

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики полупроводников

**Исследование диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков  
волноводным методом**  
**АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ**

студента 2 курса 202 группы  
направления 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»  
факультета нано - и биомедицинских технологий

Зыкова Кирилла Александровича

Научный руководитель

доцент, к.ф.-м.н., доцент

должность, ученая степень, ученое звание

С.А. Сергеев

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание

А.И. Михайлов

инициалы, фамилия

Саратов 2018

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Актуальность исследования.**

Любое вещество или тело, окружающее нас, обладает определенными электрическими свойствами. Это объясняется молекулярной и атомной структурой: наличием заряженных частиц, находящихся во взаимно связанном или свободном состоянии.

Диэлектрическая проницаемость является одним из важнейших параметров, необходимых для изучения свойств различных материалов и структур. Поиск значений диэлектрической проницаемости вещества, в том числе изучение изменения комплексной диэлектрической проницаемость при изменении частоты и других параметров, имеет важное техническое и научное значение. Диэлектрические свойства материала определяют его перспективность в дальнейшем применении в той или иной технологической области. Существует множество методов определения диэлектрической проницаемости, каждый из них имеет свои особенности, преимущества и недостатки.

Изучение диэлектрических параметров материала позволяет связать макроскопические свойства (проводимость, комплексная диэлектрическая проницаемость, поляризуемость) с его микроскопическим структурным устройством (молекулярное строение вещества, упаковка и дефекты, особенности зонной структуры).

**Цель и задачи магистерской работы.** Целью магистерской работы является получение и исследование свойств водных растворов этилового спирта.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- получение экспериментальных частотных зависимостей КСВН и ослабления отрезков волновода, заполненных растворами в диапазоне 7,8-10,2 ГГц;
- получение теоретических частотных зависимостей коэффициентов отражения и ослабления отрезков волновода, заполненных растворами;

– расчет диэлектрической проницаемости с помощью экспериментальных данных;

– расчет диэлектрической проницаемости с помощью моделей эффективных сред.

### **Структура и объем работы**

Кроме ВВЕДЕНИЯ, ЗАКЛЮЧЕНИЯ, СПИСКА ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ПРИЛОЖЕНИЯ работа включает 5 основных разделов:

1 Аналитическая часть

2 Математическое моделирование

3 Экспериментальная часть.

Общий объем работы составляет 96 страницы и включает 30 рисунков.

**Положение, выносимое на защиту.** Установлено, что значения диэлектрической проницаемости растворов, полученные с помощью моделей эффективных сред и по экспериментальным данным, достаточно хорошо согласуются.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** описана актуальность темы исследования, раскрыта новизна работы, а так же сформированы цель и задачи исследования.

**В разделе 1** проводится анализ литературы по теме исследований, рассмотрены основные методы определения диэлектрической проницаемости и проведен их сравнительный анализ.

**В разделе 2** приводятся описания программ, используемых при математическом моделировании.

**Третий раздел** экспериментальный, он посвящен методике измерения и расчета диэлектрической проницаемости, в нём приводится схема установки и результаты эксперимента.

На рисунке 1 приведена частотная зависимость ослабления для различных длин заполненного участка кюветы. С увеличением толщины заполненного участка кюветы, ослабление растет, при этом имеется слабовыраженная зависимость от частоты. Можно заметить, что на частотах до

8.7 ГГц происходит частичное наложение графиков. Основные причины, которые могут объяснить это:

- 1) Неравномерно заполненный участок кюветы (при измерениях порядка 0,1 мм, требуется более точное оборудование настройки уровня).
- 2) Скорость измерения (жидкость испаряется при продолжительном эксперименте).
- 3) Слабая зависимость коэффициента пропускания от длины заполненного участка на частотах до 8,7 ГГц.

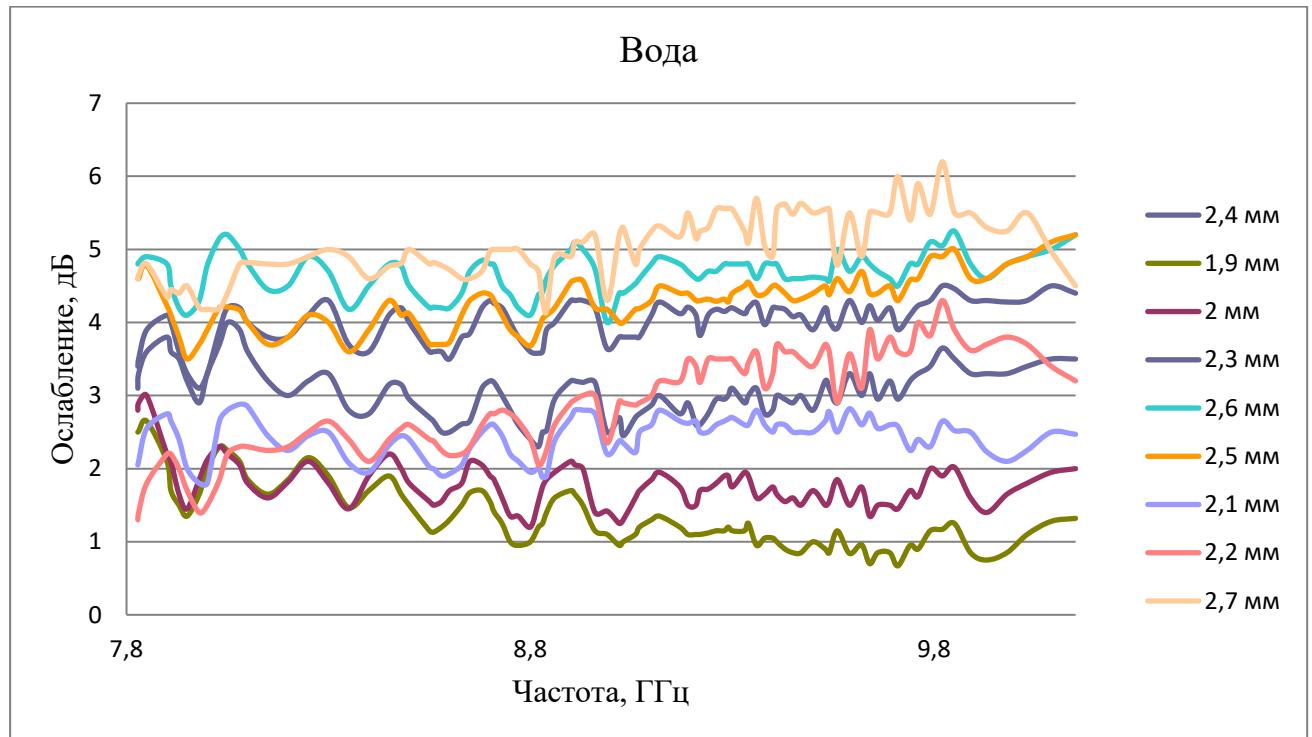


Рисунок 1 – Частотная зависимость ослабления для различных длин заполненного участка кюветы.

На рисунке 2 можно увидеть, что при незначительном (0,1 мм) увеличении толщины заполненного участка кюветы на частотах 8,1  $\div$  8,7 и 9,3  $\div$  9,5 графики имеют минимальные различия в значениях КСВН, на частотах 8,9  $\div$  -8,3 разница в значения максимальная.

Основные причины, которые могут объяснить это:

- 1) Неравномерно заполненный участок кюветы (возможно при измерениях порядка 0,1 мм, требуется более точное оборудование при настройке горизонтального уровня).

2) Человеческий фактор (случайное задевание рукой уровня калибровки, ошибки при записи данных).

3) Слабая зависимость коэффициента отражения от длины заполненного участка на частотах  $8,1 \div 8,7$  и  $9,3 \div 9,5$  ГГц.

На рисунке 3 видно, что при незначительном ( $0,1$  мм) увеличении толщины заполненного участка кюветы, графики имеют очень схожий вид, однако можно выделить области аппроксимации.

Основные причины, которые могут объяснить это:

- 1) Неравномерно заполненный участок кюветы (возможно при измерениях порядка  $0,1$  мм, требуется более точное оборудование при настройке горизонтального уровня).
- 2) С ростом толщины заполненного участка влияние различных флюктуаций и неоднородностей внутри жидкости начинает сильно влиять на коэффициент отражения, увеличивается рассеивание.

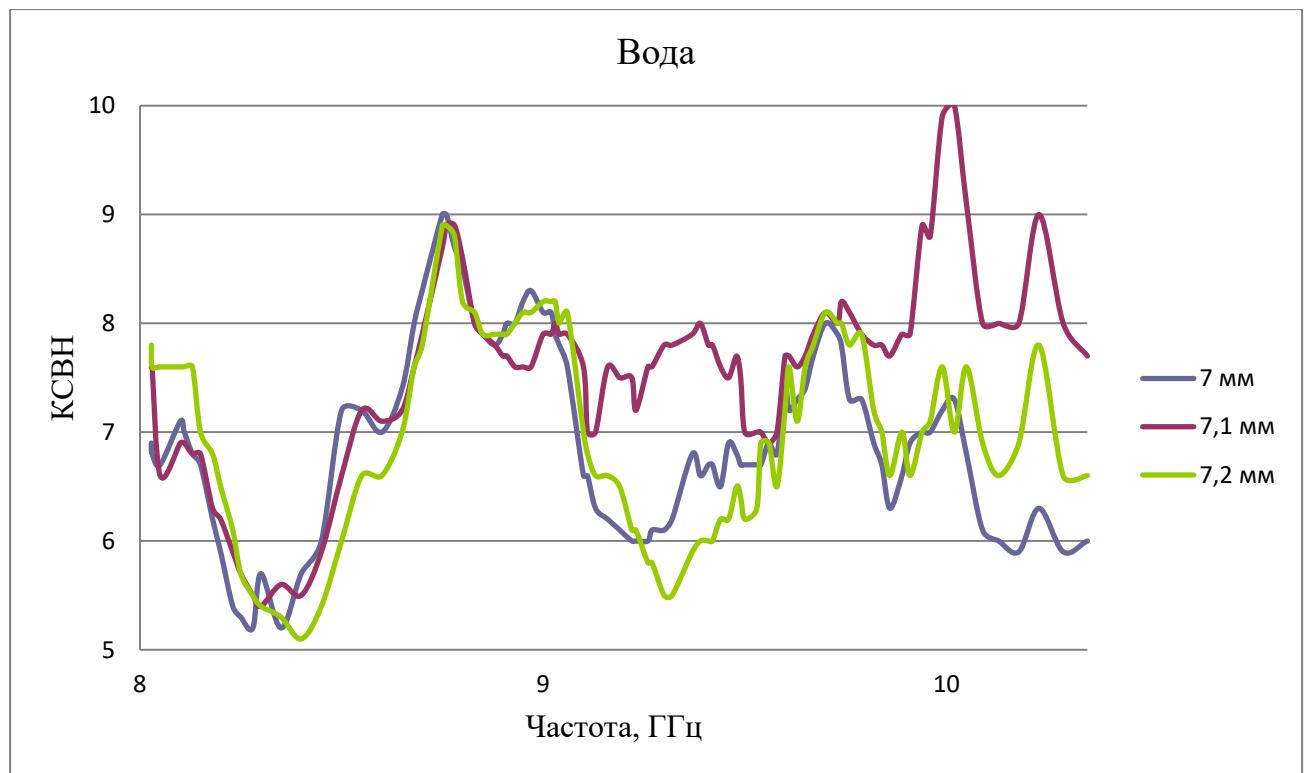


Рисунок 2 – Частотная зависимость КСВН для различных длин заполненного участка кюветы.

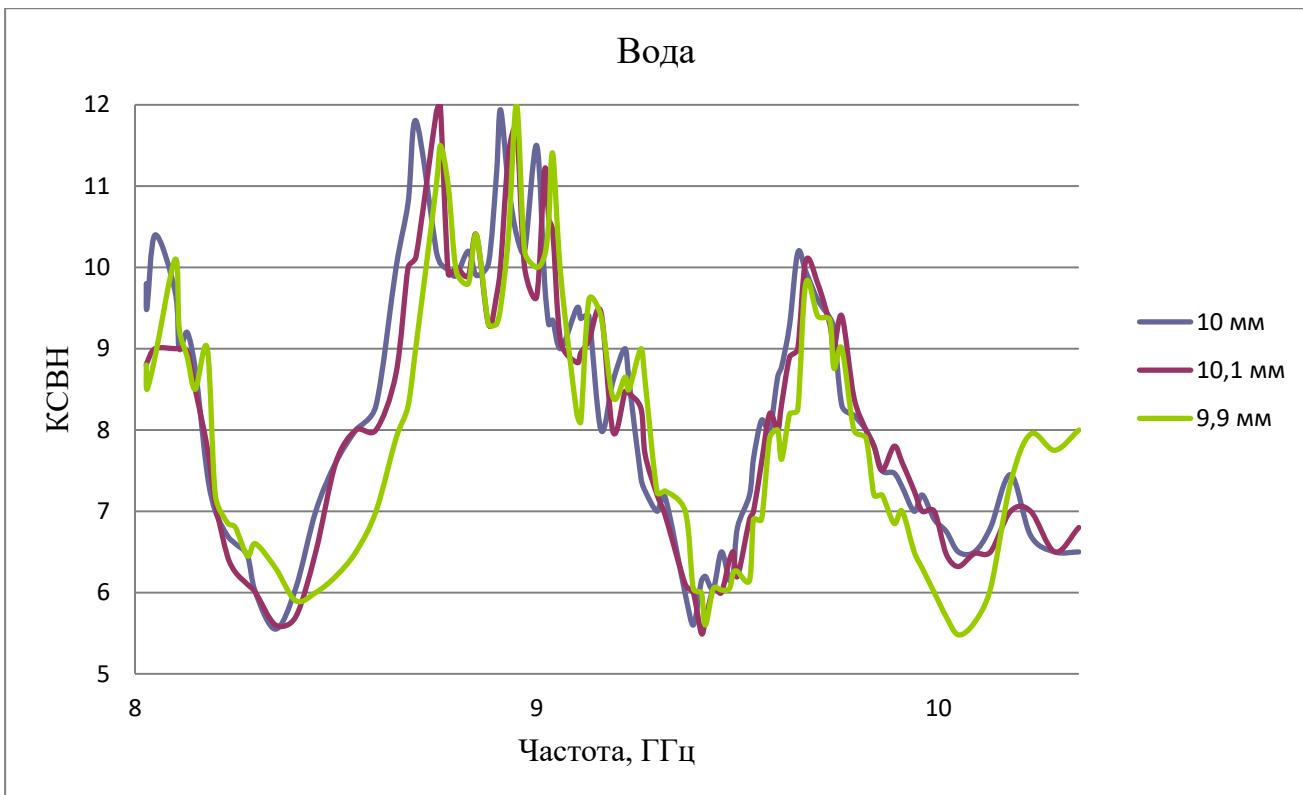


Рисунок 3 – Частотная зависимость КСВН для различных длин заполненного участка кюветы.

На рисунке 4 приведены зависимости КСВН от концентрации воды и спирта коллоидного раствора. Видно, что при увеличении содержания спирта КСВН уменьшается. Для 100 % концентрации спирта в растворе частота влияет на КСВН слабее, чем для раствора со 100 % концентрацией воды.

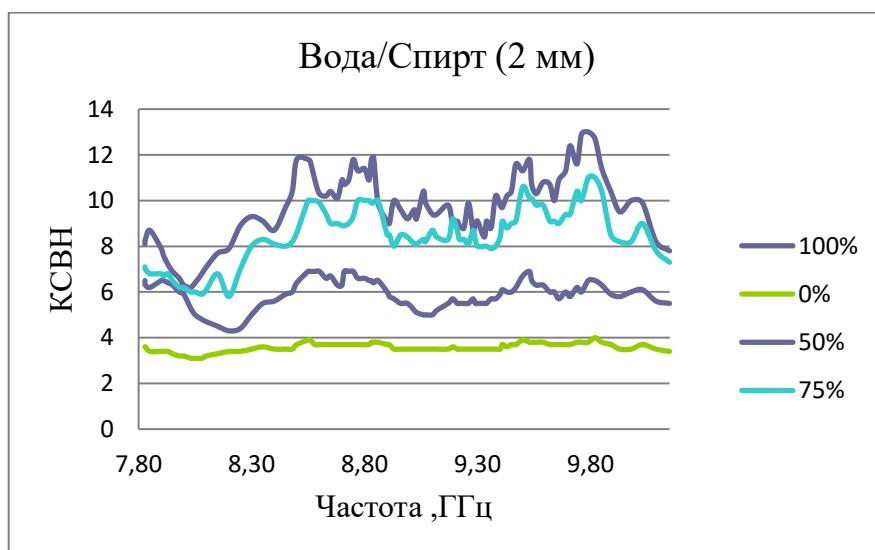


Рисунок 4 – Зависимость КСВН от концентрации воды и спирта коллоидного раствора.

На рисунках 5, 6, 7 приведены зависимости КСВН от концентрации воды и спирта коллоидного раствора для разных частот. Максимальное изменение КСВН на частоте 8,2 ГГц достигается при концентрации 50 - 60 % (рисунок 5). На частоте 8,5 ГГц график зависимости меняется плавно, на частотах 9,5 и 8,2 ГГц ступенчато.

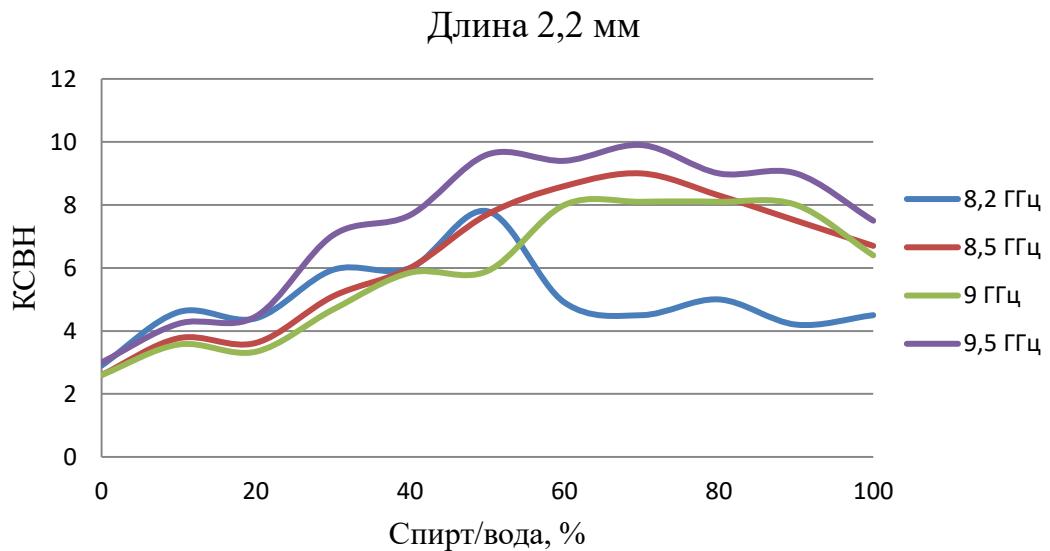


Рисунок 5 – Зависимость КСВН от концентрации воды и спирта коллоидного раствора для разных частот.

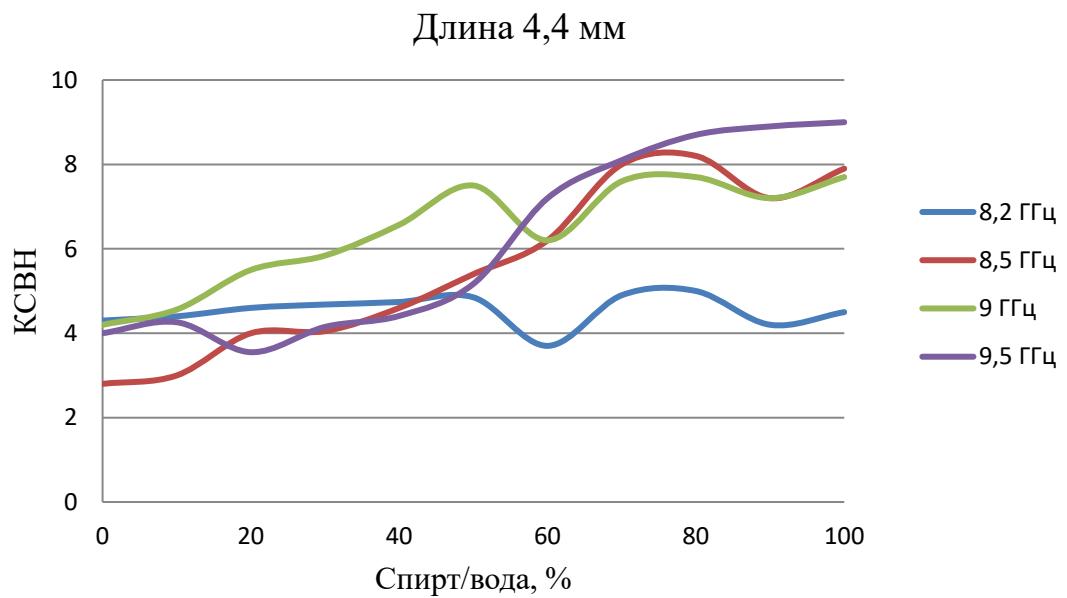


Рисунок 6 – Зависимость КСВН от концентрации воды и спирта коллоидного раствора для разных частот.

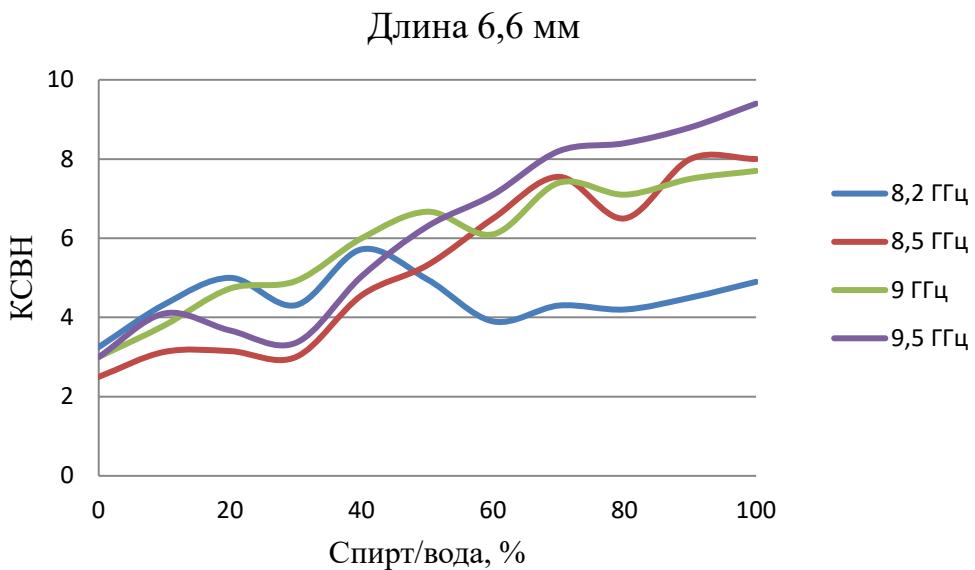


Рисунок 7 – Зависимость КСВН от концентрации воды и спирта коллоидного раствора для разных частот.

На рисунке 8 приведена зависимость ослабления от концентрации воды и спирта коллоидного раствора для разных частот. Видно, что при концентрации 80 % и 90 % частота оказывает слабое влияние на ослабление.

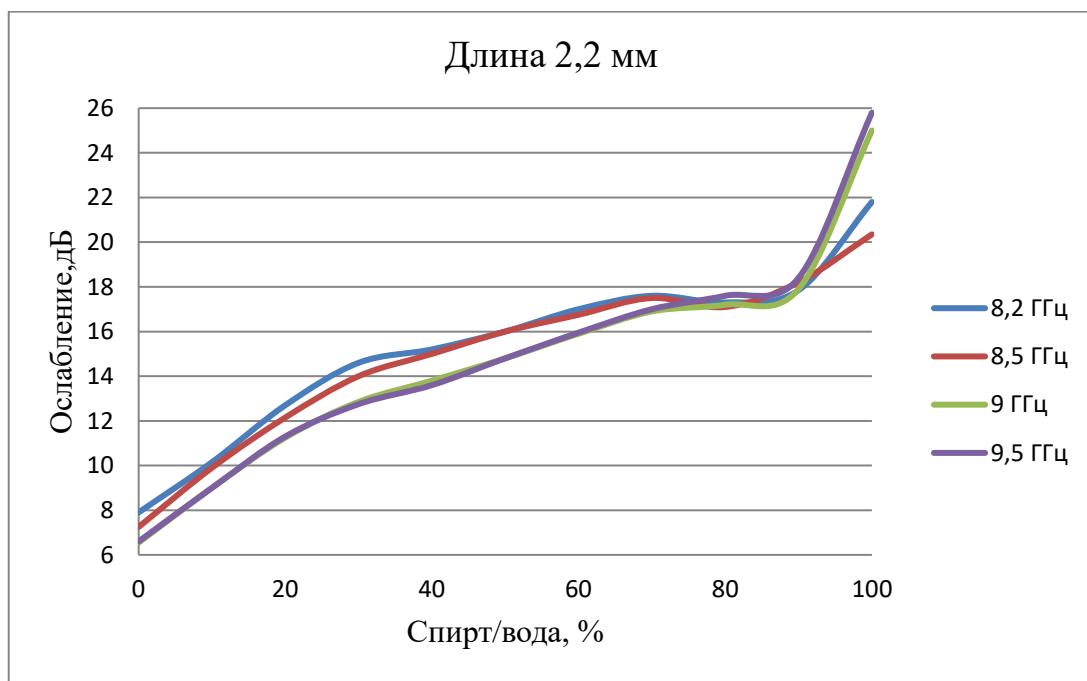


Рисунок 8 – Зависимость ослабления от концентрации воды и спирта коллоидного раствора для разных частот.

На рисунке 9 приведена зависимость ослабления от концентрации воды и спирта коллоидного раствора для разных частот. На частоте 8 ГГц ослабление резко изменяется при концентрации 10 %.

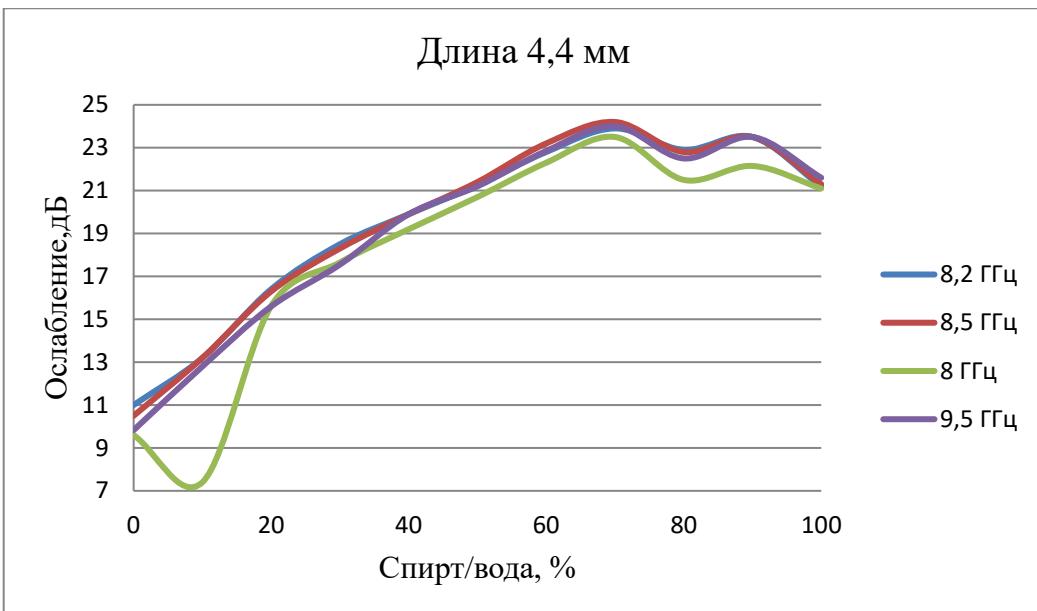


Рисунок 9 – Зависимость ослабления от концентрации воды и спирта коллоидного раствора для разных частот.

На рисунке 10 приведена зависимость ослабления от концентрации воды и спирта коллоидного раствора для разных частот. При концентрации 70 % на всех частотах присутствует пик.

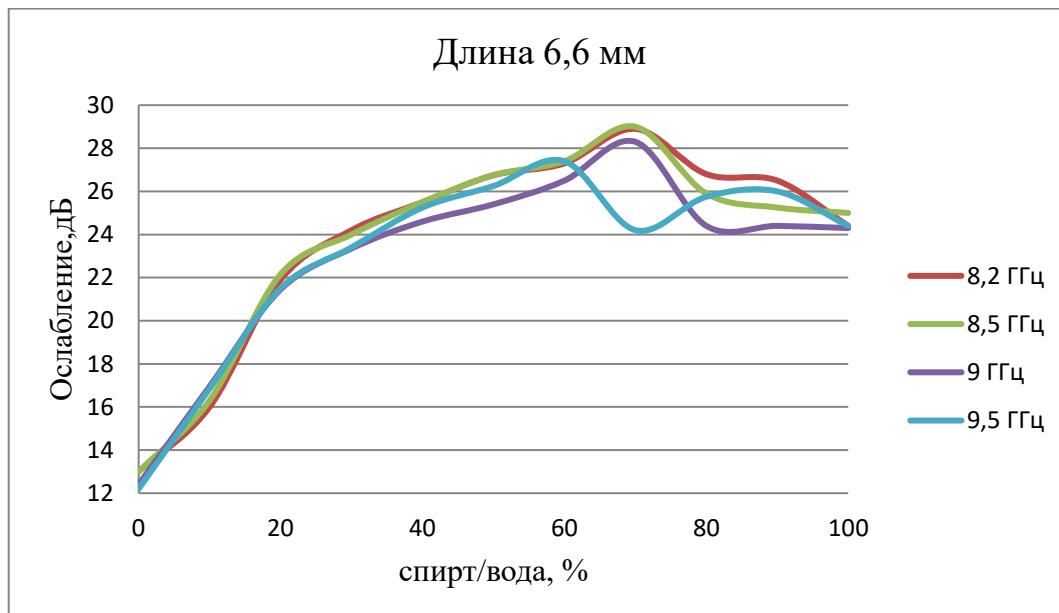


Рисунок 10 – Зависимость ослабления от концентрации воды и спирта коллоидного раствора для разных частот.

На рисунках 11 и 12 приведены графики зависимости ослабления и КСВН от частоты в пустом волноводе.



Рисунок 11 – График зависимости ослабления от частоты в пустом волноводе.



Рисунок 11 – График зависимости КСВН от частоты в пустом волноводе.

В таблице 1 приведены результаты проведенных расчетов.

Таблица 1 – Результаты расчетов

№	Частота, ГГц	Длина, мм	Диапазон $\epsilon$	Состав, % вода/спирт	$\epsilon$ разность	$\epsilon$ квадрат разности
1	7,82-10,15	2	50-80	100	76	73
1,1	8,05-8,10	2	1-81	100	78	78
1,2	9,1-9,12	2	1-81	100	78	78
2	7,82-10,15	2	30-80	50	77	54

## Продолжение таблицы 1

2,1	9,59-9,85	2	10-80	50	49	54
2,2	9,12-9,85	2	10-80	50	52	51
3	7,82-10,15	7	10-80	100	79	76
4	8,9-9,1	7	10-30	100	24	23
5	7,82-10-15	2	10-30	100	30	30

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения магистерской работы можно сделать следующие выводы:

- Произведен сравнительный анализ между различными методами исследования диэлектрической проницаемости
- Разработано программное обеспечение и методика измерения
- Рассчитаны значения диэлектрической проницаемости для различных растворов спирта и воды

Данная работа может быть использована в качестве учебного пособия по измерению КСВН и ослабления жидкых диэлектриков. В ней описана методика экспериментов, оборудование для измерения, а также дополнительные устройства и программное обеспечение для ускорения работы и повышения точности измерений.