



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
**ВОРОНЕЖСКИЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ «ВЕГА»**

Московский пр., д.7 б, г. Воронеж, 394026  
телефон: (473) 262-27-03, факс: 262-27-20  
E-mail: vega@vniivega.ru  
ОКПО 29692071, ОГРН 1053600451013  
ИНН/КПП 3662103035/366201001

Утверждаю

Генеральный директор

АО «ВНИИ «Вега»

д.э.н., к.т.н., профессор

В.И. Штефан

2022г.



№ \_\_\_\_\_

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## ОТЗЫВ

ведущей организации – Акционерного общества «Воронежский научно-исследовательский институт «Вега» на диссертацию Герасименко Евгения Сергеевича на тему «Быстрые цифровые алгоритмы когерентной демодуляции сигналов с амплитудной и фазовой манипуляцией», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

### 1. Актуальность темы диссертационного исследования

В радиотехнических системах передачи дискретной информации по проводным и радиоканалам применяются различные сигналы с фазовой модуляцией (ФМ) и манипуляцией (ФМн), относительной фазовой манипуляцией (ОФМ), амплитудной модуляцией (АМ), а также квадратурной амплитудной модуляцией (КАМ). Широкое распространение получили двоичные и многопозиционные (многократные) сигналы, например, двоичные ФМн и четырехпозиционные сигналы, в том числе со сдвигом фазы на  $\pi/4$ . С точки зрения помехоустойчивости оптимальной является когерентная демодуляция сигналов, однако при этом необходима полная (фазовая) синхронизация опорного генератора демодулятора с принимаемым сигналом. Применение относительной фазовой манипуляции (ОФМ) и некогерентной демодуляции с квадратурной обработкой сигнала упрощает систему синхронизации приемника, но приводит к существенной потере помехоустойчивости.

В современных системах передачи дискретной информации широко используется цифровая обработка сигналов (ЦОС). Принимаемый случайный процесс квантуется по уровню и времени аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Полученные отсчеты смеси сигнала и помех в моменты квантования передаются в вычислительное устройство для

формирования результата обработки, например, принимаемого информационного символа.

Известные оптимальные алгоритмы ЦОС требуют значительных вычислительных мощностей и часто труднореализуемы в реальном времени. Наилучшие результаты обеспечивают быстрые алгоритмы ЦОС, однако они ориентированы прежде всего на спектральный анализ сигнала (алгоритмы быстрого преобразования Фурье – БПФ) и быструю свертку принимаемого и опорного сигналов, а их применение затруднительно при потоковой обработке отсчетов высокочастотных радиосигналов. Хорошие результаты обеспечивает быстрый цифровой алгоритм некогерентной цифровой обработки сигналов с относительной фазовой манипуляцией в демодуляторе. В диссертационной работе Герасименко Е.С. поставлена актуальная задача по разработке быстрых алгоритмов цифровой обработки сигналов и соответствующих устройств когерентной демодуляции сигналов.

## **2. Научная новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций.**

В ходе выполнения диссертационного исследования соискателем получены следующие новые научные результаты:

1. На единообразной основе предложены быстрые цифровые алгоритмы когерентной демодуляции сигналов с двоичной фазовой и относительной фазовой манипуляцией, с четырехпозиционной фазовой и относительной фазовой манипуляцией, многопозиционной амплитудной манипуляцией и квадратурной амплитудной модуляцией, требующие выполнения минимального числа простых арифметических операций.

2. На базе предложенных быстрых алгоритмов цифровой обработки сигнала разработаны структурные схемы цифровых когерентных демодуляторов. Показано, что они обладают высокой собственной частотной избирательностью и обеспечивают оптимальное накопление отсчетов на интервале длительности информационного символа.

3. Предложена цифровая модель узкополосного радиотракта на базе рекурсивного цифрового фильтра, согласованная с предлагаемыми алгоритмами обработки радиосигналов. Исследовано влияние узкополосности радиотракта на форму демодулируемых сигналов и их межсимвольную интерференцию. Даны рекомендации по выбору параметров радиотракта.

4. Проведено исследование помехоустойчивости предлагаемых демодуляторов при воздействии шумовых помех. Показано, что они обеспечивают потенциальную помехоустойчивость при минимальных вычислительных или аппаратных затратах. Наблюдается нормализация помех с различными статистическими свойствами, что расширяет возможности

использования полученных выражений для вычисления вероятностей ошибок.

5. Разработаны программы статистического имитационного моделирования предлагаемых демодуляторов. Полученные результаты хорошо согласуются с расчетами помехоустойчивости. Исследовано влияние узкополосности радиотракта на вероятности ошибок, показано, что избыточное уменьшение полосы пропускания приводит к значительному ухудшению помехоустойчивости. Рассмотрено влияние смещения фаз принимаемого и опорного сигналов. Показано, что при демодуляции простых двоичных сигналов требования к точности фазовой синхронизации совпадают с известными результатами для оптимальных демодуляторов. При обработке многопозиционных сигналов требования к их синфазности с опорным сигналом повышаются или требуется увеличение рабочего отношения сигнал/шум.

6. Рассмотрен пример аппаратной реализации демодулятора четырехпозиционных ФМ сигналов на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). Показано, что для решения поставленной задачи на несущих частотах до 10÷20 МГц достаточно сравнительно простой и недорогой ПЛИС семейства Spartan-6.

**Достоверность и обоснованность** результатов подтверждается использованием известных математических методов и результатами имитационного моделирования, подтвержденными свидетельствами о государственной регистрации 4-х программ для ЭВМ, двумя зарегистрированными патентами на изобретение, а также внедрением результатов работы в образовательную и практическую деятельность.

### **3. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки.**

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при проектировании и разработке аппаратуры связи. Использование предлагаемых алгоритмов дает возможность построения эффективных цифровых когерентных демодуляторов, обеспечивающих цифровую обработку высокочастотных радиосигналов при минимальных требованиях к вычислительной мощности. Практическая значимость работы подтверждается зарегистрированными в федеральной службе по интеллектуальной собственности патентами на изобретение (№ 2633183 от 11.10.2017, № 2748858 от 01.06.2021) и программами для ЭВМ (№ 2017615092 от 03.05.2017; № 2017615256 от 12.05.2017; № 2017615365 от 15.05.2017; № 2017660249 от 20.09.2017).

#### **4. Соответствие диссертации требованиям ВАК Минобрнауки России.**

Диссертация хорошо структурирована, характеризуется логичностью и ясностью изложения. Содержание диссертации соответствует теме исследования, а также паспорту специальности 2.2.13 — Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения. Частные научные задачи, необходимые для достижения поставленной в диссертации цели, решены в полном объеме.

Автореферат содержит все основные результаты, полученные в диссертации. Диссертация и автореферат диссертации оформлены в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11 – 2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и оформление».

По материалам диссертации опубликована 31 научная работа (1 статья в журнале, индексируемом в международных базах, 11 статей в журналах перечня ВАК, 13 материалов научных конференций, 4 вычислительных программных средства, зарегистрированных в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, 2 патента на изобретение, зарегистрированные в Федеральной службе по интеллектуальной собственности), в том числе 15 работ опубликовано без соавторов. Результаты исследования внедрены в производственную деятельность ООО «Сайком», ООО «НПП ТЕТА», ООО «БГ-Оптикс», в образовательный процесс ФГБОУ ВО «Воронежский институт МВД России» и ФГБОУ ВО «Дальневосточный юридический институт МВД России».

#### **5. Замечания по диссертации.**

5.1. Предлагаемый алгоритм демодуляции сигналов сравнивается с одним, классическим способом демодуляции сигналов, но не сравнивается с современными передовыми разработками в области радиосвязи.

5.2. В четвертой главе диссертации не приведено обоснование выбора ПЛИС фирмы XILINX.

5.3. В работе приведена оценка достоверности результатов моделирования согласно классических математических методов, но не описано как работает зарегистрированная программа статистического имитационного моделирования сигналов.

5.4. Диссертационная работа имеет ряд описок и неточностей (стр.142, 159 и др.).

Указанные замечания не являются определяющими и не ставят под сомнение в целом научную и практическую значимость диссертационного исследования.

## 6. Заключение.

Диссертационная работа Герасименко Е.С. «Быстрые цифровые алгоритмы когерентной демодуляции сигналов с амплитудной и фазовой манипуляцией» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, содержащую в себе решение научной задачи, имеющей значение при разработке и исследовании цифровых алгоритмов обработки сигналов в радиотехнических устройствах различного назначения.

Количество и качество публикаций Герасименко Е.С. отвечает требованиям пп.11, 13 «Положения о присуждении ученых степеней».

Автореферат диссертации, в целом, достаточно полно отражает ее содержание и соответствует п.25 «Положения о присуждении ученых степеней».

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Таким образом, диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 в редакции от 11.09.2021), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата, а ее автор Герасименко Евгений Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Диссертация обсуждена, отзыв обсужден и одобрен на заседании НТС предприятия, протокол от « 6 » 8.08. 2022г. № \_\_\_\_.

Отзыв составили:

Советник генерального директора

К. т. н., с. н. с.

Г.В. Нехорошев

Главный специалист

Д. т. н., профессор

В.Н. Поветко

Разрешаю обработку персональных данных Нехорошева Г.В., Поветко В.Н.

Заместитель председателя НТС

Заместитель генерального директора

АО «ВНИИ «Вега»

Ю.В. Белозерцев

Почтовый адрес (рабочий): 394026, г. Воронеж, Московский проспект, 7-Б  
Телефон рабочий: +7(473) 262-27-03; электронная почта: vega@vniivega.ru