

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА  
32.1.004.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФГУП  
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ И  
РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ» ФЕДЕРАЛЬНОГО  
АГЕНТСТВА ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И  
МЕТРОЛОГИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 06.12.2023 протокол №10

о присуждении **Озерову Михаилу Алексеевичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методы уменьшения погрешности измерений «локальных» радиолокационных характеристик объектов на широкополосных радиолокационных измерительных комплексах» по специальности «2.2.10 – Метрология и метрологическое обеспечение» принята к защите 05 октября 2023 г. (протокол №4) диссертационным советом 32.1.004.01 на базе Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»), (141570, Россия, Московская область, г. Солнечногорск, р.п. Менделеево, промзона ВНИИФТРИ, корпус 11), утвержденным Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №79/нк от 26.01.2022 г.

Соискатель Озеров Михаил Алексеевич, 1984 года рождения, в 2005 г. с отличием окончил Ставропольское высшее военное авиационное инженерное училище (военный институт) имени маршала авиации В.А. Судца» по специальности «Техническая эксплуатация РЭО».

В период с 2005 г. по 2008 г. проходил военную службу в 4-ом государственном ордена Ленина Краснознаменном центре подготовки авиационного персонала и войсковых испытаний Министерства обороны РФ имени В. П. Чкалова, г. Липецк.

В 2008 г поступил Военно-воздушную академию имени проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина и в 2012 г. с отличием завершил обучение в ФГКВОУВПО «Военный авиационный инженерный университет» Министерства обороны РФ по специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования», Диплом с отличием ОКА №32057.

В период с 2012 г по 2017 г проходил военную службу в ФГБУ «Главный научный метрологический центр» Министерства обороны РФ в должностях младший научный сотрудник, старший научный сотрудник, начальник лаборатории, заместитель начальника отдела – начальник лаборатории.

С июня 2017 г. по н.в. работает во ФГУП «ВНИИФТРИ» в должности начальника лаборатории.

Диссертация выполнена в Научно-исследовательском отделении метрологии радиотехнических и электромагнитных измерений (НИО-1) ФГУП «ВНИИФТРИ».

**Научный руководитель – Малай Иван Михайлович**, доктор технических наук, заместитель генерального директора ФГУП «ВНИИФТРИ» по радиотехническим и электромагнитным измерениям.

**Официальные оппоненты:**

**Юханов Юрий Владимирович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Антенны и радиопередающие устройства» ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» (г. Ростов-на-Дону);

**Смирнов Андрей Павлович** – доктор технических наук, руководитель направления ЭМС и радиоизмерений АО «Научно-производственная фирма «Диполь» (Санкт-Петербург).

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** – «Главный научный метрологический центр» Министерства обороны РФ (г. Мытищи, Московская область) - в своем **положительном отзыве**, составленном и подписанном старшим научным сотрудником - доктором технических наук Кизимой С.В. и старшим научным сотрудником - кандидатом технических наук Руденковой Е.Г., рассмотренном и утвержденном на заседании научно-технического совета и утвержденном начальником учреждения к.т.н. Мамлеевым Т.Ф., **указала**, что актуальность тематики диссертационных исследований, проведенных Озеровым Михаилом Алексеевичем, обусловлена необходимостью развития технологий определения радиолокационных характеристик объектов с учетом возможности определения интегральных характеристик радиолокационной заметности и одновременно возможности декомпозиции характеристик радиолокационной заметности на составляющие, формирующие интегральный радиолокационный портрет объекта. В этой связи тема и содержание диссертации Озерова М.А. актуальны и направлены на решение научной задачи обеспечения формирования радиолокационных изображений (РЛИ) с учетом требований обеспечения объективной оценки и уменьшения погрешностей получаемых результатов.

В соответствии с актуальностью и направленностью темы диссертации автор структурирует работу в данном направлении таким образом, чтобы достичь поставленной цели исследований и решить сформулированные для ее достижения научные задачи в области метрологического обеспечения процессов оценки радиолокационных характеристик объектов средствами современных и перспективных радиолокационных измерительных комплексов.

Целью диссертационных исследований Озерова М.А. является повышение информативности и точности измерений радиолокационных характеристик средствами специализированных радиолокационных измерительных комплексов.

Задачи диссертационных исследований определены с учетом полноты, логической целостности и практической направленности диссертационных исследований в направлении поставленной цели.

Логика решаемых в диссертации задач предусматривает разработку и использование модели широкополосного радиолокационного измерительного комплекса, моделирование, обоснование и проверку на состоятельность и эффективность предлагаемых методов градуировки радиолокационных изображений в единицах эффективной площади рассеяния (ЭПР), способов определения погрешностей измерений ЭПР, требований к технологическому процессу измерений диаграмм обратного рассеяния и интерполяции массива данных для синтеза радиолокационных изображений (РЛИ), предложений в части содержания метода оценки неравномерности поля в рабочей зоне антенного полигона, а также метода измерений интегральных радиолокационных характеристик малоотражающих объектов на основе пространственной трехмерной фильтрации синтезируемых РЛИ.

Структура исследований состоит из введения и пяти глав, которые посвящены вопросам анализа состояния развития радиолокационных измерительных комплексов и их метрологического обеспечения, градуирования радиолокационных изображений, интерполяции массивов исходных данных, используемых при синтезе РЛИ, измерений характеристик амплитудного и фазового распределения поля в рабочих зонах радиоизмерительных комплексов, измерений радиолокационных характеристик объектов с низкой ЭПР.

Представленная в работе последовательность диссертационных исследований и решение поставленных в диссертации задач позволили получить обоснованные новые научные результаты и сформулировать основные положения, выносимые на защиту.

Представленная в работе последовательность диссертационных исследований и решение поставленных в диссертации задач позволили получить следующие обоснованные научные результаты диссертационных

исследований и основные положения, выносимые на защиту:

- метод измерений локальной ЭПР на основе использования равенства Парсевала обеспечивает однозначную взаимосвязь между локальными и интегральными радиолокационными характеристиками и позволяет проводить измерения локальной ЭПР с пределами в размере  $\pm 6$  дБ;
- критерии выбора углового шага при измерении комплексной диаграммы обратного рассеяния за счет интерполяции позволяют обеспечить уменьшение продолжительности измерений локальных ЭПР в 4 раза;
- метод измерений неравномерности поля в рабочей зоне радиолокационного измерительного комплекса на основе обратного синтеза апертуры позволяет проводить оценку неравномерности амплитудного распределения с погрешностью  $\pm 0,5$  дБ, фазового распределения с погрешностью  $\pm 8$  градусов, в условиях испытательных полигонов;
- метод измерений интегральных радиолокационных характеристик объектов с малой ЭПР позволяет за счет пространственной фильтрации синтезированных РЛИ обеспечить расширение динамического диапазона на 10-15 дБ.

Диссертационная работа Озерова М.А. представляет собой законченное цельное самостоятельное исследование, включающее новые, обоснованные и подтвержденные проведенными практическими измерениями научные положения, выводы и рекомендации в области метрологического обеспечения радиолокационных измерительных комплексов и процессов измерений радиолокационных характеристик объектов различного назначения.

Результаты диссертации имеют как научное, так и практическое значение.

Внедрение полученных в диссертации результатов в практику измерений радиолокационных характеристик объектов будет способствовать улучшению точностных характеристик, используемых для этих целей радиолокационных измерительных комплексов.

Работа базируется как на теоретическом материале, так и на проведенных экспериментальных исследованиях. Автор диссертации рассматривает опыт российских и зарубежных ученых, организаций, критически осмысливает имеющиеся результаты в области применения существующих радиолокационных измерительных комплексов по целевому назначению. Для решения поставленных задач в работе используются методы системного анализа и синтеза радиотехнических систем, численного моделирования и экспериментальных исследований.

Основное содержание, положения и результаты диссертационных исследований опубликованы, в том числе, в ведущих научных изданиях, рекомендуемых ВАК, в достаточной степени отражены в этих публикациях и изложены в автореферате, докладывались автором и обсуждались на Всероссийских научно-технических конференциях и симпозиумах.

Заключение ведущей организации о соответствии диссертации требованиям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ:

Диссертационное исследование Озерова М.А. на тему «Методы уменьшения погрешности измерений «локальных» радиолокационных характеристик объектов на широкополосных радиолокационных измерительных комплексах» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком уровне, в которой решена актуальная научная задача в области теории и практики измерений радиолокационных характеристик объектов в лабораторных условиях. Внедрение полученных результатов будет способствовать улучшению метрологических характеристик радиолокационных измерительных комплексов, применяемых в ходе исследования характеристик заметности изделий различного назначения.

Результаты диссертации обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью, в достаточной степени представлены в опубликованных научных трудах автора.

Автореферат диссертации полностью отражает ее основное содержание.

Использование результатов работ других авторов сопровождается корректными ссылками на их публикации.

По поставленным целям, задачам, решаемым проблемам, содержанию и полученным результатам диссертационная работа Озерова Михаила Алексеевича соответствует областям исследований паспорта научной специальности 2.2.10 - Метрология и метрологическое обеспечение (технические науки).

Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842) для учёной степени кандидата наук, а её автор, Озеров Михаил Алексеевич, достоин присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 – Метрология и метрологическое обеспечение.

В отзыве ведущей организации имеются следующие замечания:

1) Продекларированной целью диссертационной работы является - «снижение радиолокационной заметности объектов за счет повышения информативности и точности измерений их радиолокационных характеристик на радиолокационных измерительных комплексах». Вместе с тем, повышение информативности и точности измерений радиолокационных характеристик объектов средствами радиолокационных измерительных комплексов непосредственно не приведет к снижению их радиолокационной заметности.

2) Классификационные признаки влияющих факторов, определяющих наличие и составляющие погрешностей измерений радиолокационных характеристик объектов с использованием РИК («Характеристика влияющего фактора») в смысле их определений и упорядочивания по сути смыслового содержания, представляются без систематизации и в вариантах существования в единственном числе: «Математическая обработка», ..., «Случайные составляющие погрешностей измерений модуля КМДОР».

3) Имеет место неоднозначность и противоречивость определений по тексту автореферата и диссертации. По тексту диссертации к решаемым научным задачам отнесена задача обоснования способов определения погрешности измерений ЭПР объектов на РЛИ (стр. 10 диссертации). По тексту диссертации (см. оглавление) и автореферата (стр. 11 автореферата) к задачам второго раздела диссертации отнесена разработка способов оценки погрешности РЛИ. Обоснование способов и разработка способов предусматривают различные последствия и требования к процессу выполнения работы и к конечному результату. В материалах диссертации и в автореферате не определены отличительные свойства предлагаемого варианта оценки погрешности РЛИ, категорирующие данный вариант как разработанный (т.е. новый) способ оценки погрешностей относительно других известных способов оценки погрешностей. Для случая декларации «разработанный способ» - заявляемый в диссертации разработанный способ оценки погрешностей - отсутствует в перечне публикаций автора диссертационных исследований в варианте представления в качестве заявки на изобретение или патента на изобретение, что в данном случае было бы крайне желательно.

4) По тексту диссертации и автореферата разработанный и продекларированный автором диссертационных исследований метод измерений интегральных радиолокационных характеристик объектов (автореферат стр. 4, стр. 21) в разделе автореферата «Научная новизна» (стр. 6 автореферата) продекларирован как впервые предложенный способ. При этом ссылки на заявки на изобретения или патенты также отсутствуют.

5) В обоснование выбора углового шага при измерениях комплексной диаграммы обратного рассеяния положены следующие вызывающие сомнения постулаты в части причинно-следственных связей факторов изменения погрешностей измерений, декларируемые, по сути, как «общий случай» (стр. 14 автореферата):

- «уменьшение углового шага при измерениях ведет к



пропорциональному для каждой угловой оси увеличению продолжительности времени измерений, что, в свою очередь, может приводить к неприемлемым значениям погрешностей измерений за счет временной нестабильности измерительной системы»;

- «таким образом, уменьшение углового шага одновременно с уменьшением соответствующей методической погрешности может обуславливать уменьшение динамического диапазона измерений и увеличение случайной составляющей погрешности, имеющей инструментальный характер»;

Ведущей организацией отмечается, что перечисленные в её отзыве замечания и недостатки не снижают научной и практической значимости и общей положительной оценки работы Озерова М.А.

Соискатель имеет 27 опубликованных научных работ по теме диссертации из них: 11 в изданиях, включенных в текущий перечень рецензируемых журналов, рекомендованных ВАК, в том числе 3 - в журналах, входящих в RSCI ВАК, 10 - в материалах всероссийских и межведомственных конференций. В публикациях представлены результаты научных исследований соискателя, описаны методики проведения и результаты экспериментов, вопросы разработки алгоритмов проведения и обработки результатов экспериментов; во всех совместных публикациях вклад соискателя является определяющим.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения о работах, опубликованных соискателем учёной степени, не содержатся заимствованные материалы без ссылок на авторов, а также результаты научных работ, выполненных соискателем в соавторстве без ссылки на соавторов.

**Основные результаты диссертации отражены в следующих работах:**

1. Озеров М.А. Разработка расчетно-экспериментального метода оценки метрологических характеристик измерительных комплексов на основе

инверсного синтеза апертуры. / М.А. Озеров // Вестник метролога – 2013. – №3 – с.18-22.

2. Озеров М.А. Градуирование радиолокационных изображений в единицах эффективной площади рассеяния / М.А. Озеров, А.В. Титаренко // Радиотехника. - 2014. – №12 – с.10–16.

3. Озеров М.А. Оценка неравномерности поля в рабочей зоне антенного полигона методом инверсного синтеза апертуры / М.А. Озеров, А.В. Титаренко // Вестник метролога – 2014. – №4 – с.25-28.

4. Озеров М.А. Особенности формирования массивов исходных данных для синтеза трехмерных РЛИ. / М.А. Озеров, А.В. Титаренко // Вестник метролога – 2015. – №2 – с.24-28.

5. Озеров М.А. Синтезирование пространственной импульсной характеристики антенны для восстановления диаграммы направленности, измеренной в неидеальных условиях. / М.А. Озеров, А.В. Титаренко // Вестник метролога – 2016. №4 с.14-18.

6. Озеров М.А. Расчетно-экспериментальный метод оценки метрологических характеристик радиоэлектронных измерительных комплексов РЛХ объектов ВВТ инверсным синтезом апертуры // Тезисы докладов XXXVIII конференции молодых ученых и специалистов военных метрологов «Актуальные задачи военной метрологии».

7. Озеров М.А. Способ нормирования радиолокационных изображений в единицах эффективной площади рассеяния // Тезисы докладов XXXIX конференции молодых ученых и специалистов военных метрологов «Актуальные задачи военной метрологии».

8. Озеров М.А. Градуирование радиолокационных изображений в единицах эффективной площади рассеяния / М.А. Озеров, А.В. Титаренко // Тезисы докладов X Всероссийской научно-технической конференции – 2014. с. 194-198.

9. Озеров М.А. Методика оценки неравномерности поля в рабочей зоне антенного полигона методом инверсного синтеза апертуры / М.А. Озеров, А.В.

Титаренко // Тезисы докладов X Всероссийской научно-технической конференции «Метрологическое обеспечение обороны и безопасности в Российской Федерации», п. Поведники - 2014. с. 157-161.

10. Озеров М.А. Особенности формирования массивов исходных данных для построения трехмерных радиолокационных изображений / М.А. Озеров, А.В. Титаренко // Труды XXIX Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред», г. Санкт-Петербург - 2015. с. 537-546.

11. Озеров М.А. Способы определения погрешности измерений эффективной площади рассеяния объектов на радиолокационных изображениях / М.А. Озеров, А.В. Титаренко // Труды XXIX Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред», г. Санкт-Петербург - 2015. с. 547-560.

12. Озеров М.А. Критерий выбора углового шага измерений диаграммы обратного рассеяния радиолокационного объекта для построения его радиолокационного изображения / М.А. Озеров, И.М. Малай // Тезисы докладов X Всероссийской научно-технической конференции «Метрология в радиоэлектронике», ФГУП «ВНИИФТРИ» - 2016 с. 217-220.

13. Озеров М.А. Метод измерений интегральных радиолокационных характеристик объектов с низкой ЭПР на основе пространственной фильтрации синтезированных радиолокационных изображений / М.А. Озеров, И.М. Малай // Тезисы докладов X Всероссийской научно-технической конференции «Метрология в радиоэлектронике», ФГУП «ВНИИФТРИ» - 2016 с. 217-220.

14. Озеров М.А. Метод восстановления интегральных радиолокационных характеристик объектов, измеренных в неидеальных условиях, на основе пространственной фильтрации синтезированных радиолокационных изображений / М.А. Озеров // Труды XXX Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред», г. Санкт-Петербург - 2017. с. 537-546.

15. Малай И.М., Анютин Н.В., Озеров М.А., Титаренко А.В., Шкуркин М.С. Коррекция измеренного амплитудно-фазового распределения поля в ближней зоне по диаграмме направленности зонда// Измерительная техника. 2018. № 1. С. 50-53.

16. Титаренко А.В., Анютин Н.В., Озеров М.А. Профилирование границ раздела изотропных сред с использованием полиномов Чебышева в задачах рассеяния радиоволн// В сборнике: Метрология в радиоэлектронике. Материалы XI Всероссийской научно-технической конференции. В 2-х томах. ФГУП "ВНИИФТРИ". - 2018. С. - 201-207.

17. Озеров М.А., Титаренко А.В. Многомерная пространственная фильтрация для повышения точности измерений электродинамических характеристик излучения антенн // Измерительная техника. 2021. № 11. С. 46-54.

**В положительном отзыве официального оппонента Юханова Юрия Владимировича имеются следующие замечания (рекомендации):**

1. Неудачно сформулирована цель работы, так как измерения сами по себе напрямую не могут снижать радиолокационную заметность объектов.
2. Во введении «научная новизна» и «практическая значимость» - практически идентичны и отличаются только порядком изложения.
3. Используемые понятия интегральной ЭПР и бистатической диаграммы рассеяния не совпадают с принятыми в литературе, на которую ссылается автор (см. стр. 6 и 32 диссертации).
4. Имеются ошибки в нумерациях формул и рисунков.
5. На некоторых рисунках оси ординат не имеют обозначений.
6. Хотелось бы видеть зависимость погрешности от величины измеряемой ЭПР. В диссертации, конечно, показана зависимость погрешности от величины ЭПР, но только составляющей погрешности (формула (1.12)), обусловленной наличием фона и побочных переотражений.

7. Фактические значения эффекта от применения предложенных автором методов измерений представлены на иллюстрациях, но плохо обобщены и слабо выражены в выводах по разделам.

8. В разделах 4 и 5, где соискатель предлагает новые методы измерений, отсутствует описание БЭК (размеры, собственной ЭПР БЭК), в которых велась апробация методов (очевидно, это - лабораторно-экспериментальная база ФГУП «ВНИИФТРИ»).

Наличие указанных недостатков не снижают общей ценности представленной работы.

**Вывод официального оппонента Юханова Ю.В.:**

Диссертация Озерова М.А. является актуальной, логично структурированной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научно-техническом уровне. Положения, выносимые на защиту и полученные результаты, носят обоснованный характер и имеют несомненную практическую ценность. Автореферат в полной мере отражает все основные результаты исследований.

Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а Озеров Михаил Алексеевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 - Метрология и метрологическое обеспечение.

**В отзыве официального оппонента доктора технических наук, профессора Смирнова Андрея Павловича имеются замечания и рекомендации:**

1. Многие из положений, предложений и выводов носят достаточно общий характер. Это может породить впечатление от некоторой универсальности предлагаемых решений без учета того факта, что они рассмотрены именно применительно к измерениям РЛИ методом ИСА. В частности, при использовании интерполяции нет никаких описаний собственно интерполирующей функции, считая это несущественным, что в целом сомнительно.

2. Ряд положений и исходных предпосылок для разработки методов повышения точности измерений исходят не из объективных ограничений процедур измерений РЛХ и характеристик РИК либо объектов испытаний, а из возможных маловероятных ошибок применения алгоритмов обработки, вызванных оператором с невысокой квалификацией, например, корректность выбора исходных дискретных точек для исходной измерительной информации.

3. Значительный объем диссертации носит известный характер касательно, например, расчетных соотношений ЭПР простейшей формы, детальному анализу получения одномерных РЛИ методом дискретного частотного синтеза, изложенные в нем материалы мало связаны с темой диссертации, в ущерб более интересным и значимым разделам по основной теме работы.

4. Некоторые промежуточные блоки получения РЛИ описаны только словесно либо никак, хотя более естественным и логичным представлялось бы добавление формул, выражений для используемых многомерных функций и преобразований, что облегчило бы понимание работы, возможность реализации алгоритмов заинтересованными специалистами и коллегами. Это касается, например, блоков перестроения массива данных и блока расчета координатной сетки при описании алгоритма синтеза РЛИ.

#### **Общий вывод официального оппонента Смирнова А.П.:**

В целом указанные замечания не носят принципиальный или критический характер, имеют рекомендательный смысл, связаны с большим объемом экспериментальных исследований и широтой темы диссертации. Невзирая на их присутствие, с учетом детального анализа диссертации и автореферата, представленные материалы являются **законченной научно-квалификационной работой**, в которой содержится **решение научной задачи**, имеющей важное значение для развития исследований и метрологического обеспечения измерений радиолокационных характеристик объектов различного назначения. Представленная диссертационная работа

соответствует критериям, установленным пунктом 9 "Положения о порядке присуждения ученых степеней" для кандидатских диссертаций, по признакам **актуальности, научной новизны и практической важности**. Ее автор, **Озеров Михаил Алексеевич, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени "кандидат технических наук"** по специальности 2.2.10 - Метрология и метрологическое обеспечение.

На автореферат поступили **отзывы специалистов из 15 организаций, все положительные, в отзывах имеется ряд замечаний:**

1. От начальника 42 отдела 4 управления НИЦ (г. Тверь) **ЦНИИ ВКС** Минобороны России, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника С.В. Ковалева, от Врио начальника 42 отдела 4 управления НИЦ (г. Тверь) **ЦНИИ ВКС** Минобороны России, кандидата технических наук А.А. Белова, от Врио заместителя начальника НИЦ (г. Тверь) **ЦНИИ ВКС** Минобороны России по научной работе, кандидата технических наук М.А. Сплошнова:
  - 1.1. из автореферата не ясно, насколько полно в работе обоснованы численные значения погрешностей, указанные в положениях, выносимых на защиту;
  - 1.1. в автореферате недостаточно полно раскрыты ограничения метода измерений интегральных радиолокационных характеристик объектов с малой ЭПР на основе пространственной фильтрации синтезированных РЛИ;
  - 1.2. при описании метода измерений неравномерности поля в рабочей зоне РИК на основе обратного синтеза апертуры автором недостаточное внимание уделено его практической апробации (судя по автореферату, численные значения погрешности получены только на примере анализа РЛИ тонкого стержня).
2. От начальника отдела 95 **АО «НИИ ТП»**, кандидата технических наук, доцента Лёвина С.В. и Главного специалиста отделения 2 **АО «НИИ ТП»**, кандидата технических наук Медведева С.Б.

- 2.1. Из материалов автореферата не совсем понятно, в чем заключается положительный эффект метода градуировки радиолокационных изображений в единицах эффективной площади рассеяния.
  - 2.2. Из материалов автореферата не совсем понятно, почему неравномерность фазы в пределах рабочей зоны радиолокационного измерительного комплекса не должна превышать значения  $\pi/8$  (с. 9).
  - 2.3. На с. 16 указано, что при синтезировании радиолокационного изображения исключаются ложные отклики. Из материалов автореферата не совсем понятен критерий, согласно которому отклик считается ложным.
  - 2.4. Из материалов автореферата не совсем понятно, почему матрица КМДОР может быть разреженной и как с этим «бороться» (с. 17).
  - 2.5. Из материалов автореферата не совсем понятно, какие выводы сделаны из анализа модулей КМДОР, приведенных на рисунке 11 (с. 18).
  - 2.6. Как могут измениться вклады отдельных составляющих в суммарную погрешность при практическом применении результатов диссертационной работы (рисунок 3)?
3. От начальника управления подготовки кадров высшей квалификации **ФГУП «РНИИРС»**, доктора технических наук, профессора В.В. Хуторцева, от ведущего научного сотрудника отдела подготовки кадров высшей квалификации **ФГУП «РНИИРС»**, доктора физико-математических наук, доцента М.Ю. Звездиной, от заместителя начальника НТК по науке **ФГУП «РНИИРС»**, доктор технических наук, профессора, Д.Д. Габриэльяна, от начальника НТК **ФГУП «РНИИРС»**, кандидата технических наук В.И. Демченко
- 3.1. При формулировке критериев выбора углового шага при измерении комплексной диаграммы рассеяния обратного рассеяния следует, по нашему мнению, говорить не о минимальной, а о максимальной



величине шага. Об этом свидетельствует и знак неравенства в соотношениях (12), (13).

3.2. Полученные в работах [1-8] (нумерация статей по автореферату) результаты могут быть использованы для оформления заявок на предполагаемые изобретения.

4. От Мордвинова И.Г., кандидата технических наук, заместителя начальника отделения 300 АО «ГосМКБ «Вымпел» им. И.И. Торопова»:

4.1. В автореферате диссертации не рассмотрены преимущества, предлагаемого автором метода пространственной фильтрации по сравнению с широко используемым методом временной фильтрации сигналов по времени запаздывания;

4.2. Из автореферата не ясно, какие именно методы интерполяции массива исходных данных необходимо использовать для исключения появления «ложных откликов» на РЛИ;

4.3. Экспериментальная апробация метода проведена только на радиолокационном объекте, состоящем из двух сфер.

5. От ведущего научного сотрудника НИО-1 АО «НИИ СТТ», кандидата технических наук С.К. Николаевича, от заместителя руководителя направления «Радиоэлектроника»-начальника конструкторского бюро-1 АО «НИИ СТТ» Нижникова Д.С.:

5.1. В автореферате не представлена информация о средствах измерений, использованных при проведении экспериментальной части исследований.

5.2. Интересно было бы увидеть количественное сравнение расчетных характеристик ЭПР объектов сложной формы с получаемыми экспериментальными данными. Особенно в случаях, когда объект исследования изготовлен из радиопоглощающих материалов.

6. От руководителя реализации программ оборонно-промышленного комплекса ФАУ «ЦАГИ», доктора технических наук, старшего научного сотрудника А.Б. Корнилова, от ведущего инженера ФАУ «ЦАГИ»

Дорохова М.В., от первого заместителя генерального директора ФАУ «ЦАГИ» д.ф.-м. наук, профессора РАН А.Л. Медведского:

Автореферат даёт достаточно полное представление о работе. К недостаткам работы можно отнести то, что в тексте автореферата не приведены:

- 6.1. зависимость результатов измерений неравномерности амплитудно-фазового распределения, усреднённых по частоте, от ширины используемой полосы частот;
- 6.2. требования к «оконным» функциям, используемым для стробирования отдельных участков РЛИ;
- 6.3. раздел личного вклада автора в работах, где он участвует в качестве соавтора.

7. От учёного секретаря **АО «Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца»**, доктора технических наук Буханца Д.И.:

7.1. Как следует из автореферата, предлагаемая автором методика измерений неравномерности амплитудно-фазового распределения обеспечивает получение распределений, усреднённых по частоте, следовательно, результат измерений будет зависеть от ширины используемой полосы частот.

7.2. При обосновании метода интерполяции массива исходных данных автором рассматриваются не сами методы интерполяции, а лишь критерии выбора угловой сетки при измерениях.

8. От Патракова Ю.М., ведущего научного сотрудник 74 лаборатории **ФГУП «Крыловский государственный научный центр»**, кандидата технических наук по специальности 20.02.18 — Защита военной техники ВМФ от обнаружения, старшего научного сотрудника.

8.1. Утверждение, что впервые предложен метод градуировки радиолокационных изображений в единицах ЭПР, выглядит слишком сильным. Подобные методы уже используются на протяжении последних десятилетий (например, в работах Штагера

Е.А., Кобака В.О.). Автор предложил оригинальный метод градуировки и было бы уместно сравнение его с существующими, например, методом сравнительных измерений с калибровочным отражателем с заданной ЭПР.

8.2. Не обозначен диапазон геометрических параметров объектов измерения и соответственно не ясна область применимости рассмотренных методов измерения: применимы ли они при проведении натуральных измерений реальных объектов, например, военной техники, или только их масштабных моделей на измерительных полигонах.

8.3. Поставленная задача уменьшения фоновых отражений и, таким образом, моделирование условий измерений в свободном пространстве актуальна в практическом смысле разве лишь при измерении характеристик летательных аппаратов. В случае измерений наземной техники на грунте или морских объектов на водной поверхности фоновые отражения/переотражения значительны и принципиально неотделимы от отражений непосредственно от объекта. Остаётся вопрос, насколько рассмотренные методы применимы в последнем случае.

9. От А.В. Кирпанева, начальника отдела, доктора технических наук, доцента, **АО «Радар ММС»**:

9.1. В автореферате не указано, какие именно методы интерполяции массива исходных данных необходимо использовать для исключения разреженности массивов исходных данных для формирования РЛИ.

9.2. Автором, в автореферате, не приведены модели погрешностей измерений диаграмм обратного рассеяния объектов.

10. От С.В. Елизарова, начальника сектора **ПАО «Радиофизика»**, зам. зав. базовой кафедры МФТИ, кандидата технических наук:

- 10.1. В автореферате не представлен анализ существующих в РФ радиолокационных измерительных комплексов.
- 10.2. В автореферате не указано, какие именно методы интерполяции массива исходных данных необходимо использовать для исключения разреженности массивов исходных данных для формирования РЛИ.
- 10.3. В работе не дана оценка перспективности использования алгоритмов формирования радиолокационных портретов целей экспериментальным методом при помощи РЛС с ЛЧМ сигналом, которые могут производить оценку вкладов ЭПР отдельных элементов объекта в его интегральную ЭПР на заданных частотах.
11. От Н.П. Балабуха, заведующего лабораторией **ИТПЭ РАН**, кандидата технических наук, доцента:
- 11.1. Не совсем удачно определена цель работы. Уменьшение погрешности измерений не может влиять на РЛЗ объектов.
- 11.2. Не рассмотрены требования к оконным функциям, используемым для стробирования отдельных участков РЛИ.
12. От А.В. Галеницкого, старшего научного сотрудника 423 лаборатории военного института (научно-исследовательского) **Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского**, кандидата технических наук:
- 12.1. В формуле (1) автореферата не ясен физический смысл множителя, обратного расстоянию, который является пятимерной функцией декартовых координат и углов сферической системы координат.
- 12.2. В описании модели расчётно-экспериментальной оценки метрологических характеристик РИК не приведён перечень её ограничений, в частности, её применимости к поляриметрическим измерениям РЛХ.
13. От С.В. Копченова, учёного секретаря АО «ГНПП «Регион», кандидата технических наук:

- 13.1. В автореферате диссертации не рассмотрены требования к оконным функциям, используемым для стробирования отдельных участков РЛИ.
- 13.2. В автореферате диссертации не рассмотрены преимущества предлагаемого автором метода пространственной фильтрации по сравнению с методом временной фильтрации сигналов.
14. От А.В. Малинки, начальника научно-тематического отдела АО **«Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга»**, кандидата военных наук:
- 14.1. Не представлен анализ существующих в РФ радиолокационных измерительных комплексов.
- 14.2. Не рассмотрены требования к оконным функциям, используемым для стробирования отдельных участков РЛИ.
15. От М.В. Михайлова, заместителя директора по разработкам НИЦ РЭС АО **«НПП «Исток» им. Шокина»**
- 15.1. Автором утверждается возможность измерений без дополнительной погрешности на расстояниях меньших границы дальней зоны за счёт применения предлагаемого метода восстановления интегральных радиолокационных характеристик объектов, однако ограничения по возможности уменьшения расстояния не установлены.
- 15.2. В автореферате не представлен анализ существующих в РФ радиолокационных измерительных комплексов.

**В целом все авторы отзывов заключают, что автореферат достаточно хорошо и полно освещает поставленные перед диссертантом задачи, методы их решения и достигнутые им результаты, представленная диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой и соответствует всем требованиям ВАК, автор работы – Озеров М.А. заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.**

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обоснован их известностью, компетентностью, авторитетом и наличием публикаций в научно-техническом направлении, к которому относится диссертация Озерова М.А., а также способностью однозначно определить научную и практическую ценность диссертации.

**Диссертационный совет отмечает**, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** математическая модель РИК, **проведена** экспериментальная оценка её адекватности и, при помощи разработанной модели, **проведён анализ уравнения измерений** и основных источников погрешности синтезируемого РЛИ с помощью модели широкополосного РИК с инверсным синтезом апертуры;

**разработаны:**

- метод оценки неравномерности амплитудного и фазового распределений ЭМП в рабочей зоне РИК методом инверсного синтеза апертуры, обеспечивающий возможность оценки составляющих погрешности измерений из-за побочных переотражений и ограниченного расстояния в условиях эксплуатации;

- метод обработки результатов измерений на основе пространственной фильтрации синтезированных РЛИ, обеспечивающий повышение отношения сигнал/фон на 10...15 дБ для измерений радиолокационных характеристик объектов с низкой ЭПР;

**предложены:**

- метод градуирования радиолокационных изображений в единице ЭПР на основе равенства Парсевалья, который обеспечивает однозначную взаимосвязь между локальными и интегральными характеристиками рассеяния объектов;

- способ определения погрешности измерений ЭПР на РЛИ, основанный на использовании стандартных мер ЭПР и не требующий разработки специальных эталонов (мер) «локальной» ЭПР;

- способ интерполяции массива исходных данных для синтеза РЛИ, позволяющий уменьшить объем и продолжительность измерений от 2 до 4 раз для угловой оси (степени свободы);

**обоснованы** с использованием теоремы Котельникова критерии выбора углового шага при измерениях, определяющие минимальный объем измерений для корректного синтезирования РЛИ.

**Научная новизна** полученных в работе результатов заключается в том, что: впервые разработаны и реализованы при создании комплекса для высокоточных измерений радиолокационных характеристик рассеяния объектов:

**метод градуировки** радиолокационных изображений в единице ЭПР, позволяющий, в отличие от известных подходов, получать оценки ЭПР отдельных элементов объекта в заданных диапазонах углов и частот с нормированной погрешностью;

**метод измерений** неравномерности амплитудного и фазового распределений поля в рабочей зоне радиолокационного полигона, основанный на обратном синтезе апертуры, отличающийся более простой технической реализацией, не требующей использования планарного сканера;

**критерии выбора** углового шага при измерениях и интерполяции массивов исходных данных для синтеза РЛИ, которые в отличие от известных подходов позволяют снизить продолжительность измерений, а также исключить грубые ошибки измерений ЭПР локальных центров рассеяния и

**способ обработки результатов измерений** интегральных радиолокационных характеристик объектов с малой ЭПР на основе пространственной фильтрации синтезированных РЛИ, позволяющий уменьшить погрешности и увеличить диапазон измерений, выполняемых в неидеальных условиях.

**Теоретическая значимость исследования определяется разработкой оригинального научно-методического подхода к градуировке РЛИ в единице ЭПР и нормированию погрешности измерений локальных РЛХ.**

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что реализован метод градуировки радиолокационных изображений в единице ЭПР, позволяющий с помощью широкополосных РИК получать оценки ЭПР отдельных элементов объекта с нормированной погрешностью. Разработан метод уменьшения погрешности РЛХ объектов с малой ЭПР на основе пространственной фильтрации синтезированных РЛИ.

**Результаты диссертационной работы внедрены в ФГУП «ВНИИФТРИ»:**

- **при создании комплекса автоматизированного МГФК.411734.086 для высокоточных измерений радиотехнических характеристик антенных систем и характеристик рассеяния объектов в СВЧ диапазоне в рамках ОКР «Технология-РЛ», внедрены разработанные лично автором:**

- программа управления МГФК.00726-01;
- программа обработки МГФК.00727-01;
- методики Государственных испытаний комплекса МГФК.411734.086;

- **при разработке программно-аппаратного комплекса для измерений рассеивающих свойств объектов «Сигнатура-2М» в рамках ОКР «Плоскость», автором лично разработано СПО управления измерениями и обработки их результатов;**

- **при разработке методик испытаний в целях утверждения типа средства измерений Комплекса радиотехнических измерений БЭК-2, в интересах ФГУП ЦАГИ**



**в ФГУП «ИТПЭ РАН»:**

- **при создании комплекса** для измерений рассеивающих свойств объектов и радиотехнических характеристик антенн – БЭК-ТУ;
- **при разработке методик испытаний** в целях утверждения типа средства измерений комплекса для измерений рассеивающих свойств объектов и радиотехнических характеристик антенн – БЭК-ТУ.

Внедрение результатов диссертационной работы диссертанта **подтверждено актом** ФГУП «ВНИИФТРИ» от 14.09.2023 г. и актом ИТПЭ РАН от 12.09.2023 г.

**Достоверность полученных результатов** основывается на корректном использовании широко апробированных методов спектрального анализа, а также подтверждается адекватностью используемых моделей и экспериментальными результатами с использованием высокоточной аппаратуры ФГУП «ВНИИФТРИ», поверенной и калиброванной с использованием государственных эталонов. Достоверность результатов исследований подтверждается успешной экспериментальной апробацией разработанных автором методов, алгоритмов и модели погрешности.

**Личный вклад автора** заключается в постановке задач и целей исследования, разработке экспериментальных стендов, разработке методик экспериментов, проведении и анализе результатов экспериментов, формулировании научных положений и выводов, разработке технической документации, в подготовке и проведении экспериментов, обработке их результатов.

В ходе защиты диссертации соискатель Озеров М.А. согласился с большинством замечаний и рекомендаций, изложенных ведущей организацией, оппонентами и в отзывах специалистов, ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, привел собственную аргументацию по ряду замечаний.

На заседании 6 декабря 2023 г. диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертационная работа Озерова М.А. представляет собой

законченную научно-квалификационную работу, посвящённую решению актуальной научной задачи, заключающейся в разработке методов уменьшения погрешности измерений «локальных» радиолокационных характеристик объектов на широкополосных радиолокационных измерительных комплексах, и соответствующую критериям, которые установлены Положением о порядке присуждения учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842.

За решение актуальной научной задачи разработки методов уменьшения погрешности измерений «локальных» радиолокационных характеристик объектов на широкополосных радиолокационных измерительных комплексах, имеющей существенное значение для развития страны в области метрологического обеспечения измерений радиолокационных характеристик объектов, Диссертационный совет 32.1.004.01 принял решение присудить Озерову Михаилу Алексеевичу учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **13** человек, из них **8** докторов наук по специальности диссертации, участвовавших в заседании, из **15** человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» - **13** «против» - **нет**, недействительных бюллетеней – **нет**.

Председатель диссертационного совета

А.Н. Щипунов

Учёный секретарь диссертационного совета

М.В.Балаханов

« 6 » декабря 2023 г.