

# Выпускная квалификационная работа

Определение границ использования  
аналитических моделей для расчета  
электромагнитных полей в диссипативной среде,  
примыкающей к излучателям, используемых в  
различных приложениях телемедицины.

Руководитель

доцент, к.т.н. Потапова О.В.

Студент гр. 5379

Лысачкина Т.А.

## Цель работы:

определение границ использования упрощенных аналитических выражений в диссипативной среде с усредненными параметрами биологической ткани.

## Задачи:

- **изучить** методы расчета электромагнитного поля, создаваемого излучателями различного типа;
- **сравнить** компоненты поля излучения, полученные при помощи широко используемых в антенной технике аналитических выражений и в результате численного электродинамического моделирования;
- **определить** границы использования упрощенных аналитических выражений в диссипативной среде с усредненными параметрами биологической ткани.

**Исследование распределений напряженности  
электрического поля, созданного симметричным  
вибратором в программах  
Mathcad и CST Studio.**

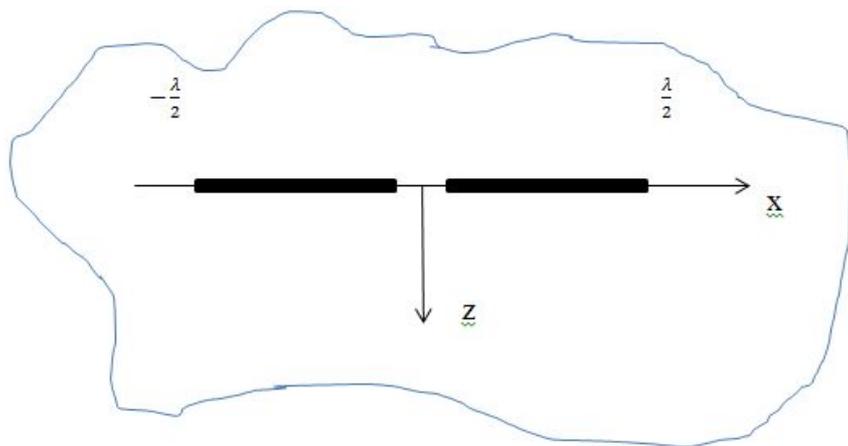
Моделирование в программе MathCad: расчет  
электромагнитного поля *электрического  
вибратора*.

Моделирование в CST Studio.

**Параметры среды** (близкие к параметрам  
биологической ткани) ( $\epsilon=50$ ,  $\sigma=0,5$  См/м);

**Частота** 600 МГц.

## Элементарный электрический излучатель.



Сферическая система координат

$$d\vec{E} = dE_{\theta} \cdot \vec{i}_{\theta} + dE_r \cdot \vec{i}_r$$

Декартова система координат

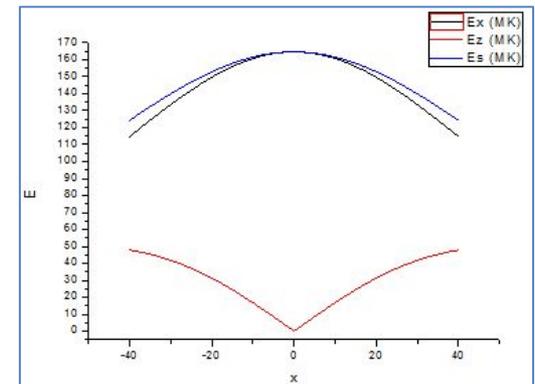
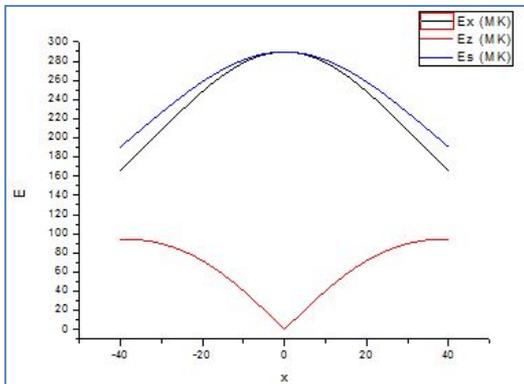
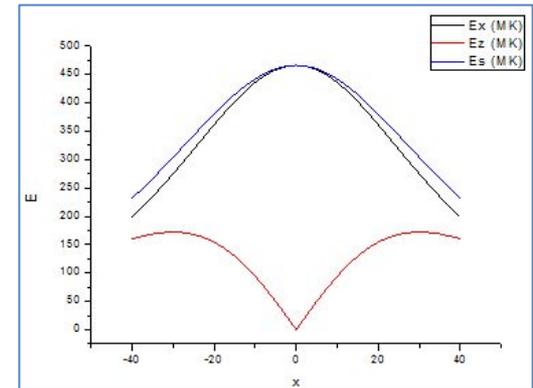
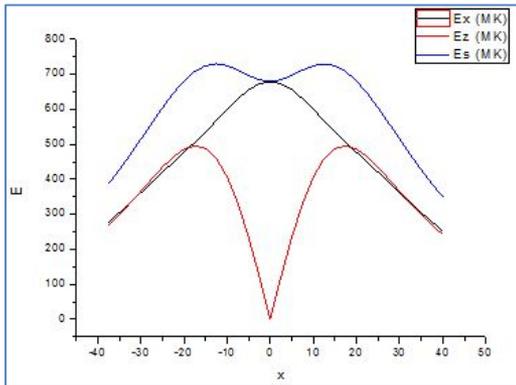
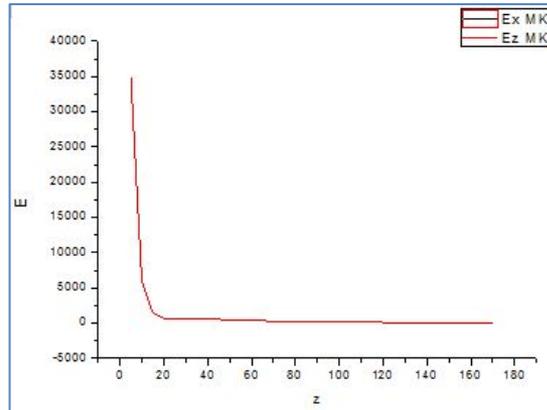
$$d\vec{E} = dE_x \cdot \vec{i}_x + dE_z \cdot \vec{i}_z$$

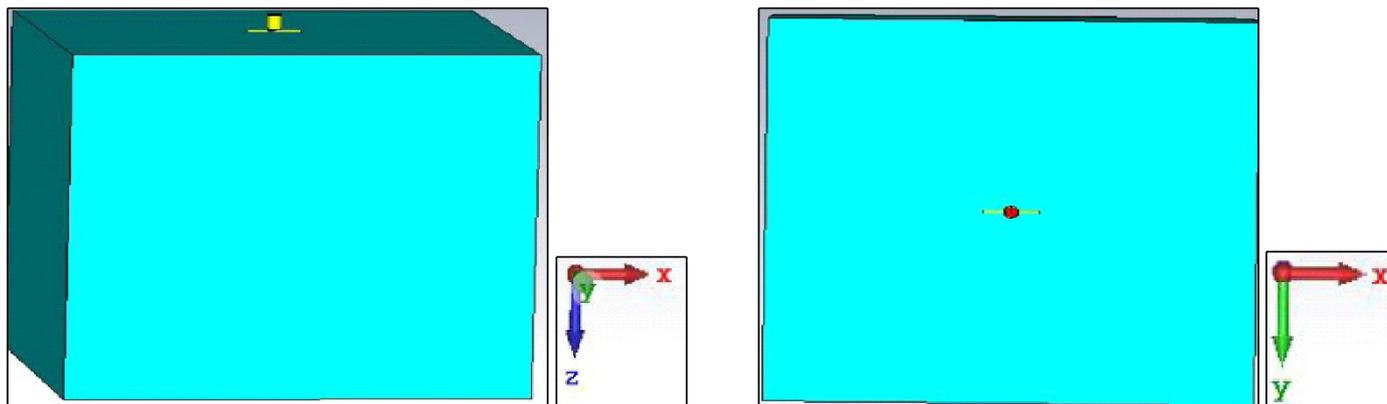
Рис.1. Симметричный вибратор

$$E = \int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} J(x) dE dx$$

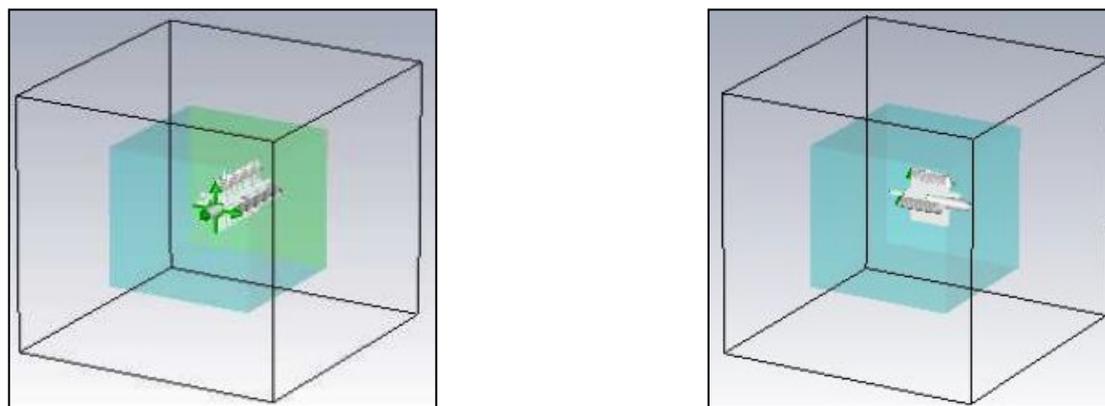
$J(x)$  - амплитудное распределение по вибратору

**Рис.2. Распределения компонент электрического поля, рассчитанные в программе MathCad, вдоль оси z и оси x при z=25, 50, 70, 95 (мм).**



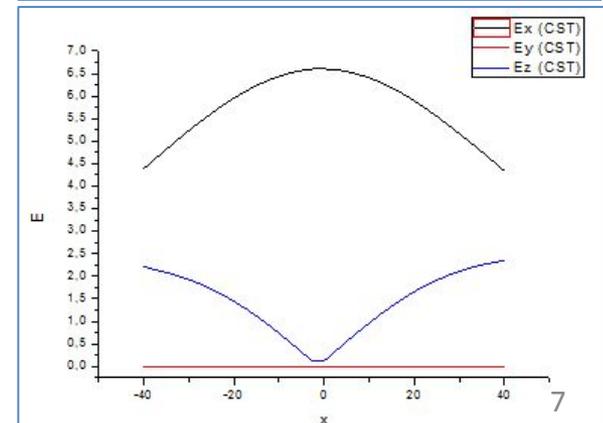
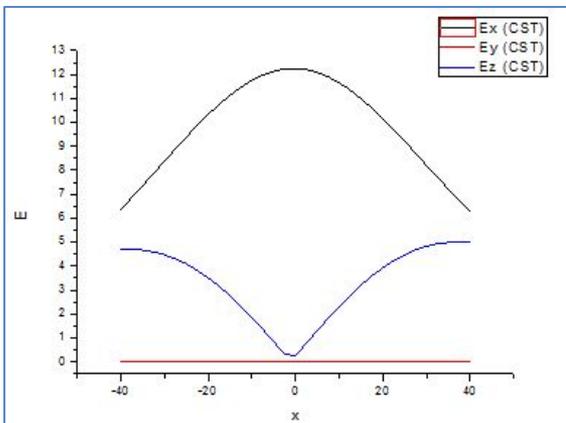
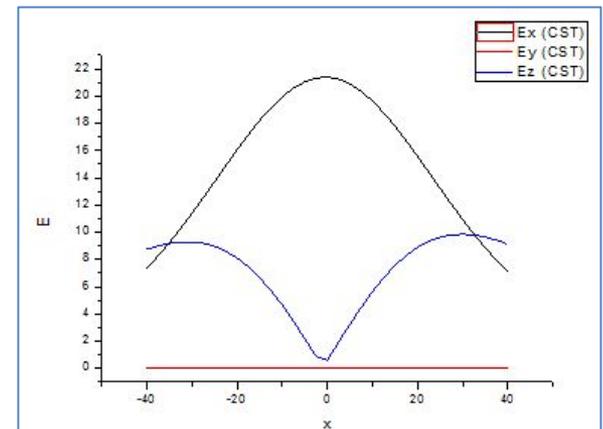
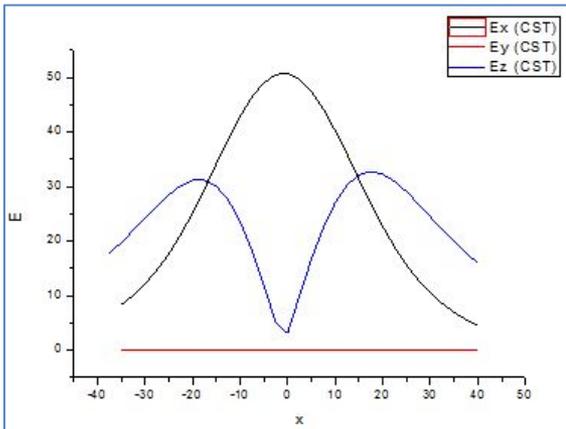
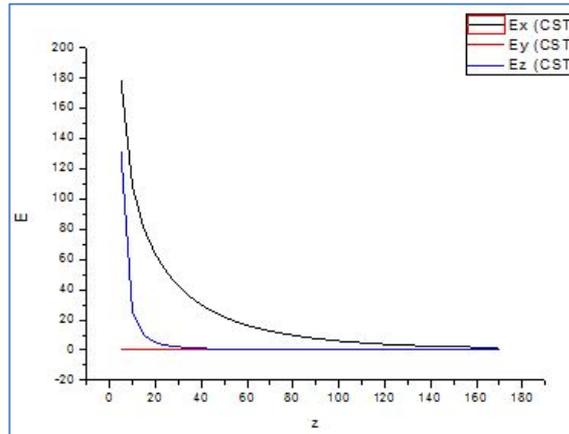


**Рис.3. Модель полуволнового вибратора, используемая в программе CST Studio.**

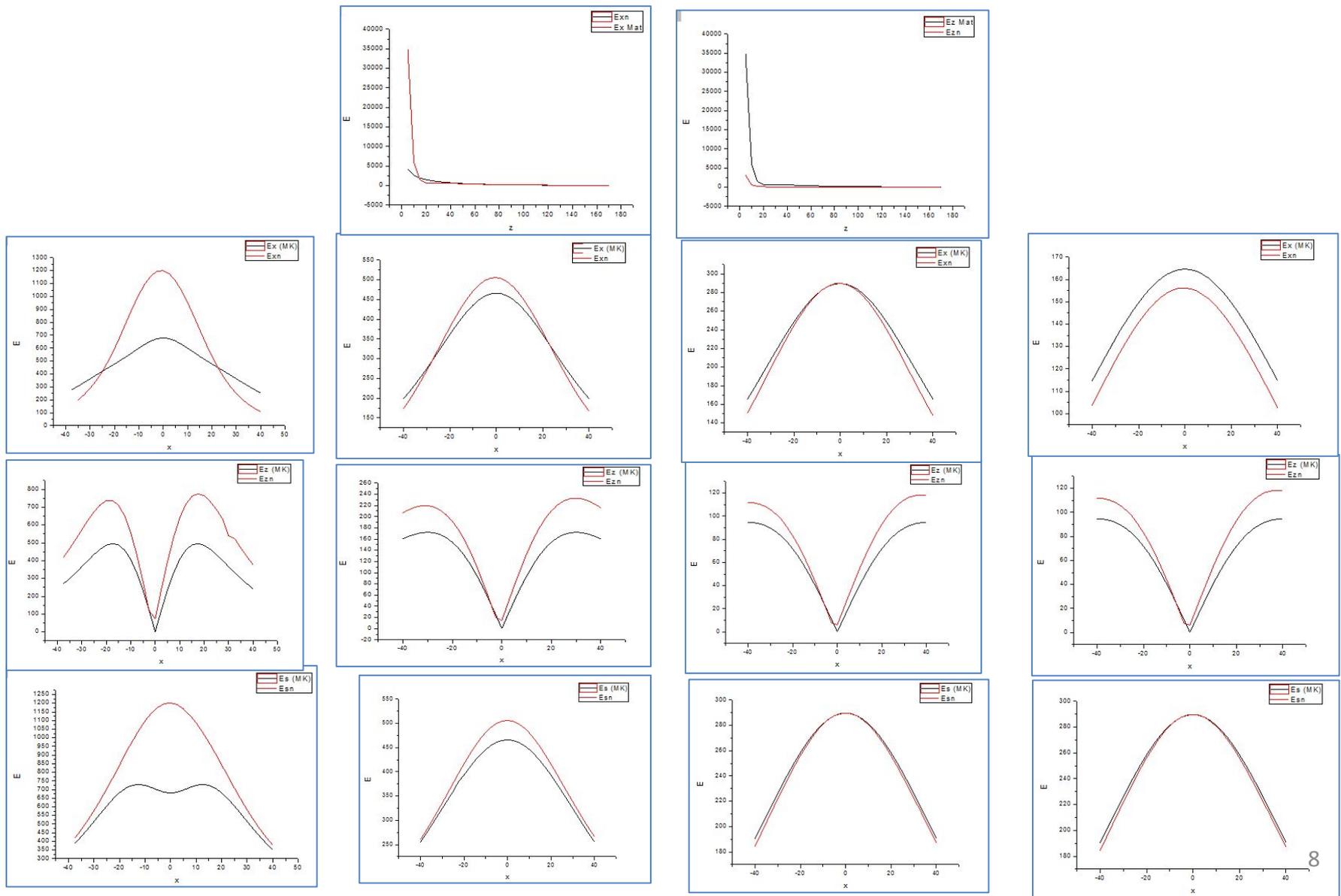


**Рис.4. Электрические пробники, расположенные в программе CST Studio, по осям z и x.**

**Рис.5. Распределения компонент электрического поля, рассчитанные в программе CST Studio, вдоль оси z и оси x при z=25, 50, 70, 95 (мм).**



**Рис.6. Распределение скорректированных составляющих электрического поля вдоль оси z и оси x при z=25, 50, 70, 95 (мм).**



## Результаты исследования:

### 1. Расчеты в MathCad:

- 2 составляющие:  $E_x$  и  $E_z$ ;
- сопоставимые значения амплитуд  $E_x$  и  $E_z$ ;
- $E_z=0$  вдоль оси вибратора;
- при удалении  $E_x/E_z$  увеличивается.

### 2. Моделирование в CST Studio:

- 3 составляющие:  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$ ;
- $E_y \ll E_x$ ;
- $E_z$  сопоставима  $E_x$ ;
- при удалении  $E_x/E_z$  уменьшается.

3. Сравнение результатов: распределение компонент  $\parallel$  и  $\perp$  вибратору имеет сходный характер.

4. Сравнение компонент  $\perp$  вибратору: полное совпадение с 50 мм.

5. Сравнение компонент  $\parallel$  вибратору: полное совпадение с 70 мм.

### Вывод

Проведенные исследования позволяют предположить, что при расчете поля симметричного вибратора упрощенные формулы целесообразно использовать с расстояния, соизмеримого с длиной волны в среде ( $\lambda_c$ ).

# Исследование распределений напряженности электрического поля, созданного щелевым излучателем в программах Mathcad и CST Studio.

Моделирование в программе MathCad:  
расчет электромагнитного поля *щелевого  
излучателя*.

Моделирование в CST Studio.

**Параметры среды** (близкие к параметрам  
биологической ткани) ( $\epsilon=50$ ,  $\sigma=0,5$  См/м);  
**Частота** 600 МГц.

## Элементарный магнитный излучатель

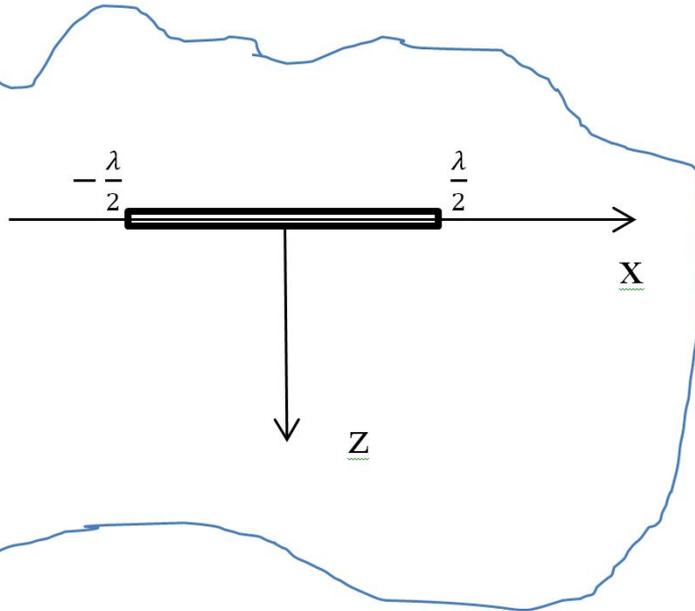


Рис.7. Щелевой излучатель

## Сферическая система координат

$$d\vec{E} = dE_{\varphi} \cdot \vec{i}_{\varphi}$$

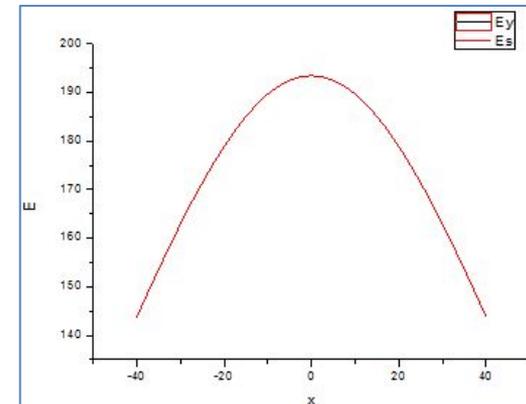
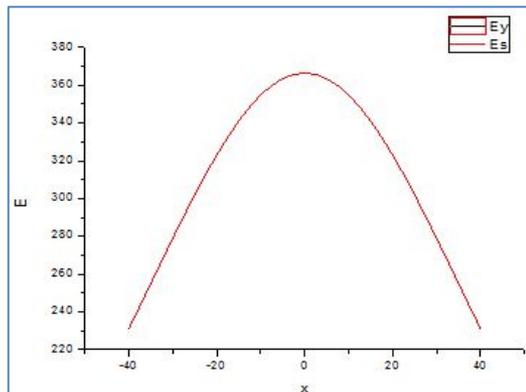
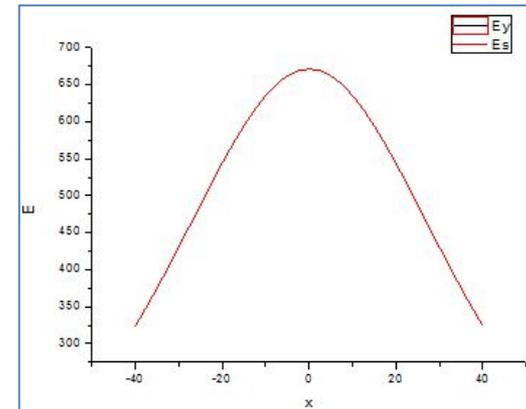
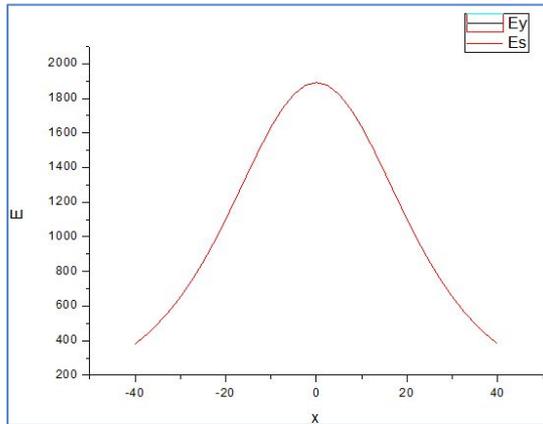
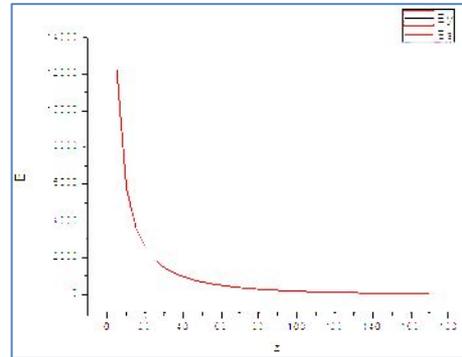
## Декартова система координат

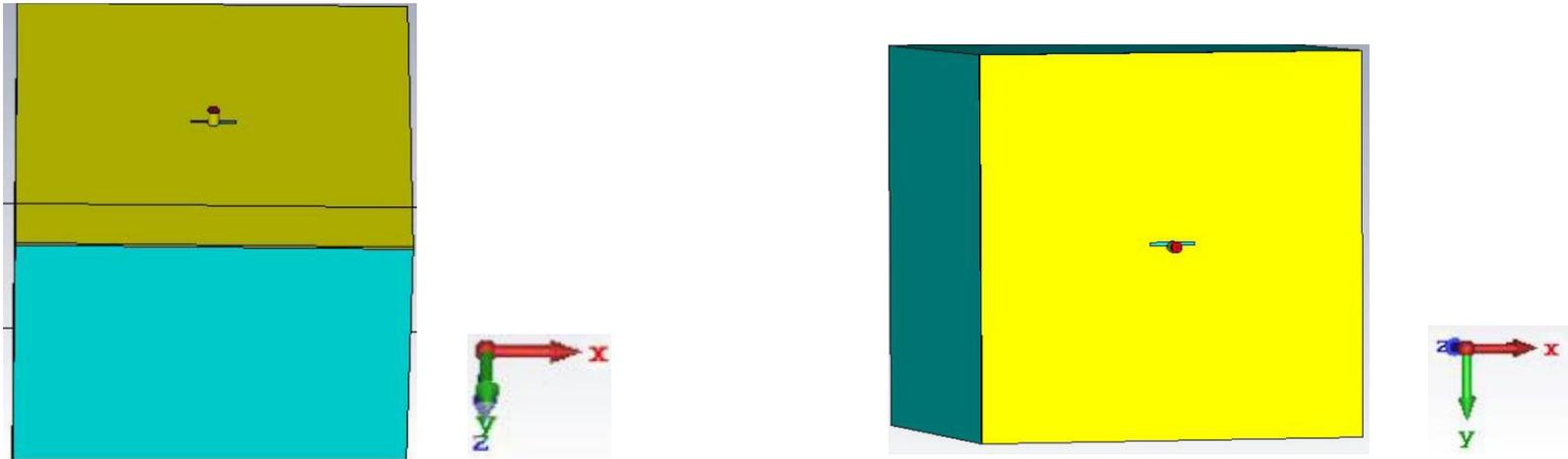
$$d\vec{E} = dE_y \cdot \vec{i}_y$$

$$E = \int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} J(x) dE dx$$

$J(x)$  - амплитудное распределение по излучателю

**Рис.8. Графики распределения компонент электрического поля, рассчитанные в программе MathCad, вдоль оси z и оси x при z=25, 50, 70, 95.**



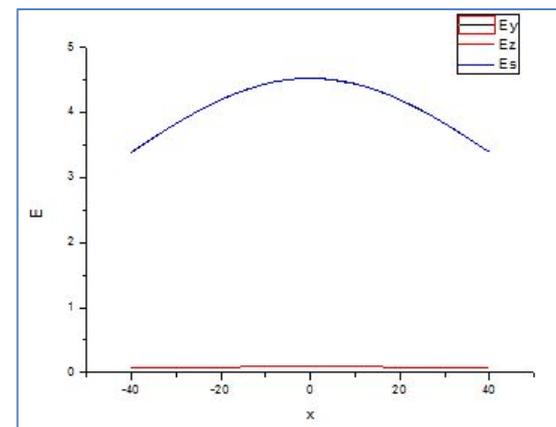
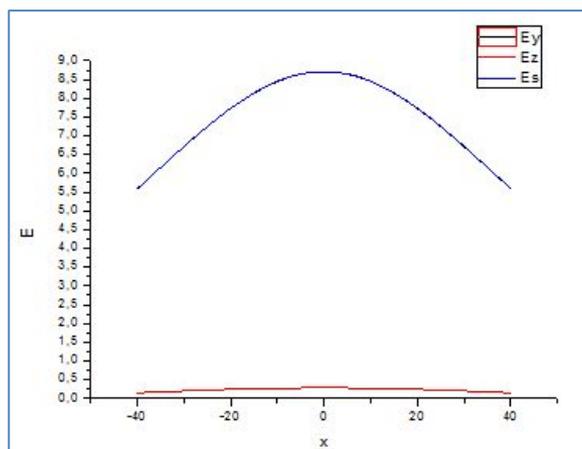
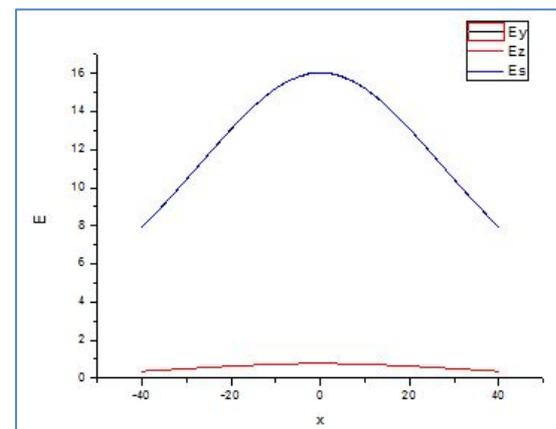
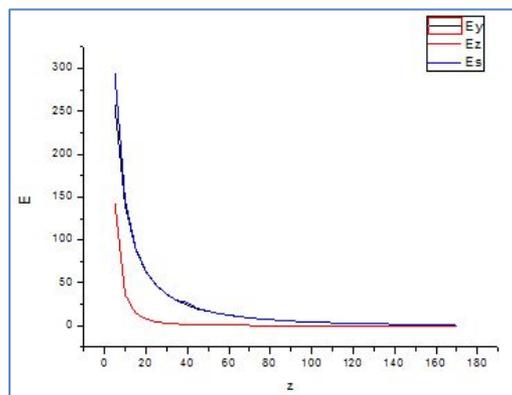
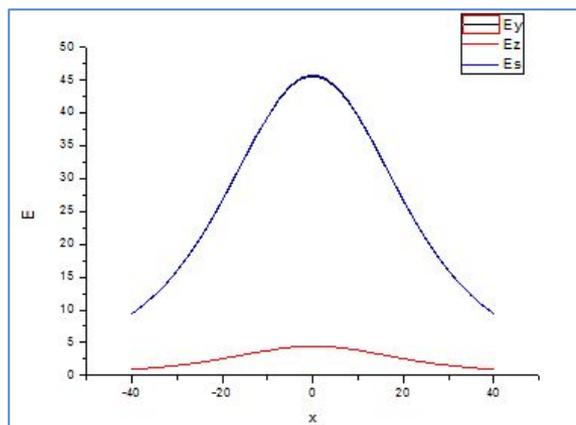


**Рис.5. Модель щелевого излучателя, используемая в программе CST Studio.**

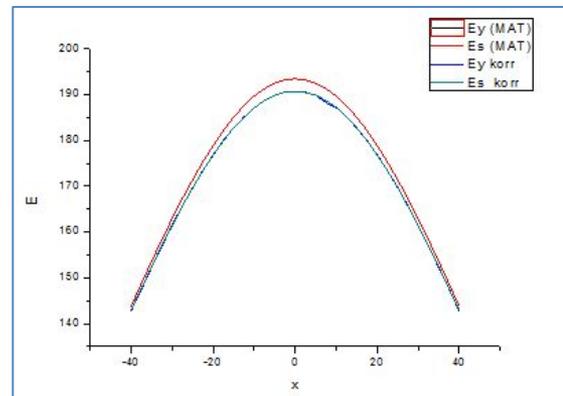
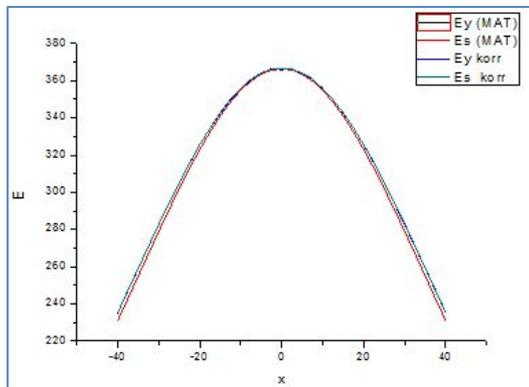
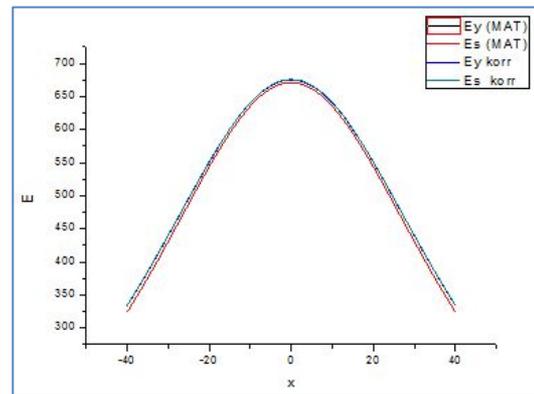
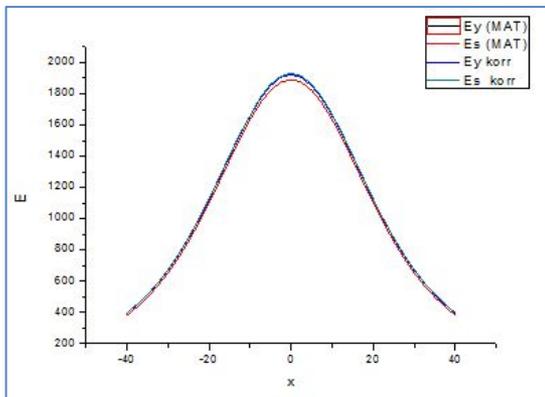
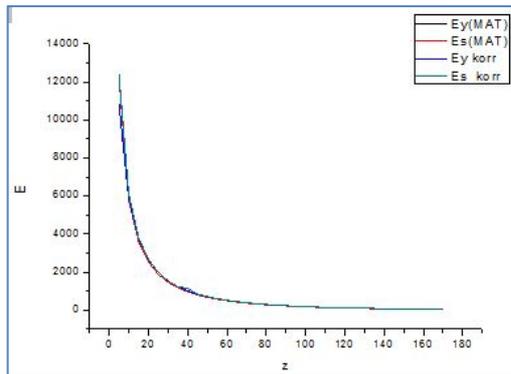


**Рис.6. Электрические пробники, расположенные в программе CST Studio, по осям z и x.**

**Рис.9. Графики распределения компонент электрического поля, рассчитанные в программе CST Studio, вдоль оси z и оси x при z=25, 50, 70, 95.**



**Рис.10. Для сравнения компонент, полученных в MathCad и CSTStudio, была проведена нормировка, приравнивающая значения при  $z=\lambda c$ .**



## Результаты исследований

- 1. MathCad:  $E_y$ . При увеличении расстояния вглубь среды от щели и при смещении от центра щели  $U_m E_y$  уменьшается.
- 2. Моделирование в CST Studio:  $E_x$ ,  $E_y$  и  $E_z$ .  
Отношение  $E_y/E_z$  при удалении от щели увеличивается.
- 3. Сравнение результатов в MathCad и CST Studio: основные закономерности распределения компонент напряженности электрического поля в направлениях  $\parallel$  и  $\perp$  щелевому излучателю имеют сходный характер.
- 4. Анализ сравнения компонент поля в направлении  $\perp$  щели:  
полное совпадение, с глубины 15 мм -  $0,22\lambda_c$ .
- 5. Сравнение распределения компонент поля  $\parallel$  щелевого излучателя показывает, что распределение компонент поля имеет сходный характер и близкие значения с глубины 25 мм -  $0,25\lambda_c$ .

### Вывод:

Проведенные исследования позволяют предположить, что при расчете поля щелевого излучателя упрощенные формулы целесообразно использовать с расстояния  $0,25\lambda_c$ .

## Заключение

Определены границы использования упрощенных аналитических выражений в диссипативной среде с усредненными параметрами биологической ткани.

Установлено, что аналитические выражения, определяющие электромагнитное поле, создаваемое излучателем магнитного типа являются справедливыми на меньших расстояниях от излучателя, чем для излучателя электрического типа.

## Публикации статей на конференциях

1. Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли» АКТО-2018. Статья на тему «Определение границ использования упрощенной модели для расчета электромагнитных полей в поглощающих средах», авторы Лысачкина Т.А.; доцент, к.т.н. Потапова О.В.
2. «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2019» (ПРЭФЖС-2019). Статья на тему «Исследование погрешностей определения компонент электромагнитного поля при использовании упрощенной модели расчета полей в диссипативных средах», автор Лысачкина Т.А.

**Спасибо за внимание!**