



ОТЗЫВ

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

Тематика диссертационной работы Батанова В. В. связана с развитием теории передачи дискретных сообщений по спутниковым радиопередачами с частотной и временной дисперсиями с использованием частотно-эффективных цифровых сигналов (в диссертационной работе дополнительное название - информационно-емкие сигналы). Рассматриваемые цифровые сигналы имеют различные типы манипуляции - цифровые сигналы с многопозиционной фазовой, квадратурно-амплитудной и амплитудно-фазовой манипуляцией. По отношению к цифровым сигналам с двоичной фазовой манипуляцией (ФМ-2) эти сигналы имеют сложные «созвездия», более плотные в двумерном пространстве.

Актуальность задач, решаемых в работе, обусловлена существенной подверженностью искажающему влиянию сред распространения для данных цифровых сигналов, в частности, околосредней ионосферы. Суть искажений - случайные изменения комплексных огибающих цифровых сигналов за счет частотной дисперсии среды распространения (зависимость фазовой скорости от частоты) и за счет временной дисперсии (из-за многолучевости распространения сигналов до приемного устройства). Эти искажения являются причиной возникновения интерференционных межсимвольных помех в дополнение к тепловым аддитивным канальным шумам, что обуславливает существенные энергетические потери по отношению к распространению в свободном пространстве вплоть до разрушения функционирования информационных систем при увеличении частотной полосы. Поскольку мощность межсимвольных помех зависит от мощности излучаемых сигналов компенсировать искажающее влияние среды распространения путем увеличения мощности передающего устройства не удастся.

Научную новизну диссертационной работы составляют следующие полученные результаты при решении задач по исследованию искажающего влияния среды распространения (рассматривается околосредняя ионосфера и радиопередачи с туманом), по количественной оценке, искажений, по предлагаемым методам снижения искажающего влияния рассматриваемых сред, по экспериментальному исследованию их характеристик.

- разработаны модели спутниковых радиопередач, включающие околосреднюю ионосферу (изотропные и анизотропные спутниковые ионосферные радиопередачи с частотной дисперсией и многолучевостью распространения сигналов) и радиопередачу с туманом, обладающим свойством частотной дисперсии;

- с использованием этих моделей разработаны методы представления искажений цифровых сигналов при их распространении по рассматриваемым физическим средам

(во временной и частотной областях): искажающее влияние сред в виде линейной фильтрации цифровых сигналов, комплексные коэффициенты передачи фильтра определяются характеристиками сред распространения и геометрией радиолиний распространения, включая явление рефракции для ионосферных спутниковых радиолиний. С использованием разработанных представлений вычислены оценки энергетических потерь при приеме и обнаружении сигналов по отношению к распространению в свободном пространстве. Показано, что при определенных условиях распространения цифровых сигналов при увеличении их информационной емкости и расширении частотной полосы радиолиний наблюдаются энергетические потери до 10 дБ и более вплоть до нарушения штатной работы информационных систем;

- проведен анализ спутниковых ионосферных радиолиний со свойством многолучевости распространения сигналов из-за отражений, рассеяний на ионосферных неоднородностях, порождающей замирания сигналов на входе приемных устройств. Для таких радиолиний даны оценки временной стационарности радиолиний, которые необходимы для корректного выполнения корреляционного приема, а также произведено оценивание энергетических потерь при приеме по отношению к распространению в свободном пространстве;

- предложены методы снижения искажающего влияния цифровых спутниковых радиолиний с частотной и временной дисперсией, основанные на методах отождествления радиолиний с использованием пилот-сигналов, без использования пилот-сигналов, с использованием глобальных моделей ионосферы (8-ми параметрическая модель Клобушара). Один из предложенных методов основан на использовании разработанного в диссертационной работе посимвольного приема сигнальных конструкций на основе информационно-емких цифровых сигналов и корректирующего кодирования в недвоичных полях Галуа порядка, определяемого объемом сигнальных «созвездий»;

- выполнено экспериментальное исследование ионосферных спутниковых радиолиний P/L - частотных диапазонов. Основу разработанной экспериментальной установки, выполняющей роль передатчика/приемника, составляет программируемое радио. Экспериментальное исследование выполнено с использованием среднеорбитальных спутников-ретрансляторов в составе международной системы Коспас/Сарсат. В результате исследований произведено оценивание диапазона амплитудных замираний до 11 дБ для совместной радиолинии P (канал вверх)/ L (канал вниз) и нормальной ионосферы средних широт России.

Достоверность выводов, сделанных в работе, обусловлена тем, что они получены с использованием методов теории спутниковых радиолиний, теории распространения радиоволн, теории вероятности и математической статистики, теории отождествления радиолиний, а также подтверждается согласованностью полученных теоретических результатов и результатов математического моделирования разработанных методов и алгоритмов с известными в литературе результатами, согласованностью экспериментальных исследований с результатами теоретического анализа.

Практическая значимость работы определяется их направленностью на решение задач разработки методов помехоустойчивой передачи информации по спутниковым радиолиниям, искажающим информационно-емкие сигналы при распространении, что приводит к энергетическим потерям по отношению к распространению в свободном

пространстве вплоть до возможного нарушения работы спутниковых информационных систем. Совокупность полученных результатов создала основу для разработки высокоскоростной передачи информации с использованием класса информативно-емких цифровых сигналов.

Научные статьи, составляющие защищаемые положения диссертационной работы, опубликованы в 25 статьях в рецензируемых журналах, из них 10 статей из списка Web of Science и Scopus,

Результаты диссертации использованы при выполнении ряда составных частей опытно-конструкторских работ. Исследования по тематике диссертации поддержаны грантами РФФИ (№16-07-00746, №20-07-00525).

Работа состоит из введения, 5 Глав, Заключения, списка литературы и четырех приложений. содержит 157 страниц, включая 59 рисунков и иллюстрации, 13 таблиц и 151 ссылок на источники.

Замечания по диссертационной работе.

1. В работе приведено описание разработанной модели с туманом и даны результаты исследований искажений цифровых сигналов при распространении с использованием этой модели. Однако это частная модель, радиолинии с дождем, с облаками в работе не рассматривались, хотя они также являются важными для практических приложений и теоретического исследования.

2. Разработанная модель радиолинии с туманом включает в качестве параметров несущую частоту, водность, температуру, геометрию радиолинии (высота, угол места). В диссертации приведены вычисления модели с вариацией этих параметров за исключением температуры, было бы полезно дать анализ влияния этого параметра на вероятностные характеристики приема цифровых сигналов.

3. В диссертационной работе даны результаты оценивания временной стационарности спутниковых ионосферных радиолиний с временной дисперсией (многолучевостью распространения сигналов на входе приемного устройства). Вместе с тем, не менее важен параметр частотной стационарности, то есть определение частотного разнесения, при котором сигналы статистически независимы.

4. В работе приведена разработанная модель распространения по ионосферной анизотропной модели с учетом влияния магнитного поля Земли, представляющая двухлучевое распространение, и приведены результаты анализа искажений сигналов по составляющим лучам. Полезно было бы оценить влияние результирующей суммы искаженных сигналов на входе приемного устройства на вероятностные характеристики приема цифровых сигналов.

Указанные замечания не снижают значимости полученных научных результатов и не влияют на положительную оценку диссертационной работы.

Считаю, что диссертационная работа Батанова В.В. по результатам, новизне, научной и практической значимости представляет законченный научный труд. Постановка задачи, изложение материала по их решению, результирующие выводы в заключении - логичные. Используемые допущения и ограничения физически обоснованы. Математический аппарат соответствует сложности решаемой задачи и использован корректно. Значимость полученных результатов подтверждается публикациями в журналах с высоким индексом цитирования.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

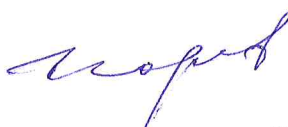
Диссертационная работа Батанова Виталия Викторовича «Развитие теории передачи цифровых сигналов по спутниковым радиолиниям с частотной и временной дисперсией», соответствует паспорту специальности 1.3.4 - Радиофизика.

По полученным результатам, их новизне и научной и практической значимости диссертация удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» № 842 от 24.09.2023 г.), а ее автор Батанов Виталий Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 Радиофизика.

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник научно-технического центра комплексов связи АО «РИМР», доктор технических наук, профессор

«24 марта 2026 г.



Егоров В.В.

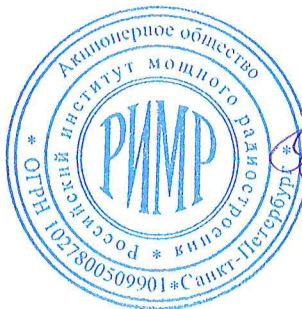
Егоров Владимир Викторович д.т.н. по специальности 20.02.12.

Акционерное общество «Российский институт мощного радиостроения» (АО «РИМР»)

Тел.: 8(812)328-45-50 (доб. 807)

E-mail: egorovrimr@mail.ru

Подпись Егорова В.В. заверяю
Ученый секретарь АО «РИМР»



Андреева Т.С.

Исполнитель:

Тимофеев А.Е., т. +7 (812) 328-45-50, доб. 536

Список трудов Егорова Владимира Викторовича

за последние пять лет

№ п/п	Наименование работы, ее вид	Форма работы	Выходные данные	Объем в п.л. или с.	Соавторы
1	«Регуляризация рядов Фурье с приближенными коэффициентами для задачи оценки функции плотности распределения вероятностей фаз». Статья.	Печатн	Сиб. журн. вычисл. математики / РАН. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 2022. – Т. 25. – № 2. – С. 157-171. (Scopus, №178 в Перечне отечественных изданий, входящих в МРБД от 30.12.2022)	<u>1,87</u> п.л 0,94 п.л	Маслаков М.Л.
2	«Синтез последовательностей с идеальными автокорреляционным и свойствами». Статья.	Печатн	Автоматика на транспорте. – 2022. – Т.8. №1. – С.78-89. (№ 181 в Перечне ВАК от 01.07.2025)	<u>1,50</u> п.л 0,5п. л	Лобов С.А., Ходаковский В.А.
3	«Рекуррентная оценка плотности вероятности фаз модулированных сигналов». Статья.	Печатн	Радиотехника и электроника. – 2023. – Т. 68. – № 5. – С. 432-437. (Scopus, №121 в Перечне отечественных изданий, входящих в МРБД от 12.04.2022)		Маслаков М.Л.
4	«Вычисление функции плотности распределения вероятности фаз на основе решения обратной задачи». Статья.	Печатн	Сиб. журн. вычисл. математики. – 2023. – Т. 26. – № 3. – С. 287-300. (Scopus, №178 в Перечне отечественных изданий, входящих в МРБД от 30.12.2022)		Маслаков М.Л.

5	«Некоторые вопросы применения адаптивного метода декомпозиции нестационарных сигналов на эмпирические моды». Статья.	Печатн	Цифровая обработка сигналов. – 2023. – № 3. – С. 52-58. (№ 3027 в Перечне ВАК от 01.07.2025)	<u>0,87</u> п.л. 0,43 п.л.	Клионский Д.М.
6	«Повышение вероятности доведения ширококвещательных сообщений ГМССБ при передаче в канале КВ-диапазона в условиях замираний». Статья.	Печатн	Труды учебных заведений связи. – 2024. – № 1. – С. 58-64. (№2834 в Перечне ВАК от 01.07.2025)	<u>0,87</u> <u>5п.л</u> <u>0,43</u>	Маслаков М.Л.
7	«Применение гармонического вейвлет-преобразования при обработке OFDM-сигналов в нестационарном радиоканале». Статья.	Печатн	Цифровая обработка сигналов. 2024. №2. – С. 57-63. (№ 3027 в Перечне ВАК от 01.07.2025)	<u>0,87</u> <u>5п.л</u> <u>0,43</u>	Клионский Д.М.
8	«Метод передачи команд управления в синхронных системах связи ВМФ по коротковолновому радиоканалу». Статья.	Печатн	Морская радиоэлектроника. – №4 – 2024. – С. 36-39. (№1798 в Перечне ВАК от 01.07.2025)	<u>0,5п.</u> <u>л</u> <u>0,2</u>	Катанович А.А., Рочев А.М.
9	«Анализ и обработка OFDM-сигналов в условиях шума с использованием вейвлет-преобразования при временной синхронизации». Статья.	Печатн	Известия вузов России. Радиоэлектроника. – 2025. Т. 28, № 1. – С. 65–76. (№1274 в Перечне ВАК от 01.07.2025)	<u>1,5п.</u> <u>л</u> <u>0,75</u>	Клионский Д.М.

10	«Декомпозиция на эмпирические моды: тематический обзор (Часть 1)». Статья.	Печатн	Цифровая обработка сигналов. – 2025. №1. – С. 47-58. (№ 3027 в Перечне ВАК от 01.07.2025)		Клионский Д.М.
11	«Алгоритм вероятностно-оптимального сложения некогерентных сигналов в условиях замираний». Статья.	Печатн	Цифровая обработка сигналов. – 2025. № 2.– С.21-26. (№ 3027 в Перечне ВАК от 01.07.2025)	0,75 <u>п.л.</u> 0,37 <u>п.л.</u>	Маслаков М.Л.
12	«Декомпозиция на эмпирические моды: тематический обзор (часть 2)». Статья.	Печатн	Цифровая обработка сигналов. – 2025. № 2. – С.40-49. (№ 3027 в Перечне ВАК от 01.07.2025)	1,25 <u>п.л.</u> 0,62 <u>п.л.</u>	Клионский М.Л.

« » _____ 2026 г.

Подпись Егорова В.В. заверяю
Ученый секретарь АО «РИМР»



Егоров В.В.

Андреева Т.С.