

«Утверждаю»  
Проректор Московского  
государственного университета  
им. М.В. Ломоносова



А.А. Федянин

28 ноября

2016 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Чурикова Дмитрия Викторовича** «Методы цифровой обработки сигналов на основе атомарных функций и R-функций, вейвлетов в радиофизических приложениях», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «радиофизика».

Диссертационная работа **Чурикова Дмитрия Викторовича** посвящена исследованию, развитию и разработке методов анализа физических систем на основе теорий атомарных, R- функций, вейвлетов и WA-систем функций, построение алгоритмов обработки и моделирования процессов дистанционного зондирования, а так же радиоастрономии с целью улучшения физических характеристик передачи, восстановления и распознавания многомерных сигналов.

**Актуальность темы исследования.** В связи с активным развитием современных цифровых систем обработки информации актуальным является создание новых и улучшение существующих алгоритмов цифровой обработки одномерных и многомерных сигналов радиолокационных станций, которые основаны на современных вычислительных методах.

Такие важные характеристики современных радиолокационных станций как разрешающая способность радиолокационных изображений,

точность измерения координат и скорости объектов, помехоустойчивость определяются характеристиками зондирующих сигналов, а также алгоритмами обработки радиолокационных данных. Так, высокая разрешающая способность по дальности может обеспечиваться использованием широкополосных зондирующих сигналов, а большой динамический диапазон радиолокационного изображения обеспечивается фокусировкой главного и низким уровнем боковых лепестков функции неопределенности зондирующего сигнала. Снижение уровня боковых лепестков достигается использованием согласованной фильтрации и весовой обработки. В этом случае снижение боковых лепестков основывается на сглаживании переходных процессов модуляции зондирующих сигналов при их формировании и обработке. Так, использование широкополосных и сверхширокополосных зондирующих сигналов могут обеспечить высокую разрешающую способность по дальности.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка литературы. Основные результаты работы изложены в выводах, которые находятся в конце каждой главы, а также в заключении.

Материал диссертационной работы изложен на 188 страницах, включая 124 рисунка, 24 таблицы, и библиографию из 92 наименований.

**Во введении** обоснована актуальность решаемой проблемы. Сформулированы цель и задачи исследования. Определены научная новизна и теоретическая значимость полученных результатов и их достоверность, основные положения, выносимые на защиту, а также приведены данные о структуре и объеме диссертационной работы.

**В первой главе** рассмотрены методы весовой обработки радиолокационных сигналов, конструкции весовых функций, а также улучшение их физических характеристик. Построены новые конструкции фильтров с конечной импульсной характеристикой на основе атомарных функций и проведен их физический анализ. Исследованы обобщенные ряды отсчетов на основе атомарных функций. Рассмотрено непараметрическое оценивание функции плотности вероятности и её производных 1- и 2-го порядков последовательностей случайных величин с помощью предложенных допустимых весовых функций.

**Во второй главе** рассмотрено построение ортогональных WA-систем функций и их применение в цифровой обработке сигналов и изображений различной физической природы. Построены аналитические WA-систем функции и применены для анализа временных рядов.

**Третья глава** посвящена теории R-функций и синтезу многомерных цифровых фильтров Кравченко-Рвачева со сложной геометрией опорных

областей. Предложен алгоритм, а так же построены двумерные фильтры с конечной импульсной характеристикой и аналитические двумерные WA-системы функций.

**В четвертой главе** проведено исследование возможности применения предложенных весовых функций к цифровой обработке сигналов в радарах с синтезированной апертурой. Рассматривается применение функций Кравченко-Кайзера к задачам весового усреднения разностной частоты. Предложено и обосновано обобщение функции неопределенности по времени и частоте на основе семейства атомарных функций применительно к цифровой обработке сигналов в антенных системах. Дан анализ ее основных физических свойств. Рассмотрены комбинированные методы корреляционной обработки радиолокационных сигналов, основанные на теории атомарных и WA-системах функций. Предложены алгоритмы их оптимальной обработки, дискретной когерентной фильтрации, а также определения доплеровской частоты. Построен функционал качества, позволяющий оценить эффективность обработки сигналов для конкретных физических моделей.

**В приложении** предложен и обоснован гибридный метод выделения контуров зашумленных изображений, основанный на применении атомарных функций, вейвлетов, контурных сигналов и функций В.Л. Рвачева. В процессе обработки изображения происходит выделение основных контуров и их коррекция. На основе информации о контурах изображения производится фильтрация и восстановление областей изображения, близких к контуру. Численные эксперименты показали эффективность и надежность предложенного метода в условиях помехи высокой интенсивности.

**Научная новизна работы заключается в следующем:**

1. Впервые рассмотрено применение нового класса весовых функций (окон), основанных на теории атомарных функций, к задачам обработки сигналов дистанционного зондирования. На их основе получены фильтры с конечной импульсной характеристикой.
2. Впервые рассмотрены частные случаи применения обобщенной теоремы отсчетов на основе атомарных функций. Получены выражения для оценки возникающих погрешностей при восстановлении сигналов в каналах связи.
3. Впервые построены новые классы ортогональных и аналитических WA-систем функций (вейвлетов на основе атомарных функций), а также показано их применение для анализа сигналов и изображений различной физической природы.

4. Впервые на основе атомарных функций получена схема непараметрического оценивания функции плотности вероятности последовательности случайных величин.
5. Впервые синтезированы двухмерные весовые функции со сложной геометрией опорной области, имеющие большое значение при анализе, фильтрации и пространственно-временной обработке многомерных сигналов. Получены аналитические многомерные WA-системы функций и исследованы их физические свойства.

### **Достоверность научных выводов**

Построенные алгоритмы имеют строгое математическое обоснование. Проведен анализ и сравнение полученных результатов с известными в российской и зарубежной литературе методами, имеющими как точные, так и приближенные решения. Применяются широко используемые подходы к обработке сигналов в радиолокационных станциях с синтезированием апертуры. Компьютерное моделирование исследуемых объектов и процессов подтверждает основные выводы исследования.

**Практическая значимость** полученных результатов заключается в реализации алгоритмов цифровой обработки радиолокационных сигналов и развитии теорий атомарных и R- функций в радиофизических приложениях. Показано, что разработанные методы и алгоритмы могут найти применение при решении широкого класса задач радиофизики, включая задачи обработки сигналов радиолокационных станций с синтезированием апертуры, радиовидении, радиоастрономии, дистанционном зондировании, моделировании прохождения сигналов в слоистых структурах, ионосфере и тропосфере.

Предложенные и обоснованные методы и алгоритмы доведены до численной реализации. Проведен физический анализ полученных результатов, показывающий определенные качественные преимущества предложенных подходов по сравнению с известными. Использование предложенных и разработанных соискателем методов представляется перспективным для развития и построения цифровых систем радиолокации и дистанционного зондирования.

Результаты исследования, проведенного Чуриковым Д.В., представляют практический интерес. Они рекомендуются к использованию в следующих организациях: МГУ им. М.В. Ломоносова, Институте космических исследований РАН, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НИИ точных приборов, Ростовском-на-Дону НИИ радиосвязи, а также других институтах РАН и Министерства образования и науки РФ.

### **Личный вклад автора**

Все представленные в диссертации результаты численных экспериментов получены автором лично. Автор произвел программную реализацию и проверку алгоритмов, моделей и методов, осуществил подбор тестовых примеров и численный эксперимент. Принимал активное участие в постановке и обосновании цели исследования.

**В диссертационной работе отсутствует заимствованный материал без ссылки на автора и/или источник заимствования, также отсутствуют результаты научных работ, выполненных соискателем учёной степени в соавторстве без ссылок на соавторов.**

### **Апробация работы**

Результаты диссертационной работы неоднократно докладывались на Российских и Международных конференциях, а также научных семинарах.

По теме диссертации опубликовано 120 научных работ, из которых 36 — в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 3 — в иностранных журналах, включенных в международные системы цитирования Web of Science и Scopus, 3 — в иностранных журналах, не включённых в международные системы цитирования, 64 — в трудах международных конференций, 14 — в трудах всероссийских конференций.

**Ценность диссертации соискателя** следует из научной новизны и практической значимости работы, а так же подтверждается опубликованием её результатов в научных журналах с высоким импакт-фактором и принятием докладов оргкомитетами ведущих Российских и Международных конференций.

**Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертационной работы.**

### **Имеются следующие замечания:**

- Некоторые выводы и доказательства даны в сокращенной форме.
- Не проведено исследование влияния шумов с распределением отличным от гауссовой модели на устойчивость алгоритмов.
- Мало внимания уделено применению теории R-функций к описанию многомерных объектов размерности больше двух.

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, которая выполнена на высоком научном уровне.

Диссертация Чурикова Д.В. является законченной научно-квалификационной работой и содержит решение задач в области создания новых методов анализа и статистической обработки сигналов в условиях

помех, а так же разработке теоретических и технических основ новых методов и систем связи, навигационных, активных и пассивных локационных систем, основанных на использовании излучения и приема волновых полей различной физической природы и освоения новых частотных диапазонов.

Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.03 – «радиофизика» (физико-математические науки), поскольку она посвящена генерации, передаче, приему, регистрации и анализу колебательных и волновых процессов радиочастотного и оптического диапазонов, изучению линейных и нелинейных процессов распространения радиоволн с широким использованием радиофизических методов.

**Представленная диссертационная работа Чурикова Дмитрия Викторовича отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям ВАК Российской Федерации, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «радиофизика».**

Доклад Д.В. Чурикова заслушан на научном семинаре отделения прикладной математики физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

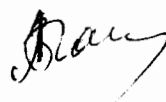
Отзыв подготовлен профессором А.Н. Боголюбовым и обсужден на заседании совета отделения прикладной математики 24 ноября 2016 года, протокол № 16.

Зав. отделением прикладной математики  
физического факультета МГУ  
доктор физико-математических наук,  
профессор



**А.Н. Боголюбов**

Секретарь отделения прикладной математики  
Физического факультета МГУ  
кандидат физико-математических наук,  
научный сотрудник



**В.А. Газарян**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», физический факультет  
Адрес: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, д. 1, стр. 2, Физический Факультет  
Телефон: +7(495)939-10-33  
E-mail: bogan7@yandex.ru