

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 002.034.01 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 «04» октября 2019 г. № 10

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

Диссертация «Анализ радиолографических и радиотомографических изображений для дистанционного обнаружения скрытых предметов» по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики принята к защите 02.08.2019 г., протокол № 6 Диссертационным советом 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 специалистом 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 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 радиоголографическим методом не четко описаны люди «с разными телосложениями» (стр. 107).

Соискатель имеет **15 (пятнадцать)** опубликованных работ, в том числе: по теме диссертации **15 (пятнадцать)** работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях **15 (пятнадцать)**; из них **4 (четыре)** работы входят перечень ВАК РФ, **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. Fraunhofer Verlag, 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.

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 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. Какая мощность излучения использовалась? Какой уровень шумов? Излучение поляризованное или нет? Какие требования по соотношению сигнал/шум и как оно влияет на время обработки и вероятность ошибки обнаружения? Почему приемных антенн определенное количество и почему они расположены именно в данных точках по отношению к излучающей решетке? 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».

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. Не приведены преимущества и недостатки рассмотренных методов. Таким образом, глава 1 мало 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. Например: С. 50: «низкое отношение сигнал-шум»; С. 90: «Для реализации поставленной задачи необходимо обеспечить расположение приемо-передающих элементов таким образом, чтобы оптимальным образом производить измерения прошедшего излучения и обеспечить быстрдействие производимых расчетов»; с. 103: «Из этого следовало, что необходимо было определять оптимальное расположение антенн, при котором вычисление диэлектрической проницаемости было бы с достаточной точностью и размеры контролируемой области были наибольшими»;

5). «В работе отсутствуют четкие определения терминов «Физический метод идентификации диэлектрического объекта на теле человека» и «динамический объект».

3. От Златова Андрея Сергеевича, кандидата физико-математических наук, Университет ИТМО, лаборатория «Дифракционные решетки», ведущего инженера. Без замечаний.

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

5. 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».

6. От Лиференко Виктора Даниловича, доктора технических наук, профессора военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Замечания:

1). «есть опечатки по тексту на стр. 32: БПФ и БФП»;

2). «В практической значимости используется термин «методика», а не метод, хотя, исходя из названия диссертации, должен быть именно «метод»».

7. От Парфенова Владимира Александровича, кандидата технических наук, доцента, Санкт-Петербургский политехнический университет имени Петра Великого, высшая школа прикладной физики и космических технологий при

Институте физики нанотехнологий и телекоммуникаций, старшего научного сотрудника. Замечания:

- 1). «Из текста автореферата остается не ясным, как автор работы объясняет преимущества диапазона 10-18 ГГц в сравнении с другими поддиапазонами СВЧ»;
- 2). «Из автореферата также неясно, какие условия работы методов принимались в данном исследовании за безопасные для человека»;
- 3). «Последние публикации – изобретения, – датируются 2017 годом, а статьи ВАК 2015 годом. Следовало бы отразить более поздние работы автора в этом направлении».

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

«Отсутствие информации о предельной толщине слоя для предмета не позволит использовать предложенный Семеновым С.Н. метод, а также минимальную мощность сигнала СВЧ, так как в общественных местах на значение мощности, используемых сигналов СВЧ есть ограничения».

Все отзывы положительные.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается большим опытом работы в областях физики и технологии радиофизики, радиовидению, фазированных антенных решетках, антенных радаров, т.е. направлениям, которым посвящена диссертация.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

показано теоретически (на основе квазистационарного приближения) и экспериментально, что использование поддиапазона СВЧ 10-18 ГГц обладает существенным преимуществом перед другими поддиапазонами СВЧ при решении задач обнаружения скрытых диэлектриков. Преимущества выбранного поддиапазона обеспечивают принципиальную возможность работы с движущимися объектами со скоростью 5-6 км/ч при восстановлении радиолографических и радиотомографических изображений;

реализован метод обнаружения диэлектрика, основанный на сравнительном анализе двух изображений из различных спектральных диапазонов – видимого и поддиапазона СВЧ 10-18 ГГц;

представленный метод **позволяет** производить идентификацию диэлектрического объекта, скрытно проносимого под одеждой человека, а также определять его

ключевые физические параметры: размеры, положение в пространстве и диэлектрическую проницаемость;

предложен оригинальный метод обнаружения диэлектрика, основанный на анализе радиотомографического изображения, построенного методом обратных радоновских проекций в поддиапазоне СВЧ 10-18 ГГц. Представленный метод позволяет производить идентификацию движущегося диэлектрика с размером до 5-ти см, расположенного в радиопрозрачной оболочке;

установлены критерии опасности на основании результатов проведенных статистических экспериментов для идентифицируемых радиоголографическим и радиотомографическим методами диэлектрических объектов. Эти критерии основаны на соотношении вычисленного объема и диэлектрической проницаемости. К «условно опасным» были отнесены объекты, 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 радиоголографических и радиотомографических изображений в качестве функционального блока системы досмотра пассажиропотока HSR (Human Security Radar). Блок изготовлен ООО АПСТЕК Лабс (РФ), и его работоспособность подтверждена испытаниями в 27 странах мира.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что применительно к проблематике диссертации результативно, с получением обладающих новизной результатов:

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;

предложено оригинальное решение задачи определения размеров, объема и диэлектрической проницаемости объекта, основанное на анализе его томографического изображения в поддиапазоне СВЧ 10-18 ГГц. Предложенное оригинальное решение относится к классу бесконтактных методов и **позволяет** вычислить линейный размер и диэлектрическую проницаемость объекта, как неподвижного, так и находящегося в движении, а также в тех случаях, когда контактные методы неприменимы.

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

одним из наиболее перспективных направлений в технике многопозиционных СВЧ систем является развитие систем досмотра (в основном, досмотра тела человека и

багажа), определяющих наличие скрытых объектов под одеждой и/или в багаже. **В отличие от большинства** современных досмотровых устройств, предложенная система **обладает** дополнительным набором важных свойств: она **обеспечивает** возможность быстрого и автоматического (без наличия человеческого фактора) принятия решения о результатах досмотра, а значит, **позволяет** 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, реализация которой **позволит существенно повысить вероятность обнаружения** опасных объектов, скрытых под одеждой на теле или провозимых в багаже.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Принятые приближения физически оправданы и находятся в соответствии с теорией распространения электромагнитного излучения. Все разработанные макеты в процессе диссертационной работы численно промоделированы, изготовлены и показана их работоспособность. При этом, результаты численного моделирования согласуются с экспериментальными результатами.

Личный вклад соискателя заключается в:

- постановке цели и формулировке задач исследования;
- разработке схем измерения в экспериментах по построению радиоголографического и радиотомографического изображений;
- проведении численного моделирования рассеяния СВЧ излучения в приближении однократного рассеивания 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;
- проведении статистических экспериментов и вычисления критериев опасности.

На заседании 04.10.2019 г. Диссертационный совет принял решение присудить Семенову Семену Николаевичу степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 17 докторов наук, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

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

В.Е. Курочкин

Ученый секретарь
Диссертационного совета,
д.ф.-м.н.

А.Л. Буляница

