

## ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук РАКИТИНА Алексея Валерьевича на диссертационную работу **Тарасенко Анны Максимовны** на тему «Методика цифрового формирования сложных сигналов для улучшения характеристик радиотехнических средств», представленную на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

**Актуальность** диссертационного исследования Тарасенко А.М. обусловлена тем, что вопрос выбора сигнала является важнейшим этапом разработки радиотехнических систем. Вид и характеристики сигнала во многом определяют облик системы и существенным образом влияют на ключевые характеристики. Поэтому создание методики поиска, исследования и выбора новых сигналов с целью улучшения характеристик радиотехнических средств (РТС) является важной задачей для современной радиотехники.

Несмотря на то, что поиск новых видов сложных сигналов является одним из главных направлений развития и совершенствования РТС, а работы по данной тематике в течение последних десятилетий проводятся во всем мире, актуальность выбранной темы по-прежнему высока. Для исследования влияния вида сигнала на характеристики радиотехнических средств автор рассматривает вид и параметры двумерной функции отклика, что, в отличие от анализа авто- и взаимокорреляционных функций, позволяет учесть взаимосвязь между функциями, модулирующими отдельные импульсы. В связи с указанным актуальность исследований, результаты которых представлены в диссертации, не вызывает сомнений.

Представленная диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения.

**Во введении** обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены положения, выносимые на защиту, обоснованы практическая значимость и научная новизна.

**Первая глава** посвящена анализу существующих способов выбора и построения сигналов, проведено исследование их преимуществ и недостатков. Проведен обзор отечественной и зарубежной литературы, посвященной вопросам поиска и синтезирования перспективных кодов, выбора модулирующих функций и улучшения их корреляционных свойств. В качестве перспективных кодов для дальнейшего исследования выбраны М-последовательности. Отмечено, что широкое разнообразие модулирующих функций и применение различных способов оценки затрудняет их сравнение. Поэтому автором поставлена задача разработки методики, позволяющей осуществлять поиск новых сигналов и производить их обоснованный выбор исходя из целевого назначения радиотехнических систем.

**Во второй главе** рассмотрены неточности, возникающие при анализе одномерных автокорреляционных функций. Обоснован выбор вида функции отклика на одиночную точечную цель для оценки характеристик радиотехнического датчика. В качестве параметров для оценки применимости модулирующих функций выбраны: ширина спектра, база сигнала, максимальный и интегральный уровни боковых лепестков АКФ, а также ортогональность. Кроме этих часто применяемых параметров, автор учитывает уровни боковых лепестков функции отклика и их распределение, а также ширину главного максимума. Выведено аналитическое выражение для двумерной функции отклика, получаемой при построении сигнала по методу межпериодного расширения спектра. Приведено описание программных средств для синтеза функции отклика и вычисления выбранных параметров.

**В третьей главе** представлены результаты сравнительного анализа функций отклика радиотехнического датчика при использовании сигналов с ЛЧМ и сигналов, модулированных М-последовательностями. Исследовано влияние правил составления сложных сигналов на уровни и распределение боковых лепестков двумерной функции отклика, которые в свою очередь определяют такие параметры качества радиофизического изображения, как динамический диапазон, яркость и распределение ложных откликов. Даны рекомендации по выбору значения линейного сдвига для снижения яркости ложных откликов на изображении. Проведен анализ моделей сигналов с модуляцией комбинацией сдвинутых последовательностей Лежандра, показавший их перспективность. Даны полезные рекомендации по применению различных видов сложных сигналов для решения практических задач.

**В четвертой главе** приводится описание аппаратно-программных средств, использованных для полунатурного моделирования, а также результатов проведенных экспериментов. Автором подтверждено снижение яркости ложных откликов на изображении при чередовании модулирующих М-последовательностей. Экспериментальное сравнение аппаратных двумерных функций отклика при фазокодовой модуляции радиоимпульсов М-последовательностями и при линейно-частотной модуляции показало разницу динамических диапазонов в 2 дБ и подтвердило возможность их применения для задач оценки радиометрического фона. Представлено описание программно-аппаратного комплекса, позволяющего моделировать, формировать и анализировать сигналы широкого класса радиотехнических средств. Таким образом подтверждена схемотехническая возможность разработки радиотехнического датчика, совмещающего различные виды модуляции и способы построения сигналов.

**В заключении** приведены основные результаты диссертационного исследования.

**Научная новизна** работы заключается в том, что автором предложены новые виды сложных сигналов, которые обеспечивают дополнительное снижение яркости артефактов на изображении на 27 дБ за счет комбинирования модулирующих последовательностей. На основании выведенного аналитического выражения, связывающего вид двумерной функции отклика с функциями внутриимпульсной модуляции и перестройки частоты импульсов радиосигнала, предложена модификация метода межпериодного расширения спектра, позволяющая улучшить пространственное разрешение пропорционально расширению спектра сигнала и получить при этом приемлемое значение боковых лепестков функции отклика. Разработана методика формирования сложных сигналов, включающая в себя исследование сигналов различных видов, и сформулированы критерии выбора функций для модуляции сложного сигнала радиотехнического датчика дистанционного зондирования Земли.

**Достоверность основных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается корректностью постановки задач исследования и тем, что результаты математического моделирования и экспериментального исследования в целом совпадают, а также широкой апробацией на международных и всероссийский научно-технических конференциях.

**Практическая значимость** полученных результатов заключается в следующем.

1. Результаты диссертационного исследования показывают, что выбор структуры сложного сигнала необходимо производить, учитывая целевое назначение радиотехнического средства. Выработанные автором рекомендации по применению сигналов, модулированных различными функциями, для решения практических задач облегчают этот выбор.

2. Предложенная методика формирования и новые виды сложных сигналов могут применяться при разработке формирователя сигналов радиотехнических средств дистанционного зондирования Земли.

3. Новый вид сложного сигнала на базе комбинаций чередования и сдвига M-последовательностей позволяет снизить яркости ложных откликов на изображении до уровня минус 55,5 дБ без существенного усложнения схемотехнических решений.

4. Модуляция импульсов стохастическими функциями также снижает яркость артефактов на изображении и повышает скрытность работы системы.

5. Предложенная автором модификация метода межпериодного расширения спектра позволяет улучшить пространственное разрешение изображения пропорционально расширению спектра и уменьшить при этом ложные отклики на изображении.

6. Формирование комбинированных сигналов на базе последовательностей Лежандра, целесообразно при решении задач синтеза

радиоизображений сельскохозяйственных объектов, когда необходима оценка эффективной площади рассеяния протяженных объектов, так как получаемый при этом интегральный относительный уровень боковых лепестков на 3,2 дБ ниже, чем при модуляции М-последовательностями.

**Автореферат** соответствует диссертации, отражает основные результаты работы, защищаемые положения, актуальность, новизну и практическую значимость.

#### **Замечания по диссертации:**

1. Исследование статистики распределения боковых лепестков приведено для различных законов чередования модулирующих последовательностей (раздел 3.2), а для остальных видов сложных сигналов такая оценка в работе не представлена.

2. Результаты экспериментального сравнения динамических диапазонов для линейно-частотно модулированных и фазокодоманипулированных М-последовательностями сигналов (рисунки 4.10 и 4.11) представлены в непривычной форме. Было бы удобно наличие эталонного изображения усредненной амплитуды изображения радиометрической миры. Недостаточно обоснованным выглядит утверждение, что приведенный динамический диапазон ограничен именно интегральным уровнем боковых лепестков, а не иными факторами, например, тепловым шумом антенны.

3. Автор предлагает при выборе структуры сигнала более подробно рассмотреть его свойства с целью снижения яркости засветки радиометрического фона и ложных откликов на изображении путем подбора соответствующей структуры сигнала. Однако в работе не рассматривается существующая возможность достижения этой же цели за счёт обработки.

4. В тексте диссертации встречаются мелкие ошибки в оформлении, а также грамматического и пунктуационного характера.

Отмеченные недостатки не умаляют научной и практической ценности диссертационной работы, которая производит положительное впечатление и подтверждает квалификацию автора. Диссертация «Методика цифрового формирования сложных сигналов для улучшения характеристик радиотехнических средств» является важной, актуальной и законченной научно-квалификационной работой и соответствует паспорту специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям и их авторефератам.

Результаты диссертации достаточно полно опубликованы в 22 научных работах, в том числе в 4 статьях, вышедших в свет в изданиях, входящих в

перечень ВАК, а также в 18 тезисах и докладах на конференциях различного, в том числе и международного уровня.

Считаю, что диссертационная работа Тарасенко Анны Максимовны отвечает требованиям п.9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых ВАК к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент,

доцент кафедры «Радиотехника» МИ ВлГУ,

кандидат технических наук

Ракитин Алексей Валерьевич

Подпись к.т.н. А.В. Ракитина удостоверяю.

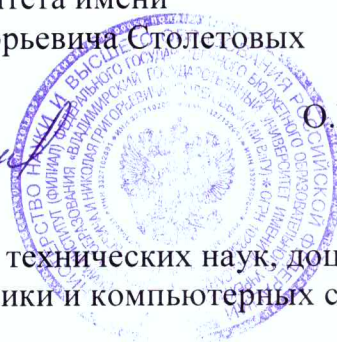
Ученый секретарь Ученого Совета Муромского института (филиала)

Владимирского государственного университета имени

Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

О.Н. Полулях

30 апреля 2019 г.



**Ракитин Алексей Валерьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиотехника» факультета радиозлектроники и компьютерных систем

**E-mail:** alexey@mit.ru

**Рабочий адрес:**

Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

602264, Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23

**Сайт организации:** www.mivlgu.ru

**Телефон:** 8-(49234) 77-2-32

**Факс:** 8-(49234) 7-71-28

**E-mail:** oid@mivlgu.ru