

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Московский государственный институт электроники и математики
(технический университет)**

Кафедра ЛМИС

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

**«Исследование влияния геометрической формы проводника
спирали на электродинамические характеристики спиральной
замедляющей системы»**

Зеленин Владимир Олегович

Москва - 2010

Устройство спиральной ЛБВ

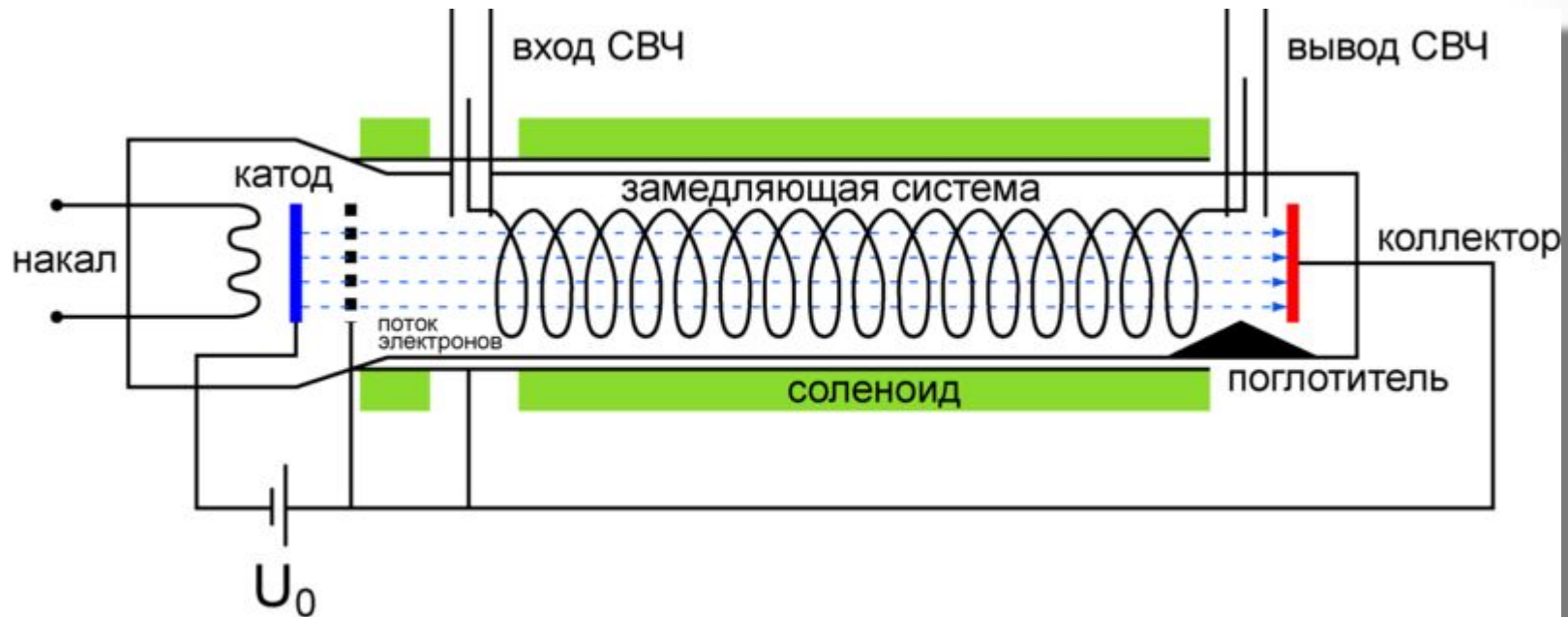
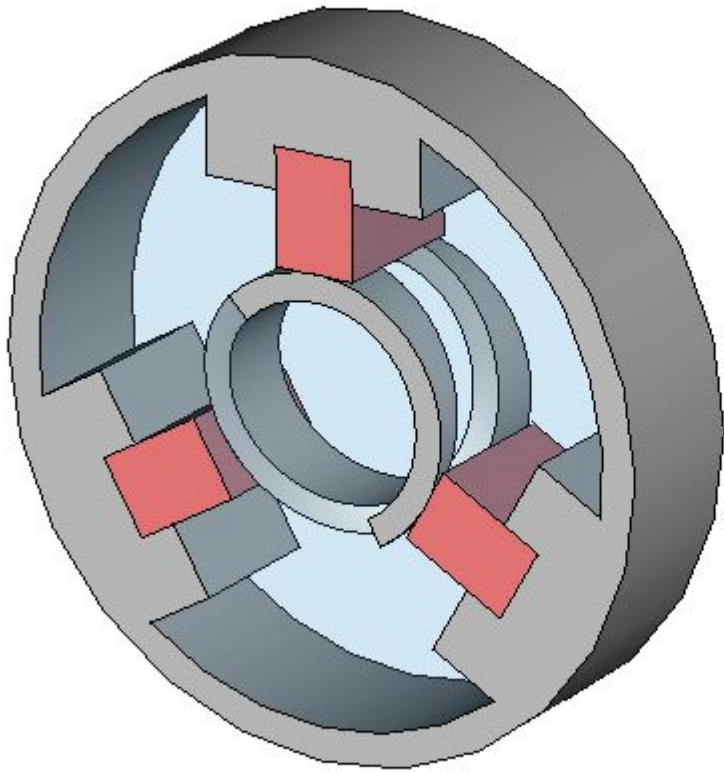
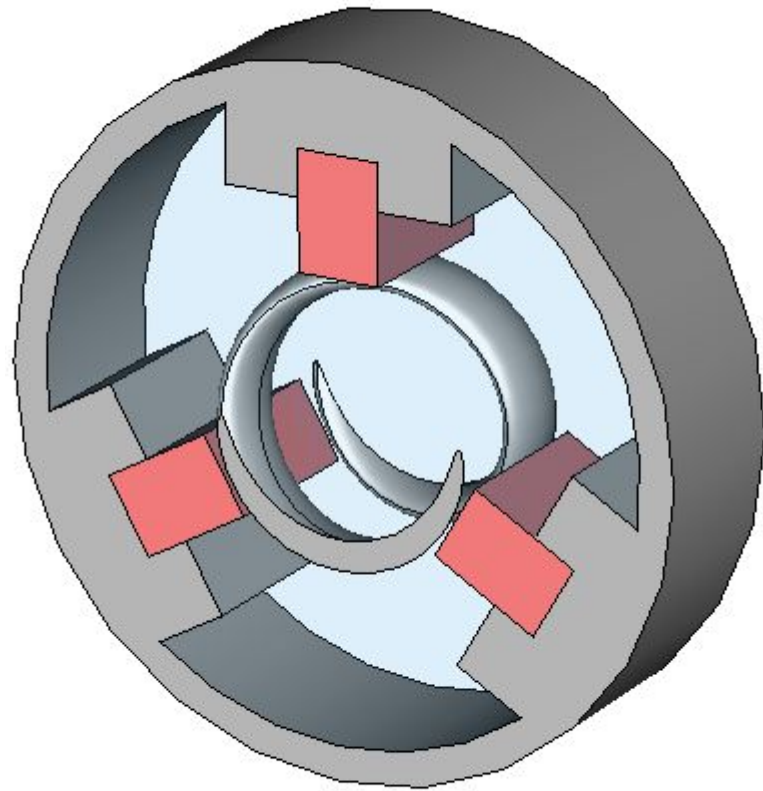


Рис. 1. Схема устройства спиральной ЛБВ

Спиральные замедляющие системы



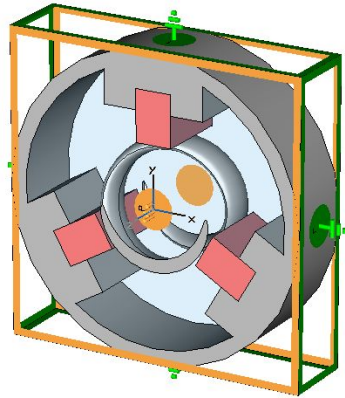
(a)



(б)

Рис. 2. Модели спиральных замедляющих систем с прямоугольным (а) и эллиптическим (б) сечениями проводника спирали

Методика расчета основных характеристик замедляющих систем



Рассматриваем один период замедляющей структуры с периодическими граничными условиями в поперечных плоскостях с заданным сдвигом фазы на период φ . Далее решается задача на собственные значения (определяется собственная частота f_0 , соответствующая заданному сдвигу фазы)

$$n = \frac{c}{v_\phi} = \frac{\beta}{k} = \frac{\lambda}{\lambda_g}, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}, \quad \beta = \frac{2\pi}{\lambda_g} = \frac{\omega}{v_\phi},$$

$$\varphi = \beta \cdot h, \quad \beta = \frac{\varphi}{h}, \quad n = \frac{\beta}{k} = \frac{\varphi \cdot c}{h \cdot 2\pi f_0} = \frac{\varphi \cdot c}{h \cdot \omega_0}$$

$$R_{cs} = \frac{|E|^2}{2\beta \cdot P^2} \quad \text{- сопротивление связи}$$

где β - фазовая постоянная, k - волновое число, c - скорость света, h - период системы

Метод конечных элементов

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \varepsilon_a \mu_a \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0 \quad \text{- волновое уравнение}$$

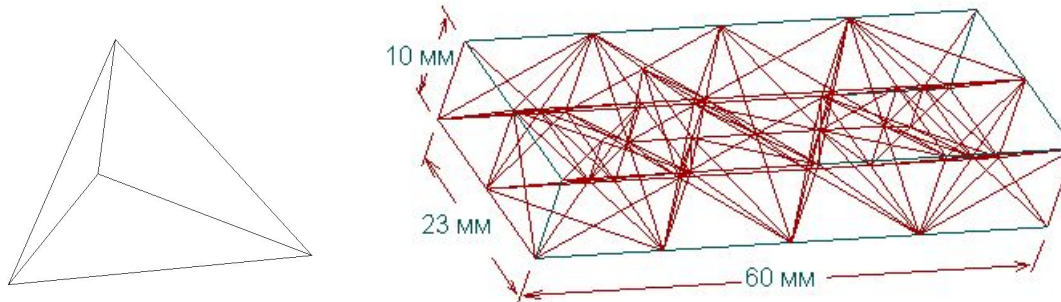
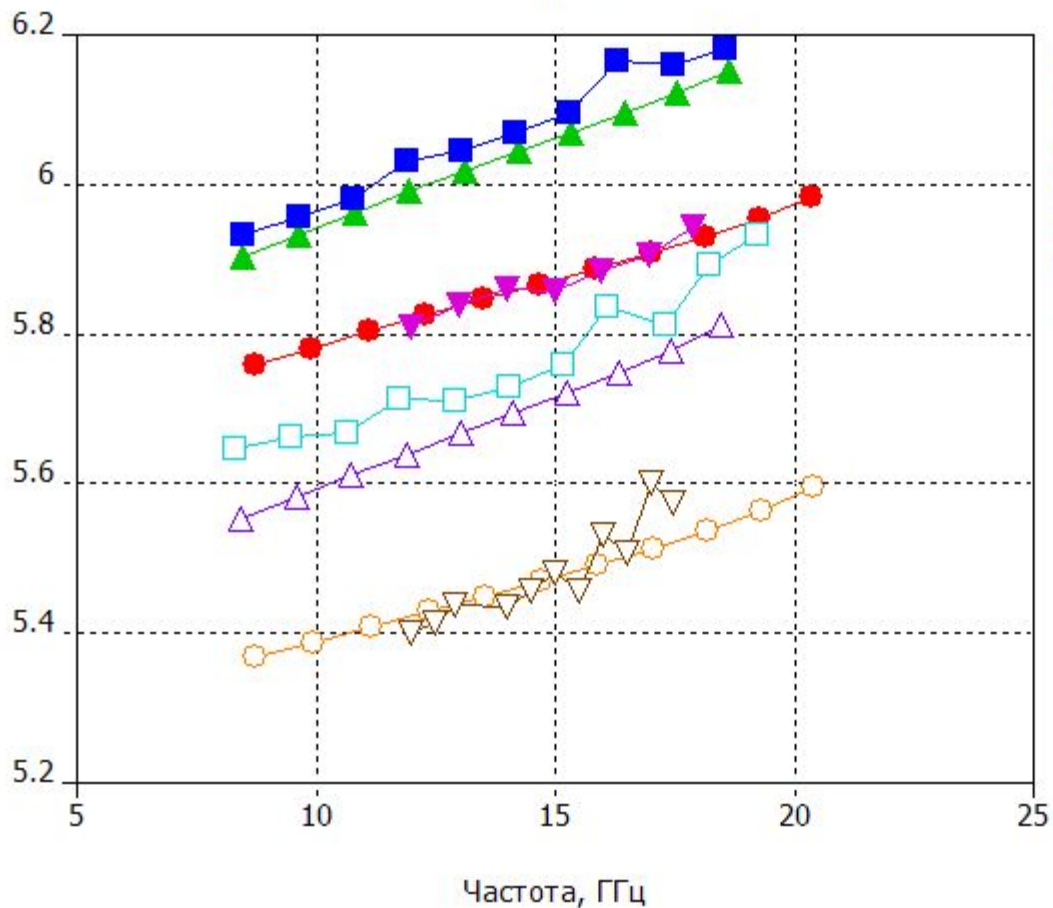


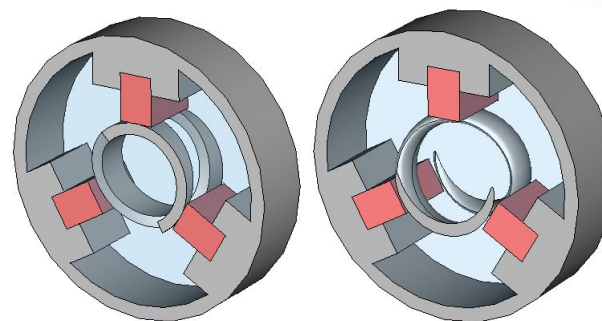
Рис. 3. Тетраэдр и разбиение трехмерного пространства в волноводе на тетраэдры

Результаты численного моделирования спиральной ЗС

Замедление



- $h=1,16$ (CST ellipse)
- ▲ $h=1,16$ (CST rectangle)
- $h=1,16$ (HFSS rectangle)
- ▼ $h=1,16$ (эксперимент)
- $h=1,24$ (CST ellipse)
- △ $h=1,24$ (CST rectangle)
- $h=1,24$ (HFSS rectangle)
- ▽ $h=1,24$ (эксперимент)



rectangle

ellipse

| Геометрический параметр | Значение |
|---------------------------------|-------------|
| Внешний радиус спирали, мм | 1,01 |
| Внутренний радиус экрана, мм | 2,245 |
| Шаг спирали, мм | 1,16 / 1,24 |
| Толщина экрана, мм | 0,2 |
| Толщина проводника спирали, мм | 0,22 |
| Ширина проводника спирали, мм | 0,6 |
| Высота диэлектрических опор, мм | 0,85 |
| Ширина диэлектрических опор, мм | 0,6 |
| Размер ребер экрана, мм | 0,72 |
| Ширина держателя опоры, мм | 1,7 |

Рис. 4. Зависимости коэффициента замедления от частоты для двух значений шага спирали h .

Красная ($h=1,16$ мм) и оранжевая ($h=1,24$ мм) линии соответствуют модели с эллиптическим сечением проводника спирали; зеленая ($h=1,16$ мм) и фиолетовая ($h=1,24$ мм) линии – модели с прямоугольным сечением в **CST Studio Suite**; синяя ($h=1,16$ мм) и бирюзовая ($h=1,24$ мм) – модели с прямоугольным сечением в **Ansoft HFSS**; фиолетовая ($h=1,16$ мм) и коричневая ($h=1,16$ мм) линии - данные экспериментальных исследований.

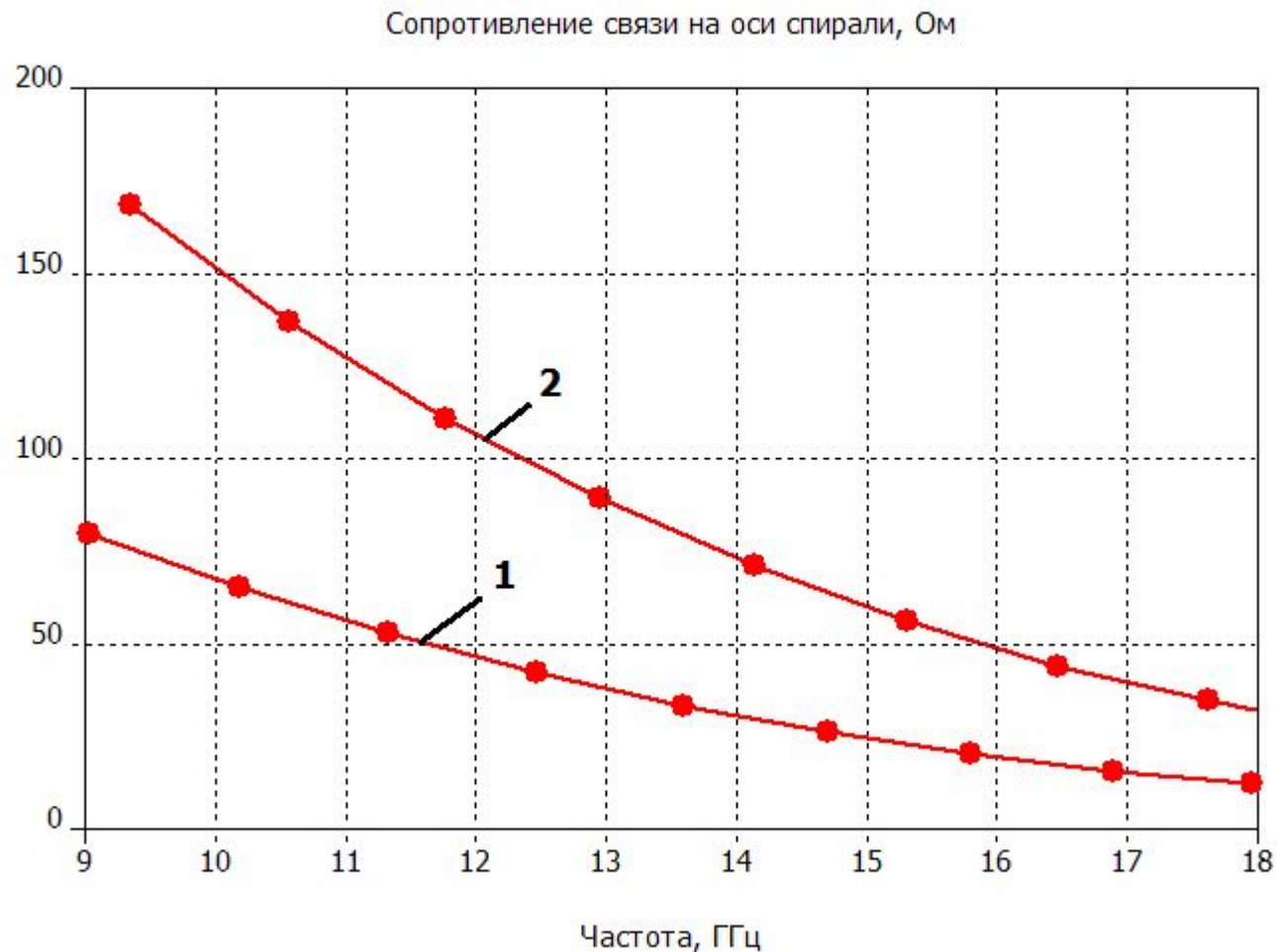


Рис. 5. Зависимости сопротивления связи на оси спирали от частоты f для моделей с прямоугольным (кривая 1) и эллиптическим (кривая 2) сечениями проводника спирали.

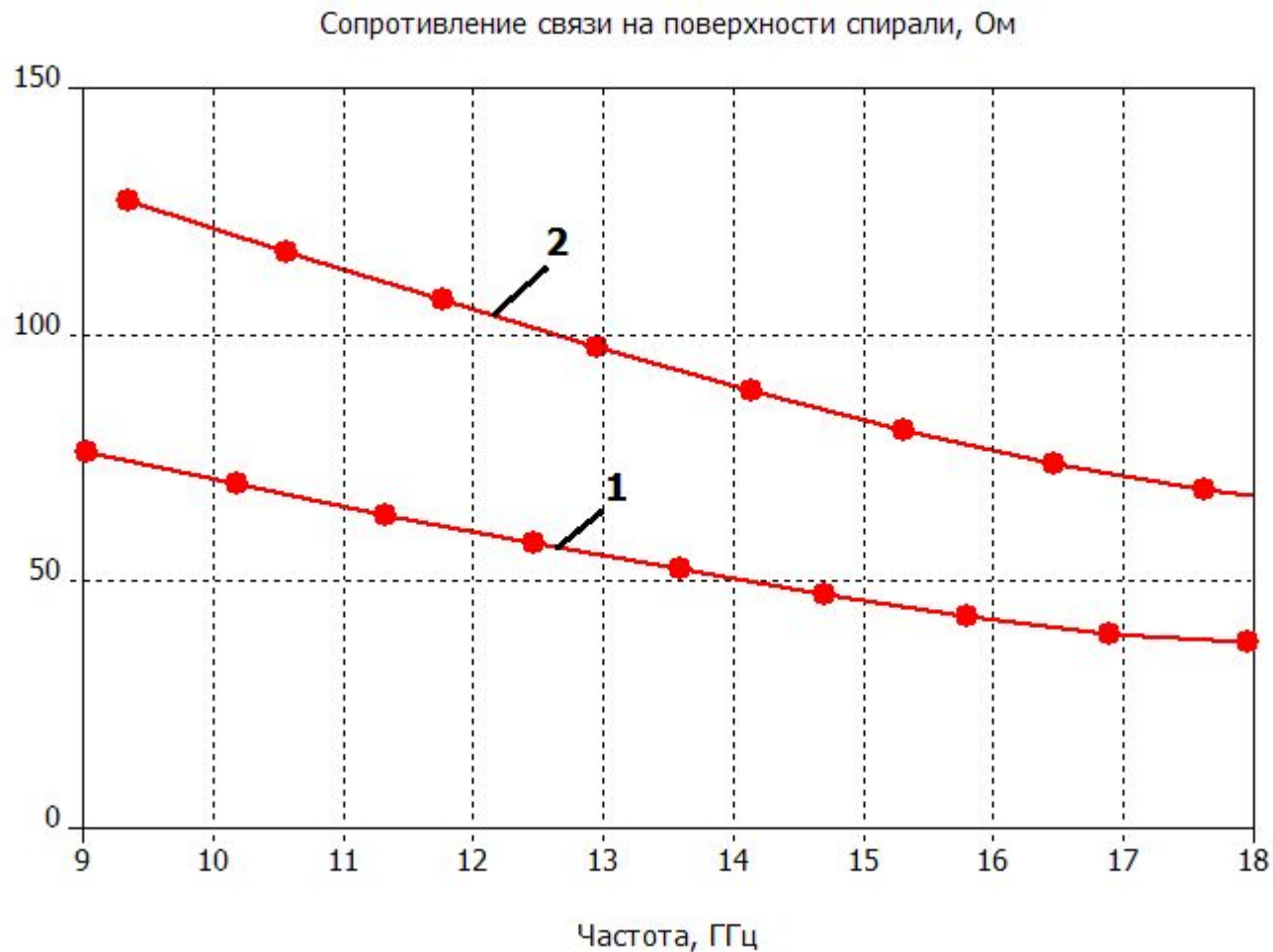


Рис. 6. Зависимости сопротивления связи на поверхности спирали от частоты f для моделей с прямоугольным (кривая 1) и эллиптическим (кривая 2) сечениями проводника спирали.

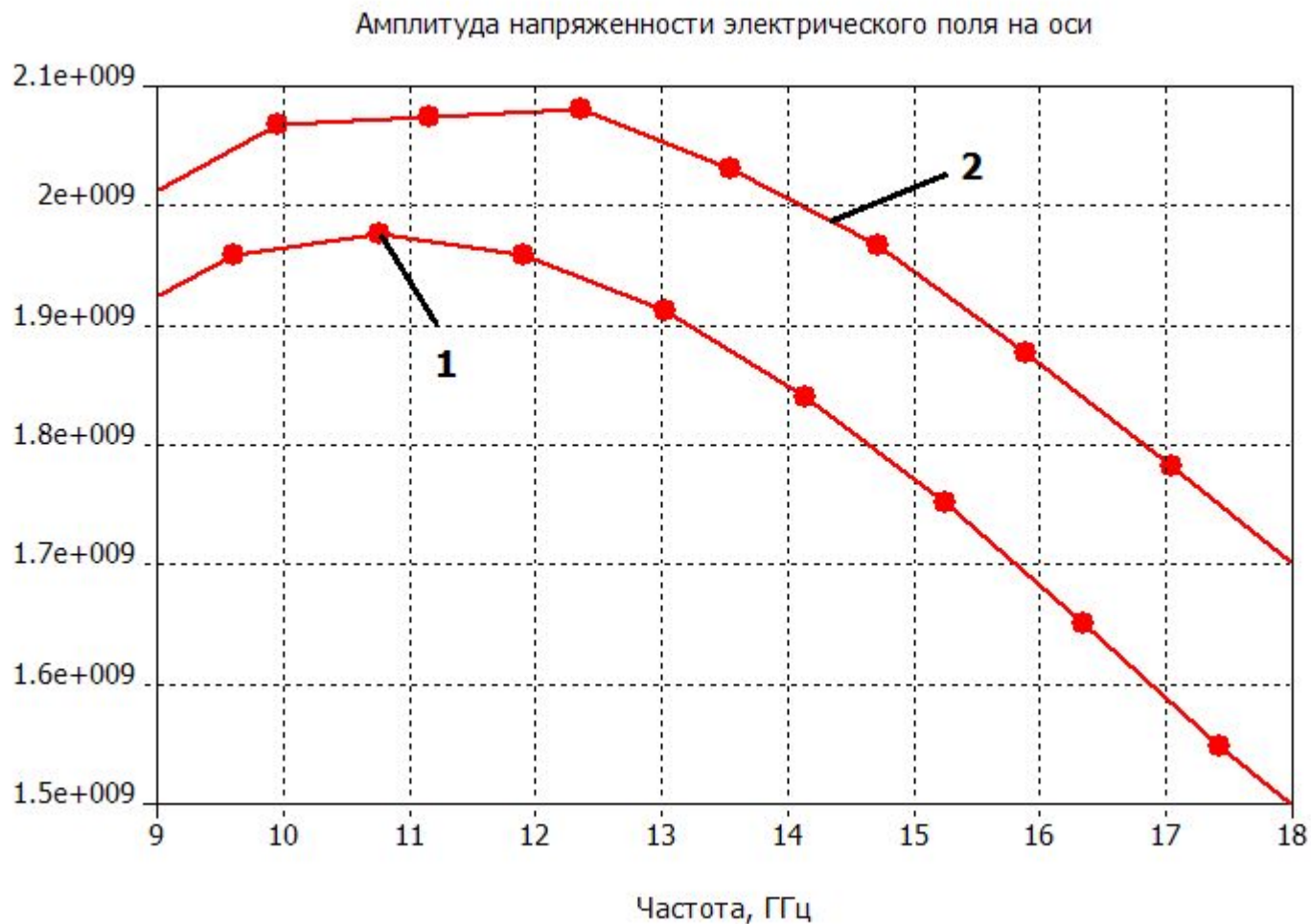


Рис. 7. Зависимости амплитуды напряженности электрического поля на оси спирали от частоты f для моделей с прямоугольным (кривая 1) и эллиптическим (кривая 2) сечениями проводника спирали.

Амплитуда напряженности электрического поля на поверхности спирали

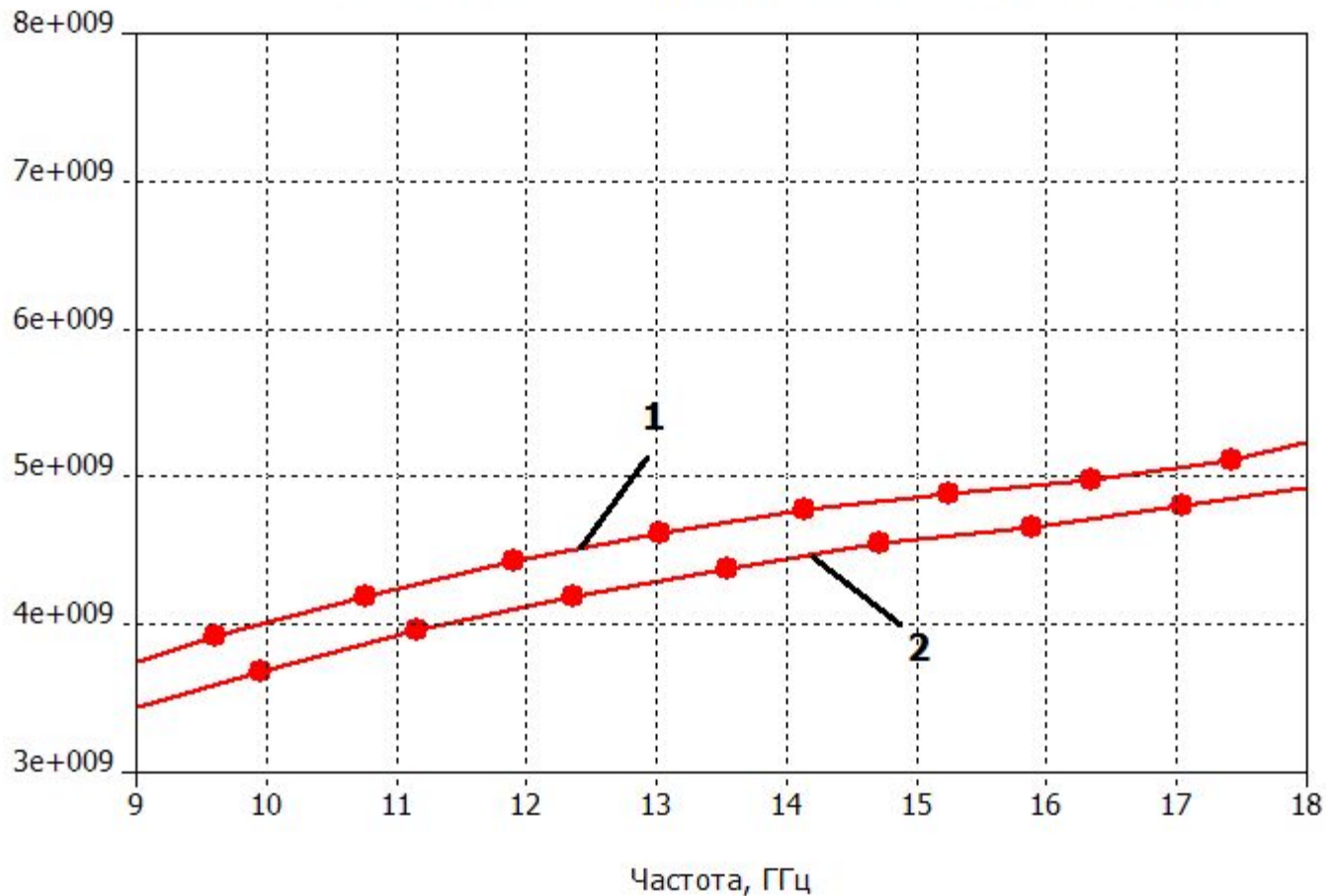


Рис. 8. Зависимости амплитуды напряженности электрического поля на поверхности спирали от частоты f для моделей с прямоугольным (кривая 1) и эллиптическим (кривая 2) сечениями проводника спирали.

Основные выводы

1. Разработаны модели спиральных замедляющих систем с использованием программ трехмерного моделирования. Во всех разработанных в рамках дипломной работы моделях, реализована возможность изменения всех геометрических размеров и параметров материалов, используемых для построения систем.
2. Показано влияние формы сечения проводника спирали на структуру высокочастотного поля в замедляющей системе, что в свою очередь, сказывается на ее электродинамических характеристиках.
3. Сравнительный анализ дисперсионных характеристик, полученных с помощью программ трехмерного моделирования, и данных экспериментальных исследований показал, что при учете реальной формы проводника спирали обеспечивается их практически полное соответствие.