/с/Гц. Данный тип сигналов рекомендован рядом международных протоколов для использования в спутниковых информационных системах в качестве перспективных для обеспечения требуемых высоких скоростей передачи данных при ограниченной рабочей частотной полосе.

Актуальность комплекса решаемых в диссертации задач обусловлена значительным искажающим влиянием физических сред распространения для рассматриваемых цифровых сигналов, что требует не только качественного исследования и анализа природы искажений, но и их количественного оценивания и разработки методов снижения их влияния. Сформулированная проблема разрешается в работе в рамках комплексного исследования алгоритмов и методов формирования помехоустойчивых цифровых спутниковых радиоканалов, систем дистанционного зондирования земли при учете вариативных характеристик среды распространения.

Построение алгоритмов оптимизации таких информационных систем

является многофакторной задачей и её решение часто ограничивается только какой-либо её частью. Данная работа нацелена на получение конечного результата – создание оптимальных методов кодирования, передачи и приема цифровых сигналов, обеспечивающих заданные скорости передачи информации на спутниковых линиях связи в заданных частотных диапазонах. Учитывая все возрастающую значимость спутниковой связи, тема данной разработки **безусловно является актуальной.**

Тема диссертации соответствует заявленной научной специальности.

Содержание диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения, списка цитируемой литературы, содержащего 151 ссылку, иллюстративного материала и четырех приложений, содержащих перечень используемых в работе сокращений и три акта об использовании результатов диссертационной работы Батанова Виталия Викторовича в различных научных организациях.

Основные результаты работы изложены в выводах в конце каждой главы, а также в заключении.

Во введении представлена общая характеристика диссертационной работы, дано краткое описание различных спутниковых информационных систем, обосновывается актуальность темы исследования, описан комплекс проблем, представляющих предмет исследования. Также приведены известные подходы к решению поставленных задач и в этом контексте сформулирована цель и представлены методы исследования по отдельным разделам диссертации, выделена теоретическая и практическая значимость работы. Здесь также сформулированы основные положения и результаты, выносимые на защиту, приведен список работ автора по теме диссертационной работы и указан личный вклад. Описана общая структура диссертации.

Первая глава посвящена общей теории помехоустойчивой передачи цифровых сигналов для системы, включающей: источник и приемник сигнала, кодер и декодер, модулятор и демодулятор, канал связи с аддитивным белым гауссовским шумом. Следует отметить представленную в этой части разработку теории посимвольного приема цифровых сигналов с различными видами манипуляций. В частности, автором впервые определены вероятностные кривые для информационно-емких сигналов с корректирующим кодированием с минимальной избыточностью. Показано достижение значимого выигрыша в 1,5 – 4,0 дБ по отношению к сигналам без кодирования.

Во второй главе автором исследуются различные модели неоднородной среды распространения сигнала на спутниковых радиоперелиниях. Акцент делается на анализ свойств частотной и временной дисперсии сред. Эти модели относятся

к изотропной и анизотропной ионосферной плазме, статистически неоднородной ионосферной плазме, тропосфере с заданным влагосодержанием (туман), с частотной зависимостью коэффициента преломления и поглощения. Выделены основные параметры моделей: высотный профиль электронной плотности, водность в тропосфере и коэффициент сцинтилляций для статистически неоднородной ионосферы.

На основе рассмотренных моделей разработаны методы оценки уровня фазовых и амплитудных замираний сигналов. Получены теоретические оценки временной стационарности спутниковых линий связи для характерных параметров среды распространения. Разработанные алгоритмы и методы оценивания применяются здесь для прогнозирования уровня деградации качества передачи сигнала и эквивалентных энергетических потерь при распространении сигналов по спутниковым радиоприемам по сравнению с распространением в свободном пространстве.

Третья глава посвящена исследованию искажений цифровых сигналов при их распространении по спутниковым радиоприемам. Рассмотрены искажения структуры радиоимпульса в частотной и временной области. Описание искажений основывается на моделировании импульсной характеристики и передаточной функции для рассматриваемых линий распространения сигналов. Для ионосферной плазмы исследуются модели изотропной и анизотропной среды.

На основе разработанных моделей искажений сигналов предложены методы оценивания энергетических потерь при посимвольном обнаружении цифровых сигналов и при приеме многосимвольного пакета по отношению к распространению сигналов в свободном пространстве. Показано, что искажения цифровых сигналов на рассматриваемых линиях связи могут достигать 10 дБ и более, что необходимо учитывать при проектировании энергетического обеспечения линии.

В четвертой главе диссертации автором предлагаются методы уменьшения (компенсации) искажения цифровых сигналов. Основой для предлагаемых методов коррекции является разделение искажений на обусловленный временной дисперсией сигналов и на обусловленные частотной дисперсией. В качестве таких методов предлагаются: корректирующее кодирование в сочетании с временным перемежением символов и использование корректирующих фильтров.

Для первого из рассматриваемых подходов показана оптимальность схемы кодирования в не двоичных конечных полях (полях Галуа) и разработан алгоритм оптимального посимвольного приема. Для второго подхода предложена методика построения корректирующего дискретного фильтра с использованием

частотно разнесенных пилот-сигналов и без них, в частности, прямым моделированием временной задержки на ионосферной трассе распространения.

В пятой главе приведены результаты экспериментальных исследований амплитудных и фазовых замираний для спутниковых радиолиний Р- и L-диапазонов, выполненных как самим автором, так и подобранные автором из литературных источников. Целью данных исследований является получение экспериментальных данных по основным параметрам, влияющим на искажения цифровых сигналов. В частности, для Р- и L-диапазонов впервые получены значения индекса сцинтилляций: 0,27 – 0,49 и значение параметра распределения Накагами для плотности распределения амплитуд сигнала.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в ходе диссертационных исследований.

В целом диссертация является завершенным научным трудом, хорошо оформленным, результаты которого полностью соответствуют поставленным целям и задачам. Диссертация написана ясным языком, стиль изложения – последовательный, соответствующий научным публикациям.

Личный вклад автора не вызывает сомнений.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность.

Достоверность и обоснованность полученных в диссертации результатов обеспечивается использованием корректных математических моделей, согласованностью полученных теоретических результатов и результатов математического моделирования разработанных методов и алгоритмов с известными в литературе данными, а также согласованностью численных и аналитических оценок характеристик радиосигналов, с результатами, экспериментальных исследований.

Работа качественно апробирована в научных изданиях и научных конференциях. По теме диссертации опубликованы: 9 работ в журналах, входящих в перечень ВАК; 10 работ в научных журналах, входящих в международные реферативные базы данных; 16 работ в рецензируемых журналах. Апробация результатов исследований проведена на Всероссийских и международных научных конференциях (33 публикации за 2014 – 2024 гг.).

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Новизна исследований состоит в следующем:

1) разработаны модели спутниковых радиолиний, включающие физические среды распространения - околосферную ионосферу и атмосферную радиолинию с

туманом, имеющие хороший потенциал для использования их в проектировании спутниковых радиолиний; модели включают изотропные и анизотропные спутниковые ионосферные радиолинии со свойством частотной дисперсии и гиротропности, а также со свойством многолучевости распространения сигналов;

2) разработаны методы оценки искажений цифровых сигналов при их распространении по рассматриваемым физическим средам, на основе представления среды распространения в качестве фильтра с комплексными коэффициентами передачи; дана оценка энергетических потерь и деградации вероятностных характеристик передачи информации по отношению к распространению в свободном пространстве;

3) разработаны модели спутниковых радиолиний со случайными ионосферными неоднородностями, рассеяние на которых порождают амплитудные и фазовые замирания сигналов; произведены численные оценки времени стационарности трансionoсферных радиолиний, параметра, необходимого для корректной работы систем синхронизации, а также произведено оценивание эквивалентных энергетических потерь на таких линиях по отношению к распространению в свободном пространстве;

4) предложены методы снижения искажающего влияния среды на качество цифровых сигналов при распространении по спутниковым радиолиниям с частотной и временной дисперсией: метод оптимального посимвольного приема сигнальных конструкций на основе информационно-емких цифровых сигналов и корректирующего кодирования в недвоичных конечных полях, размерность которых согласована с объемом сигнальных «созвездий», метод компенсации искажений сигналов на основе корректирующих фильтров;

5) произведено экспериментальное исследование среднеширотных ионосферных спутниковых радиолиний P -, L - частотных диапазонов, получены оценки диапазона амплитудных замираний (до 11 дБ), определен диапазон значений индекса сцинтилляций (до 0.49) для условий среднеширотной ионосферы.

Теоретическая и практическая значимость научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Разработанные в диссертации методы и алгоритмы найдут применение в задачах обработки сигналов и проектировании спутниковых радиолиний. Значимость результатов диссертационной работы определяется её направленностью на решение комплекса практически важных задач для развития методов помехоустойчивой передачи информации по спутниковым радиолиниям, характеризующихся значительным влиянием физических сред распространения на качество и характеристики информационно-емких сигналов.

Корректный учет влияния среды распространения дает возможность спрогнозировать дополнительные энергетические потери по отношению к распространению в свободном пространстве и выбрать наиболее эффективный способ компенсации возможных нарушений штатной работы спутниковых информационных систем. Совокупность полученных результатов создала основу для разработки высокоскоростной передачи информации с высокой надежностью, близкой к потенциальной надежности передачи в свободном пространстве.

Соответствие автореферата диссертации ее содержанию.

В автореферате содержится полная информация о цели и задачах диссертационного исследования. Кратко изложены материалы глав, представлены основные результаты. Указан список публикаций автора. Автореферат диссертации в полной мере отражает ее основное содержание.

Недостатки и замечания по диссертации.

По содержанию диссертационной работы можно сделать следующие замечания:

1. При моделировании среды распространения сигналов Р- и L- диапазонов для спутниковых радиолиний автор рассматривает в качестве значимых характеристики ионосферной плазмы и атмосферы с влагосодержанием (туманом). При этом в работе дан детальный анализ стационарности спутниковых ионосферных радиолиний, необходимой для разработки систем синхронизации, и получены численные оценки времени стационарности (до 100-200 мс). Однако для тропосферной части характеристика стационарности также является важной, но этот параметр в работе не исследуется.

2. При рассмотрении анизотропной модели ионосферной плазмы характеристики сигналов рассмотрены для двух ситуаций: поперечного и продольного распространения, и двух типов волн – обыкновенной и необыкновенной. В реальных условия будет иметь место промежуточная ситуация с меняющимся по трассе углом между магнитным полем и направлением распространения волны. В работе не предложен вариант адаптации используемых алгоритмов для такой, более реальной ситуации.

Кроме того, в магнитоактивной ионосферной плазме имеет место эффект поляризационных замираний, который в работе не рассмотрен.

3. В главе 4 при описании метода адаптивной обработки сигналов с искажениями с использование корректирующих фильтров приведена блок-схема, реализующая синтез фильтра с инверсным коэффициентом передачи по отношению к фильтру среды распространения. Анализ и описание данной схемы

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,
профессор, проректор по научной работе
Автономной некоммерческой организации
высшего образования
«Российский новый университет»

Палкин Евгений Алексеевич

Служебный адрес:

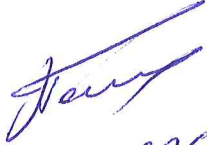
105005, г. Москва, ул. Радио, д. 22
тел. +7 (495) 223 40 70

Контактные данные:

тел.: (916) 113-43-69, e-mail: palkin@rosnou.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация на соискание степени кандидата физико-математических наук: 01.04.03 – Радиофизика.

Я, Палкин Евгений Алексеевич, даю своё согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.


26.03.2026 г.

Перечень работ оппонента, коррелирующих с тематикой диссертации:

- Лукин Д.С., Палкин Е.А. Численный канонический метод в задачах дифракции и распространения электромагнитных волн в неоднородных средах. М.: МФТИ, 1982. 159 с.
 - Крюковский А.С., Палкин Е.А., Растягаев Д.В. Применение расширенной бихарактеристической системы Лукина и волновой теории катастроф в задачах дифракции и распространения радиоволн (памяти Д.С. Лукина). Труды xxix Всероссийской открытой научной конференции. Казань, 2025. Стр. 42-45.
 - Крюковский А.С., Лукин Д.С., Михалева Е.В., Палкин Е.А., Растягаев Д.В. Математическое моделирование влияния неоднородностей ионосферы Земли на распространение электромагнитных волн. // Радиотехника и электроника. 2024. т.69. №6. стр. 501-512.
- Палкин Е.А., Петрович А.А. Особенности асимптотического решения в форме канонического оператора Маслова для задачи о критическом отражении радиоволн от неоднородного ионосферного слоя. Сборник трудов конференции Всероссийские открытые Армандовские чтения. Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн». Муром, 28–30 июня 2022 год. стр. 81-91.