

ОТЗЫВ

ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Семенова Семена Николаевича «Применение анализа радиоголографических и радиотомографических изображений для дистанционного обнаружения скрытых предметов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.2 (01.04.01) – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Актуальность.

Представленная диссертационная работа посвящена одному из критически важных прикладных направлений развития техники – обеспечение безопасности в местах массового скопления людей. Широко используемые в настоящий момент методы досмотра пассажиропотока: рентгеновские сканеры, металлоискатели, газоанализаторы и др., имеют ряд существенных ограничений для этих целей. Например, время обработки данных требует значительного времени, которое не позволяет производить досмотр в режиме реального времени, использование небезопасного для здоровья человека излучения – рентгена, а также отсутствие автономности в работе. В связи с этим, решаемые в диссертации задачи о разработке радиотомографического метода досмотра багажа и радиоголографическом методе досмотра человека, работающие в режиме реального времени, представляются весьма актуальными.

Одной из ключевых возможностей, которая может быть реализована на основе разработанных и запатентованных автором радиоголографических и радиотомографических методов, является проведение досмотра в автоматическом режиме и режиме реального времени. В работе разработан экспериментальный прототип системы, описана модель и проведены эксперименты с «условно опасными» и «условно безопасными» объектами. Расчет радиотомографического

изображения производится на основе обработки и анализа обратных радоновских проекций, а оптимизация алгоритма позволила производить полный цикл расчетов от измерения до принятия решения о степени опасности тестового объекта в режиме реального времени. Автором был разработан метод совместного анализ изображения тела человека в двух спектральных диапазонах – поддиапазон СВЧ 10-18 ГГц и видимый диапазон. Данный метод позволил обнаруживать объекты, скрытно проносимые на теле человека, а последующая классификация позволяла разделять обнаруженные объекты на «условно опасные» и «условно безопасные».

Научная новизна диссертационной работы связана, прежде всего, с разработкой оригинального радиотомографического метода досмотра багажа и его программно-аппаратной реализацией, обеспечивающей работу в режиме реального времени. Основой расчета в методе является использование обратных радоновских проекций, составленных из профилей удлинения оптического пути для соответствующих пар приемник-массив передатчиков. Отдельно заслуживает внимания экспериментально продемонстрированный радиоголографический метод совместного анализа изображений объекта в двух спектральных диапазонах – поддиапазон СВЧ 10-18 ГГц и видимый диапазон и его программная реализация, позволяющие производить досмотр тела человека в режиме реального времени. Основой расчета в методе является представление тела человека в виде набора изотропных пространственно распределенных точечных рассеивателей.

Достоверность основных положений и результатов диссертационной работы не вызывает сомнений и подтверждается корректностью постановки задач для компьютерного моделирования, согласием полученных результатов с базовыми положениями и теоретически

обоснованными закономерностями электродинамики, а также с результатами экспериментальных исследований.

Практическая ценность полученных результатов определяется внедрением разработанных методов обнаружения скрытых диэлектрических объектов, проносимых под одеждой, в рюкзаках и чемоданах в ряд многопозиционных СВЧ систем досмотра, которые отвечают современным требованиям безопасности. А их программная реализация была интегрирована в программное обеспечение серийно выпускаемых систем класса HSR (HumanSecurityRadar), прошедших успешные испытания.

Общая характеристика работы.

Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы из 109 источников. Текст диссертации изложен на 136 страницах и включает 61 рисунок и 7 таблиц.

Представленный обзор литературы позволил сформулировать цель работы и определить последовательность основных задач.

Вторая глава посвящена радиоголографическому методу обнаружения скрытых предметов. Представлена методика восстановления радиоголографического изображения (решение обратной задачи дифракции) от объекта (человека) в приближении однократного рассеяния. Человек в рамках данной методики является системой изотропных точечных рассеивателей. Экспериментально показана возможность определения наличия диэлектрика на теле человека.

В третьей главе впервые представлен радиотомографический метод обнаружения скрытых предметов. Представлена методика восстановления радиотомографического изображения объекта (диэлектрика), основанного на анализе обратных радоновских проекций.

В четвертой главе представлены статистические результаты экспериментов по обнаружению «условно опасного» объекта. Для

радиоголографического и радиотомографического метода введены критерии опасности, основанные на измеряемых физических величинах – размеры, положения в пространстве и диэлектрическая проницаемость.

В заключении приведены основные результаты и выводы работы:

1. Теоретически и экспериментально обоснован выбранный поддиапазон СВЧ 10-18 ГГц. Данный поддиапазон позволяет с одной стороны работать с объектами размеров от 4-5 см и, с другой стороны, обеспечивать работы с движущимися (динамическими) объектами.
2. Показано, что реализованный метод построения и обработки радиоголографических изображений, основанного на решении обратной задачи дифракции в приближении однократного рассеяния в поддиапазоне СВЧ 10-18ГГц, позволяет эффективно обнаруживать диэлектрики на теле человека размерами от 5 см. Показано, что использование поддиапазона СВЧ 10-18ГГц совместно с квазистационарным приближением в данном методе позволяет производить вычисления в режиме реального времени для объектов движущихся со скоростью до 5-6 км/ч.
3. Предложен оригинальный метод построения и обработки радиотомографических изображений в поддиапазоне СВЧ 10-18ГГц, основанный на дискретном обратном преобразовании радоновских проекций. Данный метод позволяет обнаруживать диэлектрические предметы размером от 5 см, скрытые тонкой оболочкой, а его быстродействие позволяет работать в режиме реального времени с объектами, движущимися со скоростью до 5-6 км/ч.
4. Установлены критерии опасности идентифицируемого диэлектрического объекта на основе измеренных его ключевых физических параметров. Опасными являются предметы в диапазоне 2.3-4.5 по величине диэлектрической проницаемости и 0.5-3 л для радиоголографического метода и 1-5 л для радиотомографического метода.

5. Разработанный комплекс методов построения и анализа радиоголографического и радиотомографического изображений объекта внедрен в качестве функционального блока системы досмотра пассажиропотока HSR (HumanSecurityRadar), обеспечивающего возможность скрытного использования, нужное для работы в реальном времени быстроедействие, безопасность для здоровья человека и автономность работы.

В целом диссертационная работа оформлена аккуратно, грамотно, хорошо структурирована. Можно сказать, что диссертация носит преимущественно практический, хорошо проработанный характер.

Автореферат полностью соответствует диссертации, а публикации соискателя соответствуют ее основному содержанию и позволяют судить о его научном вкладе в полученные результаты.

Однако, несмотря на общее положительное впечатление от диссертационной работы, необходимо сделать ряд замечаний:

1. Для решения обратной задачи дифракции в работе используется параксиальное приближение (приближение малых углов), в тоже время рассматривается работа системы в условиях, когда разрешение близко к дифракционному пределу (размер объекта порядка длины волны излучения), где углы рассеяния могут быть достаточно большими. Необходимы дополнительные пояснения возможность применения параксиального приближения для данного случая.

2. В работе проведен анализ системы с излучающей антенной решеткой, создающей синтезированную апертуру, и одной или несколькими приемными антеннам. В чём преимущества данной конфигурации? Почему не рассматривается ситуация с одним излучателем и решеткой приёмных антенн или когда на обоих концах (излучателе и приемнике) антенные решетки? Почему применяется именно синтезированная апертура, а не просто фазированная антенная решетка?

3. Основное внимание в работе направлено на методы и алгоритмы обработки сигналов и недостаточное внимание уделено техническим вопросам, связанным с радиотехнической частью рассматриваемых систем. Недостаточно информации по техническим характеристикам рассматриваемых систем, таким как используемая мощность радиочастотного излучения, уровень мощности шума, степень поляризации и др. Конструкция рассматриваемых систем и требования к обрабатываемым сигналам также требуют дополнительных разъяснений. Чем определяется количество приемных антенн и место их расположения? Какие были требования по соотношению сигнал шум и как они связаны со временем обработки и вероятностью ошибки обнаружения? Как был реализован синхронный детектор, опорный сигнал был аналоговый или цифровой? Это лишь некоторые вопросы, весьма важные при построении реальной системы, но не нашедшие отражения в работе.

4. В работе рассмотрены вопросы обнаружения только диэлектрических объектов, насколько разработанные методы применимы для объектов сложной структуры, например взрывчатка, смешанная с металлическими шариками?

5. Почему критерии опасности отличаются для радиоголографического и радиотомографического методов? Они скорее связаны с объектами досмотра и определяют применимость метода в той или иной ситуации, чем с методом как таковым.

В заключение есть техническое замечание. В тексте Введения и автореферата при описании объема диссертации указано, что, список литературы насчитывает 106 источников, а текст диссертации изложен на 135 страницах. В предоставленном мне на рассмотрение тексте диссертации список источников насчитывал 109 наименований, а полный объем, включая приложение А, составлял 136 стр.

Отмеченные недостатки не затрагивают по существу выносимых на защиту положений.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основе выполненных автором исследований, решена актуальная задача, имеющая важное прикладное значение, а именно, на основании проведенных экспериментальных исследований разработаны и предложены методы досмотра человека и ручной клади в режиме реального времени, на основе обработки и анализа микроволнового излучения поддиапазона 10-18 ГГц.

Диссертация соответствует специальности 1.3.2 (01.04.01) – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Диссертация полностью отвечает всем требованиям ВАК РФ, изложенным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, а ее автор, Семенов Семен Николаевич, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.2 (01.04.01) – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Шамрай Александр Валерьевич

Главный научный сотрудник - заведующий лабораторией
Квантовой электроники,

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технического
института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук (ФТИ им. А.Ф. Иоффе),

Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Контактная информация:

194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26., Тел.: (812) 297-2245, Факс: (812)
297-1017, E-mail: achamrai@mail.ioffe.ru

Подпись Шамрай А.В.
зав.отделом кадров ФТИ им. А.Ф. Иоффе

7
07.12.2021