

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
24.1.029.01 (Д002.034.01) НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ АНАЛИТИЧЕСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИАП РАН), Г. САНКТ-
ПЕТЕРБУРГ**

ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК
аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «24» декабря 2021 г. № 7

о присуждении Семенову Семену Николаевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Применение анализа радиоголографических и радиотомографических изображений для дистанционного обнаружения скрытых предметов» по специальности 1.3.2 (01.04.01) – Приборы и методы экспериментальной физики принята к защите 19.08.2021 г., протокол № 3 диссертационным советом 24.1.029.01 (Д002.034.01) на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт аналитического приборостроения Российской академии наук (ИАП РАН), 190103, Санкт-Петербург, Рижский пр. 26, приказ 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель: Семенов Семен Николаевич, 1988 года рождения, окончил в 2012 году магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», а в 2017 году окончил аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Диссертация выполнена в Обществе с ограниченной ответственностью «АПСТЕК Лабс».

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

Официальные оппоненты:

1. Шамрай Александр Валерьевич, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук (Ioffe Institute), лаборатория квантовой электроники, главный научный сотрудник—заведующий лабораторией.
2. Подстригаев Алексей Сергеевич, кандидат технических наук, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт «Вектор», начальник научно-исследовательской лаборатории 623

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Открытое Акционерное Общество «Центральное научно-производственное объединение «ЛЕНИНЕЦ», г. Санкт-Петербург, в своем положительном заключении, подписанном ведущим сотрудником, Федотовым Анатолием Николаевичем, кандидатом технических наук, утвержденном генеральным директором Сидоренко Кириллом Анатольевичем, указала, что диссертация Семенова С.Н. соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.2 (01.04.01), и отметила следующие замечания:

- 1). Во второй главе в предложенном автором методе сравнительного анализа указана точность в восстановлении пространственных распределений дискретных точечных рассеивателей, которая определяется используемым частотным диапазоном и размерами апертуры массива передающих элементов. А точность позиционирования изображения, получаемого в видимом диапазоне со стереопары, представлена не явно (стр. 60);
- 2). В третьей главе название «распределение плотности удлинения оптического пути» отражает не совсем явным образом физический смысл вычисляемой величины. Более подходящее название было бы «распределение диэлектрической плотности» (стр. 80);
- 3). В четвертой главе в описании экспериментов по обнаружению «условно опасного» объекта радиологическим методом не четко описаны люди «с разными телосложениями» (стр. 107).

Соискатель имеет 17 (семнадцать) опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 17 (семнадцать) работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях 17 (семнадцать). Из них 4 (четыре) работы входят в перечень ВАК РФ, 1 публикация входит в базу SCOPUS, 1 публикация входит в базу IEEE, 2 (два) патента на изобретения, а также 9 (девять) публикаций в материалах всероссийских и международных научных конференций. К наиболее значительным работам, отражающим основное содержание диссертации, относятся:

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.
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.
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.
5. Способ дистанционного досмотра багажа в контролируемой области пространства: пат. 2629914, Рос. Федерация, МПК: G 01 N 22/10/ **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: ил.
 6. Способ дистанционного определения диэлектрической проницаемости диэлектрического объекта: пат. 2629911, Рос. Федерация, МПК G 01 R 27/26/ **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: ил.
 7. **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.
 8. 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. FraunhoferVerlag, Berlin, Germany 2014. P. 319 – 326.
 9. 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.
 10. 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 pp 375-382.
 11. 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 поставлены цель и задачи, сделан обзор литературы; проведено теоретическое исследование методов получения радиотомографических и радиоголографических изображений; выполнено численное моделирование рассеяния СВЧ излучения; построены алгоритмы восстановления радиотомографических изображений; сборка

экспериментальной установки и апробация ее работы; статистическая обработка результатов и формирование критериев опасности объектов.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. От Шамрая Александра Валерьевича, доктора физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук (Ioffe Institute), лаборатория квантовой электроники, главного научного сотрудника – заведующего лабораторией. Замечания:

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 возможности 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 радиологического и радиотомографического методов? Они скорее связаны с объектами досмотра и определяют применимость метода в той или иной ситуации, чем с методом как таковым».

б) «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 рассмотрении тексте диссертации список источников насчитывал 109 наименований, а полный объем, включая приложение А, составлял 136 стр.»

2. От Подстригаева Алексея Сергеевича, кандидата технических наук, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт «Вектор», начальника научно-исследовательской лаборатории 623. Замечания:

1). «Отсутствует сравнительный анализ рассмотренных в главе 1 методов зондирования и измерения диэлектрической проницаемости. Таким образом, глава 1 слабо обосновывает выбор для дальнейших исследований методов анализа радиоголографических и радиотомографических изображений.»

2). «Недостаточно полно описаны схемы экспериментальных установок (п.п. 2.1.1, 3.2.1). В частности, отсутствуют: подробная схема с указанием расстояний между элементами, конкретные частоты измерений, мощность излучения, фотографии установок и описание контрольно-измерительной аппаратуры.»

3). «По результатам экспериментов не выполнялся анализ погрешностей измеренных значений диэлектрической проницаемости и геометрических размеров объекта зондирования. Полученные разбросы замеров диэлектрической проницаемости легли в основу рекомендуемых диапазонов для идентификации так называемых «потенциально опасных» объектов. Учитывая, что не оценивались метрологические погрешности, на полученные диапазоны нельзя ориентироваться при использовании другой измерительной аппаратуры.»

4). «В работе широко используются общие фразы, не имеющие точного количественного определения, такие как: С. 51: «низкое отношение сигнал-шум»; С. 90: «Для реализации поставленной задачи необходимо обеспечить расположение приемно-передающих элементов таким образом, чтобы оптимальным образом производить измерения прошедшего излучения и обеспечить быстрое действие производимых расчетов» (при этом критерии оптимальности не определены); с. 104: «Из этого следовало, что необходимо было определять оптимальное расположение антенн, при котором вычисление диэлектрической проницаемости было с достаточной точностью и размеры контролируемой области были наибольшими.» («Достаточная точность» – это сколько и для чего достаточно?)»

5). «В работе отсутствует четкое определение термина «динамический объект.»»

3. От Шишкина Ивана Ивановича, кандидата физико-математических наук, Университет ИТМО, ведущего инженера. Без замечаний.

4. От Полянского Владимира Александровича, доктора технических наук, профессора, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, заведующего кафедрой №4 «Высшая математика». Замечание:

«Не указаны в автореферате значения диэлектрической проницаемости тестовых образцов, которые являлись в экспериментах «условно опасными» объектами.»

5. От Лиференко Виктора Даниловича, доктора технических наук, профессора, военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Без замечаний.

6. От Давыдова Вадима Владимировича, доктора физико-математических наук, доцента, Санкт-Петербургский политехнический университет имени Петра Великого, высшая школа прикладной физики и космических технологий при Институте физики, нанотехнологий и телекоммуникаций, младшего научного сотрудника. Без замечаний.

7. От Рогова Сергея Александровича, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры ФилССПбГУТ им. проф. М.А.Бонч-Бруевича. Без замечаний.

Все отзывы положительные.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается большим опытом работы в областях физики и технологии радиофизики, радиовидению, фазированных антенных решеток, антенных радаров различным вопросам которых посвящена диссертация.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

показано теоретически и экспериментально, что использование поддиапазона СВЧ 10-18 ГГц обладает существенным преимуществом перед другими поддиапазонами СВЧ. Преимущества выбранного поддиапазона обеспечивают принципиальную возможность работы с движущимися объектами со скоростью 5-6 км/ч при восстановлении радиоголографических и радиотомографических изображений;

реализован метод обнаружения диэлектрика, основанный на сравнительном анализе двух изображений из различных спектральных диапазонов – видимом, построенному по методу стереозрения и поддиапазона СВЧ 10-18 ГГц, восстановленному на основе численного решения обратной задачи дифракции. Представленный метод позволяет производить обнаружение диэлектрика, скрытно проносимого под одеждой человека, а также определять его ключевые физические параметры объекта обнаружения – размеры, положение в пространстве и диэлектрическую проницаемость;

предложен оригинальный метод обнаружения диэлектрика, основанный на анализе радиотомографического изображения, построенного методом обратных радоновских проекций. Представленный метод позволяет производить идентификацию движущегося диэлектрика с размером до 5-и см, расположенного в радиопрозрачной оболочке;

установлены критерии опасности на основании результатов проведенных статистических экспериментов, для идентифицируемых диэлектриков радиоголографическим и радиотомографическим методами, основанные на соотношении вычисленного объема и диэлектрической проницаемости. К «условно опасным» были отнесены диэлектрики, диэлектрическая проницаемость которых была в диапазоне [2.3, 4.5] для каждого метода и объемы [0.5, 3] л и [1, 5] л для радиоголографического и радиотомографического методов соответственно;

апробированы и внедрены предложенные методы построения и анализа радиологических и радиотомографических изображений в качестве функционального блока системы досмотра пассажиропотока HSR (HumanSecurityRadar).

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

1. **Решена** задача определения размеров, положения и диэлектрической проницаемости объекта, основанная на нахождении разницы пространственных положений точек поверхности объекта в видимом диапазоне и в поддиапазоне СВЧ 10-18 ГГц.
2. **Предложено** оригинальное решение задачи определения размеров, объема и диэлектрической проницаемости объекта, основанное на анализе его томографического изображения в поддиапазоне СВЧ 10-18 ГГц.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

одним из наиболее перспективных направлений в технике многопозиционных СВЧ систем являются системы досмотра (в основном, досмотра тела человека и багажа), определяющих наличие скрытых объектов под одеждой и/или в багаже. **В данный момент** ни одно из современных досмотровых устройств **не обладает** необходимым набором важных свойств: они **не обеспечивают** возможности быстрого и автоматического принятия решения о результатах досмотра, а значит, **не позволяют** вовремя обнаружить опасный объект и принять меры к его обезвреживанию прежде, чем он нанесет вред.

В ходе выполнения работы была **создана** программная реализация описанного в диссертационной работе комплекса методов, которая при интеграции в системы безопасности **может обеспечить** проведение быстрого автоматизированного досмотра человеческого тела и/или багажа с автоматической селекцией расположенных объектов. Программно-аппаратная реализация методов, приведенных в диссертационной работе, является актуальной научно-технической задачей, решение которой **позволит существенно повысить вероятность обнаружения** опасных объектов, скрытых под одеждой на теле или провозимых в багаже.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

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

В процессе работы были произведены теоретические, численные и экспериментальные исследования. Все разработанные макеты в процессе диссертационной работы численно промоделированы и показана их работоспособность. Результаты численного моделирования согласуются с экспериментальными результатами.

Достоверность защищаемых положений и полученных экспериментальных результатов диссертационной работы подтверждается согласованностью теоретических и экспериментальных данных и практикой внедрения.

Качество изображений и их разрешающая способность хорошо согласуется с результатами моделирования. Предельная разрешающая способность составляет порядка длины волны зондируемого излучения.

Личный вклад соискателя заключается в:

- Постановке цели и формулировке задач исследования;
- Разработке схем измерения в экспериментах по построению радиологического и радиотомографического изображений;
- В проведении численного моделирования рассеяния СВЧ излучения в приближении однократного рассеяния от модели человеческого тела в представлении дискретного набора изотропных точечных рассеивателей;
- Разработке алгоритмов восстановления радиотомографических изображений, основанных на обратных радоновских проекциях;
- Сборке экспериментальной установки для экспериментов с радиотомографическими изображениями и оптимизация расположения ее приемо-передающих элементов;
- В проведении статистических экспериментов, формулировке и обосновании критериев опасности объектов.

На заседании 24.12.2021 г. Диссертационный совет принял решение присудить Семенову Семену Николаевичу степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 16 докторов наук, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета,
д.т.н., проф.

В.Е. Курочкин

Ученый секретарь
диссертационного совета,

А.Л. Буляница

