

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**СТЕНОГРАММА**

заседания диссертационного совета Д 999.138.02, созданного на базе  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической  
и прикладной электродинамики Российской академии наук при участии  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного  
института высоких температур Российской академии наук  
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13)  
от 12 мая 2021 г. (протокол № 3)

Защита диссертации  
**Политико Алексея Алексеевича**  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
**«Экспериментальные исследования электрофизических свойств гетерогенных  
поглощающих структур и покрытий в СВЧ диапазоне»**

Специальность 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки

Москва – 2021

## СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 999.138.02, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук при участии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13)  
Протокол № 3 от 12 мая 2021 г.

Диссертационный совет Д 999.138.02 утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ № 411/нк от 10.05.2017 г. в составе 20 человек. На заседании присутствуют 16 человек (14 – очно, 2 – онлайн), из них 16 докторов наук по специальности 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки. Дополнительно введены на разовую защиту – 0 человек. Кворум имеется.

**Председатель** – председатель диссертационного совета Д 999.138.02 академик РАН Лагарьков Андрей Николаевич.

**Ученый секретарь** – ученый секретарь диссертационного совета Д 999.138.02 д.ф.-м.н., доцент Дорофеенко Александр Викторович.

	<b>Фамилия, И.О.</b>	<b>Учёная степень, шифр специальности в совете</b>	<b>Присутствие</b>
1	Лагарьков А.Н.	академик РАН (01.04.13)	Очное присутствие
2	Амиров Р.Х.	д.ф.-м.н., ст.н.с. (01.04.13)	Очное присутствие
3	Дорофеенко А.В.	д.ф.-м.н., доцент (01.04.13)	Очное присутствие
4	Батенин В.М.	член-корр. РАН, профессор (01.04.13)	Отсутствует
5	Василяк Л.М.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.13)	Очное присутствие
6	Виноградов А.П.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.13)	Очное присутствие
7	Гавриков А.В.	д.ф.-м.н., доцент (01.04.13)	Очное присутствие
8	Гиппиус Н.А.	д.ф.-м.н. (01.04.13)	Удаленное подключение
9	Деньщиков К.К.	д.т.н. (01.04.13)	Отсутствует
10	Жук А.З.	д.т.н., профессор (01.04.13)	Очное присутствие
11	Зейгарник В.А.	д.т.н., ст.н.с. (01.04.13)	Очное присутствие
12	Кисель В.Н.	д.ф.-м.н., доцент (01.04.13)	Очное присутствие
13	Мерзликин А.М.	д.ф.-м.н. (01.04.13)	Очное присутствие
14	Парфенов Ю.В.	д.т.н., ст.н.с. (01.04.13)	Отсутствует
15	Пухов А.А.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.13)	Очное присутствие
16	Рахманов А.Л.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.13)	Очное присутствие
17	Рожков А.В.	д.ф.-м.н. (01.04.13)	Удаленное подключение
18	Розанов К.Н.	д.ф.-м.н., ст.н.с. (01.04.13)	Очное присутствие
19	Сон Э.Е.	академик РАН (01.04.13)	Очное присутствие
20	Сарычев А.К.	д.ф.-м.н. (01.04.13)	Отсутствует

## ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации научного сотрудника лаборатории № 6 электрофизических исследований материалов и покрытий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук Политико Алексея Алексеевича на тему: «Экспериментальные исследования электрофизических свойств гетерогенных поглощающих структур и покрытий в СВЧ диапазоне». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки. Диссертация выполнена в лаборатории № 6 электрофизических исследований материалов и покрытий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук.

### Научный руководитель:

Семененко Владимир Николаевич – к.ф.-м.н. заместитель директора по научной работе по специальным программам Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук.

### Официальные оппоненты:

д.т.н. Кузнецов Павел Алексеевич – начальник НИО «Нanomатериалы и нанотехнологии» Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (191015, г. Санкт-Петербург, ул. Шпалерная, д. 49).

к.ф.-м.н. Бибииков Сергей Борисович – заведующий лабораторией электрофизики и радиофотоники композиционных материалов и наноструктур Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук (119334, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4).

### Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4).

На заседании присутствуют: официальный оппонент д.т.н. Кузнецов П.А., официальный оппонент к.ф.-м.н. Бибииков С.Б., научный руководитель Политико А.А. к.ф.-м.н. Семененко В.Н.

## СТЕНОГРАММА

### Председатель:

Уважаемые коллеги, добрый день! Спасибо большое, что большинство нашло возможность прийти, несмотря на «ковидные» ограничения. У нас кворум, все в порядке. И мы можем начать наше заседание ученого совета. У нас на повестке один вопрос сегодня: защита диссертации Алексея Алексеевича Политико «Экспериментальные исследования электрофизических свойств гетерогенных поглощающих структур и покрытий в СВЧ диапазоне» по специальности электрофизика.

Предоставляю слово ученому секретарю. Прошу Вас.

### Ученый секретарь:

*(Зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ).*

### Председатель:

Спасибо большое. Алексей Алексеевич, пожалуйста, 20 минут Вам предоставляется, прошу доложить о Ваших результатах.

### Политико А.А.:

*Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Политико А.А. прилагается).*

### Председатель:

Спасибо. Вопросы, пожалуйста.

### Виноградов А.П.:

У меня вопрос будет такой. Вы во второй части, по-моему, говорили о том, что измеряли  $\epsilon$  по коэффициенту отражения. Я правильно понял?

### Политико А.А.:

В общем случае для образца, который имеет, в том числе, магнитную проницаемость, отличную от единицы, два S-параметра необходимо измерить.

### Виноградов А.П.:

Это понятно. Там было указано, что один. Когда есть  $\epsilon$ , то одного коэффициента отражения достаточно?

### Политико А.А.:

В общем-то, да, либо коэффициента отражения, либо коэффициента прохождения. В этом случае мы получаем одно трансцендентное уравнение.

### Виноградов А.П.:

Так что у вас было во второй главе, там коэффициент отражения?

### Политико А.А.:

Нет, коэффициент прохождения. Мы измеряем диэлектрическую проницаемость немагнитных материалов в основном по измерениям коэффициента прохождения. Получаем одно трансцендентное уравнение, решение которого находим численным образом.

**Виноградов А.П.:**

Понятно.

**Председатель:**

Пожалуйста, Владимир Николаевич.

**Кисель В.Н.:**

Можно к шестому слайду вернуться? Как-то в докладе плохо прозвучало или вообще не прозвучало, а вот на картинке я вижу, что сферические волны падают на образец. И как в этих условиях мы точно измеряем коэффициенты отражения, прохождения и параметры материалов, если надо это делать, когда падает плоская волна?

**Политико А.А.:**

Спасибо за вопрос. Для этих целей применяется диафрагма. Диафрагма нужна для диафрагмирования апертур рупорных антенн и в плоскости диафрагмы мы за счет этого в результате получаем квазиплоский фронт волны. Проводились соответствующие исследования, в том числе измерения амплитудно-фазового распределения поля, которые показали, что в системе антенна плюс измерительная диафрагма, как это, собственно, и реализовано в конструкции измерительного стенда, амплитудно-фазовое распределение, действительно, близко к плоской волне.

**Кисель В.Н.:**

Можно еще вернуться к схеме стенда? Там у Вас антенны рупорно-линзовые. Наверное, линза тоже там неслучайно применяется?

**Политико А.А.:**

Да, линза дополнительно применяется для коррекции фазового фронта волны. Также еще следует отметить, что в конструкции измерительного стенда используется экранированная безэховая камера. Она облицована изнутри радиопоглощающим материалом для подавления паразитных переотражений.

**Председатель:**

Пожалуйста, Владимир Альбертович.

**Зейгарник В.А.:**

Скажите, Вы все измерения делали только в условиях нормально падающей волны?

**Политико А.А.:**

Да, в данной работе все измерения проведены при нормальном падении электромагнитной волны. Но я об этом не говорил, стенд также позволяет измерять частотные зависимости коэффициента прохождения образцов материалов при наклонном падении электромагнитной волны.

**Зейгарник В.А.:**

Это существенно?

**Политико А.А.:**

Это существенно для разработчиков. К примеру, практическая задача – разработка радиопрозрачного обтекателя. Вначале, когда обтекатели разрабатываются, то разрабатывается конструкция в виде плоской стенки. И эту многослойную структуру важно исследовать в широком диапазоне углов, потому что на реальный объект, на реальный обтекатель волна падает под разными углами.

**Зейгарник В.А.:**

Но в работе этого нет?

**Политико А.А.:**

Да, в работе это не представлено.

**Председатель:**

Диэлектрическая проницаемость – тензор в этом случае.

**Зейгарник В.А.:**

Понятно.

**Председатель:**

У меня вопрос. Или кто-то еще был? Пожалуйста, Леонид Михайлович.

**Василяк Л.М.:**

Будьте добры, частотные зависимости, где много пиков.

**Председатель:**

В автореферате, наверное?

**Василяк Л.М.:**

Да, от чего они зависят? Это от того, что внутри материала много шариков разных размеров, которые резонируют на разной частоте или это свойство материала? В связи с этим, если это просто структура, я так условно говорю, из разных шариков, то не случится ли, что Ваш образец вот так резонирует, а другой образец будет иметь другой резонанс?

**Политико А.А.:**

Спасибо за вопрос. В данном карбонильном железе размер фракций примерно 2—3 мкм, это, собственно, видно из проведенного гранулометрического анализа. И это свойства именно самого карбонильного железа, поскольку оно обладает луковичной структурой, то есть это чередующиеся слои металл-диэлектрик. Диэлектриками в данном случае являются карбиды и нитриды железа, это хорошие диэлектрики. И за счет свойств такой сложной структуры мы как раз наблюдаем такие множественные резонансы. В частности, как я отмечал в докладе, помимо ферромагнитного резонанса были обнаружены еще дополнительные резонансы на более высоких частотах.

**Василяк Л.М.:**

Я как раз об этом и спрашивал.

**Политико А.А.:**

Вот эти резонансы, по моему мнению, спин-волновые резонансы в самих частицах.

**Василяк Л.М.:**

Понятно, спасибо.

**Председатель:**

Так, пожалуйста.

**Виноградов А.П.:**

Я хотел бы уточнить. Я так понял из Вашей дискуссии, что применение диафрагмы способствует выпрямлению волнового фронта. Как-то физику явления можно на пальцах

объяснить, как диафрагма может выпрямить фронт?

**Политико А.А.:**

Диафрагма диафрагирует апертуры антенн. И еще я отмечал, что для коррекции фазового фронта волны антенны используются линзовые.

**Председатель:**

Что используется?

**Политико А.А.:**

Диэлектрическая линза в антенне.

**Виноградов А.П.:**

То есть плоский фронт создает линза, а не диафрагма? А диафрагма просто ограничивает для того, чтобы у Вас не было дифракционных эффектов?

**Политико А.А.:**

Да, совершенно верно, чтобы не было дифракционных эффектов.

**Кисель В.Н.:**

Чтобы края образца не излучали.

**Председатель:**

Так, у меня вопрос, если больше вопросов нет. Скажите, пожалуйста, прозвучали такие слова, что Вы исследовали вдоль фронта волны амплитуду, фазу и искажения. Как Вы это исследовали, каким образом? Вы вставляли туда датчики, щупы?

**Политико А.А.:**

Спасибо за вопрос. Я специально подготовил дополнительный слайд. Измерения распределения поля были проведены с помощью двухкоординатного сканера и набора антенных зондов. Собственно, вот показана антенна типа П6-23 в составе с диафрагмой, как это и реализовано в конструкции измерительного стенда. А далее на слайде представлены результаты сканирования электромагнитного поля на частоте 20.5 ГГц. Как мы видим из представленных графиков, и фазовое распределение, и амплитудное являются достаточно равномерными. Поэтому можно считать, что поле в плоскости диафрагмы близко к плоской волне.

**Председатель:**

А зонд – это кольцо что ли было?

**Политико А.А.:**

Нет, зонд – это обычный штыревой зондовый излучатель.

**Председатель:**

Вопросы еще есть? Пожалуйста, Александр Михайлович, вопрос.

**Мерзликін А.М.:**

Там Эдуард Евгеньевич спрашивает.

**Председатель:**

Эдуард Евгеньевич, пожалуйста. Не видно мне его, я прошу прощения.

**Сон Э.Е.:**

Скажите, пожалуйста, по поводу температурной зависимости диэлектрической проницаемости и магнитной при температурах, которые измеряли минус 20 ÷ плюс 180.

**Политико А.А.:**

Минус 80 ÷ плюс 200 – это обеспечивает метод измерения разработанный, а у меня приведены результаты в диапазоне минус 70 ÷ плюс 180 градусов.

**Сон Э.Е.:**

Концентрационная зависимость – это понятно, она большая, а вот как возникает температурная зависимость, от чего?

**Политико А.А.:**

Спасибо за вопрос. Это обусловлено несколькими факторами. Температурная зависимость диэлектрической и также магнитной проницаемости материалов слоев покрытия в данном диапазоне температур. А третий фактор – это изменение морфологии, то есть это линейное расширение или сжатие образца при термическом нагреве или охлаждении. Какой из данных факторов преобладает – это, действительно, очень интересный вопрос, который требует проведения дополнительных исследований.

**Сон Э.Е.:**

Но ведь поле не меняется, и домены не меняются. Морфология – это понятно.

**Политико А.А.:**

Я бы еще хотел отметить, что представленные в работе радиопоглощающие покрытия – они все являются многослойными структурами. И для корректных исследований необходимо измерять температурные зависимости как диэлектрической, так и магнитной проницаемости отдельно для каждого слоя в структуре. Это на данный момент для нас сделать технически достаточно сложно, но уже есть определенные наработки в этой области. В частности, поставлена система температурных испытаний, которая позволяет проводить исследования в диапазоне от минус 100 до плюс 200 градусов. Изменение температуры в замкнутом объеме там происходит путем продувки сжатым воздухом. Таким образом, в перспективе мы рассчитываем измерять не только температурные зависимости коэффициента отражения, но и температурные зависимости коэффициента прохождения, что в конечном счете нам позволит по измеренным S-параметрам определять диэлектрическую и магнитную проницаемости.

**Сон Э.Е.:**

Еще вопрос, а гистерезис есть, то есть если он назад возвращается?

**Политико А.А.:**

Я такие исследования в данной работе не проводил.

**Председатель:**

Да, Александр Михайлович, пожалуйста.

**Мерзликин А.М.:**

Вы рассказывали про разработанный Вами итерационный метод коррекции S-параметров. Хотелось поинтересоваться, что обеспечивает сходимость этого итерационного метода?

**Политико А.А.:**

Сходимость была подтверждена результатами коррекции для большой выборки образцов с различными значениями как диэлектрической, так и магнитной проницаемости. И во всех случаях, было измерено порядка 20 образцов, алгоритм сходился. Также хочу отметить, что измеренные значения в низкочастотном диапазоне отличаются от истинных значений на величину порядка 30%, это было экспериментально обнаружено. И это не такая колоссальная разница между истинными и измеренными значениями, поэтому данный итерационный алгоритм всегда сходится.

**Председатель:**

Если бы было, скажем, 100%, то он бы сходился бесконечно долго, вообще мог бы не сойтись? Почему я спрашиваю, потому что вы могли бы перейти к еще меньшим диаметрам. Если бы перешли к меньшим диаметрам, то, наверное, ситуация была бы хуже, так или нет?

**Политико А.А.:**

Да, если бы разница была, допустим, порядок, то тогда могли бы быть какие-то проблемы.

**Председатель:**

Понятно. А математически, вы можете сказать, число есть такое, когда сходимость прекратится?

**Политико А.А.:**

До 0.01%, данный итерационный алгоритм выполняется до тех пор, пока результаты не перестанут меняться более, чем на 0.01%.

**Председатель:**

Нет, характерный размер диафрагмы по отношению к длине волны.

**Политико А.А.:**

Для представленных в работе исследований, то есть для частоты 3 ГГц диаметр отверстия 80 мм – это практически предельный размер.

**Председатель:**

Я не понял.

**Политико А.А.:**

Если мы, допустим, хотим корректировать результаты измерений на 1 ГГц, тогда надо брать диафрагму диаметром не 80 мм, а больше.

**Председатель:**

Вот у вас параметр  $\lambda$  к  $d$ , длина волны к  $d$ . Поэтому безотносительно, при каком отношении  $\lambda/d$  Вы уже теряете надежду на сходимость, понятен вопрос?

**Политико А.А.:**

Да, я понял вопрос, это порядка 0.8. То есть отношение равно примерно 0.8.

**Председатель:**

Математически это можно показать или нет?

**Политико А.А.:**

Математически это показать можно, но в данной работе я такие исследования не проводил.

**Председатель:**

Все ясно. Еще вопросы есть? Много вопросов очень было. Спасибо. Тогда, пожалуйста, слово предоставляется научному руководителю Семенову Владимиру Николаевичу.

**Семенов В.Н.:**

Добрый день, уважаемые члены совета и уважаемые гости. Алексей к нам пришел на работу в 14-ом году после МГТУ имени Баумана. Правда, специальность у него была «Оптоэлектроника», но он очень быстро вошел в курс нашего дела и примерно через полгода уже вел активную работу – как научную, так и хозяйственную. За эти семь лет, что касается его научной деятельности, у него уже около 59 публикаций всего, из них примерно половина вошла в состав его диссертации. Он активно участвует во всех конференциях, практически раз в год, иногда даже дважды в год выступает на конференциях. Трижды получал награды за лучшие доклады: в 2016 году на конференции в ЦКБА, в 2017 году в п. Кубинка на военно-техническом форуме «Армия», в 2018 году на Крымской микроволновой конференции. Также он активно участвует во всех договорах. С удовольствием, можно сказать, провел время около года в дальних командировках по заданию нашей Родины. Является ответственным исполнителем по многим договорам, участвует в поставках таких стендов для измерения параметров материалов в свободном пространстве. В этом году, буквально в марте, была осуществлена поставка такого стенда в АО «Композит», город Королев. Он эту работу взял на себя, был по этой работе ответственным исполнителем. Стенд был поставлен «под ключ» с обучением заказчика и с аттестацией методики измерений для этого стенда во ВНИИФТРИ. По личным качествам: очень активный сотрудник, очень хорошо общается с заказчиками, находит общий язык, ведет грамотную переписку, очень добросовестный, чрезвычайно работоспособный. Считаю, что у него очень большой потенциал для дальнейшей как научного, так и организационного роста. В общем, отзывы самые положительные. Такой универсальный боец, я считаю.

**Председатель:**

Спасибо. Пожалуйста, слово предоставляется ученому секретарю для оглашения отзывов.

**Ученый секретарь:**

Спасибо. Поступили отзывы от ведущей организации и восемь отзывов на автореферат. Начну с отзыва ведущей организации. Отзыв от МИСиС, подписанный доктором физико-математических наук Л.В. Паниной. Отзыв положительный, но есть ряд замечаний. Замечания разделены на две группы: просто замечания и технические замечания. Семь просто замечаний. Наверное, поскольку их много, имеет смысл отвечать по отдельности на каждое, чтобы Алексей Алексеевич не должен был повторять.

Первое замечание. Вывод 2 о новизне метода измерений температурных зависимостей коэффициента отражения образцов РПП сформулирован довольно странно. С точки зрения физических процессов, в целом, разделение температур на плюсовые и отрицательные не имеет оснований. С точки зрения аппаратных разработок необходимо интегрировать нагревательный и охлаждающий элементы. Представляется, что решение этой технической задачи составляет новизну метода, но это слабо отражено.

**Председатель:**

Ну это не замечание. Ведь говорится, что новый метод. Тем не менее, ответьте на первое замечание.

**Политико А.А.:**

С моей точки зрения, вывод сформулирован правильно. Что касается предлагаемого подхода для интеграции холодильника и нагревателя в едином, так сказать, устройстве, то для разработанной методики в этом нет никакой необходимости. То есть мы сначала образец охлаждаем в морозильной камере, выдерживаем его достаточно длительное время при заданной температуре, а только затем происходит нагрев. Таким образом, движемся всегда от отрицательных температур к положительным. Что касается замечания про то, что разделение температур на плюсовые и отрицательные не имеет оснований с физической точки зрения, то с этим я согласен. Однако хочу отметить, что для прикладных целей, для разработчиков гораздо удобнее пользоваться значениями температур в градусах Цельсия, а не Кельвина. И это общепринято.

**Председатель:**

Хорошо, дальше.

**Ученый секретарь:**

Второе. Положения, выносимые на защиту, вообще говоря, не сформулированы в форме положений. Например, положение 2 не имеет никакой информации о новом методе измерений, а только о частотном и температурном интервалах его применимости.

**Политико А.А.:**

С данным замечанием я не согласен. Считаю, что температурный диапазон и также частотный диапазон являются ключевыми характеристиками разработанного метода измерений. Поэтому, на мой взгляд, формулировка положения в диссертации верная.

**Ученый секретарь:**

Третье. Для демонстрации точности измерений в главе 2 проводилось сравнение частотных зависимостей коэффициентов пропускания и отражения для образца кварцевого стекла, который характеризуется только одним параметром – реальной частью диэлектрической проницаемости. Поведение для образцов с поглощением и магнитными свойствами может быть значительно более сложным.

**Политико А.А.:**

Я уже в докладе отметил и в диссертации это также указано, что кварцевое стекло характеризуется и действительной, и мнимой частью диэлектрической проницаемости:  $\epsilon'$  составляет примерно 3.8, а диэлектрические потери  $\epsilon''$  – около 0.001. А что касается второй части данного замечания, то с этим я согласен. Действительно, частотные зависимости коэффициентов прохождения и отражения для образцов с магнитными свойствами могут быть значительно более сложными.

**Ученый секретарь:**

Четвертое. Довольно странно звучит утверждение, что в научной литературе практически нет информации, касающейся исследований СВЧ свойств РПМ и РПП, подверженных воздействию не только повышенных, но и пониженных (отрицательных) температур. Композиционный материал состоит из различных наполнителей и матрицы, температурные зависимости диэлектрических и магнитных параметров которых безусловно исследованы. Например, в случае наполнителя с железом магнитная проницаемость не должна сильно меняться при изменении температуры от минус 70 до

плюс 180 °С, так как температура Кюри значительно выше. Если имеется в виду изменение механических свойств материалов (сжатие/растяжение за счет разницы тепловых коэффициентов), то это нужно четко обозначать и обсуждать. Представляется, что смещение пиков на рисунках 2.15 и 2.16 как раз связаны с изменением геометрии.

**Политико А.А.:**

Абсолютно верно отмечено в замечании, что композиционные материалы состоят из различных наполнителей и матрицы. Однако на текущий момент электрофизические свойства наполнителей и матриц пока что не исследованы в полном объеме. Так, к примеру, в научной литературе нет информации по исследованиям электрофизических свойств различных видов полимеров: кремнийорганических, фторкремнийорганических, полиуретановых связующих.

Что касается изменения магнитной проницаемости железа, то при изменении температуры не так сильно меняется магнитная проницаемость у самих гранул железа, но в данном случае мы имеем дело с композиционным материалом и у композита как раз таки магнитная проницаемость может меняться достаточно сильно.

По поводу смещения локальных минимумов коэффициента отражения радиопоглощающих покрытий – я уже отвечал на данное замечание, когда отвечал на вопрос уважаемого члена диссовета.

**Ученый секретарь:**

Пятое. В главе 2 излишне подробно описывается итерационная процедура, используемая при корректировке. С другой стороны, это по сути является методом простых итераций решения нелинейных уравнений, который, как известно, не всегда сходится. И как тогда проводить коррекцию?

Вот такой вопрос.

**Политико А.А.:**

С данным замечанием я не вполне согласен. Считаю, что подробное описание процедуры коррекции – это положительный аспект в диссертации. То есть процедура коррекции в работе описана настолько подробно, как мне это показалось сделать правильным. Что касается сходимости итерационного алгоритма, то я уже отвечал на данный вопрос.

**Ученый секретарь:**

Шестое. Утверждается, что влияние скинирования приводит к тому, что максимум магнитных потерь располагается не на частоте ферромагнитного резонанса, а на частотах, где минимальный размер включений (для сферических частиц в нашем случае – это диаметр частицы) равен толщине скин-слоя. Следует заметить, что для поликристаллических частиц с доменной структурой частота ФМР также размыта, поскольку зависит от формы кристаллов и доменных стенок (из-за размагничивающего фактора).

**Политико А.А.:**

С замечанием согласен, это никак не противоречит полученным мной результатам.

**Ученый секретарь:**

И седьмое. При обсуждении возможного обменного резонанса у частиц карбонильного железа необходимо учитывать, что максимальные частоты ферромагнитного резонанса за счет размагничивающего фактора могут достигать 40 ГГц.

**Политико А.А.:**

С этим замечанием я также согласен. В диссертации учтено, что частоты ферромагнитного резонанса могут достигать значений порядка 40 ГГц.

**Ученый секретарь:**

И технические замечания, их тоже немало. На странице 44 смысл следующей фразы неясен: «При проведении измерений исследуемые образцы на диафрагму, расположенную в ближней зоне рупорных антенн». Видимо, намекают, что слово пропущено.

**Политико А.А.:**

Да, действительно, с замечанием согласен. В предложении пропущено сказуемое.

**Ученый секретарь:**

В главе 1, которая посвящена методикам измерений, S-параметры вводятся обычным образом для двухпортовых измерений. То есть это матрица  $2 \times 2$ . Между тем в главе 2 сразу без всяких пояснений появляются параметры  $S_{33}$  и  $S_{43}$  для четырехпортовых измерений. В главе 1 следовало бы обсудить особенности калибровок и измерений в четырехпортовой схеме. В формулах (2.2)–(2.5) снова используются только  $S_{11}$  и  $S_{21}$ . Следовало бы пояснить особенности четырехпортовых измерений или перейти к ним, когда это действительно необходимо.

**Политико А.А.:**

В ответ на данное замечание я хочу подчеркнуть, что в диссертации не рассматриваются четырехпортовые измерения. Измерения всегда являются двухпортовыми. Из-за того, что стенд конструктивно разделен на два сегмента, каждый из которых соответствует своему частотному поддиапазону, то есть это 2—24 ГГц и 22—40 ГГц, то векторный анализатор цепей (прибор) выбран четырехпортовым. Таким образом, получается, что параметру  $S_{21}$  в одном поддиапазоне всегда соответствует параметр  $S_{43}$  в другом поддиапазоне, а параметру  $S_{33}$  соответствует параметр  $S_{11}$ . А процедуры и калибровки, и измерений абсолютно одинаковые.

**Ученый секретарь:**

Следующее. В главе 2 исследовались образцы тонких пленок композитов на основе полимерных связующих, наполненных мелкодисперсными магнитомягкими порошками карбонильного железа с различной степенью наполнения. Между тем в таблице 2.3 дается перечень образцов с указанием их толщин, а не наполнения. Но толщина не влияет на материальные параметры. Поэтому не понятно, как отличались образцы с точки зрения материальных параметров.

**Политико А.А.:**

Я, в общем-то, согласен, что приведенная в диссертации таблица является не совсем наглядной. Однако указывать наполнение в композиционном материале не имеет никакой необходимости, поскольку при проведении коррекции мы образец можем рассматривать в качестве «черного ящика», для которого материальные параметры неизвестны. Затем мы проводим измерения диэлектрической и магнитной проницаемости с использованием двух диафрагм: диаметрами 80 мм и 180 мм. В первом случае в низкочастотной области наблюдаются погрешности измерений материальных параметров, а во втором случае этих погрешностей нет.

То, что толщина не влияет на материальные параметры – это очевидно, с этим я, конечно же, согласен. А как образцы отличались по материальным параметрам – это, собственно, видно из представленных в работе результатов измерений. На графиках в

диссертации я хотел показать, что коррекция проводилась для образцов с различными значениями как диэлектрической, так и магнитной проницаемости. В частности, для различных образцов  $\epsilon$  менялось от 3.5 до 70.

**Ученый секретарь:**

В диссертации нет четкого разделения на подразделы. То есть они имеются, но у них нет номера.

**Политико А.А.:**

По поводу нумерации. В диссертации разделы пронумерованы, а нумерация подразделов по ГОСТу не является обязательной.

**Ученый секретарь:**

Очень много аббревиатур, при этом понять, какие материалы использовались затруднительно. Обсуждается температурная зависимость, а материалы определены как композитные покрытия резонансного типа РАН-6 и РАН-53, нанесенные на плоские металлические пластины размерами 200×200 мм. В разделе используемых сокращений их нет. Ну и как обсуждать выводы диссертанта?

**Политико А.А.:**

РАН-6 и РАН-53 – это марки конкретных радиопоглощающих покрытий разработки ИТПЭ РАН. В диссертации они, действительно, приводятся без аббревиатур. Как указано в диссертации, эти покрытия представляют собой композиционные материалы на основе карбонильного железа, а их конкретный состав не так важен и в диссертации не рассматривается.

**Ученый секретарь:**

Формула (3.1) относится только к поликристаллическим ферритам в высокочастотной области.

**Политико А.А.:**

Формула (3.1) в диссертации – это закон Снука, который справедлив для всех ферро- и ферримагнетиков, за исключением тонких ферромагнитных пленок.

**Ученый секретарь:**

Также в отзыве отмечено, что отмеченные недостатки не снижают общей высокой оценки работы. Теперь можем перейти к отзывам на автореферат. Восемь отзывов поступило. Все положительные, есть замечания.

Первый отзыв от Государственного Рязанского приборного завода, подписан заместителем директора, к.т.н. И.И. Фроловым. Без замечаний.

Второй. Центральное конструкторское бюро автоматики. Подписано начальником сектора И.А. Боровиком и начальником отдела, к.т.н. П.И. Коротковым. Отзыв положительный с замечаниями. Первое – в материалах автореферата нет сведений о том, учитывает ли алгоритм коррекции S-параметров влияние стенок теплоизолирующей ячейки.

**Политико А.А.:**

Алгоритм коррекции не предполагает проведение исследований при воздействии различных температур, то есть измерения всегда проводятся при комнатной температуре. Поэтому теплоизолирующая ячейка при проведении коррекции не применяется. Также данный алгоритм не применим для случая наклонного падения электромагнитной волны – измерения всегда проводятся при нормальном падении волны.

### **Ученый секретарь:**

Еще одно. Также нет сведений о том, применим ли разработанный алгоритм для случаев не нормального падения электромагнитной волны. Это уже Алексей Алексеевич ответил.

Третий отзыв. Научно-исследовательский институт «Вектор», подписан главным специалистом Н.А. Павловым, главным специалистом к.ф.-м.н. Г.Ю. Яшиным. Отзыв положительный с замечаниями. Значит, я все тогда зачитываю подряд. Исходя из анализа автореферата, в качестве недостатка можно отметить отсутствие развернутых рекомендаций по применению полученных образцов. И еще одним недостатком можно считать отсутствие в списке публикаций индивидуальных работ автора, впрочем, в экспериментальных работах, которые проводятся всегда в большом коллективе, это вполне понятно.

### **Политико А.А.:**

Развернутые рекомендации не предоставлены в полной мере по причине уже достаточно большого объема диссертации. Что касается публикаций в соавторстве, то, как уже рецензент отметил, экспериментальные работы, действительно, практически всегда проводятся в коллективе.

### **Ученый секретарь:**

Четвертый отзыв из Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина».

### **Председатель:**

Пятый институт. Для тех, кто не знает.

### **Ученый секретарь:**

Подписали начальник 4 управления НИИИ РЭБ д.т.н. Кирьянов О.Е., начальник 41 отдела – заместитель начальника 4 управления НИИИ РЭБ к.т.н. А.А. Гаврилов, заместитель начальника 41 отдела 4 управления НИИИ РЭБ Е.С. Емельянов. Отзыв положительный с тремя замечаниями.

Разработанный алгоритм коррекции S-параметров, который применяется в случае использования диафрагмы, размеры которой составляют менее одной длины волны падающего излучения, не учитывает влияния самой диафрагмы на распределение поля на поверхности исследуемого образца. Потенциально такой учет позволит ввести дополнительные корректирующие множители и повысить точность результатов измерений.

Второе замечание. Схема стенда для проведения измерений предполагает размещение исследуемого образца на диафрагме, расположенной в ближней зоне рупорных антенн, что минимизирует вклад от процессов дифракции на краях образца и кромках антенн. В то же время оценки вклада краевых эффектов, обусловленных самой диафрагмой, в работе не приведены.

И третье замечание. Учитывая особенность установки, заключающуюся в том, что измерения проводятся в ближней зоне антенн, возможны эффекты, связанные с ограничением волнового фронта и возникновением нескольких зон Френеля. Исследования по данному вопросу в работе не приведены.

### **Политико А.А.:**

По поводу первого замечания. Учет влияния самой диафрагмы при измерении электрофизических параметров при проведении коррекции будет являться предметом для дальнейших научных исследований. Однако я хочу отметить, что технически это будет сделать достаточно сложно.

По второму замечанию. Действительно, влияние краевых эффектов из-за наличия диафрагмы в работе не рассматривается. Однако в конструкции измерительного стенда предприняты определенные шаги для минимизации данных эффектов. В основном, за счет нанесения магнитных и немагнитных радиопоглощающих материалов и покрытий на измерительную диафрагму и элементы конструкции антенного стола. И также в представленных результатах измерений электрофизических параметров мы данных эффектов не наблюдаем.

По третьему замечанию. Могу сказать, что эффекты, связанные с возникновением нескольких зон Френеля, не наблюдаются. Это также подтверждается результатами проведенных измерений.

#### **Ученый секретарь:**

Пятый отзыв поступил от Воронежского научно-исследовательского института «Вега». Подписан главным специалистом д.т.н., профессором В.Н. Поветко и главным специалистом к.ф.-м.н., доцентом В.М. Кашкаровым. Отзыв положительный с двумя замечаниями. Первое – в задачах исследования указана разработка способа повышения точности при измерениях электрофизических параметров материалов в свободном пространстве, однако в тексте автореферата не указано, насколько удалось повысить эту точность и насколько разработанный метод лучше существующих методов.

Второе – не вполне ясно в разделе «Актуальность темы» сказано о взаимосвязи коэффициента прохождения и коэффициента отражения электромагнитного излучения с параметрами исследуемого материала: диэлектрической и магнитной проницаемостью.

#### **Политико А.А.:**

Я уже отметил, что за счет предложенного алгоритма коррекции удается повысить точность измерения электрофизических параметров материалов примерно на 30%. И в диссертации это значение также указано. По поводу взаимосвязи коэффициентов отражения и прохождения с материальными параметрами. Я уже отмечал, что основными электрофизическими параметрами, характеризующими взаимодействие электромагнитной волны с веществом, являются диэлектрическая и магнитная проницаемости. Это параметры, присущие именно самому материалу, которые не зависят от размера или формы образца, а коэффициенты отражения и прохождения как раз характерны для конкретного образца и, в частности, зависят от толщины образца.

#### **Ученый секретарь:**

Шестой отзыв. Научно-производственное предприятие «Исток» имени А.И. Шокина. Подписал начальник НПК, к.т.н. А.Г. Налогин. Отзыв положительный с замечанием. К несущественным недостаткам можно отнести ограниченное число исследованных поглощающих материалов предложенными методами в данной работе. В частности, отсутствуют данные по поглощающим композитам на основе ферритовых материалов и отсутствие рекомендаций по продвижению рассмотренных методов на частотах свыше 40 ГГц. Такие данные могли бы значительно расширить перечень областей применения радиопоглощающих материалов.

#### **Политико А.А.:**

С замечанием согласен, поскольку объем диссертационной работы достаточно большой, то я сделал основной акцент на применении карбонильного железа для разработки радиопоглощающих покрытий. Однако предложенные подходы, вообще говоря, могут использоваться и для исследования ферритовых материалов. Что касается расширения частотного диапазона, то, естественно, такие планы у нас есть. Причем как в сторону более низких частот до 200 МГц, так и в сторону более высоких частот до

110 ГГц. И по обоим направлениям уже достигнуты определенные успехи на данный момент.

**Ученый секретарь:**

Седьмой отзыв из восьми. Из АО «Композит», подписал старший научный сотрудник, к.т.н. В.С. Аншин. Отзыв положительный с двумя замечаниями. Первое – к сожалению, в рамках работы не было проведено экспериментальное подтверждение предположения, что электромагнитное поле в диафрагме является плоской волной.

Второе – к сожалению, в рамках работы не было рассмотрено влияние ориентации слоев армирующего наполнителя на получаемые значения радиопрозрачности. Также остается открытым вопрос о возможности использования исследованной методики измерения для определения материальных параметров высокоанизотропных материалов типа одноосноориентированных композитов.

**Политико А.А.:**

По первому замечанию – я на него уже ответил и, собственно, на данном слайде представлены результаты измерений распределения поля.

Что касается измерений электрофизических параметров анизотропных материалов, то разработанная методика позволяет проводить такие исследования. Для этого нужно проводить измерения образца при различных ориентациях относительно плоскости измерительной диафрагмы.

И что касается влияния ориентации слоев армирующего наполнителя, то это не являлось предметом исследований в данной работе.

**Ученый секретарь:**

И заключительный восьмой отзыв из Российского Федерального Ядерного Центра – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина. Подписал начальник отдела О.В. Юрченко. Отзыв положительный с одним замечанием. К недостаткам автореферата можно отнести отсутствие сведений по температурным зависимостям коэффициента отражения образцов РПП на краях заявляемого диапазона температур минус 80 ÷ плюс 200 °С.

**Политико А.А.:**

С замечанием согласен. В работе, действительно, представлены результаты исследований образцов радиопоглощающих покрытий в несколько ограниченном температурном диапазоне от минус 70 до плюс 180 °С. Однако сама методика измерений на этапе ее разработки и верификации была опробована в полном заявленном температурном диапазоне, то есть минус 80 ÷ плюс 200 °С.

**Ученый секретарь:**

Это все.

**Председатель:**

Хорошо. Пожалуйста, садитесь. Слово предоставляется официальному оппоненту доктору технических наук Кузнецову Павлу Алексеевичу. Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей».

**Кузнецов П.А.:**

Добрый день, уважаемые коллеги. Во-первых, хотелось бы поблагодарить за то, что пригласили и ознакомиться с диссертацией и, соответственно, выступить. Я прочитал, сразу скажу, мне работа понравилась. В общем-то, достаточно хорошо, емко, структурированно написано. Что хотелось бы сказать по работе. Действительно, если мы

хотим создать какой-то композиционный материал, получить в нем определенные значения магнитной и диэлектрической проницаемости, нам всегда нужно проводить какие-то измерения. Соответственно, рассматриваемая работа как раз и начинается с того, что в первую очередь нужно создать средство измерений. Есть разные средства измерений, был выбран и имеет право на свое существование рупорный метод. Соответственно, там проведена была уже математическая обработка для обеспечения достоверности измерений. Возможности измерений магнитных и диэлектрических параметров позволяют нам существенно упростить разработку композиционных материалов под какие-то конкретно заданные условия: как температурные, так и частотные диапазоны. Конечно, безусловно, работа в этом смысле актуальна и интересна. Что еще хотелось бы отметить. Достаточно большой выбран диапазон частот, он интересен как и для наземных средств, водных средств, так и для воздушных средств, что тоже достаточно интересно.

Не буду, наверное, говорить, что в каждой главе написано. В общем-то, в докладе Алексей Алексеевич все достаточно хорошо изложил. К новизне работы. Я бы их немножко уменьшил, но то, что разработан математический алгоритм коррекции результатов измерений S-параметров, позволяющий повысить точность – это первое. Разработан новый оригинальный метод измерения температурных зависимостей коэффициента отражения образцов радиопоглощающих покрытий в достаточно широком диапазоне температур от минус 80 до плюс 200 градусов. Обнаружены и исследованы высокочастотные резонансные моды в частотных зависимостях магнитной проницаемости гетерогенных структур на основе карбонильного железа, которые, предположительно, являются обменными модами Аарони.

По практической значимости. Безусловно, это сам метод измерения температурных зависимостей, результаты экспериментальных исследований электрофизических свойств радиопрозрачных теплозащитных материалов. Применение радиопоглощающего материала на основе пенополиуретана и технической сажи в конструкции разработанного экранирующего кожуха для диагностики антенно-фидерных устройств позволило снизить влияние металлического колпака, причем в диапазоне частот, хотелось бы тоже уточнить, от 130 до 160 МГц и от 300 до 330 МГц. В целом автор успешно решил поставленные задачи, достиг целей. Опять же, еще раз повторюсь, это разработка новых методов измерений электрофизических параметров материалов и разработка новых материалов с требуемыми СВЧ свойствами.

Достоверность работы тоже не вызывает сомнения, так как использована достаточно широко отечественная и зарубежная литература, сопоставление данных проведено. Соответственно, полученные в работе результаты имеют важное значение для исследований электрофизических и электромагнитных явлений и процессов в различных средах для нужд как электронной, так и приборостроительной, электротехнической промышленности и связи. Диссертация является завершенным научным исследованием, написана технически грамотно – вот это мне тоже очень понравилось, каких-то описок, неточностей замечено не было.

Ну и есть ряд замечаний. Первое. В таблицах 2.1 и 2.2 диссертации приведены значения погрешностей измерения магнитной и диэлектрической проницаемости, а также модулей коэффициентов отражения и коэффициентов прохождения листовых образцов материалов на разработанном измерительном стенде. Однако остается непонятным, каким образом были подтверждены эти метрологические характеристики, а также за счет чего была обеспечена такая погрешность – за счет конструкции стенда или за счет программно-математической обработки? Я не знаю, как мне – в режиме диалога или надо все зачитать?

**Председатель:**

У Вас много замечаний? Если много, то тогда по одному попросим.

**Кузнецов П.А.:**

У меня их пять.

**Председатель:**

Пять? Тогда как, уважаемые коллеги, на каждое или все сразу? Давайте все зачитывайте.

**Кузнецов П.А.:**

Давайте. В диссертации не обосновывается необходимость проведения измерений радиотехнических параметров в диапазоне от минус 80 до плюс 200 градусов. При этом ограничение снизу, в общем-то, интуитивно понятно, так как для летательных аппаратов это практически нижний предел по температуре за бортом, а вот верхнее ограничение не очень понятно. Исходя из конструкции и используемых материалов вполне можно было бы и повысить температуру, скажем, до 300—400 градусов или выше, опять же, насколько это все необходимо.

Третье замечание. В диссертации приведены очень интересные результаты по измерению коэффициентов отражения радиопоглощающих покрытий РАН-6 и РАН-53 при различных температурах, которые показывают, что по сравнению с данными, полученными при комнатной температуре, максимум коэффициента отражения при увеличении температуры сдвигается в более высокочастотную область, а при уменьшении температуры – в низкочастотную область. Это на презентации было показано. На странице 62 делается вполне закономерный вывод об изменении значений магнитной и диэлектрической проницаемостей материалов композитного покрытия. Однако нет ответа на самые главные вопросы: почему происходит изменение и какой параметр наиболее чувствителен к температуре – магнитная или диэлектрическая проницаемость? Частично уже обсуждение было. Мне кажется, что в том диапазоне, который выбран, точно у нас будет изменение индукции насыщения. Соответственно, если изменяется индукция насыщения, то будет изменение и магнитной проницаемости. Скорее всего, и доменная структура тоже должна меняться. Хоть какие-то рассуждения, потому что эффект есть, а что происходит – хотелось бы услышать.

Четвертое. В диссертации в явном виде не приводятся результаты исследований по созданию покрытия РАН-90, потому что в приложении А диссертации приведен патент на полезную модель, который называется «Экранирующий кожух для устройства проверки работоспособности радиостанции с штыревой антенной». В этой связи считаю более правильным в защищаемом положении 5 отметить именно разработку экранирующего кожуха с заданными параметрами КСВ, а не материала.

И последнее пятое. Выводы в автореферате, относящиеся к выносимым на защиту положениям 1 и 5, содержат недостаточно конкретики, вместо этого используются достаточно аккуратные расплывчатые выражения «...алгоритм коррекции...», «Разработан радиопоглощающий материал материал..., который устанавливается...». То есть в диссертации есть конкретные цифры, которые правильно было бы включить, потому что они только усилят и без того, в общем-то, хорошую работу. Несмотря на отмеченные замечания, это уже финал, диссертационная работа «Экспериментальные исследования электрофизических свойств гетерогенных поглощающих структур и покрытий в СВЧ диапазоне» полностью отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, в том числе пунктам 9 и 14, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года. Автор диссертационной работы Политико Алексей Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки.

**Председатель:**

Спасибо, Павел Алексеевич. Спасибо большое. Слово предоставляется диссертанту для ответа на вопросы.

**Политико А.А.:**

Спасибо за замечания. По поводу метрологических характеристик и методики измерений, и стенда. Методика измерений и сам стенд как испытательное оборудование были аттестованы. И этим как раз подтверждаются метрологические характеристики. Методика измерений аттестована Главным научным метрологическим центром Министерства обороны. Стенд аттестован ВНИИФТРИ.

По второму замечанию. Стоит сказать, что для самолетов военной и гражданской авиации предельные отрицательные температуры на поверхности составляют минус 65 градусов. То есть эта температура, получается, выше нижнего предела, указанного в диссертационной работе для метода измерений. Что касается верхнего порога температуры, то для сверхзвуковых режимов полета и для кратковременных режимов верхний предел по температуре составляет плюс 180 градусов. Что касается расширения диапазона температур до 300—400 градусов, здесь также еще следует отметить, что на поверхности современных самолетов применяются полимерные радиопоглощающие материалы. И температура плюс 300 градусов – это, вообще говоря, предельная температура для самого ненаполненного полимера. А с ферромагнитным наполнителем эта температура меньше и составляет около 200 градусов. Таким образом, этими обстоятельствами и обоснован выбор данного температурного диапазона от минус 80 до плюс 200 °С.

По третьему замечанию. Я уже отвечал на данное замечание, это будет представлять предмет для дальнейших научных исследований – изучение температурных зависимостей диэлектрической и магнитной проницаемостей.

По четвертому замечанию. Я хочу подчеркнуть, что сам экранирующий кожух (колпак) был разработан в научно-исследовательском институте «Вега». Мой же вклад заключался именно в разработке радиопоглощающего материала РАН-90. Этот материал изначально, действительно, был разработан для решения конкретной задачи, как, впрочем, и очень многие радиопоглощающие материалы и покрытия. Однако для данного материала в перспективе могут найтись и другие применения. В частности, мы не так давно проводили экспериментальные оценки по снижению уровней побочного электромагнитного излучения и наводок для персонального компьютера. И там достаточно эффективно применялся РПМ РАН-90. Поэтому я считаю, что формулировка положения, выносимого на защиту в диссертации, является верной.

По пятому замечанию. Я с ним согласен. В автореферате из-за ограниченного объема выводы изложены несколько кратко, а в диссертации они приведены более подробно.

**Председатель:**

Павел Алексеевич, Вы удовлетворены ответами?

**Кузнецов П.А.:**

Да, спасибо.

**Председатель:**

Спасибо. Слово предоставляется кандидату физико-математических наук Бибикову Сергею Борисовичу. Официальный оппонент.

**Бибиков С.Б.:**

Добрый день, уважаемые коллеги. Сразу приступлю к отзыву и детально не буду

анализировать содержание работы. Во-первых, об актуальности уже было сказано много, но еще хочется подчеркнуть, что на самом деле работа в этих частотных диапазонах, в частности, разработка материалов, во-вторых, разработка методик исследования этих материалов является достаточно актуальной, в том числе и с учетом перспектив разработки радиоэлектронной техники, скажем так, нового поколения. В частности, это сверхширокополосная техника с широко «размазанным» спектром. Во-вторых, это внедрение новых средств связи 5G. Как раз рассматриваемые диапазоны частот в перспективе представляются весьма актуальными. Материалы для них, в частности, весьма актуальны, работающие до 30—40 ГГц, и в дальнейшем на более высоких частотах. Что касается формальной стороны дела, то ознакомление с самой работой, с диссертацией позволяет заключить, что тема соответствует паспорту специальности 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки (с учетом отрасли науки).

Соответственно, в работе четко сформулированы цели, которые здесь в докладе были озвучены. Цели можно разбить на две категории: это разработка методов измерений и исследование электрофизических свойств гетерогенных поглощающих материалов. В связи с этим был сформулирован ряд задач, все задачи успешно были решены. В частности, это разработка и исследование способа повышения точности измерения диэлектрической и магнитной проницаемости материалов в свободном пространстве; разработка методов измерения радиофизических свойств материалов в температурном диапазоне; также разработка и исследование композиционных материалов с радиопоглощающими свойствами в широкой полосе частот и разработка материалов для обеспечения электромагнитной совместимости. Все задачи, как видно из доклада и как это отражено, собственно, в диссертационной работе, были решены. Следует отметить, что содержание автореферата полностью отражается в содержании диссертации. Соответственно, присутствует и сформулированы и там и там научная новизна, практическая значимость работы.

Я опускаю анализ глав, в докладе это достаточно подробно было разобрано и дополнительные вопросы позволили раскрыть содержание. Хотелось бы отметить следующее: из четырех глав, которые соответствуют решению четырех сформулированных задач в работе, следует... Может быть, они немножко по объему не равнозначны, и я бы хотел отметить главу, где рассматривается метод измерения, в частности, математическая корректировка влияния диафрагмы. В отзыве ведущей организации было отмечено, что некоторая избыточная детализация присутствует. Я как раз хотел бы отметить обратное, что, на мой взгляд, это является положительным моментом в данной работе. Потому что с учетом полноты изложения этой главы диссертация становится не просто предметом формального, так сказать, акта защиты диссертантом данной работы, а является результатом научного труда, который непосредственно может быть использован, скажем так, в данной отрасли. И с этой точки зрения – это реальный практический результат, который исследователи могут использовать и применять уже в своей практике. Поэтому ни в коем случае не стоит это расценивать как недостаток, а наоборот, это стоит расценивать как позитивное качество представленной диссертации.

Следующие главы, как уже было сказано, посвящены разработке и исследованию материалов, а также конструкций материалов для обеспечения электромагнитной совместимости. В результате были получены соответствующие материалы и эксперименты подтвердили правильность ведения разработок. Достоверность полученных результатов подтверждается хорошим соответствием теоретических и экспериментальных данных, а также успешным внедрением автором разработок при создании широкополосных стендов для измерений в свободном пространстве и внедрением нескольких типов РПМ в конструкции систем для улучшения электромагнитной совместимости антенных систем.

Хотелось бы отметить, что работа написана хорошим и техническим языком, и, что

приятно, грамотным русским языком. Но есть некоторые замечания. В частности, следующие, всего четыре замечания. Первое. Это не так прозвучало в докладе, но в работе было отмечено и изложено, что автором кроме измерений в свободном пространстве были проведены измерения в коаксиальной линии параметров материалов – комплексной диэлектрической и магнитной проницаемости. Поэтому логично было бы в главе 1, которая посвящена, собственно, анализу различных методов измерений, привести или добавить формулы не только для... Надо сперва сказать, что в формуле, которую привел автор, приведены примеры расчетов и используются формулы для прямоугольного волновода. Но так как были проведены автором же измерения и в коаксиальной линии, то логично было бы приводить и соответствующие выражения для коаксиальной линии. Понятно, что можно формально критическую длину волны устремить в бесконечность и получится правильный результат, но желательно, чтобы автор сделал это явным образом сам. Все зачитываю, да?

Во второй главе рисунок 2.1, где приведена... Вот этот рисунок соответствует и справедлив не только для свободного пространства, но и вообще для любой направляющей структуры. Это рисунок, который иллюстрирует способ расчета фактически составного четырехполосника. И более того, если для коаксиального тракта, для которого результаты измерений там были приведены в работе, на основной моде и в свободном пространстве величины  $Z$  и  $\gamma$ , то есть характеристического сопротивления и постоянной распространения, просто одинаковые.

Третье. В той части, где производится изложение алгоритма корректировки и влияния диафрагмы, в формулу, которая влияет на некоторую поправку, названную  $A_2$ , входит только магнитная проницаемость, не входит диэлектрическая проницаемость. Вместе с тем остальные формулы, входящие в расчеты, достаточно симметричны, условно говоря, с точки зрения присутствия там  $\epsilon$  и  $\mu$ . И вот тут возникает вопрос, можно ли сказать, что какой-то есть физический смысл в том, что присутствует сильное влияние магнитной проницаемости и нет такого же влияния диэлектрической проницаемости? Есть ли в этом какой-то физический смысл, с чем это связано?

Четвертый вопрос. При описании результатов исследований термоустойчивых радиопрозрачных покрытий на страницах 113—117 не указаны их толщины. В то же время понятно, что влияние толщины – один из ключевых факторов, который влияет на интегральные радиотехнические характеристики. Также среди четырех материалов, которые рассматриваются в этой главе, материал с маркой ТПТ (как раз тот самый, который наиболее сильно изменяет свои характеристики и становится нерадиопрозрачным после температурного воздействия) – для него нет данных об изменении его диэлектрической проницаемости, что было бы интересно. В то же время, по мнению автора, именно в этом материале происходят критические изменения электропроводности. Тут еще следует отметить, что автор утверждает – это следствие выделения сажи. По-хорошему тут нужно было бы добавить, что это Ваша гипотеза, что это может быть связано с этим. Потому что Вы не проводили химический анализ, который показал бы, что там присутствует сажа в явном виде. Поэтому это предположение. Четыре вот таких вот замечания в официальном отзыве.

Ну и еще одно у меня возникло после доклада. Не замечание, а вопрос коротенький. Вот Вы, сопоставляя и сравнивая радиопоглощающие материалы с различными типами наполнителей, упомянули о том, что, допустим, ферриты используются на низких частотах. И говорили, что это композиционные материалы с ферритами на низких частотах. Но тут следовало бы отметить, что на самом деле то карбонильное железо, то есть тот наполнитель в виде карбонильного железа, которое Вы используете – существенное его отличие от ферритов в том, что он автоматически еще обладает высокой электропроводностью. В связи с этим у него диэлектрическая проницаемость комплексная на всех частотах достаточно... Электропроводность и мнимая часть диэлектрической проницаемости достаточно высока. В то время как у

чистого феррита, по сути, это керамика, проводимости не будет и свойства высокочастотные будут уже другими. Ну и можно было бы подчеркнуть, что одно из преимуществ такого рода магнитомягких материалов типа карбонильного железа и подобных им, например, аморфные магнитомягкие сплавы – они как раз и хороши тем, что уже обладают изначально удачным сочетанием и электропроводности, и магнитных свойств. В отличие от ферритов, ферритовая керамика будет работать только на совсем низких частотах и только в виде керамики. Как только ее в композиционный материал внесете, магнитные свойства уже существенно уменьшатся, а проводимости не будет вообще.

Вот такие замечания, но следует отметить, что список вопросов и замечаний – я бы сказал, что это проявление и следствие интереса к работе. Работа выполнена в достаточно большом объеме на хорошем научном уровне. Представленные в диссертации материалы имеют высокий уровень верификации и апробации. Автором по теме уже опубликовано, исходя из данных, которые представлены в диссертации, 30 научных работ, из них 9 – в изданиях, рекомендованных ВАК для защиты диссертаций, получен патент на полезную модель. Резюмируя все вышеизложенное, можно заключить, что представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой и соответствует всем критериям, установленным пунктом 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842, а автор диссертации Политико Алексей Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.13.

#### **Председатель:**

Спасибо большое, Сергей Борисович. Алексей Алексеевич, кратенько ответьте на замечания.

#### **Политико А.А.:**

С первым замечанием я согласен. Действительно, в работе лучше было привести формулы для коаксиальной линии.

По второму замечанию. С замечанием также согласен. Глава 2 посвящена стенду для измерения параметров материалов в свободном пространстве и, соответственно, на указанном Вами рисунке приведена длинная линия, эквивалентная методу свободного пространства.

Касательно третьего замечания. В поправке  $A_2$  при проведении коррекции, там, действительно, используется только магнитная проницаемость без диэлектрической. И в этом есть определенный физический смысл, поскольку поправка  $A_2$  вводится при коррекции результатов измерений коэффициента отражения на металлической подложке. А коэффициент отражения для оптически тонких образцов, как известно, в большей степени зависит от магнитной проницаемости, нежели от диэлектрической.

Четвертое замечание. Толщины исследованных образцов радиопрозрачных теплозащитных материалов составляли от 4 до 16 мм. А что касается измерения диэлектрической проницаемости материала ТПТ, то этот материал после высокотемпературных воздействий сильно покорило, и его структура стала неоднородной с электродинамической точки зрения. Поэтому корректное измерение диэлектрической проницаемости данного материала не представлялось возможным.

И по пятому вопросу. Я бы хотел отметить, что исследованное в работе карбонильное железо Р-100Ф-2 является фосфатированным, то есть гранулы данного железа электрически изолированы тонкой пленкой фосфата железа, которая образуется при обработке первичного железного порошка ортофосфорной кислотой. И значения диэлектрической проницаемости для композиционного материала не такие большие, около 10—12.

**Председатель:**

Вы ответили на вопросы, спасибо большое, присаживайтесь. Так, переходим к дискуссии по диссертации. Кто-нибудь из присутствующих хочет выступить? Члены ученого совета присутствующие, есть желание что-нибудь сказать? Пожалуйста.

**Василяк Л.М.:**

Мне работа очень понравилась, очень хорошо сделаны экспериментальные исследования, очень качественно, получены хорошие результаты. Мы их слышали, я не буду их повторять. Я предлагаю проголосовать «за», считаю, что достойная работа диссертационная.

**Председатель:**

Спасибо. Еще кто-нибудь хочет? Пожалуйста.

**Сон Е.Э.:**

Я работу первый раз слышал, поэтому со слуха она мне понравилась. Я пытался ее прочитать, просто времени не хватило. Хотелось бы один совет дать. Кто-нибудь знает из физики? Я подумал, тут задача такая возникала: у вас есть сферическая волна, которая падает на плоскую поверхность и можно ли из сферической волны получить ответ, как для плоской поверхности? Мне кажется, такую задачу можно решить, то есть построить алгоритм, который...

**Виноградов А.П.:**

Почитайте Бреховских.

**Сон Е.Э.:**

Ну не только. Потому что можно было мерить еще и под разными углами. Направлять так, что была нормаль к поверхности. И если вы знаете доменную структуру, то тогда это можно, как говорится, сделать. Я прав или не прав?

**Председатель:**

Нет, все дело в том, если волна попадет сферическая, то измерения, которые мы будем получать... Условно говоря, давайте представим, что у нас система анизотропная, под разными углами, тензор диэлектрической проницаемости – самый простой пример. И в том случае, когда падает плоская волна и когда падает сферическая волна, то качественно разные результаты, потому что на плоской волне ты никогда не сможешь получить соответствующий результат для анизотропной структуры, а на сферической при правильной соответствующей чудовищной обработке – это все можно сделать. Понятно, что я сказал?

**Сон Е.Э.:**

Мне понятно, но с другой стороны...

**Председатель:**

А для однородного материала в принципе ответ можно получить.

**Сон Е.Э.:**

Потому что для сферической волны вектор нормали смотрит в материал, а два вектора  $E$  и  $H$  смотрят перпендикулярно. Поэтому если вы знаете доменную структуру, то это пересчитывается. Это, как говорится, на будущее. Вообще, работа мне понравилась тем, что, во-первых, экспериментальная работа. Видно, что должна быть очень хорошая организация, обладающая хорошими инструментальными возможностями, потому что

просто так нельзя было выполнить. То есть это, действительно, достижение института, в котором эта работа была выполнена. У меня было замечание по одной оценке, я его скажу все-таки. Вот Вы сказали, что максимальная температура на сверхзвуковых летательных аппаратах составляет 180 градусов.

**Политико А.А.:**

Самолета.

**Сон Е.Э.:**

Да, самолета. Какое число Маха?

**Политико А.А.:**

Больше двух.

**Председатель:**

Он не должен отвечать, мы сейчас выйдем за пределы, я бы сказал так, служебного пользования.

**Сон Е.Э.:**

Андрей Николаевич, я просто сделал элементарную оценку: при числе Маха двойка температура 240 градусов будет, а не 180.

**Председатель:**

В точке торможения.

**Сон Е.Э.:**

При числе Маха 2.

**Председатель:**

В точке торможения.

**Сон Е.Э.:**

Ну да. На любом элементе, который выступает и на котором есть торможение потока.

**Председатель:**

При скользящем падении нет. При полном торможении.

**Сон Е.Э.:**

Хорошо, это уже детали конструкции самолета. Поэтому я считаю, что работа очень хорошая, экспериментальная, объяснения хорошие даны были и что самое главное – было очень много вопросов и на все вопросы претендент отвечал грамотно, то есть зная существо вопроса. Ну и много замечаний было, мы удивились тут с Андреем Зиновьевичем, что большое количество замечаний от ведущей организации, от оппонентов, то есть все, кто изучал диссертацию, внимательно ее читали. А раз все читали, то мы должны присоединиться к тем мнения, которые были озвучены.

**Председатель:**

Спасибо. По-моему, ясная ситуация, не будем больше затягивать, если никто не хочет больше выступить. Тогда у нас впереди очень короткое заключительное слово соискателя. Вам предоставляется слово.

**Политико А.А.:**

В первую очередь я благодарю всех присутствующих. Спасибо, что пришли на защиту моей диссертации, и я надеюсь, что Вы не пожалели о времени, проведенном здесь. Персональную благодарность я выражаю своим официальным оппонентам: Кузнецову Павлу Алексеевичу и Бибикову Сергею Борисовичу. Спасибо, что согласились стать оппонентами моей диссертационной работы и спасибо за то, что приехали. Особую благодарность я выражаю своему научному руководителю Владимиру Николаевичу Семененко за огромную помощь в работе над диссертацией и вообще за наставничество на протяжении всего того времени, сколько я работаю в ИТПЭ РАН. И также я благодарю своих коллег, сотрудников ИТПЭ РАН, вместе с которыми я давно работаю, за поддержку и за помощь, во-первых, благодарю Чистяева Владимира Аркадьевича и Баскова Константина Михайловича. Спасибо.

**Председатель:**

Спасибо. Теперь у нас предстоит голосование (согласно п. 10 Приказа Министерства науки и высшего образования № 734 от 22 июня 2020 г. решение диссертационного совета по рассматриваемому на заседании вопросу принимается открытым голосованием членов диссертационного совета). Для того, чтобы это сделать нам нужно, как я понимаю, попросить проголосовать тех, кто онлайн. Как я понимаю, на экране это должно быть или как? Вижу. У нас два человека онлайн? И второго, пожалуйста, нашего уважаемого коллегу. Видим-видим, все замечательно. Итак, у нас и кворум, и все присутствуют.

**Гиппиус Н.А.:**

Мне работа понравилась, скажу сразу.

**Рожков А.В.:**

Аналогично.

**Председатель:**

Хорошо. Тогда давайте в явной форме голосовать. Кто за то, чтобы присвоить степень кандидата технических наук Политико Алексею Алексеевичу? Прошу поднять руки. Снимайте экран, пожалуйста, руки прошу не опускать. И теперь посчитайте, сколько человек, потому что это в протокол надо занести.

**Ученый секретарь:**

Шестнадцать.

**Председатель:**

16 – за. А сколько присутствующих? Тоже 16. Тем не менее я должен спросить на всякий случай, кто против? Воздержались? Итак, единогласно. Теперь, я так понимаю, у нас нет счетной комиссии. Тогда мы должны утвердить результаты собственного голосования. Я думаю, что мы утверждаем это. *(Результаты голосования утверждены единогласно).*

И давайте обсудим проект заключения. *(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения).*

Еще есть замечания? Тогда голосование по проекту заключения. Уважаемые коллеги, включитесь еще раз. Спасибо. Кто за то, чтобы утвердить проект заключения с теми замечаниями, которые мы сейчас озвучили? Прошу проголосовать. Единогласно опять. На всякий случай, кто против? Воздержался? Единогласно принято. *(Проект заключения принят единогласно).*

Теперь можем поздравить диссертанта с очень хорошей защитой!

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.138.02, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПРИ УЧАСТИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 12.05.2021 г. № 3

О присуждении Политико Алексею Алексеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Экспериментальные исследования электрофизических свойств гетерогенных поглощающих структур и покрытий в СВЧ диапазоне» по специальности 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки принята к защите 04.03.2021 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом Д 999.138.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук при участии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, Ижорская ул., д. 13, стр. 2, (495) 485-8345, jiht.ru), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 411/нк от 10.05.2017 г.

Соискатель Политико Алексей Алексеевич 1987 года рождения, в 2013 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана».

Работает в должности научного сотрудника лаборатории № 6 электрофизических исследований материалов и покрытий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук.

В 2020 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории № 6 электрофизических исследований материалов и покрытий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук.

Научный руководитель кандидат физико-математических наук, заместитель директора по научной работе по специальным программам Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук Семенов Владимир Николаевич.

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, начальник НИО «Нanomатериалы и нанотехнологии» Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» Кузнецов Павел Алексеевич;

- кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией электрофизики и радиофотоники композиционных материалов и наноструктур Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук Бибилов Сергей Борисович  
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» в своем положительном заключении, составленном профессором кафедры технологии материалов электроники д.ф.-м.н. Паниной Л.В. (утвержденном 16.04.2021 г. проректором по науке и инновациям Филоновым М.Р.), указала, что научная значимость работы определяется в первую очередь новизной полученных результатов практически по всем направлениям работы. Например, разработанный метод измерения температурных зависимостей коэффициента отражения радиопоглощающих покрытий позволяет проводить исследования СВЧ свойств покрытий в широком диапазоне частот и температур, что имеет важное значение при разработке радиопоглощающих покрытий. Интересны также экспериментальные результаты по диэлектрической и магнитной проницаемости композиционных материалов на основе различных типов карбонильного железа, полученные в широком частотном диапазоне от 0,2 до 40 ГГц.

Результаты работы могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах, а также в организациях радиоэлектронной, приборостроительной, авиационной, ракетно-космической промышленности, в частности, в Институте теоретической и прикладной электродинамики РАН, Объединенном институте высоких температур РАН, АО «Центральное конструкторское бюро автоматики», ФГУП «Крыловский государственный научный центр», АО «Всероссийский научно-исследовательский институт «Градиент», АО «Государственный Рязанский приборный завод», АО «Научно-исследовательский институт «Вектор», АО «Научно-производственное предприятие «Исток», ОКБ Сухого, ПАО «Туполев», ПАО «Ил», ОКБ им. А. Люльки, АО «Ижевский радиозавод», АО «Композит», АО «Воронежский научно-исследовательский институт «Вега», АО «Корпорация «МИТ» и др.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ по теме диссертации в реферируемых журналах, рекомендованных ВАК, 20 тезисов в сборниках трудов конференций, получен 1 патент:

1. В.И. Иванова, С.Г. Кибец, И.И. Краснолобов, А.Н. Лагарьков, А.А. Политико, В.Н. Семенов, В.А. Чистяев. Разработка широкополосного радиопоглощающего покрытия с высокими эксплуатационными свойствами // Журнал радиоэлектроники. 2016. № 7.

2. Б.А. Балакирев, А.Д. Камалов, Е.П. Пахомов, А.Ю. Перов, В.П. Петровский, А.А. Политико, В.Н. Семенов, Л.П. Сотскова, В.А. Чистяев // Труды МИТ. 2016. Т. 16, Ч. 2. Инв. ном. 52. с. 52—65.

3. Басков К.М., Политико А.А., Семенов В.Н., Чистяев В.А. Коррекция S-параметров при измерении материальных параметров магнитодиэлектрических композитов в свободном пространстве с применением диафрагмы // Журнал радиоэлектроники. 2017. № 5.

4. Petrovskiy V.P., Pakhomov E.P., Politiko A.A., Semenenko V.N., Chistyayev V.A., Balakirev B.A., Pervov A.Yu., Kamalov A.D., Sotskova L.P. Radio-physical properties of radiotransparent thermal protection materials in ablation mode // J. Phys.: Conf. Ser. 2018. V. 946 (012032).

5. Semenenko, V.N., Chistyayev, V.A., Politiko, A.A. and Baskov, K.M. Test Stand for Measuring the Free-Space Electromagnetic Parameters of Materials over an Ultrawide Range of Microwave Frequencies // Measurement Techniques. 2019. V. 62. № 2. pp. 161—166.

6. В.Н. Семенов, К.М. Басков, Д.И. Акимов, А.А. Политико, В.А. Чистяев, А.Ю. Зарубина. Широкополосные волноводные согласованные нагрузки на основе ферроэпоксида // Журнал радиоэлектроники. 2019. № 7.

7. К.М. Басков, А.А. Политико, В.Н. Семенов, В.А. Чистяев, Д.И. Акимов, И.И. Краснолобов. Радиоволновой контроль параметров образцов многослойных стенок радиопрозрачных укрытий // Журнал радиоэлектроники. 2019. № 11.

8. A.A. Politiko, V.N. Semenenko, V.A. Chistyayev, K.M. Baskov. Bench for Measuring Electromagnetic Properties of Materials in Free Space in Ultrawide Microwave Range // IEEE Publ. 2019 RSEMW. pp. 328—331.

9. Bocharov A.N., Pakhomov E.P., Petrovskiy V.P., Politiko A.A., Semenenko V.N., Chistyayev V.A. Optimization of the radiotransparent constructions in a mode of extreme heat loads // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. V. 1556 (012016).

10. Патент на полезную модель № 200478, 09.12.2019. Экранирующий кожух для устройства проверки работоспособности радиостанции с штыревой антенной / Опубликовано: 27.10.2020. Авторы: Колосов С.В., Трубицын О.Б., Басков К.М., Политико А.А., Семенов В.Н., Чистяев В.А.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Акционерное общество «Государственный Рязанский приборный завод»** (заместитель директора НТЦ, к.т.н. Фролов И.И.) – отзыв положительный, без замечаний.

2. **Акционерное общество «Центральное конструкторское бюро автоматики»** (начальник сектора Боровик И.А., начальник отдела к.т.н. Коротков П.А.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- В материалах автореферата нет сведений о том, учитывает ли алгоритм коррекции S-параметров влияние стенок теплоизолирующей ячейки.

- Также нет сведений о том, применим ли разработанный алгоритм для случаев не нормального падения электромагнитной волны.

3. **Акционерное общество «Научно-исследовательский институт «Вектор»** (главный специалист 2 категории Павлов Н.А., главный специалист 1 категории к.ф.-м.н. Яшин Г.Ю.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- Исходя из анализа автореферата, в качестве недостатка можно отметить отсутствие развернутых рекомендаций по применению полученных результатов.

- Еще одним недостатком можно считать отсутствие в списке публикаций индивидуальных работ автора, впрочем, в экспериментальных работах, которые проводятся всегда в большом коллективе, это вполне понятно.

4. **Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»** (начальник 4 управления НИИИ РЭБ д.т.н. Кирьянов О.Е., начальник 41 отдела НИИИ РЭБ к.т.н. Гаврилов А.А., заместитель начальника 41 отдела НИИИ РЭБ Емельянов Е.С.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- Разработанный алгоритм коррекции S-параметров, который применяется в случае использования диафрагмы, размеры которой составляют менее одной длины волны падающего излучения, не учитывает влияния самой диафрагмы на распределение поля на поверхности исследуемого образца. Потенциально такой учет позволит ввести дополнительные корректирующие множители и повысить точность результатов измерений.

- Схема стенда для проведения измерений предполагает размещение исследуемого образца на диафрагме, расположенной в ближней зоне рупорных антенн, что минимизирует вклад от процессов дифракции на краях образца и кромках антенн. В тоже время оценки вклада краевых эффектов, обусловленных самой диафрагмой в работе не приведены.

- Учитывая особенность установки, заключающуюся в том, что измерения проводятся в ближней зоне антенн, возможны эффекты, связанные с ограничением волнового фронта и возникновением нескольких зон Френеля. Исследования по данному вопросу в работе не приведены.

5. **Акционерное общество «Воронежский научно-исследовательский институт «Вега»** (главный специалист, д.т.н., профессор Поветко В.Н., главный специалист, к.ф.-м.н., доцент Кашкаров В.М.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- В задачах исследования указана разработка способа повышения точности при измерениях электрофизических параметров материалов в свободном пространстве, однако в тексте автореферата не указано, насколько удалось повысить эту точность, и насколько разработанный метод лучше существующих методов.

- Не вполне ясно в разделе «Актуальность темы» сказано о взаимосвязи коэффициента прохождения и коэффициента отражения электромагнитного излучения с параметрами исследуемого материала – диэлектрической и магнитной проницаемостью.

**6. Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Исток» имени А.И. Шокина»** (начальник НПК, к.т.н. Налогин А.Г.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- К несущественным недостаткам можно отнести ограниченное число исследованных поглощающих материалов предложенными методами в данной работе (в частности, отсутствуют данные по поглощающим композитам на основе ферритовых материалов) и отсутствие рекомендации по продвижению рассмотренных методов на частотах свыше 40 ГГц. Такие данные могли бы значительно расширить перечень областей применения радиопоглощающих материалов.

**7. Акционерное общество «Композит»** (старший научный сотрудник, к.т.н. Аншин В.С.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- К сожалению, в рамках работы не было проведено экспериментальное подтверждение предположения, что электромагнитное поле в диафрагме является плоской волной.

- К сожалению, в рамках работы не было рассмотрено влияние ориентации слоев армирующего наполнителя на получаемые значения радиопрозрачности. Также остается открытым вопрос о возможности использования исследованной методики измерения для определения материальных параметров высокоанизотропных материалов типа одноосноориентированных композитов.

**8. Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина»** (начальник отдела Юрченко О.В.) – отзыв положительный, с замечанием:

- К недостаткам автореферата можно отнести отсутствие сведений по температурным зависимостям КО образцов РПП на краях заявляемого диапазона минус 80 °С ÷ плюс 200 °С.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что:

- д.т.н. Кузнецов П.А. является признанным ученым в области электрофизики композиционных материалов, аморфных нанокристаллических магнитомягких сплавов, а также крупным специалистом по разработке и применению радиопоглощающих материалов и структур, предназначенных для обеспечения электромагнитной совместимости.

1. Skulkina N.A., Denisov N.D., Kuznetsov P.A., Chekis V.I., Mazeeva A.K. Polymer coating and magnetic characteristics of amorphous cobalt-based soft magnetic alloy // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, v. 520, p. 166529, 2020.

2. Кузнецов П.А., Старицын М.В., Самоделкин Е.А., Климов В.Н. Исследование радиотехнических параметров порошков аморфного магнитомягкого сплава AMAG-200 // *Физика металлов и металловедение*, т. 119(5), с. 459—464, 2018.

3. Mazeeva A.K., Staritsyn M.V., Bobyr V.V., Manninen S.A., Kuznetsov P.A., Klimov V.N. Magnetic properties of Fe–Ni permalloy produced by selective laser melting // *Journal of Alloys and Compounds*, v. 814, p. 152315, 2020.

- к.ф.-м.н. Бибиков С.Б. является ведущим ученым, специализирующимся на разработке широкополосных радиопоглощающих и других материалов радиотехнического назначения для СВЧ диапазона электромагнитного излучения, разработчик методик электрофизического и радиофизического эксперимента для определения свойств

материалов в СВЧ диапазоне, а также программного обеспечения для моделирования электрофизических и радиофизических свойств композитов сложного состава.

1. V.G. Andreev, S.B. Men'shova, V.G. Kostishyn, D.N. Chitanov, A.N. Klimov, A.Yu. Kirina, R.M. Vergazov, Bibikov S.B., M.V. Prokof'ev. The effect of the base composition and microstructure of nickel-zinc ferrites on the level of absorption of electromagnetic radiation // *Russian Microelectronics*, v. 45, pp. 593—599, 2016.

2. Rummyantsev B.M., Bibikov S.B., Bychkova A.V., Sorokina O.N., Kovarskii A.L., Leontiev V.G., Berendyaev V.I. Electric conductivity of polymer films filled with magnetic nanoparticles // *Russian Journal of Physical Chemistry A*, v. 90(12), pp. 2426—2433, 2016.

3. Andreev V.G., Men'shova S.B., Kirina A.Y., Bibikov S.B., Prokof'ev M.V., Prokhorov V.M. Study of the influence of doping admixtures on the microstructure and properties of radio-absorbing Mg-Zn ferrite materials // *Nanotechnologies in Russia*, v. 11, pp. 535—542, 2016.

- Федеральное государственное автономное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» является ведущим научным центром в области материаловедения, физики, физической химии, разработки технологий и приборов. На кафедре технологии материалов электроники, входящей в структуру Института новых материалов нанотехнологий НИТУ «МИСиС», ведутся интенсивные работы по электрофизике и физической химии материалов электроники и радиотехники в макро-, микро- и наноразмерном исполнении в виде гетерогенных структур, в том числе радиопоглощающих композитных материалов, моно- и поликристаллов, микро- и наноразмерных пленок, микропроводов, нанопорошков. Получены важнейшие научные результаты в области исследований электрофизических свойств моно- и поликристаллических ферритов всех типов, многокомпонентных аморфных магнетиков, псевдосплавов.

1. Костишин В.Г., Шакирзянов Р.И., Налогин А.Г., Щербаков С.В., Исаев И.М., Немирович М.А., Михайленко М.А., Коробейников М.В., Мезенцева М.П., Салогуб Д.В. Электрофизические и диэлектрические свойства поликристаллов железо-иттриевого феррита-граната, полученных по технологии радиационно-термического спекания // *Физика твердого тела*, т. 63(3), с. 356, 2021.

2. Pathania A., Bhardwaj S., Thakur S.S., Mattei J.L., Queffelec P., Panina L.V., Thakur P., Thakur A. Investigation of structural, optical, magnetic and electrical properties of tungsten doped Ni-Zn nano-ferrites // *Physica B: Condensed Matter*, v. 531, pp. 45—50, 2018.

3. Кожитов Л.В., Муратов Д.Г., Костишин В.Г., Суслиев В.И., Коровин Е.Ю., Попкова А.В. Синтез, магнитные и электромагнитные свойства нанокompозитов FeCo/C // *Журнал неорганической химии*, т. 62(11), с. 1507—1514, 2017.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- разработан новый математический алгоритм коррекции результатов измерений S-параметров, который позволяет значительно уменьшить погрешности измерений электрофизических параметров (диэлектрической и магнитной проницаемостей) малоразмерных по сравнению с длиной электромагнитной волны образцов материалов в диапазоне частот 3—6 ГГц;

- разработан новый метод измерения температурных зависимостей коэффициента отражения образцов радиопоглощающих покрытий в диапазоне частот от 2 до 24 ГГц и в интервале температур от минус 80 до +200 °С;

- в частотных зависимостях магнитной проницаемости гетерогенных композиционных материалов, на основе мелкодисперсного карбонильного железа типа Р-100Ф-2, имеющего гранулы сфероидальной формы, экспериментально обнаружены и исследованы резонансные моды в окрестности частот 24...25 ГГц, которые, предположительно, являются обменными модами Аарони;

- в результате экспериментальных исследований радиопрозрачных теплозащитных материалов, подверженных воздействию экстремально высоких температур, определено, что композиционный материал ВРК-КМ при температурах до 2200 °С обладает наиболее стабильными электрофизическими свойствами в диапазоне от 2 до 40 ГГц для применения в ракетно-космической технике;

- разработан радиопоглощающий материал РАН-90 на основе пенополиуретана и технической сажи, который устанавливается в металлических радиозэранирующих колпаках, используемых для диагностики антенно-фидерных устройств в метровом диапазоне длин волн;

- разработан композиционный радиопоглощающий материал РАН-89 на основе ферроэпоксида, предназначенный для изготовления поглощающих вставок в волноводных согласованных нагрузках сантиметрового диапазона длин волн.

**Теоретическая значимость исследования** состоит в том, что:

- разработан математический алгоритм, с помощью которого показана возможность корректирования результатов измерений диэлектрической и магнитной проницаемостей образцов материалов, размеры которых составляют менее одной длины волны падающего электромагнитного излучения, при проведении измерений методом свободного пространства;

- произведена теоретическая оценка показывающая, что на частотах свыше 20 ГГц моды магнитной проницаемости композиционных материалов на основе мелкодисперсного карбонильного железа, имеющего гранулы размерами 2...3 мкм сферической формы, которые проявляются в виде нескольких высокочастотных резонансов, являются обменными модами Аарони.

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

- применение разработанного метода измерения температурных зависимостей КО образцов РПП при воздействии повышенных и пониженных температур позволяет обеспечить проведение испытаний покрытий на стойкость к внешним воздействующим факторам, выполняемых на этапе предварительных испытаний покрытий;

- результаты экспериментальных исследований электрофизических свойств радиопрозрачных теплозащитных материалов, подвергаемых воздействию экстремальных тепловых нагрузок до температур +2200 °С, позволили разработать и оптимизировать конструкцию радиопрозрачного обтекателя для применения в составе высокоскоростного летательного аппарата;

- применение разработанного радиопоглощающего материала на основе пенополиуретана и технической сажи в конструкции металлических экранирующих колпаков, применяемых для диагностики антенно-фидерных устройств, позволило существенно снизить влияние металлического колпака на радиотехнические характеристики антенны (по результатам получен патент на полезную модель);

- применение разработанного радиопоглощающего материала на основе ферроэпоксида для изготовления поглощающих вставок в волноводных согласованных нагрузках позволяет обеспечить более высокие радиотехнические характеристики согласованных нагрузок по сравнению с зарубежными аналогами тех же габаритов.

Результаты работы могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах, а также в организациях радиоэлектронной, приборостроительной, авиационной, ракетно-космической промышленности, в частности, в Институте теоретической и прикладной электродинамики РАН, АО «Центральное конструкторское бюро автоматики», АО «Всероссийский научно-исследовательский институт «Градиент», АО «Государственный Рязанский приборный завод», АО «Научно-исследовательский институт «Вектор», АО «Научно-производственное предприятие «Исток», ОКБ Сухого, ПАО «Туполев», ПАО «Ил», ОКБ им. А. Льюльки, ПАО «Туполев», АО «Ижевский радиозавод», АО «Композит», АО «Воронежский научно-исследовательский институт

«Вега», АО «Корпорация «МИТ», АО «Московское машиностроительное предприятие им. В.В. Чернышева», АО «Государственное машиностроительное конструкторское бюро «Радуга» им. А.Я. Березняка» и др.

Результаты диссертационной работы использованы в деятельности Объединенного института высоких температур РАН при выполнении СЧ ОКР «Рубеж-ОИВТ РАН», что подтверждено Актом об использовании способа экспериментального исследования радиофизических характеристик радиопрозрачных теплозащитных материалов. Автоматизированный стенд, предназначенный для измерения электрофизических параметров материалов и покрытий, в создании которого автор принимал непосредственное участие, введен в эксплуатацию в ФГУП «Крыловский государственный научный центр», что подтверждено Актом о внедрении результатов работы.

**Оценка достоверности результатов** подтверждается результатами сопоставления теоретических и экспериментальных данных, проведением испытаний эталонных образцов, успешным внедрением разработок диссертанта при создании стендов для сверхширокополосных измерений электрофизических параметров материалов и покрытий в свободном пространстве, а также внедрением различных радиопоглощающих материалов с целью улучшения электромагнитной совместимости антенных систем.

**Личный вклад соискателя** заключается в выполнении основного объема экспериментальных и теоретических исследований, включая разработку методов экспериментальных исследований, математических алгоритмов. Обработка экспериментальных результатов, а также их анализ выполнены лично автором. Полученные результаты были опубликованы вместе с соавторами, при этом вклад автора был определяющим. Разработка радиопоглощающих материалов выполнена совместно с технологической лабораторией ИТПЭ РАН (заведующий лабораторией № 2 к.т.н. С.Г. Кибец).

Апробация результатов исследования проводилась на 18 российских и международных конференциях. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены при определяющем участии автора.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям пункта 9, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г.

На заседании от 12.05.2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Политико Алексею Алексеевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки.

При проведении открытого голосования Диссертационный совет в количестве 16 человек, из них очно: 14 докторов наук по специальности 01.04.13 – «электрофизика, электрофизические установки», дистанционно: 2 доктора наук по специальности 01.04.13 – «электрофизика, электрофизические установки», участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 16, против 0.

Председатель диссертационного совета Д 999.138.02  
академик РАН, д.ф.-м.н.



Лагарьков А.Н.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 999.138.02  
д.ф.-м.н.

Дорофеенко А.В.

12.05.2021 г.