

УТВЕРЖДАЮ:
Исполнительный директор
ООО «АПСТЕК Лабс»
к. ф.-м. н., И.Ю. Горшков
«23» декабря 2020г

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общество с ограниченной ответственностью «АПСТЕК Лабс»

Диссертация «Применение анализа радиоголографических и радиотомографических изображений для дистанционного обнаружения скрытых предметов» выполнена в научной лаборатории общества с ограниченной ответственностью «АПСТЕК Лабс».

В период подготовки диссертации соискатель Семенов Семен Николаевич работал в ООО «АПСТЕК Лабс» в должности инженера. В настоящее время соискатель работает в ООО «АПСТЕК Лабс» в должности старшего инженера.

В 2012 г. Семенов С.Н. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет» по специальности «Физика» (специализация «Физическая оптика и лазеры»).

С 2013 г. по 2017 Семенов С.Н. обучался в аспирантуре очной формы обучения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Научный руководитель Семенова С.Н. – доктор физико-математических наук, профессор Дудкин Валентин Иванович, федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. профессора М.А. Бонч-Бруевича», профессор кафедры фотоники и линий связи.

На научном докладе Семенова С.Н. **присутствовали:** к. ф.-м. н. Горшков И.Ю., к. ф.-м. н. Кузнецов А.В., д. ф.-м. н., Дудкин В.И., д. т. н. Манойлов В.В., к. ф.-м. н. Вахтин Д.Н., к. ф.-м. н. Воробьев В.В., к. т. н. Воробьев С.И., к. т. н. Спивак А.И., магистр электроники Мещеряков В.В., соискатель Семенов С. Н.

Слушали: научный доклад Семенова Семена Николаевича по диссертационной работе на тему «Применение анализа радиолографических и радиотомографических изображений для дистанционного обнаружения скрытых предметов», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Актуальность темы диссертационной работы определяется необходимостью совершенствования существующих методов обнаружения опасных предметов, в частности СВУ (самодельных взрывных устройств) из-за возросшей угрозы совершения террористических актов. Разработка новых физических методов обнаружения опасных предметов, принципиально отличающихся от существующих, и их интеграция в комплекс систем безопасности позволит существенно повысить общественную безопасность. Тема работы является первой в списке «Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации» указа президента РФ от 7.07.2011 № 899 по части «Безопасность и противодействие терроризму».

Личный вклад соискателя в теоретические и практические результаты диссертационной работы. Все научные и практические результаты, включенные в диссертационную работу, получены лично Семеновым С.Н. На использованные в работе заимствованные экспериментальные и теоретические данные имеются необходимые ссылки на публикации.

Соискателем лично проведено моделирование рассеянного электромагнитного излучения в приближении однократного рассеяния от человека в поддиапазоне СВЧ 10-18 ГГц, представленного набором дискретных, изотропных, точечных рассеивателей, проведены эксперименты по измерению диэлектрической проницаемости тестовых диэлектриков на динамических объектах (людях с различным индексом массы тела).

Соискателем лично поставлена задача о построении радиотомографического изображения методом обратных радоновских проекций в поддиапазоне СВЧ 10-18 ГГц, собрана экспериментальная установка и оптимизировано расположение приемо-передающих элементов для эффективного построения радиотомографического изображения, написаны алгоритмы обнаружения диэлектрического

объекта в исследуемой зоне установки и вычисления их ключевых физических параметров. Быстродействие алгоритмов позволило проводить измерения в режиме реального времени. Соискателем лично произведены эксперименты по обнаружению тестовых диэлектриков в багаже, установлены критерии опасности и вычислены вероятности обнаружения и ошибки 1-ого и 2-ого родов.

Достоверность результатов научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертационной работе, подтверждается экспериментальными исследованиями, опубликованными в различных журналах статьями, обсуждениями результатов работы на международных конференциях.

Принятые приближения (однократного изотропного рассеяния, о распространении электромагнитного излучения в среде) физически оправданы и находятся в соответствии с теорией распространения электромагнитного излучения.

В процессе работы были произведены теоретические, численные и экспериментальные исследования. Все разработанные модели в процессе диссертационной работы численно промоделированы и показана их работоспособность. Результаты численного моделирования согласуются с экспериментальными результатами. Достоверность защищаемых положений и прочих экспериментальных результатов диссертационной работы подтверждается согласованностью теоретических и экспериментальных данных.

Качество изображений, восстановленных в практических экспериментах, определяется разрешающей способностью используемых экспериментальных моделей, не превышает дифракционный предел и согласуется с результатами моделирования. Предельная разрешающая способность составляет порядка длины волны зондируемого излучения.

Научную новизну работы составляет:

1. Предложен и теоретически обоснован поддиапазон СВЧ 10-18 ГГц для метода обнаружения диэлектрика, основанного на синтезе нескольких методов численного решения обратной задачи дифракции. Выбранный поддиапазон дает принципиальную возможность идентификации динамического объекта в режиме реального времени.
2. Полученное быстродействие алгоритмов, разработанного метода построения и анализа изображений, впервые позволило производить

идентификацию нескольких динамических объектов (до 5-ти человек со скоростью перемещения до 5-6 кч/ч) в режиме реального времени.

3. Впервые реализован радиотомографический метод, основанный на анализе обратных радоновских проекций, позволяющий обнаруживать диэлектрические предметы в режиме реального времени с размерами от 5 см, скрытые тонким слоем.

4. Разработан алгоритм классификации предметов по степени опасности в рамках задачи досмотра, основанный на вычисленных ключевых физических параметрах – размер, положение в пространстве и диэлектрическая проницаемость. Разработанный алгоритм обеспечивает автоматическое обнаружение скрытых предметов.

Практическая значимость.

На основе проведенных исследований разработана комплексная методика обнаружения скрытых диэлектрических объектов, проносимых под одеждой, в рюкзаках и чемоданах. Данный комплекс методик был внедрен в ряд многопозиционных СВЧ систем досмотра, отвечающим современным требованиям безопасности – скрытный досмотр, быстрое действие, безопасность для человека, автоматическая работа. Программная реализация комплекса методик была интегрирована в программное обеспечение систем класса АМУ256: АМУ256х2х4, АМУ256х2х8, АМУ256х4х8, АМУ256х2х6L, HSR (Human Security Radar).

Апробация работы.

Материалы диссертационной работы неоднократно докладывались на всероссийских и международных научных конференциях:

1. Тринадцатая международная научно-практическая конференция Hi-Tech. Санкт-Петербург, 24 – 26 мая 2012 г. Материалы конференции. Санкт-Петербург.
2. In Proceedings of the Distributed Intelligent Systems and Technologies. St. Petersburg 2 – 4 July 2012. St. Petersburg, Russia, 2012.
3. XLII неделя науки СПбГПУ. Санкт-Петербург 2 – 7 декабря 2013г. Материалы конференции. Санкт-Петербург, 2013.
4. In Proceedings of the Security Research Conference "9th Future Security", Berlin, September 16 – 18, 2014. Fraunhofer Verlag, Berlin, Germany 2014.
5. XLIII неделя науки СПбГПУ. Санкт-Петербург 1 – 6 декабря 2014г. Материалы конференции. Санкт-Петербург, 2014. С. 125 – 127.
6. XVI Международная зимняя школа-Семинар по радиофизике и электронике сверхвысоких частот. Саратов 2 – 7 февраля 2015. Материалы конференции. Саратов, 2015.
7. In Proceedings of the Security Research Conference "10th Future Security", Berlin, September 15 – 17, 2015. Berlin, Germany 2015.
8. XIV неделя науки СПбПУ. Санкт-Петербург 30 – 4 декабря 2015. Материалы конференции. Санкт-Петербург, 2015. С.

Полнота изложения материала и ценность научных работ.

Содержание диссертации в достаточной мере отражено в 4 статьях научных журналов, рекомендованных ВАК, в 8 тезисах докладов всероссийских и международных научных конференций, в 2 патентах РФ, в 1 статье, рецензируемой SCOPUS, в 1 статье, входящей в базу IEEE. Вклад автора в публикациях составляет более 80%. В публикациях отражены новые научные результаты, полученные в диссертационной работе. Ценность опубликованных работ заключается в подробном изложении основных результатов исследований, проведенных в диссертации.

В рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК:

1. Воробьев С.И., Потехин В.В., Семенов С.Н. Методика фильтрации анализа изображений микроволнового зондирования // Журнал «НТВ СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление», выпуск 1–2014(188). С. 31 – 36.

Соискателем проведено моделирование процесса рассеивания микроволнового излучения от точечного рассеивателя, а также настроен алгоритм фильтрации гистограммы распределения амплитуд.

2. Семенов С.Н., Воробьев С.И., Дудкин В.И. Методика построения микроволнового изображения объекта с применением решения обратной задачи дифракции // Журнал «НТВ СПбГПУ. Физико-математические науки», выпуск 2-2014(194). С. 69 – 74.

Соискателем производились эксперименты по измерению рассеянного микроволнового излучения от макетов человеческого тела и тела человека на экспериментальной установке АМУ256.

3. Семенов С.Н. Построение изображений диэлектрических объектов методом микроволновой томографии // Журнал «НТВ СПбГПУ. Физико-математические науки», выпуск 3-2015(225). С. 150 – 155.

4. Мещеряков В.В., Семенов С.Н., Григорьев А.Д. Исследование эффекта изменения поляризации микроволнового излучения скрытыми объектами на теле человека // Журнал «Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника», выпуск 6-2015. С. 41 – 45.

Соискателем проведена подготовка металлических образцов, для проведения экспериментов для измерения эффекта изменения поляризации микроволнового излучения.

В трудах всероссийских и международных конференций:

1. Семенов С.Н., Воробьев С. И., Аверьянов В.П., Осипов М.Ю. Многопозиционная система построения микроволнового изображения в режиме реального времени // Тринадцатая международная научно-практическая конференция Hi-Tech. Санкт-Петербург, 24 – 26 мая 2012 г. Материалы конференции. Санкт-Петербург. С. 44 – 47.

Соискателем проведено моделирование рассеянного микроволнового излучения от точечного рассеивателя и рассеивающей плоскости, а также сравнение результатов моделирования с данными, измеряемыми на системе «АМУ-256х2»

2. Vorobyev S., Semenov S., Shkodyrev V. Distributed imaging algorithm for multi-position microwave systems // In Proceedings of the Distributed

Intelligent Systems and Technologies. St. Petersburg 2 – 4 July 2012. St. Petersburg, Russia, 2012. P. 121 – 130.

Соискателем произведен численный расчет обратной задачи дифракции для восстановленных амплитуд микроволнового поля в приближении однократного рассеяния в дискретной пространственной сетке.

3. **Семенов С.Н.**, Воробьев С.И., Дудкин В.И. Метод построения изображения дистанционным радиозондированием пространства // XLII неделя науки СПбГПУ. Санкт-Петербург 2 – 7 декабря 2013г. Материалы конференции. Санкт-Петербург, 2013. С. 80 – 83.

Соискателем производились эксперименты по измерению рассеянного микроволнового излучения от макетов человеческого тела и тела человека на экспериментальной установке АМУ256.

4. Kuznetsov A., Vakhtin D., **Semenov S.** and etc. Automatic standoff detection of threats in crowded areas // In Proceedings of the Security Research Conference "9th Future Security", Berlin, September 16 – 18, 2014. Fraunhofer Verlag, Berlin, Germany 2014. P. 319 – 326.

Соискателем производились эксперименты по измерению вероятности детектирования имитаторов самодельных взрывчатых веществ, проводимых в метро Парижа, и эксперименты по измерению вероятности ложного срабатывания на заводе в Эстонии.

5. **Семенов С.Н.**, Воробьев С.И., Дудкин В.И. Построение томографических изображений диэлектрических объектов в микроволновом диапазоне в приближении геометрической оптики // XLIII неделя науки СПбГПУ. Санкт-Петербург 1 – 6 декабря 2014г. Материалы конференции. Санкт-Петербург, 2014. С. 125 – 127.

Соискателем предложена формула расчета для расчета диэлектрической плотности методом обратного дискретного преобразования Радона.

6. Мещеряков В.В., Воробьев С.И., **Семенов С.Н.** Микроволновая система дистанционного досмотра // XVI Международная зимняя школа-Семинар по радиофизике и электронике сверхвысоких частот. Саратов 2 – 7 февраля 2015. Материалы конференции. Саратов, 2015. С. 71.

Соискателем проведены эксперименты с имитаторами самодельных взрывчатых веществ.

7. Kuznetsov A., Vakhtin D., **Semenov S.** and etc. Extending security perimeter and protecting crowded places with Human Security Radar // In Proceedings of the Security Research Conference "10th Future Security", Berlin, September 15 – 17, 2015. Berlin, Germany 2015. P. 371 – 377.

Соискателем произведено длительное непрерывное тестирование (24/7) работоспособности системы HSR (Human Security Radar) на заводе в Эстонии.

8. **Семенов С.Н., Мещеряков В.В., Дудкин В.И.** Построение томографических изображений диэлектрических объектов в верхнем X и нижнем Ku диапазонах СВЧ // XIV неделя науки СПбПУ. Санкт-Петербург 30 – 4 декабря 2015. Материалы конференции. Санкт-Петербург, 2015. С. 122 – 124.

Соискателем предложена формула расчета для расчета распределения плотности удлинения оптического пути на основе методом обратного дискретного преобразования Радона в выбранной области пространства, предложена формула определения диэлектрической проницаемости диэлектрического объекта и его размеров.

Патенты:

1. Патент №2629914, Российская федерация, МПК G01N 22/10. Способ дистанционного досмотра багажа в контролируемой области пространства / **Семенов С.Н., Воробьев С.И.** и др., заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «АПСТЕК Лабс» (Ru). – №2016133685; заявл. 16.08.2016; опубл. 04.09.2017, Бюл № 25. – 2 с.

2. Патент №2629911, Российская федерация, МПК G01R 27/26. Способ дистанционного определения диэлектрической проницаемости диэлектрического объекта / **Семенов С.Н., Воробьев С.И.** и др., заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «АПСТЕК Лабс» (Ru). – №2016133690; заявл. 16.08.2016; опубл. 04.09.2017, Бюл № 25. – 2 с.

Публикации, рецензируемые SCOPUS:

1. Viktor V. Meshcheriakov, Semen N. Semenov, Valentin I. Dudkin // Implementation of a Broadband Horn Antenna with High Level of Cross-polarization Discrimination in Microwave Inspection Systems, International Youth Conference on Electronics, Telecommunications and Information Technologies. July, 2020 Saint-Petersburg, Russia, pp 375-382.

Соискателем проведены измерения рассеянного СВЧ излучения измеряемого широкополосной антенной Вивальди и широкополосной двухгребневой рупорной антенны.

Публикации, входящие в базу IEEE:

1. Viktor V. Meshcheriakov, Andrey D. Grigoriuev, Semen N. Semenov, Pavel D. Iurmanov // Wideband Antennas with Elliptic Aperture for the Inspection Systems, 2020 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE). September 24–25, 2020 Saratov, Russia, pp. 200–202.

Соискателем проведены измерения рассеянного в двух поляризациях СВЧ излучения измеряемого эллиптической антенной.

Соответствие специальности. Выполненная Семеновым С.Н. диссертационная работа является научно-квалификационной работой и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, действующим положением о порядке присуждения ученых степеней, и соответствует следующим пунктам паспорта специальности ВАК «01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики»:

1) п.2. «Разработка новых принципов и методов измерений физических величин, основанных на современных достижениях в различных областях физики и позволяющих существенно увеличить точность, чувствительность и быстродействие измерений. Разработка и создание научной аппаратуры и приборов для экспериментальных исследований в различных областях физики».

2) п.5. «Разработка и создание экспериментальных установок для проведения экспериментальных исследований в различных областях физики».

3) п.7. «Разработка и создание средств автоматизации физического эксперимента».

Диссертация соответствует требованиям, установленным пунктом 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года №842.

Диссертация «Применение анализа радиолографических и радиотомографических изображений для дистанционного обнаружения скрытых предметов» Семенова Семена Николаевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Присутствовало на заседании 10 чел. Результаты голосования: «за» – 9 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 1 от 18 декабря 2020 г. Соискатель Семенов С.Н участия в голосовании не принимал.

Председатель семинара
к.ф.-м.н.

Кузнецов А.В.

Секретарь заседания
к.т.н

Воробьев С.И.