



МИНИСТЕРСТВО
ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«Ордена Трудового Красного Знамени
Российский научно-исследовательский
институт радио имени М.И. Кривошеева»
(ФГУП НИИР)

Казакова ул., д. 16, Москва, 105064
Телефон: (495) 647-18-30, для справок: (499) 261-63-70,
Факс: (499) 261-00-90, E-mail: info@niir.ru
<http://www.niir.ru>
ОКПО 01181481, ОГРН 1027700120766
ИНН/КПП 7709025230/770901001

УТВЕРЖДАЮ

Исполняющий обязанности

Генерального директора

ФГУП НИИР



М.Ю. Сподобаев

2021 г.

№ _____

На № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации - Федерального государственного унитарного предприятия «Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио имени М.И. Кривошеева» на диссертацию Лобовой Елизаветы Олеговны на тему «Алгоритмы компенсации дисперсионных искажений широкополосных сигналов на базе банка цифровых фильтров», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

1. Актуальность темы исследования

В настоящее время вновь наблюдается повышение интереса к радиосвязи в декаметровом диапазоне. Высокая оперативность организации радиолинии делают этот тип радиосвязи одним из наиболее важных видов резервной связи. Также, радиосвязь в декаметровом диапазоне активно применяется для организации связи с объектами расположенными в удаленных и труднодоступных регионах, например в арктической зоне.

Основное направление развитие систем декаметровой радиосвязи – повышение скорости передачи информации, в том числе посредством расширения полосы рабочих частот радиосигнала. Однако так называемая частотная дисперсия ионосферного канала накладывает существенное ограничение на использование широ-

Вход. № 52/21
«30» 04 2021 г.
подпись

кополосных сигналов. Сигналы отдельных составляющих спектра широкополосного радиосигнала, отражаясь от разных областей ионосферы, приобретают различные задержки распространения, т.е. рассеиваются или диспергируют. В результате форма исходного радиосигнала сильно искажается, что влечёт за собой потери в качестве его приёма. Таким образом, задача компенсации дисперсионных искажений является актуальной для техники обеспечения надежной декаметрового радиосвязи.

В последнее время, для обработки сигналов декаметрового диапазона активно применяются быстродействующие цифровые банки фильтров. Например, они часто применяются для режекции узкополосных помех и определения спектральной плотности мощности шума в задачах оценивания радиоканала. Поэтому, применение в составе компенсатора дисперсионных искажений банка цифровых фильтров является решением, эффективным для сокращения вычислительных затрат.

2. Структура и основные результаты работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы и одного приложения.

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 **первом** разделе диссертации рассмотрены основные особенности распространения широкополосных радиосигналов по ионосферному каналу, выбрана модель ионосферного канала, рассмотрены искажения сигналов из-за частотной дисперсии, и влияние этих искажений на качество приёма сигналов. Также рассмотрены известные методы компенсации дисперсионных искажений.

Второй раздел диссертации посвящён рассмотрению методов проектирования банков цифровых фильтров, вычислительно эффективной реализации банка цифровых фильтров, методов синтеза фильтров-прототипов и их сравнение.

В **третьем** разделе представлены разработанные автором алгоритм и устройство компенсации дисперсионных искажений широкополосных сигналов декаметрового диапазона на основе банка цифровых фильтров и их вычислительно эффективная реализация. Идея алгоритма состоит в том, чтобы «выровнять» задержку и

устранить фазовый сдвиг между различными спектральными поддиапазонами сигнала, что приводит к внесению в систему банка анализа-синтеза дополнительной линии задержки. Множитель, устраняющий фазовый сдвиг учитывается при расчёте фильтров синтеза банка фильтров. Вычислительно эффективный алгоритм компенсации дисперсионных искажений предполагает использование равномерного банка фильтров в форме полифазной структуры. Системы анализа и синтеза банка фильтров при этом реализованы на основе модулей БПФ и набора полифазных компонент исходного фильтра-прототипа. При использовании вычислительно эффективной реализации алгоритма и устройства компенсации дисперсионных искажений групповой задержки осуществляется на низкой частоте дискретизации. Поэтому в этом случае в устройство компенсации кроме линии задержки внедрена система КИХ фильтров, устраняющих дробную задержку, посредством переоцифровки сигнала с помощью интерполяционного полинома Лагранжа. Были получены аналитические формулы для расчёта отношения сигнал-шум на выходе системы канал+компенсатор дисперсионных искажений и согласованного фильтра. Показано, что выигрыш при компенсации дисперсионных искажений в отношении сигнал-шум достигает 10 дБ для сигнала с равномерным спектром относительно приёма искажённого сигнала. Применение вычислительно эффективной реализации алгоритма и устройства компенсации дисперсионных искажений позволяет сократить количество арифметических операций в 7 раз относительно алгоритма и устройства компенсации на прямой схеме банка цифровых фильтров. Также представлена модификация алгоритма и устройства компенсации дисперсионных искажений для банка цифровых фильтров с частичным восстановлением сигнала.

В **четвёртом** разделе автором рассматриваются количественные показатели качества устройства компенсации на основе равномерного банка цифровых фильтров, а также устанавливается связь этих показателей с параметрами устройства. В разделе получены с помощью расчётов по методу наименьших квадратов выражения, позволяющие рассчитать количество фильтров в составе банка цифровых фильтров достаточное для достижения заданных уровней среднеквадратического или минимаксного отклонения фазо-частотной характеристики от постоянного значения. Было проведено сравнение предложенного автором алгоритма с классическим фильтром-компенсатором на основе согласованной фильтрации. Сравнение

показало, что разработанный соискателем алгоритм компенсации дисперсионных искажений требует в 1.5-2 раза меньше вычислительных затрат.

Пятый раздел посвящен результатам натурного эксперимента по обработке записей сигналов из эфира. В рамках эксперимента демонстрировалась возможность одновременного применения сразу трех алгоритмов субполосной обработки широкополосных сигналов, а именно: режекция узкополосных помех, сжатие/восстановление сигнала, компенсация дисперсионных искажений. Результаты эксперимента по компенсации частотной дисперсии показали, что при внедрении алгоритма компенсации частотной дисперсии выигрыш существенен (максимальный 3.9 дБ и минимальный 1.6 дБ для различных записей сигнала с прямоугольной огибающей).

В **заключении** сформулированы основные научные и практические результаты диссертационной работы.

3. Научная новизна работы

Научная новизна работы заключается в:

- **новом** алгоритме компенсации дисперсионных искажений широкополосных сигналов декаметрового диапазона, использующем методы субполосной обработки сигналов, компенсаторы фазовых сдвигов и компенсаторы задержек на основе сдвига отсчетов сигнала в каждой субполосе;

- **новом вычислительно эффективном алгоритме** компенсации дисперсионных искажений широкополосных сигналов декаметрового диапазона, использующем блочные преобразования для разделения спектра сигнала на равномерные субполосы, компенсаторы фазовых сдвигов и компенсаторы задержек на основе полиномиальных интерполяторов в каждой субполосе;

- **новом** устройстве компенсации дисперсионных искажений широкополосных сигналов декаметрового диапазона, состоящим из банка цифровых фильтров, цифровых линий задержки и фазовращателей. Устройство позволяет одновременно осуществлять субполосную обработку и компенсацию дисперсионных искажений сигнала;

- **новом** устройстве компенсации дисперсионных искажений широкополосных сигналов декаметрового диапазона, состоящим из банка цифровых фильтров, реализованного в форме полифазной структуры, цифровых линий задержки, фазовра-

щателей и КИХ-фильтров. Устройство работает на более низкой частоте дискретизации;

- **новых** аналитических выражениях, позволяющих вычислить АЧХ и ФЧХ системы, включающей в себя канал с частотной дисперсией и компенсатор дисперсионных искажений на базе банка цифровых фильтров, отношение сигнал/шум на выходе такой системы при согласованном приёме широкополосных сигналов, выражениях для приближённого расчёта максимального и среднеквадратичного отклонения фазо-частотной характеристики системы, зависящих от числа частотных подканалов, наклона дисперсионной характеристики и полосы пропускания банка фильтров.

4. Практическая ценность результатов диссертационной работы не вызывает сомнений и заключается в том, что разработанные в диссертации математические модели устройств и алгоритмы компенсации дисперсионных искажений на основе банка цифровых фильтров позволяют:

- получить выигрыш при компенсации дисперсионных искажений порядка 10 дБ для сигнала с равномерным спектром и порядка 4 дБ для сигнала с прямоугольной огибающей относительно приёма искажённого сигнала;

- получить выигрыш в количестве затрачиваемых арифметических операций, а именно: предложенный автором компенсатор дисперсионных искажений требует в 1.5-2 раза меньше вычислительных операций, чем классический фильтр-компенсатор.

5. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность проведенных соискателем научных положений, исследований, результатов и выводов подтверждается аргументированностью и доказательностью предложенных алгоритмов и моделей, корректностью применения математического аппарата и согласованностью результатов, полученных с помощью аналитических расчётов, теоретического анализа, имитационного моделирования и натурального эксперимента.

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 05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

8. Апробация результатов работы

Диссертационная работа обсуждалась со специалистами в сфере радиотехники, радиосвязи и телекоммуникаций на международных всероссийских конференциях. Уровень апробации результатов диссертации, а также полнота их отражения в публикациях в отечественных периодических научных изданиях представляются вполне достаточными и удовлетворяют требованиям положения о присуждении ученых степеней. Материалы диссертационной работы были обсуждены на 7 научных конференциях и вошли в состав 2 пленарных докладов. Автор опубликовала результаты своих диссертационных исследований в 4 рецензируемых изданиях ВАК, получила 3 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 высокоскоростных радиолиний декаметрового диапазона, использующих банк цифровых фильтров на приёмной стороне.

10. Замечания по диссертационной работе

1. В тексте диссертации имеются опечатки на страницах (место): 20 (последний абзац); 21 (3 строка сверху); 22 (10 строка снизу); 24 (строки 9 и 13 снизу); 31 (2 строка снизу); 45 (4 строка снизу); 74 (1 строка сверху); 110 (3 строка сверху); 130 (4 строка снизу); 131 (3 строка снизу); 132 (8 строка снизу); 140 (2 строка сверху); 148 (1 и 5 строки снизу); 150 (4 строка снизу), а также в названии рисунка 5.9. В названии первого параметра таблицы 2.4 использовано некорректное понятие.

В тексте автореферата опечатки имеются на страницах 14 (строки 4 сверху и 3 снизу) и 15 (1 строка сверху). На странице автореферата 20 (1 абзац) использовано некорректное понятие «сигнала с алгоритмом компенсации, внедренного...» в ту, или иную схему.

2. Автор рассматривает наклон дисперсионной характеристики s [мкс/МГц] только как постоянный параметр, без учета возможной динамики его изменения, что несколько снижает уровень компенсации относительно потенциально достижимого.

3. В работе не представлены рекомендации по аппаратной реализации предложенных устройств компенсации дисперсионных искажений широкополосных сигналов посредством банка цифровых фильтров, построенных на основе апробированных программных моделей.

11. Общее заключение по работе

Вышеприведённые замечания не снижают ценность и общую положительную оценку выполненного диссертационного исследования. Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, и имеет значение для развития радиотехнических систем. Работа написана на хорошем научном уровне. Автореферат диссертации достаточно полно и корректно отражает содержание исследования. В автореферате четко сформулированы цель исследования, научная задача, 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 4 и 7 паспорта специальности 05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения. Автор диссертации, Лобова Елизавета Олеговна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности 05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное унитарное предприятие «Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио имени М.И. Кривошеева» (ФГУП НИИР).

Адрес: 105064, Россия, г. Москва, ул. Казакова, 16.

Веб-сайт: <http://niir.ru/>.

Тел.: (495) 647-18-30 Факс: (499) 261-00-90.

Адрес электронной почты: info@niir.ru.

Диссертация, автореферат и отзыв на диссертацию обсуждены на заседании научно-технического совета Самарского филиала ФГУП НИИР - СОНИИР (протокол заседания НТС № 3/21 от 12 апреля 2021 г.).

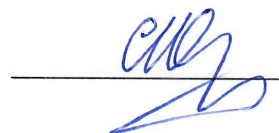
Отзыв подготовили:

Юдин Вячеслав Викторович, доктор технических наук, профессор, 05.12.07 - «Антенны, СВЧ устройства и их технологии», начальник лаборатории, Федеральное государственное унитарное предприятие «Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио имени М.И. Кривошеева» (ФГУП НИИР), Самарский филиал (филиал ФГУП НИИР - СониИР), Россия, 443011, г. Самара, ул. Советской армии, 217, тел.: +7 (846) 933-86-17, e-mail: uvv@soniir.ru.

Маслов Евгений Николаевич, кандидат технических наук, 05.12.13 - «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», ученый секретарь НТС филиала, Федеральное государственное унитарное предприятие «Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио имени М.И. Кривошеева» (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.

Начальник лаборатории филиала

ФГУП НИИР - СониИР, д.т.н., профессор



В.В. Юдин

«12» 04 2021 г.

Ученый секретарь НТС филиала

ФГУП НИИР - СониИР, к.т.н.

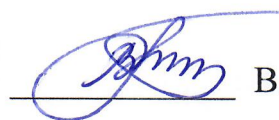


Е.Н. Маслов

«12» 04 2021 г.

Подписи В.В. Юдина, Е.Н. Маслова заверяю

Директор службы персонала ФГУП НИИР



В.А. Тютюнова

«__» _____ 2021 г.