



СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Учебный пример ГАММА Рупорная антенна

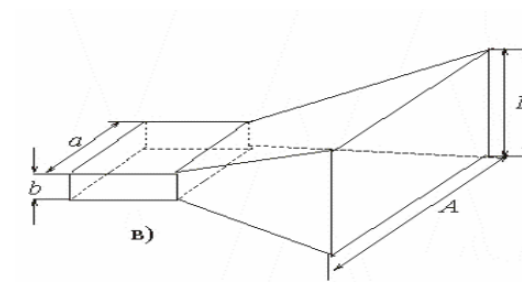


- I. Введение**
- II. Создание модели**
- III. Задание граничных условий**
- IV. Настройки расчета**
- V. Результаты**
- VI. Заключение**

Принцип построения геометрии пирамидальной рупорной антенны

Описание:

- Рупорная антенна (РА) состоит из волновода постоянного сечения, играющего роль питающей линии, и присоединенного к нему рупора, представляющего собой волновод переменного сечения. Таким образом обеспечивается постепенный переход для согласования импеданса волновода с импедансом свободного пространства



Порядок расчета геометрии рупорной антенны:

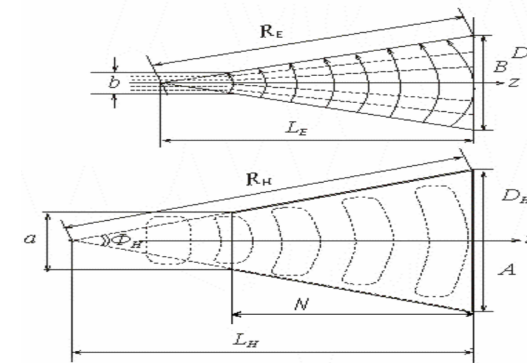
- Для заданной частоты определяем длину волны: $\lambda = c/f_o$, где c - скорость света, f_o - резонансная частота.
- Выбираем размеры прямоугольного волновода для волны Н10. Величину a – из соотношения $a < \lambda < 2a$ (например: $\lambda = 100$ мм, $a = 72$ мм). Величину $b = 0,5a$. Длину волновода взять равной a .
- Определяем размеры раскрыва рупора A и B . Они рассчитываются исходя из требуемой ширины диаграммы направленности (ДН): $2\theta_E = 51^\circ \lambda / B$ – ширина ДН для плоскости E и $2\theta_H = 75^\circ \lambda / A$ – для плоскости H .
- Определяем длину рупора N (см. рисунок).

По следующим формулам определяем оптимальные длины: $R_E = B^2 / 2\lambda$, $R_H = A^2 / 3\lambda$

Оптимальным называется рупор, размеры раскрыва которого подобраны таким образом, чтобы при заданной длине рупора получить максимальный КНД. Пирамидальный рупор будет оптимальным, если оптимальны соответствующие ему E - и H -секториальные рупоры. Выписанные формулы применимы к пирамидальному рупору с размерами раскрыва A в H -плоскости и B в E -плоскости. При определении оптимальной длины пирамидального рупора следует выбрать большую R (H или E).

Далее находим N , используя принцип подобия треугольников и теорему пифагора:

$$R_E^2 = L_E^2 + (B/2)^2, R_H^2 = L_H^2 + (A/2)^2, N = \max \{ L_H (1-a/A) ; L_E (1-b/B) \}$$



Постановка задачи

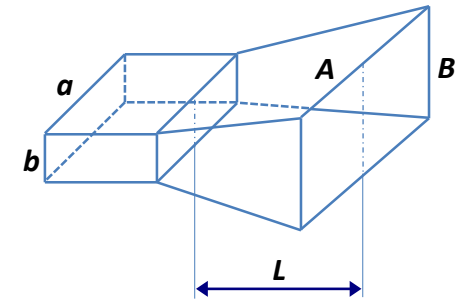
Модель:

- Построим модель для следующих условий: центральная частота – 3,33 ГГц, углы ДН – $2\theta_E = 50^\circ$, $2\theta_H = 30^\circ$.
- На частоте 3,33 ГГц длина волны в свободном пространстве $\lambda \approx 90$ мм. Размеры возбуждающего волновода берем равным 72x34 мм (стандартное сечение для S диапазона).

Определяем раскрыв рупора: $B = 51^\circ * 90 / 50^\circ = 91,8$ мм; $A = 75^\circ * 90 / 30^\circ = 225$ мм.

Для определения длины рупора вычисляем:

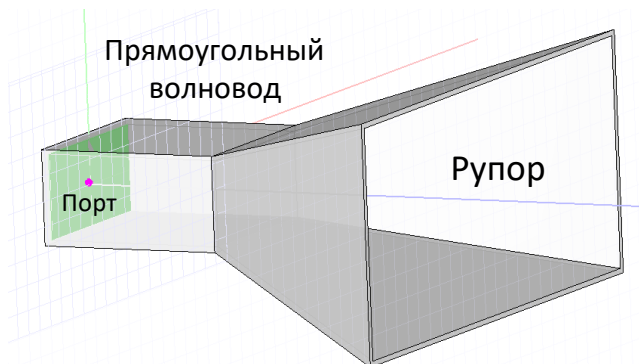
$R_E = 91,8^2 / 180 = 46,8$ мм, $R_H = 225^2 / 270 \approx 187,5$ мм. Берем большую – R_H и вычисляем длину рупора $L = (R_H^2 - (A/2)^2)^{0,5} (1 - a/A) = 102$ мм.

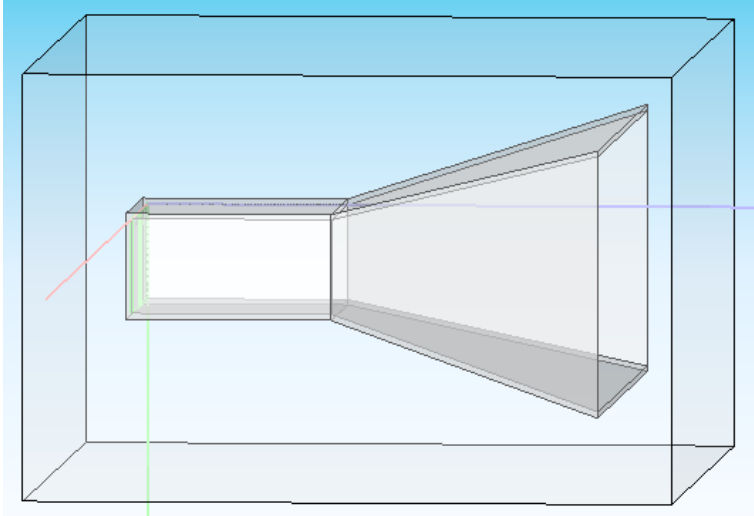


$$\begin{aligned}a &= 72 \text{ мм}, b = 34 \text{ мм} \\A &= 225 \text{ мм}, B = 91,8 \text{ мм} \\L &= 102 \text{ мм}\end{aligned}$$

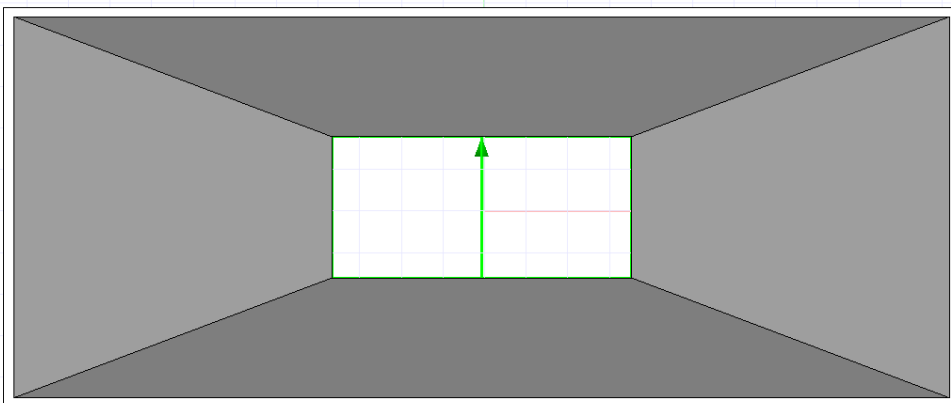
Задача:

- Запустить решение в диапазоне частот от 2,6 до 3,9 ГГц.
- Получить ширину диаграммы направленности 50 и 30 градусов в плоскостях E, H по уровню -3 дБ.
- Возбуждение: волноводный порт 72x34 мм.





Рупорная антенна внутри кубоида,
задающего граничные условия

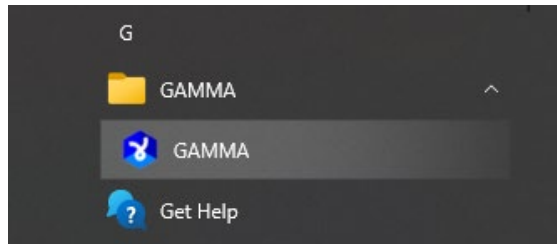


Возбуждение рупорной антенны крупным планом

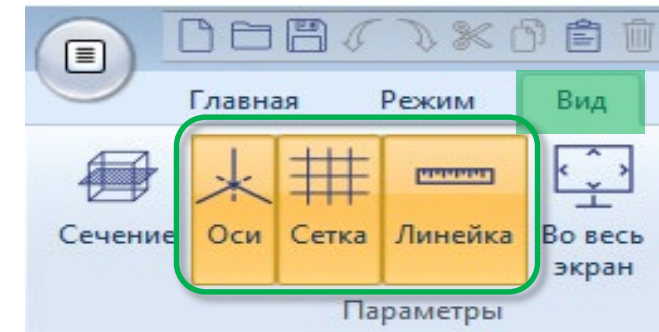
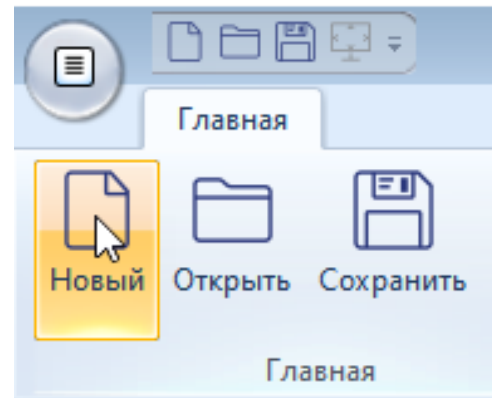
Модель данного пассивного устройства рассчитывается с помощью следующих функции ГАММА:

- **Создание 3D модели:**
 - Прimitives: кубоид, полилиния, прямоугольник;
 - Операции моделирования: перемещение, придание толщины, натягивание поверхности, вращение, сшивание, объединение, дублирование, вычитание, вычленение грани.
- **Назначение возбуждения:**
 - Прямоугольный волноводный порт.
- **Библиотека материалов:**
 - рес;
 - Вакуум.
- **Настройки расчета.**
- **Решение задачи с применением метода конечных элементов.**
- **Результаты:**
 - График S-параметров;
 - Диаграмма направленности.

II. Создание модели



Стартовое меню

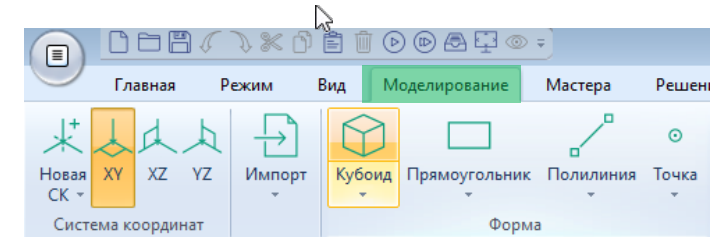


1. В стартовом меню или на рабочем столе найти и запустить **ГAMMA**: меню **Пуск** > **SEVSU** > **GAMMA**.
2. Создать новый проект.
3. Для удобства моделирования в меню **Вид** включить режимы **Оси**, **Сетка** и **Линейка**.

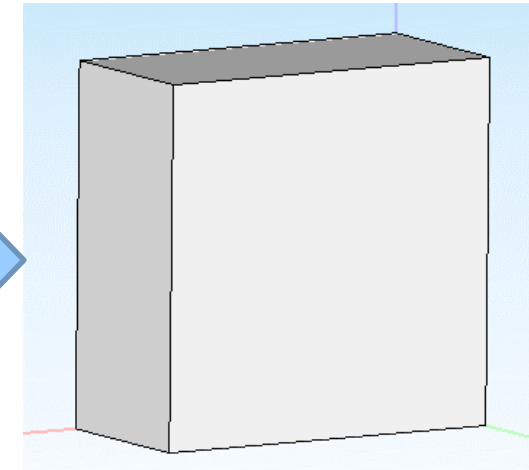
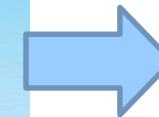
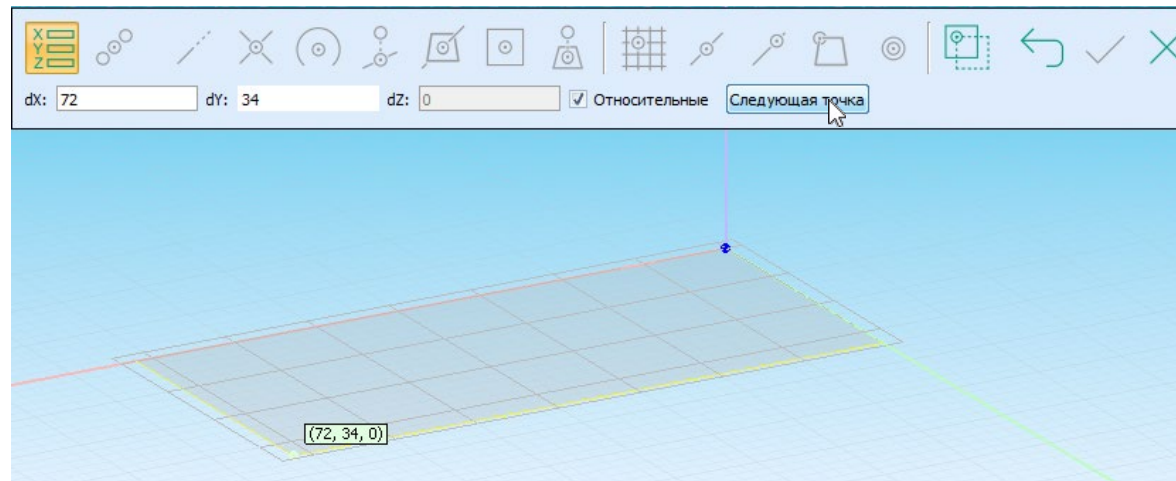
II. Создание модели

❑ Создание прямоугольного волновода, подводящего сигнал к рупору:

1. Создайте кубоид (ширина = 72 мм, высота = 34 мм, длина = 72 мм):
 - 1) Во вкладке **Моделирование** > **Кубоид**.
 - 2) На экране выберите точку {0; 0; 0} в качестве начальной точки кубоида.
 - 3) На панели Привязка нажмите  для ручного ввода координат:
 - Введите координаты второй точки {72; 34; 0} и нажмите **Следующая Точка** или нажмите **Enter**.
 - Введите координаты третьей точки {0; 0; 72} и нажмите **Enter**.



Панель Привязки: координаты 2-ой точки



Для выхода из режима
рисования нажмите **Esc**

II. Создание модели

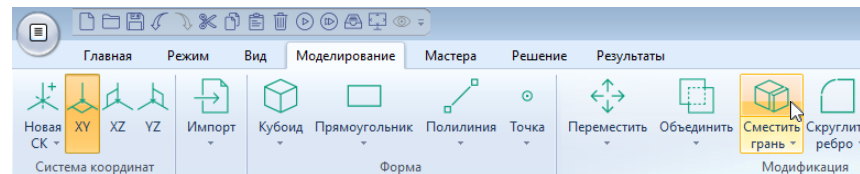
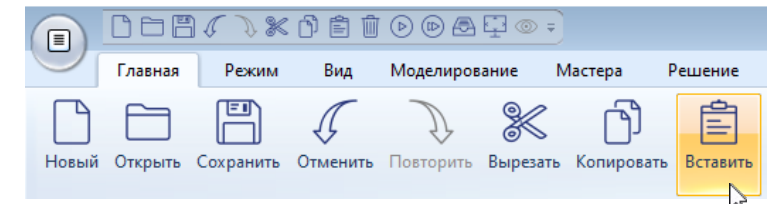
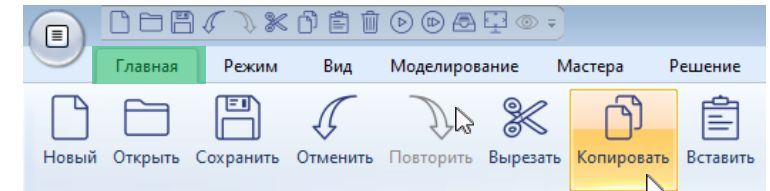
❑ Создание прямоугольного волновода, подводящего сигнал к рупору:

2. Создайте копию созданного кубоида:

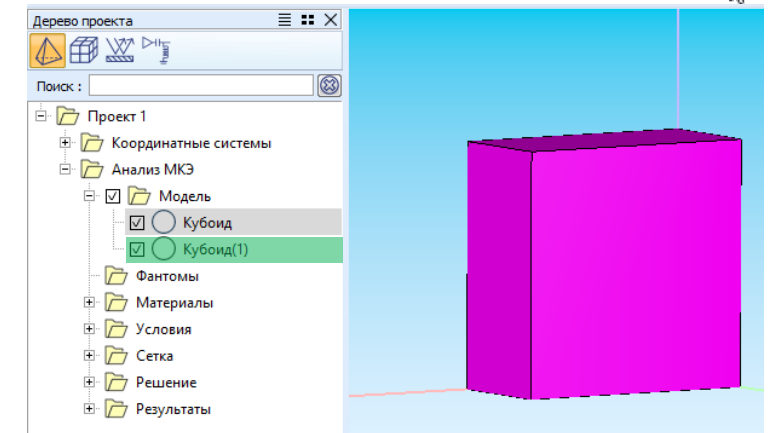
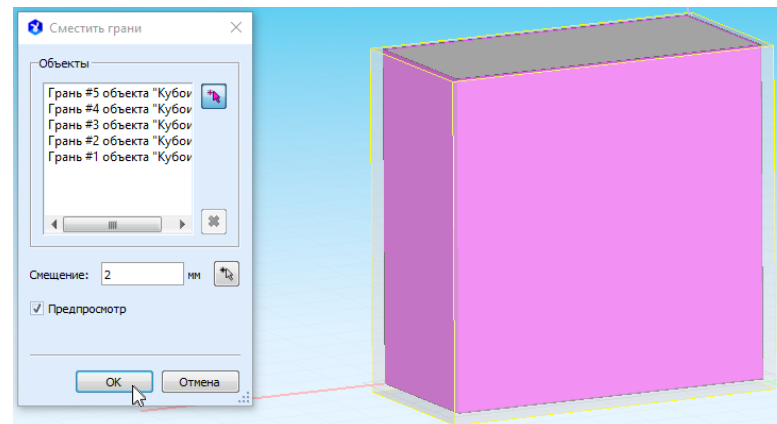
- 1) Выделите объект **“Кубоид”**.
- 2) Во вкладке **Главная > Копировать**.
- 3) Во вкладке **Главная > Вставить**.

3. Увеличьте размер кубоида на 2 мм (толщина стенок волновода):

- 1) Скройте объект **“Кубоид(1)”** в дереве проекта: **Проект 1 > Анализ МКЭ > Модель > “Кубоид(1)”** – снять галочку.
- 2) Во вкладке **Моделирование > Сместить грань**.
- 3) Выделите все грани **“Кубоид”** кроме верхней (в направлении Z+)
- 4) Введите значение 2 мм в поле **Смещение** и нажмите **OK**.



В поле объекты
отображаются
выделенные
грани. Без
учета верхней
их должно быть
как раз 5

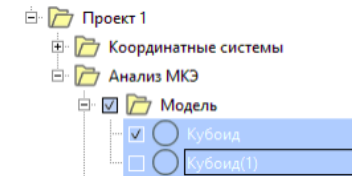
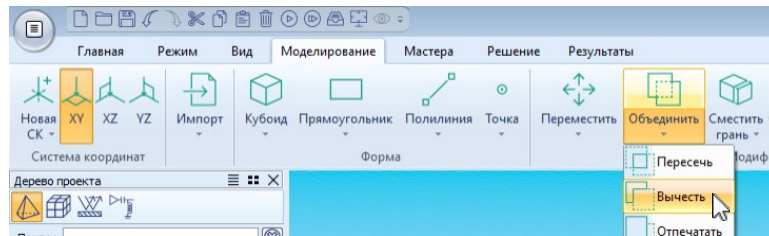


II. Создание модели

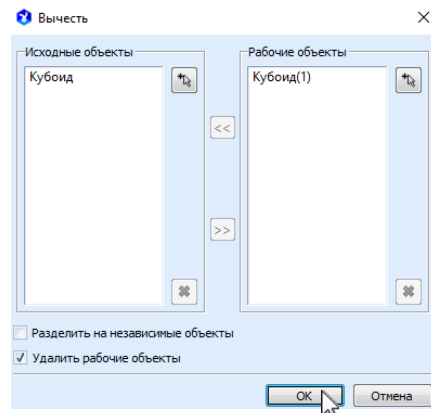
❑ Создание прямоугольного волновода, подводящего сигнал к рупору:

4. Создайте прямоугольный волновод операцией вычитания:

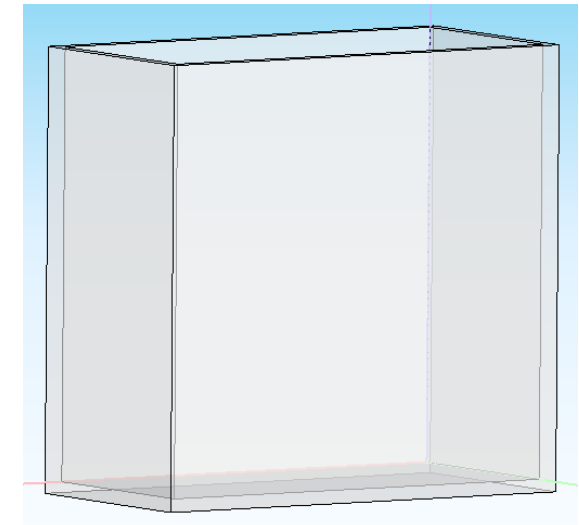
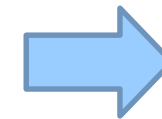
- 1) Выделите последовательно **“Кубоид”** и **“Кубоид(1)”** в дереве проекта.
- 2) Во вкладке **Моделирование** > всплывающий список **Объединить** > **Вычесть**.



3) В появившемся окне **Вычесть** нажмите **ОК** либо клавишу **Enter**.

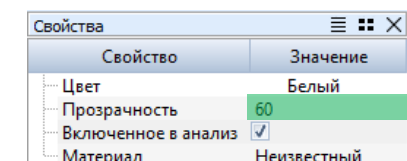


Исходные
объекты – это
объекты, из
которых будут
вычитаться
Рабочие
объекты



5. Сделайте полученный волновод прозрачным для лучшей визуализации его внутреннего объема:

- Выберите объект **“Кубоид”** > окно **Свойства** > двойной клик на свойстве **Прозрачность** и используя слайдер или вручную установите значение прозрачности 60%.



II. Создание модели

❑ Создание рупорного расширения (рупора):

1. Создайте плоскость входного сечения рупора:

1) Во вкладке **Моделирование** > **Прямоугольник**:

- На экране выберите точку $\{72; 0; 72\}$ в качестве начальной точки прямоугольника, наведя курсор в область данной точки (нужная точка подсветится зеленым цветом) и нажав левую кнопку.
- Задайте вторую точку $\{72; 0; 72\}$, наведя курсор в область данной точки (нужная точка подсветится зеленым цветом) и нажав левую кнопку.

2. Создайте плоскость выходного сечения рупора (апертуру):

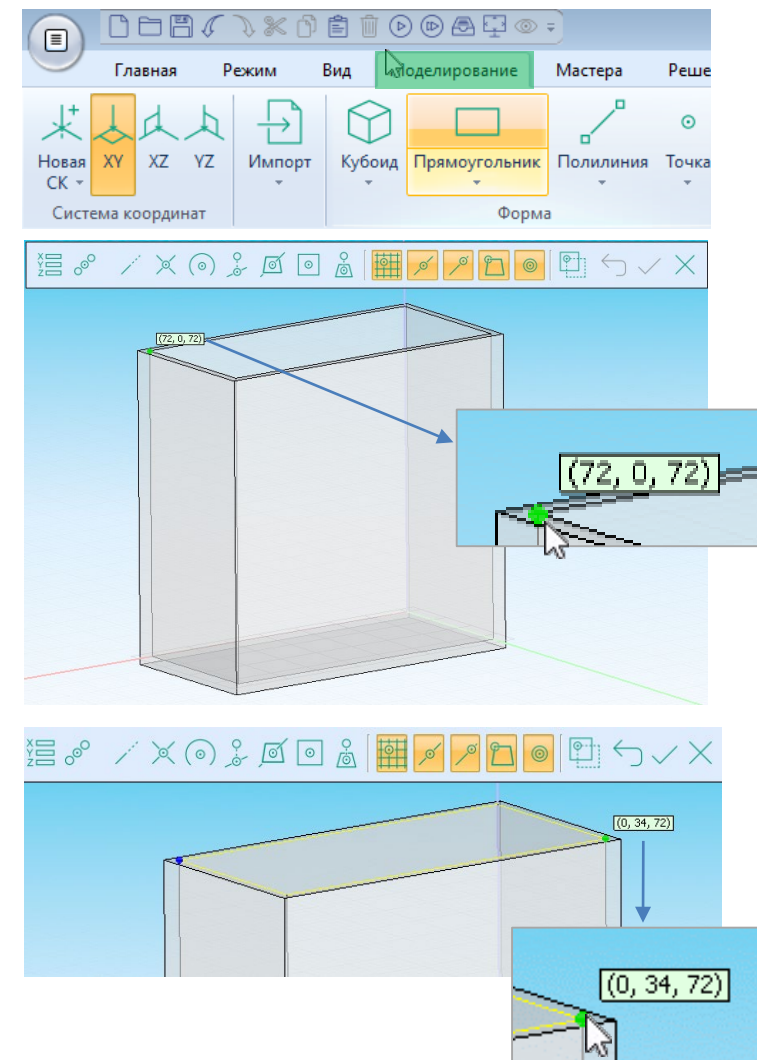
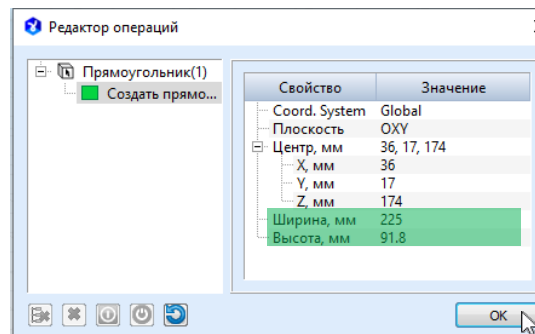
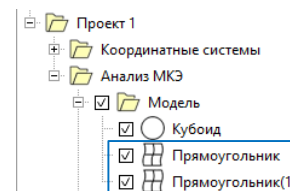
1) Выделите объект **“Прямоугольник”**.

2) Во вкладке **Главная** > **Копировать**.

3) Во вкладке **Главная** > **Вставить**.

4) Вызовите окно **Редактор операций** двойным кликом по объекту **“Прямоугольник(1)”**.

5) Измените значения параметров **Ширина – 72 мм** и **Высота – 34 мм** на **225 мм** и **91,8 мм** соответственно (апертура рупора) и нажмите **ОК**.

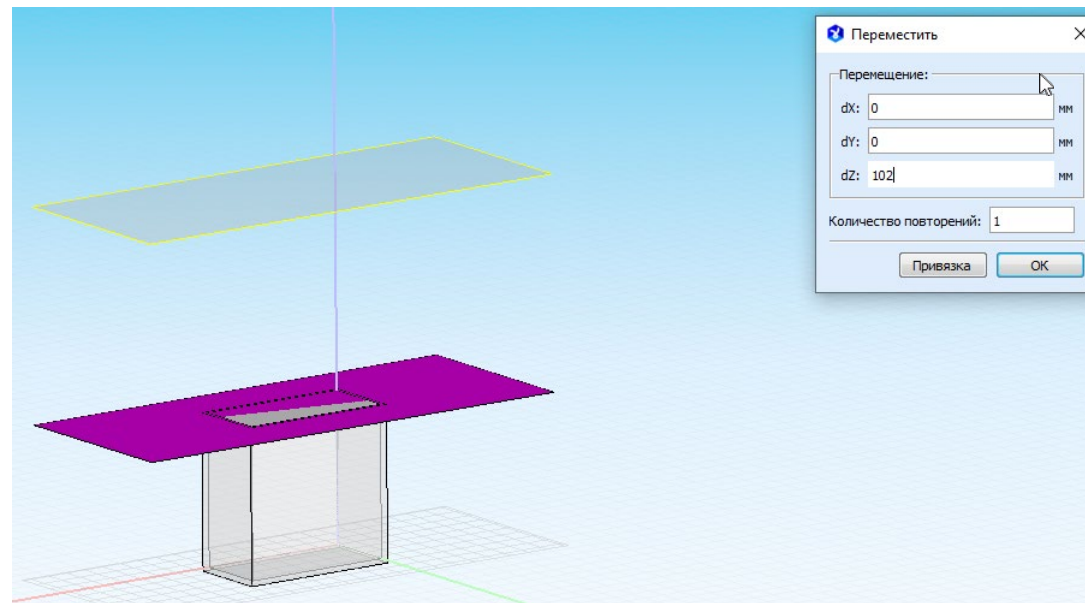


Благодаря привязке , узловые точки будут подсвечиваться зеленым цветом при нахождении курсора в области точки

❑ Создание рупорного расширения (рупора):

3. Переместите плоскость выходного сечения рупора на расстояние, равное длине рупора (102 мм):

- 1) Выделите объект “Прямоугольник (1)”.
- 2) Во вкладке **Моделирование** > **Переместить**.
- 3) В окне **Переместить** установите перемещение по **dZ = 102** и нажмите **ОК**:

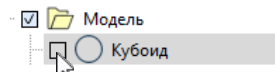


II. Создание модели

❑ Создание рупорного расширения (рупора):

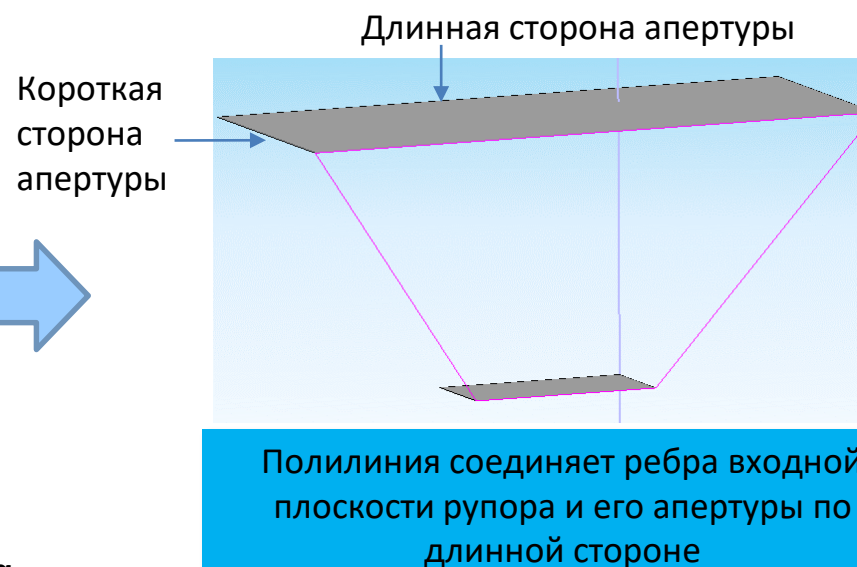
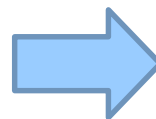
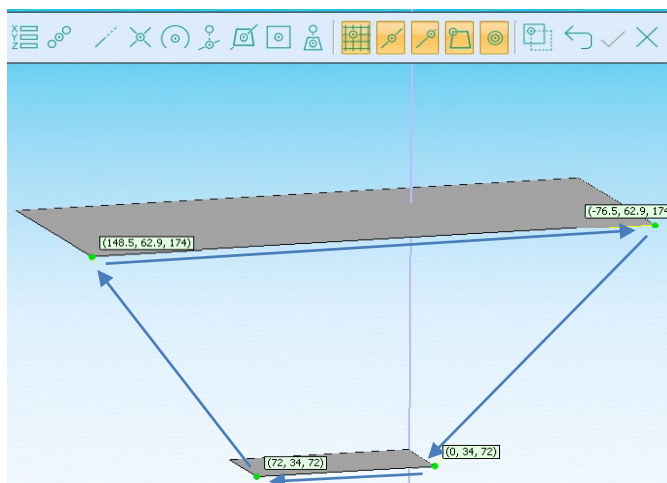
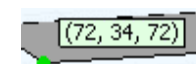
4. Создайте две полилинии между прямоугольниками, задающими вход и апертуру рупора:

1) Скройте объект “Кубоид(1)” в дереве проекта: **Проект 1 > Анализ МКЭ > Модель > “Кубоид”** – снять галочку.



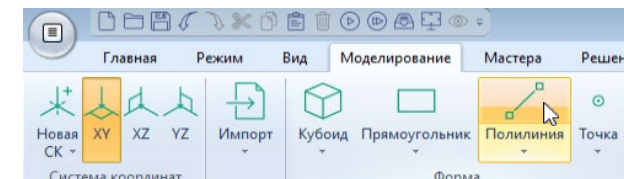
2) Во вкладке **Моделирование > Полилиния**:

- На экране выберите точку {72; 34; 72} в качестве начальной точки полилинии, наведя на нее курсор и нажав левую кнопку.
- Далее аналогичным образом последовательно выберите остальные точки полилинии: {72; 34; 72}, {148,5; 62,9; 174}, {-76,5; 62,9; 174}, {0; 34; 72}, {72; 34; 72} – пока не получите замкнутую ломаную линию, выбрав в качестве последней точки начальную.



- Нажмите кнопку **Готово** на панели **Привязка**.

3) Аналогично п.2 постройте вторую полилинию, соединив вершины коротких ребер входа и апертуры рупора.

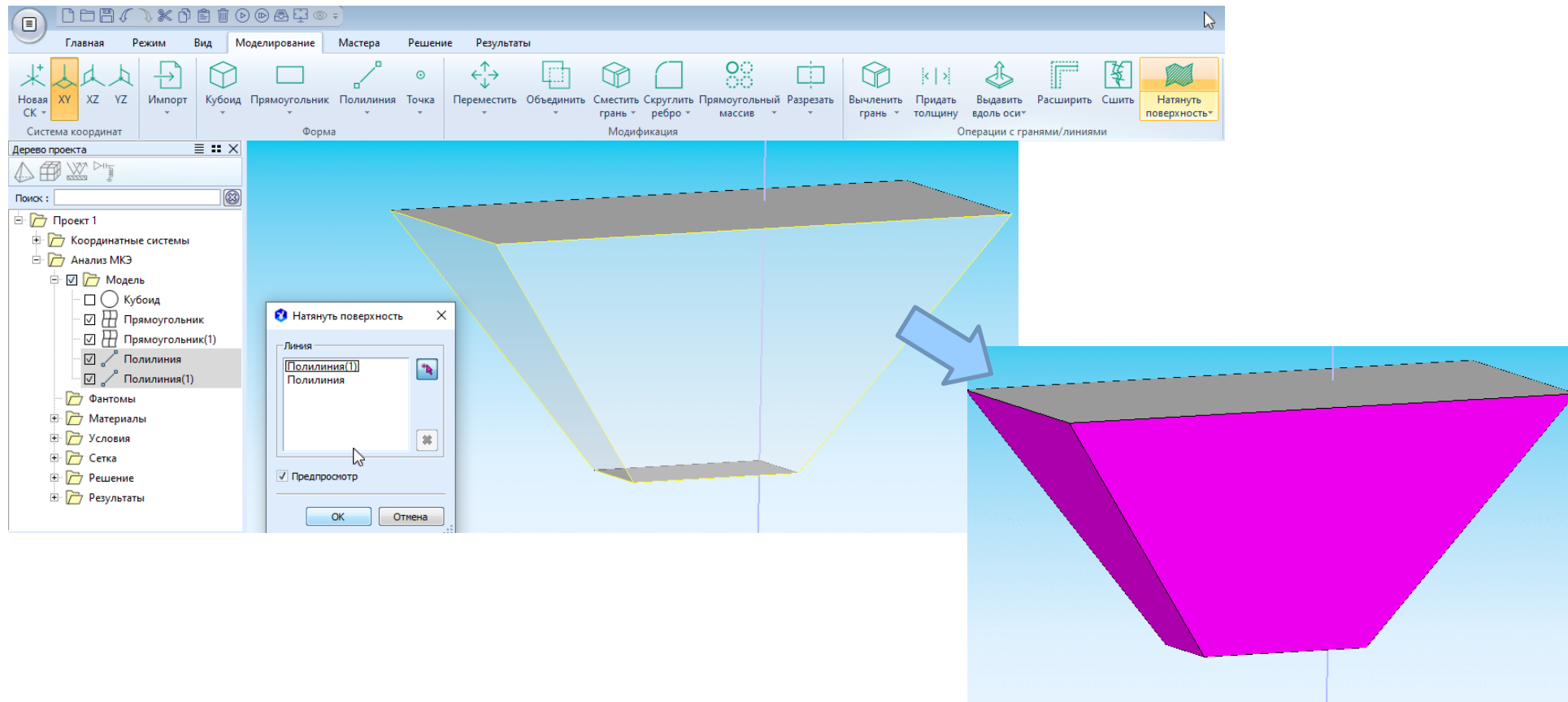


II. Создание модели

❑ Создание рупорного расширения (рупора):

5. Натяните поверхность на полилинии:

- 1) Выберите объекты “Полилиния” и “Полилиния(1)”.
- 2) Во вкладке **Моделирование** > **Натянуть поверхность**.
- 3) В появившемся окне **Натянуть поверхность** нажмите **ОК** :

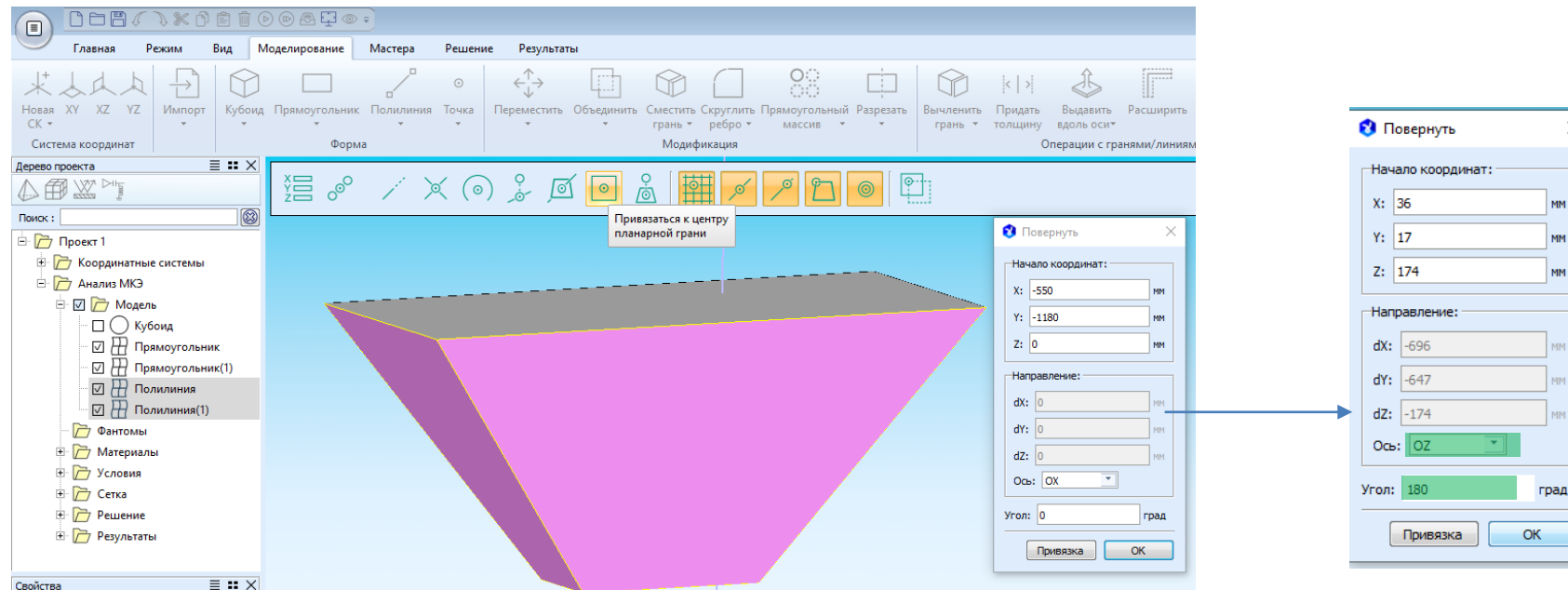


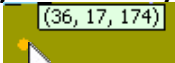
II. Создание модели

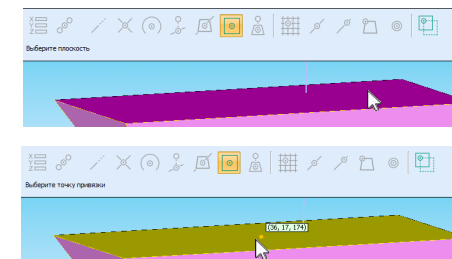
❑ Создание рупорного расширения (рупора):

6. Создайте копии получившихся плоских объектов и поверните их вокруг оси Z на 180 градусов:

- 1) Создайте копии объектов “Полилиния” и “Полилиния(1)” во вкладке **Главная** > **Копировать** > **Вставить**.
- 2) Выберите объекты “Полилиния” и “Полилиния(1)”.
- 3) Во вкладке **Моделирование** во всплывающем списке **Переместить** выберите **Повернуть**.



- 4) На панели **Привязка** нажмите  для привязки к центру планарной грани.
- 5) Наведите курсор на поверхность апертуры рупора и нажмите левую кнопку.
- 6) Выберите точку привязки, подсвеченную оранжевым цветом. 
- 7) В окне **Повернуть** установите ось **OZ**, угол = **180** и нажмите **ОК**.

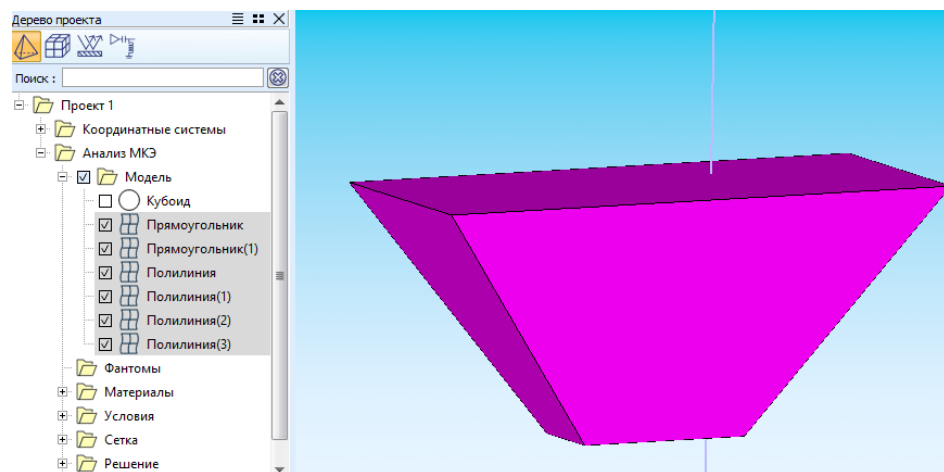


II. Создание модели

❑ Создание рупорного расширения (рупора):

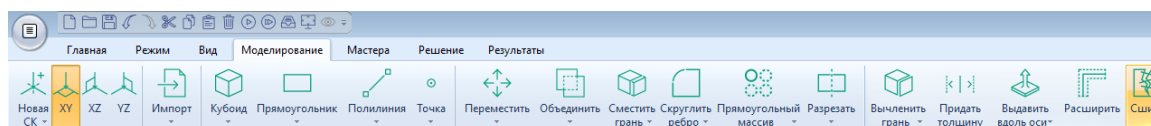
7. Создайте объемную модель рупора:

- 1) Выберите объекты: “Прямоугольник”, “Прямоугольник (1)”, “Полилиния”, “Полилиния(1)”, “Полилиния(2)”, “Полилиния(3)”:



2) Во вкладке **Моделирование** > **Сшить**.

3) В появившемся окне **Сшивание** нажмите **OK**:



8. Переименуйте название получившегося в результате сшивания объекта в “Рупор”:

1) Нажмите правую кнопку по объекту и во всплывающем списке выберите

Переименовать:

- Введите новое название объекта – “Рупор”.

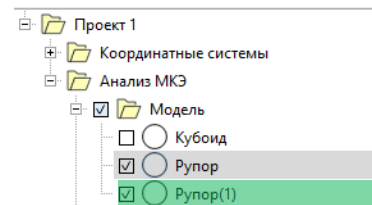


II. Создание модели

❑ Создание рупорного расширения (рупора):

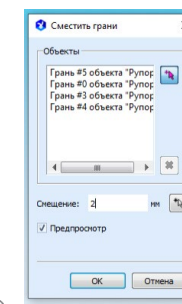
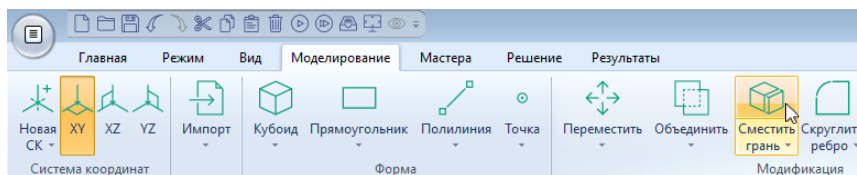
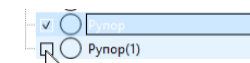
9. Создайте копию рупора:

- 1) Выделите объект **“Рупор”**.
- 2) Во вкладке **Главная > Копировать**.
- 3) Во вкладке **Главная > Вставить**.

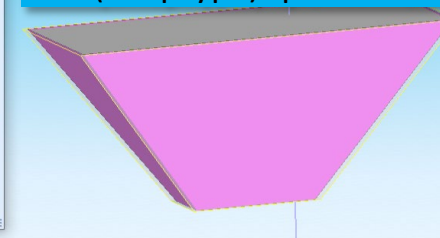


10. Увеличьте размер рупора на **2 мм** (толщина стенок рупорного волновода):

- 1) Скройте объект **“Рупор(1)”** в дереве проекта: **Проект 1 > Анализ МКЭ > Модель > “Рупор(1)”** – снять галочку.
- 2) Во вкладке **Моделирование > Сместить грань**.
- 3) Выделите все грани объекта **“Рупор”** кроме входной и апертурной плоскостей.
- 4) Введите значение **2 мм** в поле **Смещение** и нажмите **ОК**.



Нижняя (вход) и Верхняя (апертюра) грани – без выделения

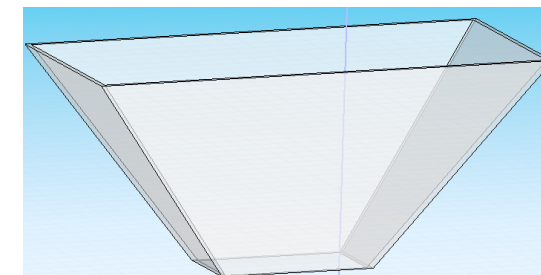


11. Создайте рупорный волновод операцией вычитания:

- 1) Выделите последовательно **“Рупор”** и **“Рупор(1)”** в дереве проекта.
- 2) Во вкладке **Моделирование > всплывающий список Объединить > Вычесть**.
- 3) В появившемся окне **Вычесть** нажмите **ОК**.

12. Сделайте полученный объект прозрачным:

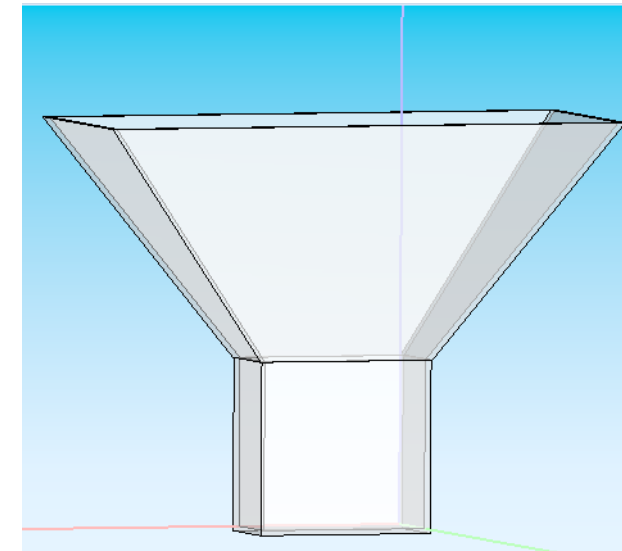
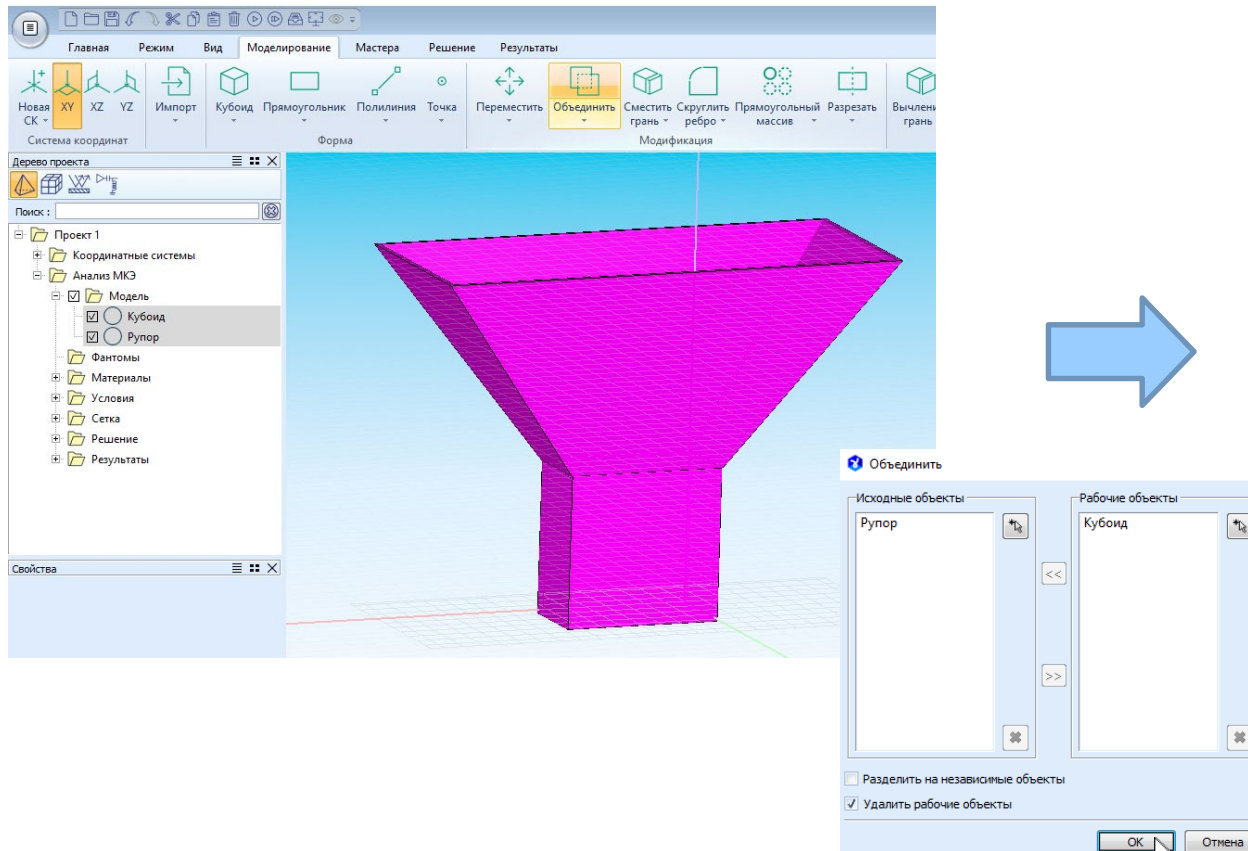
- 1) Выберите объект **“Рупор”** > окно **Свойства > двойной клик на свойстве Прозрачность** и используя слайдер или вручную установите значение 60%.



II. Создание модели

❑ Создание рупорной антенны:

1. Объедините два объекта в один:
 - 1) Выделите объекты “Рупор” и “Кубоид”.
 - 2) Во вкладке **Главная** > **Объединить**.
 - 3) В появившемся окне **Объединить** нажмите **ОК**.

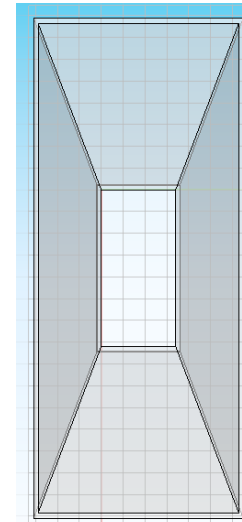
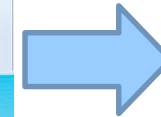
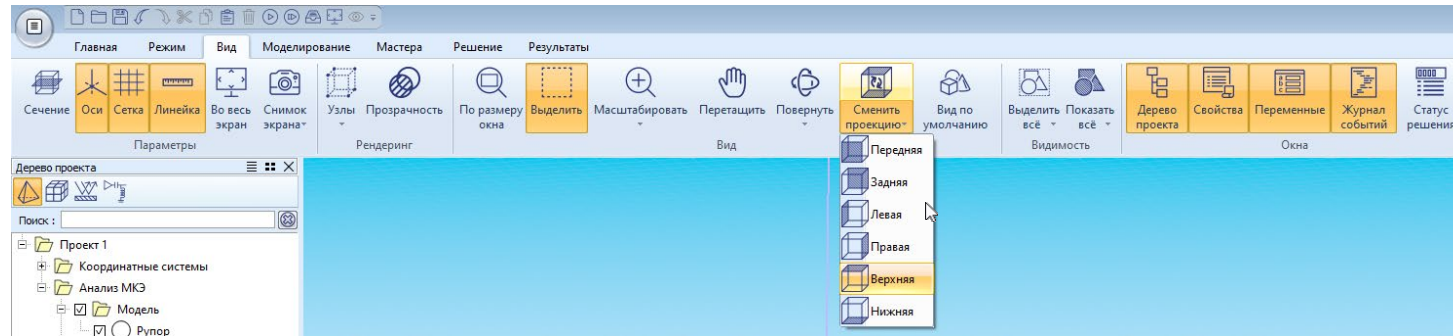


II. Создание модели

❑ Назначение прямоугольного порта:

1. Поверните рупор раскрытом на себя:

1) Во вкладке **Вид** > всплывающий список **Сменить проекцию** > **Верхняя**.



2. Во вкладке **Решение** > **Возбуждение**.

3. В окне **Назначить возбуждение**:

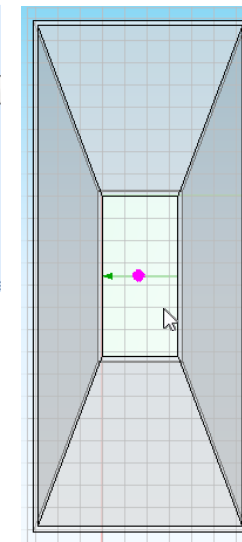
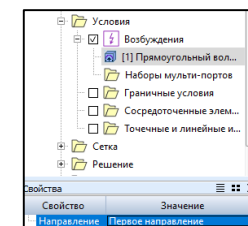
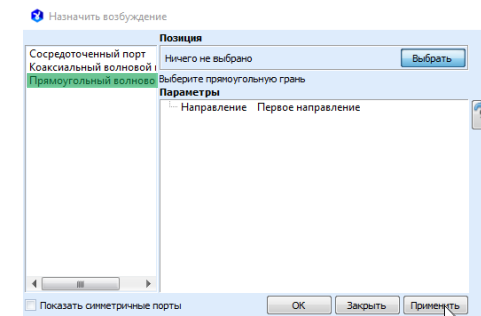
1) Выберите тип порта

Прямоугольный Волноводный.

2) Наведите курсор на прямоугольную плоскость в основании рупора (она подсветится фиолетовым цветом), нажмите левую кнопку. Далее нажмите **Применить** и закройте диалог.

4. Созданный порт можно найти в папке **Условия** > **Возбуждение** в дереве проекта.

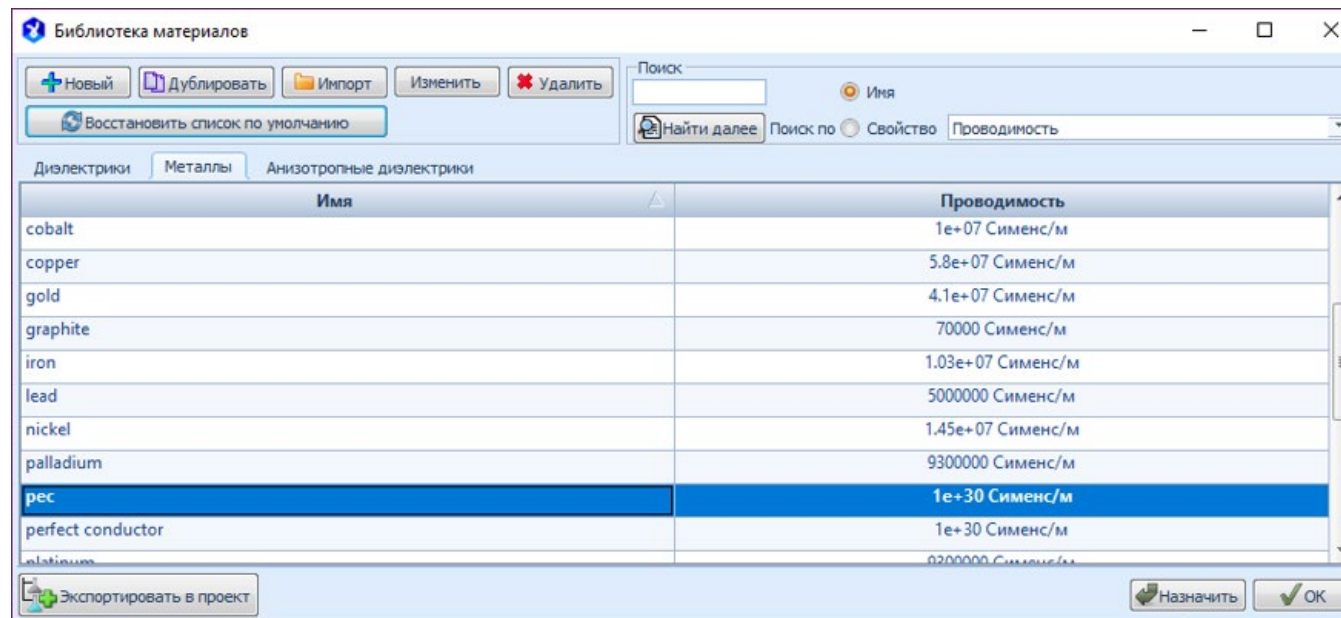
- Свойства выбранного порта доступны в его окне **Свойства**:



II. Создание модели

❑ Назначение материала **pec** на рупорную антенну:

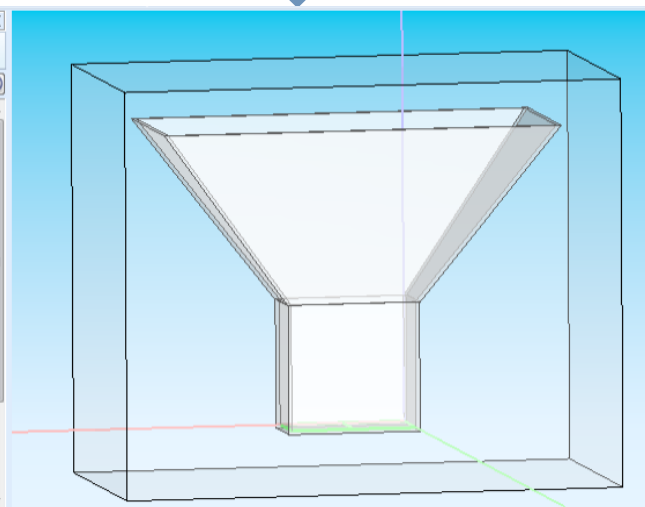
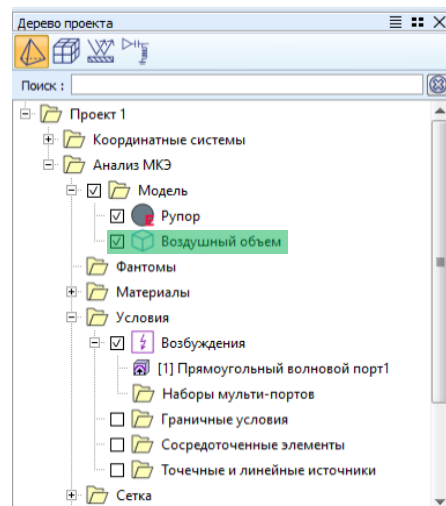
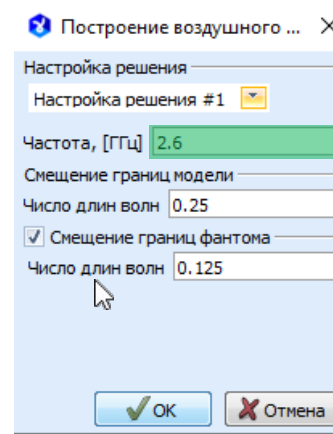
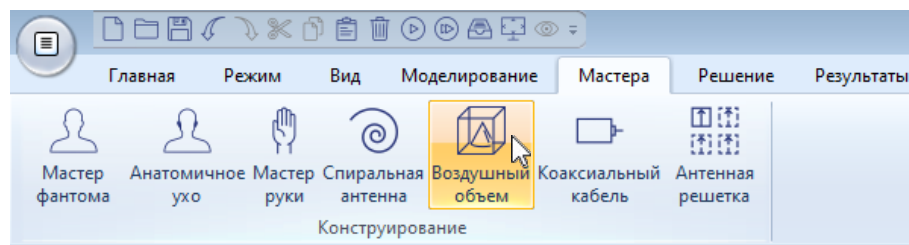
1. Нажмите правой кнопкой на объект “Рупор” > **Назначить материал** > **Библиотека материалов...**
2. В окне **Библиотека материалов**:
 - Во вкладке **Металлы** найдите **pec** > выделите его > нажмите **Назначить** и закройте диалог:



III. Задание граничных условий

❑ Создание кубоида для заключения рупорной антенны внутри радиационного граничного условия:

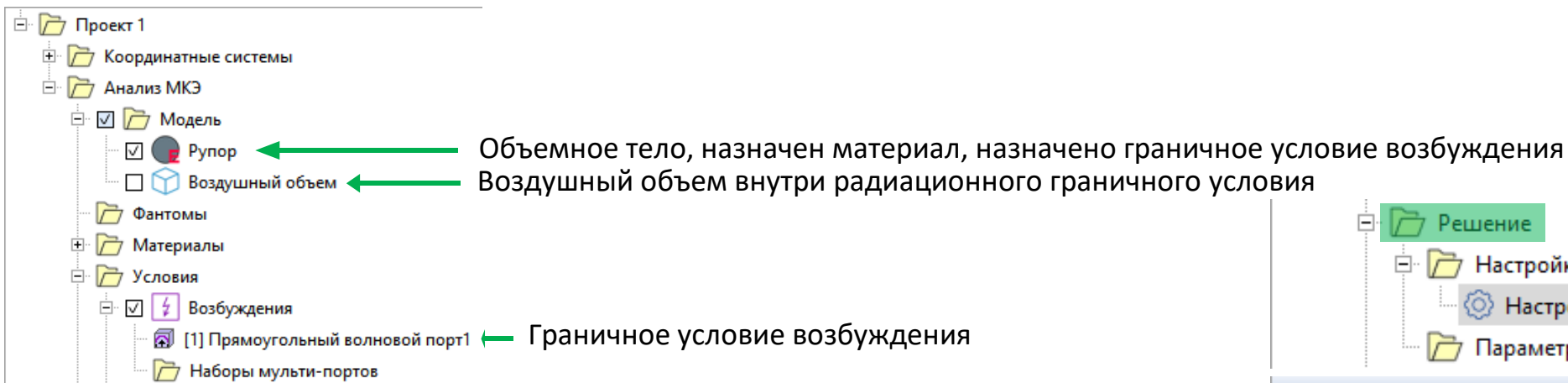
1. Во вкладке **Мастера** > **Воздушный объем**.
2. В появившемся окне **Построение воздушного объема** укажите нижнюю частоту требуемого диапазона = **2,6 ГГц** и нажмите **ОК** :



Объект "Воздушный объем" вместе с граничными условиями по умолчанию (в *Настройках решения*) определяет граничные условия для расчета Рупорной антенны

IV. Настройка решения

- ❑ Проверка дерева проекта, чтобы убедиться, что материалы и условия назначены там, где это необходимо:



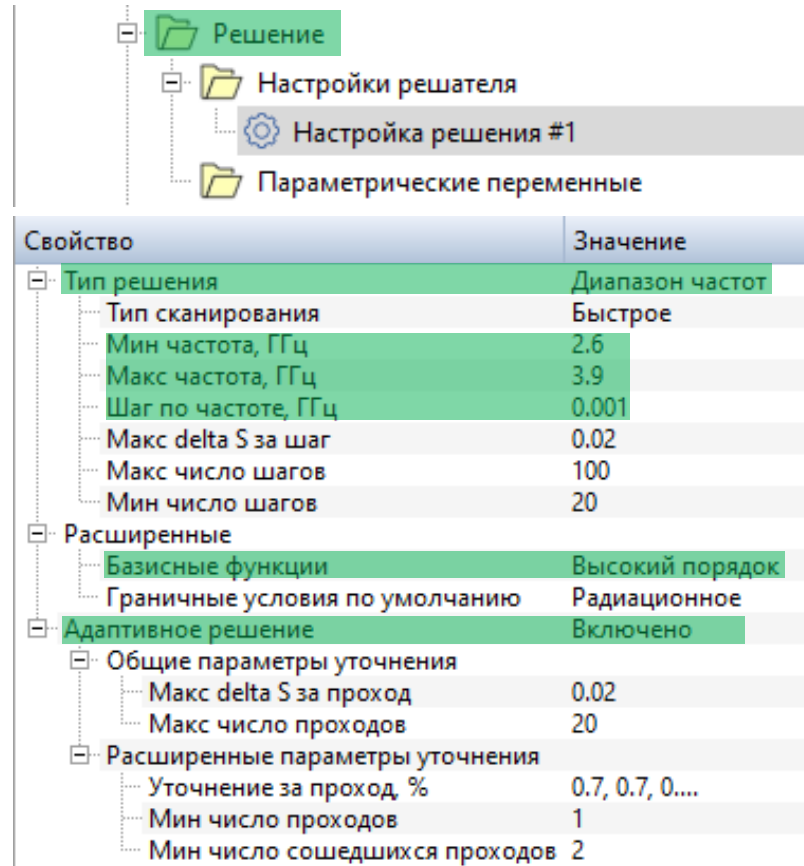
Объемное тело, назначен материал, назначено граничное условие возбуждения

Воздушный объем внутри радиационного граничного условия

Граничное условие возбуждения

- ❑ Установка параметров решения:

1. В дереве проекта > **Решение** > **Настройки решателя** > **Настройка решения #1**.
2. В окне **Свойства** измените значения следующих полей:
 - 1) Тип решения: **Диапазон частот**;
 - 2) Макс частота = **3,9 ГГц**;
 - 3) Мин частота = **2,6 ГГц**;
 - 4) Шаг по частоте = **0,02 ГГц**;
 - 5) Базисные функции: **высокого порядка**;
 - 6) Адаптивное решение: **включено**;
 - 7) Для остальных параметров оставьте значения по умолчанию.

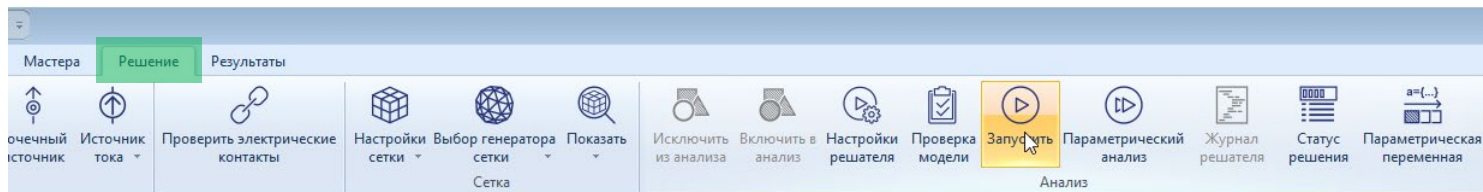


Свойство	Значение
Тип решения	Диапазон частот
Тип сканирования	Быстрое
Мин частота, ГГц	2.6
Макс частота, ГГц	3.9
Шаг по частоте, ГГц	0.001
Макс delta S за шаг	0.02
Макс число шагов	100
Мин число шагов	20
Расширенные	
Базисные функции	Высокий порядок
Граничные условия по умолчанию	Радиационное
Адаптивное решение	Включено
Общие параметры уточнения	
Макс delta S за проход	0.02
Макс число проходов	20
Расширенные параметры уточнения	
Уточнение за проход, %	0.7, 0.7, 0....
Мин число проходов	1
Мин число сошедшихся проходов	2

IV. Настройка решения

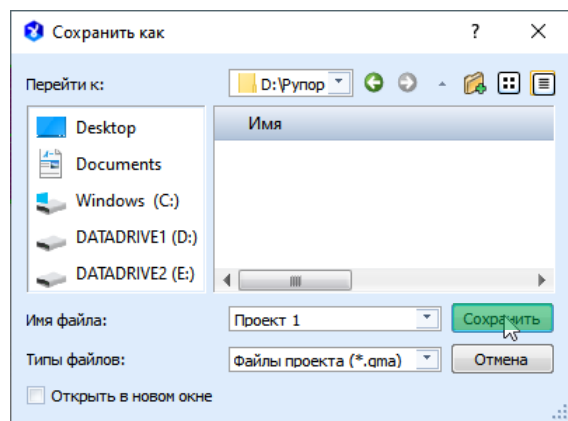
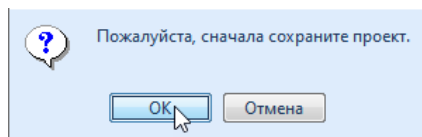
❑ Запуск расчета:

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

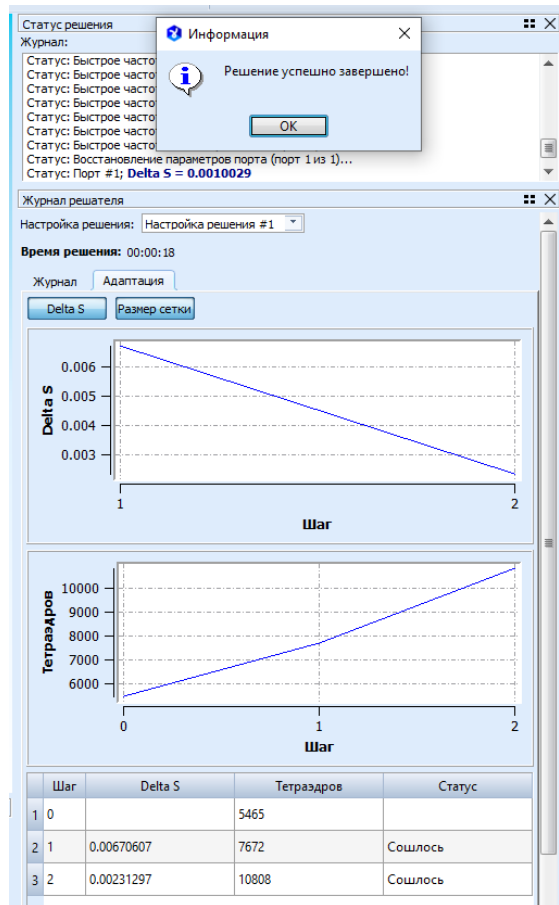
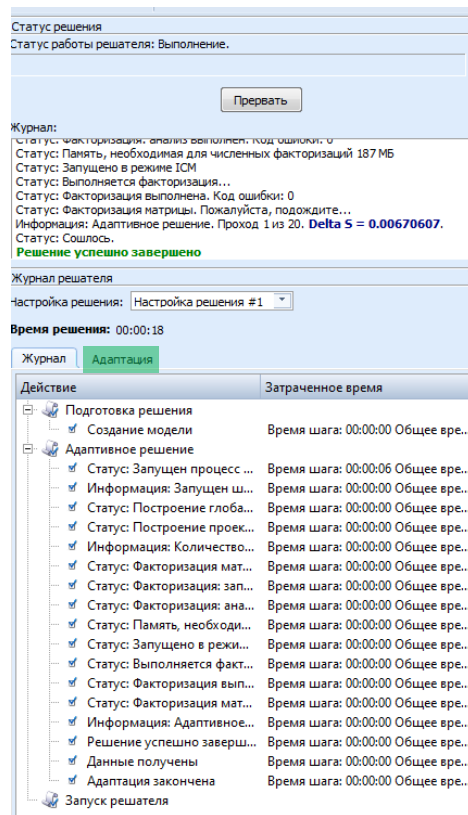


2. В появившемся окне необходимо согласиться сохранить проект:

- 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**. Процесс сходимости доступен во вкладке **Адаптация**:

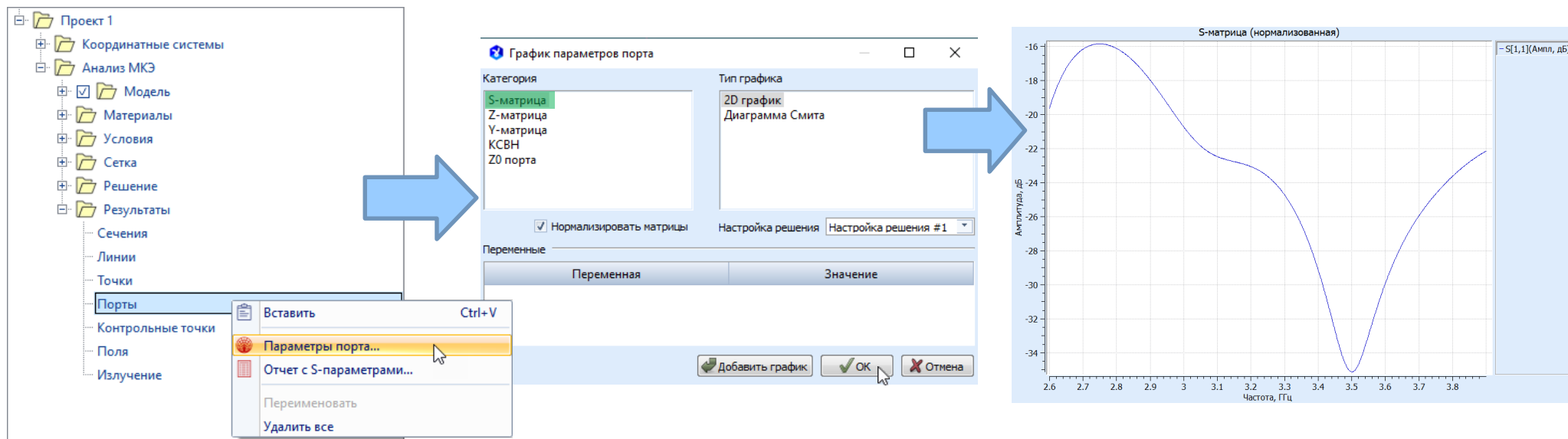


V. Результаты

❑ После завершения расчета результаты доступны в папке **Результаты** в дереве проекта:

Для построения графика S-параметров:

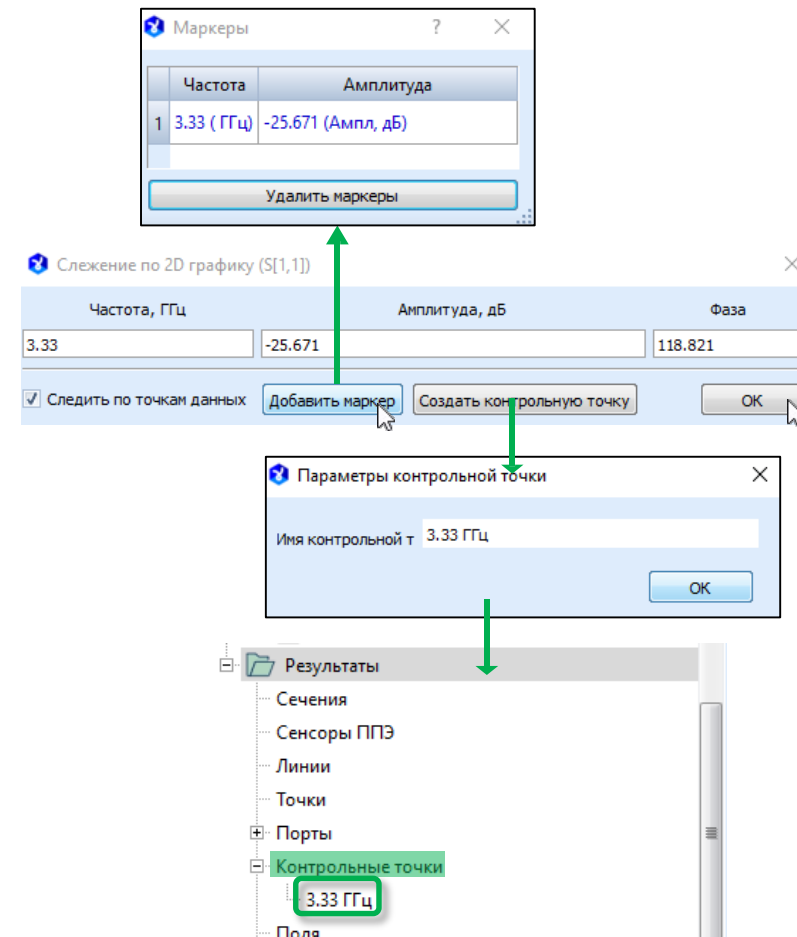
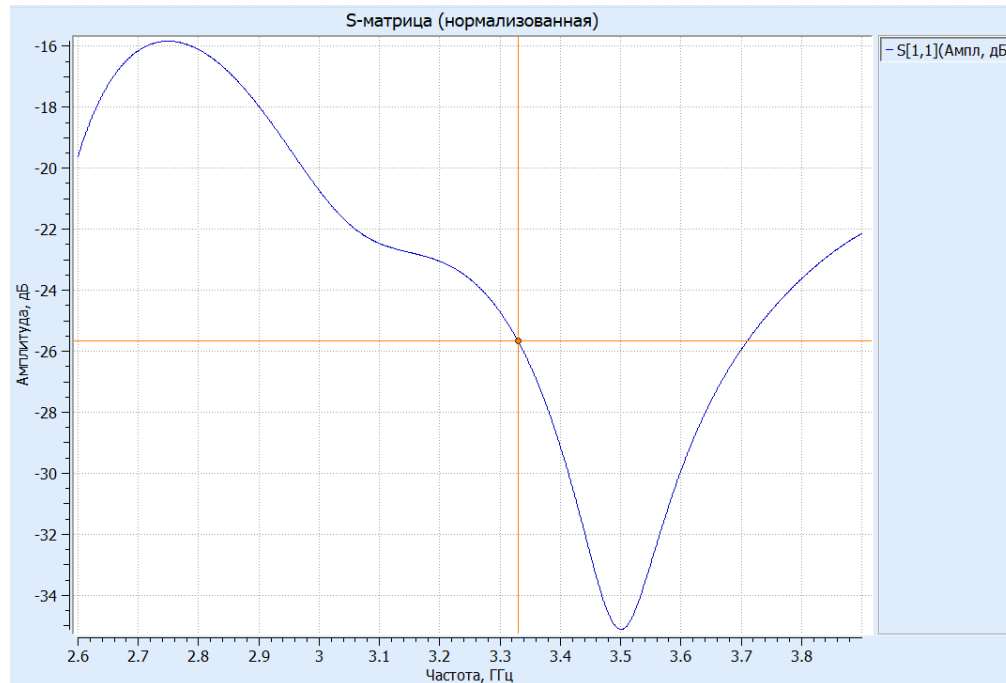
1. В папке **Результаты** нажмите правой кнопкой на **Порты** > **Параметры порта...**
2. В окне **График параметров портов** > выберите **S-матрица** и нажмите **OK** :



❑ Анализ графика:

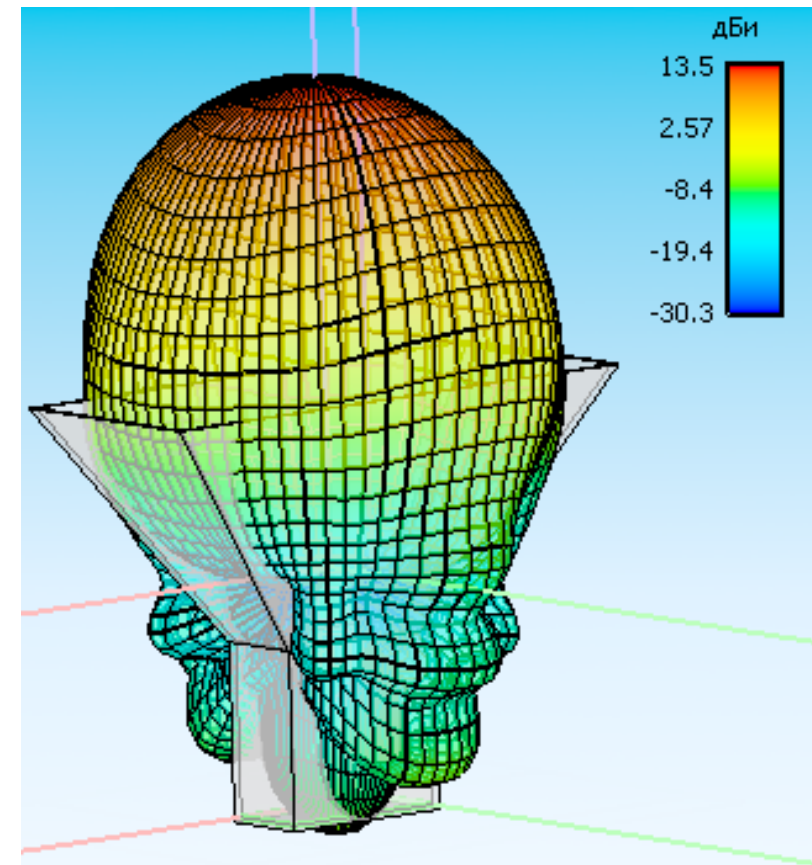
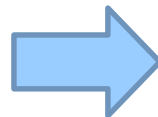
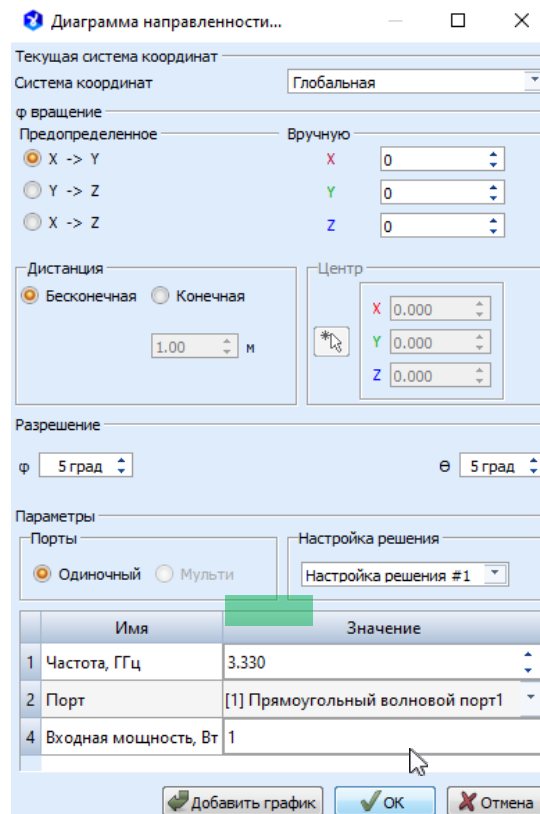
1. Нажмите правой кнопкой на поле графика > **Слежение**:

- 1) Курсором в виде перекрестия найдите точку **3,33 ГГц** на графике и с помощью кнопки **Добавить маркер** добавьте маркер.
- 2) Нажмите кнопку **Создать контрольную точку** для создания контрольной точки:
 - В окне **Параметры контрольной точки** введите имя контрольной точки и нажмите **ОК**.
 - Контрольная точка появится в папке **Результаты** в дереве проекта:



❑ Построение диаграммы направленности:

1. В папке **Результаты** > **Контрольные точки** > нажмите правой кнопкой на точке **3,33 ГГц** > **Диаграмма направленности...**
2. В окне **Диаграмма направленности...** > убедитесь, что диаграмма будет построена на частоте **3,33 ГГц**, оставьте все значения по умолчанию и нажмите **ОК** :

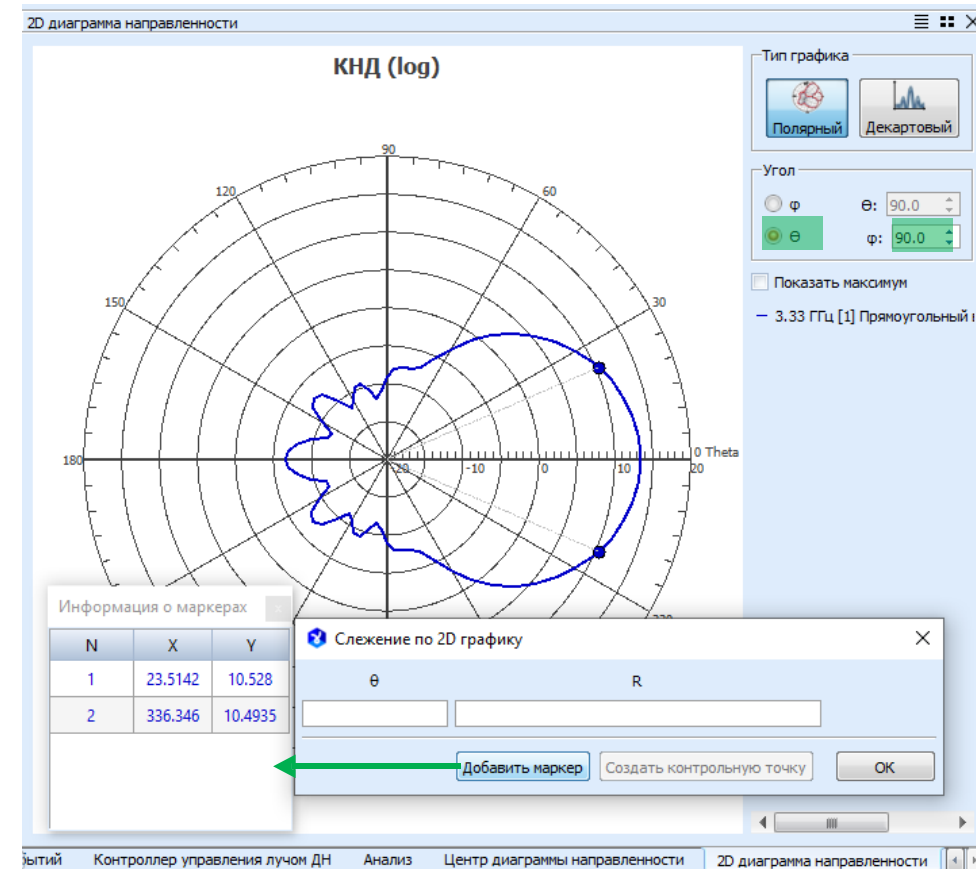
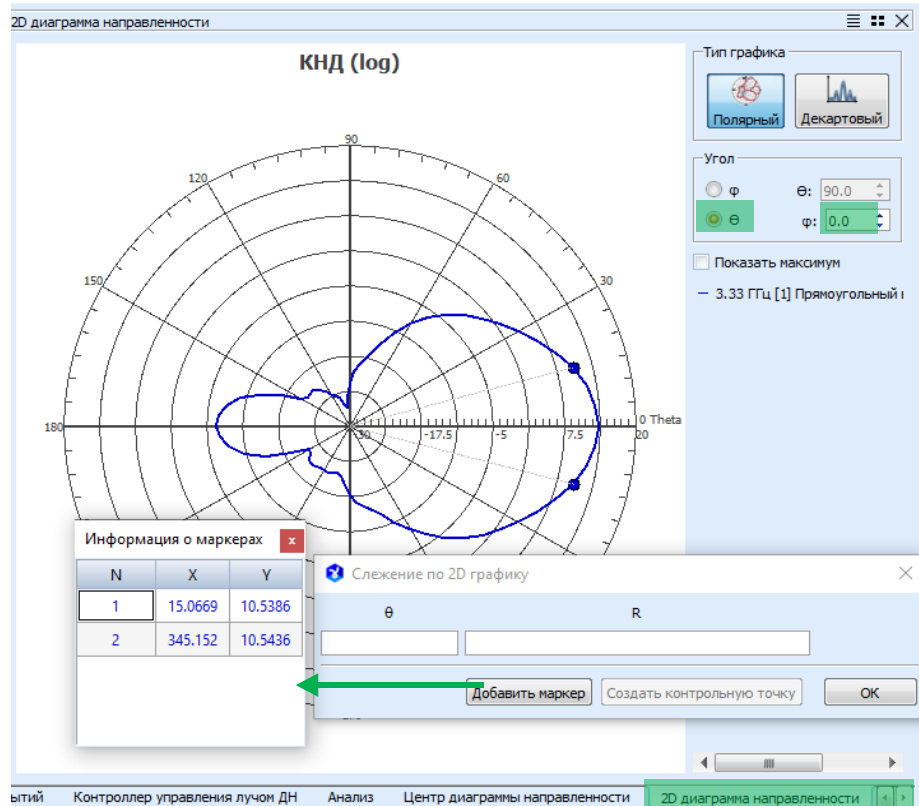
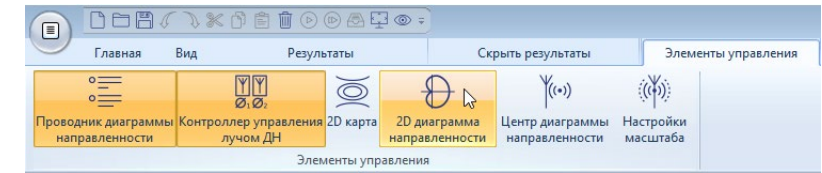


Пиковое значение КНД = 13,5 дБи

V. Результаты

❑ Просмотр 2D диаграммы направленности:

1. Во вкладке **Элементы управления** > **2D диаграмма направленности**:
2. В окне **2D диаграмма направленности** переключите угол на ϑ .
3. Нажмите правой кнопкой на поле графика > **Слежение**.
4. Курсором найдите точки со значениями амплитуды $\approx 13,5$ дБи – 3 дБ = $10,5$ дБи на графике и с помощью кнопки **Добавить маркер** добавьте маркеры.
5. Установите значение $\phi = 90$ и повторите действия п. 3-4.



Сравнение ширины диаграммы направленности антенны: предсказанной и рассчитанной численным методом

Результаты, полученные с помощью метода конечных элементов, очень близки к значениям, полученным аналитически.

См. таблицу ниже для сравнения результатов:

	Теория	Расчет
Ширина ДН в плоскости Е	30 градусов	30 градусов
Ширина ДН в плоскости Н	50 градусов	47 градусов