



СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Учебный пример ГАММА Направленный ответвитель Риблета

21 апреля, 2023



- I. Введение**
- II. Создание модели**
- III. Решение**
- IV. Результаты**
- V. Заключение**

I. Введение: Обзор

Направленный ответвитель с короткой щелью был предложен Риблетом в 1947 г. [1]. Ответвитель состоит из двух прямоугольных волноводов с общей боковой стенкой (рис. 1). Прорезь в общей стенке соединяет два волновода. При возбуждении от порта 1 ответвитель обеспечивает равномерное распределение мощности между портами 2 и 4 с изолированным портом 3. Волна в порту 3 смещена на 90° относительно порта 2. Длина щели должна быть больше $\lambda_g / 2$, где λ_g – длина волны в волноводах ответвителя на центральной частоте. Настроечный винт, расположенный вдоль оси симметрии ответвителя, используется для согласования портов.

Ширина устройства в области щели сужена для предотвращения распространения моды высокого порядка.

Матрица рассеяния ответвителя согласно теории должна иметь вид:

$$S = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & -j \\ 1 & 0 & -j & 0 \\ 0 & -j & 0 & 1 \\ -j & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} \quad (1)$$

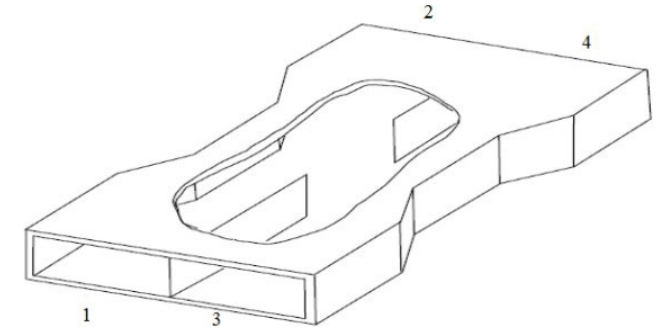
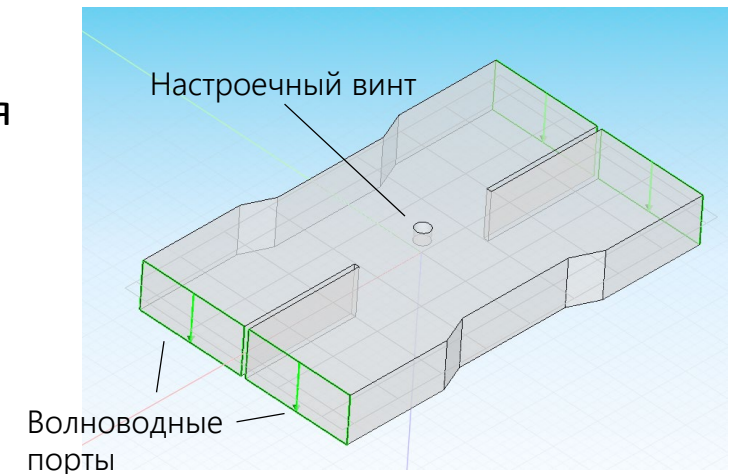


Рис.1



Модель ответвителя в ГАММА

Цель:

- Провести Численный анализ волноводного ответвителя.
- Сравнить результаты расчета с теорией.

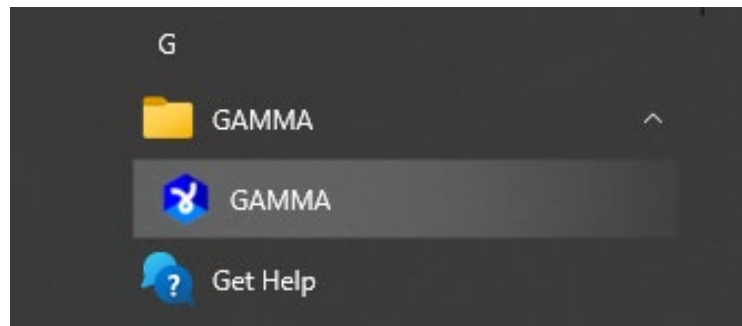
Задачи:

- Нарисовать 3D модель средствами GAMMA.
- Запустить решение в диапазоне от 8 до 12 ГГц с шагом 1 МГц.
- Сравнить рассчитанные значения элементов S-матрицы с предсказанными теорией.
- Исследовать распределение поля внутри модели на характерных частотах.

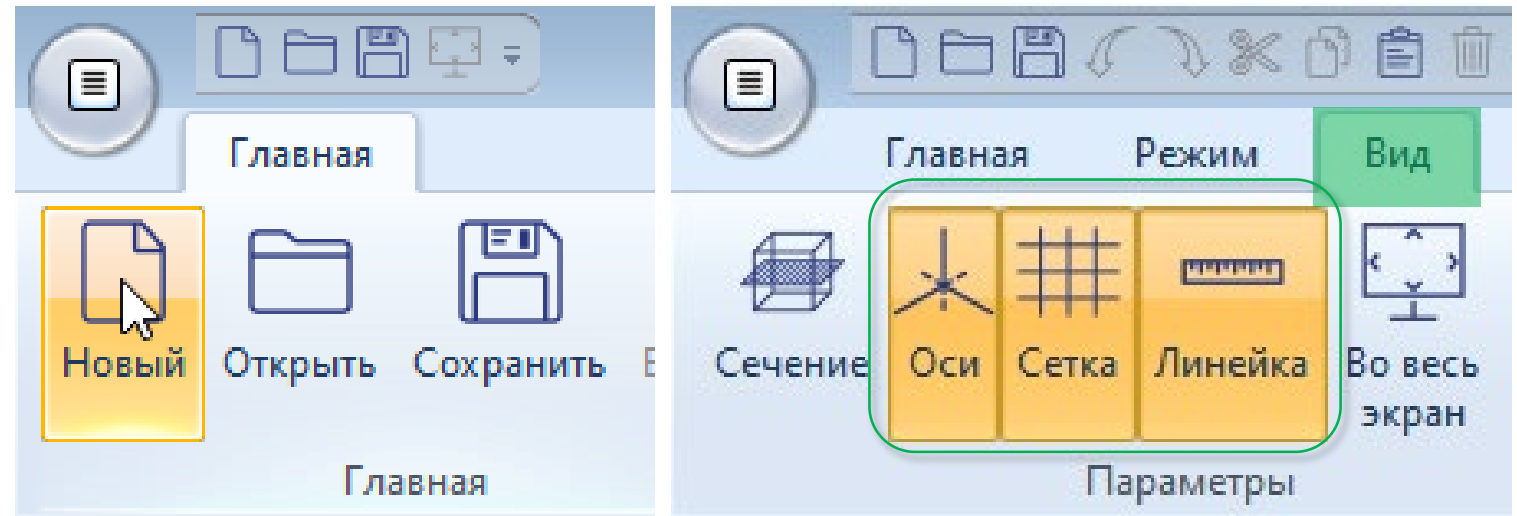
Функции GAMMA, задействованные в данном примере :

- **Работа с 3D моделью:**
 - Прimitives: Кубоид, Полилинии, Цилиндр
 - Операции: Выдавить вдоль оси
- **Граничные условия:**
 - Прямоугольный Волновой Порт
- **Библиотека материалов:**
 - Вакуум, металл
- **Решение:**
 - Расчет в диапазоне частот
- **Результаты**
 - График S-параметров
 - Поле в сечении

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

- Нарисуйте параллелепипед, чтобы сформировать две секции волновода:
Сечение волновода 23x10 мм. Общая стенка толщиной 1 мм. Таким образом, коробка должна быть шириной 47 мм. Длина слота:

$$l = \frac{1}{2} \frac{\lambda_{10}\lambda_{20}}{\lambda_{20} - \lambda_{10}}$$

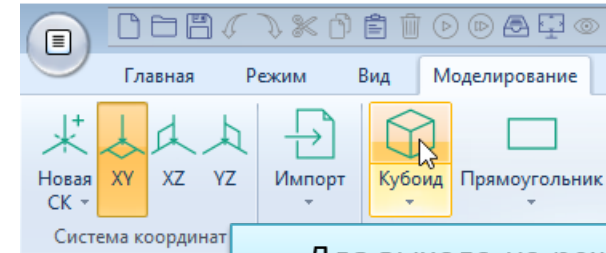
где $\lambda_{10}, \lambda_{20}$ - длины волн мод Н10 и Н20 в области щели. Для уменьшения длины щели, ширина волновода в области щели сужается до 30 мм. Полная длина устройства 80 мм.

- Во вкладке **Моделирование** > **Кубоид**:

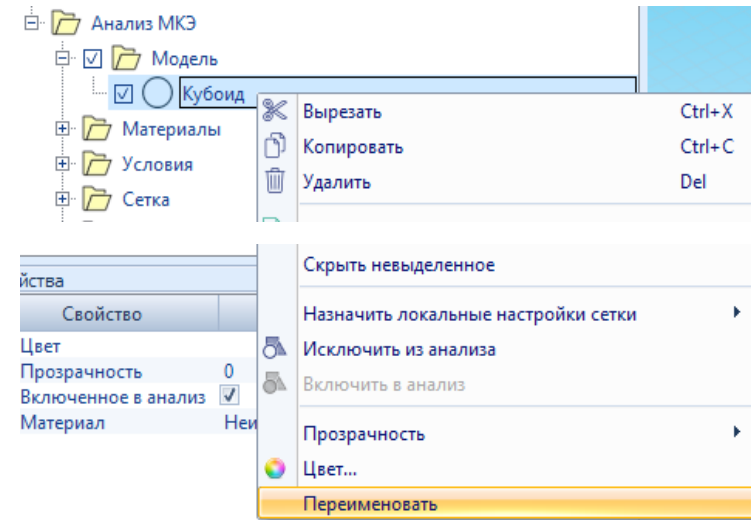
- 1) Кликните в любом месте в окне 3D рисования чтобы задать первый угол основания параллелепипеда.
- 2) Переместите курсор по диагонали и кликните еще раз для задания второй точки основания параллелепипеда.
- 3) Переместите курсор вверх/вниз для задания высоты параллелепипеда.

- В дереве проекта, переименуйте «Кубоид» в «Ответвитель»:

- Нажмите правой кнопкой на объекте в дереве проекта > **Переименовать** или используйте клавишу **F2**.



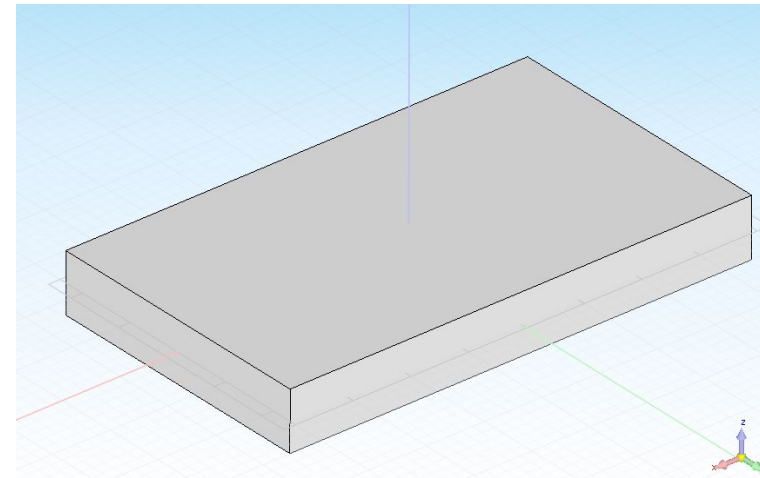
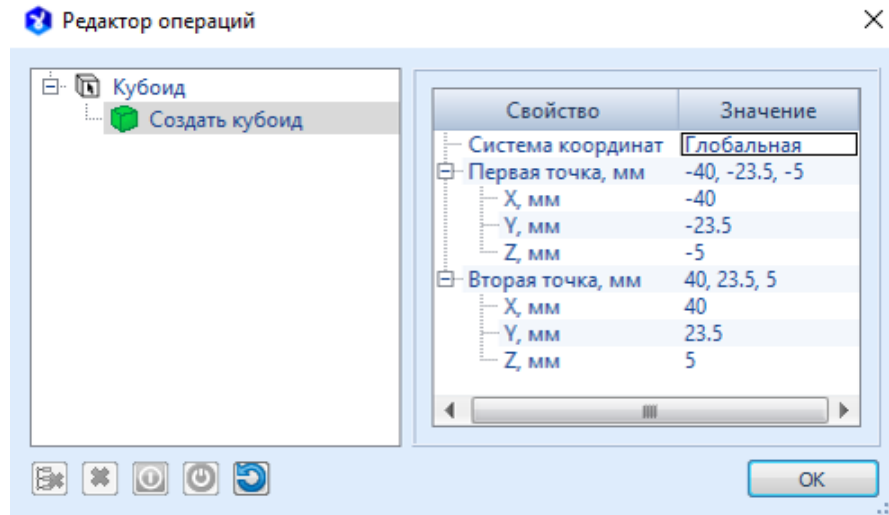
Для выхода из режима
рисования нажмите Esc



II. Создание модели

3. Измените размеры параллелепипеда:

- 1) Двойной клик на объекте в окне 3D рисования или на имени объекта в дереве для доступа к окну «**Редактор операций**».
- 2) В окне «**Редактор операций**» двойной клик в полях со значениями для их изменения > установите следующие значения и нажмите «**ОК**» :

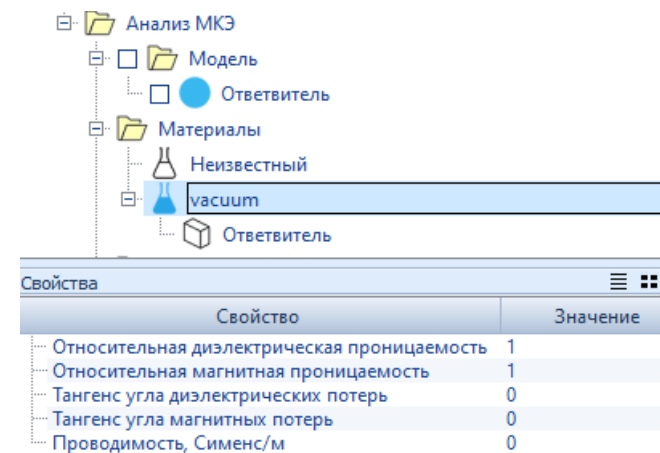
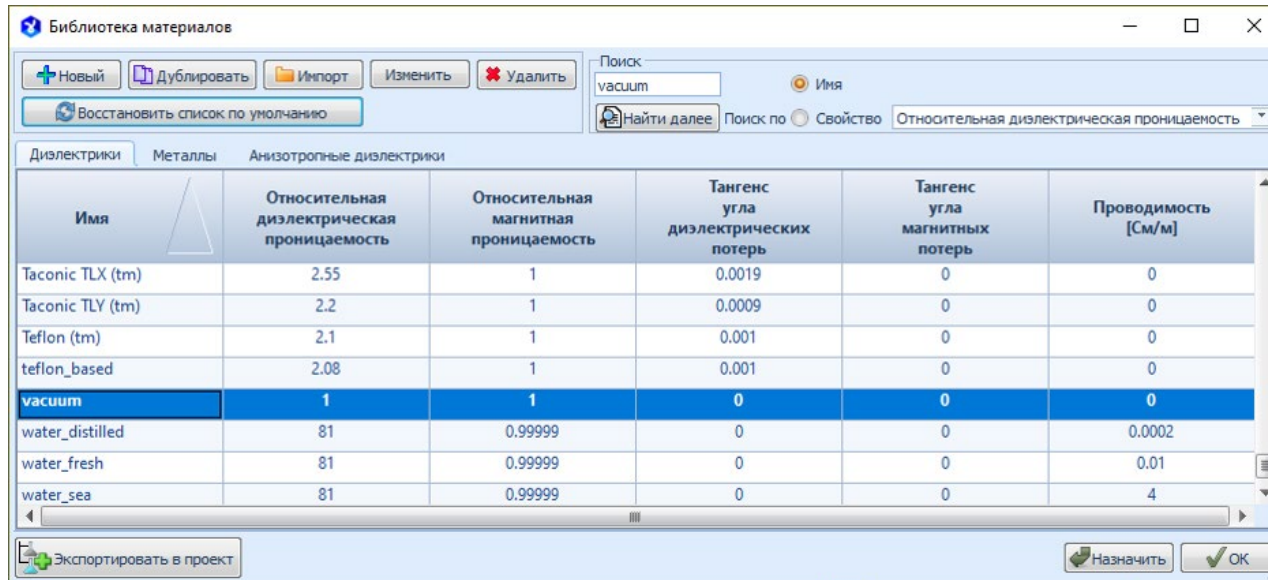


Для оптимального размещения 3-д модели в окне рисования, нажмите клавишу **Пробел**

II. Создание модели

❑ Назначьте материал «vacuum» на параллелепипед:

1. Нажмите правой клавишей на объекте или его имени в дереве > **Назначить материал** > **Библиотека материалов**.
2. В «**Библиотеке материалов**»:
 - Воспользуйтесь функцией поиска во вкладке «**Диэлектрики**» > введите слово «**vacuum**» в строке поиска > выберите найденный материал «**vacuum**» > нажмите «**Назначить**». Закройте окно «**Библиотека материалов**».
 - Назначенный материал появится в окне «**Свойства**» выбранного объекта и в папке «**Материалы**» дерева проекта.



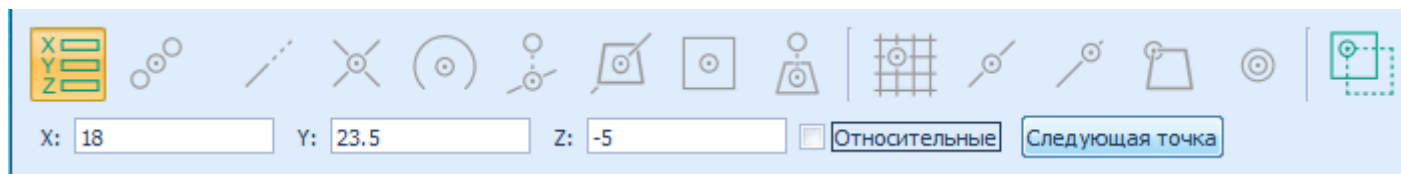
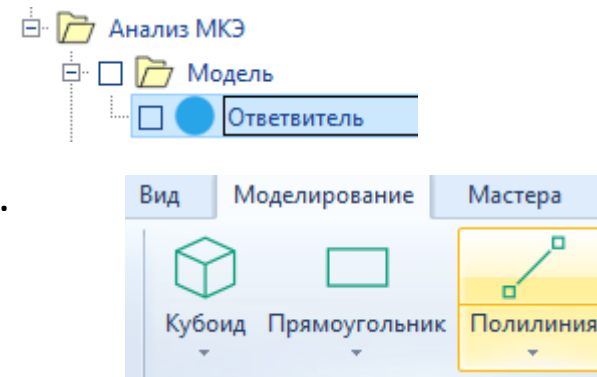


II. Создание модели

❑ Создание прорезей и сужений:

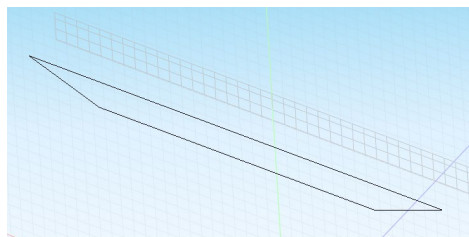
1. Скройте «**Ответвитель**», для этого снимите галочку в дереве проекта.
2. Создайте контур.
 - 1) В панели «**Моделирование**» > «**Полилиния**». Появится панель привязки.
 - 2) На панели привязки, кликните  для ручного ввода координат:

- Снимите галочку с «**Относительные**»;
- Введите координаты первой точки {18; 23.5; -5} и кликните «**Следующая точка**» или нажмите «**Enter**»;



Панель привязки

- Повторите для второй точки {-18; 23.5; -5}; третьей {-12; 21; -5}; четвертой {12; 21; -5}; и пятой {18; 23.5; -5} и нажмите кнопку .

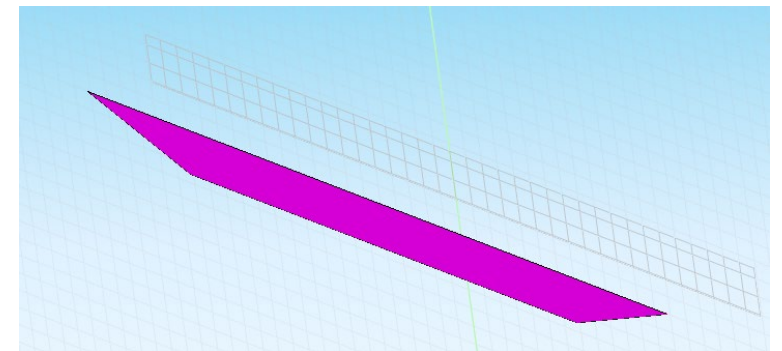
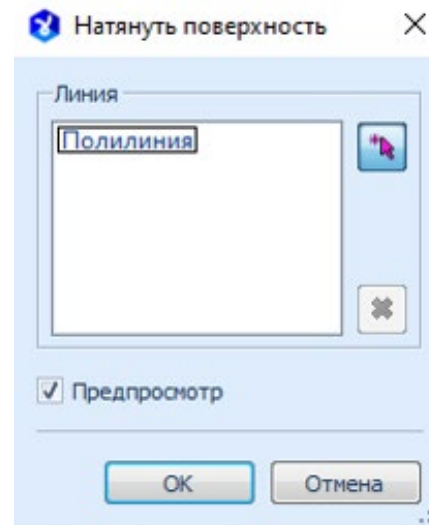
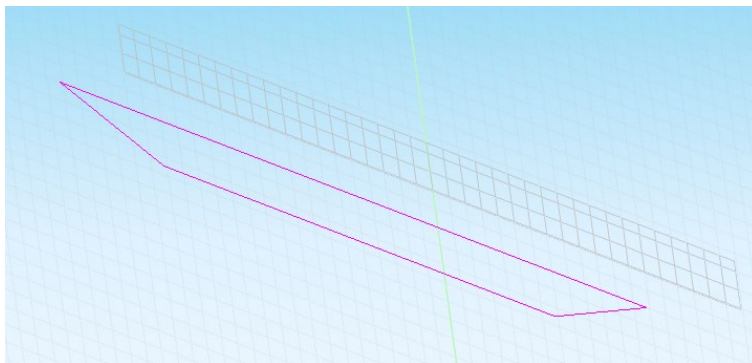
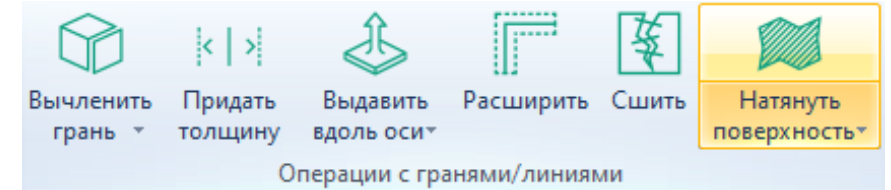


Контур

II. Создание модели

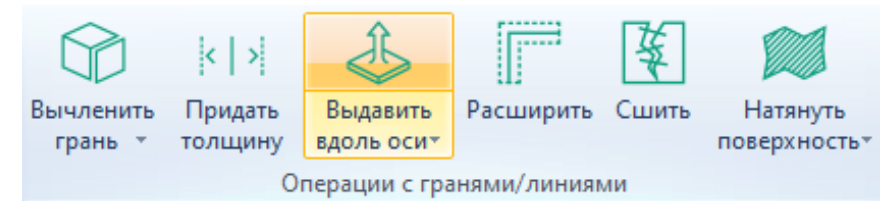
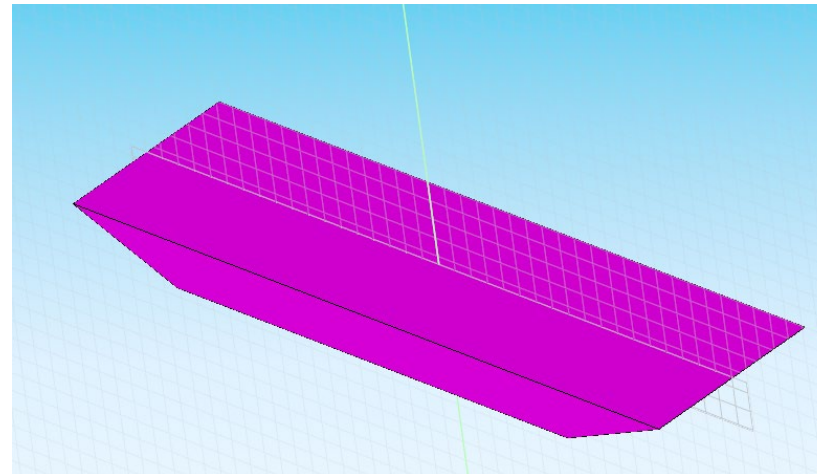
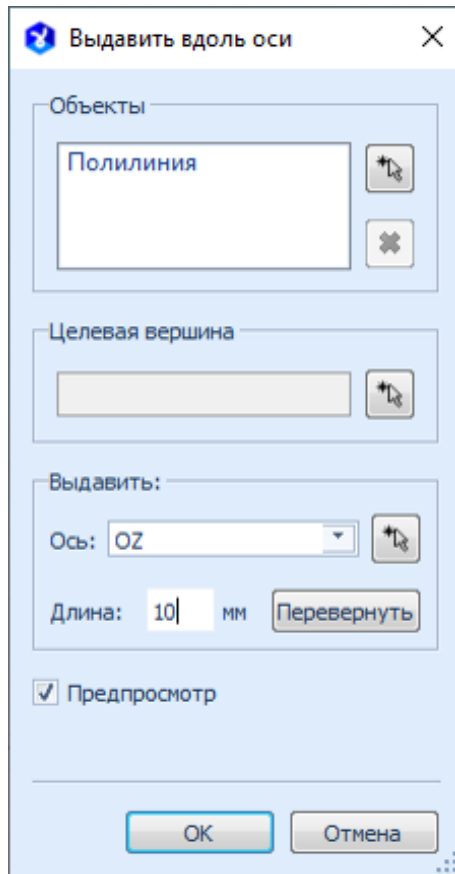
3. Покрытие контура поверхностью.

- 1) Убедитесь, что контур выбран и в панели «Моделирование» > «Натянуть поверхность»
- 2) В окне «Натянуть поверхность» нажмите «ОК».



II. Создание модели

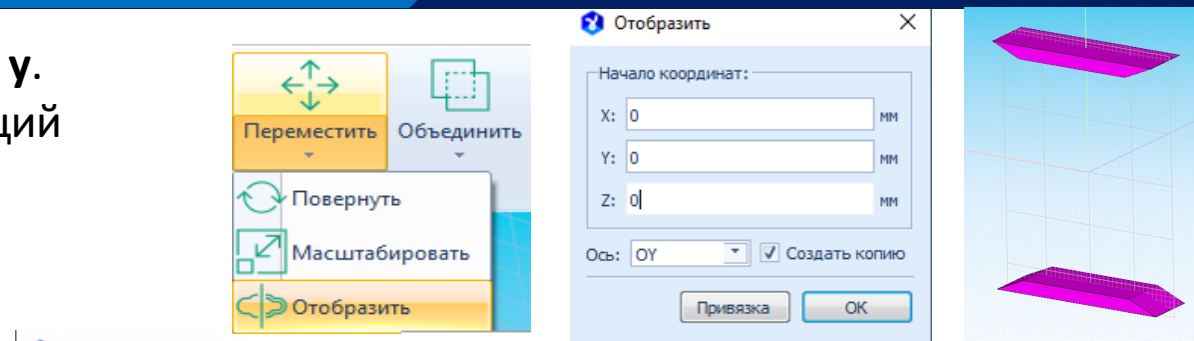
4. “Вытяните” объект вдоль оси Z на 10 мм.
- 1) В панели «**Моделирование**» > **Выдавить вдоль оси**.
 - 2) В окне «**Выдавить вдоль оси**», введите 10 мм в поле «**Длина**» и нажмите «**ОК**».



II. Создание модели

5. Создайте копию объекта с отражением вдоль оси y .
- 1) Вкладка «**Моделирование**» > семейство операций «**Переместить**» > «**Отразить**».

2) В окне «**Отразить**» введите координаты центра $\{0, 0, 0\}$, установите ось **OY**, поставьте галочку «**Создать копию**» и нажмите «**ОК**».

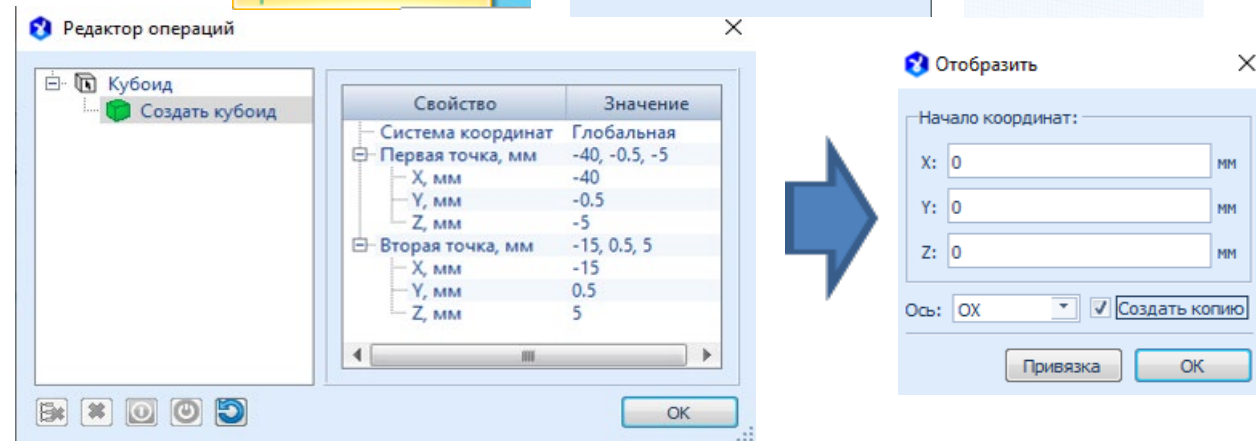


6. Создайте общую стенку.

1) В панели «**Моделирование**» > «**Кубоид**».

2) Создайте параллелепипед с координатами вершин: первая точка $\{-40; -0.5; -5\}$; вторая точка $\{-15; 0.5; 5\}$.

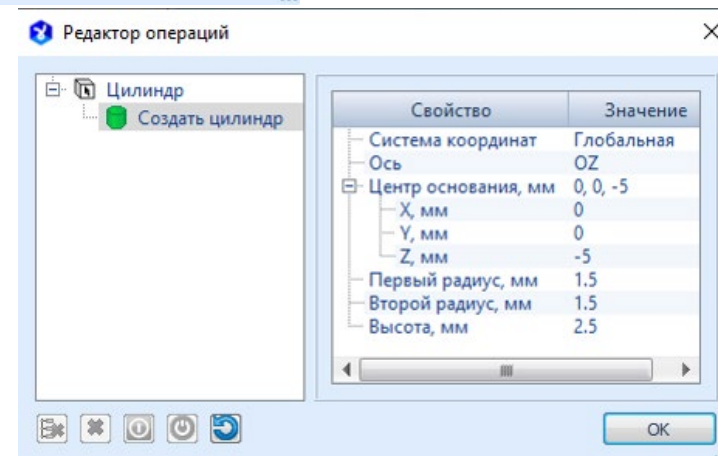
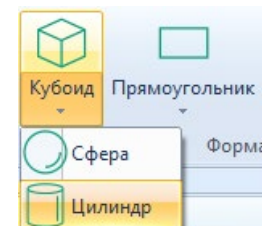
3) Создайте отраженную вдоль оси OX копию параллелепипеда используя «**Моделирование**» > семейство операций «**Переместить**» > «**Отразить**»



7. Создайте цилиндр (настроечный винт).

1) Вкладка «**Моделирование**» > семейство операций «**Кубоид**» > «**Цилиндр**».

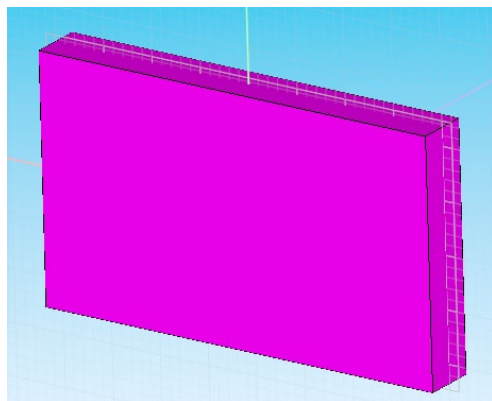
Центр $\{0; 0; -5\}$; радиус = 1.5 мм; высота = 2.5 мм.



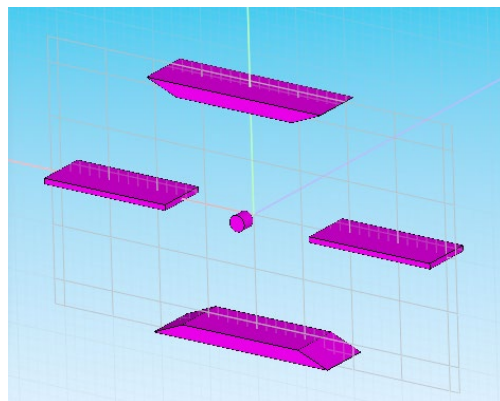


II. Создание модели

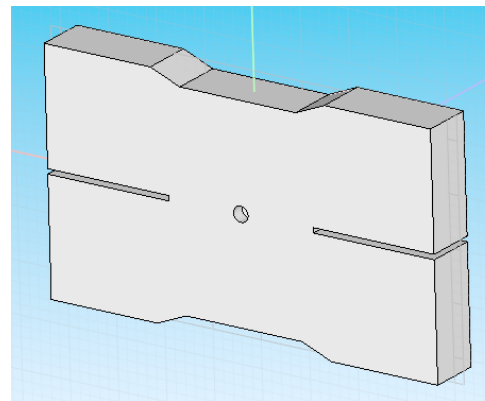
8. Вычтете все ранее созданные вспомогательные объекты из **Ответвителя**.
 - 1) В дереве проекта верните видимость «**Ответвителю**» и выделите его.
 - 2) Вкладка «**Моделирование**» > семейство операций «**Объединить**» > «**Вычесть**»
 - 3) В окне «**Вычесть**» выберете «**Ответвитель**» в качестве «**Исходного объекта**». Скройте «**Ответвитель**» чтобы выделить вспомогательные объекты в качестве рабочих в окне 3D рисования.
 - Используйте множественную селекцию с нажатой кнопкой «**Ctrl**».
 - 4) Нажмите «**ОК**».



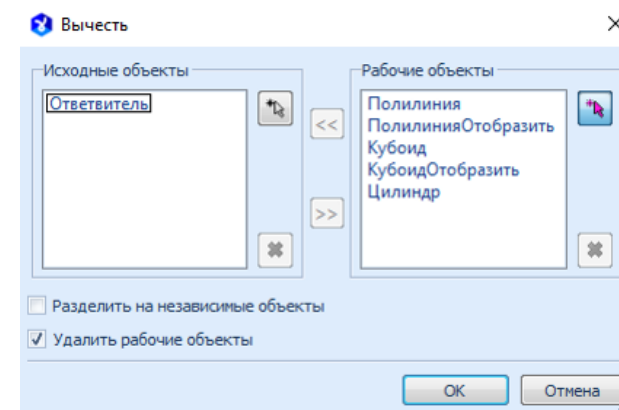
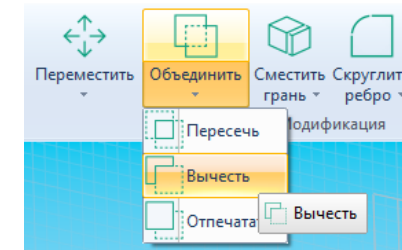
Исходный объект



Рабочие объекты

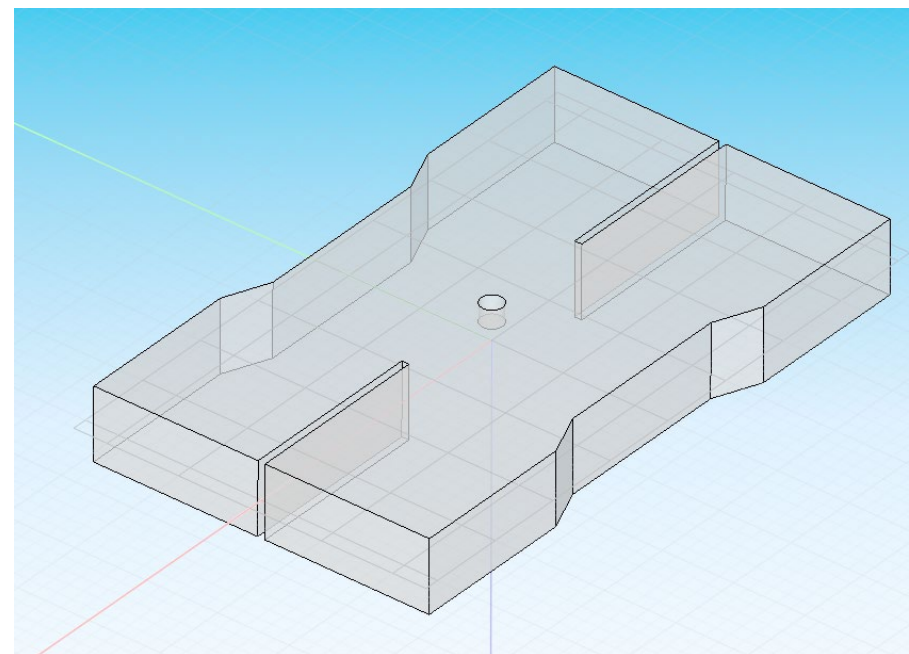
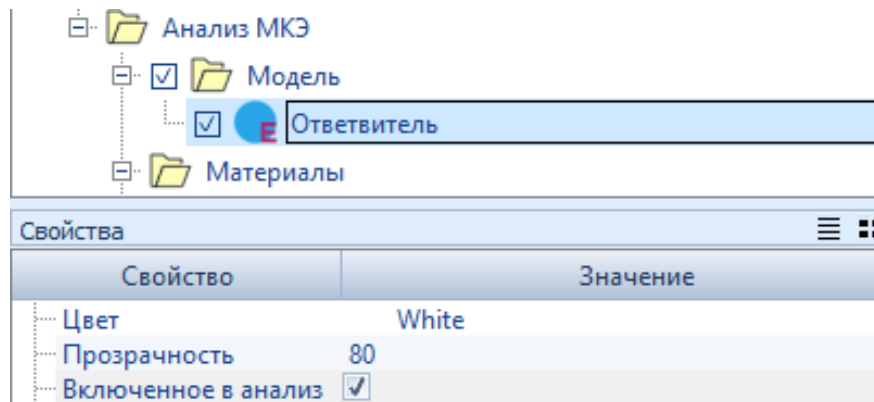


Результат



II. Создание модели

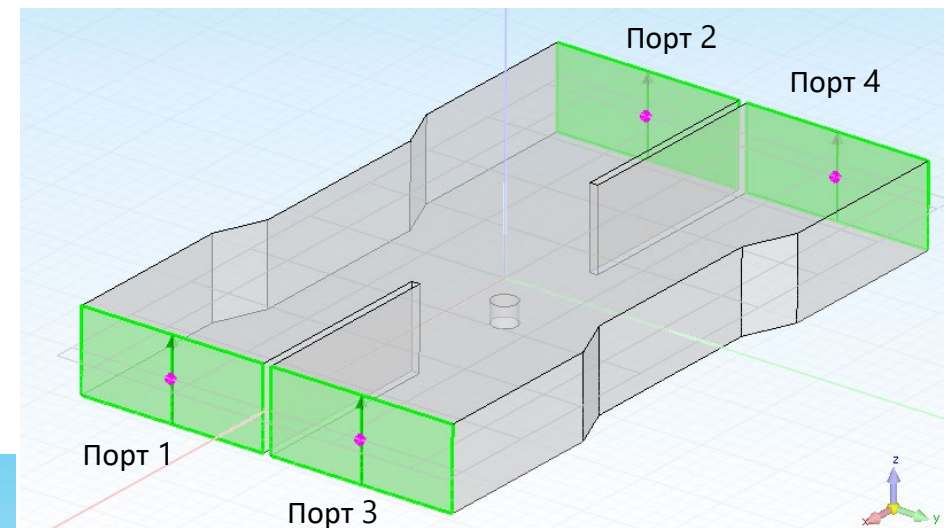
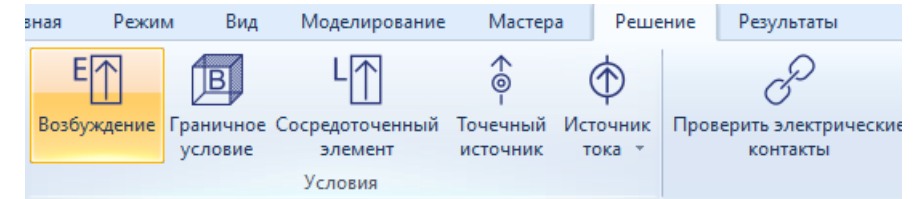
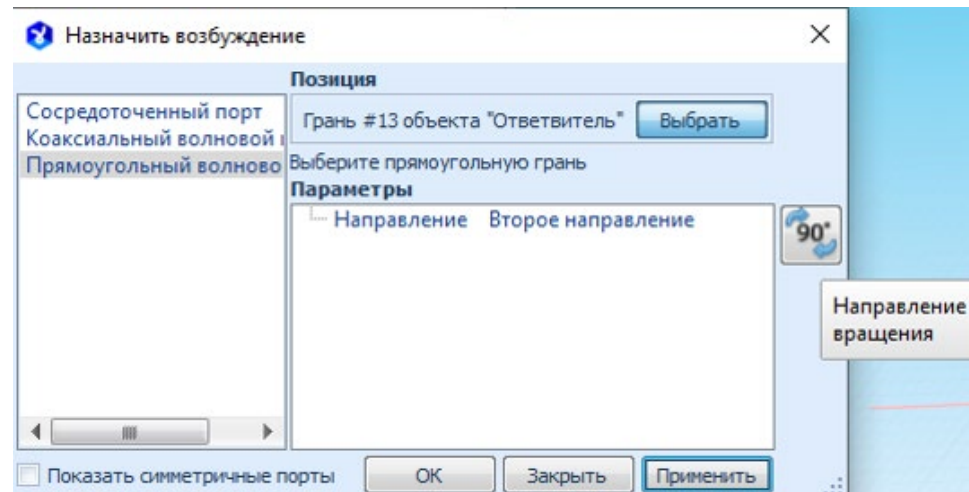
9. Установите прозрачность для «*Ответвителя*».
- В окне «*Свойства*» > «*Прозрачность*» > **80%**.



II. Создание модели

□ Назначение условий возбуждения (портов):

1. Во вкладке «Решение» > «Условие возбуждение».
2. В окне «Назначить возбуждение» выберите «Прямоугольный волноводный порт».
 - 1) В окне 3-д рисования, кликните на торцевой грани Порты №1 как это показано на рисунке и нажмите «Применить».
 - 2) Повторите те же действия для трех других Портов как это показано на рисунке и закройте диалоговое окно.
 - Установите направление всех портов вдоль оси **OZ**. Для изменения направления нажмите кнопку «Направление вращения».
3. Порты доступны в дереве проекта в папке «Условия» > «Возбуждение».





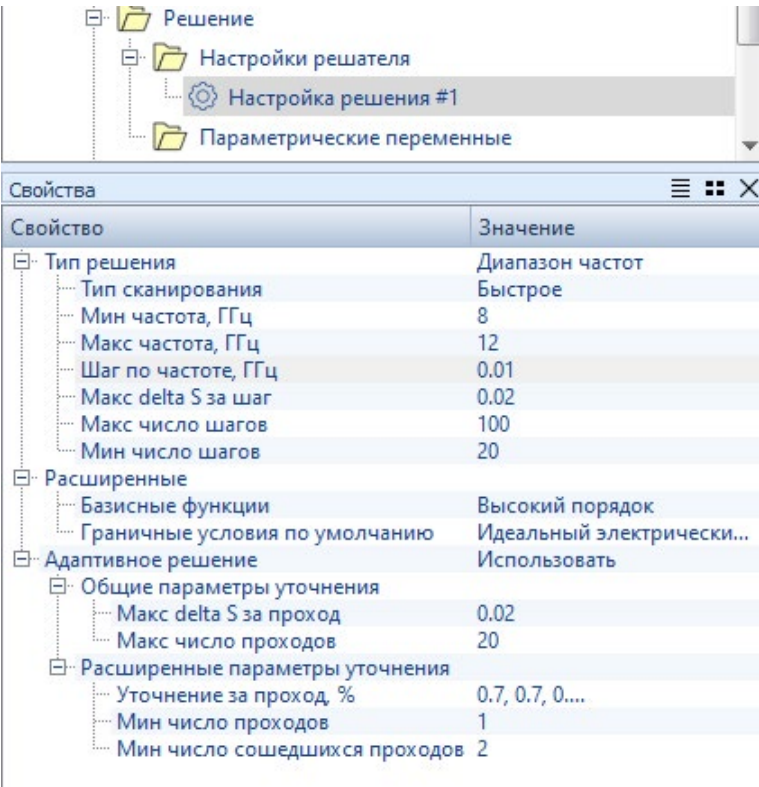
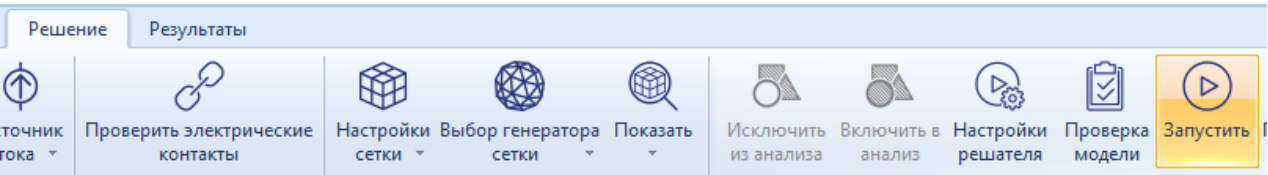
III. Решение

❑ Настройки решения:

В дереве проекта > «Решение» > «Настройки решателя» > «Настройки решения#1».

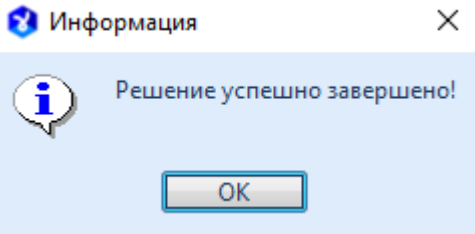
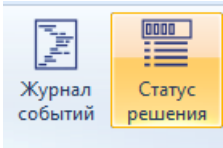
В окне «Свойства» двойной клик на полях чтобы установить значения. Установите следующие настройки:

- 1) Мин частота, ГГц = 8;
- 2) Макс частота ГГц = 12;
- 3) Шаг по частоте ГГц = 0.01;
- 4) Граничные условия по умолчанию = Идеальный электрический проводник
- 5) ...



❑ Запустите решение:

- 1. Вкладка «Решение» > «Запустить».
- Вкладка «Вид» > «Статус решения».

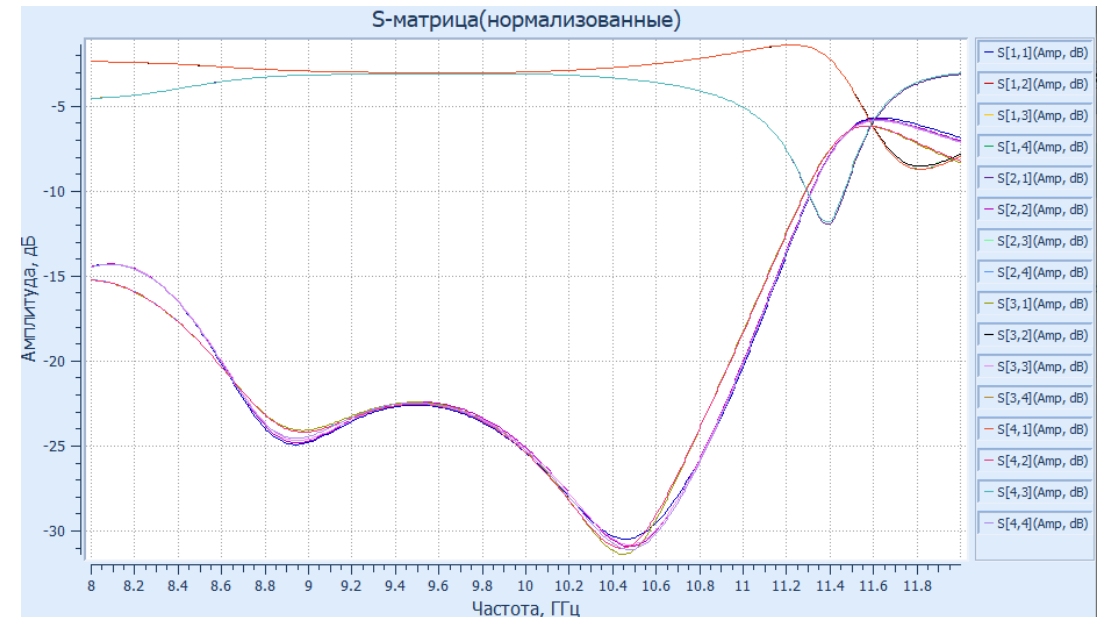
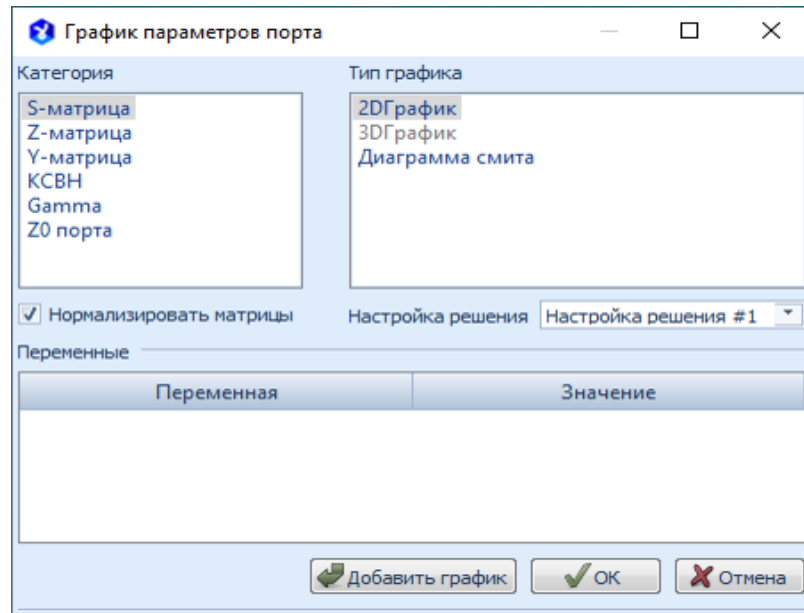
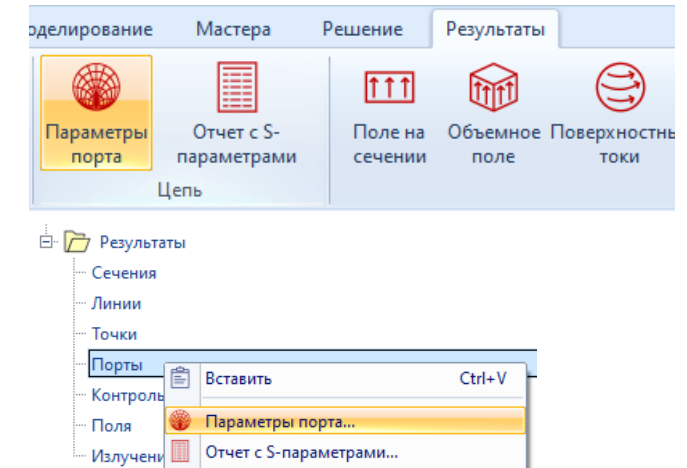


IV. Результаты

- ❑ После завершения процесса решения результаты доступны в дереве проекта > «Результаты»:

Для создания графика S-параметров:

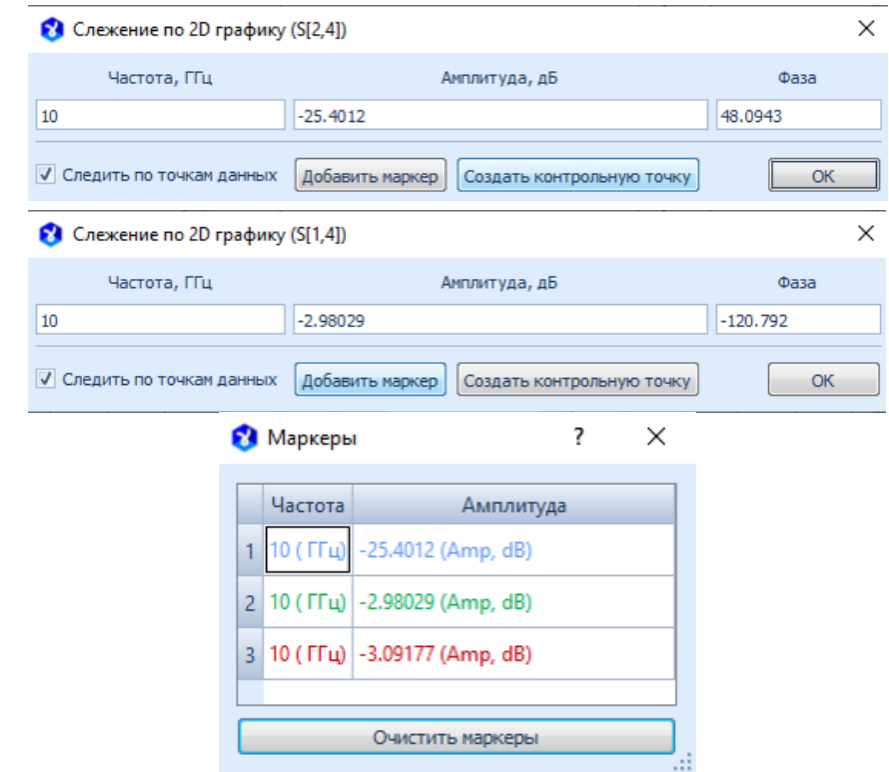
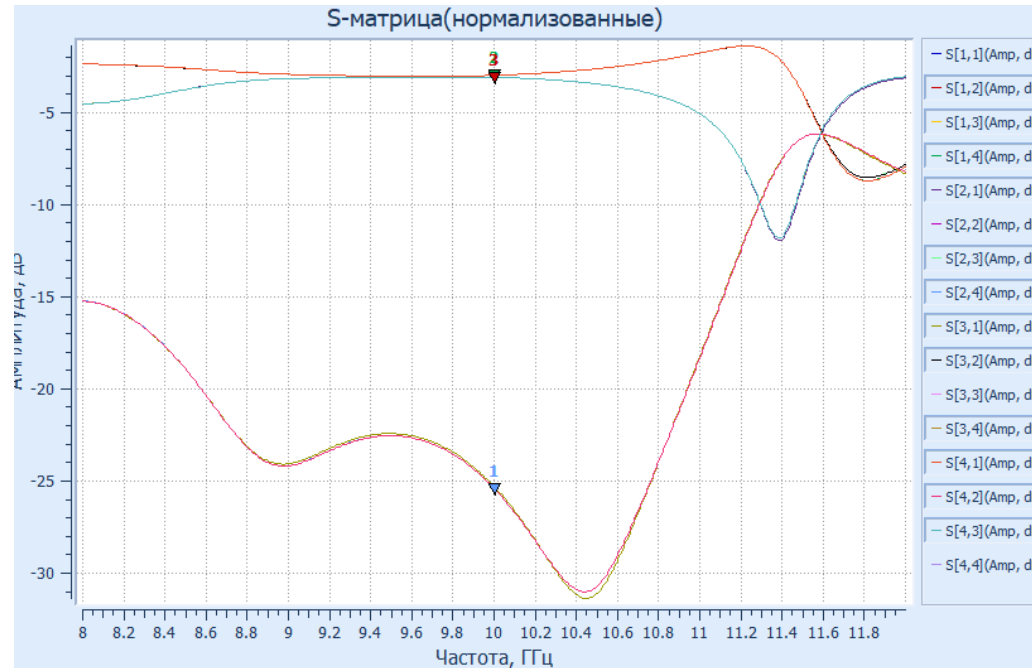
1. В дереве, правый клик на «Порты» > «Параметры порта».
Данная функция также доступна во вкладке «Результаты».
2. В диалоге «Создать параметры порта» оставьте значения по умолчанию и нажмите «ОК».



IV. Результаты

Для получения точных значений коэффициента передачи и изоляции на частоте 10 ГГц :

1. В правой части графика скройте все кривые, соответствующие диагональным элементам матрицы рассеяния (S_{11} , S_{22} , ...) как это показано на рисунке ниже.
2. Щелкните правой кнопкой мыши в поле графика > **«Слежение»**.
3. С помощью курсора в виде перекрестия выберите точку 10 ГГц на кривой S_{13}/S_{31} либо S_{24}/S_{42} и нажмите кнопку **«Добавить маркер»**.
4. Повторите шаг 2 для любой из кривых S_{43}/S_{34} или S_{12}/S_{21} .

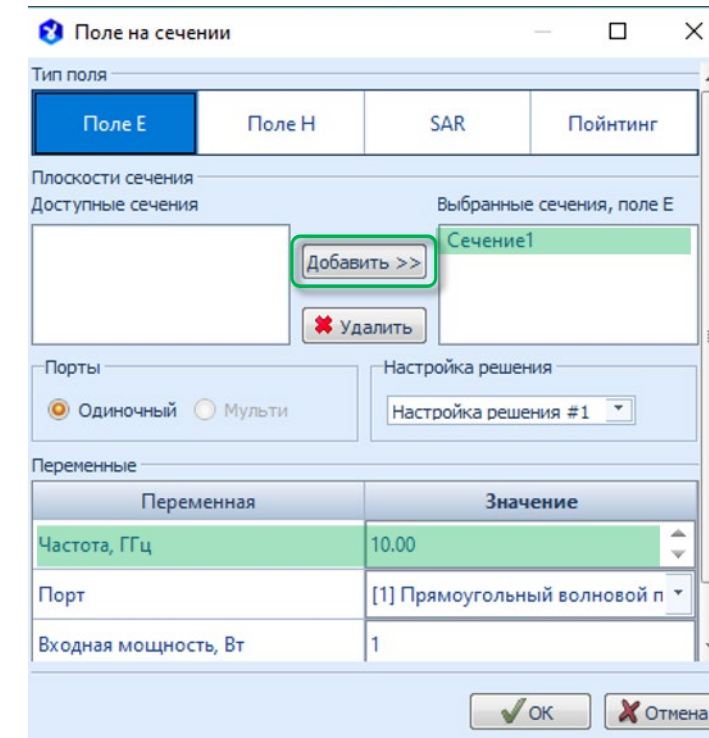
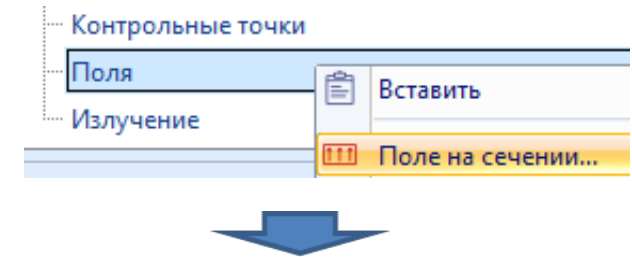
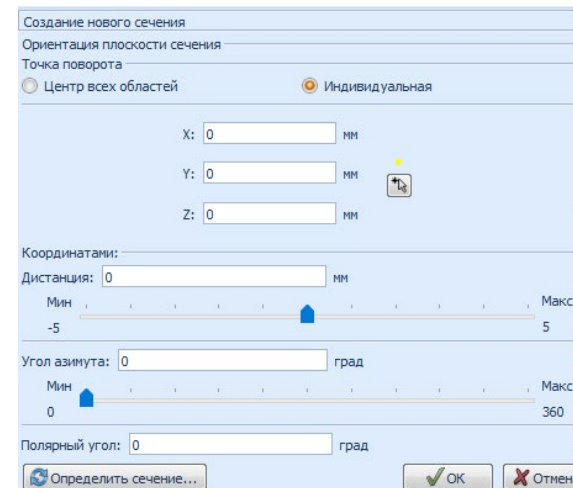
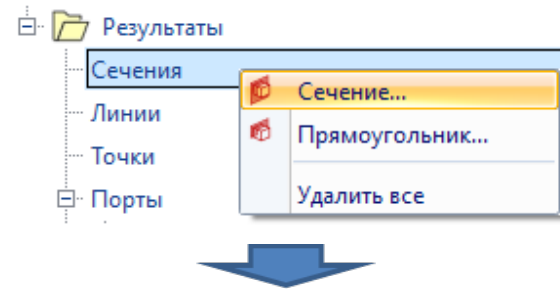
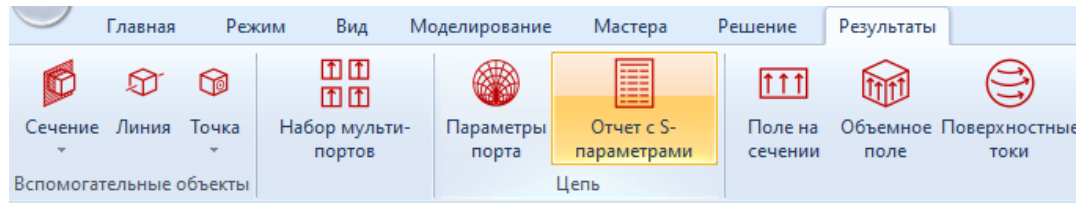


Смоделированный фильтр удовлетворяет входным данным. На центральной частоте 10 ГГц $|S_{21}| = -3,09$ дБ. Изоляция $|S_{31}|$ между портами 3 и 1 составляет - 25,4 дБ. Эта цифра типична для ответвителей Риблета.

IV. Результаты

Для создания поля в сечении:

1. В дереве проекта, для папки «**Результаты**» > кликните правой кнопкой на «**Сечения**» > «**Новое сечение**».
- В диалоге «**Новое сечение**» нажмите «**ОК**».
2. В дереве проекта, кликните правой кнопкой на пункте «**Результаты**» > «**Поля**» > «**Поле в сечении**».
- В диалоге выберите «**Сечение 1**» из «**Доступных сечений**» и кликните «**Добавить**»
- Установите частоту расчета 10 ГГц.

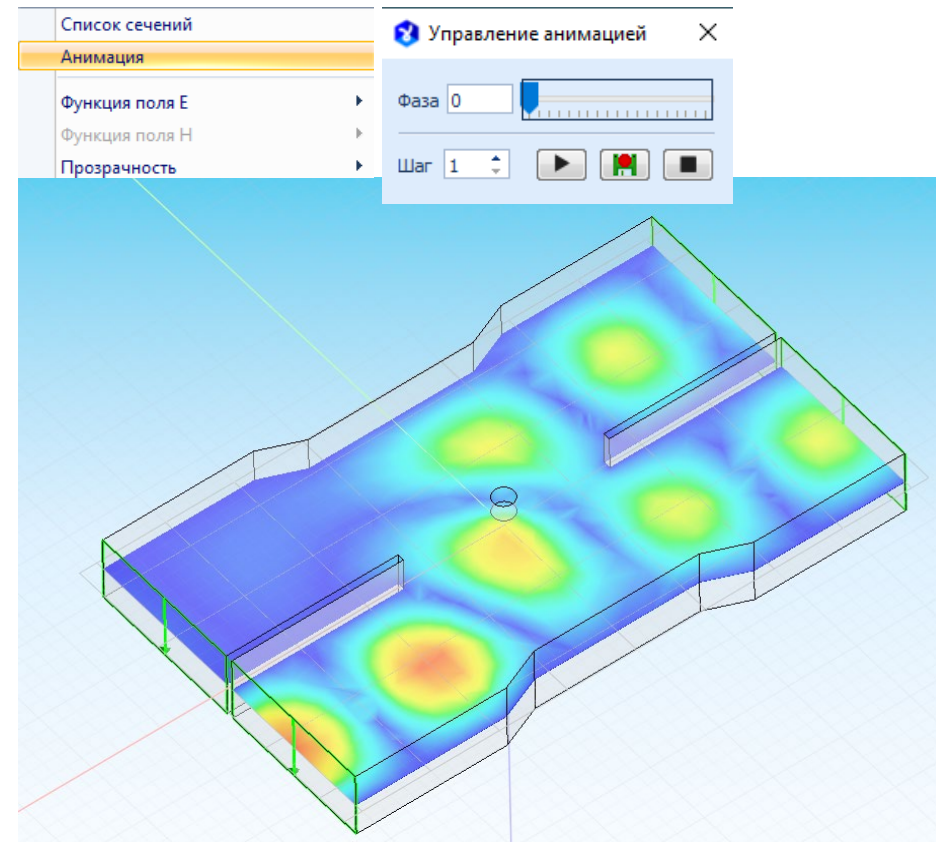
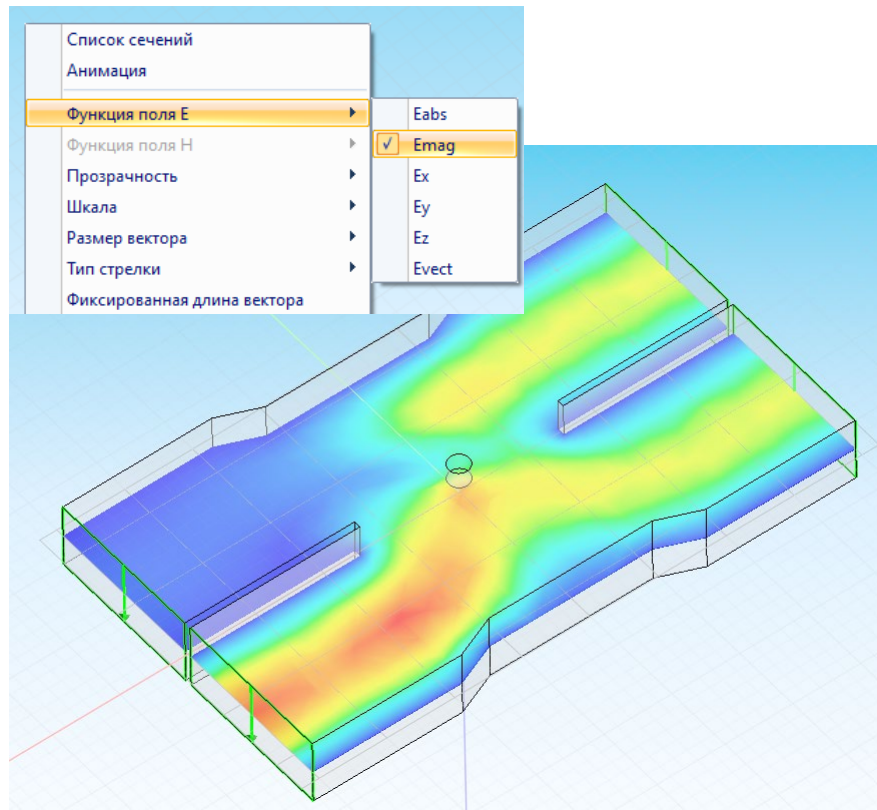


Функции создания сечений и распределения поля доступны также во вкладке *Результаты* панели инструментов

IV. Результаты

Визуализация поля:

1. Кликните правой кнопкой на полученном результате > **«Функция поля E»** > **«Emag»**.
2. Для анимации, кликните правой кнопкой на результате и вызовите функцию **«Анимация»**.



Сравнение результатов расчета с теоретически предсказанными значениями

Частота, ГГц	S41 , дБ		S43 , дБ	
	Теория	Расчет	Теория	Расчет
9.17	-3	-3.08	$-\infty$	-23.35
10	-3	-3.03	$-\infty$	-25,21
10.26	-3	-3,14	$-\infty$	-28.98

- Существует хорошее согласие между симуляцией ГАММА и теорией.