

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Смирнова Андрея Павловича на диссертацию Озерова Михаила Алексеевича, выполненную на тему «Методы уменьшения погрешности измерений «локальных» радиолокационных характеристик объектов на широкополосных радиолокационных измерительных комплексах», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 – Метрология и метрологическое обеспечение.

Исследование процессов формирования отраженного радиолокационного сигнала от объектов наблюдения проводилось с появлением радиолокационных средств обнаружения и распознавания. За последние 50 лет отчетливо наблюдается тенденция развития подобных средств. Появление научно обоснованных и технически обеспеченных методик получения тонких характеристик рассеянного сигнала позволило выделить отдельную специализированную область научных исследований, объектом анализа которой является получение изображений объекта и выразившееся в возникновении нового термина как радиовидение. В практическом аспекте целью подобных исследований является получение радиолокационных изображений (РЛИ) и локальных радиолокационных характеристик (РЛХ).

Актуальность избранной темы диссертационной работы

Прогресс в решении задач получения РЛИ проявился в переходе от измерений интегральных радиолокационных характеристик, в частности интегральной ЭПР (эффективной площади рассеяния) к измерениям локальных РЛХ – показателем рассеивающих свойств отдельного элемента в составе объекта, выраженного по аналогии локальной ЭПР. При этом важны две задачи:

локализация и идентификация локальных участков интенсивного отражения, что связано с получением РЛИ (без масштабирования и привязки к конкретным физическим величинам, например, ЭПР);

обеспечение количественной интерпретации интенсивности РЛИ в осязаемых физических величинах, в частности, в тех же ЭПР, с целью измерений ЭПР локальных участков и точного прогнозирования затем значения интегральной ЭПР.

В связи с этим выбранная тема диссертации Озерова Михаила Алексеевича представляется актуальной. Если говорить более конкретно, то факторами актуальности работы являются:

- потребность в исследованиях различных алгоритмов получения РЛИ и измерений локальной ЭПР;

- активное применение широкополосных сигналов в средствах радиолокационного обнаружения и распознавания;

- создание имитационных моделей сложных радиолокационных целей для отработки алгоритмов работы средств обнаружения при их проектировании и испытаниях;

- обеспечение воспроизводимости и повторяемости получаемых РЛИ различными методами и средствами с высокой разрешающей способностью.

Особенный интерес имеет выбранный Озеровым М.А. объект исследований, представляющий метод и средства получения РЛИ и измерений РЛХ путем инверсного синтезирования апертуры (ИСА). Данные методы возникли на базе радаров с синтезированной апертурой (РСА) применительно с разрешению целых радиолокационных объектов и применительно к измерениям ЭПР появились относительно недавно. Соискатель свою работу посвятил исследованию этих методов для применения измерений и исследований РЛИ отдельного выделенного объекта наблюдения. Результаты исследований важны для корректного описания РЛИ, понимания

возможности повторяемости и воспроизводимости получения РЛИ на различных высокоинформативных РИК либо с различными ограничениями по области и объему получения исходных данных.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Их достоверность и новизна.

Как следует из названия, диссертационная работа посвящена разработке методов уменьшения погрешности измерений локальных РЛХ на широкополосных РИК. Данная тема определена так же, как и основная научная задача. В своей работе соискатель исследует РИК с высоким разрешением фактически по трем координатам (продольная и две поперечные). Такое объединение в одной работе сложного РИК и анализ его является не частым, поэтому является интересным с научной точки зрения и практического воплощения с учетом потенциальных результатов.

Достижение решения научной задачи исследований соискатель связывает с решением ряда частных научных задач, включающих анализ суммарной погрешности, выявление доминирующих источников и обоснование путей уменьшения их, экспериментальное опробование выдвигаемых положений. Сразу следует сказать, что работа содержит большой объем экспериментальных данных, что свидетельствует о большом опыте и высоких квалификационных навыках Озерова М.А. как экспериментатора, владеющего аппаратом математической обработки, способного к самостоятельному созданию измерительных систем и их программирования.

Являясь построенной по указанному принципу, диссертация в логическом построении представляется последовательной, корректно построенной и взаимоувязанной по отдельным разделам.

Первый раздел своей работы автор посвятил анализу средств и методов измерений интегральных и локальных РЛХ и описанию погрешности измерений РИК с ИСА. Здесь же вполне корректно реализуется попытка обосновать модель РИК и модель измерений РЛХ методом ИСА, а также проанализировать основные источники погрешности измерений локальных ЭПР. Приводятся расчетные соотношения и результаты моделирования влияния различных источников погрешности на погрешность получения РЛИ тестовых объектов. Данный подход вполне обоснован, учитывая, сложность аналитической зависимости между погрешностями исходных данных и выходных результатов. Следующий раздел посвящен методическим аспектам, устанавливающим связь между получаемым РЛИ (выраженным зависимостью некоторой безразмерной величины от пространственных координат) с физической величиной, определяемой как локальная ЭПР. Отличительной, можно сказать, оригинальной особенностью данного раздела, является предложение автора по учету равенства Парсевала как обязательного требования при градуировки РИК и измерениях РЛХ. Причиной подобного подхода можно считать корректную идентификации локальных ЭПР и их принадлежность выбранному локальному объекту. Это позволит избежать потери энергии (при математической обработки) и провести правильную привязку РЛИ к значениям ЭПР. Данное положение в работе является по сути интересным, новым и полезным. Третий раздел содержит требования и опробование методов интерполяции исходных многомерных больших массивов информации в процессе получения РЛИ, что вызвано неэквилидистантной двумерной сеткой исходных данных в рассматриваемом РИК с ИСА. Автор совершенно грамотно подчеркивает важность этого этапа для РИК с ИСА, так как используемые алгоритмы ДПФ (БПФ) реализуемы на эквидистантной сетке отсчетов. Можно говорить в некоторой степени об оригинальности использовании интерполяции в ходе

измерений РЛХ методом ИСА. Показаны эффективность использования интерполяции на результатах экспериментальных измерений РЛХ выбранной тестовой модели. В последующем четвертом разделе обосновывается необходимый для любого РИК метод измерений амплитудной и фазовой неравномерности поля в рабочей зоне. Для этих целей, с учетом возможностей высокого разрешения РИК с ИСА, автор предлагает использовать распределенный объект и по его РЛИ сразу оценивать характеристики распределения поля. Новизна предложенного подхода в том, что грамотно используя возможно ИСА можно получать данные о детальном распределении поля в рабочей зоне, используя тестовые габаритные объекты без применения обычных громоздких планарных сканеров. Наконец, последний, пятый раздел включает описание процедур пространственной фильтрации при измерении интегральной ЭПР. Данный подход в целом довольно общий и состоит в пространственной фильтрации РЛИ объекта измерений с учетом высокого разрешения и обратного преобразования в заданную область. Применительно к РИК с ИСА важно правильно идентифицировать все характерные отклики, включая те, которые, являясь принадлежностью объекта, могут выходить за его контуры.

Как показал более детальный анализ работы, в диссертации рассматриваются разные РЛХ. Это и локальные ЭПР, и радиолокационные изображения (РЛИ), и эффективная площадь рассеяния (ЭПР), и интегральная ЭПР. Такая номенклатура физических величин в одной диссертации позволила Озерову М.А. увязать их между собой, проследить процедуры преобразований одних в другие, принять обоснованный в научном и практическом плане подходы для решения задачи исследований, направленные на повышение точности измерений ЭПР.

Можно сказать, что основной идеей работы автор видит отработку методов измерений локальной ЭПР путем ИСА на примере некоторого тестового объекта, который достаточно адекватен реальному объекту. Исходной предпосылкой для своих исследований автор выбрал модель сложного объекта в виде совокупности небольшого количества локальных элементов простой формы, каждый из которых имеет известную строгую зависимость интегральной ЭПР от углов (азимут и угол места) и частоты и не взаимодействует друг с другом. На примере такой модели автор анализирует процедуры получения РЛИ и приводит получаемые различные двумерные изображения с использованием дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Выводы, вытекающие из этих иллюстраций, достаточно конкретны, обоснованы и достоверны.

Автор заявляет о нескольких результатах исследований, имеющих признаки научной новизны. Многократное использование автором заявления о первенстве полученных результатов обусловило повышенный к ним интерес и более детальное внимание.

Во-первых, как следует из диссертации, автор заявляет о первенстве в том, что он предложил метод градуировки РЛИ к единице ЭПР, позволяющий получать оценки ЭПР отдельных элементов с нормированной погрешностью. Данное положение сформировано в достаточно в общем виде и не отражает тот факт, что для ряда РИК с высоким разрешением данная задача выполнена. Однако поскольку РИК с ИСА имеет некоторые особенности, в частности, по алгоритмам измерений, то применение его для данного типа РИК интересно и может считаться новым в научном аспекте.

Во-вторых, относительно использования интерполяции при измерениях, то ее применение в процессе получения исходных данных можно считать новым. Вообще-то редкое использование интерполяции связано с тем, что вообще применение интерполяции принципиально противопоказано при измерениях, так как уже сама интерполирующая функция безусловно содержит погрешности, присутствующие в узлах интерполяции, и может существенно меняться по виду даже при добавлении 1-2 узлов интерполяции. Поэтому показанная эффективность применения интерполяции при измерении РЛХ очень важна для эксплуатации РИК с ИСА, по крайней мере для сокращения времени измерений.

В-третьих, автор работы заявляет о разработке якобы впервые метода измерений неравномерности амплитудного и фазового распределения (АФР) РИК, основанном на методе ИСА. Фактически этот метод предполагает оценку распределения РЛИ от цилиндрического отражателя или пластины, что вполне является вполне обоснованным. Приводимые автором значения диапазона измерений амплитудной неравномерности ± 0.5 дБ и фазовой 8 градусов вообщем-то являются достаточно приемлемыми. Более того, применение метода позволяет получить распределение поля практически как непрерывной функции от пространственных координат, что в практическом плане может позволить выявить существенные источники неравномерности, если таковые имеются.

Наконец, в-четвертых, соискатель заявляет опять же о впервые разработанном методе измерений интегральной ЭПР, на основе пространственной фильтрации синтезированных РЛИ, применительно к РИК с ИСА.

Таким образом, обобщая все сказанное, можно сказать, что основанием для признания заявленной научной новизны является предложения соискателя и применимость известных ранее решений для выбранной области измерений к рассматриваемым автором РИК или процедурам получения РЛИ методом ИСА. К сожалению, это не показано достаточно акцентировано, что затрудняет сразу признать приведенные научные результаты как новые.

Изложение и построение диссертации, апробация работы, анализ автореферата.

Выводы и заключение.

Диссертационная работа состоит из пяти глав. Стиль изложения может быть принят как логичный, последовательный, обоснованный, хотя и содержит ряд повторов, отклонений от темы диссертации. Работу отличает обилие иллюстраций, что неудивительно с учетом темы получения РЛИ. В качестве замечания можно указать на отсутствие напрашивающихся формул, наличие которых безусловно облегчило бы понимание работы. Автор корректно и активно использует ссылки на имеющиеся научные источники и литературу. Каждая глава завершается достаточно конкретными выводами, связанными с направлениями исследований следующей главы.

Как следует, из перечня публикаций, материалы диссертации достаточно широко опубликованы в научно-технической литературе, результаты работы часто докладывались на научных конференциях различного уровня и были опубликованы в материалах конференций. В целом, можно считать, что результаты диссертационных исследований прошли достаточную апробацию.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации, содержит краткое изложение материалов диссертации и позволяет оценить уровень соискателя как научного сотрудника.

Результаты работы могут быть интересны, полезны и использованы в работе организаций, занимающихся исследованием радиолокационных характеристик, в частности, ИТПЭ РАН, НПО "Вега", "НПО "Машиностроение", МВТУ им. Баумана и других.

В то же время, несмотря на безусловно положительное впечатление о работе, имеет смысл указать на ряд замечаний и высказать несколько рекомендаций:

1. Многие из положений, предложений и выводов носят достаточно общих характер. Это может породить впечатление от некоторой универсальности предлагаемых решений без учета того факта, что они рассмотрены именно применительно к измерениям РЛХ 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.

В целом же, 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.

Официальный оппонент, доктор технических наук

Руководитель направления ЭМС и радиоизмерений АО “НПФ “Диполь”

Смирнов Андрей Павлович

Подпись Смирнова Андрея Павловича заверяю

Коммерческий директор АО “НПФ “Диполь”

Болдырев Никита Алексеевич

