

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Бадьина Александра Владимировича «Электродинамическая анизотропия свойств многокомпонентных неоднородных диэлектриков», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика

Хорошо известно, что в настоящее время наблюдается активное развитие систем связи и радиолокации, работающих в миллиметровом диапазоне длин волн. В связи с этим необходимо не только создавать новую элементную базу для миллиметрового диапазона, но и очень важно исследовать электромагнитные свойства различных материалов естественного и искусственного происхождения, которые могли бы использоваться в качестве «активных» сред, используемых этом диапазоне. Обширный класс материалов представляют неоднородные среды, обладающие анизотропией структуры, которая, как следствие, проявляется на анизотропии электрофизических параметров. **Актуальность работы** обусловлена, в целом, потребностями определения анизотропных свойств различных материалов: в геологии кернов горных пород, в материаловедении новых композитных материалов, использующих упорядоченные включения наноразмерных частиц, и в некоторых других областях науки и техники. Поэтому **работа Бадьина А.В., посвященная исследованию взаимодействия неоднородных многокомпонентных материалов с электромагнитными полями СВЧ и КВЧ диапазонов является актуальной.**

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения. Полный объем диссертации – 110 страниц, включая 88 рисунков и 4 таблицы. Список литературы содержит 91 наименование.

Во введении автор обосновывает актуальность темы диссертации, формулирует цели и задачи исследования и приводит защищаемые положения.

Первая глава посвящена постановке задачи и краткому обзору литературы, отражающему современное состояние проблем, касающихся темы исследования.

Во второй главе приводится описание математической модели взаимодействия электромагнитных волн с композитным материалом, в котором диэлектрические включения эллипсоидальной формы расположены случайным образом в диэлектрической матрице, и их влиянию на анизотропию диэлектрической проницаемости материала. Приводятся выражения для угловой зависимости коэффициента прохождения электромагнитной волны для плоскопараллельного слоя композитного материала, используя которые возможно моделировать угловую зависимость коэффициента прохождения электромагнитной волны при различных значениях анизотропии диэлектрической проницаемости композитного материала. Проведен расчет для двух основных случаев: 1) матрица включений с дискообразной формой элементов; 2) матрица с вытянутыми вдоль одной оси стержнеобразными эллипсоидами (нитями). На примерах показана возможность численного анализа анизотропии

диэлектрической проницаемости однокомпонентных и многокомпонентных неоднородных (композитных) объектов с дискообразными и стержнеобразными включениями. Полученная во второй главе математическая модель позволяет прогнозировать поляризационные свойства различных композитных материалов в заданной частотной области.

В третьей главе описываются используемые в работе экспериментальные методы исследования и средства измерений. Приводятся экспериментальные результаты исследований коэффициента прохождения электромагнитных волн в широком диапазоне частот, полученных в открытом многомодовом резонаторе в квазиоптических пучках, для различных углов ориентации неоднородных природных образцов (плоскопараллельного образца керна горной породы, древесины) и искусственных материалов (многослойных углеродных нанотруб в полистироле, подвергнутом растяжению). Представлены угловые зависимости диэлектрических характеристик материалов. Экспериментально показано, что полистирол с наполнением из углеродных нанотруб, подвергнутый растяжению, может играть роль поляризатора в области крайне высоких частот. Отмечена возможность измерения локальной угловой зависимости коэффициента отражения многокомпонентного неоднородного материала с помощью открытого СВЧ резонатора. В конце главы приводится краткое описание лабораторного макет малогабаритного устройства для радиоволнового экспресс-контроля анизотропии свойств горной породы.

В целом, считаю, что научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации Бадьина А.В., являются хорошо обоснованными и не вызывают сомнений.

Достоверность и новизна результатов, выводов и рекомендаций достаточно подробно обсуждается автором в тексте диссертации. Достоверность подтверждается использованием известных методов и приемов подготовки образцов, измерений электрофизических характеристик неоднородных материалов, измерением спектров стандартных образцов предприятий, сравнением результатов, полученных разными методами для одних и тех же образцов.

Научная новизна результатов работы заключается в следующем:

показана численным моделированием зависимость анизотропии водосодержащего композитного материала от его влажности;

получены экспериментальные данные коэффициента прохождения электромагнитной волны плоскопараллельного слоя неоднородной горной породы в квазиоптическом пучке в миллиметровом диапазоне длин волн (34-177 ГГц);

экспериментально получены данные частотной зависимости коэффициента прохождения электромагнитной волны в диапазоне 101-177 ГГц для композитного материала на основе полистирола и многослойных углеродных нанотруб, подвергнутого растяжению.

Практическая значимость результатов исследований заключается в следующем:

показанная возможность выявления анизотропных свойств горных пород измерениями в СВЧ и КВЧ диапазонах может служить основой совершенствования методов и средств исследования кернов в геологии;

полученные результаты по влиянию содержания воды в древесине на угловую зависимость коэффициента прохождения электромагнитных волн и анизотропию диэлектрической проницаемости могут быть использованы для оптимизации и расширения функциональных возможностей радиоволновых влагомеров;

экспериментальные данные угловой зависимости коэффициента прохождения электромагнитных волн в композитных материалах указывают на возможность создания на основе полимерных материалов с многостенными углеродными нанотрубками новых поляризаторов электромагнитных волн СВЧ – и КВЧ диапазонов.

Основные результаты диссертации изложены в 11 публикациях, в том числе 4 статьи в научных журналах, которые включены в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК для опубликования основных научных результатов диссертации (из них 1 статья в журнале, включенном в международную базу данных цитирования Web of Science), 7 публикаций в материалах международных и всероссийских научных конференций.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. На стр. 59 вверху страницы указывается, что «с увеличением концентрации нитевидных включений должно наблюдаться увеличение анизотропии диэлектрической проницаемости КМ, причем с ростом частоты этот эффект усиливается». Очевидно, что увеличение анизотропии связано с увеличением пористости (p) см. формулы 2.16 и 2.32. Однако неясно, почему анизотропия должна увеличиваться с ростом частоты, которая не входит явно в формулы.
2. На стр. 11 в разделе о ценности защищаемых положений в пункте 3 говорится о влиянии длины МУНТ в полимерной матрице на измеряемые частотные и угловые свойства коэффициента прохождения. Действительно, графики на стр 88 и 89 для использованных в композите нанотрубок длиной 130 и 160 мкм подтверждают это, однако в выводах по работе такого заключения нет.
3. В связи с предыдущим замечанием не ясно, почему в расчете диэлектрической проницаемости от частоты и сопоставлении с экспериментом (стр. 25 рис. 1-10) указывается длина нанотрубок в композите 1- 10 мкм, а не исходная длина 130 или 160 мкм.
4. При сопоставлении результатов расчета с экспериментом возникают некоторые трудности в связи с тем, что при получении КМ указывается на массовую концентрацию УНТ в композите $\gamma = 0.25\%$ (стр. 25), в то время как в расчетах см. формулы 1.4 на стр. 20 используются объемные доли или пористость композита (p) для n -го вида включений (стр. 36-37).

5. При исследовании анизотропных свойств керна (раздел 3.2.3) по измерениям коэффициента прохождения стр. 84 и коэффициента отражения стр. 91 получены графики, которые вероятно можно было бы сопоставить с расчетом и определить важные значения подгоночных параметров, характеризующих реальную структуру и свойства материала.
6. Диапазон, в котором проводятся исследования, называется терагерцовым, но его частоты не превышают 0.2 ТГц, поэтому его лучше бы называть миллиметровым.
7. В тексте диссертации много опечаток и жаргонных выражений. Например, название диссертации «Электродинамическая анизотропия свойств ...» – это жаргон, рис. 1.16 – «Разделение спектра в открытом резонаторе», стр. 32 «... показывающий разделение спектра при нахождении анизотропной пленки в резонаторе.», рис. 1.5 «Измеренные (дискретные точки) и ...», на стр. 73 отсутствует номер ссылки на литературу.


Изложенные выше замечания по работе не снижают ценности полученных соискателем результатов и значимости диссертационной работы в целом.

Автореферат диссертации отражает ее содержание.

С учетом сказанного выше считаю, что диссертация Бадьина Александра Владимировича является законченной научно-исследовательской работой, удовлетворяющей требованиям пункта 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Официальный оппонент
доктор технических наук, профессор,
заведующий лабораторией
электродинамики и СВЧ электроники
федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт
физики им. Л.В. Киренского СО РАН
e-mail: belyaev@iph.krasn.ru

«29» ноября 2014 г.


Беляев Борис Афанасьевич


660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, строение
№ 38, <http://www.kirensky.ru>, телефон: +(391) 202 16 86

Подпись официального оппонента, доктора технических наук, профессора Беляева Бориса Афанасьевича заверяю.

Ученый секретарь ИФ СО РАН,
кандидат физико-математических наук

«29» ноября 2014 г.




С.И. Попков