

## ОТЗЫВ

официального оппонента

Даренского Владимира Дмитриевича

на диссертационную работу

Лобовой Елизаветы Олеговны

«Алгоритмы компенсации дисперсионных искажений широкополосных сигналов на базе банка цифровых фильтров», на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

В настоящее время радиосвязь в высокочастотном (ВЧ) диапазоне остается одним из важнейших резервных видов связи. Возможность передачи информации на большие расстояния при невысокой стоимости организации радиолинии является существенным преимуществом ВЧ связи.

Радиосвязь в данном диапазоне используется различными ведомствами Российской Федерации для обеспечения передачи разнородной информации являясь в определенных случаях единственно возможным видом связи.

Сложившейся тенденцией развития ВЧ радиолиний является расширенные полосы, которое открывает возможности для увеличения информационной скорости, а также для применения широкополосных сигналов (ШПС), обеспечивающих повышение помехоустойчивости и надежности связи. Однако при расширении полосы свыше 100 кГц на пути применения ШПС возникают трудности, связанные с необходимостью компенсации дисперсионных искажений (ДИ).

Обнаружение, прием и обработка широкополосных сигналов является ресурсоемким процессом, а необходимость борьбы с ДИ дополнительно усложняет выполняемые процедуры и может выступать в качестве ограничения к использованию ШПС.

Вход. № 51/21  
«30» 04 2021.  
подпись

Существующие компенсаторы дисперсионных искажений, основанные на методах согласованной, обратной или винеровской фильтрации, представляют собой отдельные устройства, что влечет за собой увеличение расхода вычислительного ресурса.

В то же время для задач цифровой обработки сигналов часто используются банки фильтров, к преимуществам которых относится вычислительная эффективность и возможность совместного решения ряда задач в одной вычислительной структуре. Банки цифровых фильтров (БЦФ), например, используются для фильтрации узкополосных помех, эффективного кодирования, оценки спектральной плотности мощности.

Поэтому представляет интерес исследовать возможности реализации компенсатора ДИ на базе банка цифровых фильтров, сократив вычислительные затраты и обеспечив высокое качество компенсации, добиться снятия ограничений на применение ШПС с полосой свыше 100 кГц.

Это определяет **актуальность** и важность выполненного диссертационного исследования, направленного на разработку алгоритмов и устройств компенсации дисперсионных искажений на основе применения банков цифровых фильтров.

### **Научная новизна.**

К числу наиболее важных научных результатов диссертационной работы следует отнести.

1. Предложены 2 алгоритма компенсации дисперсионных искажений широкополосных сигналов в ВЧ диапазоне на основе банка цифровых фильтров. Алгоритмы предполагают использование метода субполосной обработки сигналов, компенсации задержек и фазовых сдвигов. Проведенные исследования позволили обосновать выбор фильтров компенсаторов и их параметров, а также построить вычислительно эффективные схемы их реализации.



2. Предложены два устройства компенсации дисперсионных искажений для широкополосных сигналов ВЧ диапазона имеющие в своем составе БЦФ, цифровые линии задержки и фазовращатели.

При этом второе устройство построено на основе вычислительно эффективной (полифазной) реализации банка фильтров, а также включает КИХ-фильтры, реализующие компенсацию дробной задержки. Это устройство работает на более низкой частоте дискретизации. Проведенные исследования позволили определить параметры линии задержки, фазовращателей, а также КИХ-фильтров.

3. Получены аналитические выражения для вычисления АЧХ и ФЧХ системы, включающей в себя канал с частотной дисперсией и компенсатор дисперсионных искажений, а также отношения сигнал/шум на выходе этой системы при согласованном приеме сигнала. Получены аналитические выражения для приближенного расчета максимального и среднеквадратичного отклонения ФЧХ системы для различных значений числа частотных подканалов, наклона дисперсионной характеристики (ДХ) и полосы пропускания банка фильтров.

Все вышеуказанные результаты являются новыми и получены автором лично.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

В диссертации с использованием результатов многолетних фундаментальных исследований по вопросам распространения широкополосных сигналов в ионосферном канале, выполненных под руководством профессора Иванова В.А. (г. Йошкар-Ола), проведен анализ известных алгоритмов обработки сигналов с полосой расширенной сверх полосы когерентности ионосферного канала и совершенно правильно сделан вывод о том, что сдерживающим фактором к применению ШПС с полосой свыше 100 кГц являются не

только сами по себе дисперсионные искажения, но и вычислительная сложность алгоритмов их компенсации. На основе этого анализа автор формулирует цель исследования, заключающуюся в снижении вычислительной сложности обработки широкополосных сигналов ВЧ диапазона, подверженных дисперсионным искажениям, с использованием БЦФ, относительно известных алгоритмов компенсации, а также получение энергетического выигрыша относительно приема искаженного сигнала.

В ходе подготовки диссертации выполнен большой объем исследовательской работы. Выведены аналитические соотношения, разработана модель, рассмотрены различные вычислительные схемы, оценка линейности ФЧХ производилась не по одному, а по двум критериям минимаксному и среднеквадратическому, поиск минимального числа фильтров в банке и значений их параметров осуществлялся с учетом возможного изменения наклона ДХ.

На основе проведенных диссертационных исследований автор разработал алгоритмы и устройства компенсации дисперсионных искажений, которые позволяют получить энергетический выигрыш относительно приема искаженного сигнала. Применение вычислительно эффективной структуры БЦФ позволяет сократить вычислительные затраты для подсистемы синтеза в 7 раз по сравнению со схемой прямого цифрового синтеза и в 1.5 - 2.0 относительно алгоритма компенсации на основе фильтра-компенсатора.

Эффективность предложенных алгоритмов и устройств подтверждена экспериментальными исследованиями, которые были проведены автором с использованием записей сигналов, передаваемых на реальной радиотрассе. Эксперимент подтвердил, что энергетический выигрыш при компенсации предложенным автором методом не менее выигрыша, который был получен при использовании известного решения базирующего на применении фильтра-компенсатора.

При проведении исследований автор использовал известные теоретические методы исследования различных дисциплин, такие как методы цифровой



обработки сигналов, теории статистической радиотехники, теории вероятностей и математической статистики, имитационного компьютерного моделирования.

Все полученные автором результаты правомерны и основаны на грамотном применении методов цифровой обработки сигналов, статистической радиотехники и математической статистики.

Обоснованность полученных научных положений, выводов и рекомендации не вызывает сомнений.

**Теоретическая значимость** диссертационной работы заключается в разработанных автором **новых** математических моделях устройств и алгоритмов приема искаженных частотной дисперсией ионосферы широкополосных сигналов ВЧ диапазона с компенсацией дисперсионных искажений. Также теоретическая значимость диссертации заключается в новых аналитических выражениях, позволяющих рассчитать параметры устройств компенсации в зависимости от среднеквадратичного отклонения ФЧХ системы (показателя качества компенсации).

Практическая значимость диссертационной работы заключается в получении выигрыша в отношении сигнал-шум при компенсации порядка 10 дБ относительно искаженного сигнала, а также в существенном сокращении вычислительных затрат при сохранении высокого качества компенсации ДИ в процессе обработки широкополосных радиосигналов. Кроме того, проведенные исследования позволили сформировать технический облик устройств компенсации ДИ, построенных на базе БЦФ.

#### **Достоверность результатов**

Достоверность результатов, приведенных в диссертации, подтверждается непротиворечивостью, аргументированностью и доказательностью предложенных алгоритмов и моделей. Математический аппарат применяется в диссертации корректно, а результаты, полученные с помощью аналитических расчетов, теоретического анализа, имитационного моделирования и натурального эксперимента согласованны.

Автор имеет 4 публикации в рецензируемых изданиях ВАК. По результатам диссертационной работы получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Также автор имеет 7 работ, проиндексированных в базе данных SCOPUS и 3 работы, проиндексированные в базе данных РИНЦ. Анализ трудов соискателя позволяет утверждать, что основные положения, выносимые на защиту, достаточно полно опубликованы.

Также результаты исследований автора были представлены на 7 научных конференциях и вошли в состав 2 пленарных докладов.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Для проведения диссертационных исследований автор выбрал упрощенную модель широкополосного однолучевого ионосферного канала - рассматривается только нижний луч, а радиотрассы являются протяженными. В этих условиях эффективна линейная аппроксимация дисперсионной характеристики (ДХ). Ситуации с наличием в канале стационарных помех и одновременным присутствием нескольких лучей, а также нелинейный характер ДХ, соответствующий коротким радиотрассам, не рассматривались.

2. Не в полной мере раскрыта оригинальность и новизна предложенных алгоритмов и устройств компенсации дисперсионных искажений. Автором проведен большой объем исследований по обоснованию технического облика компенсаторов ДИ, построенных на базе БЦФ, но их результаты не нашли отражения в представленных в диссертации формулировках научной новизны.

3. Предложенные устройства компенсации дисперсионных искажений в значительной степени повторяют описанные алгоритмы, хотя представлены в виде структурных схем. Получаемые преимущества относительно известных решений одни и те же - выигрыш по ОСШ до 10 дБ и уменьшение вычислительных затрат до 2 раз. Рекомендации по выбору аппаратной платформы и варианты аппаратной реализации отсутствуют.

4. Имеются редакционные недостатки и стилистические неточности. Например, в заключении приводятся несколько значений энергетического



выигрыша, получаемого за счет компенсации ДИ 10; 4,4, а также 1,6 и 3,9 дБ. При этом, там же приведена величина энергетических потерь при не компенсации ДИ равная 8 дБ. Исчерпывающего объяснения столь существенного различия указанных величин не приводится.

На ряде рисунков (Рис. 5.9 - 5.11, 5.13, 5.14 Диссертации) отклики согласованных фильтров показаны смещенными по временной оси. Это позволило избежать наложения откликов, представленных согласованных фильтров СФ, но такая картина искажает действительное положение вещей и требует пояснений, а их нет.

### **Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Диссертационная работа Лобовой Е.О. является законченной научно-исследовательской работой. Лобова Е.О. в своей работе предложила два алгоритма и два устройства компенсации дисперсионных искажений на основе банков цифровых фильтров для широкополосных сигналов ВЧ диапазона, искаженных частотной дисперсией ионосферного канала. Эти алгоритмы и устройства позволяют снизить вычислительную сложность систем обработки сигналов относительно известного решения в виде фильтра-компенсатора, сохранив на прежнем уровне качество компенсации дисперсионных искажений.

Автореферат отражает содержание диссертации и позволяет составить целостное представление о проделанном исследовании.

Содержание диссертации показывает, что автор способен сформулировать научную проблему и поставить задачу самостоятельно. Автор владеет методом научных исследований и правомерно применяет соответствующий математический аппарат. Можно утверждать, что полученные Лобовой Е.О. результаты достоверны, а также имеют высокую теоретическую и практическую значимость.

Замечания по диссертационной работе не снижают ценности научно-


квалификационной работы.

Работа соответствует специальности 05.12.04 - «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Положения, выносимые на защиту, достаточно полно опубликованы в рецензируемых изданиях и апробированы на научных конференциях.

Вывод: диссертационная работа Лобовой Е.О. полностью отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года. Лобова Елизавета Олеговна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 - «Радиотехника, в том числе и устройства телевидения».

Официальный оппонент

  
28.04.21

Даренский Владимир Дмитриевич

Доктор технических наук по специальности 20.02.25 - «Военная электроника, аппаратура комплексов военного назначения», старший научный сотрудник, главный научный сотрудник ФГУП «18 центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации.

Адрес: 111123 г. Москва, проспект Свободный, дом 4.

Тел.: +79057245511

E-mail: vdarenskii@gmail.com

Подпись Даренского В.Д. заверяю,  
Начальник отдела кадров и строевого  
ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ



 А.А. Рыбаков

М.П.