



**СПбГЭТУ «ЛЭТИ»**  
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»**  
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и инновационной  
деятельности ФГАОУ ВО «Санкт-

Петербургский  
государственный  
университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Семенов А.А.

\_\_\_\_\_ 2024 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу **Хайло Никиты Сергеевича «Робастные алгоритмы обнаружения, синхронизации и демодуляции для TDMA-систем связи при многолучевом распространении сигналов, действии узкополосных импульсных помех и шумов с неизвестным распределением»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

### Актуальность работы

Диссертационная работа Н.С. Хайло посвящена решению комплексной задачи обнаружения, синхронизации и демодуляции сигналов в системах передачи данных между подвижными объектами в условиях априорной неопределенности параметров полезного сигнала (задержки и доплеровского сдвига частоты), многолучевого распространения сигналов, действии узкополосных импульсных помех и шумов с неизвестным распределением.

Известны методы синхронизации и демодуляции сигналов в многопользовательских системах связи с временным разделением каналов (TDMA), разработанные в традиционном предположении о гауссовской плотности распределения вероятностей (ПРВ) аддитивного шума и имеющихся оценках задержек и доплеровского сдвига частоты.

В реальности ПРВ шума является априорно неопределенной и не соответствует гауссовскому закону, поскольку кроме собственных шумов приемных устройств, присутствуют внешние: промышленные, атмосферные помехи и помехи от сторонних радиотехнических систем этого же частотного диапазона. Для таких условий теоретически



разработаны и успешно применяются робастные инвариантные алгоритмы обнаружения и различения сигналов, обеспечивающие в условиях априорной неопределенности гарантированные значения вероятности ложной тревоги, ошибки и пропуска сигнала при известных параметрах полезного и мешающих сигналов. При неизвестных параметрах сигнала в соответствующих выражениях используются их состоятельные оценки без конкретизации способа получения оценки.

На практике форма ПРВ шума параметры внешних помех от сторонних радиотехнических систем, характеристики многолучевого канала передачи данных неизвестны, поэтому требуются применять методы преодоления априорной неопределенности, обеспечивающие независимость от неизвестных энергетических параметров сигнала и совместной ПРВ распределения шума и помех от сторонних радиотехнических систем, и сохраняющие характеристики эффективности при изменении их параметров.

В диссертационной работе Н.С. Хайло разработаны новые методы подавления узкополосных помех от сторонних радиотехнических систем, робастные алгоритмы синхронизации и демодуляции при многолучевом распространении сигналов и неизвестных энергетических параметрах сигнала и узкополосных импульсных помех при априорно неопределенной ПРВ шума. Разработка этих методов является актуальной теоретической и практической задачей для TDMA системы передачи данных между подвижными объектами.

### **Основные научные результаты и их значимость для науки и практики**

1. Асимптотически робастные инвариантные (АРИ) алгоритмы обнаружения и оценки временного положения сигнала для задачи синхронизации в TDMA-системах связи, обеспечивающие в условиях многолучевого распространения сигналов, действия узкополосных импульсных помех при неизвестной ПРВ шума более высокую помехоустойчивость по сравнению с существующими методами и алгоритмами.

2. Асимптотически робастный инвариантный алгоритм демодуляции сигналов с относительной фазовой модуляцией (ОФМ), обеспечивающий более высокую помехоустойчивость в условиях многолучевого распространения сигналов, действия узкополосных импульсных помех и при неизвестной ПРВ шума по сравнению с существующими методами и алгоритмами.

3. Предложен коэффициент асимптотической робастности (КАР) алгоритмов обнаружения и различения сигналов, основанных на безынерционном преобразовании исходной выборки, позволяющий оценить необходимое изменение отношения сигнал/шум для поддержания заданного уровня средних потерь при изменении ПРВ шума.

Разработанные алгоритмы позволяют в условиях априорной неопределенности меняющейся сигнально-помеховой обстановки, обеспечить устойчивость характеристик обнаружения и помехоустойчивости. Введенный коэффициент асимптотической робастности позволяет на этапе синтеза алгоритма без проведения имитационного



моделирования оценить потери или выигрыш в пороговом отношении сигнал/шум при изменении ПРВ шумовой составляющей на входе приемника.

**Практическая значимость** разработанных алгоритмов и их реализуемость на современной элементной базе позволяют разрабатывать структуру и программное обеспечение для синхронизации и демодуляции сигналов, систем подавления узкополосных импульсных помех в радиотехнических системах передачи данных.

Реализация многоканального коррелятора в алгоритме оценивания временного положения синхросигнала в спектральной области позволила значительно сократить вычислительные ресурсы, необходимые для реализации алгоритма.

Применение адаптивной фильтрации узкополосной импульсной помехи позволило уменьшить требуемые средние вычислительные затраты и обеспечить более высокие показатели эффективности.

Выбор автором формата информационного сигнала с прямым расширением спектра и уникальными для каждого символа расширяющими последовательностями позволил осуществить декорреляцию процессов, пришедших по различным трассам распространения, и обеспечить эффективное подавление помех, вызванных многолучевым распространением сигнала.

Практическая значимость диссертации подтверждается внедрением основных результатов работы в АО «Навигатор» при создании и полунатурном испытании экспериментального образца модуля ДМЕ/ШПС модернизированной радиотехнической системы ближней навигации и в учебный процесс Новосибирского государственного технического университета.

### **Соответствие автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат диссертации изложен на 20 страницах, содержит 4 рисунка и список основных публикация соискателя из 16 наименований. Автореферат полностью отражает содержание диссертации, содержит информацию об основных результатах, полученных в ходе ее выполнения и позволяет сделать вывод о высоком научном уровне работы.

### **Полнота опубликования научных результатов и апробация**

Актуальность и востребованность результатов, отображенных в рассматриваемой диссертационной работе подтверждается публикациями автора. По теме диссертации опубликовано 16 работ, из них: 5 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, 10 работ в материалах международных и российских конференций и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

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

Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать для прикладного внедрения в научно-исследовательских, опытно-конструкторских работах и в



образовательном процессе, например, в следующих организациях: АО «ВНИИРА», ПАО «ЦНПО «ЛЕНИНЕЦ», АО «Навигатор», ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)», ФГБОУ «Новосибирский государственный технический университет», ФГАОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

### **Обоснованность и достоверность результатов**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений подтверждается строгостью формулировок, корректностью использования математического аппарата. Диссертация написана лаконичным научным языком, хорошо структурирована, содержит все основные разделы, необходимые для законченной научно-исследовательской работы.

### **Замечания по работе**

1) Все показатели качества в виде характеристик пропуска сигналов и помехоустойчивости разработанных алгоритмов получены статистическим имитационным моделированием, но нет обоснования числа испытаний. Также при проектировании реальных систем передачи информации предпочтительнее, в тех случаях когда возможно, использовать расчетные аналитические характеристики и оценки.

2) Отсутствует сравнение полученных характеристик пропуска сигналов и помехоустойчивости с потенциальной границей при точно известных параметрах сигналов и помех.

3) Не представлены результаты эксперимента алгоритмов, реализованных в разработанном стенде для полунатурного моделирования.

4) Не пояснено каким образом в стенде для полунатурного моделирования генерировался шум с распределениями с тяжелыми хвостами.

5) В работе недостаточно обоснован выбор значения параметра  $q$  модели априорной неопределенности распределения шума.

Отмеченные недостатки не снижают значения полученных в диссертации результатов, выносимых на защиту, их научную и практическую ценность.

### **Заключение**

Диссертация Н.С. Хайло представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, в которой содержится комплексное решение задачи обнаружения, синхронизации и демодуляции сигналов в TDMA-системах передачи данных при многолучевом распространении сигналов, действии узкополосных импульсных помех и шумов с неизвестным распределением, имеющей научно-практическое значение для развития



существующих и создания новых TDMA-систем, а также при решении других задач, связанных с априорной неопределенностью уровня сигнала и шума, неизвестной ПРВ шума и режекции узкополосных импульсных помех.

По актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости диссертационная работа соответствует требованиям п. п. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. с изменениями постановления от 30.07.2014 № 723, от 21.04.2016 № 335, от 02.08.2016 № 748, от 29.05.2017 № 650, от 28.08.2017 № 1024, от 01.10.2018 № 1168, от 20.03.2021 № 426, от 11.09.2021 № 1539, от 26.09.2022 № 1690, от 26.01.2023 № 101, от 18.03.2023 № 415, от 26.10.2023 № 1786, от 25.01.2024 № 62, от 16.10.2024 № 1382, а ее автор Хайло Никита Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Доклад Хайло Никиты Сергеевича заслушан на заседании кафедры радиоэлектронных средств (РЭС) СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 9 декабря 2024 г.

Отзыв по результатам всестороннего рассмотрения диссертации и обсуждения доклада обсужден и единогласно одобрен на заседании кафедры РЭС ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», протокол № 3 от «9» декабря 2024 г.

Заведующий кафедрой РЭС  
д.т.н., проф.

Малышев Виктор Николаевич

Ученый секретарь каф. РЭС  
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Воронова Анна Анатольевна

«9» декабря 2024 г.

### Сведения об организации

МИНОБРНАУКИ РОССИИ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), ул. Профессора Попова, д.5 литера Ф, Санкт-Петербург, 197022

Телефон: (812) 234-46-51; факс: (812) 346-27-58; e-mail: [info@etu.ru](mailto:info@etu.ru) ; <https://etu.ru>

Отзыв получен 27.12.2024 *А. Велочов М.А.*

с отзывом ознакомились 27.12.2024 *Хайло Н.С.*