



СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Учебный пример ГАММА Цилиндрический резонатор

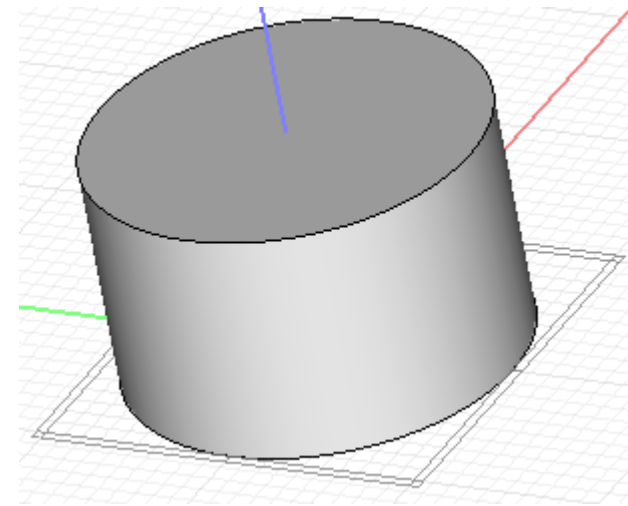


- I. Введение**
- II. Создание модели**
- III. Настройки генератора сетки**
- IV. Настройки решения**
- V. Результаты**
- VI. Заключение**

Постановка задачи

Объемные резонаторы широко используются в различных системах и СВЧ схемах. Цилиндрический резонатор – один из самых популярных объемных резонаторов. Его собственные поля и собственные частоты могут быть рассчитаны аналитически. Кроме того, он имеет криволинейную боковую поверхность, что может быть использовано для проверки качества аппроксимации поверхности. По этим причинам выбор пал на этот тип резонатора для моделирования. Объем резонатора представляет собой цилиндр радиусом 10 мм и высотой 12 мм. Стенки резонатора должны быть идеально проводящими:

Целью моделирования является определение 12 низкочастотных собственных мод резонатора и сравнение результата с аналитически рассчитанными значениями.



Модель цилиндрического резонатора в ГАММА

Цели:

- Аналитически рассчитать собственные частоты резонатора.
- Провести расчет (численное моделирование).
- Сравнить результаты моделирования с аналитическими данными.
- Исследовать распределение поля в резонаторе для различных мод.

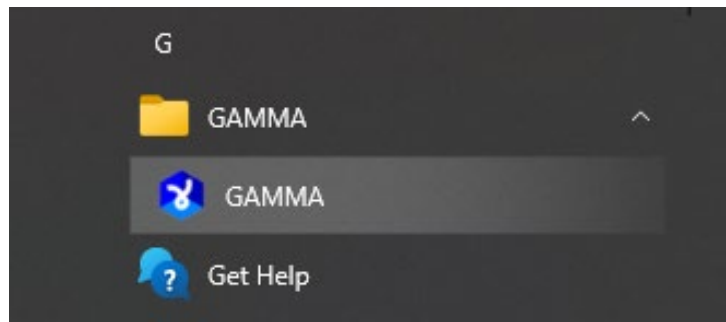
Задачи:

- Запустить решение на собственные моды на начальной частоте 10 ГГц.
- Рассчитать 12 мод резонатора.
- Проанализировать картину полей.

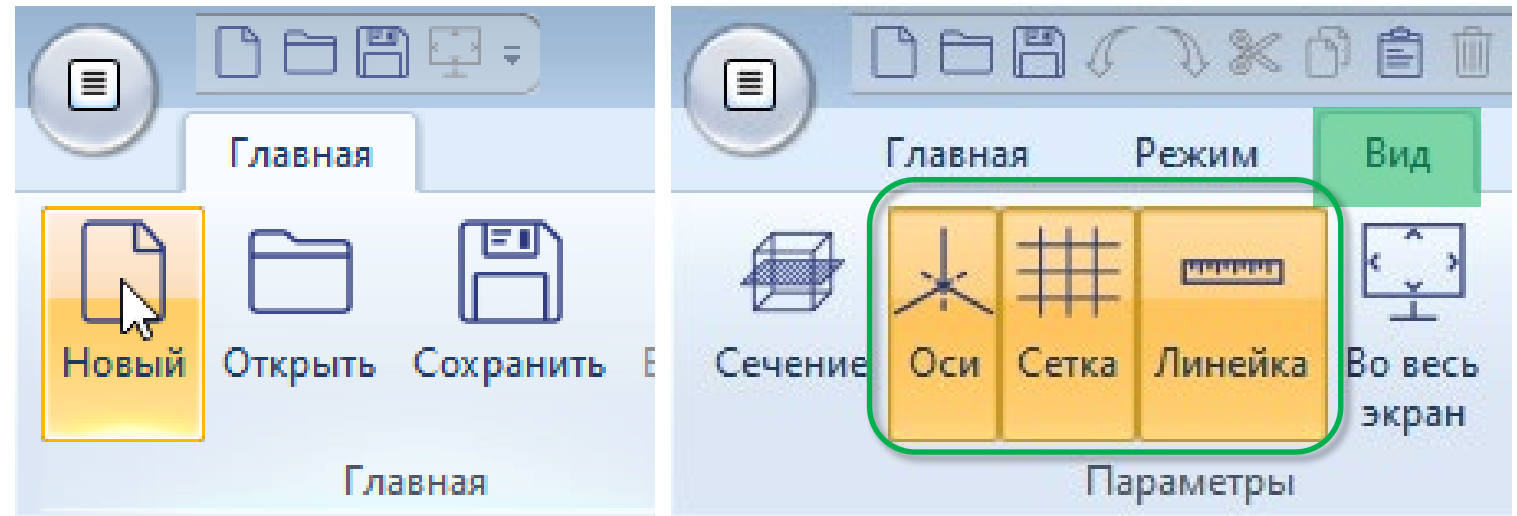
Функции ГАММА, задействованные в данном примере:

- **Создание 3D модели:**
 - Примитивы: цилиндр.
- **Библиотека материалов:**
 - Вакуум.
- **Настройки расчета.**
- **Настройки генератора сетки.**
- **Решение задачи с применением метода конечных элементов.**
- **Результаты:**
 - Распределение поля.

II. Создание модели



Стартовое меню



1. В стартовом меню или на рабочем столе найти и запустить **ГAMMA**: меню **Пуск** > **SEVSU** > **ГAMMA**.
2. Создать новый проект.
3. Для удобства моделирования в меню **Вид** включить режимы **Оси**, **Сетка** и **Линейка**.

II. Создание модели

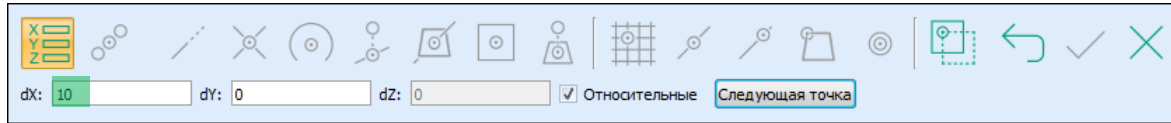
❑ Создание резонатора с радиусом 1,9 мм и высотой 1,4 мм:

1. Во вкладке **Моделирование** > всплывающий список **Кубоид** > **Цилиндр**:

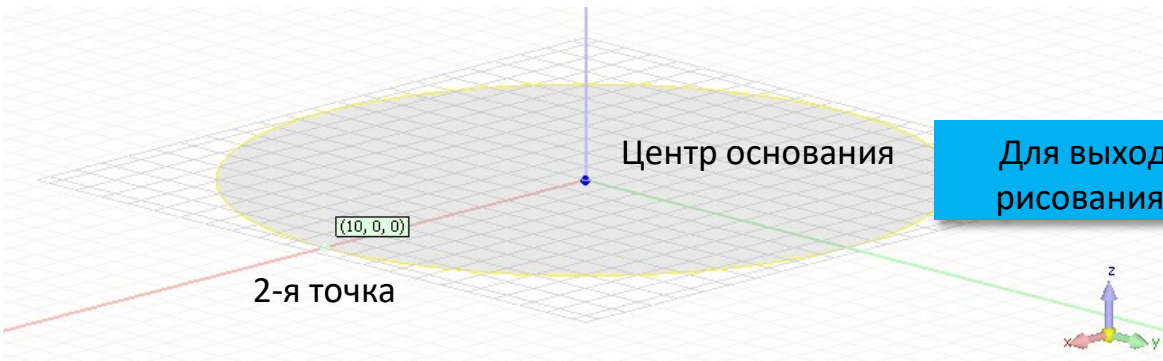
1) На экране выберете точку $\{0; 0; 0\}$ в качестве центра основания цилиндра.

2) На панели Привязка нажмите  для ручного ввода координат:

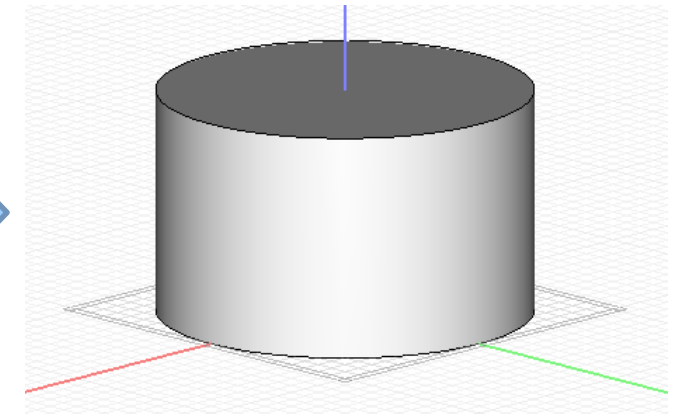
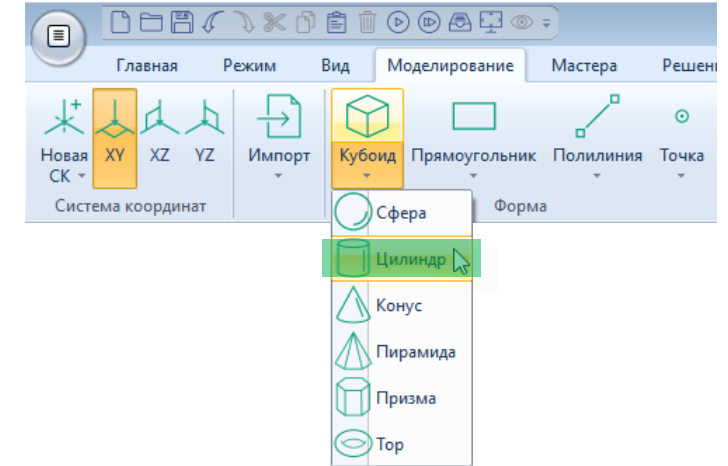
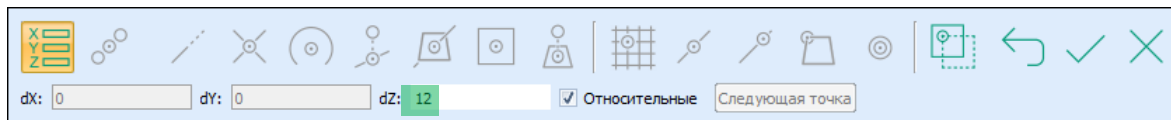
- Введите координаты второй точки $\{10; 0; 0\}$ и нажмите **Следующая Точка** или нажмите **Enter**:



Панель Привязки: координаты 2-ой точки



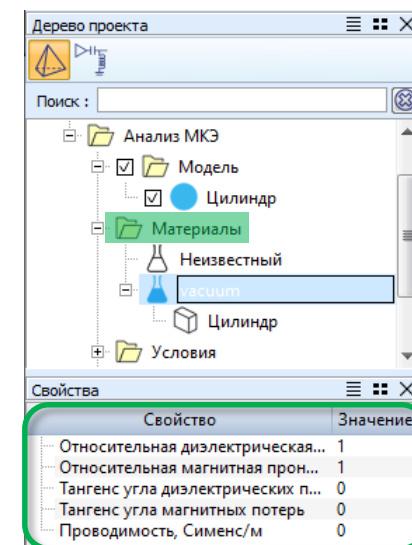
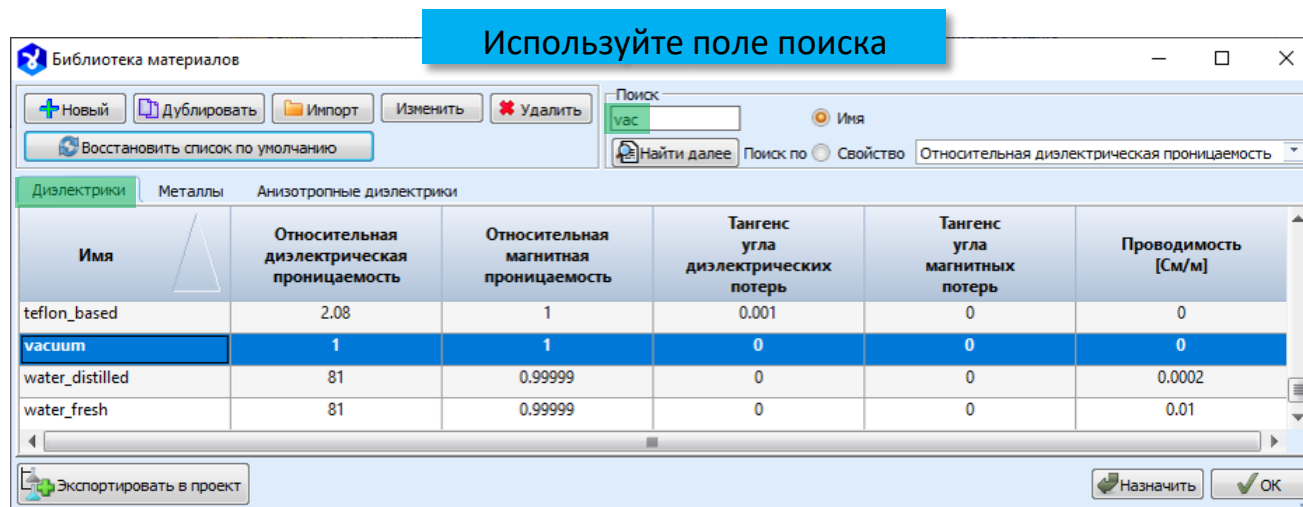
- Введите координаты третьей точки $\{0; 0; 12\}$ и нажмите **Enter**:



II. Создание модели

❑ Назначение материала **Вакуум** на резонатор:

1. Нажмите правой кнопкой на объекте “**Цилиндр**” (в дереве проекта или окне 3D просмотра) > **Назначить материал > Библиотека материалов...**
2. В окне **Библиотека материалов**:
 - 1) Во вкладке **Диэлектрики** воспользуйтесь функцией **Поиск** для поиска **Вакуума** > выделите материал > нажмите **Назначить** и закройте диалог.
 - 2) Назначенные материалы перечислены в папке **Материалы** в дереве проекта. Свойства материалов доступны в окне **Свойства** для выбранного материала:

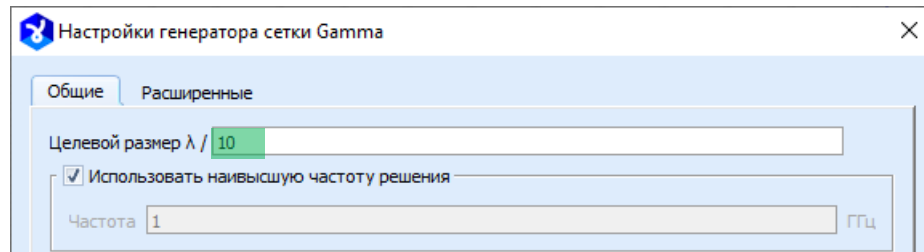


III. Настройки генератора сетки

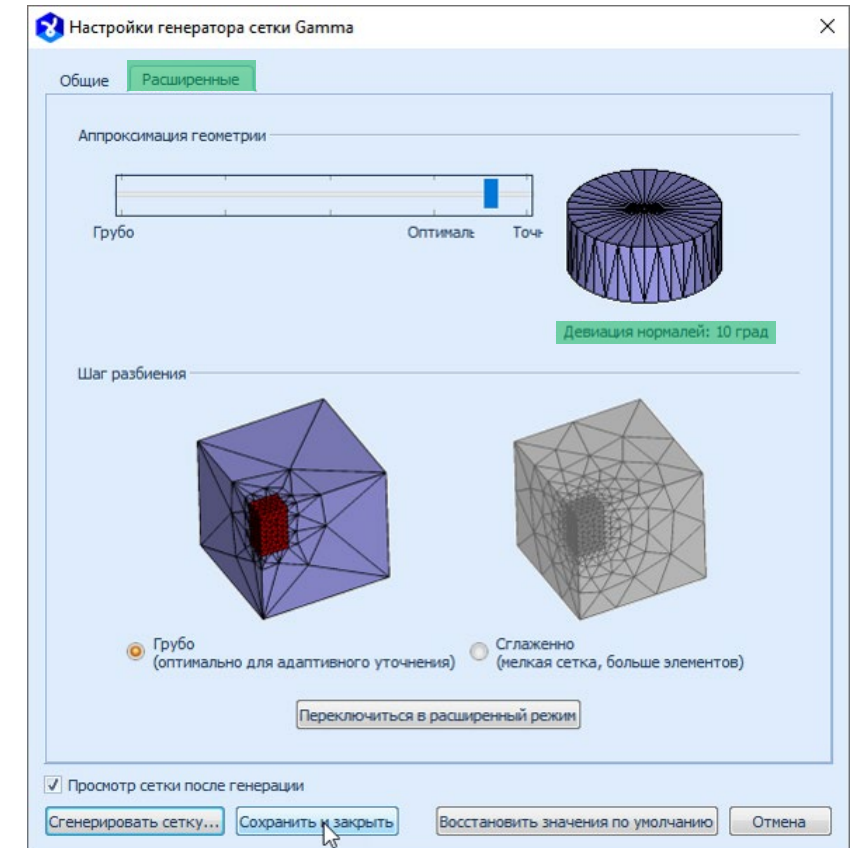
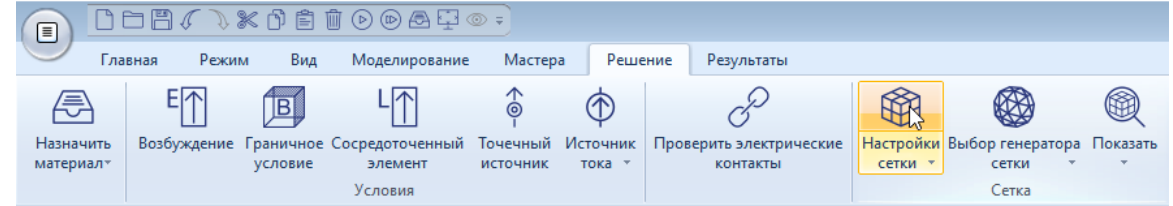
Цилиндрический резонатор требует более высокой точности аппроксимации геометрии при построении сетки. Поэтому необходимо повысить качество аппроксимации геометрии относительно настроек по умолчанию.

❑ Настройка параметров генерации сетки:

1. Во вкладке **Решение** > **Настройки сетки**:
2. В окне **Настройки генератора сетки Gamma** > вкладка **Общие**:
 - 1) Установите **Целевой размер** сетки = $\lambda/10$:



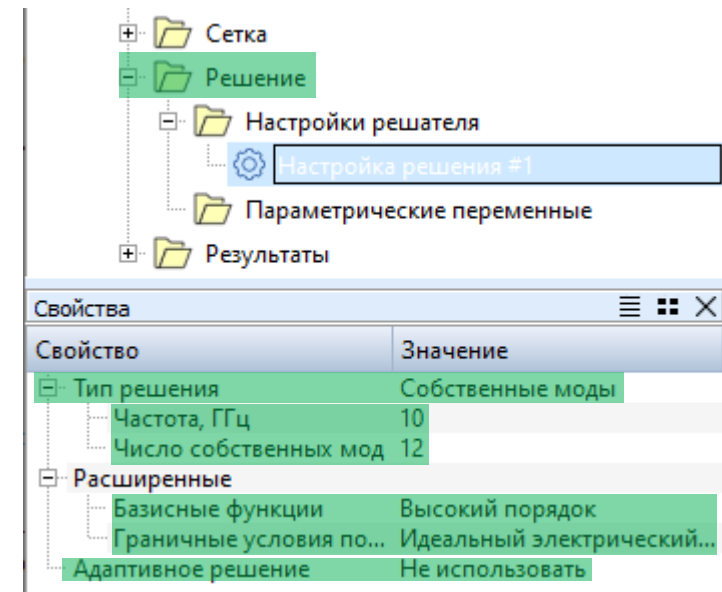
3. В окне **Настройки генератора сетки Gamma** > вкладка **Расширенные**:
 - 1) На слайдере **Аппроксимация геометрии** установите **Девияция нормалей** = 10 градусов.
 - 2) Нажмите **Сохранить и закрыть**:



IV. Настройки решения

❑ Установка параметров решения:

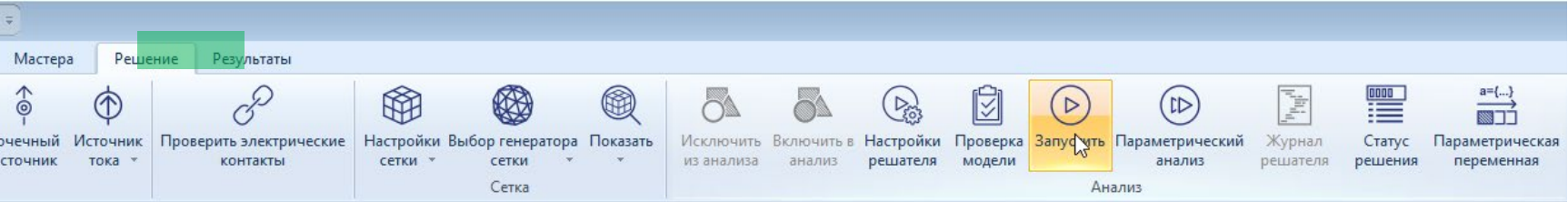
1. В дереве проекта > **Решение** > **Настройки решателя** > **Настройка решения #1**.
2. В окне **Свойства** измените значения следующих полей:
 - 1) Тип решения: Собственные моды;
 - 2) Частота = 10 ГГц;
 - 3) Число собственных мод = 12;
 - 4) Базисные функции: Высокого порядка;
 - 5) Граничные условия по умолчанию: Идеальный электрический проводник
 - 6) Адаптивное решение: Не использовать;



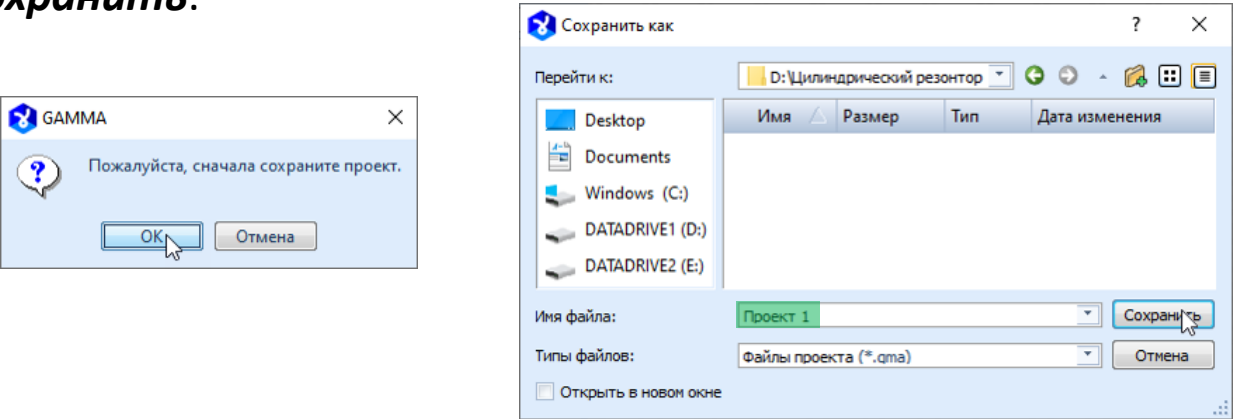
IV. Настройки решения

❑ Запуск расчета:

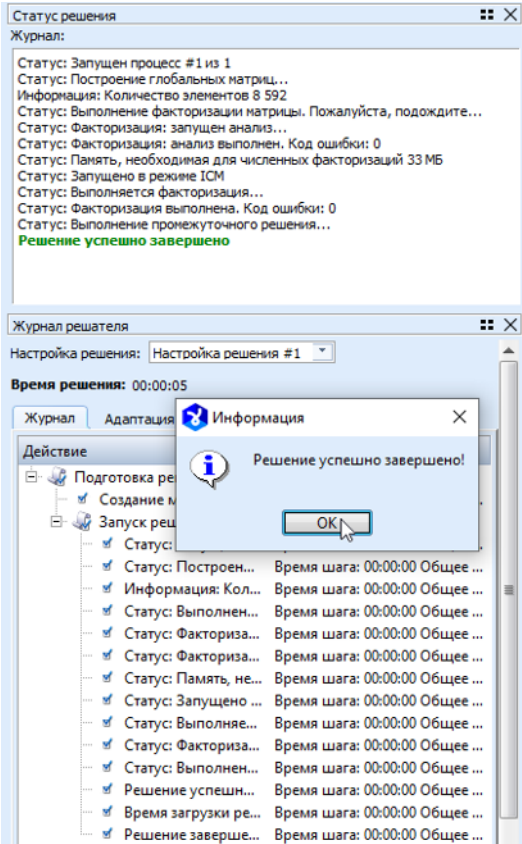
1. Во вкладке **Решение** > **Запустить**:



2. В появившемся диалоге необходимо согласиться сохранить проект: нажмите **ОК**, далее выберите расположение на жестком диске, введите имя файла и нажмите **Сохранить**:



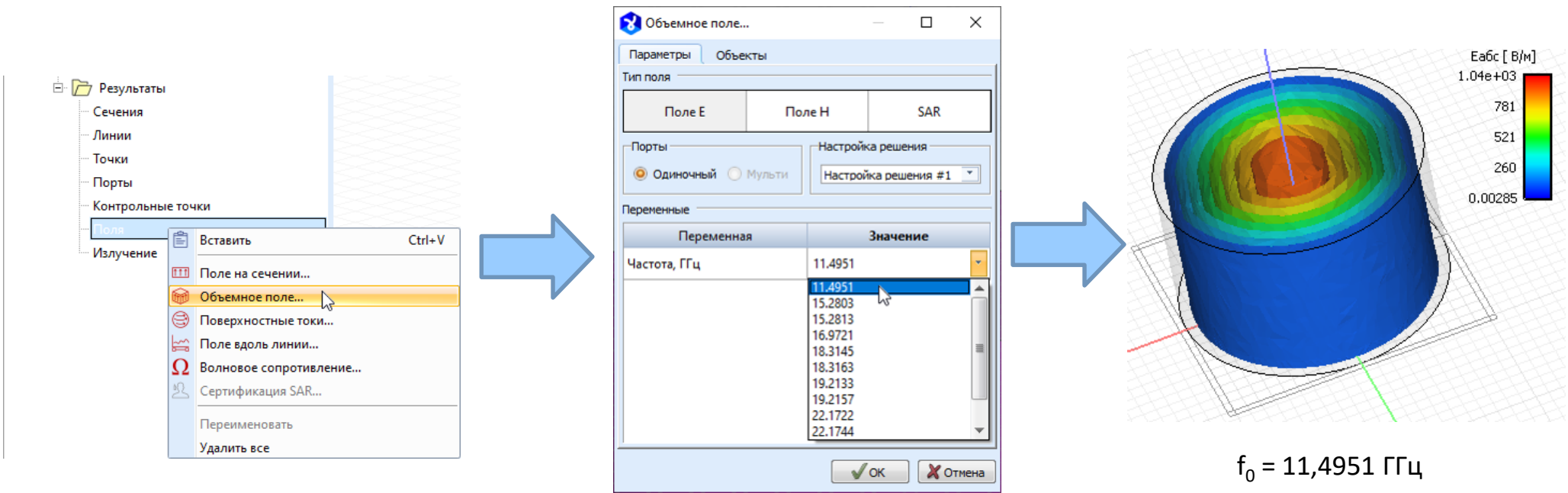
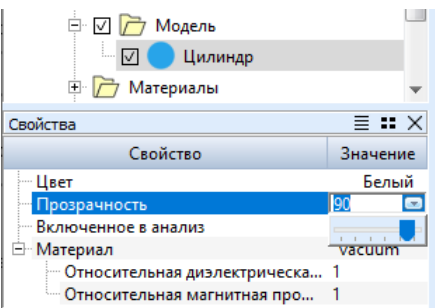
3. Рекомендуется контролировать процесс решения в автоматически открывающемся окне **Статус Решения**:



V. Результаты

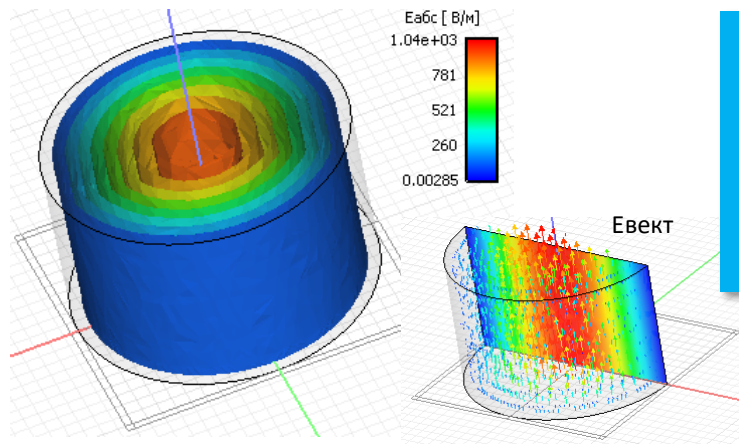
❑ Построение распределения поля:

1. Сделайте резонатор прозрачным: выделите объект **Резонатор** > окно **Свойства** > двойное нажатие на **Прозрачность** и используя слайдер или вручную введите значение прозрачности 90%.
2. В папке **Результаты** > нажмите правой кнопкой на **Поля** > **Объемное поле...**
3. В окне **Объемное поле...** во всплывающем списке находятся рассчитанные собственные частоты.
 - 1) Выберите необходимый **Тип поля** (Поле E или Поле H).
 - 2) Выберите собственную частоту из списка и нажмите **ОК** :



V. Результаты

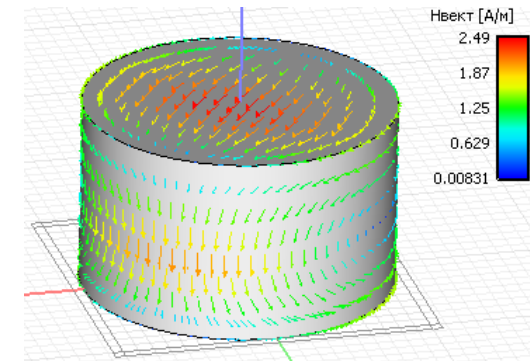
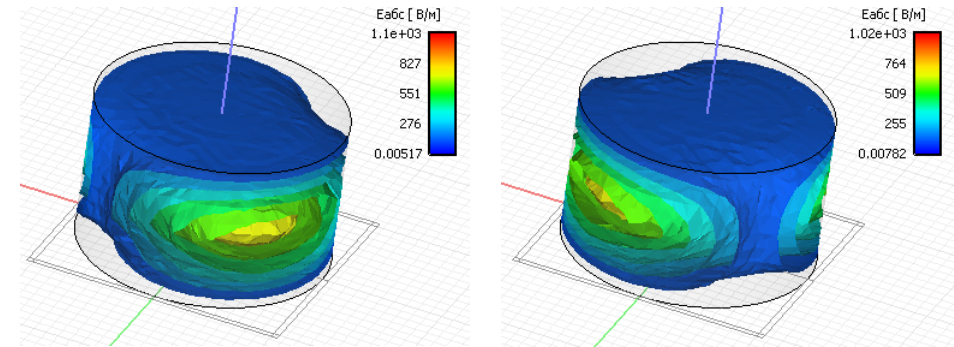
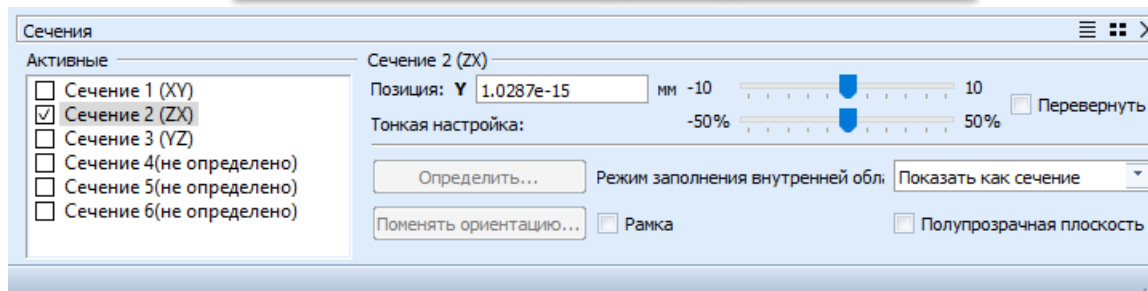
- Изучите распределение объемного поля и определите конкретную моду резонатора.
- Обратите внимание, что некоторые моды вырождены, а численные ошибки устраняют вырождение, поэтому частоты вырожденных мод немного отличаются.



$TM_{010}, f_0 = 11,4951 \text{ ГГц}$

Для векторного
представления
нажмите правой
кнопкой в окне 3D
просмотра >
Функция > Евект

Доступ к элементам управления
сечениями во вкладке **Вид > Сечение**



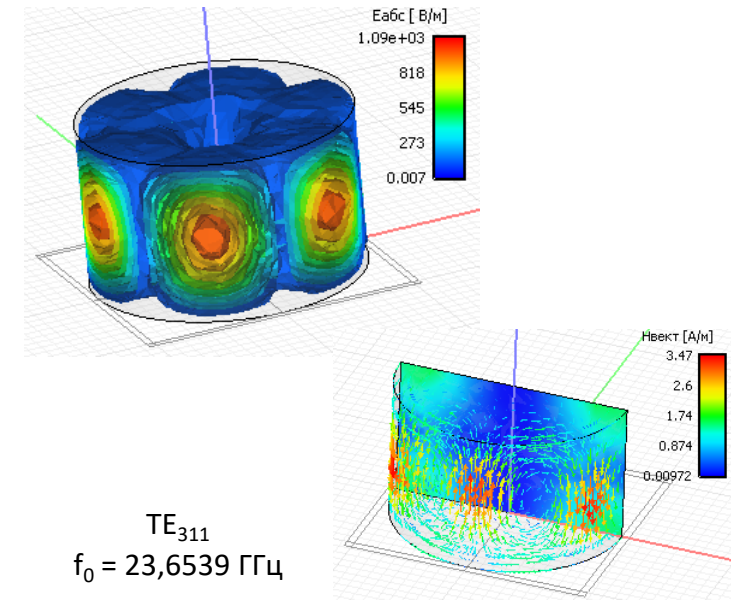
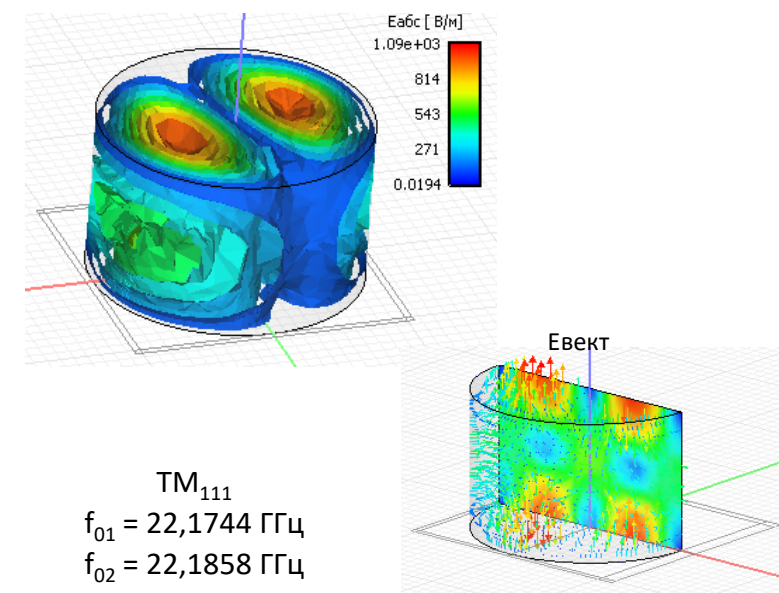
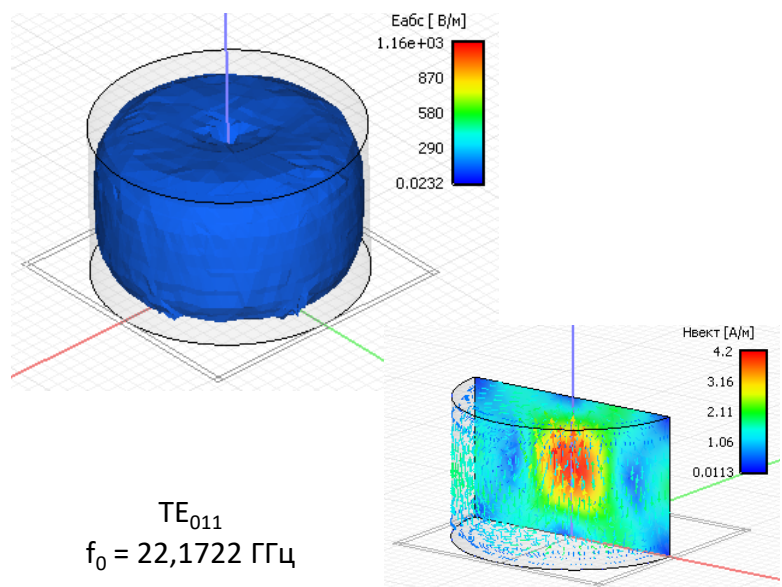
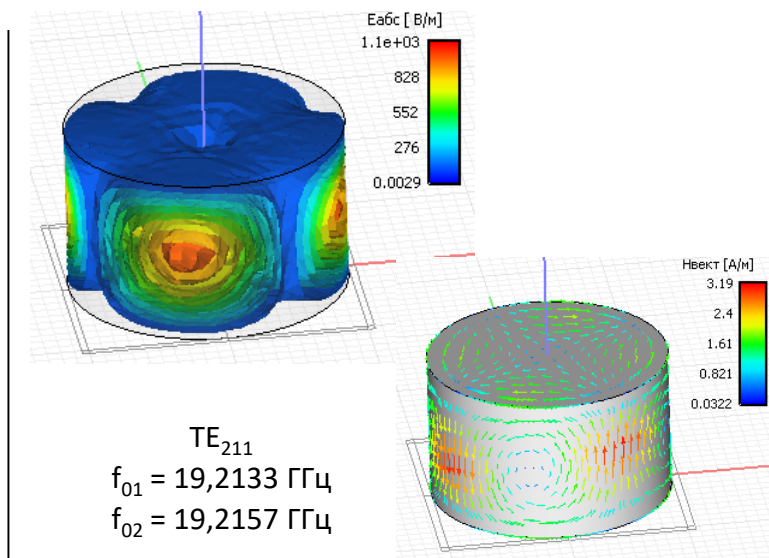
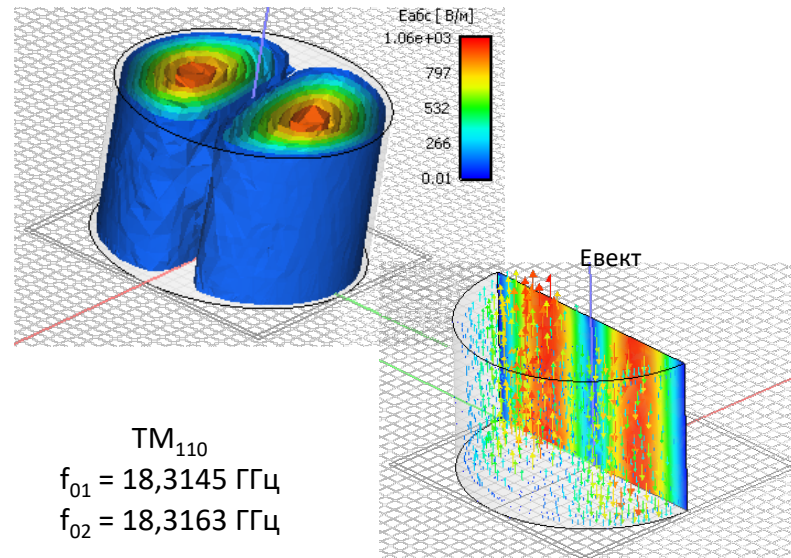
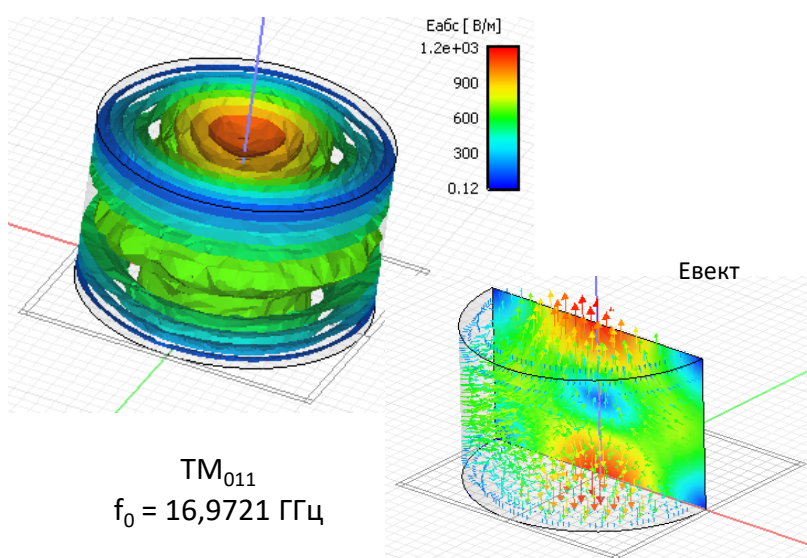
Вырожденная мода TE_{111}

$f_{01} = 15,2803 \text{ ГГц}$

$f_{02} = 15,2813 \text{ ГГц}$

(частоты отличаются из-за
численных ошибок)

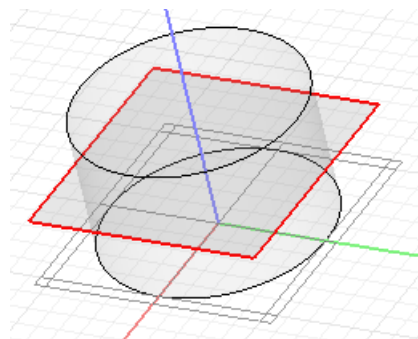
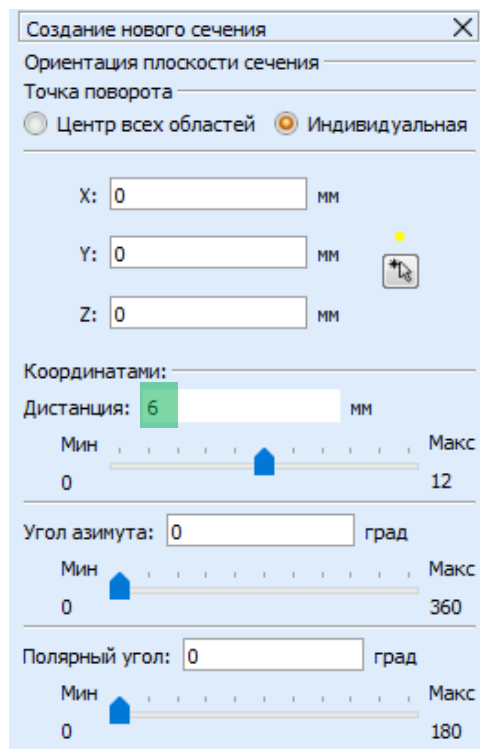
V. Результаты



❑ Построение векторного поля E для более детального анализа. Создание сечений для просмотра векторного поля:

1. Создайте Сечение1:

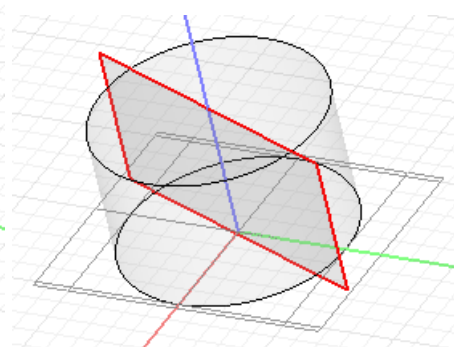
- 1) В папке **Результаты** > нажмите правой кнопкой на **Сечения > Сечение...**
- 2) В окне **Создание нового сечения** установите сечение XY по умолчанию по середине цилиндра (**Дистанция** = 6 мм) и нажмите **OK** :



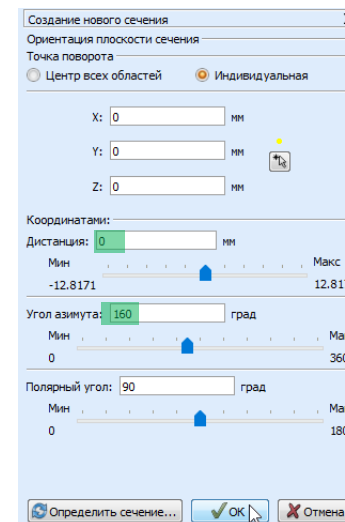
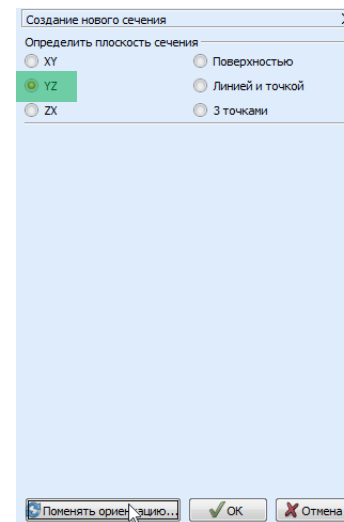
Сечение1

2. Создайте Сечение2:

- 1) В папке **Результаты** > нажмите правой кнопкой на **Сечения > Сечение...**
- 2) В окне **Создание нового сечения** нажмите **Определить сечение...**
- 3) Выберите плоскость сечения YZ и нажмите **Поменять ориентацию...**
- 4) Установите сечение YZ по середине цилиндра (**Дистанция** = 0).
- 5) Установите Угол азимута 160 градусов и нажмите **OK** :

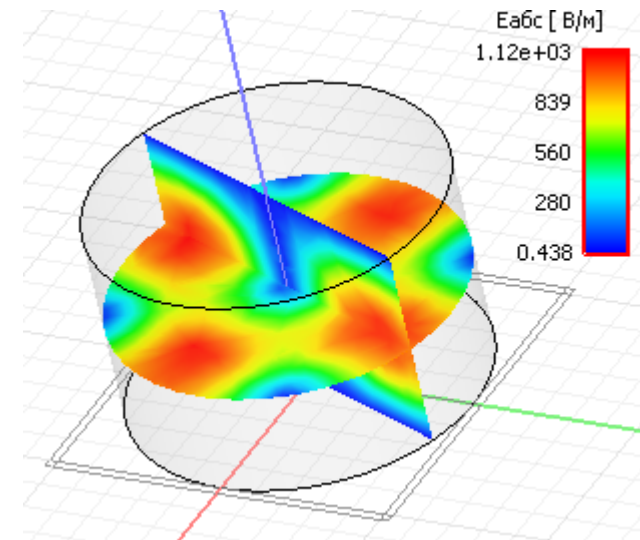
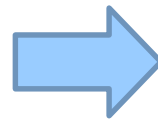
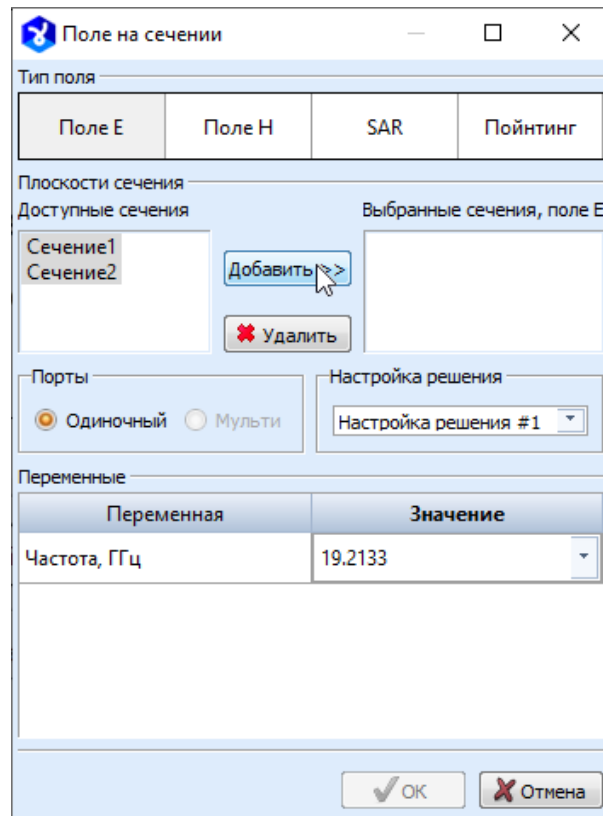


Сечение2



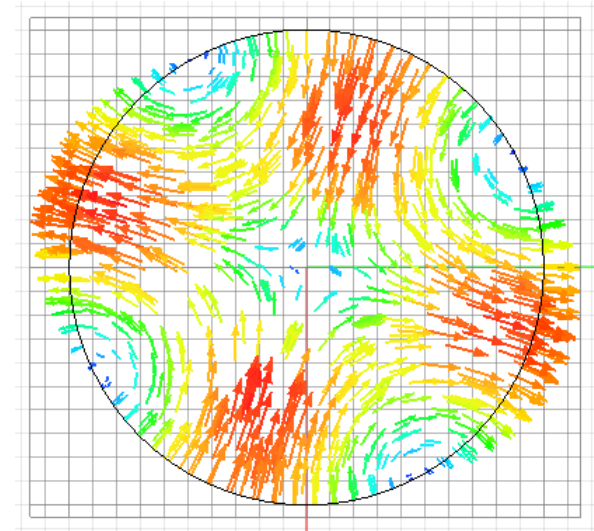
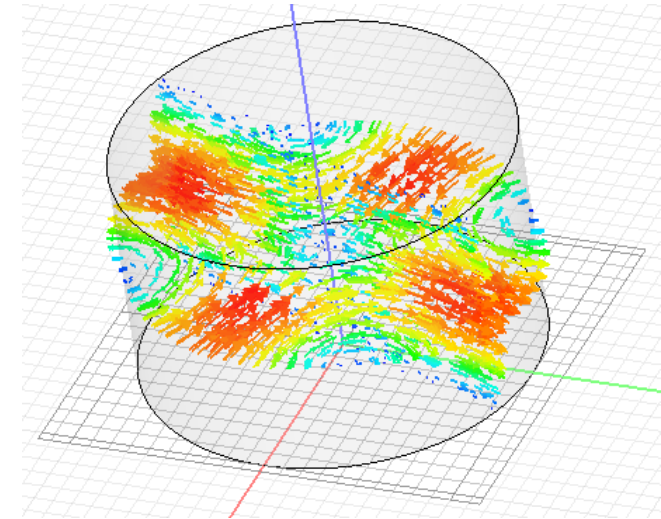
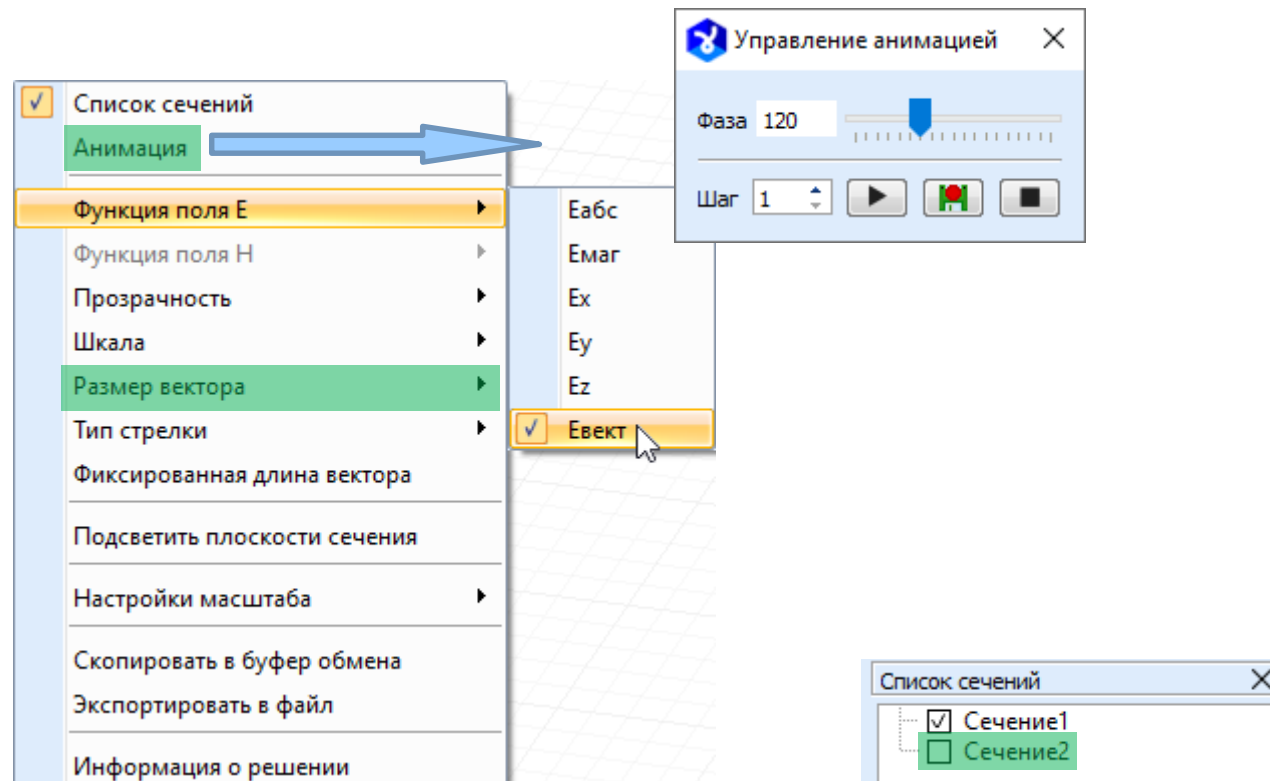
❑ Построение распределения поля на сечении:

1. В папке **Результаты** > нажмите правой кнопкой на **Поля** > **Поле на сечении...**
2. В окне **Поле на сечении**, удерживая Ctrl, последовательно выделите доступные сечения **Сечение1** и **Сечение2** и нажмите **Добавить**.
3. Выберите собственную частоту 19,2133 ГГц из списка и нажмите **OK** :



V. Результаты

4. Нажмите правой кнопкой в окне 3D просмотра > *Функция поля E* > *Евект*.
5. Нажмите правой кнопкой в окне 3D просмотра > *Размер вектора* > 2.0.
6. Нажмите правой кнопкой в окне 3D просмотра > *Анимация*.
7. В окне *Управление анимацией* введите Фазу 120.
8. В списке сечений снимите выделение с сечения *Сечение2*.



VI. Заключение

Сравнение собственных частот цилиндрического резонатора:
рассчитанных аналитически и численным методом

№	Мода	Собственная частота, ГГц		
		Теория	Расчет	Погрешность, %
1	TM ₀₁₀	11,4741	11,4951	0.18
2	*TE ₁₁₁	15,2707	15,2803	0.06
3			15,2813	0.07
4	TM ₀₁₁	16,9614	16,9721	0.06
5	*TM ₁₁₀	18,2824	18,3145	0.18
6			18,3163	0.19
7	*TE ₂₁₁	19,1929	19,2133	0.11
8			19,2157	0.12
9	TE ₀₁₁	22,1434	22,1722	0.13
10	*TM ₁₁₁	22,1422	22,1744	0.15
11			22,1858	0.20
12	TE ₃₁₁	23,6140	23,6539	0.17

*Вырожденная мода

Собственные частоты резонатора с криволинейной поверхностью рассчитаны с погрешностью менее десятых долей процента, причем даже для высоких мод (до №12).