

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО  
РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ  
КОММУНИКАЦИЙ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ордена Трудового Красного Знамени  
федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И  
ИНФОРМАТИКИ»  
(МТУСИ)



Экз. № 1  
MINISTRY OF DIGITAL  
DEVELOPMENT,  
COMMUNICATIONS  
AND MASS MEDIA OF  
THE RUSSIAN FEDERATION

MOSCOW TECHNICAL  
UNIVERSITY  
OF COMMUNICATIONS  
AND INFORMATICS  
(MTUCI)

ул. Авиамоторная, д. 8а, Москва, 111024,  
www.mtuci.ru; мтуси.рф; e-mail: kanc@mtuci.ru  
Телефон (495) 957-77-31; факс (495) 957-77-36

ОГРН 1027700117191; ИНН/КПП 7722000820/772201001; ОКПО 01179952;  
ОКВЭД 85.22, 46.19, 58.19, 61.10, 68.32, 72.19, 85.21, 85.23, 85.42.9, 71.20, 33.13, 26.60 ; ОКТМО 45388000

\_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Ректор МТУСИ

оцент

С.Д. Ерохин

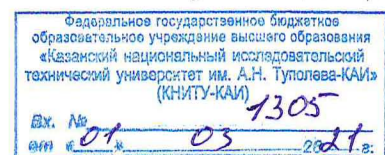
2021

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу **Кислицына Алексея Александровича «Комплекс адаптивной компенсации энергетических потерь сигналов из-за частотной дисперсии в трансionoсферных радиоканалах систем спутниковой связи»**, представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

### Актуальность темы диссертационной работы

В настоящее время, когда во всем мире развивается глобальная информационная структура, перспективными из числа средств и методов радиосвязи являются системы спутниковой связи, которые для большинства стран стали существенной частью инфраструктуры телекоммуникаций. Для



нашей страны, с большими территориями труднодоступных регионов, в которых слабо развиты наземные телекоммуникационные системы, отрасль спутниковой связи имеет особое значение. А именно, технология спутниковой связи для ранее недоступных районов может обеспечить доступ к интернет ресурсам, мобильной связи, и такая практика уже существует.

Стоит отметить и основные тенденции развития систем спутниковой связи, которые направлены на качественное функционирование и достижения эффективных показателей, таких как: высокая скорость передачи сообщений по каналам связи, помехоустойчивость, низкие энергетические потери сигналов, уменьшение используемой мощности и др. Для этого существует необходимость в реализации и использовании широкополосных спутниковых систем, но при этом имеются существенные негативные факторы, которые нарушают оптимальную работу таких систем и препятствуют передаче информации по каналам с высокой пропускной способностью. Одним из таких факторов является частотная дисперсия среды распространения. Наличие эффекта частотной дисперсии в трансферных радиоканалах при использовании существенно широких полос частот приводит к возникновению амплитудных, частотных и фазовых искажений переданного сигнала. Тогда существует два варианта развития событий: либо в системах связи использовать предельную полосу частот, для которых частотная дисперсия не критична, либо решать задачу её устранения. Именно второй задаче, посвященной созданию адаптивного комплекса компенсации энергетических потерь путём преодоления частотной дисперсии среды, позволяющего существенно расширить полосу частот трансферного радиоканала, посвящена диссертационная работа.

С этой позиции, а также учитывая высокую важность использования трансферных широкополосных систем с сохранением высоких информационно-технических показателей тема диссертации Кислицына А. А. является актуальной.

## Оценка структуры и содержания работы

При анализе структуры и содержания диссертации прослеживается чёткая последовательность логических действий для достижения поставленной цели и задач исследования.

Во **введении** дана общая характеристика работы, в которой достаточно ясно характеризуются актуальность и степень разработанности темы исследования, цель, научные задачи, объект и предмет исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, реализация результатов работы, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, достоверность, апробация и личный вклад автора.

В **первой главе** автор представил анализ проблем дисперсионных искажений системных характеристик широкополосных транссионсферных радиоканалов связи при расширении их полосы частот.

**Вторая глава** посвящена теоретическому обоснованию и предпосылкам для создания комплекса адаптивной компенсации энергетических потерь в системах спутниковой связи из-за дисперсии при расширении полосы частот радиоканала сверх его полосы когерентности.

В **третьей главе** представлен синтез методов и реализующих их алгоритмов для адаптивной компенсации потерь энергии сигнала в системах спутниковой связи из-за дисперсии на основе данных глобальных навигационных спутниковых систем и описывается их программная реализация.

В **четвёртой главе** проведена верификация разработанных методов и алгоритмов, представлены экспериментальные результаты исследования вариаций параметров нелинейной частотной дисперсии в транссионсферных радиоканалах, решены сетевые задачи диагностики транссионсферных каналов радиосвязи, изучена эффективность при расширении полосы частот транссионсферного радиоканала систем спутниковой связи в случае компенсации частотной дисперсии.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Каждая глава содержит важные результаты научных исследований с привлечением большого числа иллюстративного материала и завершается аргументированными выводами.

Основное содержание работы достаточно полно отражает **автореферат** диссертации.

### **Научная новизна полученных результатов**

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Развита математическая модель частотной дисперсии, отличающаяся учётом нелинейной дисперсии третьего порядка и позволяющая оценивать влияние дисперсионных искажений на широкополосные системы спутниковой связи, работающие в области пониженных частот (близких к критической частоте ионосферы), ширина полосы частот которых превышает полосу когерентности трансionoсферного радиоканала.
2. Создан метод и реализующие его алгоритмы мониторинга системных характеристик изменчивых радиоканалов связи для преодоления энергетических потерь широкополосных сигналов, отличающиеся учётом особенностей трансionoсферного распространения связного сигнала на трассе спутник–Земля, позволяющие по результатам обработки сигналов сети референчных станций ГНСС определять текущие параметры дисперсии изменчивого радиоканала по истечению периода деградации радиоканала.
3. Создан метод и реализующие его алгоритмы экспериментальной оценки предельной ширины полосы частот трансionoсферного радиоканала по данным ГНСС, отличающиеся возможностью проведения сетевого мониторинга в различных регионах на основе электронно-диагностических карт в допустимом пространственно-временном масштабе, позволяющие устанавливать необходимую оптимальную ширину полосы частот ССС.
4. Создан метод и реализующие его алгоритмы адаптивного компенсирования энергетических потерь сигналов ССС, отличающиеся

своевременной актуализацией параметров корректора к текущим значениям дисперсии среды в режиме обучения по истечению времени деградации канала, позволяющие преодолевать негативный эффект частотной дисперсии при существенном расширении полосы частот.

Научная новизна результатов и идей диссертационного исследования подтверждается публикациями в ведущих российских и зарубежных изданиях, а также внедренными результатами при выполнении НИОКР в рамках проектной части государственного задания Минобрнауки РФ, грантов Российского научного фонда и Российского фонда фундаментальных исследований, о чем удостоверяют соответствующие акты.

### **Достоверность и обоснованность полученных результатов**

Достоверность результатов исследования основана на использовании корректного математического аппарата, современных измерительных средств и апробированных методик. Высокая степень достоверности подтверждается согласованием результатов моделирования и экспериментальных исследований, непротиворечивостью представленных научных результатов с выводами учёных в данной области знаний.

Важно отметить, что работу характеризуют положительные решения экспертиз ФИПС с признанием трёх свидетельств программ для ЭВМ и одной базой данных, по которым автором были выполнены экспериментальные исследования, что также демонстрирует высокую достоверность и обоснованность полученных результатов.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором диссертации**

Результаты научных исследований, полученные в диссертационной работе, позволяют судить о том, что работа имеет теоретическую и практическую ценность, отличается новыми научными подходами к решению проблемы повышения эффективных показателей в системах связи. При этом ценность представленной работы для теории и практики заключается в том, что на основе предложенных методов и алгоритмов



может быть повышена эффективность функционирования систем спутниковой связи с предельно широкими полосами частот трансионосферных радиоканалов и улучшены информационно-технические показатели, такие как пропускная способность и импульсная мощность сигнала.

Теоретическое значение результатов заключается в развитии новых подходов, методов и алгоритмов для исследования системных характеристик трансионосферного радиоканала, его мониторинга, получении аналитических выражений для полосы когерентности, предельной полосы канала в условиях частотной дисперсии, энергетических потерь, времени жизни радиоканала и обосновании эффективности полученных показателей систем спутниковой связи после устранения эффекта частотной дисперсии среды. Кроме того, теоретическая и практическая значимость подтверждается также актом о внедрении результатов в учебный процесс вуза.

Практическая значимость заключается в создании программно-аппаратного комплекса для устранения энергетических потерь из-за частотной дисперсии в трансионосферном радиоканале, совмещаемого с системами спутниковой связи на основе метода диагностики сигналами глобальных навигационных спутниковых систем. По экспериментальным результатам верификации метода установлено, что энергетический выигрыш для широкополосных сигналов систем спутниковой связи составил 1,6...9,6 дБ, при этом с компенсацией дисперсионных искажений достигается увеличение пропускной способности каналов ССС в 2,5...7 раз.

Практическую значимость работы характеризует зарегистрированная в Роспатенте база данных параметров систем и рекомендаций по выбору оптимальной полосы частот для устойчивой спутниковой связи с учетом геофизического фактора.

#### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Как уже отмечалось, основные научные результаты диссертации нашли свое отражение в публикациях автора, свидетельствах о регистрации

программ и базы данных для ЭВМ, а также при участии автора в научно-исследовательских работах в рамках проектной части государственного задания Минобрнауки РФ, грантов Российского научного фонда и Российского фонда фундаментальных исследований. Полученные результаты являются ценными и перспективными и могут использоваться системами, использующими в качестве канала передачи информации трансферный радиоканал, с минимальными энергетическими потерями в сигнале-носителе и высокой пропускной способностью. Использование глобальных навигационных систем для диагностики радиоканала позволило получить достоверные данные, на основе которых приняты соответствующие рекомендации по использованию необходимого частотного ресурса в системах спутниковой связи.

### **Замечания по диссертационной работе**

В качестве замечаний по диссертационной работе можно отметить:

1. Основным критерием при расчёте энергетических потерь является превышение полосы канала над полосой когерентности. Однако не сказано при каком минимальном значении коэффициента дисперсности начинает проявляться эффект частотной дисперсии, а следовательно, и уменьшение энергетической мощности сигнала.

2. При проведении экспериментов, в частности времени жизни радиоканала, не рассмотрен вопрос обоснования выбора полосы частот канала 500 МГц.

3. Во второй главе в разделе 2.3 нет пояснения к выбору начальной границы для области определения профиля ионосферы 70 км при решении задачи учёта вклада нелинейных составляющих частотной дисперсии и для увеличения шага до 50 км, начиная с высоты 500 км.

4. Вычислительный эксперимент определения интегралов от профиля электронной концентрации для расчёта соответствующих коэффициентов дисперсии проведен для 2015 года. Хотелось бы уточнить, необходима ли корректировка математической модели для других периодов измерений.

5. При рассмотрении алгоритма построения электронных карт полос когерентности транссионосферного радиоканала в работе не уточняется временной период обновления данных полос когерентности.

6. В комплексном алгоритме обработки информации для оценки потерь сигнала в транссионосферном радиоканале (рис. 3.20) присутствует блок «Формирование ЧХ с учётом нелинейной фазы», однако пояснения к понятию «нелинейная фаза» в работе не представлено.

7. В работе по тексту присутствуют нерасшифрованные сокращения, например: в параграфе 2.4 на стр. 65 (ЧХ); стр. 94 в алгоритме – ТИЗ, БПФ.

### **Соответствие содержания диссертации заявленной специальности**

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций. Представленные в ней результаты соответствуют области исследований в части №1 «Исследование новых физических процессов и явлений, позволяющих повысить эффективность работы сетей, систем и устройств телекоммуникаций», №11 «Разработка научно-технических основ технологии создания сетей, систем и устройств телекоммуникаций и обеспечения их эффективного функционирования», №14 «Разработка методов исследования, моделирования и проектирования сетей, систем и устройств телекоммуникаций» паспорта специальности.

### **Заключение по диссертационной работе**

Считаем, что отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки представленной диссертационной работы, а также её научную и практическую ценность.

Диссертационная работа Кислицына А.А. посвящена актуальной теме и является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, чётко прослеживается логическая цепочка действий грамотного изложения методов, алгоритмов, выводов и результатов научного исследования.



Поставленная цель, научные задачи, положения, выносимые на защиту, основное содержание и результаты работы соответствуют паспорту специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Автореферат в полном объёме отражает основное содержание работы и соответствует требованиям, предъявляемым ВАК.

Из всего перечисленного, можно констатировать, что диссертационная работа Кислицына А.А. удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, изложенным в п. 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Кислицын Алексей Александрович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Материалы диссертации и отзыв на неё заслушаны и обсуждены на НТС МТУСИ, протокол № 3 от 11 февраля 2021 г.

Отзыв составлен:

Кандидат технических наук, доцент,  
Лобов Евгений Михайлович,  
доцент кафедры «Радиотехнические системы»,  
ордена Трудового Красного Знамени  
федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения  
«Московский технический университет связи и информатики»

Сведения о ведущей организации  
Наименование: ордена Трудового Красного Знамени  
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский технический университет связи и информатики»  
Юридический адрес: 111024, г. Москва, улица Авиамоторная, 8а  
Телефон: +7(495)957-79-17, +7(495)673-51-39  
E-mail: mtuci@mtuci.ru