



СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Учебный пример ГАММА
Оптимизационный анализ:
патч-антенна на основе связанных излучателей



- I. Введение: постановка задачи**
- II. Подготовка модели**
- III. Оптимизационное решение**
- IV. Результаты**

I. Введение: постановка задачи

□ Модель:

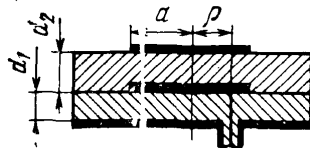
- Антенна представляет собой 2 связанных патч-излучателя, один из которых (верхний), являясь пассивным, возбуждается электромагнитным полем активного излучателя (нижнего), который в свою очередь возбуждается коаксиальной линией/штырем.

□ Задача:

- Создать модель антенны.
- Подготовить модель для оптимизационного* анализа.
- Запустить оптимизационное решение в диапазоне частот от 23 до 33 ГГц.

□ Цель:

- Получить работу антенны ($K_{СВН} < 2$) в диапазоне частот 26÷30 ГГц.



Панченко Б.А. и Нефёдов Е.И., Микрополосковые антенны, – М.: Радио и связь, 1986. – 144 с.

Модель данного пассивного устройства рассчитывается с помощью следующих функции Gamma:

■ Создание 3D модели:

- примитивы: прямоугольник, круг.

■ Назначение возбуждения:

- прямоугольный сосредоточенный порт.

■ Библиотека материалов:

- Copper;
- MEGTRON8 R-5795(N);
- MEGTRON8 R-5690(N).

■ Настройки расчета.

■ Настройки оптимизации.

■ Оптимизационное решение задачи с применением метода конечных элементов.

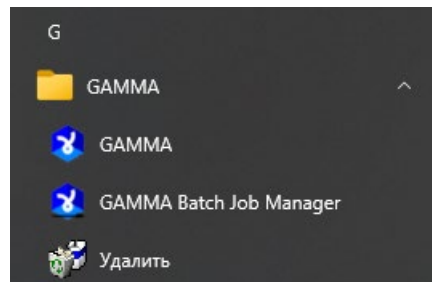
■ Результаты:

- график $K_{СВН}$;
- диаграмма Смита.

*Для решения задач оптимизации используется **генетический алгоритм** (англ. *genetic algorithm*) — эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искоемых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе. Является разновидностью эволюционных вычислений, с помощью которых решаются оптимизационные задачи с использованием методов естественной эволюции, таких как наследование, мутации, отбор и кроссинговер. Отличительной особенностью генетического алгоритма является акцент на использование оператора «скрещивания», который производит операцию рекомбинации решений-кандидатов, роль которой аналогична роли скрещивания в живой природе.

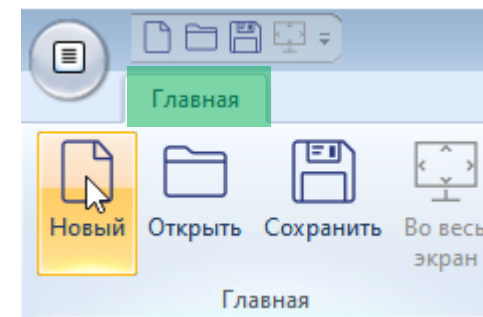
II. Подготовка модели

1. В стартовом меню или на рабочем столе найдите и запустите GAMMA: меню *Пуск* > *GAMMA* > *GAMMA*.

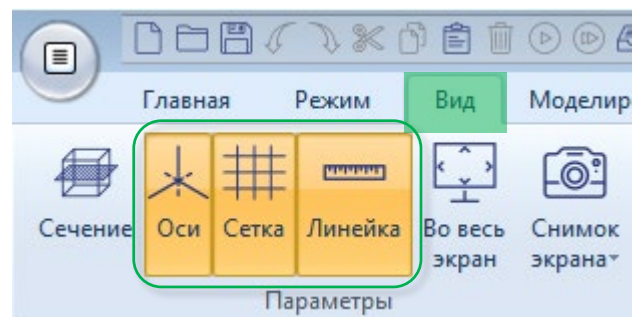


Стартовое меню

2. Создайте новый проект на панели во вкладке *Главная* > *Новый*.



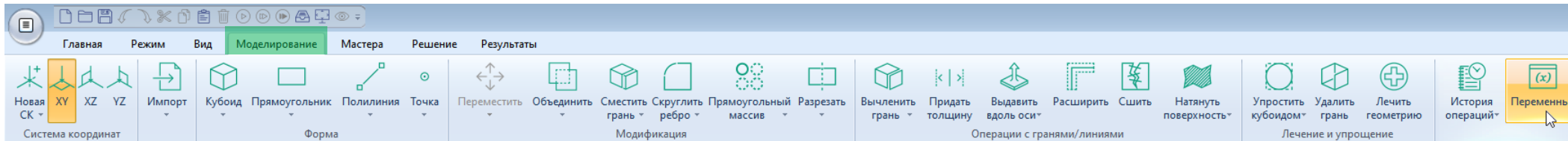
3. Для удобства моделирования на панели во вкладке *Вид* включите режимы *Оси*, *Сетка* и *Линейка*.



II. Подготовка модели

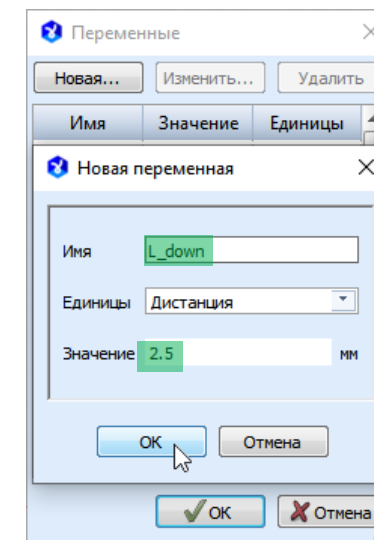
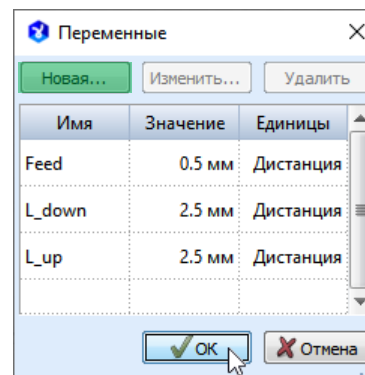
□ Для создания геометрии патч-антенны:

1. Установите переменные модели на панели во вкладке *Моделирование* > *Переменные*:



2. В окне *Переменные* > нажмите кнопку *Новая...*
3. В окне *Новая переменная* добавьте переменную длины нижнего излучателя и нажмите *OK*:
 - а. Имя: **L_down**;
 - б. Единицы: **Дистанция** (по умолчанию);
 - с. Значение: **2,5** мм.
4. Повторите процедуру для добавления переменной длины верхнего излучателя $L_{up} = 2,5$ мм и переменной положения запитки $Feed = 0,5$ мм.
5. Нажмите *OK*, чтобы закрыть окно *Переменные*.

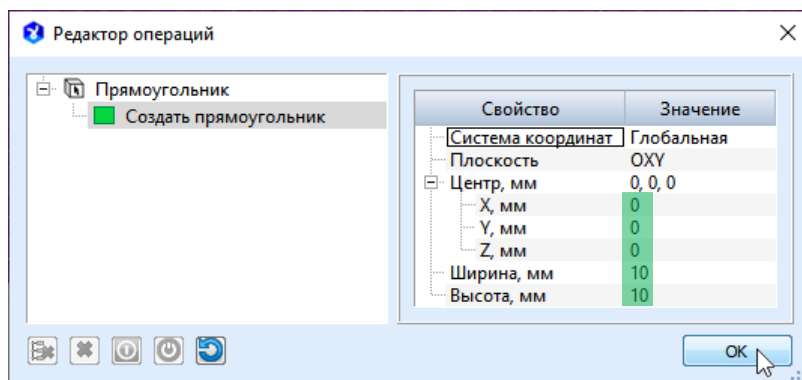
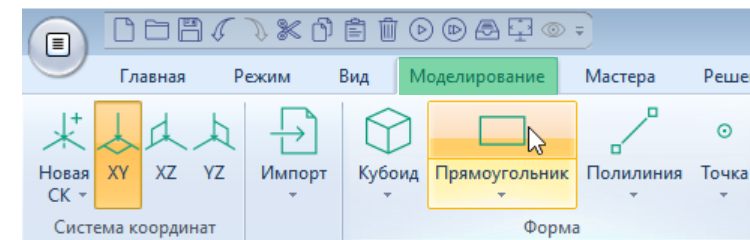
Для просмотра списка переменных
необходимо включить окно
Переменные на панели во вкладке *Вид*



II. Подготовка модели

6. Нарисуйте экран с размерами 10×10 мм:

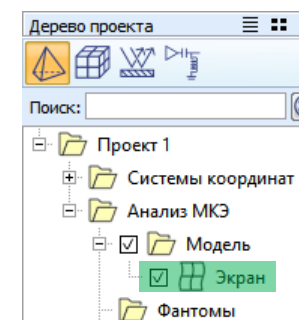
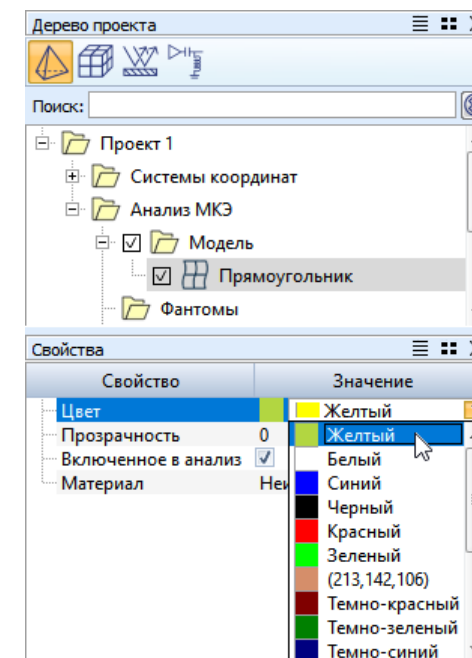
- На панели во вкладке *Моделирование* > *Прямоугольник*.
- Нарисуйте произвольный прямоугольник.
- Откройте окно *Редактор операций* объекта «Прямоугольник» двойным кликом на нем в дереве проекта или окне 3D просмотра.
- В окне *Редактор Операций* измените параметры операции *Создать прямоугольник* следующим образом и нажмите *ОК*:



Деталям можно назначить свой цвет:
1. Выберите объект, чтобы получить доступ к его окну *Свойства*;
2. Двойным кликом на значении свойства *Цвет* откройте список цветов и выберите из него желаемый.

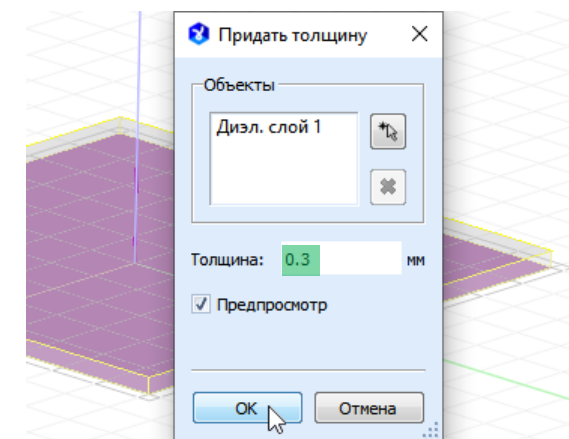
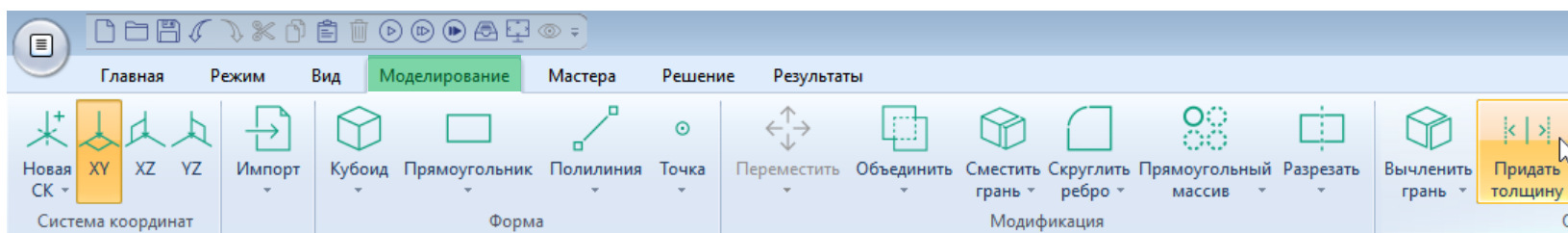
е. В дереве проекта переименуйте объект «Прямоугольник» в «Экран»:

- Для этого нажмите правой кнопкой на объекте «Прямоугольник» в дереве проекта и выберите пункт *Переименовать* или используйте клавишу *F2*.



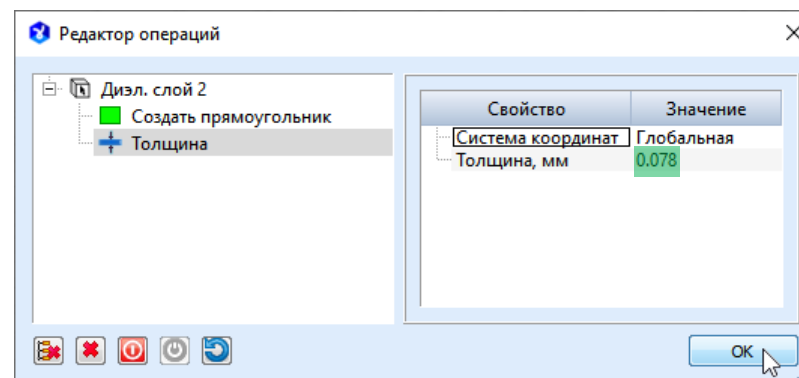
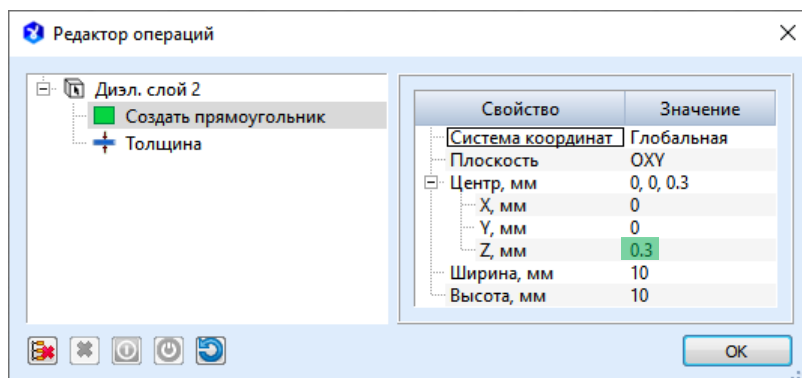
II. Подготовка модели

7. Нарисуйте первый диэлектрический слой (ядро) подложки, образованной многослойной печатной платой, с размерами $10 \times 10 \times 0,3$ мм:
- Скопируйте прямоугольник экрана:
 - Нажмите правой кнопкой на объекте «Экран» в дереве проекта и выберите пункт *Копировать* или используйте сочетание клавиш *Ctrl+C*.
 - Нажмите правой кнопкой на папке *Модель* в дереве проекта и выберите пункт *Вставить* или используйте сочетание клавиш *Ctrl+V*.
 - В дереве проекта переименуйте скопированный прямоугольник в «Диэл. слой 1»:
 - Для этого нажмите правой кнопкой на объекте «Экран(1)» в дереве проекта и выберите пункт *Переименовать* или используйте клавишу *F2*.
 - Придайте толщину прямоугольнику «Диэл. слой 1»:
 - Выберите объект «Диэл. слой 1» в дереве проекта;
 - На панели во вкладке *Моделирование* > *Придать толщину*.
 - В окне *Придать толщину* введите толщину **0,3** мм и нажмите *ОК*.



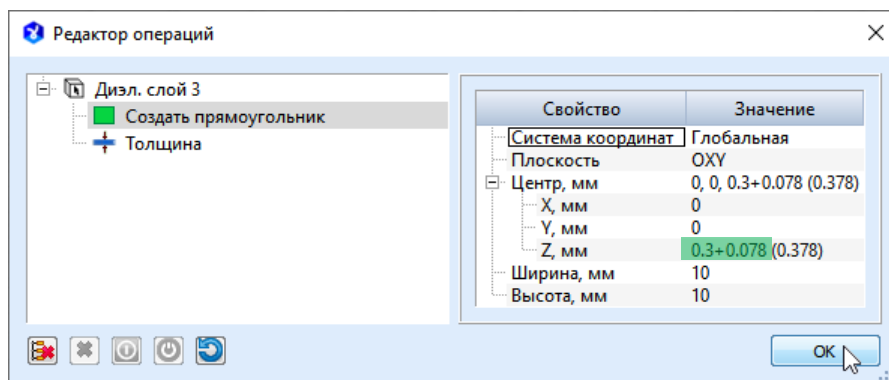
II. Подготовка модели

8. Нарисуйте второй диэлектрический слой (препрег) подложки, образованной многослойной печатной платой, с размерами $10 \times 10 \times 0,078$ мм:
- Скопируйте параллелепипед первого диэлектрического слоя:
 - Нажмите правой кнопкой на объекте «Диэл. слой 1» в дереве проекта и выберите пункт *Копировать* или используйте сочетание клавиш *Ctrl+C*.
 - Нажмите правой кнопкой на папке *Модель* в дереве проекта и выберите пункт *Вставить* или используйте сочетание клавиш *Ctrl+V*.
 - В дереве проекта переименуйте скопированный параллелепипед в «Диэл. слой 2»:
 - Для этого нажмите правой кнопкой на объекте «Диэл. слой 1(1)» в дереве проекта и выберите пункт *Переименовать* или используйте клавишу *F2*.
 - Откройте окно *Редактор операций* объекта «Диэл. слой 2» двойным кликом на нем в дереве проекта.
 - В окне *Редактор Операций* измените параметры операций *Создать прямоугольник* и *Толщина* следующим образом и нажмите *OK*:



II. Подготовка модели

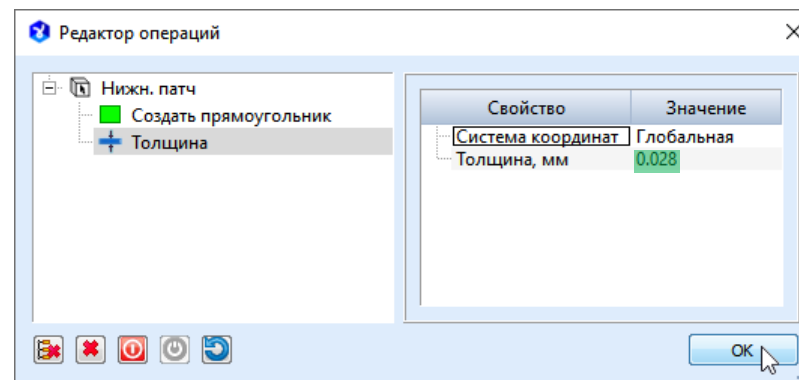
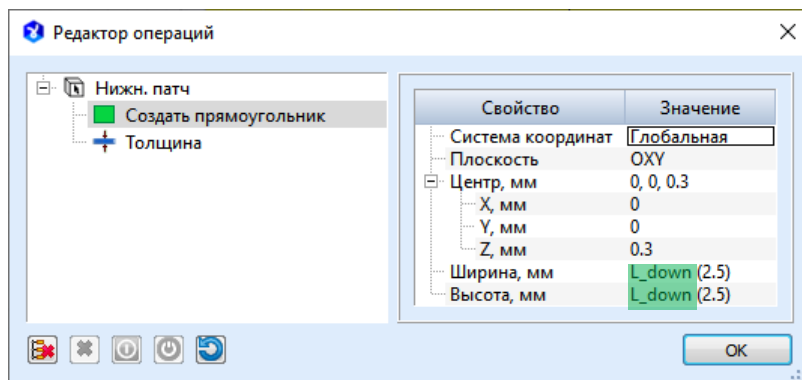
9. Нарисуйте третий диэлектрический слой (ядро) подложки, образованной многослойной печатной платой, с размерами $10 \times 10 \times 0,3$ мм:
- Скопируйте параллелепипед первого диэлектрического слоя:
 - Нажмите правой кнопкой на объекте «Диэл. слой 1» в дереве проекта и выберите пункт *Копировать* или используйте сочетание клавиш *Ctrl+C*.
 - Нажмите правой кнопкой на папке *Модель* в дереве проекта и выберите пункт *Вставить* или используйте сочетание клавиш *Ctrl+V*.
 - В дереве проекта переименуйте скопированный параллелепипед в «Диэл. слой 3»:
 - Для этого нажмите правой кнопкой на объекте «Диэл. слой 1(1)» в дереве проекта и выберите пункт *Переименовать* или используйте клавишу *F2*.
 - Откройте окно *Редактор операций* объекта «Диэл. слой 3» двойным кликом на нем в дереве проекта.
 - В окне *Редактор Операций* измените параметры операции *Создать прямоугольник* следующим образом и нажмите *ОК*:



II. Подготовка модели

10. Нарисуйте нижний излучатель с размерами $L_down \times L_down \times 0,028$ мм:

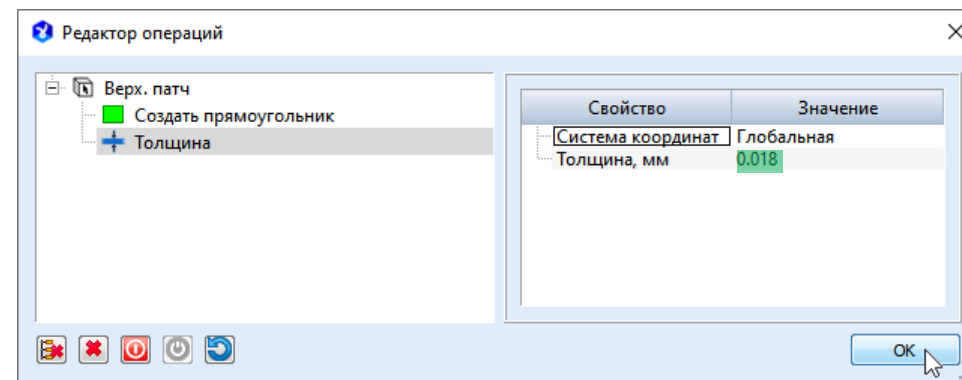
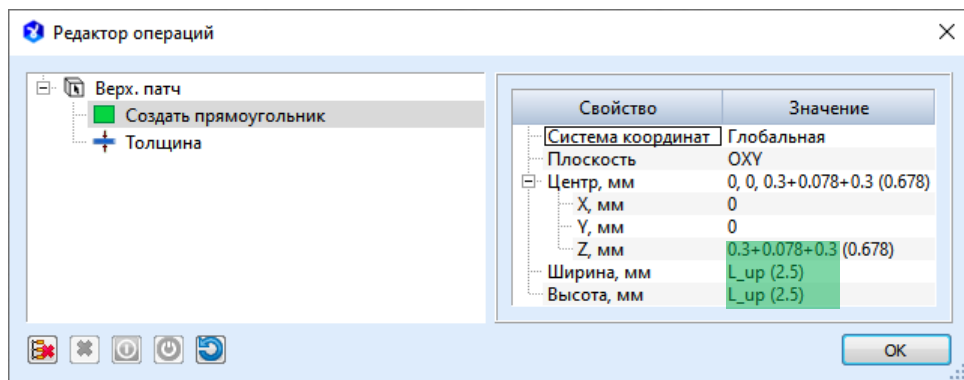
- а. Скопируйте параллелепипед второго диэлектрического слоя:
 - 1) Нажмите правой кнопкой на объекте «Диэл. слой 2» в дереве проекта и выберите пункт *Копировать* или используйте сочетание клавиш *Ctrl+C*.
 - 2) Нажмите правой кнопкой на папке *Модель* в дереве проекта и выберите пункт *Вставить* или используйте сочетание клавиш *Ctrl+V*.
- б. В дереве проекта переименуйте скопированный параллелепипед в «Нижн. патч»:
 - Для этого нажмите правой кнопкой на объекте «Диэл. слой 2(1)» в дереве проекта и выберите пункт *Переименовать* или используйте клавишу *F2*.
- в. Откройте окно *Редактор операций* объекта «Нижн. патч» двойным кликом на нем в дереве проекта.
- д. В окне *Редактор Операций* измените параметры операций *Создать прямоугольник* и *Толщина* следующим образом и нажмите *OK*:



II. Подготовка модели

11. Нарисуйте верхний излучатель с размерами $L_{up} \times L_{up} \times 0,018$ мм:

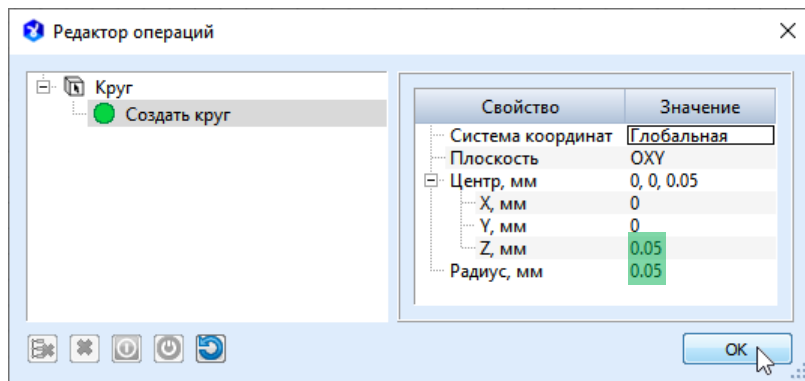
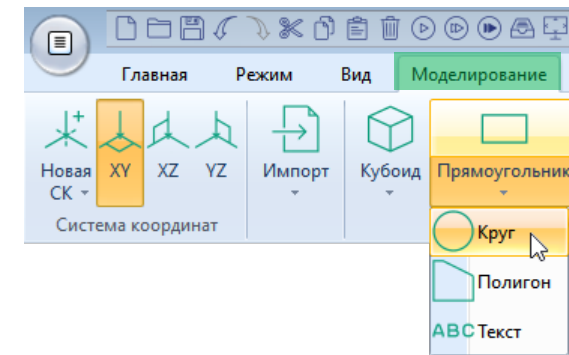
- а. Скопируйте параллелепипед нижнего излучателя:
 - 1) Нажмите правой кнопкой на объекте «Нижн. патч» в дереве проекта и выберите пункт *Копировать* или используйте сочетание клавиш *Ctrl+C*.
 - 2) Нажмите правой кнопкой на папке *Модель* в дереве проекта и выберите пункт *Вставить* или используйте сочетание клавиш *Ctrl+V*.
- б. В дереве проекта переименуйте скопированный параллелепипед в «Верх. патч»:
 - Для этого нажмите правой кнопкой на объекте «Нижн. патч(1)» в дереве проекта и выберите пункт *Переименовать* или используйте клавишу *F2*.
- в. Откройте окно *Редактор операций* объекта «Верх. патч» двойным кликом на нем в дереве проекта.
- д. В окне *Редактор Операций* измените параметры операций *Создать прямоугольник* и *Толщина* следующим образом и нажмите *OK*:



II. Подготовка модели

12. Нарисуйте подводящий штырь диаметром 0,1 мм:

- На панели во вкладке *Моделирование* > всплывающий список *Прямоугольник* > *Круг*.
- Нарисуйте произвольный круг.
- Откройте окно *Редактор операций* объекта «Круг» двойным кликом на нем в дереве проекта.
- В окне *Редактор Операций* измените параметры операции *Создать круг* следующим образом и нажмите *OK*:

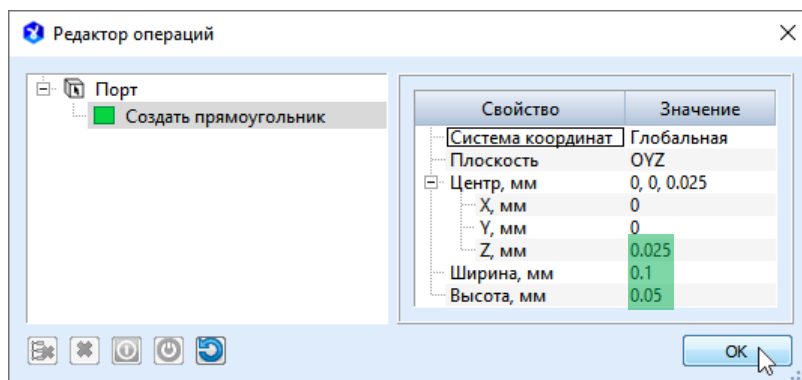
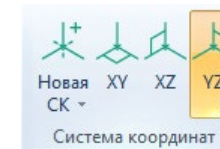


- Придайте толщину кругу «Круг»:
 - Выберите объект «Круг» в дереве проекта;
 - На панели во вкладке *Моделирование* > *Придать толщину*.
 - В окне *Придать толщину* введите толщину **0.3-0.05** (0,25) мм и нажмите *OK*.

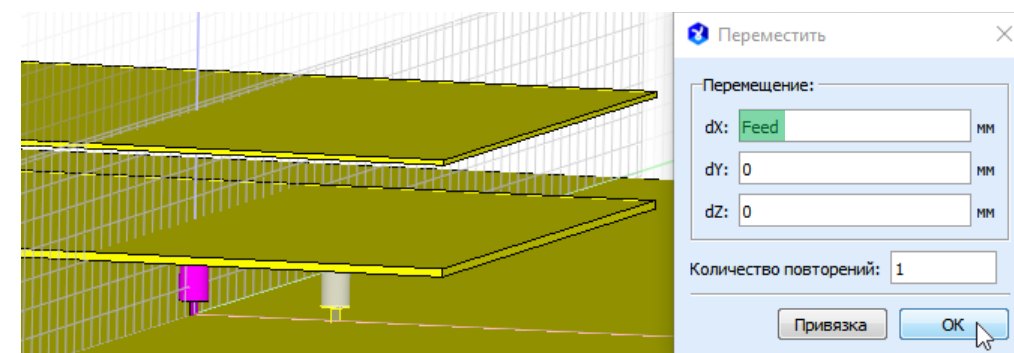
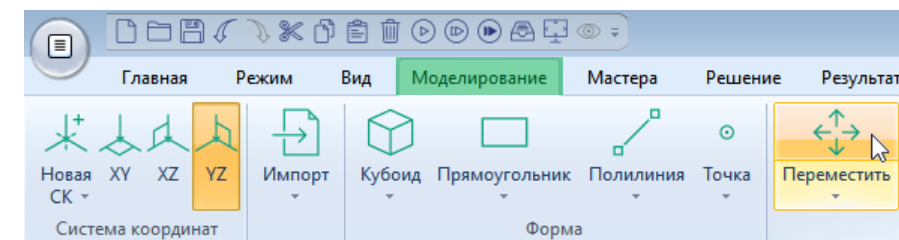
II. Подготовка модели

13. Нарисуйте прямоугольник для сосредоточенного порта:

- На панели во вкладке *Моделирование* > переключитесь на рабочую плоскость YZ.
- Нарисуйте произвольный прямоугольник.
- В дереве проекта переименуйте объект «Прямоугольник» в «Порт»:
 - Для этого нажмите правой кнопкой на объекте «Прямоугольник» в дереве проекта и выберите пункт *Переименовать* или используйте клавишу F2.
- Откройте окно *Редактор операций* объекта «Порт» двойным кликом на нем в дереве проекта.
- В окне *Редактор Операций* измените параметры операции *Создать прямоугольник* следующим образом и нажмите *ОК*:



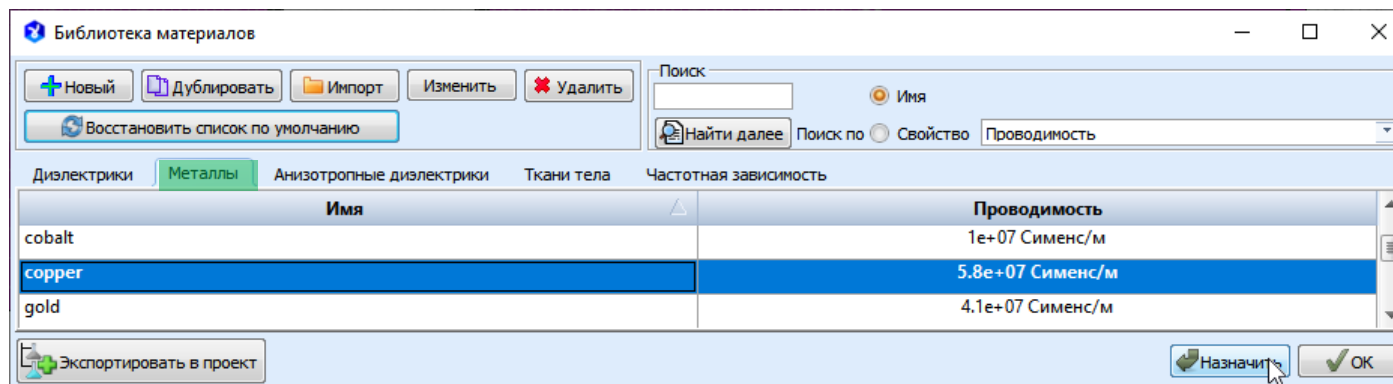
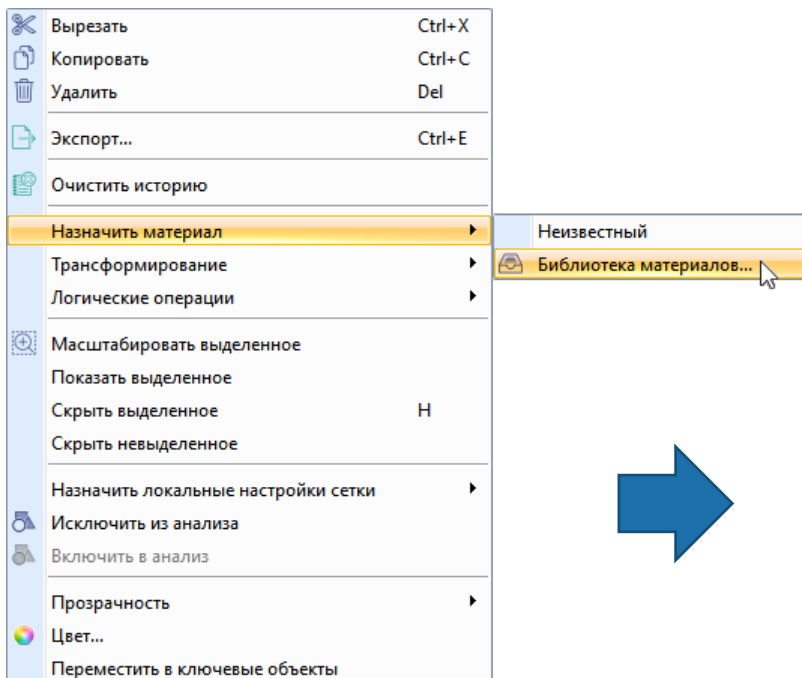
- Сместите точку запитки на Feed от центра излучателя:
 - Выберите объекты «Круг» и «Порт» в дереве проекта;
 - На панели во вкладке *Моделирование* > *Переместить*.
 - В окне *Переместить* в поле *dX*: введите **Feed** и нажмите *ОК*.



II. Подготовка модели

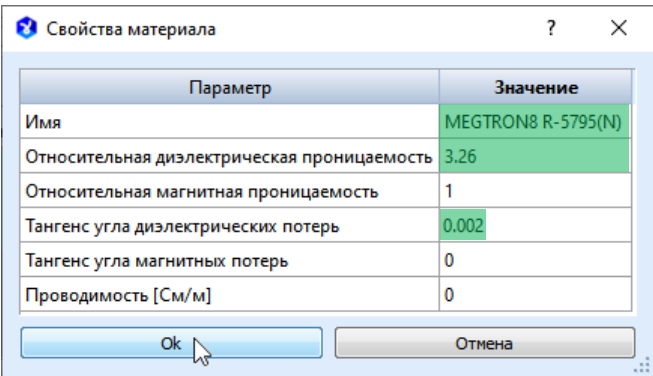
❑ Для назначения материалов:

1. Удерживая клавишу *Ctrl*, последовательно выделите 4 объекта в дереве проекта: «Экран», «Нижн. патч», «Верх. патч» и «Круг» > нажмите правой кнопкой на любом из этих 4 объектов в дереве проекта или окне 3D просмотра > *Назначить материал* > *Библиотека материалов...*
2. В окне *Библиотека материалов* во вкладке *Металлы* найдите *copper* > выделите его > нажмите *Назначить* и закройте диалог.



II. Подготовка модели

3. Удерживая клавишу *Ctrl*, последовательно выделите 2 объекта в дереве проекта или окне 3D просмотра: «Диэл. слой 1» и «Диэл. слой 3» > нажмите правой кнопкой на любом из этих 2 объектов в дереве проекта или окне 3D просмотра > *Назначить материал* > *Библиотека материалов....*
4. В окне *Библиотека материалов* во вкладке *Диэлектрики* нажмите *Новый*.
5. В окне *Свойства материала* заполните параметры нового материала следующим образом и нажмите *OK*:



Параметр	Значение
Имя	MEGTRON8 R-5795(N)
Относительная диэлектрическая проницаемость	3.26
Относительная магнитная проницаемость	1
Тангенс угла диэлектрических потерь	0.002
Тангенс угла магнитных потерь	0
Проводимость [См/м]	0

Ok Отмена

6. Нажмите *Назначить* и закройте диалог.

II. Подготовка модели

7. Выделите объект «Диэл. слой 2» в дереве проекта или окне 3D просмотра > нажмите правой кнопкой на этом объекте в дереве проекта или окне 3D просмотра > *Назначить материал* > *Библиотека материалов....*
8. В окне *Библиотека материалов* во вкладке *Диэлектрики* нажмите *Новый*.
9. В окне *Свойства материала* заполните параметры нового материала следующим образом и нажмите *OK*:

Параметр	Значение
Имя	MEGTRON8 R-5690(N)
Относительная диэлектрическая проницаемость	3.12
Относительная магнитная проницаемость	1
Тангенс угла диэлектрических потерь	0.002
Тангенс угла магнитных потерь	0
Проводимость [См/м]	0

Ok Отмена

10. Нажмите *Назначить* и закройте диалог.

Назначенные материалы
перечислены в папке
Материалы в дереве
проекта.
Свойства материалов
доступны в окне *Свойства*
для выбранного материала

Дерево проекта

Поиск:

Проект 1

- Системы координат
- Анализ МКЭ
- Модель
- Фантомы
- Материалы
- Неизвестный
- copper
- MEGTRON8 R-5795(N)
- MEGTRON8 R-5690(N)
- Условия

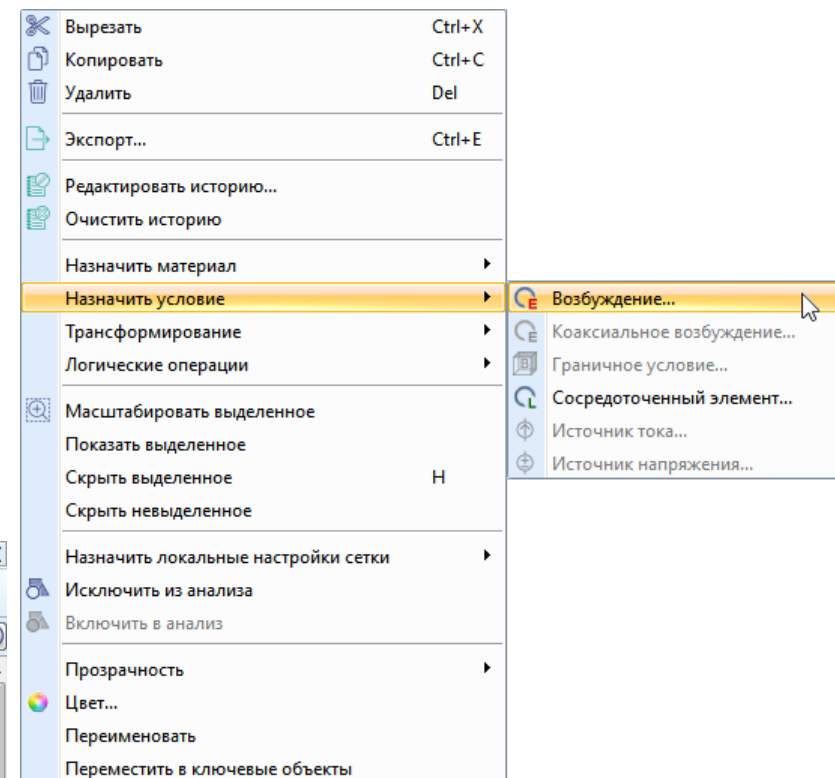
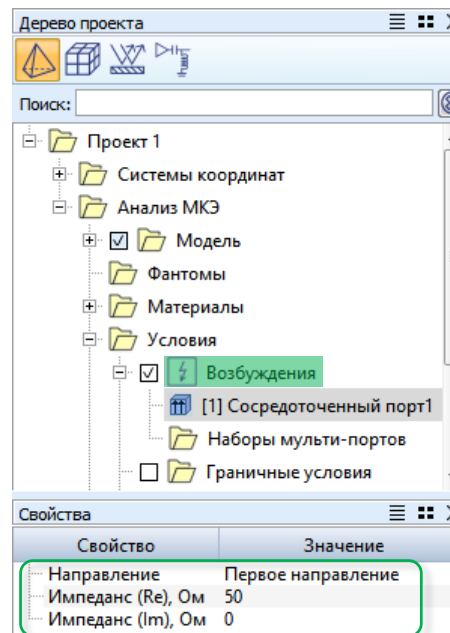
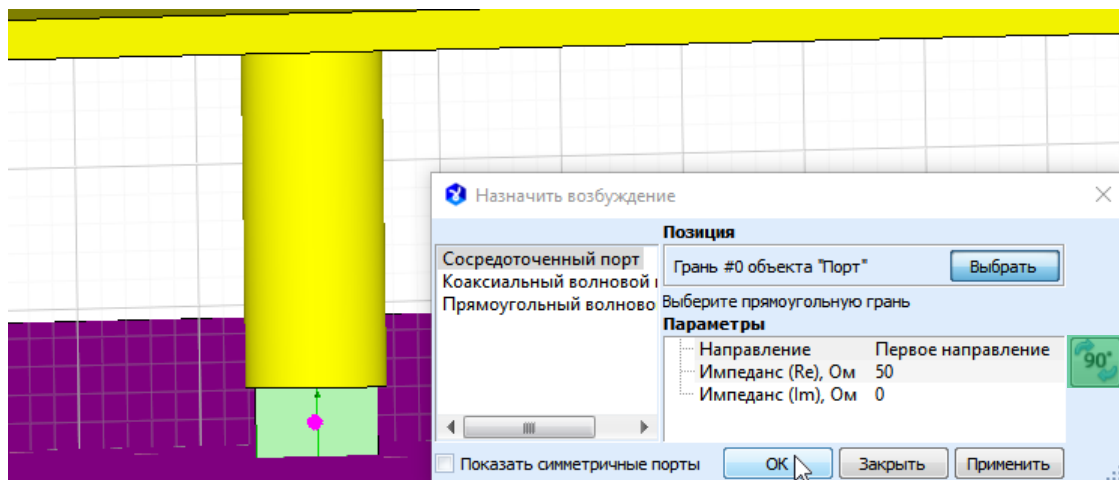
Свойства

Свойство	Значение
Относительная диэлектрическая...	3.26
Относительная магнитная прон...	1
Тангенс угла диэлектрических п...	0.002
Тангенс угла магнитных потерь	0
Проводимость, Сименс/м	0

II. Подготовка модели

❑ Для назначения сосредоточенного порта:

1. Снимите выделение с объектов «Диэл. слой 1», «Диэл. слой 2» и «Диэл. слой 3» в дереве проекта, чтобы скрыть их и получить доступ к прямоугольнику порта.
2. В дереве проекта или окне 3D просмотра выберите объект «Порт».
3. Нажмите в дереве проекта или окне 3D просмотра на объекте «Порт» правой кнопкой > *Назначить условие* > *Возбуждение*.
4. В окне *Назначить возбуждение* нажмите, если требуется, на кнопку  для задания направления возбуждающего поля вдоль оси Z и нажмите *OK*.



Назначенные порты можно
найти в папке
Условия/Возбуждения в
дереве проекта.
Свойства выбранного порта
доступны в его окне *Свойства*

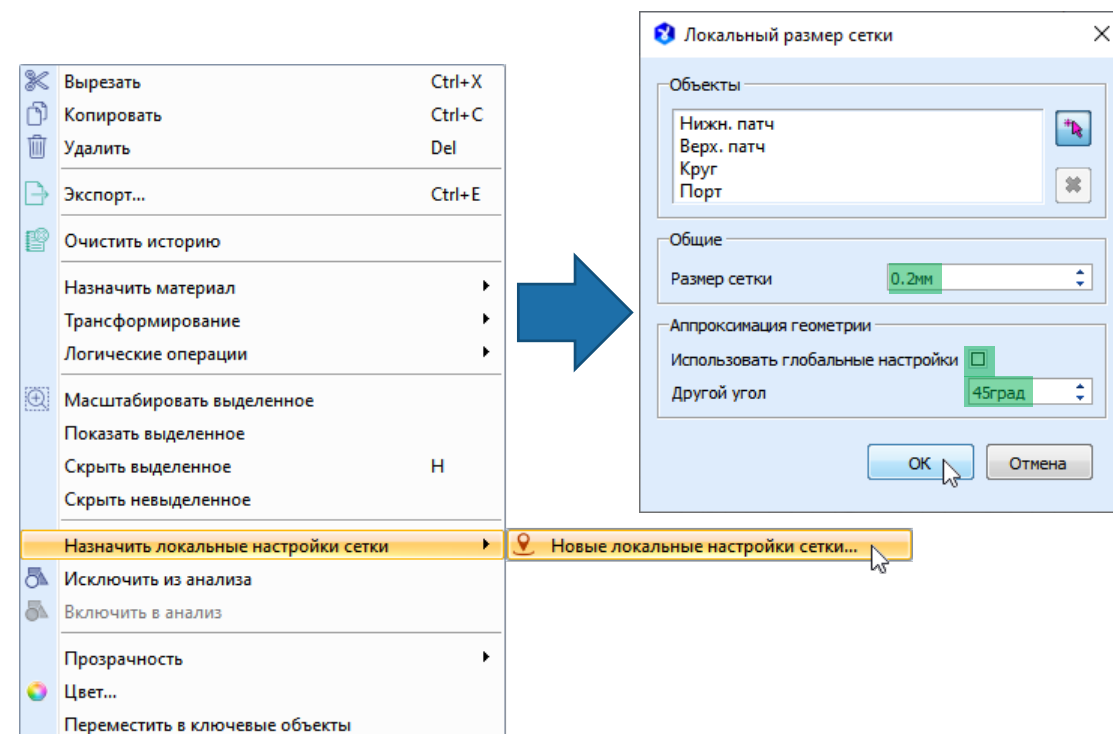
II. Подготовка модели

По умолчанию в GAMMA в МКЭ на начальном шаге построения сетки используется размер сетки равный $\frac{\lambda}{3\sqrt{\epsilon}}$, где λ – длина волны на верхней частоте рабочего диапазона частот в свободном пространстве, ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды. Использование данного размера сетки для всей сцены приведет к неточному результату, поэтому необходимо либо использовать адаптивное уточнение сетки (включено по умолчанию), либо для ускорения расчета в ущерб незначительной потери точности использовать локальные настройки сетки с выключенным адаптивным уточнением (использовано в данном примере).

Локальные настройки с более мелким размером сетки (по отношению к размеру начальной сетки) назначаются вручную на объекты антенно-фидерного тракта.

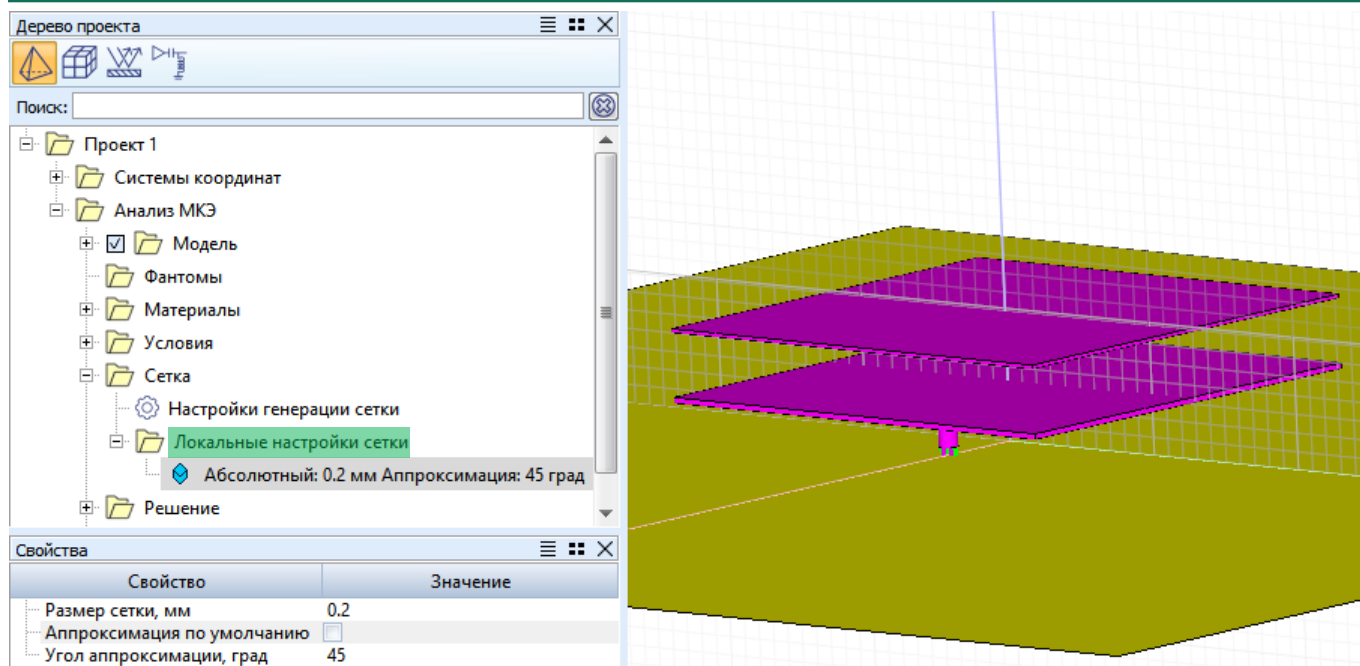
❑ Для назначения локальных настроек сетки:

1. Удерживая клавишу *Ctrl*, последовательно выделите 4 объекта в дереве проекта: «Нижн. патч», «Верх. патч», «Круг» и «Порт» > нажмите правой кнопкой на любом из этих 4 объектов в дереве проекта или окне 3D просмотра > *Назначить локальные настройки сетки* > *Новые локальные настройки сетки....*
2. В окне *Локальный размер сетки* в поле *Размер сетки* введите **0,2 мм**.
3. Снимите выделение с параметра *Использовать глобальные настройки*.
4. В поле *Другой угол* введите **45 град** и нажмите *ОК*.

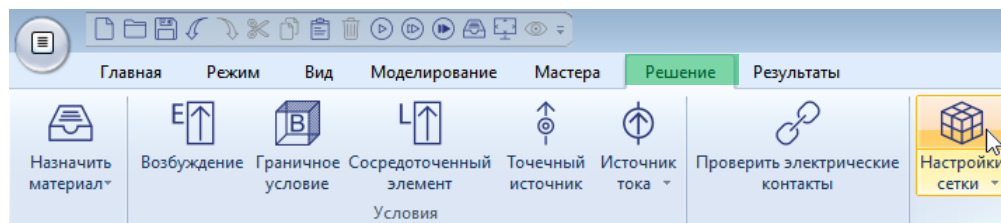


II. Подготовка модели

Назначенные локальные настройки сетки можно найти в папке *Сетки/Локальные настройки сетки* в дереве проекта. Свойства выбранной локальной настройки сетки доступны в ее окне *Свойства*

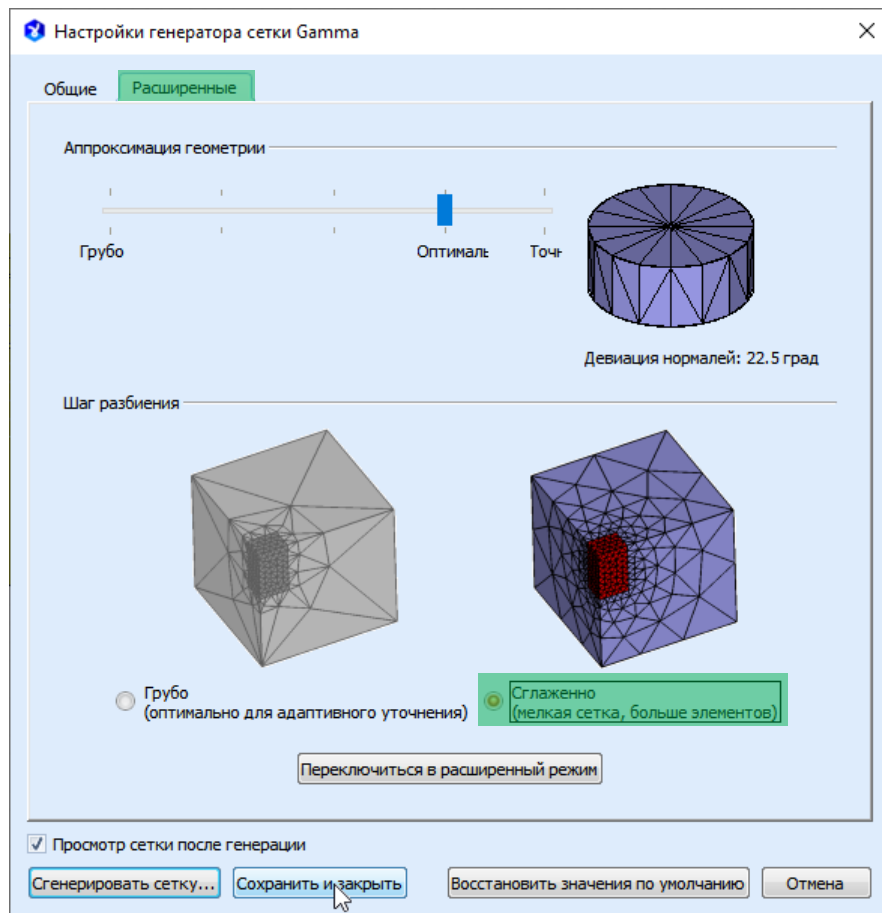


5. На панели во вкладке *Решение* > *Настройки сетки*.



II. Подготовка модели

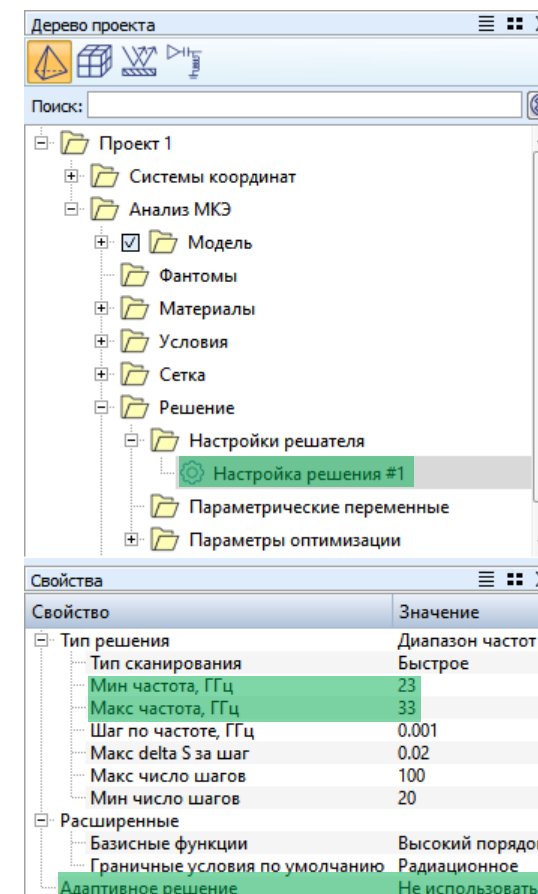
6. В окне *Настройки генератора сетки Gamma* во вкладке *Расширенные* переключите шаг разбиения в *Сглажено* и нажмите *Сохранить и закрыть*.



II. Подготовка модели

□ Для установки параметров решения

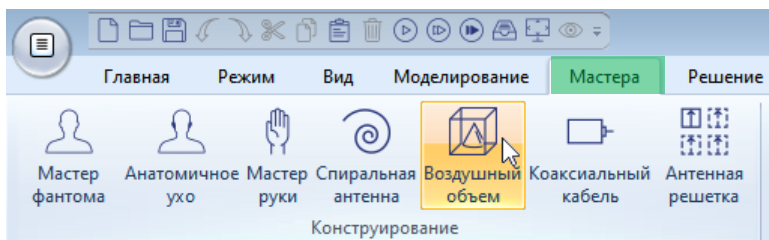
1. В дереве проекта > *Решение* > *Настройки решателя* > *Настройка решения #1*.
2. В окне *Свойства* измените значения следующих полей:
 - a. *Макс частота* = **33 ГГц**;
 - b. *Мин частота* = **23 ГГц**;
 - c. *Адаптивное решение*: **Не использовать**.
3. Для остальных параметров оставьте значения по умолчанию.



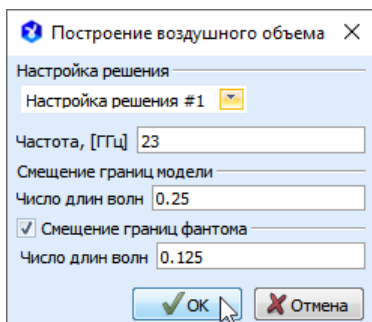
II. Подготовка модели

□ Для создания воздушного объема

1. На панели во вкладке *Мастера* > *Воздушный объем*.

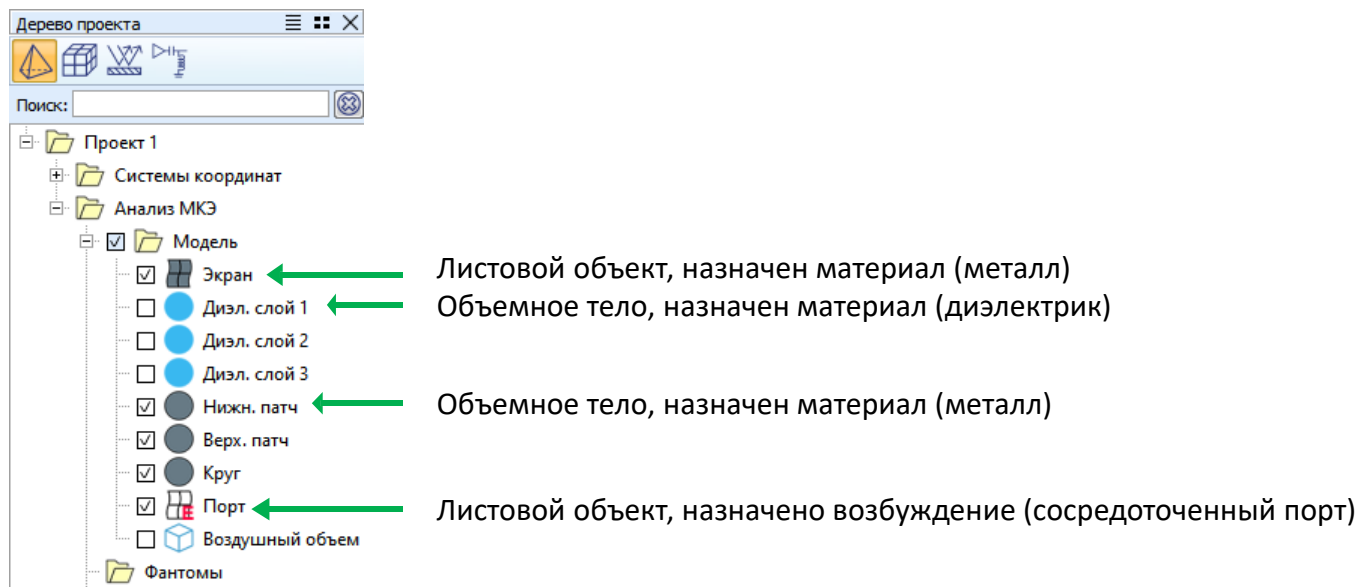


2. В окне *Построение воздушного объема* оставьте все параметры по умолчанию и нажмите *ОК*.



II. Подготовка модели

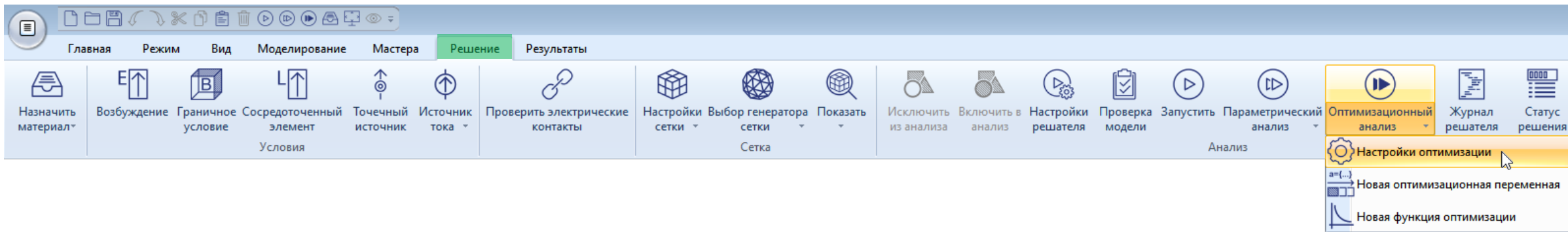
- ❑ Проверка проекта, чтобы убедиться, что материалы и условия назначены там, где это необходимо:



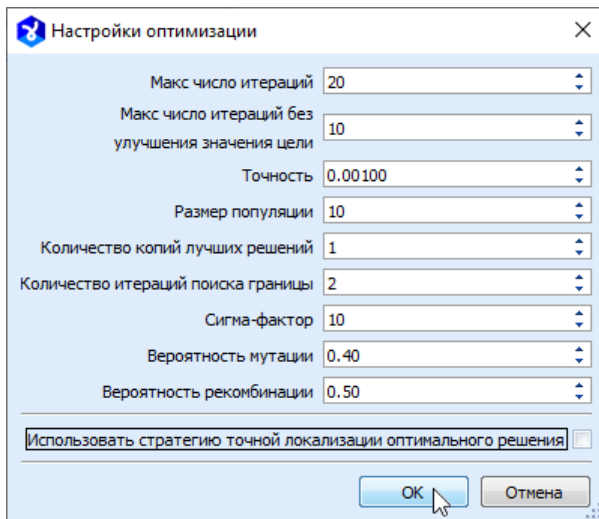
III. Оптимизационное решение

❑ Для установки параметров оптимизационного решения

1. На панели во вкладке *Решение* > всплывающий список *Оптимизационный анализ* > *Настройки оптимизации*.

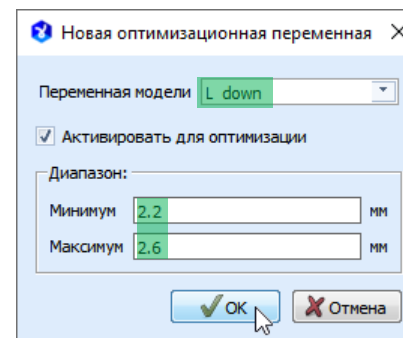


2. В окне *Настройки оптимизации* оставьте все значения по умолчанию и нажмите *ОК*.

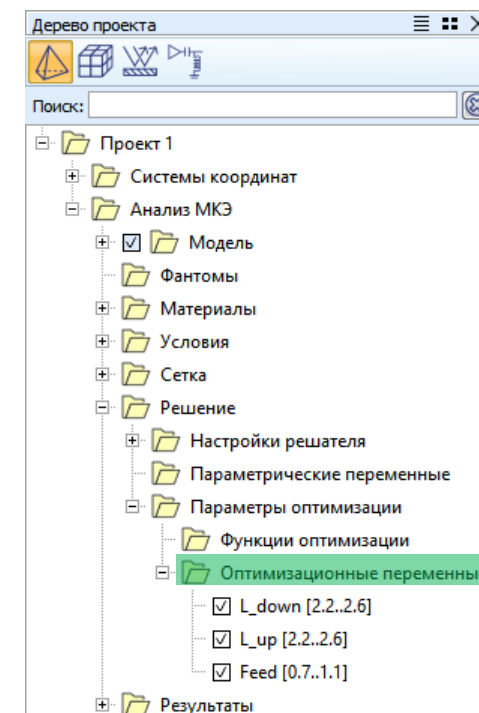


III. Оптимизационное решение

3. На панели во вкладке *Решение* > всплывающий список *Оптимизационный анализ* > *Новая оптимизационная переменная*.
4. В окне *Новая оптимизационная переменная*:
 - а. В списке *Переменная модели* выберите **L_down**;
 - б. В поле *Минимум* введите **2,2** мм;
 - с. В поле *Максимум* введите **2,6** мм и нажмите *OK*.
5. Повторите процедуру для добавления оптимизационной переменной **L_up** с диапазоном значений от **2,2** до **2,6** мм и оптимизационной переменной **Feed** с диапазоном значений от **0,7** до **1,1** мм.



Добавленные оптимизационные переменные можно найти в папке *Решение/Параметры оптимизации/Оптимизационные переменные* в дереве проекта



III. Оптимизационное решение

6. На панели во вкладке *Решение* > всплывающий список *Оптимизационный анализ* > *Новая функция оптимизации*.
7. В окне *Новая функция оптимизации*:
 - a. В списке *Тип функции* выберите **КСВН**;
 - b. В списке *Спецификация порта* выберите **[1] Сосредоточенный порт1**;
 - c. В поле *Цель* введите **2**;
 - d. В поле *Вес* введите **1**;
 - e. В поле *Мин* введите **26** ГГц;
 - f. В поле *Макс* введите **30** ГГц;
 - g. Остальные параметры оставьте по умолчанию (*Условие* <; *Цель* **Безразмерная**) и нажмите **ОК**.

Новая функция оптимизации

Тип функции: Спецификация порта:

КСВН [1] Сосредоточенный порт1

S-параметр
КПД излучения

☒ Активировать для оптимизации

Параметры функции

Условие: <

Цель: 2 Безразмерная

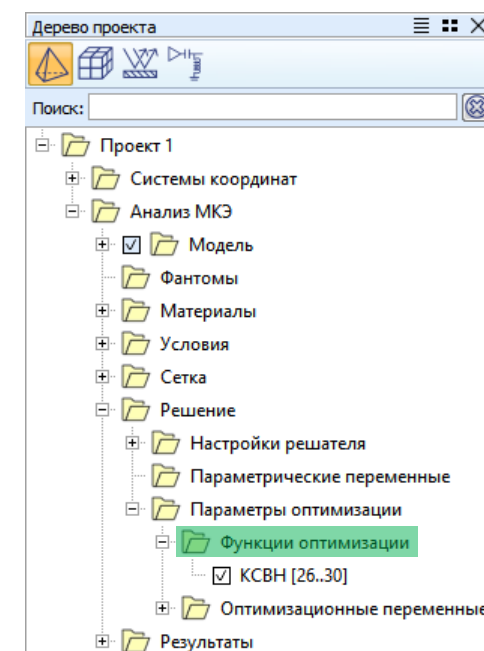
Вес: 1

Диапазон частот

Мин: 26 ГГц Макс: 30 ГГц

OK Отмена

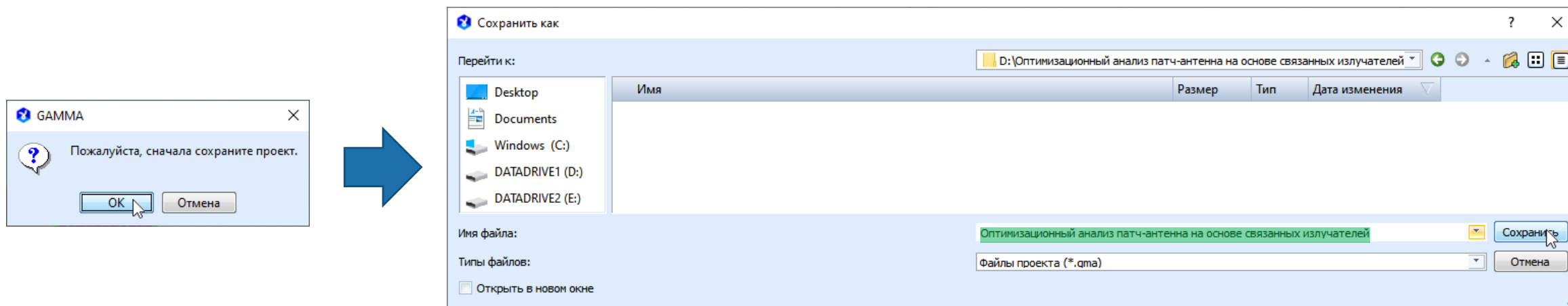
Добавленные функции оптимизации можно найти в папке *Решение/Параметры оптимизации/Функции оптимизации* в дереве проекта



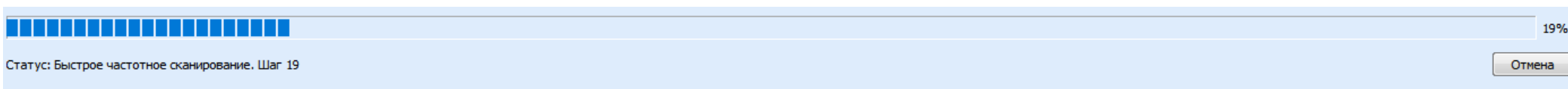
III. Оптимизационное решение

❑ Для запуска оптимизационного решения

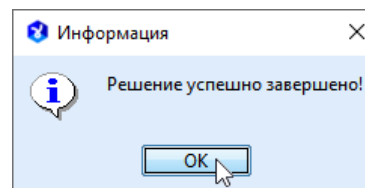
1. На панели во вкладке *Решение* > *Оптимизационный анализ*.
2. В появившемся окне необходимо согласиться сохранить проект:
 - Нажмите *ОК*, далее выберите расположение на жестком диске, введите имя файла и нажмите *Сохранить*.



3. Начнется процесс решения, ход выполнения которого виден в автоматически появляющейся строке состояния решателя:



4. По окончании решения нажмите *ОК* в окне с уведомлением об успешном завершении.

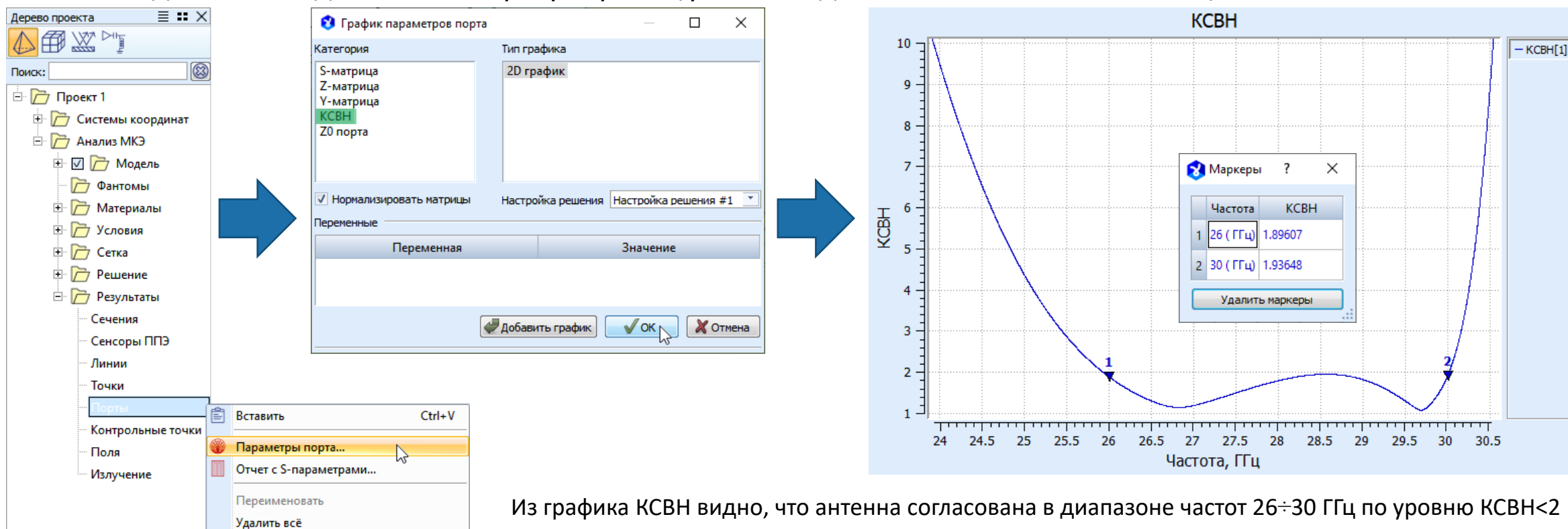


IV. Результаты

❑ Для просмотра результатов:

1. Постройте график КСВН:

- В папке *Результаты* > нажмите правой кнопкой на *Порты* > *Параметры порта...*
- В окне *График параметров порта* выберите категорию *КСВН* и нажмите *ОК*.
- Нажмите правой кнопкой на графике > *Слежение* или используйте сочетание клавиш *CTRL+T*.
- Курсором в виде перекрестия найдите на графике и далее с помощью кнопки *Добавить маркер* последовательно добавьте 2 маркера границ рабочего диапазона частот: 26 и 30 ГГц.

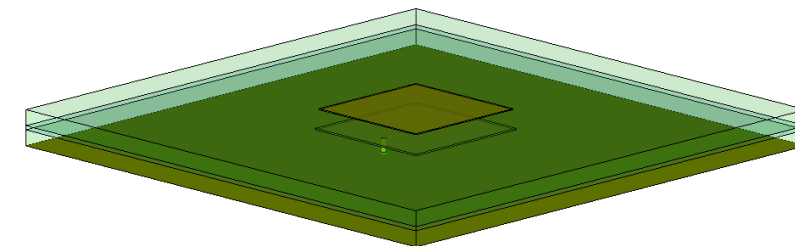


Из графика КСВН видно, что антенна согласована в диапазоне частот 26÷30 ГГц по уровню КСВН<2

IV. Результаты

2. Постройте диаграмму Смита:

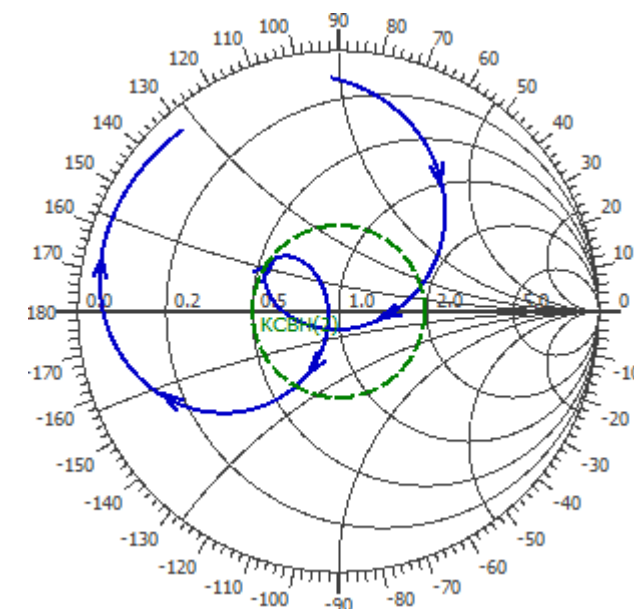
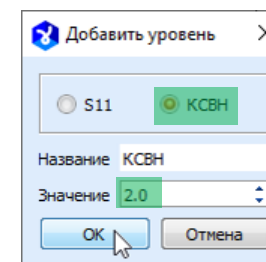
- В папке *Результаты* > нажмите правой кнопкой на *Порты* > *Параметры порта...*
- В окне *График параметров порта*:
 - Выберите категорию *S-матрица*.
 - Выберите тип графика *Диаграмма Смита* и нажмите *ОК*.
- Нажмите правой кнопкой на графике > *Добавить маркер уровня*.
- В окне *Добавить уровень*:
 - Выберите *KCBH*.
 - В поле *Значение* введите **2** и нажмите *ОК*.



Переменные		
Переменные		Изменить
Дистанция		
L_down, мм	2.57329	
L_up, мм	2.48728	
Feed, мм	0.827306	

Переменные, полученные
в результате оптимизации

Ввиду особенности генетического метода оптимизации (начальная популяция генерируется случайным образом) результат решения может иметь небольшие отличия в серии повторных расчетов



На диаграмме Смита видно, что locus, имеющий форму резонансной петли, оптимальным образом вписан в окружность KCBH=2