

## ОТЗЫВ

научного руководителя заместителя генерального директора ФГУП «ВНИИФТРИ» по радиотехническим и электромагнитным измерениям, доктора технических наук, доцента, Малая Ивана Михайловича  
о работе соискателя Озерова Михаила Алексеевича  
над диссертацией на тему «Методы уменьшения погрешности измерений «локальных» радиолокационных характеристик объектов на широкополосных радиолокационных измерительных комплексах», представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 –  
Метрология и метрологическое обеспечение

Озеров Михаил Алексеевич 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 июнь 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 профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина. В 2012 г. с отличием окончил ФГКВОУВПО «Военный авиационный инженерный университет» по специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования».

В период с 2012 г по 2017 г проходил военную службу в Главном научном метрологическом центре Министерства обороны Российской Федерации в должностях младший научный сотрудник, старший научный сотрудник, начальник лаборатории, заместитель начальника отдела – начальник лаборатории.

В ФГУП «ВНИИФТРИ» работает с июня 2017 по н.в. в должности начальника лаборатории.

В период с 2017 по 2023 гг. Озеров М.А. выполнял диссертационные исследования на базе ФГУП «ВНИИФТРИ».

Диссертационная работа соискателя направлена на повышение точности и оперативности измерений радиолокационных характеристик объектов на широкополосных радиолокационных измерительных комплексах. Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью обеспечения требуемой точности измерения «локальных» радиолокационных характеристик, получаемых путём синтеза РЛИ и необходимости решения задачи прослеживаемости радиолокационных измерительных комплексов к соответствующим эталонам.

В настоящее время большинство современных отечественных радиолокационных измерительных комплексов (РИК) с нормированной погрешностью измеряют лишь интегральные радиолокационные характеристики рассеяния (РЛХ), но для вновь разрабатываемых и модернизируемых комплексов, как правило, предъявляются требования по возможности синтеза радиолокационных изображений (РЛИ) объектов. Поэтому, измерения «локальных» РЛХ, получаемых путём обратного синтеза апертуры, требуют оценки точности и прослеживаемости. В настоящее время, синтезируемые РЛИ на

отечественных РИК нормируются не к единице эффективной площади рассеяния (ЭПР), а лишь к их максимальной яркости синтезируемого изображения, что приводит к потере информативности и невозможности обеспечения однозначной связи измерений «локальных» и интегральных РЛХ.

В ходе исследований автором лично установлена и доказана математическая взаимосвязь между «локальными» и интегральными РЛХ и предложен метод градуирования радиолокационных изображений в единице ЭПР, позволяющий получать оценки ЭПР отдельных элементов объекта в заданных диапазонах углов и частот с нормированной погрешностью. Установленная взаимосвязь между «локальными» и интегральными РЛХ позволила обосновать способы определения погрешности измерений эффективной площади рассеяния объектов на радиолокационных изображениях. В свою очередь это позволило разработать методики испытаний в целях утверждения типа средств измерений современных РИК, с возможностью обратного синтеза апертуры, и обеспечить их прослеживаемость к комплексу эталонов единиц эффективной площади рассеяния, модуля коэффициента отражения в свободном пространстве и коэффициента усиления антенн.

Автором разработана математическая модель широкополосного радиолокационного измерительного комплекса с помощью которой были исследованы основные источники погрешности измерений РЛХ. Адекватность модели подтверждена значительным объёмом экспериментальных исследований на РИК, разработанных ФГУП «ВНИИФТРИ» в рамках выполняемых ОКР.

Математическая модель широкополосного радиолокационного измерительного комплекса позволила выявить, что наиболее значительное влияние на погрешность измерений локальных РЛХ оказывает выбор параметров алгоритма синтеза РЛИ, а именно выбор сетки пространственных частот и углового шага измерений. Влияние данного фактора приводит к уменьшению уровня локального ЭПР и появления повторяющихся копий объекта. Автором показано, что это возникает из-за недостаточного числа выборок значений диаграммы обратного рассеяния по углу, а также потому что после преобразовании координат из угол-частота в координаты пространственных частот остаётся множество элементов, заполненных нулями. При этом продолжительность измерений одной диаграммы обратного рассеяния крупногабаритного объекта может составлять несколько часов, что в некоторых случаях приводит к увеличению погрешностей из-за нестабильности измерительного канала. Поэтому, важной задачей являлось определение минимального набора измеренных данных необходимых для синтеза РЛИ с заданной точностью. Используя апробированный математического аппарата спектрального анализа сигналов автором впервые предложены и обоснованы критерии выбора углового шага при измерениях и интерполяции массивов исходных данных для синтеза РЛИ, которые в отличии от известных подходов позволяют снизить продолжительность измерений, а также исключить грубые ошибки измерений ЭПР локальных центров рассеяния.

При проведении экспериментальных исследований автором показана необходимость контроля равномерности распределения поля в рабочей зоне РИК, а также предложен метод измерений неравномерности амплитудного и фазового распределений поля в рабочей зоне радиолокационного полигона, основанный на обратном синтезе апертуры, который отличающийся более простой технической

реализацией, не требующий использования планарного сканера.

Важным фактором, влияющим на неравномерность амплитудного и фазового распределения в рабочей зоне полигона и, как следствие на точность оценки интегральной ЭПР является наличие переотражений на трассе распространения. Учитывая, что формируемые данными источниками сигналы, как правило, остаются постоянными в процессе измерений, и сами источники переотражений имеют пространственную локализацию, автором для их исключения предложен 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.

Озеров М.А. в ходе работы над диссертацией показал высокий уровень научных знаний, владение математическим аппаратом. Теоретические и экспериментальные исследования выполнены соискателем лично. Среди основных качеств соискателя следует выделить ответственность и добросовестность при решении поставленных научных задач, увлеченность научными экспериментами. При выполнении диссертационной работы Озеров М.А. проявил способность к самостоятельной работе при постановке научной задачи, определении частных научных задач, объекта и предмета исследования, проведении теоретических и экспериментальных исследований.

Материалы диссертации отражены в 27 научных трудах, в том числе в 17 статьях, из них в 11 статьях в журналах, включённых в текущий перечень ВАК в том числе 3 в журналах, входящих в перечень RSCI ВАК, в 10 материалах докладов на Всероссийских и межведомственных научно-технических конференциях и 2-х отчётах о НИР. В совместных публикациях личный вклад автора по теме диссертационной работы является определяющим.

Считаю, что диссертация Озерова Михаила Алексеевича на тему «Методы уменьшения погрешности измерений «локальных» радиолокационных характеристик объектов на широкополосных радиолокационных измерительных комплексах» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной с соблюдением требований ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель Озеров М.А. заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 – Метрология и метрологическое обеспечение.

Научный руководитель,  
заместитель генерального директора  
по радиотехническим и электромагнитным измерениям  
ФГУП «ВНИИФТРИ»,  
доктор технических наук, доцент

И.М. Малай

1.09.2023