

## ОТЗЫВ

официального оппонента

Калачикова Александра Александровича

на диссертационную работу

Липаткина Владислава Игоревича

«Повышение качества обнаружения широкополосного сигнала и точности совместного оценивания его параметров в условиях частотной дисперсии ионосферы Земли», на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13—«Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

Декаметровый диапазон частот активно используется для связи на большие расстояния за счет отражения радиосигналов от ионосферы, что позволяет осуществлять радиосвязь в труднодоступных регионах мира, таких как Арктика и Антарктика, а также в регионах, пострадавших от стихийных бедствий. Такие системы являются надёжным и дешёвым решением с минимальной инфраструктурой, которые хорошо себя зарекомендовали на протяжении десятилетий.

В настоящее время развитие связи в декаметровом диапазоне идет по пути увеличения скорости передачи информации за счет расширения полосы частот. Увеличение полосы частот сигналов, используемых для передачи информации в декаметровом диапазоне, приводит к дисперсионным искажениям используемых сигналов из-за частотной дисперсии ионосферы Земли.

Обработка принимаемого сигнала начинается с его обнаружения по известной последовательности символов с одновременным оцениванием ряда параметров сигнала, последующей синхронизацией и демодуляцией. Качество приема информации, а именно демодуляции, напрямую зависит от качества установленной синхронизации, которая выполняется на этапе обнаружения и оценивания неизвестных параметров. Упомянутые дисперсионные искажения сигналов

неизбежно приводят к ухудшению показателей качества обнаружения, оценивания и демодуляции, поэтому их следует также оценивать и компенсировать.

В классической задаче оценивания параметров сигнала с одновременным его обнаружением оценивают смещение по частоте, задержку и начальную фазу сигнала. В условиях дисперсионных искажений ионосферы Земли дополнительно к перечисленным параметрам необходимо оценивать наклон дисперсионной характеристики канала, значение которого используется при компенсации упомянутых искажений. Таким образом, дополнительное оценивание наклона дисперсионной характеристики позволит повысить качество обнаружения широкополосного сигнала и точность совместного оценивания его параметров в условиях частотной дисперсии ионосферы Земли. С учетом изложенного проводимое соискателем исследование является **актуальным**.

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

В диссертации автором вполне правомерно был сделан вывод о необходимости синтеза оптимальных алгоритмов совместного оценивания множества параметров сигнала с одновременным его обнаружением, включая оценивание наклона дисперсионной характеристики ионосферного канала, а также исследование показателей качества обнаружения сигнала и точности оценивания его параметров в полученных алгоритмах.

В результате проведённых исследований, направленных на изучение влияния дисперсионных искажений на качество обнаружения широкополосного сигнала и точности совместного оценивания его параметров, автором был разработан алгоритм оптимального совместного оценивания параметров широкополосного сигнала декаметрового диапазона (начальной фазы, задержки, смещения частоты) с одновременным его обнаружением в условиях дисперсионных искажений сигнала, включая оценивание наклона дисперсионной характеристики (ДХ). Дополнительное оценивание наклона ДХ в условиях частотной дисперсии ионосферы Земли позволило повысить точность оценки остальных неизвестных параметров сигнала, а именно снизить СКО оценки задержки в 10 раз, СКО оценки частотного сдвига в 1.7

раза, СКО оценки фазы в 2.4 раза и позволило повысить качество обнаружения, а именно уменьшить вероятность пропуска цели более чем в 100 раз для ОСШ выше 15 дБ. Энергетический выигрыш в оценивании задержки составил 20 дБ, в оценивании частотного сдвига составил 4,5 дБ и в оценивании начальной фазы составил порядка 2 дБ. Энергетический выигрыш в обнаружение составил порядка 2 дБ. Таким образом, оценка наклона ДХ и учёт её влияния при выполнении обнаружения сигнала с совместным оцениванием его параметров повышает качество приёма.

Автором предложен вычислительно эффективный алгоритм обнаружения широкополосного сигнала декаметрового диапазона с совместным оцениванием задержки, частотного сдвига, начальной фазы и наклона ДХ, в которых оценка частотного сдвига выполняется с помощью БПФ. На основе предложенного алгоритма разработано устройство на базе графического процессора, которое позволяет выполнять совместное обнаружение и оценивание всех исследуемых в работе параметров сигнала в полосе до 400 кГц и длительностью до 2 с в масштабе реального времени. Разработанное устройство апробировано на записях с эфира, полученных в ходе натурных испытаний на однокачковой трассе протяженностью ~3000 км.

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. Сформулированные автором в диссертации научные положения обоснованы.

### **Научная новизна**

В диссертационной работе получены **новые** результаты, в частности:

1. Получены новые аналитические выражения элементов матрицы Фишера в рамках задачи оптимального оценивания четырех параметров сигнала (начальная фаза, смещение частоты, задержка и наклон дисперсионной характеристики канала), а также новые аналитические выражения для дисперсий соответствующих оценок и корреляционных функций пар оценок.

2. Доказана корреляционная связь между оценками наклона дисперсионной характеристики канала и начальной фазой широкополосного фазоманипулированного сигнала. Показано, что дисперсионные искажения сигнала приводят к ненулевой корреляционной связи между оценками задержки и частотного сдвига фазоманипулированного сигнала, уменьшающейся с ростом длительности сигнала.
3. Получены новые аналитические выражения, позволяющие вычислить среднеквадратическое отклонение оценок начальной фазы, смещения частоты и задержки при отсутствии компенсации дисперсионных искажений, т.е. для классических устройств и алгоритмов.
4. Получены новые аналитические выражения для расчета вероятностей ложной тревоги и пропуска цели в задаче совместного оценивания четырех параметров сигнала и одновременного его обнаружения в условиях дисперсионных искажений в ионосфере Земли.

**Теоретическая значимость** диссертационной работы заключается в полученных новых аналитических выражениях, позволяющих рассчитать вероятности ложной тревоги и пропуска цели при обнаружении сигнала в условиях дисперсионных искажений при одновременном оценивании четырех параметров сигнала, включая наклон дисперсионной характеристики.

**Практическая значимость** диссертационной работы заключается в разработанном вычислительно эффективном устройстве обнаружения сигнала с одновременным совместным оцениванием его параметров. Разработанное устройство апробировано на натурных записях эфира и с помощью моделирования.

Все вышеуказанные результаты получены автором лично.

#### **Достоверность результатов**

Достоверность проведенных автором исследований, подтверждается корректностью применения математического аппарата и согласованностью результатов, полученных с аналитических расчётов, теоретического анализа, имитационного моделирования и натурального эксперимента.

Полученные результаты обсуждались со специалистами в области радиотехники и телекоммуникаций на 4 научных конференциях. Автор опубликовал

результаты своих диссертационных исследований в 3 рецензируемых изданиях ВАК, получил 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Также 6 работ автора проиндексированы в базах данных Web of Science и SCOPUS (одна из которых в Q1).

### **Замечания по диссертационной работе**

1. При выполнении имитационного моделирования не приведено обоснование выбора используемых сигналов и их параметров по отношению к оцениваемым параметрам канала связи (наклону дисперсионной характеристики).
2. В работе приведены характеристики рассеяния реальных ионосферных каналов, но данные параметры не отражены в модели канала связи при выполнении имитационного моделирования.
3. По тексту диссертации автор использует термины «частотный сдвиг» и «доплеровский сдвиг», откуда не ясно, в чем отличие данной терминологии.
4. При проведении имитационного моделирования для получения зависимостей вероятности пропуска цели и ложной тревоги от ОСШ автор указывает на использование встроенных функций программного обеспечения для вычисления порога решения, но не приводятся выражения для вычисления порога.
5. При проведении имитационного моделирования и представлении результатов целесообразно привести обоснование выбора объема испытаний.
6. При оформлении диссертации допущены опечатки.

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


Диссертационная работа Липаткина В.И. является законченной научно-исследовательской работой. Предложенный автором алгоритм обнаружения сигнала с совместным оцениванием параметров сигнала, таких как, задержка, частотный сдвиг, начальная фаза и наклон ДХ канала позволяет повысить качество обнаружения широкополосного сигнала и точность совместного оценивания его параметров в условиях частотной дисперсии ионосферы Земли. Разработанное

автором вычислительно-эффективное устройство позволяет обрабатывать в масштабе реального времени сигналы с базой порядка 59 дБ. Работа написана на хорошем научном уровне, производит хорошее впечатление своей законченностью, ясностью основной идеи, грамотным изложением материала. Автореферат диссертации корректно отражает содержание исследования, основные положения и выводы диссертации чётко сформулированы.

Результаты, полученные в диссертации, являются достоверными, имеют высокую теоретическую и практическую значимость. Они также подтверждены результатами имитационного моделирования и натурного эксперимента.

Замечания по диссертационной работе не снижают ценности научно-квалификационной работы. Положения, выносимые на защиту отражены в научных публикациях и апробированы на научных конференциях.

Из всего вышеизложенного следует, что представленная диссертационная работа полностью соответствует критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор, Липаткин Владислав Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13—«Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент  Калачиков Александр Александрович  
26.01.23

Кандидат технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», доцент кафедры радиотехнических систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ).

Адрес: 630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, д. 86

Тел.: 3(832)698267

E-mail: 330rts@gmail.com

Подпись Калачикова  А.А. заверяю

Начальник

отдела кадров 

ЗАМЕЛОВА Н.А. 