

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП

к.ф.-м.н., доцент



В.А. Мещеряков

«20» января 2022 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

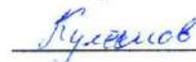
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПОГРЕШНОСТЕЙ (НЕОДНОРОДНОСТЕЙ СТРУКТУРЫ И ФОРМЫ)
ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ ОБРАЗЦОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
ПАРАМЕТРОВ**

по основной образовательной программе подготовки специалиста
по специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»

Семенов Андрей Александрович

Руководитель ВКР

канд. физ.-мат. наук, доцент



Г.Е. Кулешов

« 18 » января 2022 г.

Автор работы

студент группы № 07609



А.А. Семенов

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ООП
к.ф.-м.н., доцент



В.А. Мещеряков
« 23 » декабря 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на подготовку ВКР специалиста
студенту Семенову Андрею Александровичу группы № 07609

1. Тема ВКР: Исследование влияния технологических погрешностей (неоднородностей структуры и формы) изготавливаемых образцов композиционных материалов при расчете их электромагнитных параметров.

2. Срок сдачи студентом выполненной ВКР:

- а) на кафедре 20.01.2022,
- б) в ГЭК 02.02.2022.

3. Краткое содержание работы:

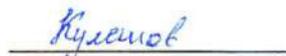
Область практического применения современных радиоматериалов определяется достоверной информацией о величинах электромагнитных характеристик в рабочем диапазоне частот. В связи с этим, перед данной работой поставлена задача исследование влияния технологических погрешностей (неоднородностей структуры и формы) изготавливаемых образцов композиционных радиоматериалов на измеряемые электромагнитные характеристики.

4. Календарный график выполнения ВКР:

- | | |
|--|-----------------------|
| а) оформление литературного обзора | 23.12.2021–29.12.2021 |
| б) оформление результатов моделирования в CST Studio Suite | 30.12.2021–14.01.2022 |
| в) оформление выводов по влиянию неоднородностей образцов на рассчитываемые электромагнитные параметры | 15.01.2022–19.01.2022 |
| г) техническое оформление ВКР в соответствии с требованиями | 17.02.2022–20.02.2022 |

5. Дата выдачи задания « 23 » декабря 2021 г.

Руководитель НИР –
кандидат физ.-мат. наук,
доцент кафедры РЭ



Кулешов Г.Е.

Задание принял к исполнению



Семенов А.А.

АННОТАЦИЯ

Отчет по работе 5 глав, 56 с., 53 рис., 20 источников.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ,
КОМПОЗИЦИОННЫЕ РАДИОМАТЕРИАЛЫ, КОЭФФИЦИЕНТ
ОТРАЖЕНИЯ, КОЭФФИЦИЕНТ ПРОХОЖДЕНИЯ, ФЕРРИТ,
МОДЕЛИРОВАНИЕ В CST

Объектом исследования являются образцы композиционных радиоматериалов с различными неоднородностями структуры и формы.

Цель работы – исследование влияния неоднородностей структуры и формы экспериментальных образцов композиционных радиоматериалов на измеряемые электромагнитные характеристики.

Для исследования электромагнитных характеристик материалов используется волноводный метод с коаксиальной измерительной ячейкой, для исследования влияния технологических погрешностей при расчете электромагнитных параметров используется моделирование в CST Studio.

В процессе выполнения работы:

- 1) проведен аналитический обзор литературных источников по тематике научно-исследовательской работы;
- 2) проведено моделирование образцов для коаксиальной измерительной ячейки с неоднородностями структуры и формы;
- 3) освоены методики изготовления образцов методом 3D печати и синтез образцов с различными технологическими погрешностями и неоднородностями;
- 4) произведены измерения электромагнитных характеристик образцов;
- 5) проанализированы полученные результаты и оформлена работа.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1 Измерения электромагнитных характеристик радиоматериалов	5
1.1 Методы измерения электромагнитных характеристик	5
1.2 Современные радиоматериалы и их применение	6
1.3 Электромагнитные характеристики композиционных материалов	10
2 Экспериментальная часть.....	12
2.1 Измерительные установки	12
2.2 Изготовление образцов композиционных материалов	15
3 Результаты измерений	19
4 Моделирование в программе CST Studio	22
4.1 Моделирование образца	22
4.2 Результаты моделирования и расчета	27
4.2.1 Сходимость результатов моделирования с исходными данными.....	27
4.2.2 Влияние дефектов образца на результаты измерений	30
4.2.3 Оценка влияния выпадающего объема материала в образце засчет технологических дефектов на результаты измерений	32
4.2.4 Рассмотрение распространения волны в коаксиальной ячейке	36
4.2.5 Оценка влияния изменения внутреннего радиуса образца.....	38
4.2.6 Оценка влияния изменения внешнего радиуса образца	42
4.2.7 Оценка влияния не плоскопараллельного образца.....	45
4.3 Выводы.....	47
5 Безопасность труда	48
5.1 Микроклимат рабочего места	49
5.2 Уровень шума на рабочем месте	50
5.3 Количественные характеристики освещения.....	51
5.4 Электробезопасность	52
Заключение	54
Список использованных источников и литературы	55

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время возрастает скорость развития высокочастотных электронных устройств, используемых в научных исследованиях, в промышленном производстве и быту. И для этих устройств требуются высококачественные радиоматериалы, в которых главным параметром являются их комплексные магнитная и диэлектрическая проницаемость. Область практического применения современных радиоматериалов определяется достоверной информацией о величинах электромагнитных характеристик в рабочем диапазоне частот. В частности, по частотным зависимостям проницаемостей определяются области наибольшего поглощения, окна прозрачности, времена релаксации и другие важные физические характеристики магнетиков, которые достаточно трудно или невозможно получить иными методами. Поэтому повышение точности измерений данных электромагнитных параметров очень важная и актуальная задача.

В настоящее время большинство исследований электромагнитных характеристик в СВЧ диапазоне проводятся волноводными методами с использованием коаксиальных измерительных ячеек. Однако для них образцы должны быть изготовлены с большой точностью и установлены в измерительной ячейке без перекосов и зазоров. Наличие любых неоднородностей структуры и формы у образцов может приводить к недостоверным результатам измерений и ошибочным выводам о возможном применении материалов на практике.

Целью данной работы является исследование влияния неоднородностей структуры и формы экспериментальных образцов композиционных радиоматериалов на измеряемые электромагнитные характеристики.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

а) провести аналитический обзор литературных источников по теме научно-исследовательской работы;

б) провести моделирование объектов с неоднородностями структуры и их формы;

в) освоить методики изготовления образцов методом 3D печати и синтез образцов с различными технологическими погрешностями и неоднородностями;

г) произвести измерение электромагнитных характеристик образцов;

д) проанализировать полученные результаты и оформить отчет о работе.

1 Измерения электромагнитных характеристик радиоматериалов

Применение современных радиоматериалов зачастую зависит от точности значений их электромагнитных характеристик.

1.1 Методы измерения электромагнитных характеристик

Существует множество различных методов измерения электромагнитных характеристик материалов, каждый из которых имеет свои сильные и слабые стороны, ограничения по частоте, материалам, измеряемым параметрам и прочим обстоятельствам. Они находят применение в своей определенной нише. В СВЧ диапазоне активно используются волноводные и резонаторные методы, методы свободного пространства с рупорными антеннами и квазиоптикой, а также другие методы.

Наиболее распространенными методами измерениями электромагнитных характеристик являются волноводные. Они применяются совместно с современными анализаторами цепей. Скалярные анализаторы цепей способны измерять только модули комплексных коэффициентов отражения (R) и прохождения (T), соответственно они определяют только две величины на одном образце. Высокой популярностью среди отечественных скалярных анализаторов получили приборы томской научно-производственной фирмы «Микран» [1].

Векторный анализатор цепей позволяет более качественно измерить образец, помимо измерения модулей R , T , он позволяет измерить и фазы отраженного R и прошедшего T сигнала. Это позволяет нам рассчитать составляющие комплексной диэлектрической и магнитной проницаемости. Это значительно ускоряет процесс проведения исследований материалов, поскольку данные об ϵ^* и μ^* позволяют рассчитать электромагнитный отклик от материала любой толщины. Однако, данные приборы обладают высокой стоимостью и малодоступны для многих научных и образовательных учреждений [2].

1.2 Современные радиоматериалы и их применение

В последние годы развитие науки и техники опережает теоретические наработки по созданию новейших материалов для промышленного комплекса. Из-за стремительного развития систем беспроводной связи (5G, 6G, Wi-Fi 7 (802.11be)), IoT устройств на технологии LoRa), геолокации, телеметрии, робототехники, системы мониторинга и дистанционного контроля, медицинской, научной и бытовой электроники, сенсорики, сегодня наблюдается тенденция к увеличению рабочих частот современных цифровых устройств. Возникает потребность в материалах, эффективно взаимодействующих с электромагнитным излучением частотой от 1 до 100 ГГц (микроволновый диапазон длин волн).

Одним из ключевых направлений развития электроники является создание на основе новых функциональных материалов. В качестве основы современных микроволновых материалов наиболее часто используются ферритмагнетики, углеродные материалы (высокодисперсный углерод, графен, углеродные наноструктурные соединения) и сегнетоэлектрики. В качестве компонентов для изготовления композиционных радиоматериалов в основном используют ферриты. Наиболее эффективными являются ферриты с гексагональной структурой. Они имеют высокие поля анизотропии и область их естественного ферромагнитного резонанса (ЕФМР) находится в диапазоне сверхвысоких частот, благодаря этому магнитные свойства материалов проявляются вплоть до 100 ГГц. По этой причине высокочастотные свойства гексаферритов интенсивно изучаются в настоящее время.

Ферриты – это некомпенсированные антиферромагнетики, элементарные ячейки намагниченности которых во внешнем магнитном поле имеют антипараллельную ориентацию. Ферриты основаны элементами с незаполненными $3d$ - или $4d$ - электронными оболочками, атомы или ионы которых владеют магнитными моментами. Магнитные свойства оксида железа (а также никеля и кобальта), массовая доля которого в феррите колеблется от 73 % до 98 %, обусловлены наличием неспаренных $3d$ -электронов у Fe (Ni,

Co), которые, являются неспаренными и обладают некомпенсированным спиновым магнитным моментом M_B . Из магнитных моментов отдельных атомов складывается магнитный момент молекул и материала в целом. Чем больше неспаренных электронов, тем больше проявляются магнитные свойства, на $3d$ - уровне они могут достигать до 5 таких электронов [3].

В отличие от большинства других наполнителей для современных радиоматериалов ферриты обладают как диэлектрическими, так и магнитными свойствами, что и потребуется в нашем исследовании.

Проанализировав количество статей, опубликованных в разные годы, посвященных созданию и исследованию ферритов на СВЧ (рисунок 1), можно заметить, что интерес к ферритам с каждым годом только увеличивается, следовательно, данная тема только набирает популярность и имеет большие перспективы в будущем.

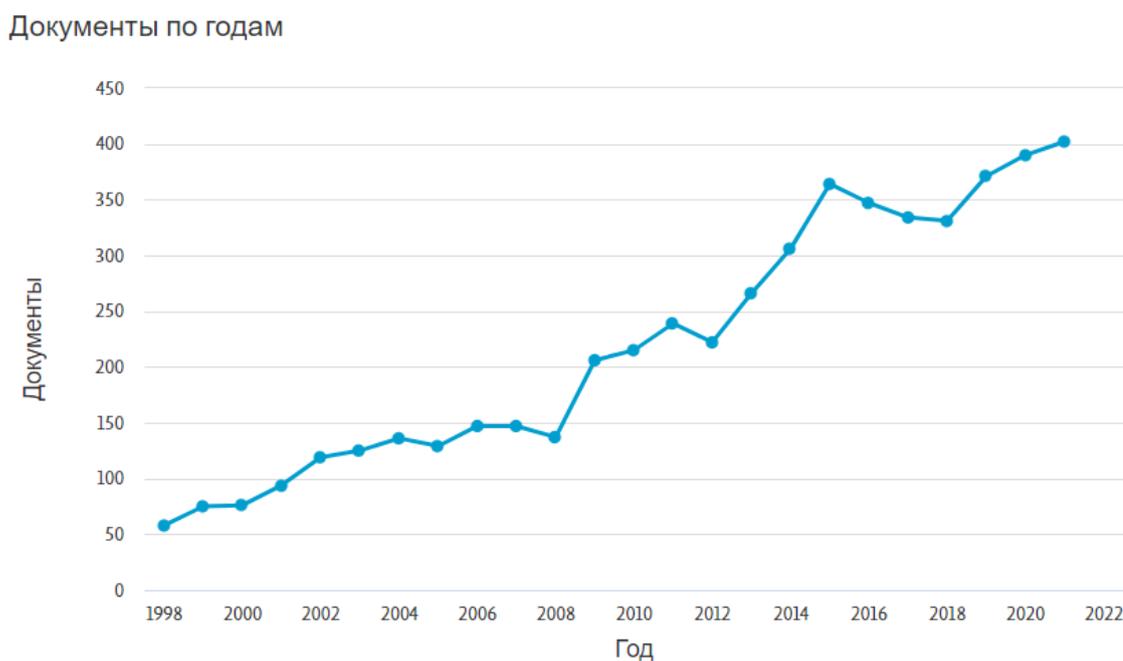


Рисунок 1 – Публикации научных статей в базе данных Scopus в период 1998-2021 годы по тематике микроволновых исследований ферритов [4]

Проанализировав количество статей, опубликованных разными странами, посвященных созданию и исследованию ферритов (рисунок 2),

можно заметить, что наиболее заинтересованными в этом направлении являются Китай, Индия, США, Россия.

Ферриты изготавливают одним из далее перечисленных способов: стандартной керамической технологией, золь-гель технологией, газовой эпитаксией, с осаждением солей и гидроокисей, а также самораспространяющимся высокотемпературным синтезом. Наиболее распространены ферриты, изготовленные по керамической технологии. Для их получения смешивают порошок оксида железа Fe_2O_3 с другими оксидами в установленных стехиометрических соотношениях, отталкиваясь от требуемого компонентного состава. В начальную ферритовую шихту добавляют немного органического связующего вещества (воска, эпоксидной смолы), прессуют, формуют и спекают. Данное связующее вещество необходимо для придания прессовке прочности и способности сохранять форму. В дальнейшем, во время обжига, при высокой температуре (до 1400 °С) связующее вещество и другие органические добавки выгорают, а частицы твердых материалов сливаются. Твердые частицы после термообработки кристаллизуются и образуют новое химическое соединение - твердый раствор [3].

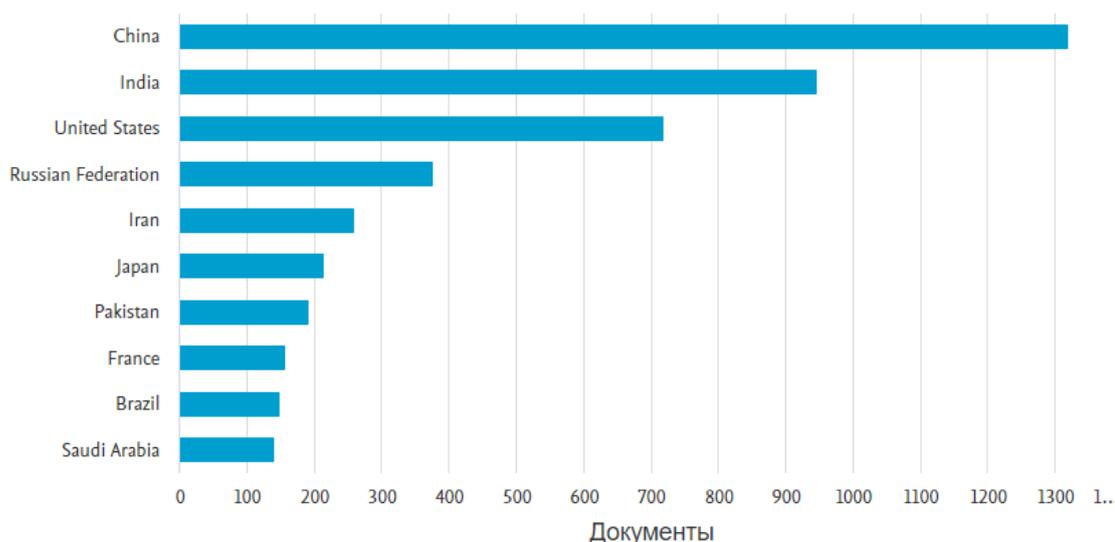


Рисунок 2 – Рейтинг стран, опубликовавших статьи, посвященные изучению ферритов [4]

Ферриты, изготовленные по керамической технологии, представляют из себя поликристаллические материалы. Они имеют структуру природного минерала шпинели ($MgAlO_4$) (рисунок 3), либо структурой минерала граната ($Mn_3Al_2Si_3O_{12}$) (рисунок 4), либо гексагональной кристаллической структурой, реже – структурой магнетоплюмбита. Ферриты-шпинели – это соединения вида $MeFe_2O_4$ (где Me это - Fe, Ni, Co, Mn, Mg, Zn, Cu), ферриты-гранаты – это $R_3Fe_5O_{12}$ (R – редкоземельный элемент), гексаферриты - $PbFe_{12}O_{19}$, $Ba_2Zn_2F_{12}O_{22}$ и другие. Все они являются твердыми и хрупкими материалами. Большинство выпускаемых ферритов имеет структуру шпинели. Это Ni-Zn ферриты, Mn-Zn ферриты, Mg-Zn ферриты, Ni-Co ферриты и другие. Из-за того, что радиус аниона кислорода больше радиусов катионов металлов, то тип кристаллической решетки обуславливается по характеру плотнейшей упаковки анионов. А катионы располагаются в пустотах плотнейшей упаковки анионов. Крупные катионы примесей раздвигают кристаллическую решетку, созданную анионами, впоследствии чего изменяют характер взаимодействия между атомами и свойства материала. Есть ферриты, в которых вместо аниона кислорода используется хлор, селеном, теллуrom, сера и другие элементы, что также изменяют свойства ферритов. Магнитные свойства зависят от природы металлов, входящих в состав феррита, и характером взаимодействия между катионами [3].

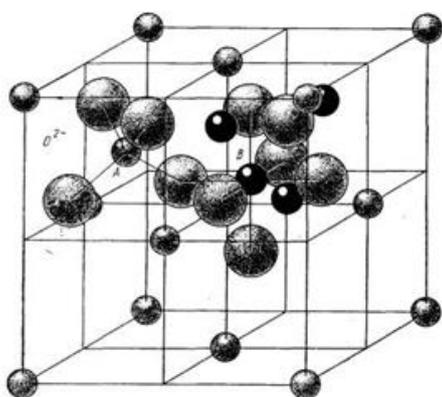
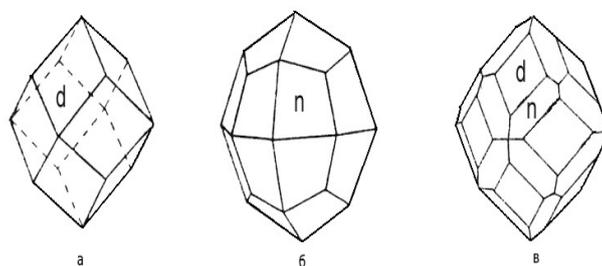


Рисунок 3 – Структура минерала шпинели [5]



кристаллы граната: а - ромбододекаэдр (110), б - тетрагонтриоктаэдр (211), в - комбинация ромбододекаэдра и тетрагонтриоктаэдра.

Рисунок 4 – Структура минерала гранат [6]

1.3 Электромагнитные характеристики композиционных материалов

Электромагнитные характеристики – это частотные зависимости комплексной магнитной и диэлектрической проницаемости. Магнитная проницаемость – безразмерная физическая величина, характеризующая связь между магнитной индукцией B и напряжённостью магнитного поля H в веществе. Диэлектрическая проницаемость – величина, характеризующая диэлектрические свойства среды – её реакцию на электрическое поле.

Магнитная $\mu(\omega) = \mu'(\omega) - i\mu''(\omega)$ и диэлектрическая $\varepsilon(\omega) = \varepsilon'(\omega) - i\varepsilon''(\omega)$ проницаемости, где $\mu'(\omega)$ и $\varepsilon'(\omega)$ – действительные составляющие, характеризующие намагничённость и поляризацию материала под влиянием электромагнитных полей, соответственно, а $\mu''(\omega)$ и $\varepsilon''(\omega)$ – мнимые части, которые определяют уровень магнитных и диэлектрических потерь, соответственно (рисунок 5).

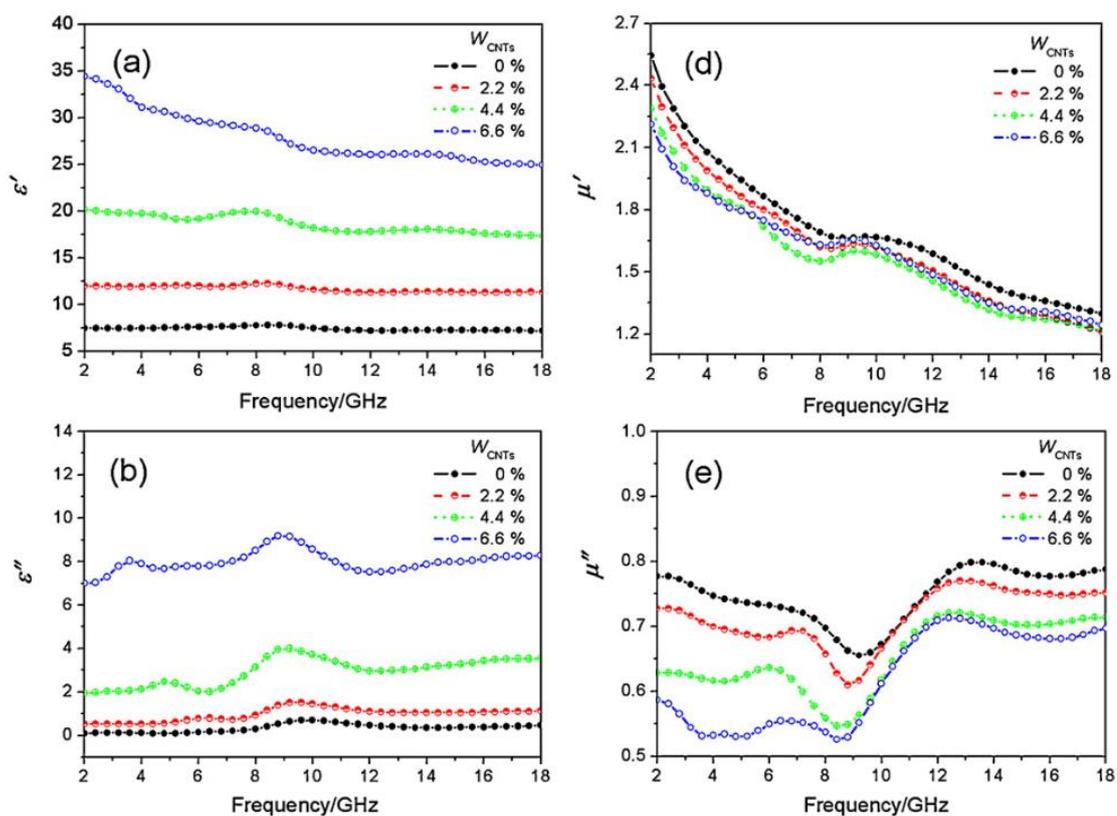


Рисунок 5 – Спектры действительной и мнимой частями диэлектрической и магнитной проницаемостями [7]

Здесь мнимые части, по сути, определяют степень конвертации электромагнитной энергии высокочастотного излучения в другие типы энергии (в основном тепловую) при взаимодействии с веществом. Для более эффективного поглощения СВЧ излучения необходимо использовать такие материалы, которые имеют высокое значение мнимых частей диэлектрической и магнитной проницаемостей. Такие материалы используют как поглотители электромагнитной энергии.

2 Экспериментальная часть

2.1 Измерительные установки

Проводились измерения волноводным методом в коаксиальной измерительной ячейке с помощью двух установок фирмы «Микран». Это измеритель модуля коэффициента передачи и отражения Р2М-04 (от 10 МГц до 4 ГГц) и векторный анализатор цепей Р4М-18 (от 10 МГц до 18 ГГц), подключенные по схеме «на проход». Результаты измерений позволили получить частотную зависимость модуля коэффициента прохождения (T), отражения (R) и рассчитать коэффициент поглощения (A), а также благодаря измерениям на векторном анализаторе были рассчитаны комплексные магнитные и диэлектрические проницаемости образцов. А теперь рассмотрим каждую из установок немного подробнее.

Скалярный анализатор Р2М-04 (рисунок 6) предназначен для измерения модуля коэффициента отражения или коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) и модуля коэффициента передачи (ослабления и усиления) в диапазоне частот 0,01-4,00 ГГц. Прибор работает в составе с ЭВМ, которая выполняет ряд вычислительных функций и обеспечивает панорамное отображение результата измерения [8].

Данный измеритель позволяет реализовать две схемы измерения: «на прохождение» (рисунок 7) и «на отражение» (рисунок 8). В собственных экспериментальных измерениях использовалась схема «на прохождение». Данная схема позволяет измерить одновременно коэффициент отражения (R) и прохождения (T) (коэффициент отражение – мощность излучения, отразившегося от образца, находящегося в коаксиальной ячейке, а коэффициент прохождения – мощность излучения, прошедшего сквозь этот образец). Зная коэффициенты R и T , можно рассчитать коэффициент поглощения (A): $A=1-R-T$. Схема же измерения «на отражение» позволяет измерить отраженную мощность [8].

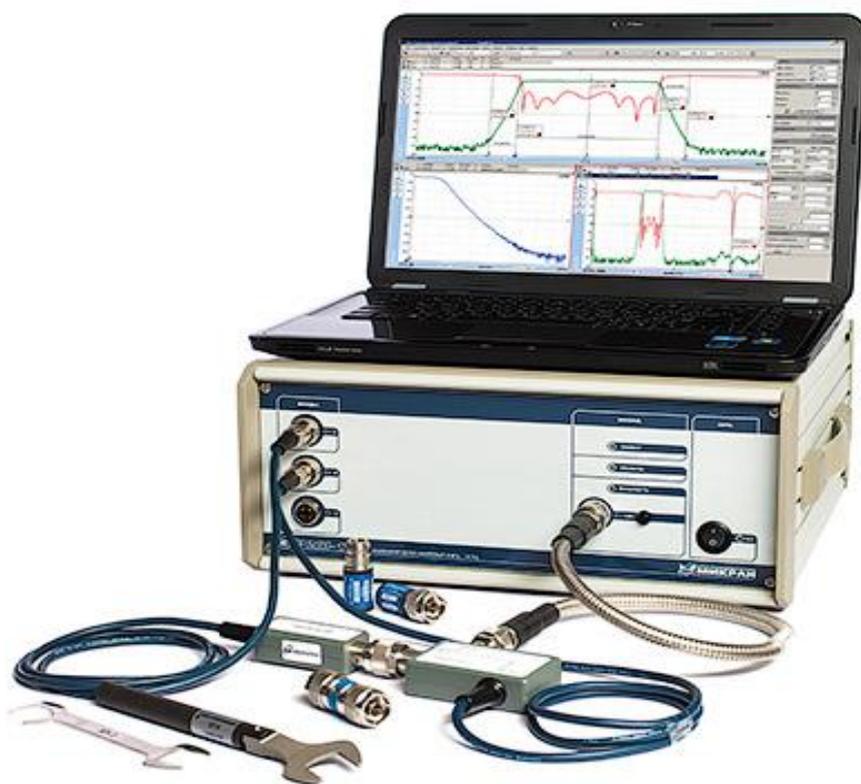


Рисунок 6 – Внешний вид скалярного анализатора цепей P2M-04 [8]

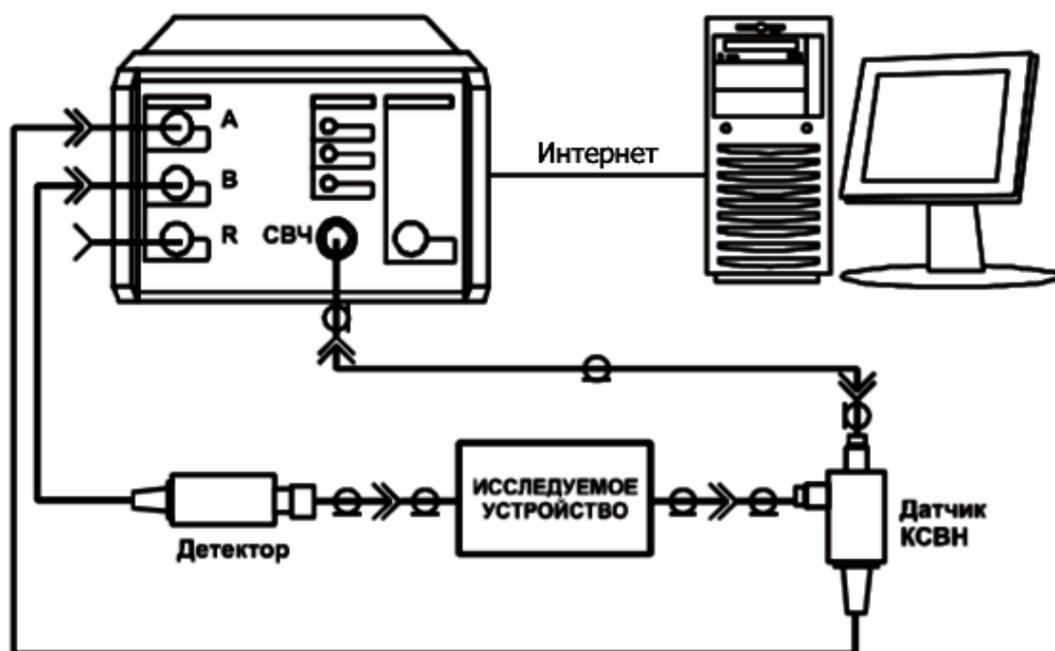


Рисунок 7 – Схема измерения «на прохождение» [8]

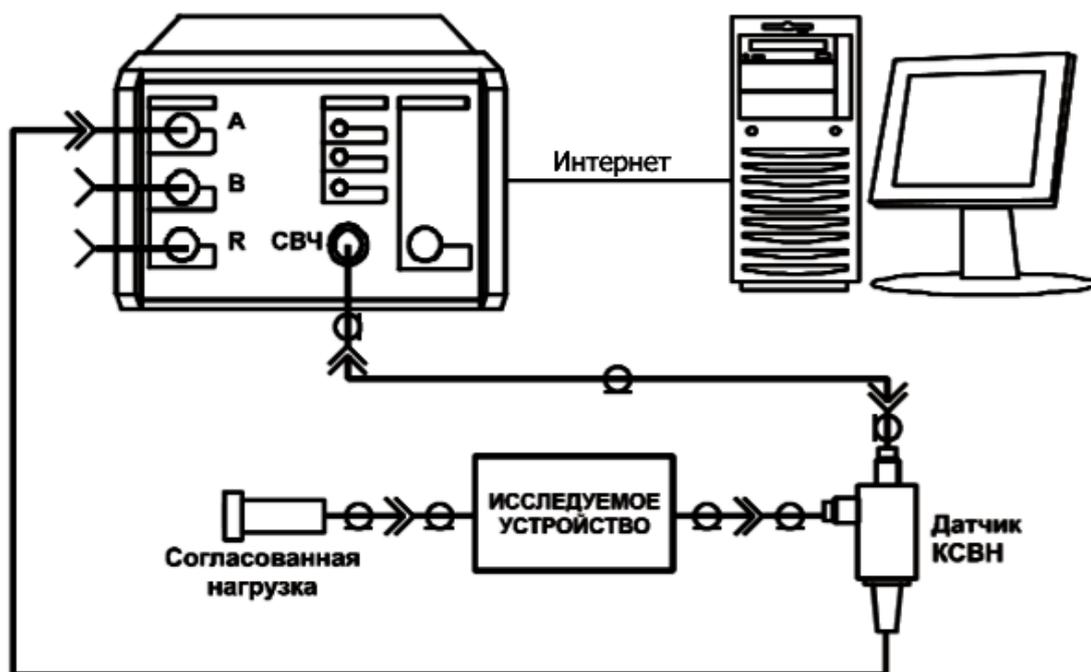


Рисунок 8 – Схема измерения «на отражение» [8]

Векторный анализатор цепей Р4М-18. Измеритель Р4М-18 (рисунок 9) предназначен для измерения комплексных коэффициентов передачи и отражения (S -параметров) двухполюсников и четырехполюсников в диапазоне частот 0,01-18,00 ГГц. Измеритель Р4М объединяет в себе синтезированный источник сигнала, измеритель S -параметров и настраиваемый приемник в одном модуле. Измеритель Р4М-18 работает под управлением персонального компьютера (ПК), который проводит обработку информации от измерителя Р4М-18, выполняет ряд вычислительных функций и обеспечивает различные варианты отображения результатов измерений. Данный измеритель позволяет измерить коэффициенты R , T (S -параметры) и фазу, а также рассчитать на основе этих измерений комплексные магнитные и диэлектрические проницаемости образцов по методики Беккера-Джарвиса.

Область применения измерителя Р4М-18 – производство и контроль ВЧ и СВЧ устройств, и оборудования, исследование, настройка и испытания СВЧ узлов, используемых в радиоэлектронике, связи, приборостроении, измерительной технике и др. [9].



Рисунок 9 – Внешний вид векторного анализатора цепей Р4М-18 [9]

В качестве измерительной ячейки во обоих случаях выступает отрезок коаксиальной линии со внешним диаметром 7 мм и внутренним 3,04 мм, с незакрепленной центральной жилой соединения типа «вилка-вилка».

2.2 Изготовление образцов композиционных материалов

Мы исследуем композиционные материалы. Для их изготовления были освоены две методики.

В первой в качестве связующего вещества выступает эпоксидная смола (ЭДП-20) и отвердитель (ПЭПА). На рисунке 10 представлена поэтапная схема изготовления образцов.



Рисунок 10 – Этапы изготовления образцов

Из методики изготовления образцов можно выделить следующие этапы:

а) Выбор необходимого ферритового порошка и просеивание его через аналитические сита, с целью отбора мельчайших частиц (размеры ячеек сит менее 100 мкм).

б) Подготовка исходных компонентов, в данном случае ферритового порошка, эпоксидной смолы и отвердителя.

в) Расчет процентного соотношения порошка и связующего в составе будущего образца (в данном случае 80 % и 20 % соответственно). Связующее в свою очередь, состоит из 85 % эпоксидной смолы и 15 % отвердителя. При расчете, компоненты взвешиваются на электронных весах, которые измеряют вес с точностью до 0,001 г.

г) Далее происходит тщательное смешивание рассчитанного количества компонентов и заполнение полученной смесью специальных форм с необходимыми размерами.

д) Полимеризация образцов происходит при комнатной температуре и занимает около 24 часов.

е) Извлечение образцов из форм следует производить аккуратно, так как на данном этапе можно испортить образец. В некоторых случаях, при затруднении извлечения приходится подвергнуть форму с образцом термическому воздействию, т.е. немного нагреть ее техническим феном, это намного упрощает задачу.

ж) Механическая обработка извлеченного образца производится с целью придания ему размеров, соответствующих внутренним размерам коаксиальной ячейки. Образец закрепляется в специальном точильном приспособлении и стачивается на наждачной бумаге с периодическим контролем размеров, чтобы ни в коем случае не переточить образец.

з) Контрольное измерение с помощью микрометра. В результате получаем плоские шайбы для измерения в коаксиальной ячейке. Размеры образцов: внешний диаметр $d_{внеш} = 7$ мм, внутренний диаметр $d_{внут} = 3$ мм, толщина $h = 2,25$ мм.

Также была освоена методика изготовления композиционного радиоматериала из ABS пластика для 3D печати. На рисунке 11 представлена поэтапная схема изготовления образцов.

а) Первым этапом измельчали ABS пластик.

б) Далее растворяли измельченный ABS пластик в ацетоне.

в) В получившуюся смесь добавляли порошковый феррит и ждали, когда смесь затвердеет.

г) Следующим этапом снова измельчали получившийся материал для последующего экструдирования.

д) Проводили горячее экструдирование нити филамента.

е) Заключительный этап – это моделирование образца с неоднородностями, а также без них (рисунок 12) и печать на 3D принтере образцов из радиофиламента.



Рисунок 11 – Этапы изготовления образцов для 3D принтера

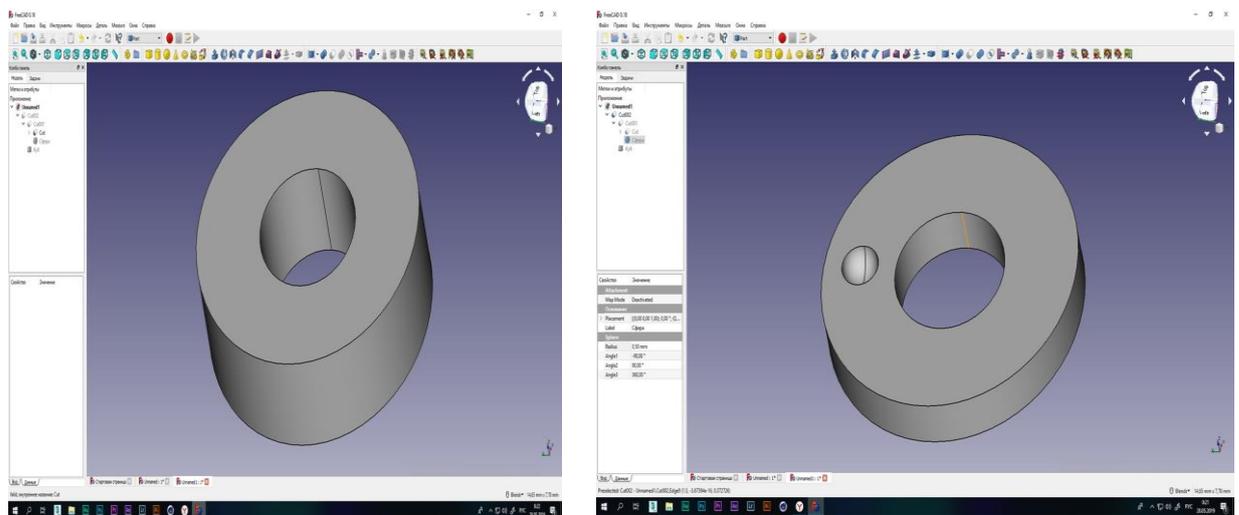


Рисунок 12 – Моделирование образцов с неоднородностями

В статье [10] описан процесс создания новых полимерматричных композитов с наноразмерным ферритом бария ($BaFe_{12}O_{19}$) в качестве ферромагнитного наполнителя и акрил-бутадиенстиролом (АБС) в качестве полимерной матрицы для создания плавящихся нитей (*FFF*) используемых в 3D печати. Изучены магнитные, а также механические свойства образцов, такие как растяжение и изгиб. Кроме того, приведены данные о типичных дефектах печати и их последствий, влияющих на свойства образца.

3 Результаты измерений

На рисунке 13 представлены результаты измерения коэффициента отражения образца из радиофиламента на основе АБС пластика содержащего 4 мас.% многостенных углеродных нанотрубок со средним диаметром 9,4 нм (далее АБС-Conductive). Измерения проводились на установке Р2М-04 от 10 МГц до 4 ГГц.

Из результатов измерения коэффициентов отражения (рисунок 13) можно заметить, что образец с неоднородностью значительно отличается от образца без неоднородностей. Так на частоте 2,5 ГГц образец без дефекта отражает порядка 10 % излучаемой мощности, в то время как образец с дефектом отразил лишь около 3 % падающей мощности. Также видно, что даже размер сопла, используемого при 3D печати, влияет на измеряемые характеристики. Чем меньше сопло у 3D принтера, тем лучше характеристики у образца.

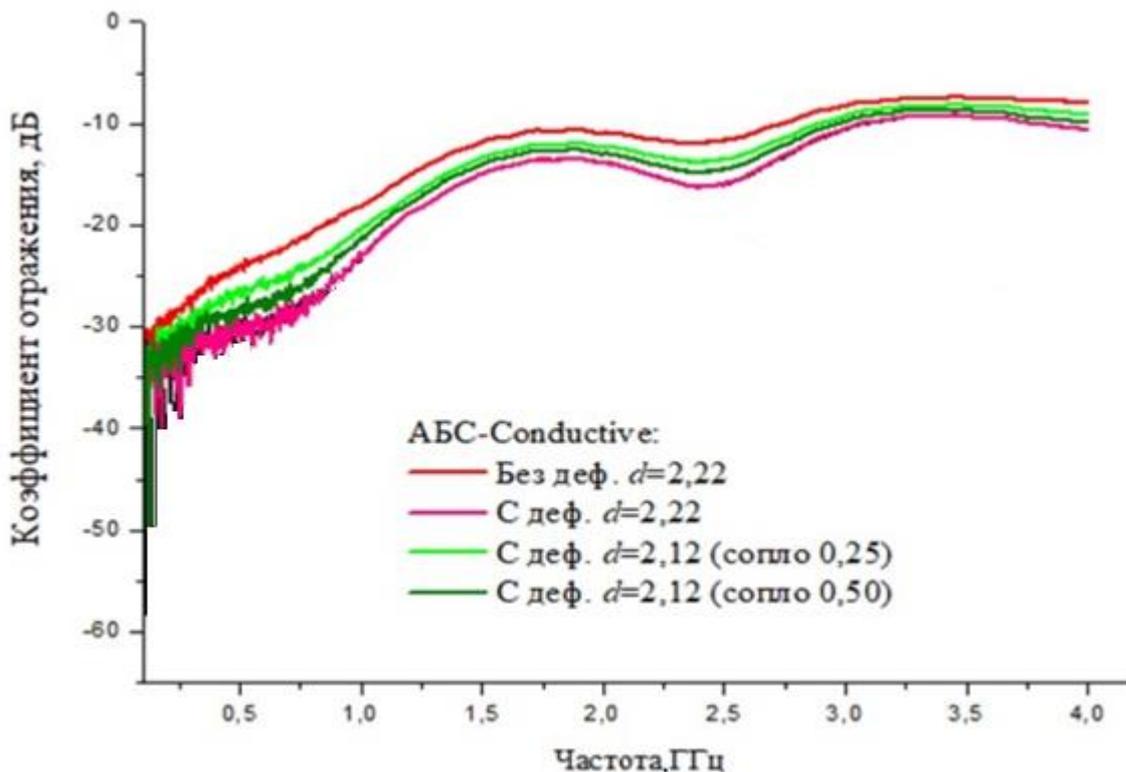


Рисунок 13 – Коэффициент отражения

На рисунке 14 представлены результаты измерения коэффициента прохождения образца изготовленного 3D печатью из радиофиламента. Из рисунка видно, что с ростом частоты экранирующее свойства всех образцов растут. Однако, через образец с дефектами проходит больше излучаемой мощности, чем через образец без дефекта. В образце с дефектом излучение меньше задерживается (отражается или поглощается), нежели без дефекта. Здесь также заметно влияние размера сопла, используемого в 3D принтере. Увеличение размера сопла приводит к уменьшению вносимого при печати дефекта.

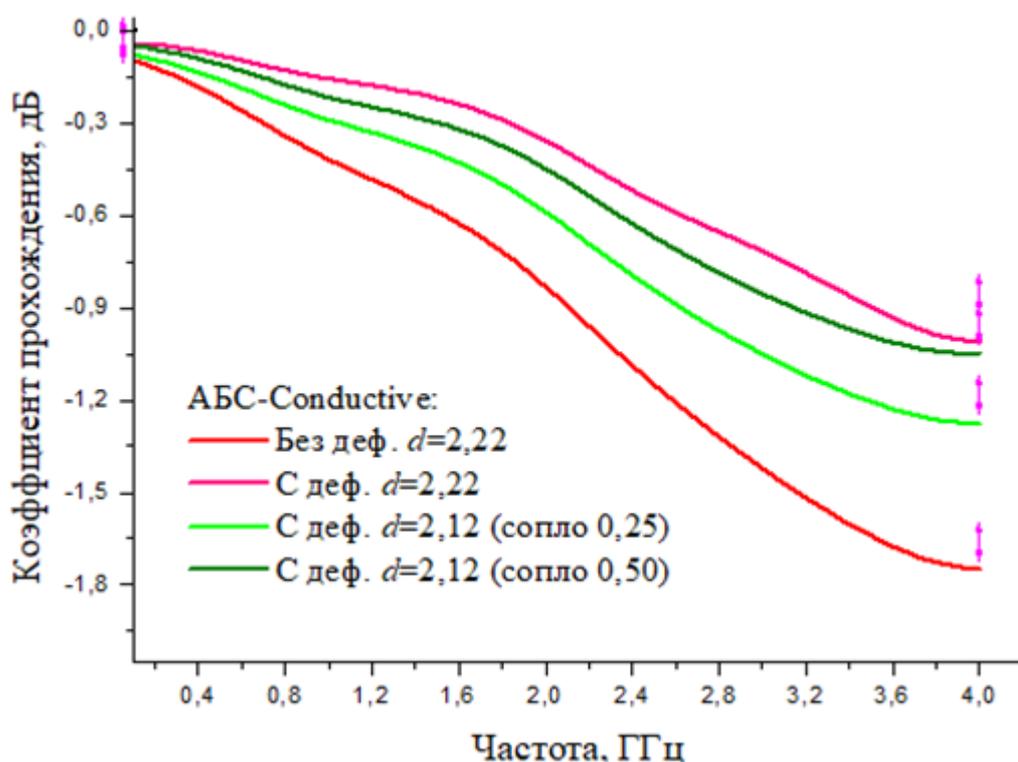


Рисунок 14 – Коэффициент прохождения

Из представленных экспериментальных графиков видно, что наличие простейших неоднородностей приводит к заметному изменению модулей коэффициентов отражения и прохождения (S -параметров), которые в дальнейшем используются для расчёта электромагнитных параметров материалов (комплексных магнитной и диэлектрической проницаемости).

Отсюда возникает необходимость в более полном исследовании влияния неоднородностей структуры и формы экспериментальных образцов композиционных радиоматериалов на рассчитываемые электромагнитные характеристики. Для этого лучше воспользоваться моделированием.

4 Моделирование в программе CST Studio

Для моделирования среды и анализа влияния технологических погрешностей изготавливаемых образцов композиционных радиоматериалов на измеряемые электромагнитные характеристики было использовано лицензионное программное обеспечение CST Studio.

4.1 Моделирование образца

За основу модели измерительной ячейки была взята коаксиальная линия (рисунок 15), в центре которой размещается наш образец, с заданными электромагнитными параметрами.

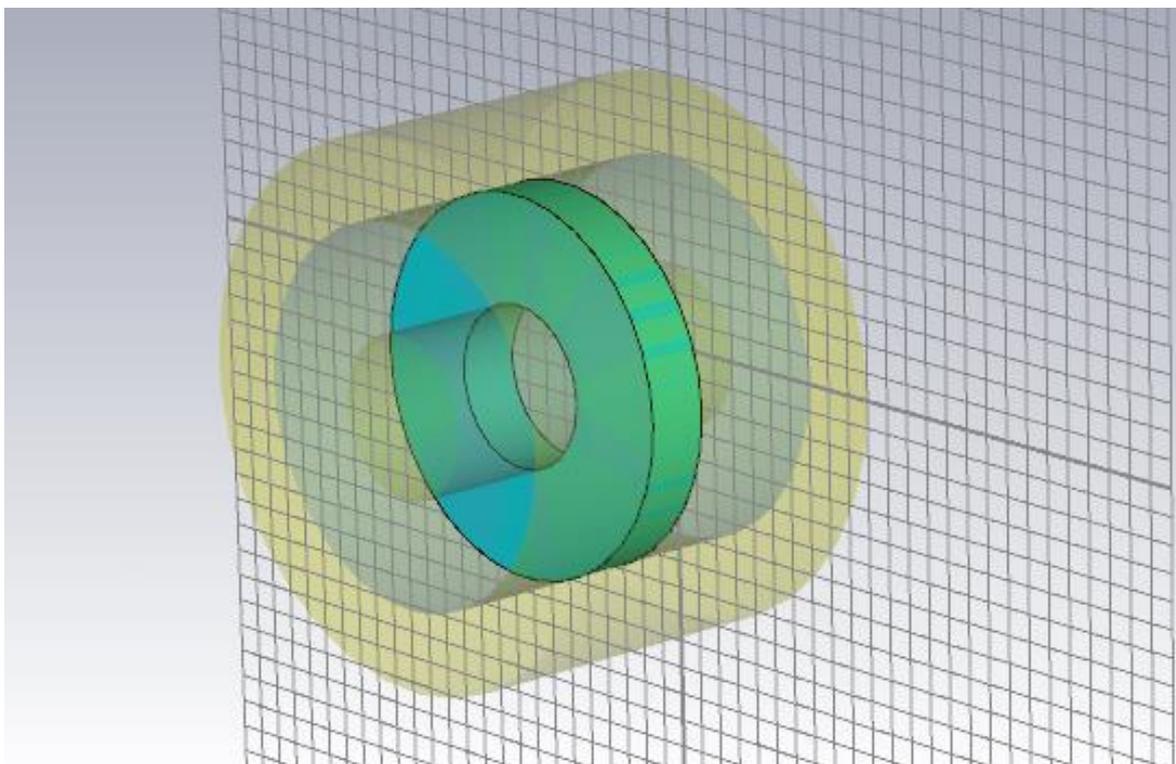


Рисунок 15 – 3D модель коаксиальной ячейки с образцом

Затем к созданной модели в исследуемый образец добавляются различные технологические дефекты в виде шариков с воздухом (рисунки 16–18), полосок (рисунки 19-20) имитирующие трещины в образце, не ровно сточенный образец (рисунок 21), а также увеличение внутреннего и уменьшение внешнего радиусов (рисунки 22-23).

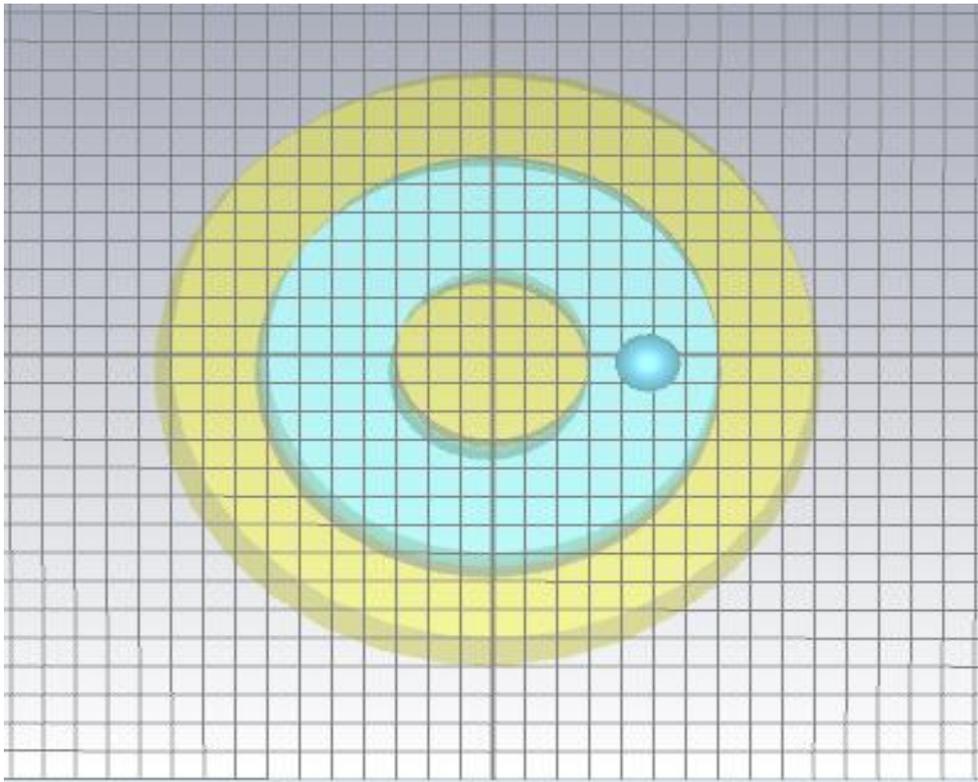


Рисунок 16 – Образец с 1 шариком воздуха

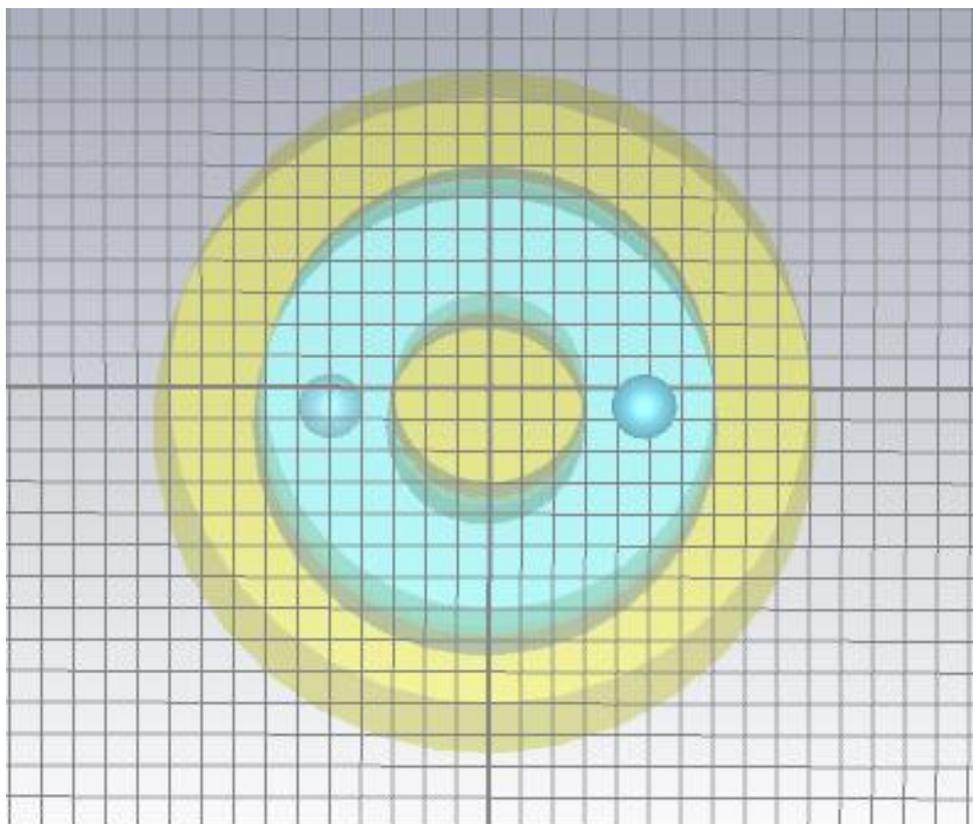


Рисунок 17 – Образец с 2 шариками воздуха

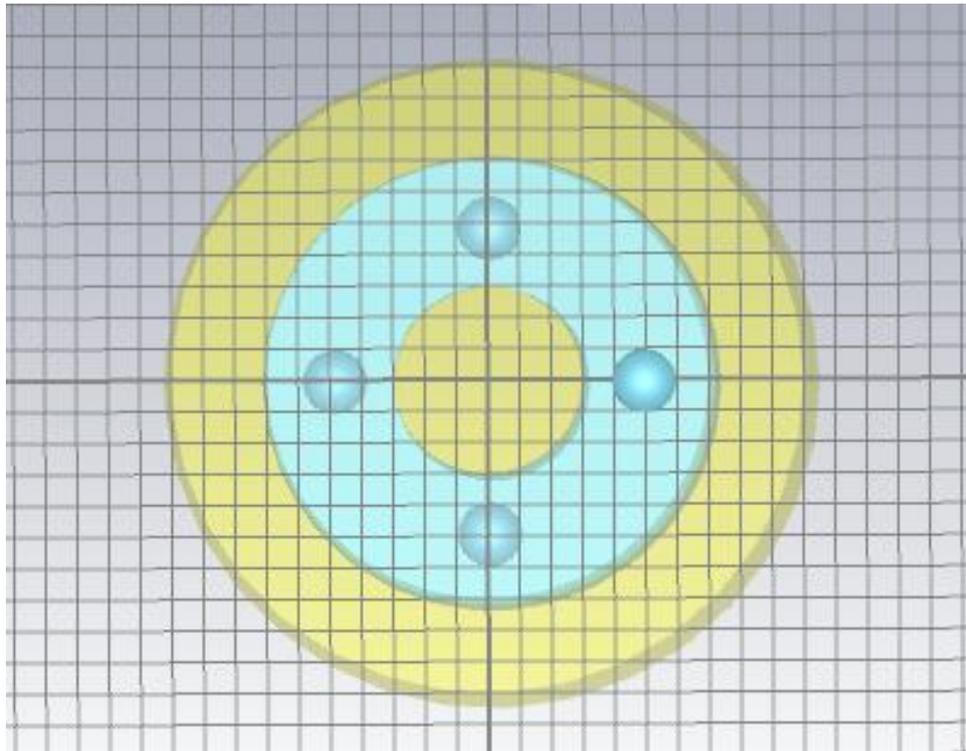


Рисунок 18 – Образец с 4 шариками воздуха

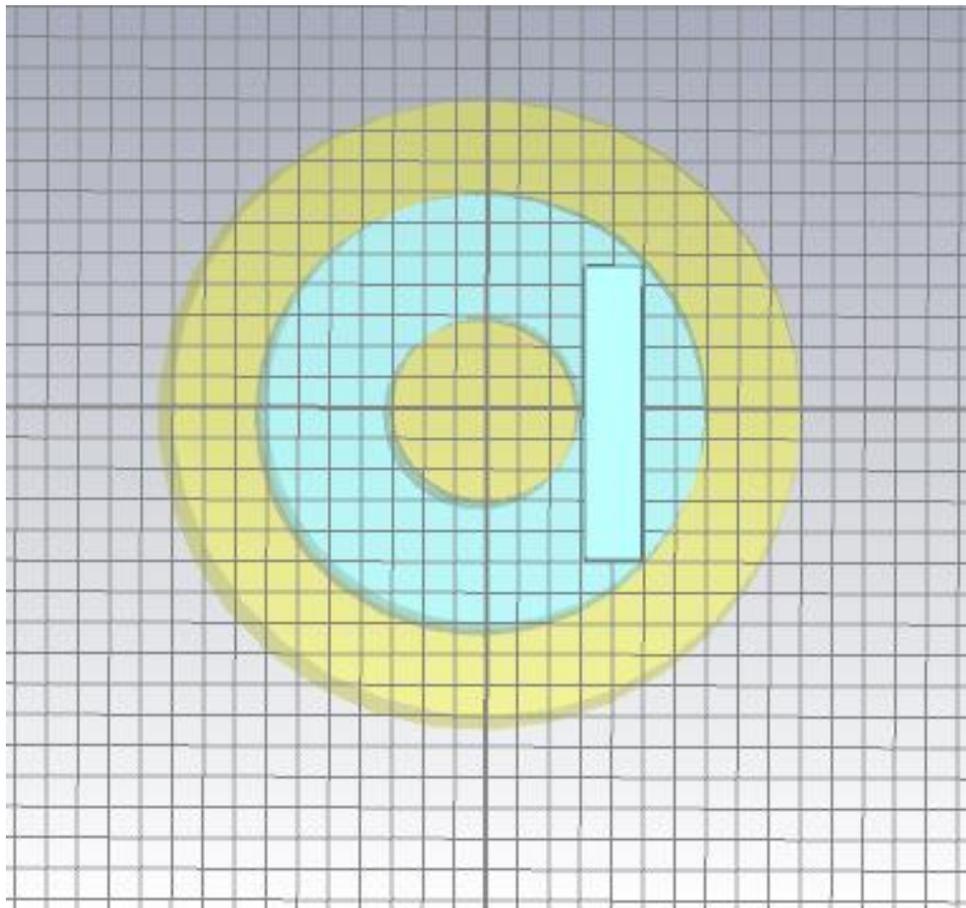


Рисунок 19 – Образец с 1 полоской

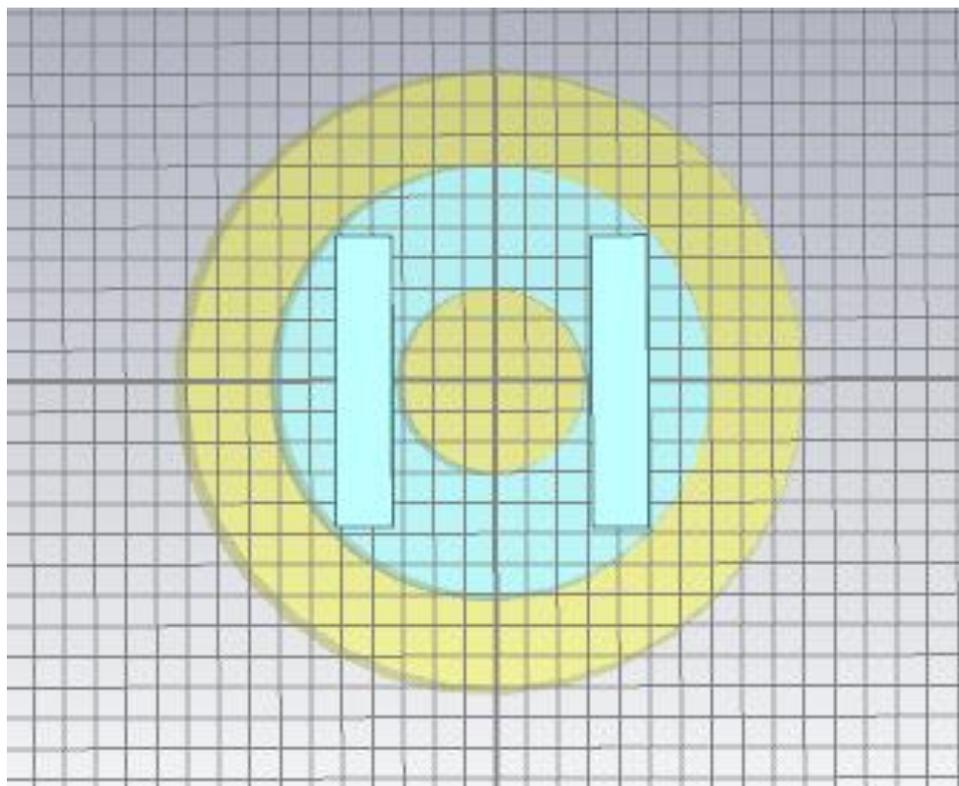


Рисунок 20 – Образец с 2 полосками

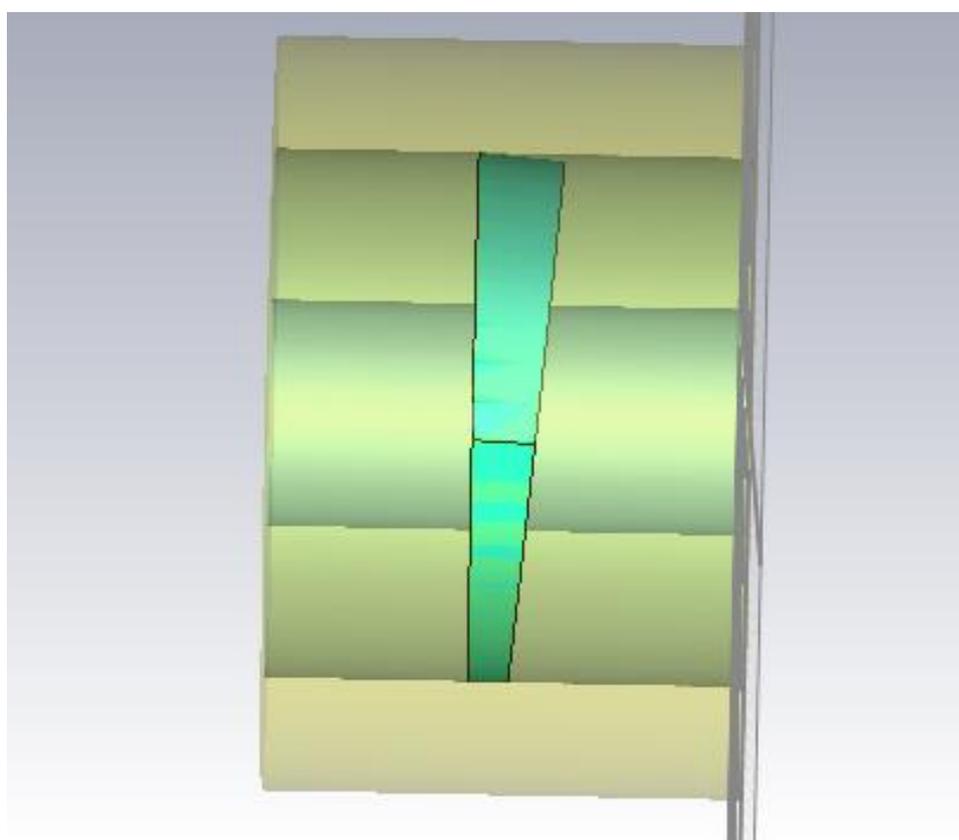


Рисунок 21 – Не ровно сточенный образец

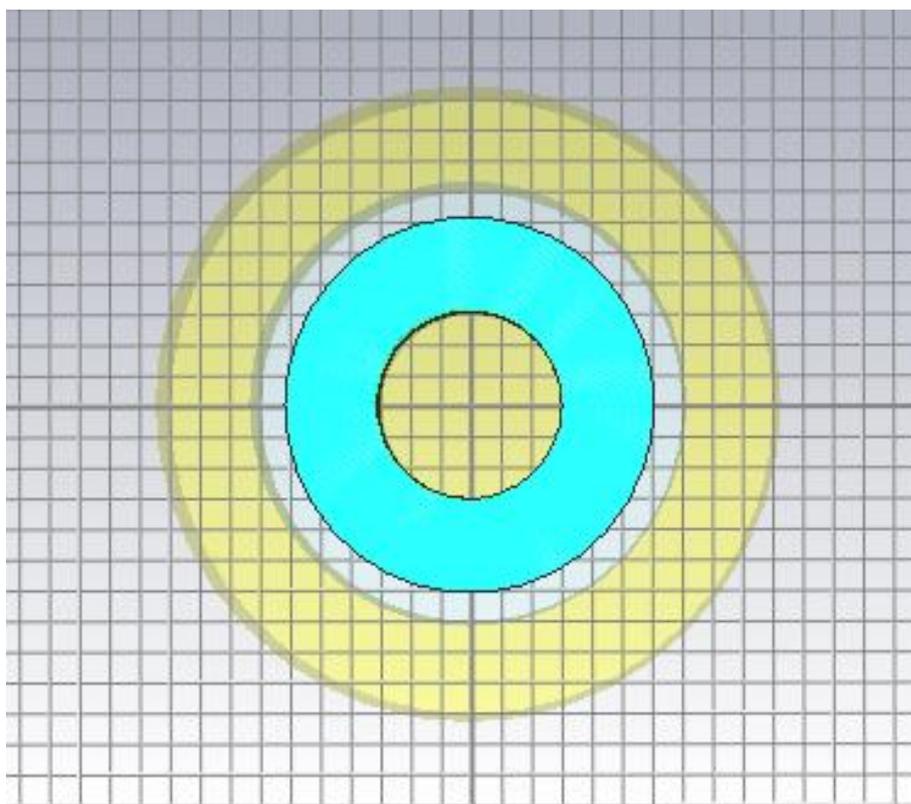


Рисунок 22 – Образец с уменьшенным внешним радиусом

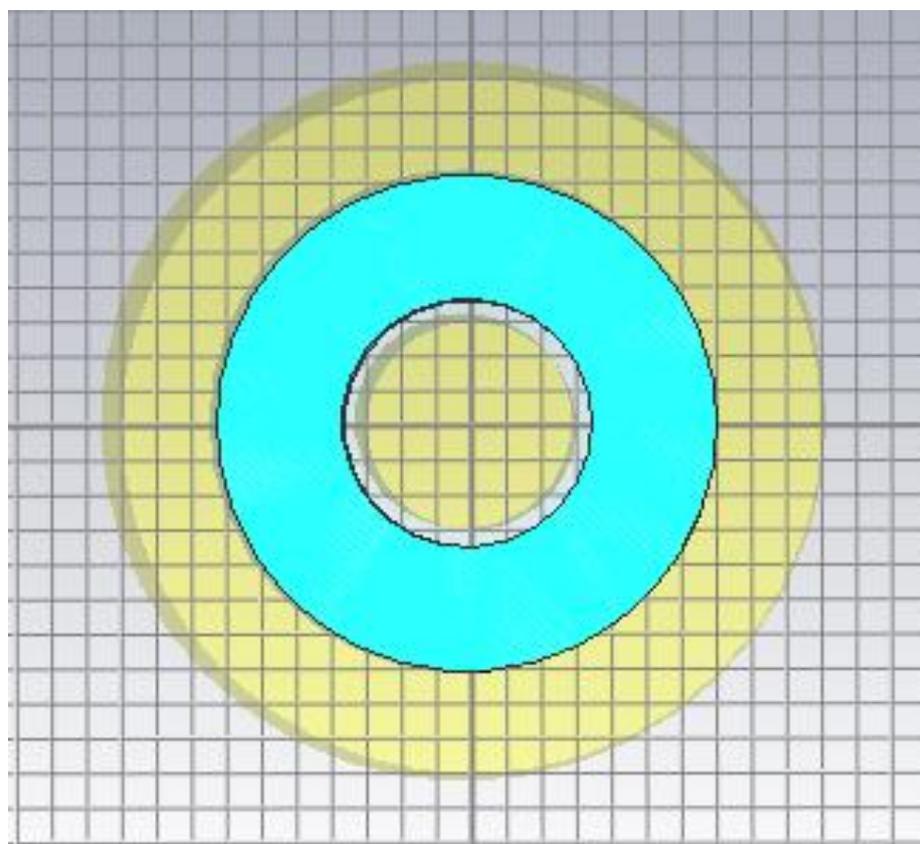


Рисунок 23 – Образец с увеличенным внутренним радиусом

4.2 Результаты моделирования и расчета

Далее проводились расчеты S параметров с фазой для каждого образца и пустой ячейки. Результаты сохранялись в файле. На основе полученных данных проводился расчет электромагнитных параметров (комплексные магнитная и диэлектрическая проницаемость). Для этого использовалась специально написанная программа в среде Mathcad, составленная доцентом кафедры радиоэлектроники Журавлевым Виктором Алексеевичем.

Данная программа позволяет проводить расчеты по двум методикам. Первая для чистого диэлектрика. Она производит расчет комплексной диэлектрической проницаемости через расчет комплексного коэффициента преломления материала образца. Вторая методика для магнитодиэлектриков. Она производит расчет комплексной диэлектрической и магнитной проницаемости по теории Бейкера-Джарвиса [11]. Из полученных S параметров, фазы, толщины образца и параметров ячейки рассчитываются диэлектрическая и магнитная проницаемости.

4.2.1 Сходимость результатов моделирования с исходными данными

Для начала мы промодулировали образец с диэлектрической проницаемостью без дефектов сравнили сходятся ли расчетные результаты по первой методике с исходными электромагнитными параметрами используемыми в моделировании при задании свойств образца. Результаты представлены на рисунке 24. Видно, что на частотах до 10 ГГц имеется некоторое рассогласование между заданными параметрами и с полученными после моделирования. Однако при этом отклонение расчетных данных не превышает 7 % от исходных значений.

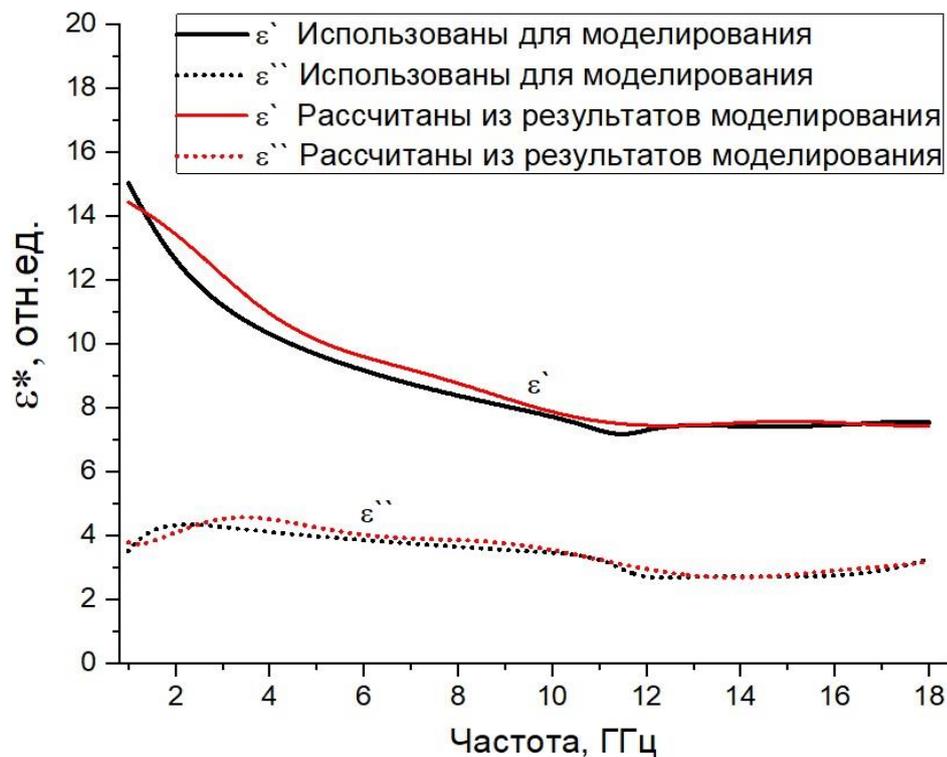


Рисунок 24 – Сравнение ϵ' и ϵ'' образца без дефектов

Затем использовалась вторая методика расчета. При этом моделировался образец без дефектов с магнитной и диэлектрической проницаемостью. Полученные результаты представлены на рисунках 25-26. Как можем увидеть на графике (рисунок 25), результаты для комплексной диэлектрической проницаемости почти полностью сходятся с исходными, кроме низкочастотной области в районе 1-3 ГГц. Но даже в этой области среднее отклонение составляет не более 10%. Данную погрешность расчета можно связать на неточность созданной модели ячейки и особенность используемой методики Бейкера-Джарвиса.

Для магнитной проницаемости можем заметить, что результаты тоже почти совпадают. А среднее отклонение результатов расчета от исходных данных не превышает 5% во всем диапазоне частот.

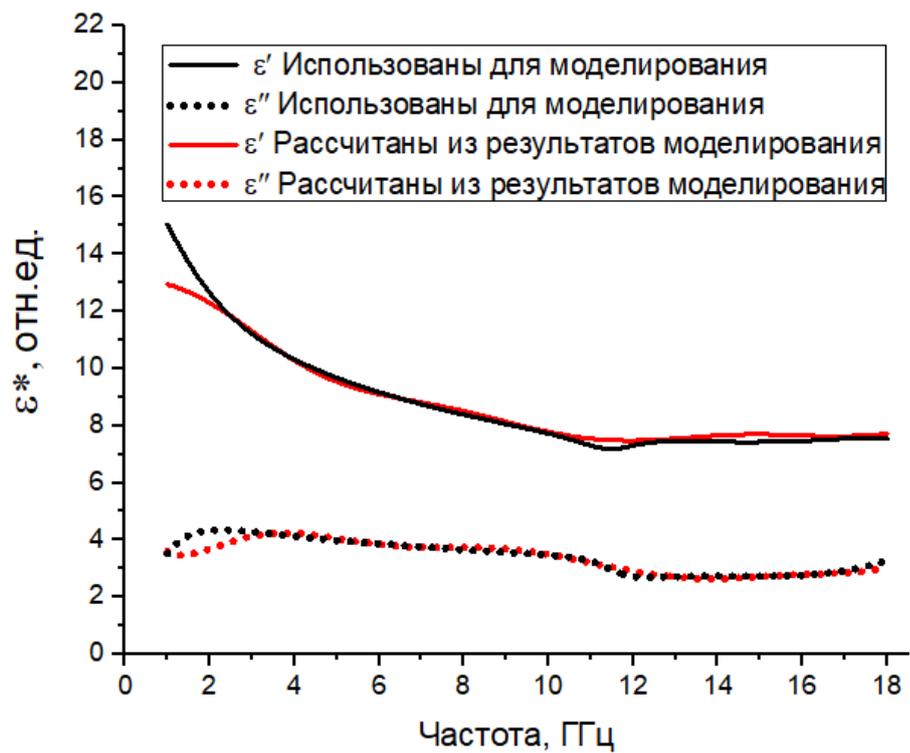


Рисунок 25 – Сравнение ϵ' и ϵ'' образца без дефектов

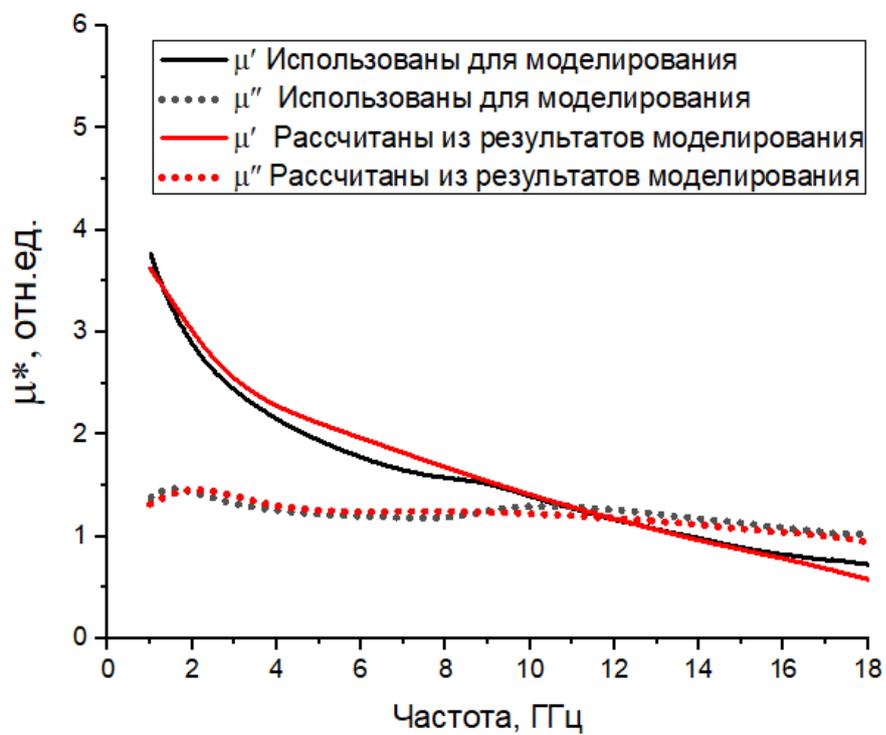


Рисунок 26 – Сравнение μ' и μ'' образца без дефектов

4.2.2 Влияние дефектов образца на результаты измерений

Дальше мы начали вводить в образец различные технологические погрешности (рисунки 16–23), а также изменять внешний и внутренний радиус образца. При этом для расчета комплексной магнитной и диэлектрической проницаемости использовалась вторая методика.

Из графика на рисунке 27 можем увидеть, как влияют различные технологические погрешности образца на его свойства. Наименьшее влияние оказывают так называемые шарики воздуха в образце. А вот полосы имитирующие трещины, которые занимают большую площадь образца уже вносят больше погрешностей. Больше всего на ϵ' повлияло изменение внутреннего радиуса образца.

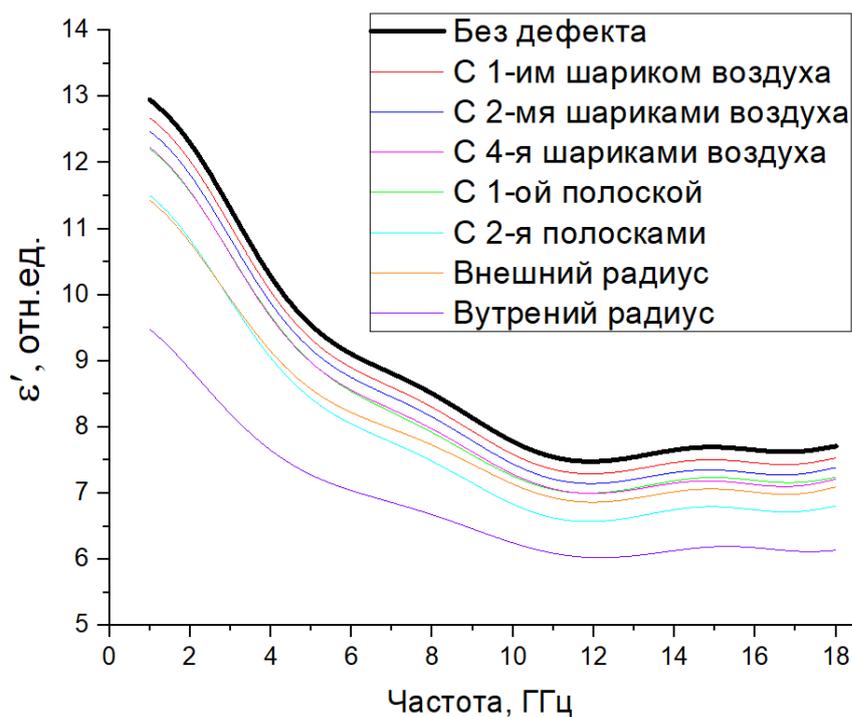


Рисунок 27 – Сравнение ϵ' образца с дефектами

На рисунке 28 представлен график с изменением ϵ'' при таких же технологических погрешностях. Как можем заметить наименьшее влияние также оказывают пузырьки воздуха. А 2 полосы и изменение радиуса, как внутреннего, так и внешнего, уже вносят большие погрешности.

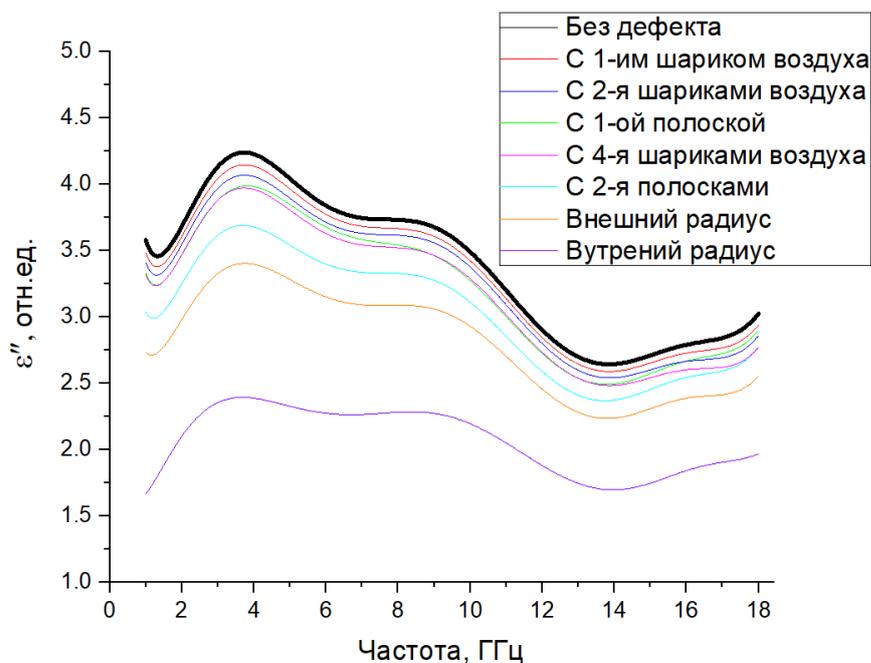


Рисунок 28 – Сравнение ϵ'' образца с дефектами

Из графика ниже (рисунок 29) можем сделать вывод, что на μ' различные погрешности в образце почти не влияют на него.

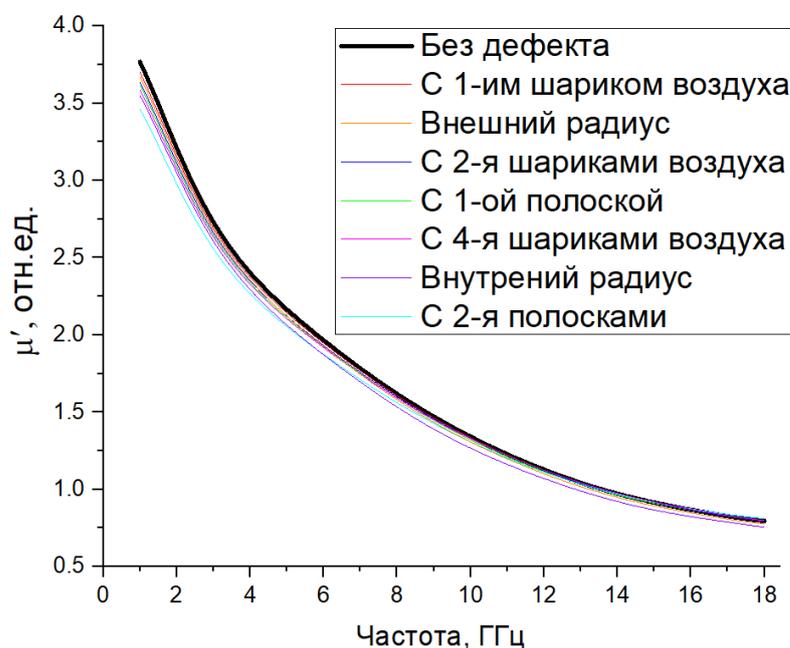


Рисунок 29 – Сравнение μ' образца с дефектами

А вот уже из рисунка 30 на графике можем увидеть, что на μ'' технологические погрешности оказывают влияние. Только в отличие от ϵ' и ϵ'' наибольшее влияние оказывают 4-е шарика воздуха и 2-е полоски.

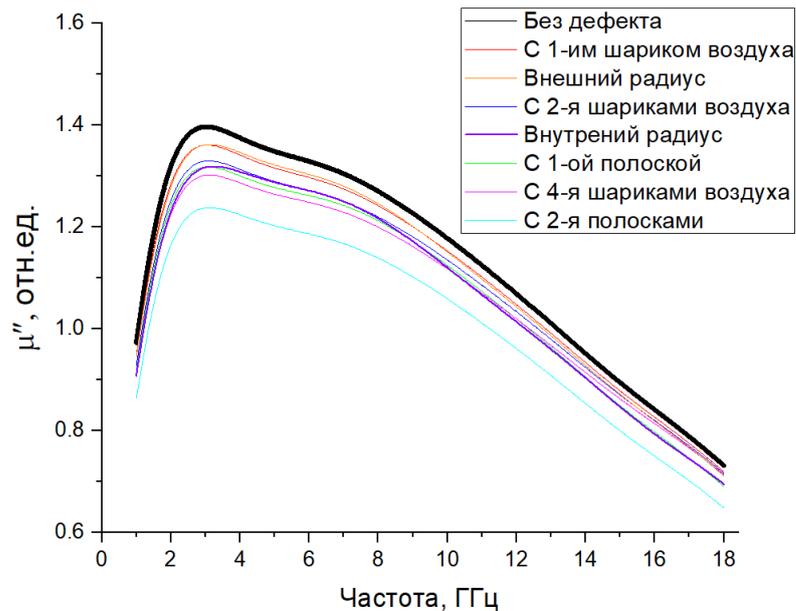


Рисунок 30 – Сравнение μ'' образца с дефектами

4.2.3 Оценка влияния выпадающего объема материала в образце за счет технологических дефектов на результаты измерений

Из выше приведенных результатов моделирования и расчётов следует, что наличие любых технологических дефектов в образце приводит к уменьшению измеряемых значений комплексных магнитной и диэлектрической проницаемости. Отсюда можно сделать предположение, что на результаты измерения образцов, влияет объем технологических дефектов (шарики воздуха, воздушные полости, изменение внутреннего и внешнего радиуса) и соответственно выпадающий объем материала. Для того чтобы проверить данную теорию мы определили этот объем технологических дефектов в образце. Была проведена оценка вклада каждой неоднородности. В результате был произведен перерасчет диэлектрической проницаемости в соответствии с выпадающим объемом материала. Полученные результаты приведены ниже (рисунок 31–33). Пунктирные линии на графиках показывают рассчитанные электромагнитные параметры образца с учетом выпадающего объема материала.

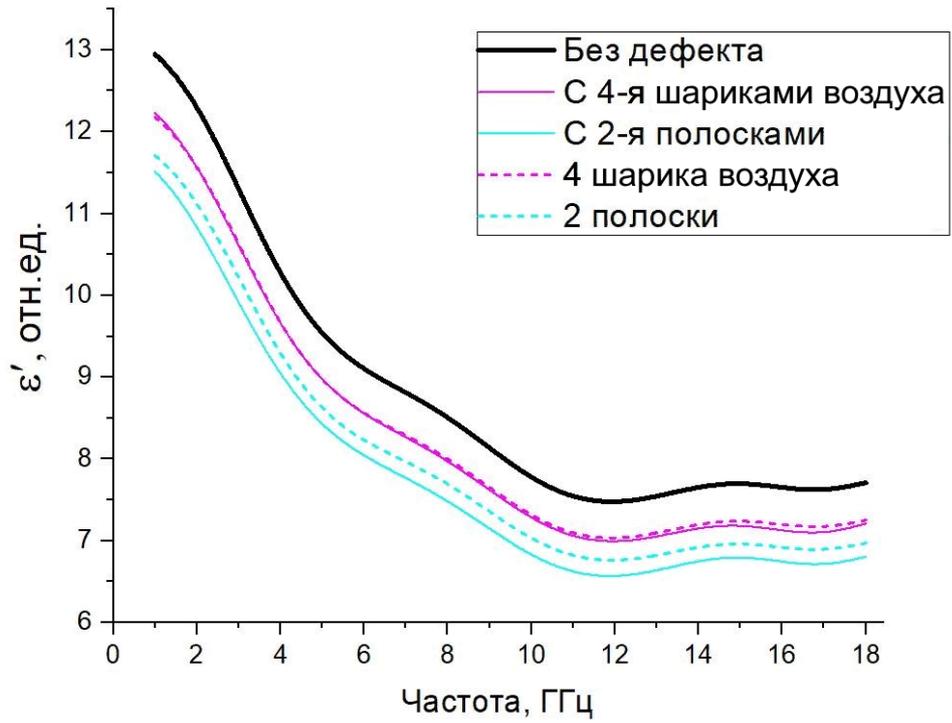


Рисунок 31 – Сравнение влияния объема

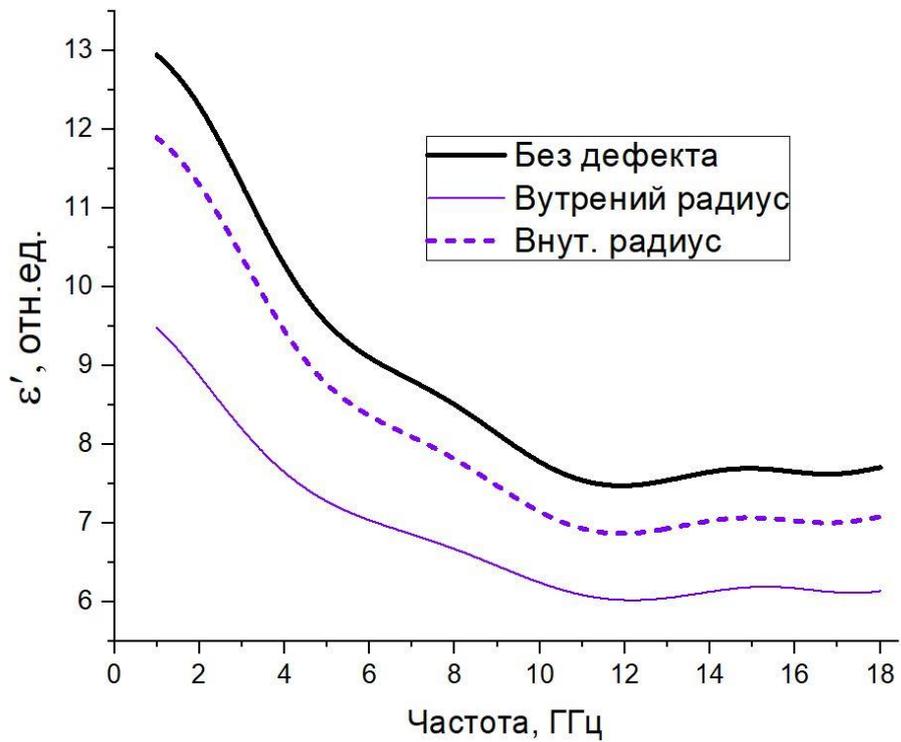


Рисунок 32– Сравнение влияния объема

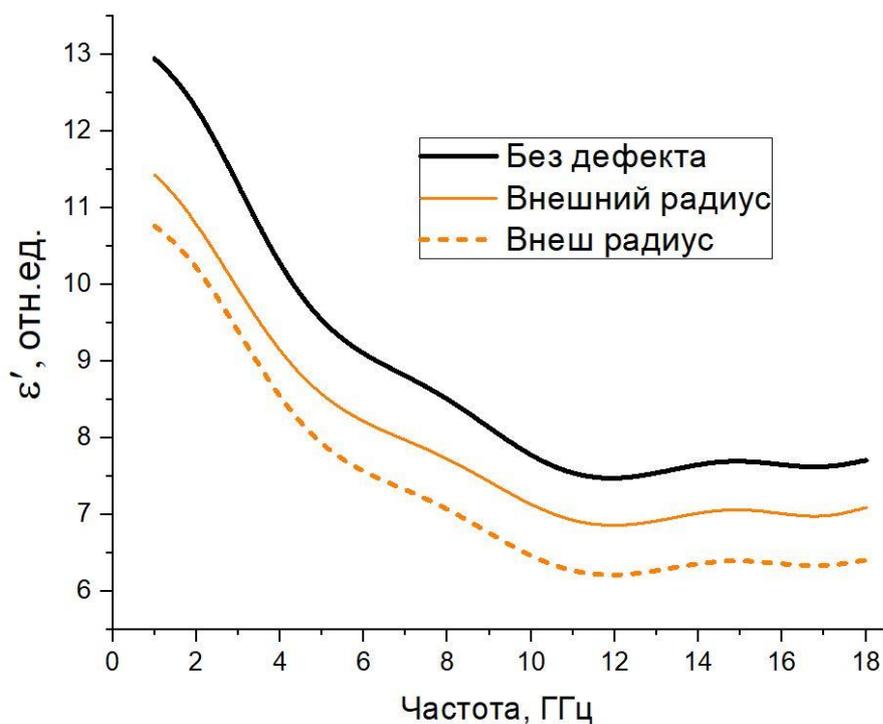


Рисунок 33 – Сравнение влияния объема

Как можем заметить результаты у нас сошлись только с шариками воздуха. А воздушные полости в образце сошлись не так хорошо. Внутренний и внешний радиус образца сильно отличаются от результатов моделирования. Мы предположили, что волна огибает шарики воздуха в образце и поэтому не вносит погрешности в результаты измерения, в отличие от воздушных полостей, которые выполнены в форме прямоугольного параллелепипеда. Для проверки данной теории мы добавили в образец цилиндры такого же объема.

Следуя вышеприведенному алгоритму, мы проанализировали материал с цилиндрическими воздушными включениями (рисунок 34). Полученные результаты представлены на рисунке 35.

Как можем заметить из рисунка выше, цилиндрические полости оказали большее влияние на диэлектрическую проницаемость, чем прямоугольные параллелепипеды. Это показывает, что не только объем вляет на измерения, но и форма технологических погрешностей.

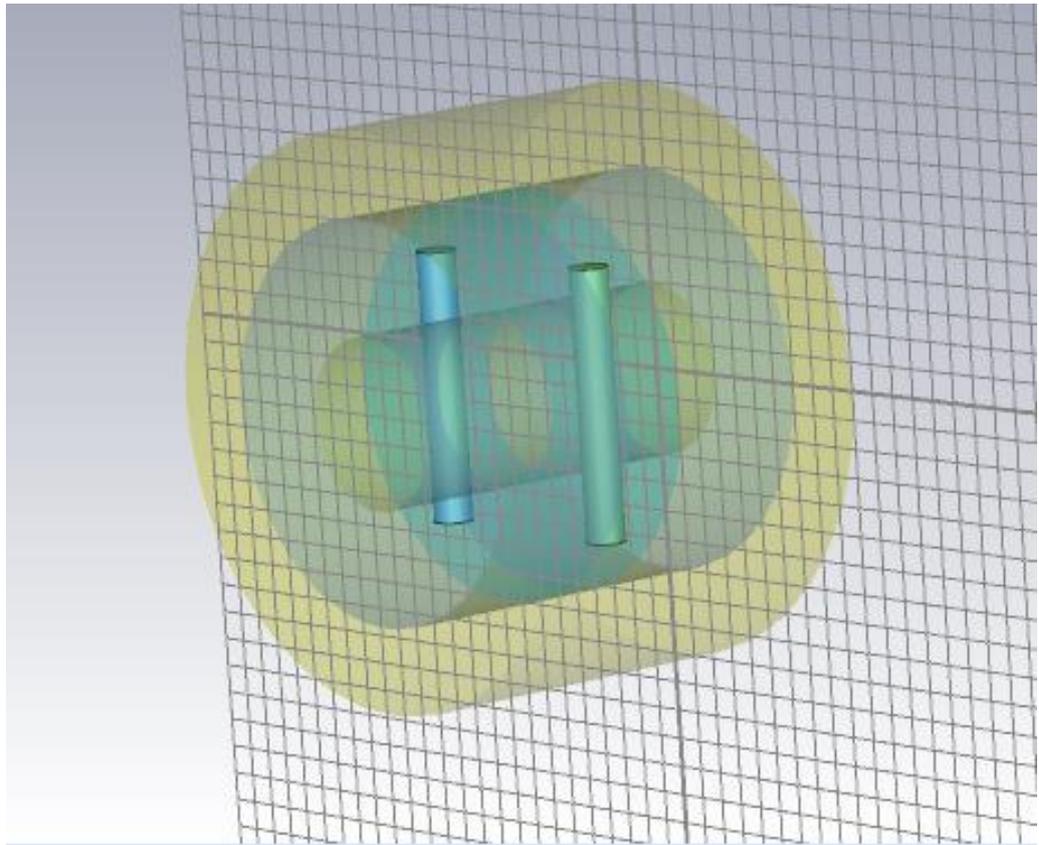


Рисунок 34 – Образец с 2-мя цилиндрами

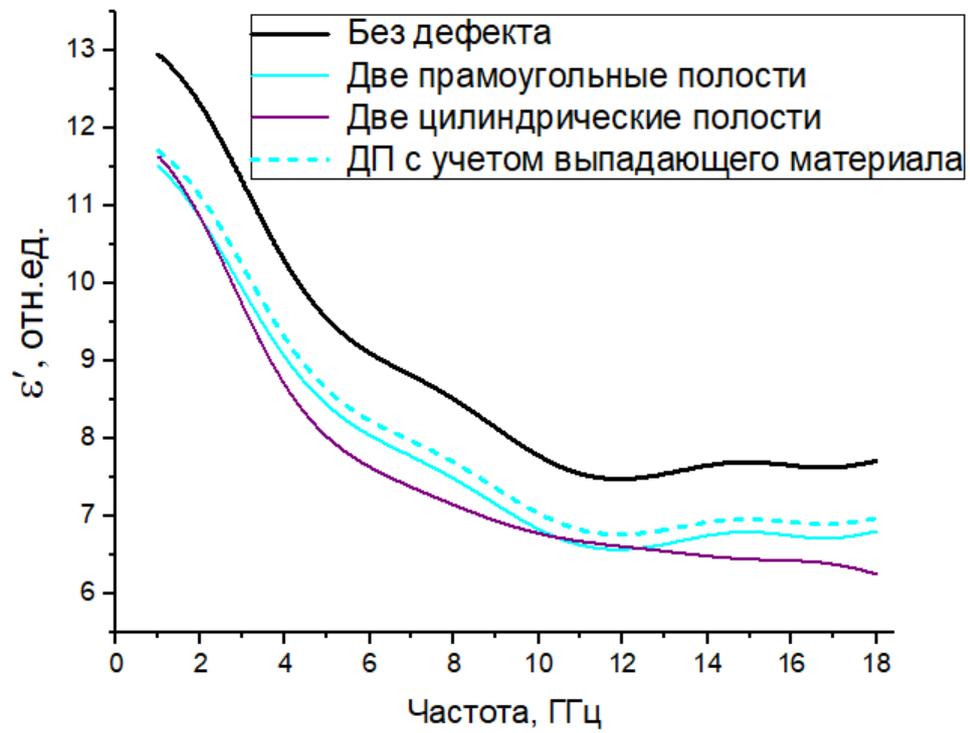


Рисунок 35 – Сравнение прямоугольных и цилиндрических полостей

4.2.4 Рассмотрение распространения волны в коаксиальной ячейке

Далее для объяснения полученных результатов, мы решили рассмотреть распределение электромагнитных волн в коаксиальных ячейках. Так как в нашей коаксиальной ячейке с заданными размерами (7х3 мм) и в нужном нам частотном диапазоне (0,1 до 18 ГГц) распространяются T волны, то в дальнейшем ограничимся только ими.

Как видно из рисунка 36 в волнах T типа электрические (красные) силовые линии представляют собой прямые линии, идущие по радиусам, то есть вектор E в цилиндрической системе координат имеет только одну компоненту E_r . Другие две компоненты E_φ и E_z равны нулю. А магнитные (зеленые) силовые линии имеют вид концентрических окружностей, то есть из трех составляющих вектора H в цилиндрической системе координат не равна нулю только одна компонента H_φ . Вблизи центрального проводника силовые линии расположены гуще, чем у наружного. Поэтому вблизи центрального проводника напряженность электрического и магнитного полей значительно больше, чем у наружного проводника. По мере удаления от поверхности центрального проводника напряженность поля уменьшается обратно пропорционально r , если диэлектрик между проводниками линии однороден. Таким образом, вблизи центрального проводника коаксиальной линии напряженность электрического и магнитного полей больше, чем у наружного, в D/d раз [12].

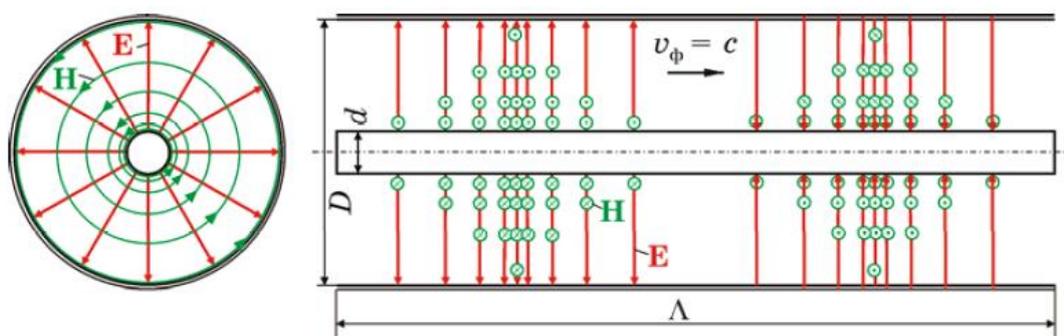


Рисунок 36 – Структура электрического (красные) и магнитного (синие) полей бегущей волны типа T в коаксиальной линии

Так же в подтверждение этому можно представить картинки распределения электрического (рисунок 37) и магнитного (рисунок 38) поля при моделировании в CST Studio.

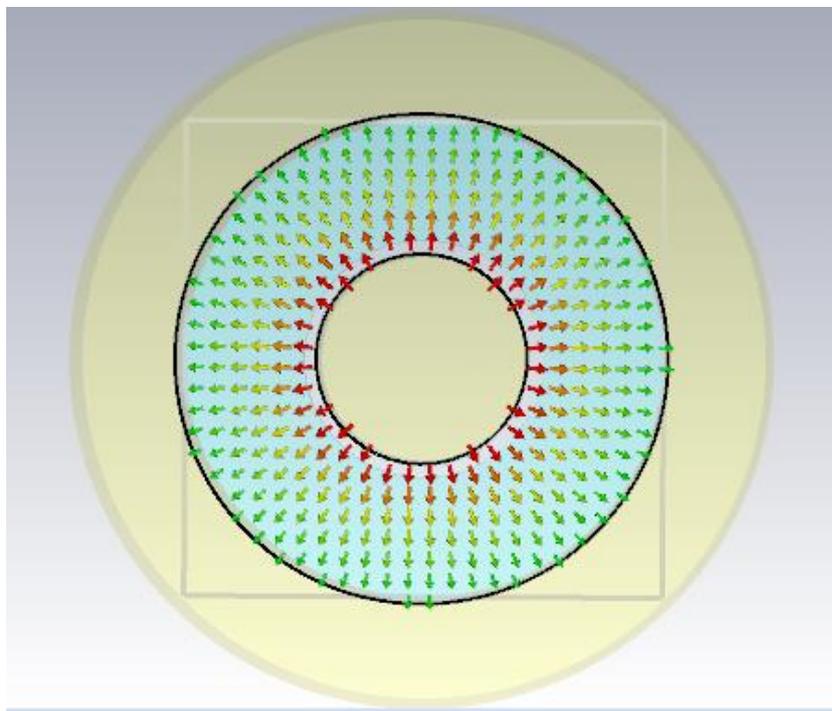


Рисунок 37 – Распределение электрического поля

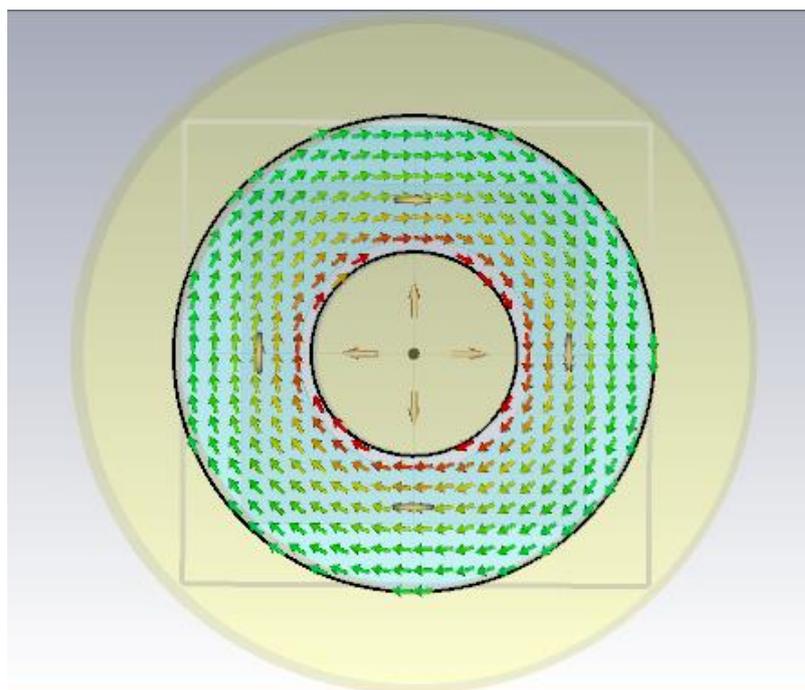


Рисунок 38 – Распределение магнитного поля

Это позволяет нам объяснить большее влияние дефектов вблизи центрального проводника на измеряемые электромагнитные характеристики, чем влияние дефектов вблизи внешнего проводника. Это обуславливается большей концентрацией электрической и магнитной составляющей полей вблизи центрального проводника, что в нашем случае составляет более чем в 2,3 раза.

4.2.5 Оценка влияния изменения внутреннего радиуса образца

Для большего понимания влияния изменения внутреннего радиуса образца на измеряемые электромагнитные характеристики, были построены графики электромагнитных параметров при различных величинах внутреннего радиуса измеряемого образца.

Из графиков (рисунки 39-40) видно, что увеличение внутреннего радиуса измеряемого образца приводит к значительному (в несколько раз) уменьшению как действительной части, так и мнимой части комплексной диэлектрической проницаемости. При этом влияние на диэлектрические потери выше, чем на действительную часть диэлектрической проницаемости.

На следующих графиках (рисунки 41-42) показано, что увеличение внутреннего радиуса измеряемого образца гораздо меньше влияет на комплексную магнитную проницаемость, чем на диэлектрическую. Однако на более высоких частотах влияние на мнимую часть магнитной проницаемости становится больше, чем на действительную.

Для лучшего представления и интерпретации полученных данных были построены графики зависимостей диэлектрической и магнитной проницаемости от увеличения внутреннего радиуса образца при различных частотах.

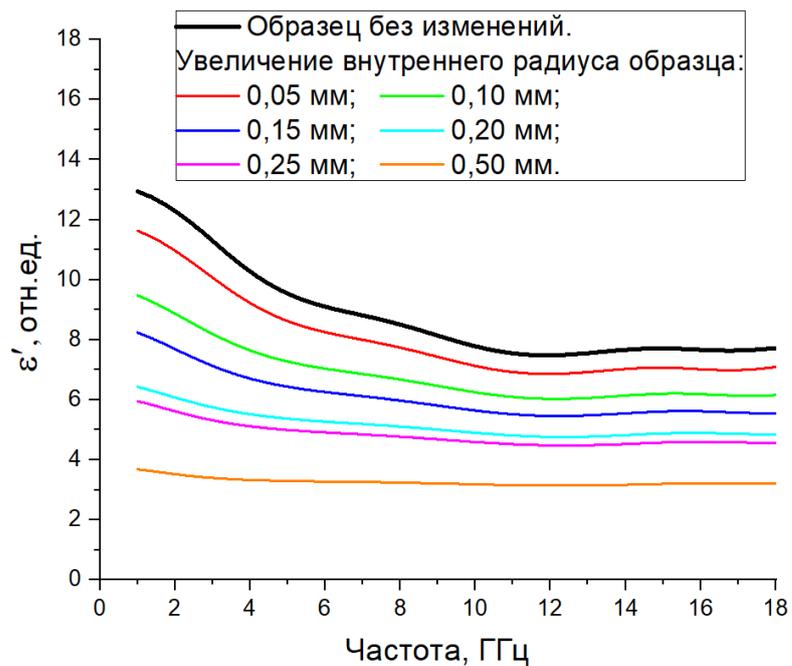


Рисунок 39 – Влияние внутреннего радиуса образца на ϵ'

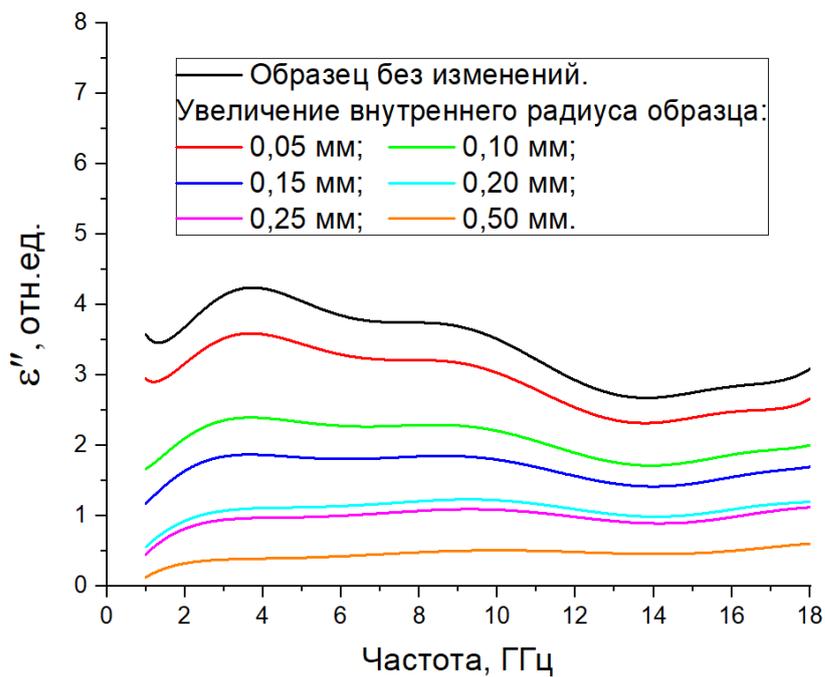


Рисунок 40 – Влияние внутреннего радиуса образца на ϵ''

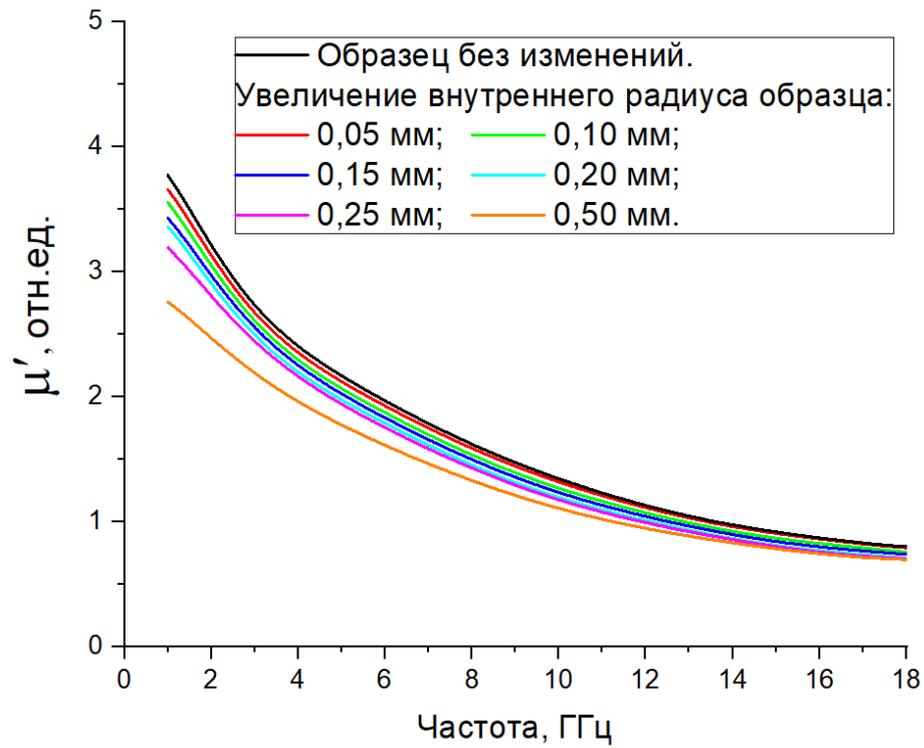


Рисунок 41 – Влияние внутреннего радиуса образца на μ'

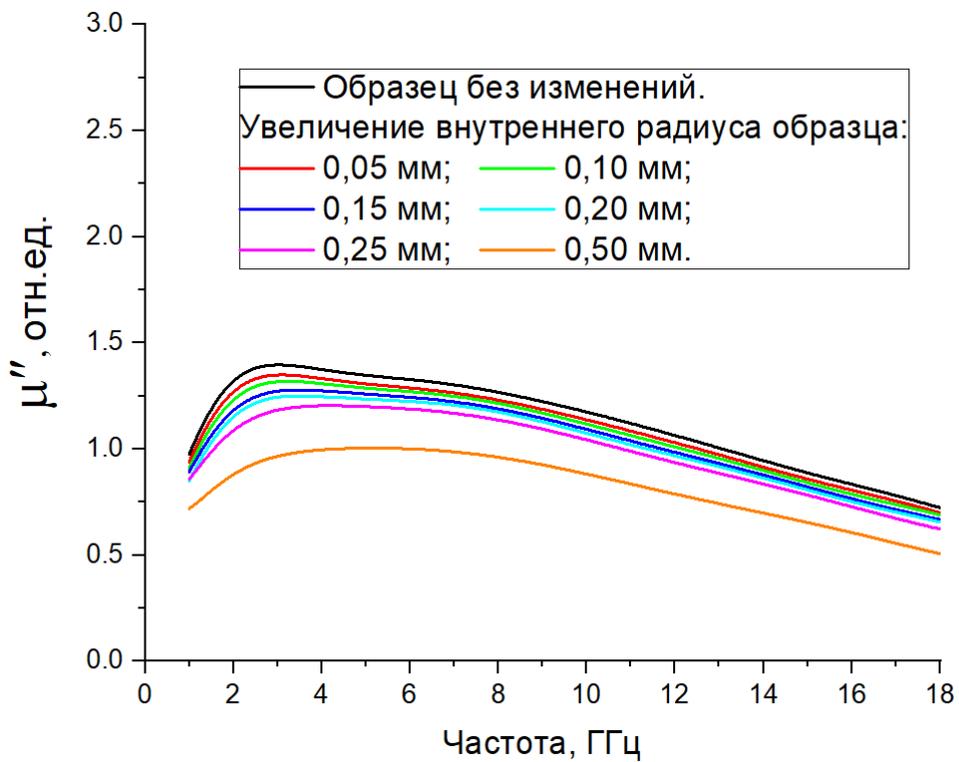


Рисунок 42 – Влияние внутреннего радиуса образца на μ''

Из зависимости, представленной на рисунке 43 видно, что диэлектрическая проницаемость имеет не линейную зависимость от внутреннего радиуса образца. На начальном участке до внутреннего радиуса образца 3,2 мм уменьшение диэлектрической проницаемости более значительное, чем при дальнейшем увеличении внутреннего радиуса. Это обусловлено радиальным распределением электрического поля в коаксиальной линии с большей концентрацией вблизи центрального проводника. По сути коаксиальная линия представляет собой цилиндрический конденсатор. Наличие воздушного слоя вблизи центрального проводника приводит к значительному уменьшению его емкости и соответственно рассчитываемой диэлектрической проницаемости. Причем погонная емкость коаксиальной линии уменьшается по логарифмическому закону от отношения внешнего и внутреннего диаметров линии D/d [12].

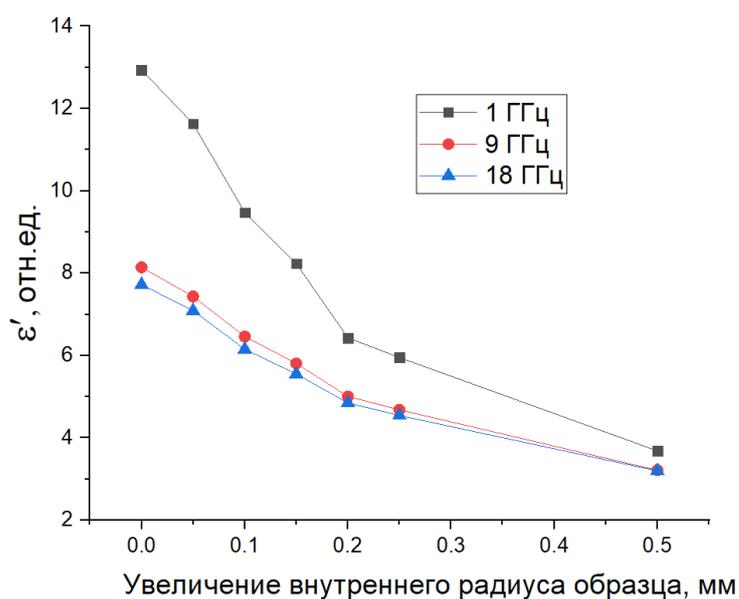


Рисунок 43 – Зависимость ϵ' от изменения внутреннего радиуса образца

Для магнитной же проницаемости (рисунок 44) мы имеем почти линейную зависимость от увеличения внутреннего радиуса образца. Это можно также объяснить большей концентрацией электрической и магнитной составляющей полей вблизи центрального проводника.

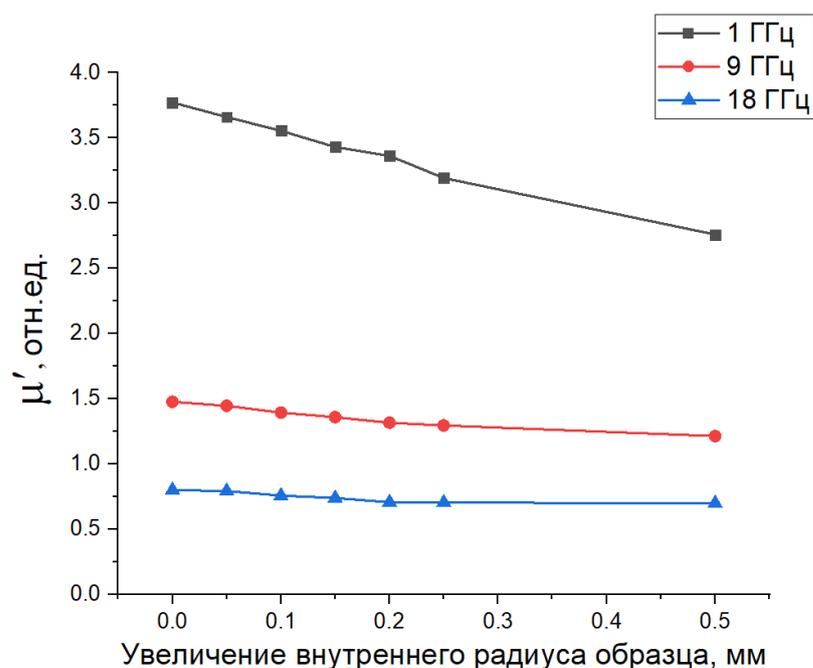


Рисунок 44 – Зависимость μ' от изменения внутреннего радиуса образца

4.2.6 Оценка влияния изменения внешнего радиуса образца

Для понятия влияния изменения внешнего радиуса образца на измеряемые электромагнитные характеристики, также были построены графики электромагнитных параметров.

Как видно из графиков (рисунки 45–46) уменьшение внешнего радиуса образца также приводит к уменьшению комплексной диэлектрической проницаемости, но не так сильно по сравнению с увеличением внутреннего радиуса.

А влияние на комплексную магнитную проницаемость (рисунки 47–48) при уменьшении внешнего радиуса образца значительно меньше, чем влияние на комплексную диэлектрическую проницаемость. Изменения внутреннего и внешнего радиусов образца почти одинаково влияют на действительную часть комплексной магнитной проницаемости, чего не скажешь про мнимую часть магнитной составляющей. Но даже так, среднее отклонение не превышает и 10%.

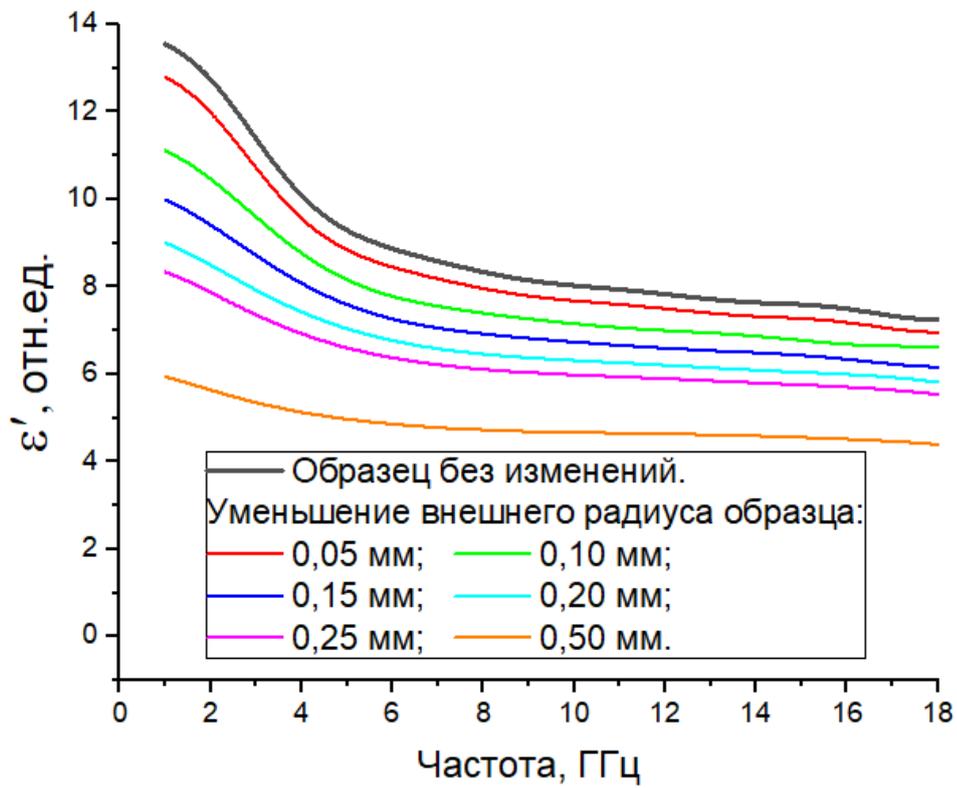


Рисунок 45 – Влияние внешнего радиуса образца на ϵ'

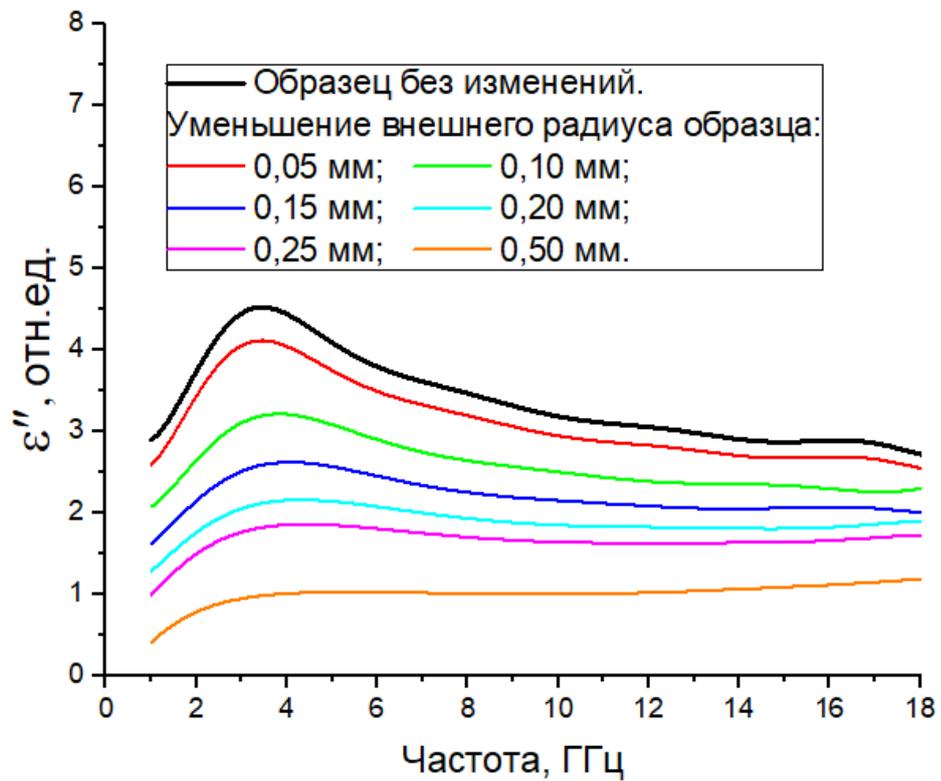


Рисунок 46 – Влияние внешнего радиуса образца на ϵ''

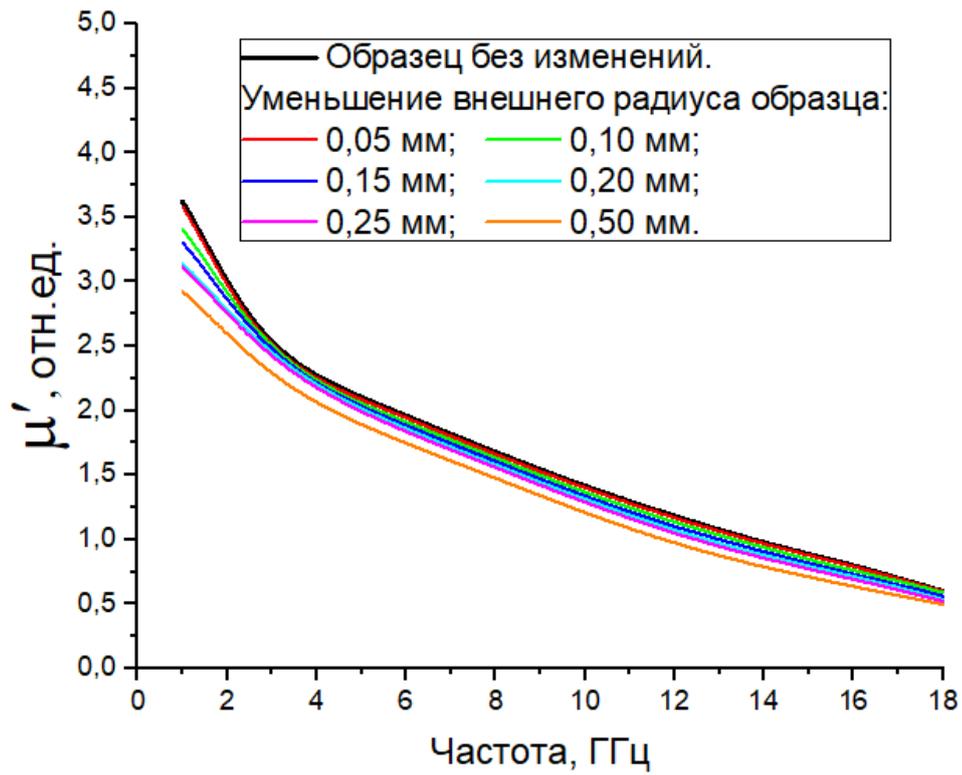


Рисунок 47 – Влияние внешнего радиуса образца на μ'

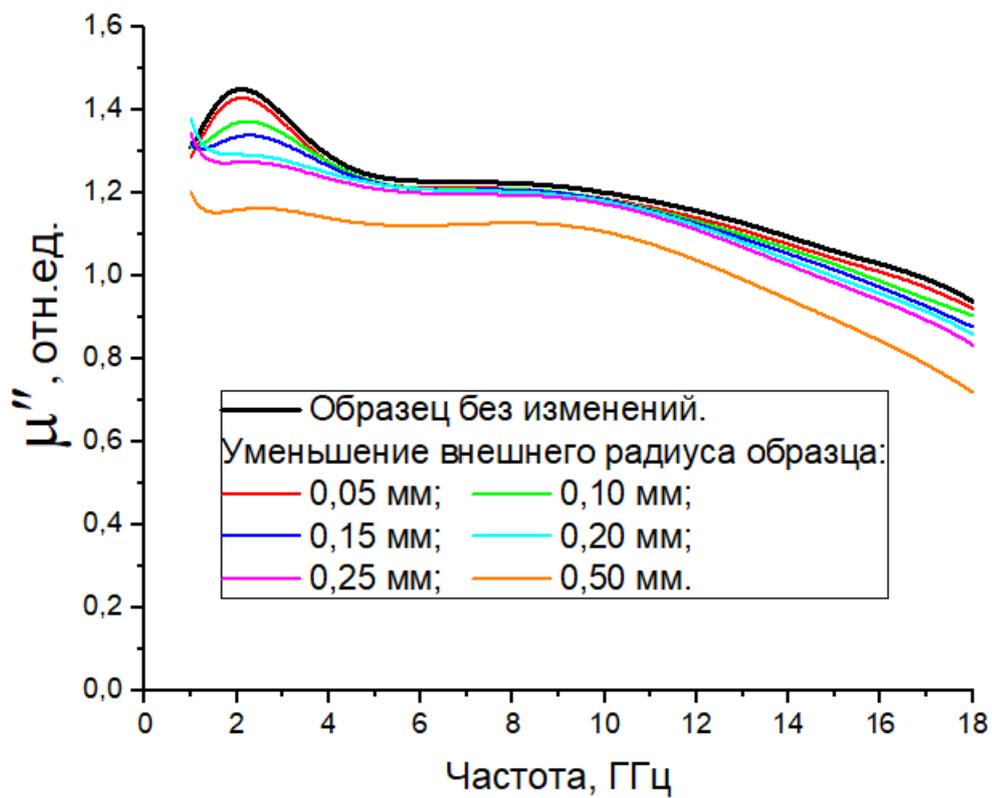


Рисунок 48 – Влияние внешнего радиуса образца на μ''

4.2.7 Оценка влияния не плоскопараллельного образца

Далее мы промоделировали не плоскопараллельный образец, у которого одна плоскость сточена под углом больше, чем вторая (рисунок 49).

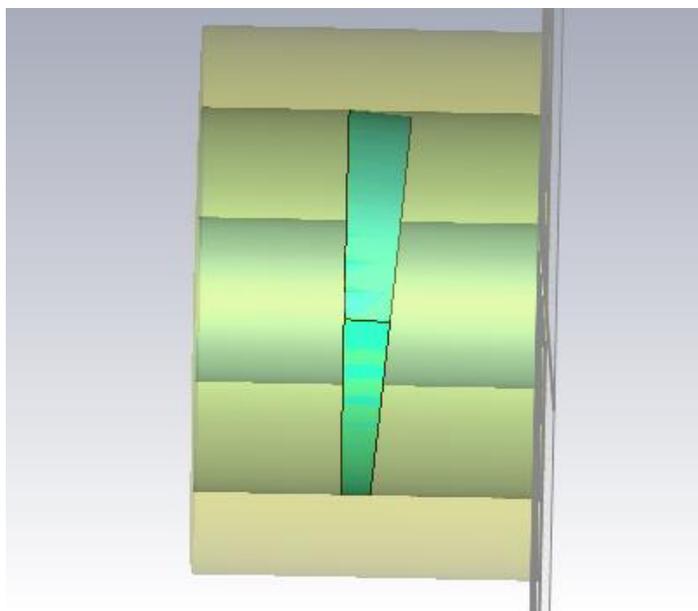


Рисунок 49 – Не плоскопараллельный образец

Из графиков представленных на рисунках 50–51, можем увидеть, как влияет не точность обработки образца на его измеряемые комплексные диэлектрическую и магнитную проницаемости.

Из графика на рисунке 50 видно, что погрешность в изготовлении образца приводит к уменьшению значений действительной части диэлектрической проницаемости примерно в 1,5 раза. А на мнимую часть это влияние гораздо меньше и более того на высоких частотах эти значения начинают сходиться.

На магнитную проницаемость данный дефект оказывает почти аналогичное влияние. Также видно (рисунок 51), что действительная часть магнитной проницаемости на более высоких частотах начинает сходиться к результатам образца без дефектов. Но этого не происходит с мнимой частью магнитной проницаемости. Это в значительной степени можно объяснить уменьшением средней толщины образца.

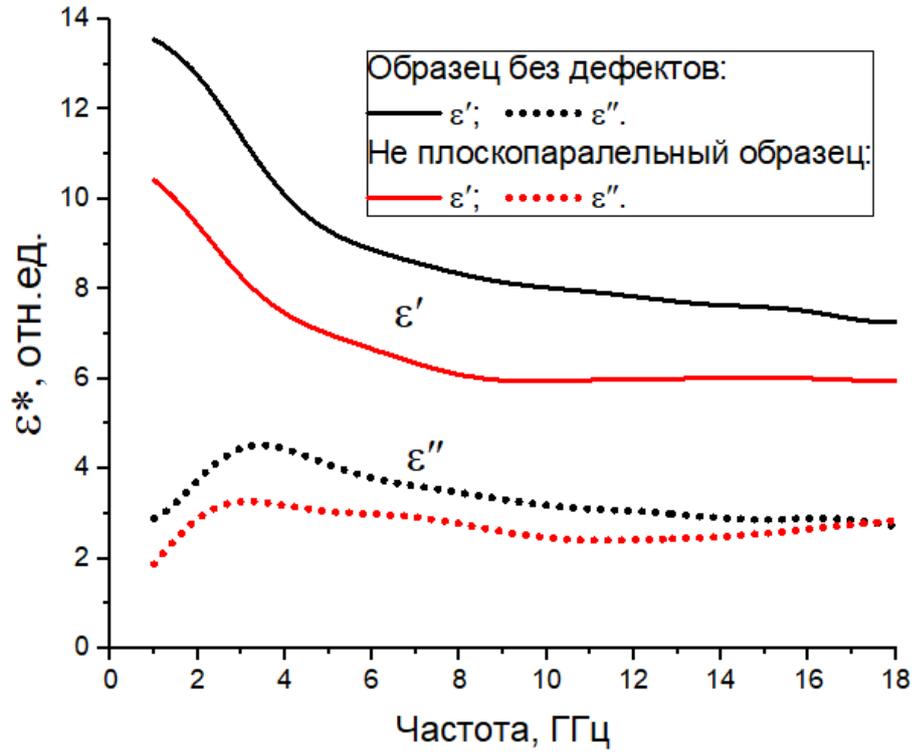


Рисунок 50 – Сравнение ϵ' и ϵ'' образца без дефектов и с не плоскопараллельным образцом

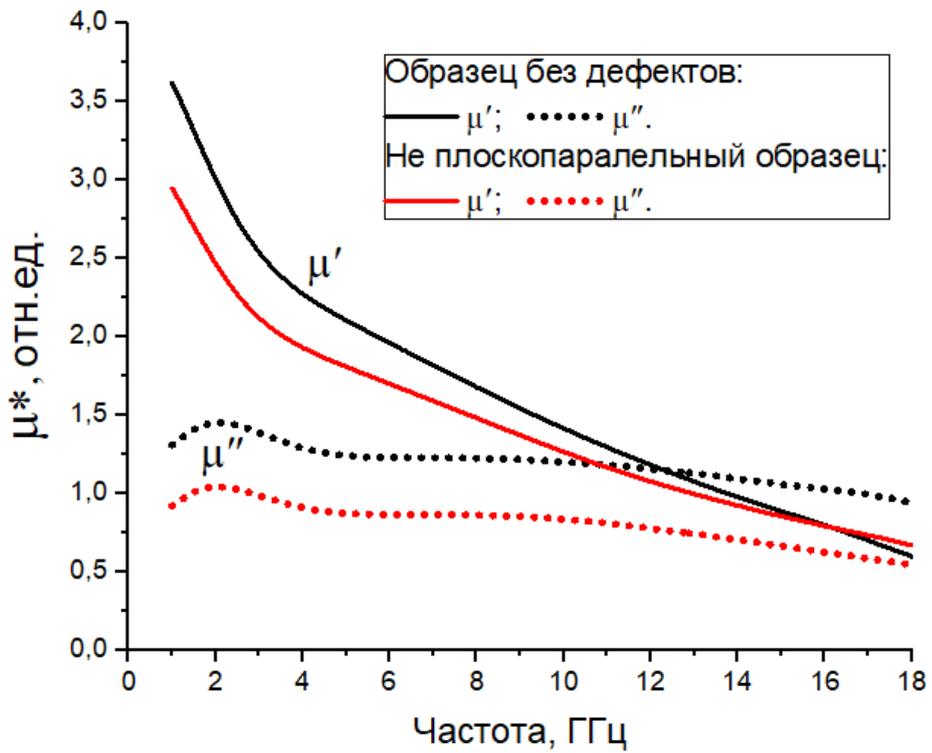


Рисунок 51 – Сравнение μ' и μ'' образца без дефектов и с не плоскопараллельным образцом

4.3 Выводы

Из проанализированных графиков можно сделать определенные выводы:

1) Расчет по методики Бейкера-Джарвиса показывает лучшее схождение значений комплексной диэлектрической проницаемости, чем расчет через комплексный коэффициент преломления.

2) На ϵ' наибольшее влияние оказывает изменение внутреннего, внешнего радиуса и уменьшение эффективного объема образца (2-е полоски).

3) На ϵ'' также больше всего влияет изменение внутреннего, внешнего радиуса.

4) На μ' влияние погрешностей хоть очень мало, но также проявляет себя. Наибольшее влияние оказывают уменьшение эффективного объема образца (2 полоски) и внутренний радиус.

5) А вот на μ'' уменьшение эффективного объема образца оказывает гораздо большее влияние, чем другие дефекты.

6) Вблизи центрального проводника напряженность электрического и магнитного полей значительно больше, чем у наружного проводника. Это позволяет нам объяснить большее влияние дефектов вблизи центрального проводника на измеряемые электромагнитные характеристики, чем влияние дефектов вблизи внешнего проводника.

5 Безопасность труда

Для эффективности работы предприятия, одним из главных критериев является безопасность условия труда (БУТ). Безопасные условия – понятия субъективное, поэтому для его конкретизации на законодательном уровне введены различные нормы и правила, которые регулируют охрану труда рабочих. От том, что собой представляет данный термин и какие и какие нормы были соблюдены при написании данной работы, далее в этой главе.

Безопасность труда (БТ) – это обобщенные требования, обеспечивающие БУТ и регулирующие поведение работника в этих условиях. БУТ подразумевает исключение влияния опасных и вредных производственных факторов на здоровье сотрудников [13].

Охрана труда – это система сохранения жизни и здоровья человека в процессе трудовой деятельности, включающая организационно-технические, правовые, социально-экономические, лечебно-профилактические, санитарно-гигиенические, реабилитационные и другие мероприятия.

Согласно статье 219 Трудового кодекса РФ каждый сотрудник имеет право на рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда [14]. Оно влияет на эффективность деятельности работника, на производительность труда, поэтому рабочее место должно соответствовать санитарно-эпидемиологическим правилам и нормам (СанПиН).

Написание дипломной работы осуществлялось в домашних условиях. Домашнее рабочее место располагается в комнате площадью 16 кв. м. В комнате одно окно, выходящее на солнечную сторону, также имеется потолочное освещение и настольная лампа.

Рабочее место представляет собой стол, на котором располагаются ноутбук, проводная компьютерная мышь, а также стул.

Основной нормативно-правовой документ СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» устанавливает санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам неионизирующей природы (далее физических

факторов) на рабочих местах и к источникам этих физических факторов, а также требования к методам измерения физических факторов на рабочих местах и мерам профилактики их вредного воздействия на здоровье работающих.

Контроль за проведением лабораторных исследований и испытаний осуществляется индивидуальными предпринимателями и юридическими лицами в соответствии с законодательством Российской Федерации [15].

Опираясь на данный документ СанПиН, проанализированы такие физические показатели, как:

- микроклимат рабочего места;
- уровень шума на рабочем месте;
- количественные характеристики освещения;
- электробезопасность.

5.1 Микроклимат рабочего места

Климат внутренней среды различных помещений называется микроклиматом. Он определяется сочетанием нескольких параметров: влиянием на организм человека температуры воздуха и поверхностей, а также влажности воздуха и скорости его движения.

Факторы микроклимата влияют на состояние здоровья человека и на его работоспособность. Например, высокие температуры приводят к тепловым ударам, повышению давления; низкие – к простудным заболеваниям, переохлаждению. Низкая влажность провоцирует пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей. Все это может привести к профессиональным заболеваниям. В рамках принципов охраны труда первостепенной мерой считается обеспечение правильного микроклимата рабочего места [16].

Согласно СанПиН 2.2.4.3359-16, данная работа относится к категории Ia, т.к. энергозатраты не превышают 139 Вт.

Для анализа микроклимата на рабочем месте необходимо знать оптимальные условия согласно СанПиН. В таблице 1 приведены оптимальные условия микроклимата и измеренные условия микроклимата рабочего места.

Таблица 1 – Оптимальные и измеренные условия микроклимата

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Оптимальные условия микроклимата					
Холодный	Ia	22-24	21-25	60-40	0,1
Измеренные условия микроклимата рабочего места					
Холодный	Ia	22	20-24	58	0

Температура воздуха измерена при помощи комнатного термометра, а поверхности измерялись при помощи бесконтактного пирометра. Влажность воздуха была измерена при помощи часов, в которых есть встроенный гигрометр. В результате измерений определено, что все показатели соответствуют необходимым условиям, прописанным в таблице 1.

5.2 Уровень шума на рабочем месте

Люди, подвергающиеся шумовому воздействию, жалуются на головные боли, которые могут иметь разную интенсивность и локализацию, головокружение при перемене положения тела, снижение памяти, повышенную утомляемость, сонливость, нарушения сна, эмоциональную неустойчивость, снижение аппетита и другие [17]. Шумы уровня 80–100 дБ при длительном воздействии приводят к заболеванию нервной системы, а более 100 дБ – к снижению слуха, вплоть до глухоты [18].

Опираясь на требования СанПиН 2.2.2.542-96, уровень шума в помещении не должен превышать 65дБ [19].

Измерение шума проводилось при помощи мобильного приложения «Шумомер» (рисунок 52).



Рисунок 52 – Измерение уровня шума на рабочем месте

Максимальное значение шума составило 54 дБ, что соответствует нормативному значению и данное значение шума на рабочем месте не является вредным фактором.

5.3 Количественные характеристики освещения

Помещение, в котором работник проводит более 50% рабочего времени, должно иметь совместное освещение – присутствие как естественного освещения, так и искусственного. Плохое освещение способствует развитию близорукости. При недостатке освещения падает скорость различения предметов, что ведёт к усталости центральной нервной системы, и в целом ухудшении эмоционального состояния человека. Чтобы избежать негативные последствия, необходимо увеличить число ламп и качество освещения.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 значение освещенности рабочего места должно быть в интервале 300–500 лк [20].

Выполнены замеры показателей освещенности при помощи мобильного приложения «Lux Meter». Результат измерений представлен на рисунке 53.



Рисунок 53 – Измерение уровня освещенности

Среднее значение освещенности составило 405 лк, что соответствует норме и не является вредным фактором.

5.4 Электробезопасность

Электробезопасность при работе с ПЭВМ в помещении обеспечивается следующими мероприятиями:

- защита от напряжения, все токоведущие части должны быть изолированы;
- категорически запрещается производить разъединение составных частей ПЭВМ во включенном состоянии;

- запрещается использовать поврежденные кабели и провода и другие электроприборы;
- для защиты от поражения электрическим током необходимо наличие защитного заземления;
- защита от токов короткого замыкания должна осуществляться быстродействующими устройствами защиты, автоматическими выключателями и предохранителями.

В случае поражения человека электрическим током, необходимо обесточить питающую сеть автоматическим выключателем, переместить пострадавшего в безопасное место, воспользоваться медицинской аптечкой для оказания первой медицинской помощи и вызвать скорую помощь.

В результате анализа и проведения измерения фактических показателей рабочего места можно сделать вывод, что рабочее место соответствует санитарно-гигиеническим правилам и нормам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы достигнуты следующие результаты:

- проведен литературный обзор по изготовлению и измерению композиционных радиоматериалов;
- проведен анализ публикационной активности по тематике работы;
- промоделирована коаксиальная ячейка с исследуемым образцом внутри;
- в исследуемый образец вводились различные технологические погрешности, которые влияли на рассчитываемые электромагнитные характеристики образца;
- построены графики зависимости влияния каждой технологической погрешности на результаты расчётов диэлектрической и магнитной проницаемости образца;
- сформулированы выводы по влиянию неоднородностей образцов на рассчитываемые электромагнитные параметры;
- описана исследование по технике безопасности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микран [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.micran.ru> (дата обращения 4.04.2019)
2. Землянухин Ю. П. Электромагнитные характеристики композиционных радиоматериалов, активно взаимодействующих с электромагнитным излучением миллиметрового диапазона: дисс. ... канд. техн. наук / Ю. П. Землянухин. – Томск, 2014. – 118 с.
3. Меньшова С. Б., Вергазов Р. М., Андреев В. Г. Ферриты – изделия стратегического значения – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ferrity-izdeliya-strategicheskogo-znacheniya> (дата обращения 5.03.2019)
4. Scopus – международная реферативная база данных. – URL: <http://www.scopus.com> (Дата обращения 10.01.2022)
5. Studbooks. [Электронный ресурс]. – URL: https://studbooks.net/1923113/matematika_himiya_fizika/issleduemye_obraztsy_u_stanovka (дата обращения 17.03.19)
6. Гранат (минерал) [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Гранат_\(минерал\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Гранат_(минерал)) (дата обращения 17.03.19)
7. Tong G. Enhanced electromagnetic characteristics of carbon nanotubes / carbonyl iron powders complex absorbers in 2–18GHz ranges / G. Tong, W. Wu, Q. Hua, Y. Miao, J. Guan, H. Qian // Journal of alloys and compounds. – 2011. – V. 509. – Is. 2. – P. 451–456
8. Скалярные анализаторы цепей серии P2M / Микран. – URL: <http://www.micran.ru/productions/instrumentation/sna/p2m/> (дата обращения 22.04.2019)
9. Векторные анализаторы цепей серии P4M / Микран. – URL: <http://www.micran.ru/productions/instrumentation/vna/P4M/> (дата обращения 22.04.2019)
10. Hanemann T. 3D Printing of ABS Barium Ferrite Composites / T. Hanemann, D. Syperek, D. Nötzel // Materials. – 2020. – № 13. – P. 1–13.

11. Chalapat K. Wideband Reference-Plane Invariant Method for Measuring Electromagnetic Parameters of Materials / K. Chalapat, K. Sarvala, J. Li, G. S. Paraoanu // Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on – 2009. – V. 57. – Is. 9. – P. 2257–2267.
12. Изюмова Т.И. Волноводы, коаксиальные и полосковые линии / Т.И. Изюмова, В.Т. Свиридов. – М.: «Энергия», 1975, 112 с.
13. Онлайн-журнал про охрану труда – [Б. м.], – URL: <https://ohranatryda.ru> (Дата обращения 15.01.2022).
14. Консультант Плюс – [Б. м.], – URL: <http://www.consultant.ru> (Дата обращения 15.01.2022).
15. Электронный фонд технических документов – [Б. м.], – URL: <https://docs.cntd.ru> (Дата обращения 16.01.2022).
16. Мир климата – [Б. м.], – URL: <https://mir-klimata.info> (Дата обращения 16.01.2022).
17. Влияние шума на организм человека – [Б. м.], – URL: <https://zazdorovye.ru> (Дата обращения 16.01.2022).
18. Научный журнал. Успехи современного естествознания – [Б. м.], – URL: <https://www.natural-sciences.ru> (Дата обращения 16.01.2022).
19. СанПиН 2.2.2.542-96 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным ЭВМ и организации работы – [Б. м.], – URL: <https://docs.cntd.ru> (Дата обращения 16.01.2022).
20. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов – [Б. м.], – URL: <https://docs.cntd.ru> (Дата обращения 16.01.2022).

Отчет о проверке на заимствования №1



Автор: Кулешов Григорий
Проверяющий: Кулешов Григорий (grigrey03@gmail.com / ID: 9255917)
 Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - users.antiplagiat.ru

Руководитель ВКР
 канд. физ.-мат. наук, доцент

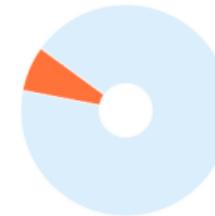
Г.Е. Кулешов

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 3
 Начало загрузки: 20.01.2022 19:57:45
 Длительность загрузки: 00:00:01
 Имя исходного файла: Семенов Диплом Итог.pdf
 Название документа: Семенов Диплом Итог
 Размер текста: 49 кБ
 Символов в тексте: 50270
 Слов в тексте: 5723
 Число предложений: 346

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Начало проверки: 20.01.2022 19:57:47
 Длительность проверки: 00:00:07
 Комментарии: не указано
 Модули поиска: Интернет Free



ЗАИМСТВОВАНИЯ
 6,65%

САМОЦИТИРОВАНИЯ
 0%

ЦИТИРОВАНИЯ
 0%

ОРИГИНАЛЬНОСТЬ
 93,35%

Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.

Самоцитирования — доля фрагментов текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа, по отношению к общему объему документа.

Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общепотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.

Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.

Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.

Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которым шла проверка, по отношению к общему объему документа.

Заимствования, самоцитирования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.

Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в отчете	Источник	Актуален на	Модуль поиска
[01]	4,03%	ФЕРРИТЫ - ИЗДЕЛИЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ https://yandex.ru	28 Сен 2019	Интернет Free
[02]	0%	ФЕРРИТЫ - ИЗДЕЛИЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ - тема научной статьи по общим и комплексным проблемам естественных и точных наук, читайте бесплатно текст научно-исследовательской работы в электронной библиотеке КиберЛенинка https://yandex.ru	01 Дек 2014	Интернет Free
[03]	0%	Ферриты изделия стратегического значения https://cyberleninka.ru	18 Янв 2022	Интернет Free

Еще источников: 7

Еще заимствований: 2,61%