

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико - математических наук Аксёнова Валерия Петровича на диссертационную работу «**Трёхмерное радиовидение на основе измерения амплитуды поля интерференции**», представленную **Завьяловой Ксенией Владимировной** на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Методы томографии получили широкое применение в задачах исследования полей физических параметров разнообразных природных и искусственных объектов, чаще всего недоступных для непосредственных измерений. В настоящее время востребованы аппаратно - программные комплексы для изучения человека, неразрушающего контроля в технике и производстве, решения проблем физики ионосферы, физики плазмы, физике атмосферы, физике океана и пр.

Диссертация Завьяловой К.В. посвящена радиотомографии (радиовидению) – проблеме восстановления радиоизображений по измерениям пространственного распределения действительной амплитуды интерференционного поля волны, рассеянной объектом.

Актуальность работы определяется широким применением радиовидения при решении народно-хозяйственных и научных задач, связанных с дефектоскопией, созданием систем обеспечения безопасности, разработкой средств экологического и климатического мониторинга и т.п. Это и радиоволновой контроль, применяемый при обеспечении безопасности массовых мероприятий, и досмотр людей и грузов в логистических узлах авиационных, железнодорожных и водных транспортных систем. Современный неразрушающий контроль качества строительно-монтажных конструкций и дорожного полотна предполагает также использование радаров подповерхностного зондирования. Большая часть из существующих систем радиотомографии основана на применении импульсного радиоволнового излучения или на использовании монохроматического излучения с частотным сканированием, что требует технически сложного и дорогостоящего оборудования. Наибольшую техническую проблему представляют задачи измерения временной задержки и фазы сигнала, в то время как измерение амплитуды может быть осуществлено достаточно простыми средствами, даже в терагерцовом диапазоне. Таким образом, более экономичными оказываются системы построения трёхмерных радиоизображений, основанные на измерении только амплитуды или интенсивности поля. Однако любая попытка упростить аппаратную часть системы радиовидения приводит к существенному повышению требований к методам математической обработки результатов измерений и, как следствие, к усложнению программной части. Таким образом, возникает необходимость разработки новых методов радиовидения, позволяющих без прямого измерения фазы осуществить обращение измеренного сигнала и восстановить информацию о внутренней структуре объекта.

Новизна диссертационной работы Завьяловой К.В. состоит в следующем:

1. Впервые предложен метод восстановления трёхмерных радиоизображений на основе измерений амплитуды поля, являющегося результатом интерференции объектной и предметной волн, при зондировании монохроматическими волнами со сканированием в широкой полосе частот;

2. Впервые предложен метод монохроматического радиовидения с применением разреженной матрицы приёмных элементов на основе измерения амплитуды интерференционного поля объектной волны и нескольких поочередно включаемых излучателей.
3. Впервые предложен метод восстановления изображений объектов по измерениям дифракционного поля за специальной дифракционной решёткой с применением стороннего источника излучения.

Достоверность полученных результатов подтверждается совпадением результатов экспериментальных исследований и численного моделирования, осуществленного с применением классических решений уравнения Гельмгольца, приближения однократного рассеяния и приближения Кирхгофа при рассмотрении задач дифракции. Изображения объектов, восстановленные по данным экспериментов, согласуются с формами заданных объектов.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 98 наименований. Материал изложен на 160 страницах, содержит 80 рисунков. В целом диссертация оформлена в соответствии с действующими требованиями.

Первая глава посвящена краткому обзору существующих методов и подходов к решению задач распространения, рассеяния и дифракции волн, способам решения обратной задачи и основным понятиям радиовидения. Основное содержание диссертации представлено в главах со второй по пятую. Во **второй главе** изложен метод восстановления трёхмерных радиоизображений по данным моностатического зондирования со сканированием по частоте. В **третьей главе** предложен метод восстановления радиоизображений на основе данных зондирования разреженной матрицей излучателей и приёмников. В **четвёртой главе** представлен метод радиовидения по измерениям амплитуды поля за дифракционной решёткой. В **пятой главе** описан итерационный метод радиовидения, позволяющий восстанавливать фазу волнового поля в области измерений по априорной информации о расстоянии до объекта и расположении источника. Во всех главах результаты численного моделирования подтверждаются результатами экспериментальных исследований.

Представленные защищаемые положения представляются достоверными, научно и практически значимыми.

Автореферат диссертации достаточно полно передаёт смысл диссертации, его содержание соответствует содержанию диссертации.

Диссертация Завьяловой К.В. соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013г. и является научно-квалификационной завершённой работой, обладающей внутренним единством. Результаты диссертации, вынесенные на защиту, можно квалифицировать как новые научно обоснованные технические решения, заключающиеся в разработке методов построения радиоизображений объектов по амплитуде интерференционного поля, имеющих существенное значение для радиотомографии, внедрение которых имеет существенное значение для развития страны.

По материалам диссертации опубликована 21 печатная работа, среди которых 7 публикаций в ведущих рецензируемых изданиях, приведенных в соответствующем перечне ВАК (из них 3 статьи в журналах, включенных в библиографические базы Web of Science и Scopus), 13 публикаций в материалах международных, всероссийских, научно практических и региональных

конференциях из них 2 – в материалах конференций, включенных в Scopus, патент на полезную модель.

В качестве недостатков диссертационной работы считаю необходимым отметить следующее:

1. В диссертации не осуществлен в должной мере анализ погрешностей восстановления изображений или алгоритмов восстановления, несмотря на то, что частью исследования является решение обратных задач, часто чувствительных к случайным погрешностям (шумам) в данных измерений. Следствием этого явилось то, что диссертант вынужден использовать термин «точность» и оперировать предложениями типа «Точность восстанавливаемых изображений определяется разрешающей способностью и составляет не менее половины длины волны используемого излучения» (стр.14 диссертации или стр.7 автореферата) или «Проведены экспериментальные исследования с одиночным излучателем, по результатам которых было осуществлено восстановление изображений тестового объекта с точностью до разрешающей способности» (стр.15 диссертации или стр.8 автореферата) или «Предложен метод восстановления фазы предметного сигнала с точностью до $\pm \pi/2$ » (стр.144 диссертации или стр.21 автореферата). На самом деле, согласно метрологическим нормативным документам (ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002, стр. 3) «**точность**(accuracy): Степень близости результата измерений к принятому опорному значению.

Примечание 2 – Термин "точность", когда он относится к серии результатов измерений (испытаний), включает сочетание случайных составляющих и общей систематической погрешности (ИСО 3534-1 [1])».

В свете этих определений неясно, что имеет ввиду диссертант, когда пишет, что «Точность восстанавливаемых изображений определяется разрешающей способностью и составляет не менее половины длины волны используемого излучения». Тем более, что учебник [Колчков В.И. Метрология, стандартизация и сертификация. М.:Владос, 2010.–400с.] дает еще одно конкретное определение: «Точность измерительного прибора это - метрологическая характеристика прибора, определяемая *погрешностью измерения*, в пределах которой можно обеспечить использование данного измерительного прибора» и «*Количественная оценка точности* - обратная величина модуля относительной погрешности. Например, если погрешность измерений равна 10 в степени минус 6, то точность равна 10 в степени плюс 6»

2. Следует отметить также, что вызывает сомнение обоснованность применения понятия «радиологический» в названии метода восстановления (главы 2-3). Ведь по определению «Радиолография – это способ записи, **восстановления и преобразования фронта** электромагнитных волн радиодиапазона», как определяется на стр. 36 диссертации, а по другому определению радиологический метод заключается лишь в «измерении интенсивности поля интерференции предметного и опорного сигналов» (стр. 39 диссертации). На мой взгляд, чтобы не множить число понятий, следовало бы определить методы, которые описываются в главах 2 и 3 как «интерферометрические». С другой стороны, метод радиовидения по измерениям амплитуды поля за дифракционной решеткой (глава 4) следовало бы классифицировать как

«дифракционный». Примерно так подразделяются датчики волнового фронта в адаптивной оптике.

3. Не обошлось в тексте диссертации и без стилистических, орфографических ошибок и опечаток.

Так, например, при формулировании цели работы звучит сочетание «разработки методов обработки» на стр.17 «Плоская геометрия разработанных методов позволяет размещение их, к примеру, в стене», «Использование матриц измерений».

Однако, отмеченные недостатки не снижают высокой оценки диссертационной работы по существу. Полученные результаты могут расширить возможности томографической диагностики и обработки изображений в различных областях науки и техники.

Результаты диссертации имеют большой практический интерес и могут быть использованы в ИОА СО РАН, ИЯФ СО РАН, ИПТМ СО РАН.

Таким образом, исходя из научных и практических результатов, полученных диссертантом, считаю, что диссертация «**Трёхмерное радиовидение на основе измерения амплитуды поля интерференции**» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям «Положением о присуждении учёных степеней» от 24 сентября 2013г., а ее автор **Завьялова Ксения Владимировна** заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Официальный оппонент,
Ведущий научный сотрудник
Лаборатории оптической локации
Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева
Сибирского отделения Российской академии наук,
634021, Россия, г.Томск, пл. Академика Зуева, 1
д. ф.-м. н.,
с. н. с.
E-mail: avp@iao.ru
Телефон: (3822) 491-111 + 1222



Валерий Петрович Аксёнов

10.12.2014

Достоверность подписи В.П. Аксёнова подтверждаю
Ученый секретарь ИОА СО РАН
к.ф.-м.н.



О.В. Тихомирова