

## ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию Гвоздарёва А.С.**

**«Статистический анализ интегральной разности фаз при использовании радиоголографических эталонных методов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика»**

Проблема повышения точности измерения (оценки) параметров объектов в системах голографического радиовидения (СГРВ) различного назначения в настоящее время стоит достаточно остро. Это объясняется тем, что в современных СГРВ оценка параметров объекта производится, как правило, по его радиоизображению и осуществляется с точностью, равной классической аппаратной разрешающей способности системы. В результате, при использовании миллиметрового диапазона радиоволн (наиболее перспективного в настоящее время), а также при дальности до объекта в несколько десятков метров и при незамкнутой апертуре небольшого размера, точность оценки является чрезвычайно низкой, что в свою очередь может привести к неудовлетворительному качеству работы системы в целом. С другой стороны, можно ожидать, что богатый арсенал методов статистической радиофизики и, в частности, эталонные методы, потенциально позволят производить оценку с точностью лучшей, чем аппаратная разрешающая способность системы. Однако, такие методы применительно к оценке параметров объектов в СГРВ в настоящее время ещё недостаточно разработаны. Поэтому задачи, поставленные и решаемые в диссертационной работе Гвоздарёвым А.С., **являются достаточно актуальными.**

*В первой главе* диссертации рассматриваются основные вопросы построения эталонных методов оценки параметров объектов в системах голографического радиовидения. Предложен для использования эталонный метод, использующий в качестве критерия сходства интегральную разность фаз (ИРФ). Сформулированы также основные задачи, требующие решения для успешной реализации данного метода.

*Во второй главе* получено выражение для плотности вероятности интегральной разности фаз, а также её альтернативное представление и аппроксимации, позволяющие в более удобном виде найти выражения для моментных функций и тем самым упростить дальнейшие расчёты. Получены выражения для моментных функций произвольного порядка и их асимптотические выражения при больших значениях отношения сигнал/шум (ОСШ). Проведено сравнение выражений для исходной плотности вероятности и её аппроксимаций на основе первых двух моментов. Приведены рекомендации по использованию предлагаемых аппроксимаций и полученных асимптотических выражений.

*В третьей главе* изложено решение задачи оценки интегральной разности фаз с использованием метода моментов и метода максимального правдоподобия. Проанализированы основные статистические характеристики получаемых оценок, а также временные затраты, необходимые для их формирования, в зависимости от значений истинной интегральной разности фаз, объёма статистической выборки и отношения сигнал/шум (в том числе для предельных случаев как малого, так и большого ОСШ). Сформулированы рекомендации по использованию рассмотренных методов при оценивании параметров объектов радиолокационными эталонными фазовыми методами. На примере задачи оценивания ширины идеально проводящей ленты проведено сравнение процедуры оценки эталонным методом с использованием интегральной разности фаз и методом, использующим модульное значение корреляционного интеграла. Указаны также возможный выигрыш или проигрыш одного метода относительно другого при точном совпадении объекта с одним из эталонов или при их несовпадении.

*Четвёртая глава* диссертации посвящена задаче выбора минимального шага сетки эталонов на основе двух критериев: критерия ограничения допустимой полной вероятности ошибки (или вероятности правильного принятия решения) при классификации двух соседних эталонов и критерия ограничения статистического предела разрешения. Выполнено математическое моделирование процедуры определения минимального шага сетки эталонов с использова-

нием рассматриваемых критериев, проведено сравнение требований, предъявляемых к СГРВ рассмотренными критериями, указаны области предпочтительного использования каждого из критериев, отмечен возможный подход к выбору шага сетки эталонов, позволяющий уменьшить требуемую величину соотношения сигнал/шум. Проведено сравнение эталонных методов, использующих интегральную разность фаз, и методов, использующих расстояние Евклида, при выборе минимального шага сетки эталонов на основе критерия ограничения вероятности правильной классификации двух соседних эталонов. Отмечены области параметров, при которых эталонный метод на основе ИРФ даёт выигрыш по значению требуемого соотношения сигнал/шум, а также указана величина такого выигрыша.

Исследования, выполненные в диссертации Гвоздарёва А.С., и их теоретические и практические результаты обладают необходимой **научной новизной**, которая заключается в следующем.

- Проведено теоретическое исследование статистических характеристик интегральной разности фаз, в результате которого получены различные асимптотические (по величине ОСШ) выражения для моментов 1 – 4-го порядков, предложены различные аппроксимации плотности вероятности интегральной разности фаз, а также даны рекомендации по использованию предлагаемых аппроксимаций.
- Исследованы моментная и максимально правдоподобная оценки интегральной разности фаз. Указана степень влияния величины соотношения сигнал/шум и истинного значения интегральной разности фаз на качество получаемых оценок. Продемонстрировано влияние объёма выборки на качество максимально правдоподобной оценки. Найдены области эффективности и несмещённости получаемых оценок. Проанализированы временные затраты, необходимые для формирования оценок. Даны рекомендации по проведению процедуры оценивания в различных практических условиях.

- Предложены методы построения базы эталонов на основе критериев выбора минимального шага сетки эталонов. Произведен сравнительный анализ требований, предъявляемых этими критериями к системам голографического радиовидения, построенным на основе эталонных фазовых методов. Указан подход, позволяющий уменьшить требуемую величину отношения сигнал/шум при сохранении минимального шага сетки эталонов.

В ходе работы над диссертацией Гвоздарёв А.С. широко использовал математический аппарат статистической радиофизики, теории статистических решений и оценки параметров сигналов на фоне помех, теории вероятностей, а также радиофизические методы анализа в системах прикладной электродинамики.

**Достоверность** основных результатов диссертации подтверждается корректным использованием математических методов статистической радиофизики, совпадением полученных результатов в предельных и частных случаях с известными результатами, полученными другими авторами, а также согласованием полученных теоретических зависимостей с результатами статистического моделирования на ЭВМ.

**Научная и практическая ценность** работы заключается в том, что на основе полученных автором теоретических выражений для статистических характеристик интегральной разности фаз и их аппроксимаций, можно провести синтез и анализ алгоритмов и устройств оценивания интегральной разности фаз, а выполнение сформулированных требований к СГРВ обеспечит необходимое качество её функционирования. Исследованный эталонный фазовый метод позволяет существенно повысить разрешающую способность систем голографического радиовидения по сравнению с классической аппаратной разрешающей способностью.

Диссертация Гвоздарёва А.С. написана четким и доступным языком. Содержание автореферата полностью отражает содержание диссертации. Основные результаты диссертации с необходимой полнотой докладывались на меж-

дународных научно-технических конференциях и опубликованы в ведущих научных журналах.

По диссертации Гвоздарёва А.С. **можно сделать несколько замечаний:**

1. В гл. 2 при выводе характеристик интегральной разности фаз автор приводит излишне подробные математические выкладки. В частности, представляется очевидным, что с ростом ОСШ плотность вероятности оценки разности фаз стремится к дельта-функции и подробное доказательство этого факта представляется излишним.

2. Критерий выбора шага сетки эталонов на основе ограничения вероятности ошибки различении двух соседних эталонов, предложенный в гл.4, представляется неудачным применительно к рассматриваемой в работе задаче оценки непрерывного параметра объекта. Такой критерий больше подходит к задаче различения конечного числа объектов (или различения значений дискретного параметра объекта). В задаче оценки этот критерий может привести к результатам, противоречащим здравому смыслу.

Так требование уменьшить вероятность ошибки различения двух соседних эталонов приводит к необходимости увеличивать шаг сетки эталонов и тем самым уменьшать количество эталонов. Если истинное значение оцениваемого параметра не совпадает ни с одним из выбранных эталонов (а этот вариант наиболее вероятен), то увеличение шага сетки эталонов неизбежно приводит к увеличению минимального отклонения оценки от её истинного значения. В этом случае можно ожидать, что точность оценки будет ухудшаться, хотя показатель качества критерия (вероятность ошибки различения) будет улучшаться.

Кроме того, данный критерий предполагает, что истинное значение оцениваемого параметра совпадает с одним из эталонов, что при оценивании неизвестного непрерывного параметра маловероятно. Такое предположение не соответствует постановке задачи оценки, решаемой в диссертации.

3. В работе отсутствуют конкретные указания на сокращение времени вычисления оценок максимального правдоподобия и моментных оценок при использовании упрощённых моделей плотности вероятности, полученных в гл. 2.

4. Следовало бы более подробно сравнить полученные в работе результаты с имеющимися в настоящее время, но полученными другими (например, амплитудными) методами, и тем самым показать положительный эффект от применения рассматриваемых в работе фазовых методов. Имеющихся в работе материалов, посвященных этому вопросу, явно недостаточно.

5. Хотелось бы также увидеть больший объем экспериментальных исследований, подтверждающих величину достигаемого эффекта в условиях, адекватных проведённому моделированию. Тем более, что судя по публикациям автора, такие исследования с участием автора проводились.

6. Диссертация содержит незначительное количество опечаток.

Однако отмеченные недостатки носят, в основном, частный или рекомендательный характер и не снижают в целом итоговую оценку содержательной части работы, представляющей собой актуальное исследование, в котором получены новые результаты, имеющие теоретическое и практическое значение.

**Выводы.** Диссертационная работа Гвоздарёва А.С. «Статистический анализ интегральной разности фаз при использовании радиоголографических эталонных методов» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, содержание работы соответствует специальности 01.04.03 – радиофизика, а Гвоздарёв Алексей Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент,  
кандидат физико-математических наук, доцент,  
доцент кафедры радиофизики  
Воронежского государственного университета.  
394006, Воронеж, Университетская площадь, 1,  
тел. 8(473)-208-916, e-mail: zakharov@phys.vsu.ru

Захаров  
Александр Викторович

24.04.2015 г.



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежский государственный университет» (ФГБОУ ВПО «ВГУ»)	
Имя:	Захаров А.В.
Фамилия:	без документальности
Подпись:	С. С. Сидорова
Подпись, расшифровка подписи	_____ 20__