

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Шипилова Сергея Эдуардовича  
«СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЕ ЛОКАЦИОННОЕ РАДИОВИДЕНИЕ СКРЫТЫХ  
ОБЪЕКТОВ»

на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности  
01.04.03 – Радиоп физика

Диссертационная работа С.Э. Шипилова посвящена разработке новых методов восстановления изображений скрытых объектов на основе томографической обработки данных многокурсовых измерений рассеянного радиоволнового сверхширокополосного (СШП) излучения, разработке прикладного программного обеспечения восстановления томограмм с приемлемой погрешностью в реальном времени и созданию на их основе технических элементов и самих систем томографического радиовидения на базе многоэлементных СШП антенных решёток. В связи с интенсивным развитием в настоящее время нового научного направления в радиоп физике – СШП радиолокации и созданием систем генерации, приема и обработки сверхширокополосного излучения такая направленность диссертационной работы представляется вполне **актуальной**. В настоящее время сверхширокополосные сигналы широко используются в системах подповерхностной локации, обеспечивая большую дальность обнаружения объектов при высокой разрешающей способности. Известно применение СШП-сигналов и в системах неразрушающего контроля инженерных конструкций. Выполненные в диссертации исследования, направленные на поиск и обобщение методических подходов в решении задач локационной СШП радиотомографии в случае, когда обзор исследуемого пространства ограничен односторонним доступом, востребованы на практике для целей создания систем неразрушающего контроля.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованных источников, включающего 222 наименований, и приложения. Объем работы составляет 257 страниц.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель работы, основные задачи исследования, научная новизна и основные положения, выносимые на защиту. Аргументирована достоверность исследований, отмечена практическая значимость работы, указано, где реализованы результаты работы, приведены сведения по публикациям по теме диссертации, отмечен личный вклад автора.

В первом разделе проанализировано современное состояние исследований в области радиоволновой томографии, как средства дистанционного неразрушающего контроля и диагностики сред и объектов на основе локационного многоакурсного зондирования. Показано, что все локационные методы получения трехмерных радиоволновых томограмм основаны на использовании принципа пространственно временной фокусировки. Его применение в диссертации для СШП сигналов обеспечивает внутреннее единство и цельность работы.

Во втором разделе рассматривается «базовый» для дальнейшего изложения метод, позволяющий исследовать основные закономерности формирования радиоизображений зондируемых неоднородностей, используя фокусировку волновых проекций принятых сигналов. Делается это на основе обобщения известного в радиолокации метода синтеза большой апертуры, но уже для СШП сигналов. Для этого подхода автор вводит термин «метод радиоволнового томосинтеза» (РВТ). Дается математическая модель предложенного подхода, приводятся результаты серии экспериментов по томографии строительных конструкций из газобетона и кирпича, которые подтверждают эффективность метода РВТ, в том числе для слоистых сред. На основании изложенного материала формулируются 1-е и 2-е защищаемые положения.

В третьем разделе представлены подходы, направленные на разработку систем радиовидения реального времени, основанные на использовании СШП многоэлементных приёмопередающих антенных решеток. Для повышения заполненности решеток автор реализует принцип тактированного зондирования, при котором в один момент времени (такт) работают только одна приемная и одна передающая антенны. Перебор комбинаций приемных и передающих антенн позволяет получить набор многоакурсных волновых проекций зондируемого объекта и свести задачу к методу РВТ. Приводятся результаты экспериментов по томографии скрытых объектов с использованием различных конструкций антенных решеток. Формулируется третье защищаемое положение.

В четвертом разделе приводятся методы повышения разрешения, контрастности и избирательности радиоизображений, полученных с помощью РВТ, за счет предварительной обработки принятых СШП сигналов при локационном зондировании скрытых объектов. В частности, предложен подход, позволяющий повысить пространственное разрешение радиоизображений за счет нелинейной обработки данных СШП зондирования при стробоскопической регистрации сверхкоротких импульсов. Для этого разработана технология выделения когерентной составляющей шумовой компоненты регистрируемого СШП локационного сигнала. Дается описание способа

повышения контрастности слабых неоднородностей на фоне сильных отражений от границ диэлектрического слоя. Приводятся результаты обработки экспериментальных данных, демонстрирующие работоспособность предлагаемых методов. По результатам главы формулируется четвёртое защищаемое положение.

В пятом разделе представлен разработанный автором новый метод нелинейной локации, основанный на использовании некоторого аналога гетеродинамирования, когда СШП сигнал смешивается с рассеянным на зондируемом объекте относительно мощным монохроматическим излучением. Дается математическое описание метода, представлены результаты обработки экспериментальных данных, подтверждающие работоспособность метода. Формулируется пятое защищаемое положение.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

В приложении представлены копии патентов и документов, подтверждающих внедрение результатов диссертационной работы.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

**Новизна** полученных в диссертации результатов определяется следующим.

- 1) Впервые сформулирован общий принцип радиоволновой томографии о достижении локализации взаимодействия электромагнитного излучения с веществом посредством его апостериорной фокусировки.
- 2) Разработан новый метод повышения пространственного разрешения радиоизображений путём выделения когерентной части шумовой компоненты измеряемых данных и использования метода синтезирования большой апертуры.
- 3) Разработан новый метод повышения контрастности слабых неоднородностей, основанный на пространственно временной фильтрации постоянной составляющей волновых проекций рассеянного СШП поля.
- 4) Предложен и запатентован новый метод СШП нелинейной локации, основанный на усилении рассеянного СШП сигнала посредством смешивания его при рассеянии с мощной монохроматической волной и анализе формы рассеянного усиленного импульса. Метод имеет большие перспективы практического применения для решения задач обнаружения подслушивающих устройств в системах связи, обнаружения взрывателей и других технических устройств, содержащих нелинейные радиоэлектронные элементы.

**Научная значимость** результатов диссертации заключается в том, что разработана обобщённая физико математическая модель систем радиоволновой томографии на основе многокурсовых измерений рассеянного СШП излучения. Разработанные и

представленные в диссертации новые РВТ методы визуализации скрытых объектов найдут применение и в других томографических задачах.

**Практическая ценность** результатов диссертации определяется реализацией на их основе лабораторных макетов и экспериментальных образцов СШП систем локационной радиотомографии по заказам потребителей, получением патентов на разработанные методы РВТ и способы повышения качества видеоизображений, которые могут применяться не только для визуализации скрытых объектов, но и в других технических целях.

**Достоверность** результатов диссертации вытекает из последовательного и обоснованного построения теории, проведения математического моделирования и экспериментальных исследований по формированию радиоизображений зондируемых неоднородностей на основе фокусировки волновых проекций принятых сигналов. Экспериментальным подтверждением всех предложенных в диссертации новых способов повышения качества радиоизображений скрытых объектов, получаемых методом томосинтеза.

В работе на основе детального анализа научно технических достижений и нерешённых задач в области сверхширокополосной радиоволновой томографии определена проблематика диссертации и выдвинут ряд взаимосвязанных предложений по ее решению. Теоретически и экспериментально показана результативность предложенных подходов для решения сформулированной проблемы и достижения поставленной цели работы. Комплексность исследований и найденных решений, их практическая направленность позволяют утверждать, что в диссертационной работе С.Э Шипилова решена научная проблема, имеющая важное народнохозяйственное значение.

Все положения, выносимые на защиту, обоснованы теоретически и подтверждены экспериментально и в целом представляются достоверными.

По диссертационной работе есть замечания.

- 1) Представленные в диссертации экспериментальные результаты в основном носят иллюстративный характер, направлены на демонстрацию лишь принципиальной реализуемости в эксперименте того или иного предложенного способа, метода или подхода, используемых для получения или повышения качества радиоизображений. Нет детальной экспериментальной проверки пределов применимости разработанных в диссертации методов. Как правило, для проведения экспериментов подбираются простые модели и ракурсы

скрытых объектов. Нет примеров визуализации типичных встречающихся на практике скрытых закладок.

- 2) Обоснование пятого защищаемого положения проведено в диссертации не с должной тщательностью. Положение посвящено одному из самых выигрышных результатов диссертации – СШП томографии нелинейных радиоэлектронных элементов. Однако теория этого нового метода нелинейной локации на основе СШП сигналов изложена в диссертации невнятно. Непонятно, по какому параметру проводится усреднение в формуле (5.5) диссертации, если ни до, ни после этого в диссертации речь о случайном характере каких либо процессов не идёт. Не проведены целевые сравнительные эксперименты по обнаружению радиоэлектронных устройств предложенным методом СШП томографии и известными методами нелинейной локации.
- 3) В тексте диссертации есть погрешности. В частности, делаются ссылки не на те формулы. Например, вместо (2.2) на (2.1), вместо (2.6) на (2.5), вместо (3.5) на (3.1). В формулах и поясняющих их рисунках используются разные обозначения одних и тех же параметров. Например, на странице 24 автореферата и в формуле (3.4) и рис.3.4 диссертации. Иногда аббревиатура в тексте появляется раньше, чем её определение, например на стр. 21-22 автореферата. В чёрно белых бумажных копиях автореферата (стр.27,29) и диссертации даются описания рисунков, как будто они исполнены в цвете. На странице 73 диссертации волновое уравнение названо не тем именем. Список может быть продолжен.

Перечисленные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. **В целом диссертационная работа** представляет собой целенаправленное, хорошо продуманное и законченное на определенном этапе исследование, выполненное на очень высоком научном уровне. Диссертация содержит много полезных идей, развитие которых, несомненно, принесет новые значимые научные результаты. Автор диссертации – известный учёный, работающий и в теории и в эксперименте. Им разработано прикладное программное обеспечение и созданы программно-аппаратные комплексы радиоволнового томосинтеза изображений скрытых объектов. Полученные им результаты опубликованы в рецензируемых журналах из списка ВАК России и в трудах международных и всероссийских конференций, обобщены в монографии, запатентованы.

Считаю, что диссертационная работа С.Э Шипилова **полностью соответствует требованиям** «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а её **автор Сергей Эдуардович Шипилов заслуживает** присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03-радиофизика.

Заведующий лабораторией распространения волн  
федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева  
Сибирского отделения Российской академии наук,  
доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник

30.07.2018

В. А. Банах

Подпись Виктора Арсентьевича Банаха заверяю:

Учёный секретарь ИОА СО РАН



О.В. Тихомирова

*Сведения об организации:*

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева» Сибирского отделения Российской академии наук  
634055, Россия, г. Томск, площадь Академика Зуева 1, (3822)492738, <http://www.iao.ru>  
[director@iao.ru](mailto:director@iao.ru)