



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
**«НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ  
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ  
имени В.В. Тихомирова»**

Гагарина ул., д. 3, Жуковский,  
Московская область, Россия, 140180  
Тел.: (495) 556-23-48 факс: (495) 276-67-07  
E-mail: [niip@niip.ru](mailto:niip@niip.ru) http: [www.niip.ru](http://www.niip.ru)

ОКПО 13185231, ОГРН 1025001627859  
ИНН/КПП 5013045054/ 504001001

№ \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Г \_\_\_\_\_ 7

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Заместитель генерального  
директора по научной работе  
АО «Научно-исследовательский  
институт приборостроения  
имени В.В. Тихомирова»  
К.Т.Н., С.Н.С.

  
А.И. Синани



**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертацию Мелёшина Юрия Михайловича «Разработка и исследование многополосной радиосистемы с фазокодовой манипуляцией», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

**Актуальность темы диссертации**

В настоящее время идет активное развитие радиосистем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в части применения их в промышленности и сельском хозяйстве для задач оперативного контроля. Использование в качестве носителя малогабаритных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) позволяет упростить организацию процессов оперативного контроля, однако, существенно ограничивает предельные масса-габаритные характеристики аппаратуры. Также существует постоянная

потребность в снижении себестоимости разрабатываемых радиосистем, чтобы разрабатываемая продукция была конкурентоспособна на рынках ДЗЗ. Вследствие этого, в настоящее время актуальны исследования алгоритмов формирования и обработки сигналов в радиосистемах ДЗЗ, направленные на уменьшение аппаратной и вычислительной сложности при аналогичных результирующих характеристиках получаемых изображений местности.

Одним из таких подходов является разбиение исходной широкой рабочей полосы частот на частотные поддиапазоны, в таком случае мгновенная рабочая полоса частот сигнала в поддиапазоне существенно меньше, чем мгновенная рабочая полоса частот сигнала в полном диапазоне, что снижает требования к устройству формирования и обработки сигналов. Но большинство многодиапазонных радиосистем построены как совокупность независимых систем, работающих на разных поддиапазонах, а объединение результатов происходит уже на поздних этапах обработки. Из-за этого максимальные технические характеристики (например, разрешающая способность) всей системы ограничены техническими характеристиками аппаратур поддиапазонов. Этого недостатка возможно избежать, если использовать алгоритмы формирования и обработки многополосных радиотехнических сигналов, объединяющих поддиапазоны на ранних стадиях обработки сигналов.

Такого рода системы активно исследуются, однако, в литературе встречаются результаты исследований только для радиосистем на основе ЛЧМ-сигналов, что вводит соответствующие ограничения.

Представленная диссертационная работа посвящена многополосным радиосистемам на основе сигналов с фазокодовой манипуляцией (ФКМ), что является новым и актуальным подходом, так как алгоритмы формирования и обработки ЛЧМ и ФКМ сигналов имеют фундаментальные отличия. ФКМ сигналы, модулированные псевдослучайными последовательностями (ПСП) в исходном виде имеют худшие чем ЛЧМ корреляционные свойства (например, спадание интегрального уровня боковых лепестков), однако,

существуют способы улучшения корреляционных характеристик ФКМ сигналов. Радиосистемы с ФКМ сигналами имеют более простую систему формирования сигналов, не нуждаются в использовании цифро-аналоговых преобразователей, ввиду того, что ПСП последовательность может поступать на модулятор напрямую с вычислительного устройства. Следовательно, исследования многополосных радиосистем с ФКМ сигналами и алгоритмов их работы является актуальным.

### **Характеристика работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения.

Во введении приведена актуальность выбранной темы исследования, рассмотрены основные проблемы создания доступных радиосистем ДЗЗ, представлены цель и задачи исследования, сформулированы научная новизна и практическая значимость, определены положения, выносимые на защиту

В первой главе представлены результаты анализа современного состояния вопросов использования многодиапазонных радиосистем ДЗЗ, конечным продуктом которых является изображение местности. Исследованы существующие многодиапазонные радиосистемы ДЗЗ и сформулированы их недостатки и ограничения. Рассмотрены вопросы калибровки сигналов в многодиапазонных системах с ЛЧМ сигналами.

В второй главе проведено подробное сравнительное исследование корреляционных свойств ЛЧМ и ФКМ сигналов. Приведены результаты моделирования влияния циклических сдвигов ПСП на корреляционные свойства ФКМ сигналов, сделаны выводы, что при достаточно большом количестве сложений сдвинутых сигналов (более 100) корреляционные свойства в части убывания интегрального уровня боковых лепестков сигналов превосходят аналогичные ЛЧМ сигналы. Также приведены: разработанный алгоритм формирования и обработки сигналов в

многополосных радиосистемах с ФКМ сигналами и способ эффективного ограничения спектра ФКМ сигналов.

В третьей главе исследованы технические основы разработки многополосных радиосистем с ФКМ сигналами в части системного проектирования:

- выбор оптимального разбиения суммарной рабочей полосы частот на поддиапазоны (количество поддиапазонов, шаг между поднесущими частотами и ширина полосы частот поддиапазона);

- выбор режимов работы РС ДЗЗ в зависимости от параметров носителя радиосистемы. Представлен график с зависимостью максимальной скорости полета носителя от высоты полета для разного количества используемых поднесущих частот. Показано, что при высоте полета БПЛА менее 2 км и скорости не более 100 м/с допустимо использовать до 21 поднесущей частоты. Далее показаны результаты проектирования многополосной радиосистемы с ФКМ сигналами X-диапазона частот.

В четвертой главе представлены результаты лабораторной и полевой экспериментальной отработки разработанного алгоритма формирования и обработки многополосных сигналов. Сделаны выводы о его работоспособности.

В заключении представлены выводы, дающие общую оценку результатам исследований, затронутых в диссертационной работе.

### **Научная новизна работы**

1. Разработан алгоритм формирования и обработки сигналов в многополосных радиосистемах с ФКМ сигналами.

2. Разработан алгоритм компенсации амплитудно-фазовых искажений, возникающих при объединении нескольких рабочих полос частот в одну в многополосных радиосистемах с ФКМ сигналами.

3. Предложены технические основы разработки многополосных радиосистем с ФКМ сигналами в части системного проектирования: выбор оптимального разбиения суммарной рабочей полосы частот на поддиапазоны, определены условия выбора режимов работы РС в зависимости от параметров носителя радиосистемы.

### **Практическая значимость работы**

Разработана многополосная радиосистема ДЗЗ с ФКМ сигналами для осуществления оперативного контроля местности на основе разработанного алгоритма и предложенных технических основ.

Разработанная многополосная радиосистема ДЗЗ с ФКМ сигналами и алгоритм формирования и обработки многополосных ФКМ сигналов могут быть использованы в новых разработках радиосистем ДЗЗ.

Разработанный алгоритм формирования и обработки многополосных ФКМ сигналов позволил сократить мгновенную рабочую полосу частот в 10 раз при сохранении предельного линейного разрешения по дальности (до 250 МГц, при требуемой суммарной полосе сигнала 2,5 ГГц), что существенно снизило себестоимость цифрового модуля.

### **Достоверность и обоснованность результатов**

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием известного математического аппарата, результатами математического моделирования и наличием лабораторных и полевых испытаний.

Основные результаты прошли апробацию на 9 российских и международных конференциях, опубликовано 26 научных работ, в числе которых 7 статей в научных журналах, входящих в Перечень ВАК, 11 публикаций в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных Scopus и Web of Science, и 3 патента на изобретения.

## **Замечания по диссертационной работе**

К основным замечаниям по диссертационной работе Мелёшина Ю.М. следует отнести:

- 1) При сравнении корреляционных характеристик ЛЧМ и ФКМ сигналов используется классический ЛЧМ сигнал, отсутствует сравнение с ЛЧМ сигналами с оконным взвешиванием и сравнение с нелинейной частотной модуляцией, что представляет интерес для широкого круга специалистов.
- 2) В работе рассмотрены только сигналы с ЛЧМ и ФКМ модуляциями, не рассмотрены другие типы модуляций.
- 3) При описании экспериментальной отработки в автореферате не приведены начальные условия эксперимента.

Однако, отмеченные замечания не снижают научной и практической ценности диссертационной работы Мелёшина Ю.М., которая выполнена на высоком научно-техническом уровне.

## **Заключение**

Диссертационная работа Мелёшина Ю.М. является законченной научной квалификационной работой, в которой автором получены решения актуальных задач – разработки алгоритма формирования и обработки многополосных ФКМ сигналов и разработка радиосистемы ДЗЗ на его основе.

Представленная работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, изложена грамотным языком и оформлена в соответствии с требованиями нормативных документов.

Диссертационная работа Мелёшина Ю.М. «Разработка и исследование многополосной радиосистемы с фазокодовой манипуляцией» соответствует специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения», отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским

диссертациям, а ее автор Мелёшин Юрий Михайлович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв подготовил:

Ученый секретарь НТС

АО «НИИП имени В.В.Тихомирова»

д.т.н. ➔



Кауфман Г.В.

« 4 » 02 2021 г.

Отзыв на диссертационную работу рассмотрен на заседании секции № 11 научно-технического совета АО «НИИП имени В.В.Тихомирова», протокол № 1 от 04.02.2021.

АО «НИИП имени В.В. Тихомирова»

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт приборостроения имени В.В. Тихомирова»

Адрес: Россия, 140180, г. Жуковский, ул. Гагарина, д.3

Телефон: +7(495) 556-23-48

Адрес электронной почты: niip@niip.ru