

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу Сатарова Раиля Наилевича  
«Радиоволновая томография с использованием  
принципа тактированных решеток»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
01.04.03 – Радиофизика

### **Актуальность темы**

Вызовы сегодняшнего дня требуют создания новой технической базы, позволяющей повысить безопасность граждан в экстремальных условиях в городской среде, например, при освобождении заложников, при обезвреживании террористов, при обнаружении людей под завалами. В диссертационной работе предлагается применять радиофизические томографические системы, адаптированные к решению специфических задач визуализации указанных объектов. Целью диссертационной работы ставится создание бесконтактной томографической системы радиовидения на основе применения сверхширокополосных сигналов и синтезирования большой апертуры совместно с фокусировкой.

Тематика диссертации Сатарова Р.Н. представляется оригинальной, важной и актуальной.

### **Содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, рассмотрены вопросы научной новизны и практической ценности проведенных исследований.

**Первая глава** содержит обзор литературы с описанием действующих приборов и установок для решения задач радиотомографии на базе сверхширокополосных (СШП) импульсных сигналов. Заявленные технические характеристики позволяют судить о высокой эффективности предлагаемых методов. Однако производители не раскрывают алгоритмы и детали работы аппаратуры. Сделан вывод, что существует необходимость создания отечественного программного обеспечения и устройств для обнаружения средствами радиовидения статических и динамических объектов с высоким пространственным разрешением.

**Во второй главе** проведено исследование методов цифровой фокусировки отраженных СШП сигналов: суммирование по дифракционным гиперболам, двухтактная и групповая фокусировки. Фокусировка осуществляется путем последовательного суммирования принятых сигналов с выравниванием временных задержек импульсов, рассеянных каждой точкой мишени. Фокусировка может быть выполнена в различных плоскостях и в пределах каждой плоскости. Тем самым выполняется трехмерное сканирование мишени с получением томографических срезов. Показана важность учета влияния преграды при осуществлении фокусировки и предложены методы фокусировки.

Разработана методика определения параметров диэлектрической преграды (толщины и показателя преломления), для этого достаточно информации, полученной в точке, где приемник совмещен с передатчиком и в двух точках, где приемник и передатчик разнесены. Эффективность методики подтверждена имитационным моделированием.

Разрешающую способность системы обнаружения объектов в работе определяется по реакции системы на точечный рассеиватель, дается соответствующее аналитическое выражение. Экспериментально установлено, что при использовании полосы частот от 2 до 12 ГГц обеспечивается совпадение формы тестовых объектов и восстановленного изображения с точностью до разрешающей способности системы.

**В третьей главе** приводятся результаты численного моделирования для проверки разработанных методов и алгоритмов визуализации при круговом механическом сканировании зондируемого тестового объекта для различных вариантов заполнения апертуры. Рассмотрены заполнение апертуры в виде эквидистантой решетки, ограниченной кругом; при расположении излучателей по кругу; по трем сдвинутым друг от друга кругам.

Для натурального эксперимента в качестве излучающей и приемной антенн использовались созданные на кафедре радиофизики ТГУ малогабаритные сверхширокополосные антенны. Это в значительной мере обусловило успехи при выполнении диссертационной работы. Описаны генерирующая и регистрирующая аппаратура. Для повышения качества визуализации

предложено устранение постоянной составляющей принятого сигнала. При зондировании за преградой применен фильтр Винера с регуляризацией.

Предложен метод обнаружения движущихся объектов при помощи дифференциально-разностного подхода к обработке данных. Разработан метод дистанционной регистрации колебаний сигналов, отражающих дыхание человека в спокойном и взволнованном состоянии. Работоспособность методов подтверждена экспериментально.

**В четвертой главе** рассмотрены двумерные тактированные СШП антенные решетки. Разработана реальная система радиовидения на базе линейной неэквидистантной тактированной антенной решетки, состоящей из 6 передающих и 16 приемных антенн, дополненная фокусирующим рефлектором. Для управления решеткой был разработан и изготовлен блок коммутации на базе микроконтроллера. Подобные модели радиотомографов способны найти применение в системах безопасности при обнаружении людей за преградами (завалами) и при контроле качества дорожного полотна.

**В пятой главе** решается практическая задача получения трехмерного радиоизображения заданной области пространства путем получения набора многокурсных проекций. Для этого автор выбрал путь коммутации элементов плоской решетки. Исследованы различные варианты расположения приёмных и передающих антенн, определён алгоритм тактирования пары приёмная-передающая антенна, найдены варианты, реализующие наилучшее качество радиоизображения. Разработано и апробировано программное обеспечение для системы радиовидения.

Созданы четыре модели радиотомографа. Последняя модель – это законченная разработка, которая может найти применение в системах безопасности в аэропортах и других общественных местах для обнаружения запрещенных предметов под одеждой, в ручной клади и почтовых отправлениях, а также при контроле продукции в промышленности. Инновационная направленность разработки выражается в том, что по совокупному показателю качества (пространственное разрешение, быстродействие, себестоимость) она реально конкурирует с известным зарубежным локационным томографом. Разработка может решить проблему

импортозамещения в сегменте рынка, относящемся к радиоволновым средствам обеспечения безопасности.

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы, полученные в диссертационной работе.

### **Оценка новизны**

1. Показана возможность создания радиоволнового томографа ближнего радиуса действия, способного обеспечивать пространственное разрешение порядка пространственной протяженности СШП импульса для объектов, скрытых диэлектрической преградой. Трехмерное сканирование сцены может быть выполнено плоской антенной решеткой с последовательным электронным перебором (тактированием) пар передающих и приемных антенн из решетки и фокусировкой отраженных сигналов в пространственно-временной или частотной области.
2. При осуществлении фокусировки необходим учет толщины и показателя преломления преграды, в связи с чем предложен оригинальный метод оценки этих параметров при использовании тактируемой антенной решетки.
3. Для детектирования движущихся объектов за преградами предложен дифференциально-разностный метод на основе спектрограмм кадров разностных радиолокационных СШП сигналов.

**Достоверность результатов** диссертационной работы определяется корректностью постановки научной проблемы, принятых допущений и ограничений, а также корректным применением математического аппарата, подтверждается согласием полученных теоретических результатов с данными численных моделей и прямых экспериментов по зондированию тестовых объектов в воздухе и скрытых за диэлектрическими преградами.

**Замечания по диссертационной работе** относятся к её оформлению.

1. На стр. 12 автореферата указывается, что в первой главе диссертации представлены предполагаемые методы, используемые автором и полученные им результаты. Но в первой главе диссертации этого нет.
2. Формулы на стр. 27 диссертации приведены без обозначений.
3. На стр. 35 (рис. 2.5) не обозначены оси, далее приводятся формулы, в которых приходится угадывать введенные обозначения.

4. Вызывает удивление рис. 2.12, который назван численной моделью.
5. На стр. 48 (глава 2) ссылка на отсутствующие уравнения п. 3.2 главы 3.
6. На стр. 72 зачем-то написано, что при моделировании в среде MathCad «каждой синей точке соответствует положение приемника, а красной – положение передатчика...» и т.д.

Приведенные недостатки не снижают общий уровень научной работы и значимость полученных в ней результатов.

### **Заключение**

Диссертация является законченным трудом, выполненным автором самостоятельно и на высоком научном уровне. В работе приведены научно обоснованные результаты, полученные лично автором, в которых содержится решение важной научно-технической задачи – создание алгоритмов, программных и аппаратных средств радиовидения для обнаружения людей и объектов, скрытых диэлектрическими преградами. Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате, содержание которого соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа содержит 149 страниц текста, 176 рисунков, имеет список литературы, состоящий из 93 наименований. По материалам диссертации опубликовано 14 работ, из них 5 статей в журналах из списка ВАК. Разработанная аппаратура представлялась на восьми выставках, в том числе на трех международных.

Диссертационная работа отвечает критериям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Сатаров Раиль Наилевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Доктор технических наук, профессор  
Профессор кафедры радиотехники  
Сибирского федерального университета.



Кашкин  
Валентин  
Борисович

660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79,  
+7(391)244-86-25, office@sfu-kras.ru,  
http://www.sfu-kras.ru

<b>ФГАОУ ВПО СФУ</b>	
Подпись	<u>Кашкина В.Б.</u> заверяю
Начальник общего отдела	<u>[подпись]</u>
« 05 » 12	20 14 г.

