



СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Учебный пример ГАММА

Микрополосковая антенная решетка 2×2

21 апреля, 2023



- I. Введение**
- II. Анализ одиночной патч-антенны**
- III. Анализ антенной решетки 2×2 из патч-излучателей**

I. Введение: Постановка задачи

Модель:

- Одиночная микрополосковая патч-антенна.
- Микрополосковая антенная решетка 2×2 из патч-излучателей с независимым возбуждением.

Задача:

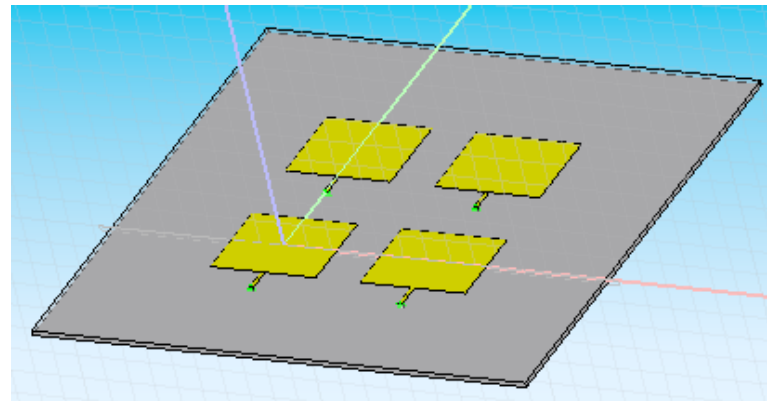
- Запустить решение в диапазоне частот от 2 до 2,8 ГГц.

Цель:

- Получить работу антенны на целевой частоте 2,4 ГГц.



Одиночная микрополосковая патч-антенна

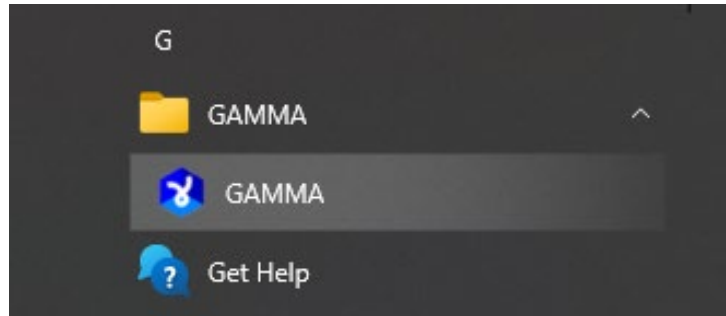


Микрополосковая антенная решетка 2×2 из патч-излучателей

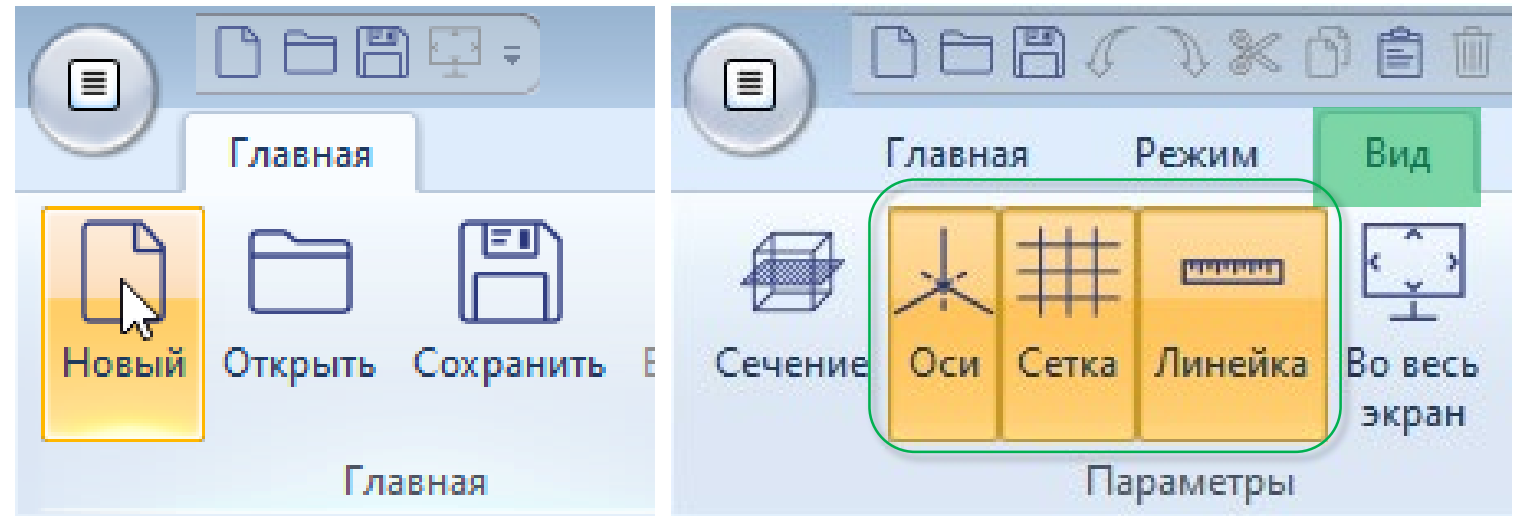
Модель данного пассивного устройства рассчитывается с помощью следующих функции ГАММА:

- **Создание 3D модели:**
 - Прimitives: кубоид, прямоугольник.
- **Назначение возбуждения:**
 - Прямоугольный сосредоточенный порт.
- **Библиотека материалов:**
 - pec;
 - Rogers RO3003.
- **Настройки расчета.**
- **Решение задачи с применением метода конечных элементов.**
- **Результаты:**
 - График S-параметров;
 - Диаграмма направленности.

II. Анализ одиночной патч-антенны



Стартовое меню

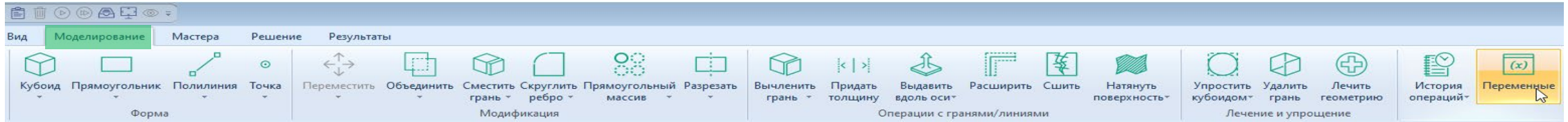


1. В стартовом меню или на рабочем столе найти и запустить **ГAMMA**: меню **Пуск** > **SEVSU** > **GAMMA**.
2. Создать новый проект.
3. Для удобства моделирования в меню **Вид** включить режимы **Оси**, **Сетка** и **Линейка**.

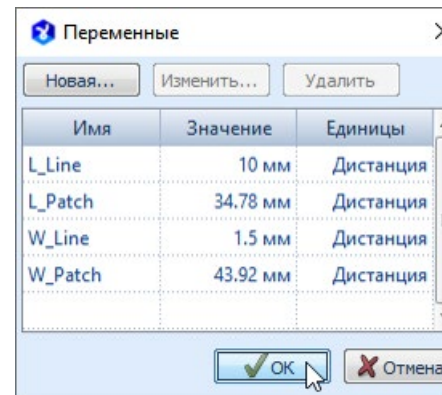
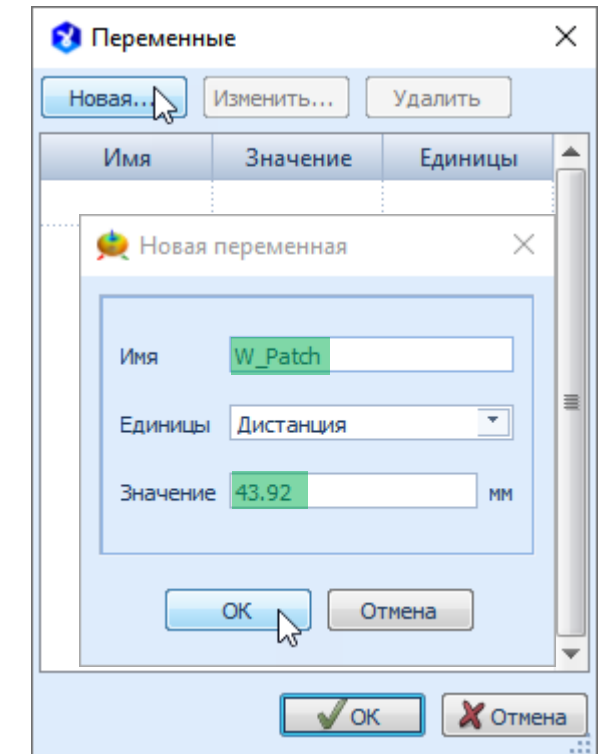
II. Анализ одиночной патч-антенны

□ Создание одиночной патч-антенны с возбуждением:

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



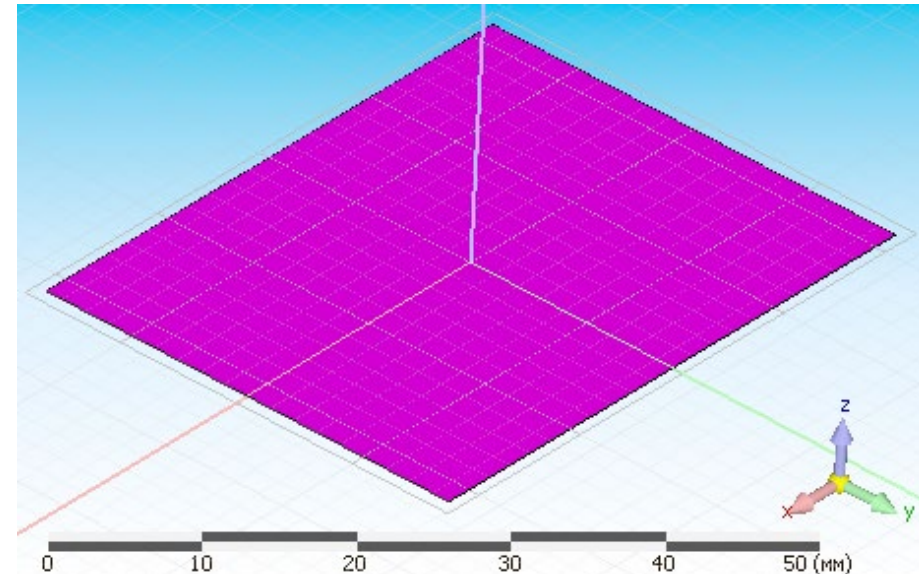
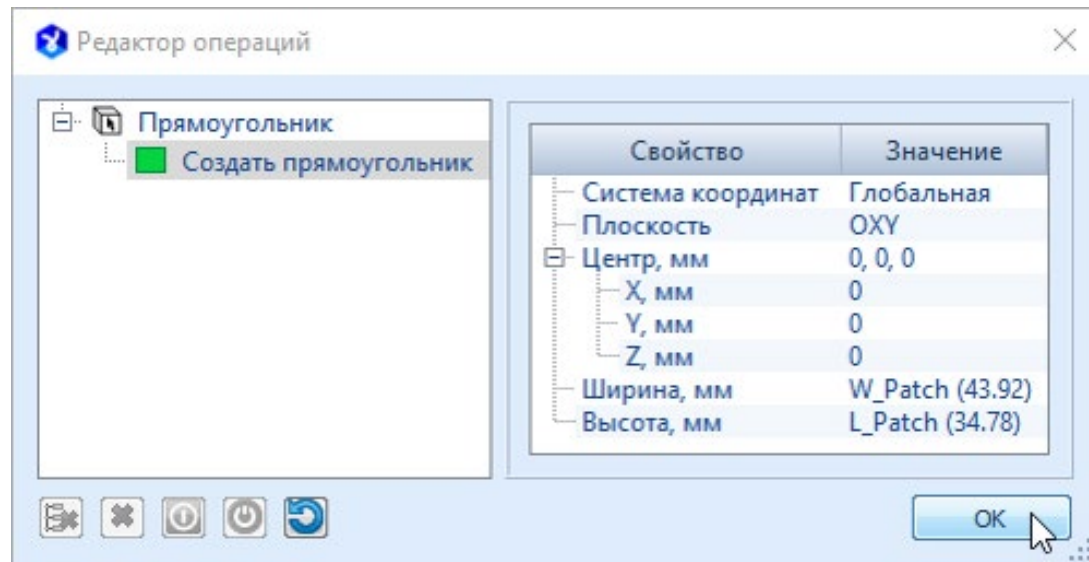
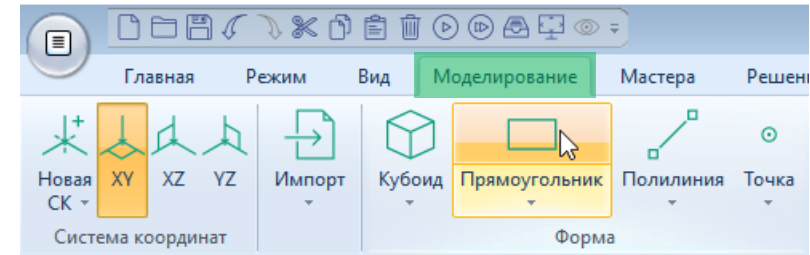
- 1) В окне **Переменная** > нажмите **Новая...**
- 2) В окне **Новая Переменная** установите ширину патча и нажмите **ОК**:
 - Имя: **W_Patch**;
 - Единицы: **Дистанция (по умолчанию)**;
 - Значение: **43,92**.
- 3) Повторите процедуру для длины патча **L_Patch = 34,78 мм**.
- 4) Повторите процедуру для длины подводящей линии **L_Line = 10 мм**.
- 5) Повторите процедуру для ширины подводящей линии **W_Line = 1,5 мм**.



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

II. Анализ одиночной патч-антенны

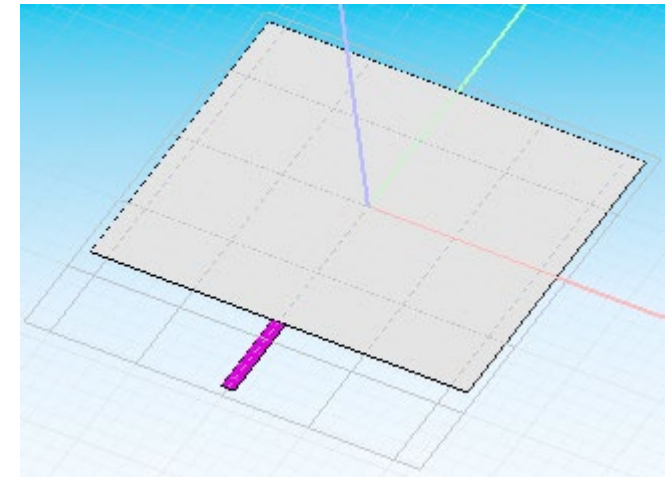
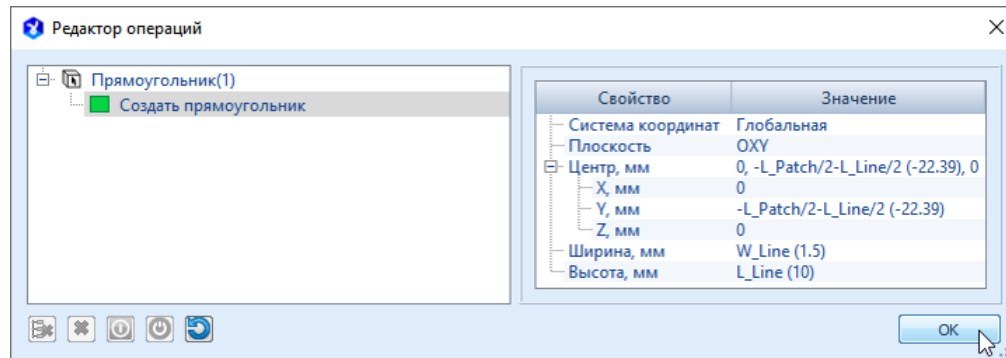
2. Нарисуйте патч с размерами $W_{Patch} \times L_{Patch}$:
 - 1) Во вкладке **Моделирование** > **Прямоугольник**.
 - 2) Нарисуйте произвольный прямоугольник.
 - 3) Двойной клик на объекте в дереве проекта или окне 3D просмотра вызовет окно **Редактор операций**.
 - 4) В окне **Редактор Операций** измените параметры операции **Создать прямоугольник** следующим образом:



II. Анализ одиночной патч-антенны

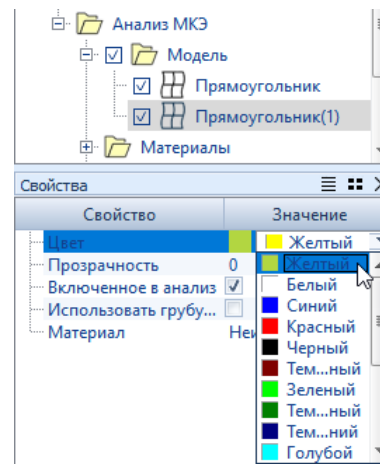
3. Нарисуйте подводящую линию с размерами $W_Line \times L_Line$:

- 1) Во вкладке **Моделирование** > **Прямоугольник**.
- 2) Нарисуйте произвольный прямоугольник.
- 3) Двойной клик на объекте “**Прямоугольник(1)**” для доступа к **Редактору операций**.
- 4) В окне **Редактор Операций** измените параметры операции **Создать прямоугольник** следующим образом:



Деталям можно назначить свой цвет:

1. Выберите объект, чтобы иметь доступ к его окну **Свойства**.
2. Двойной клик на свойстве **Цвет**, чтобы выбрать цвет из списка.





II. Анализ одиночной патч-антенны

4. Нарисуйте экран с размерами на 100 мм больше, чем патч:

1) Скопируйте прямоугольник патч-излучателя:

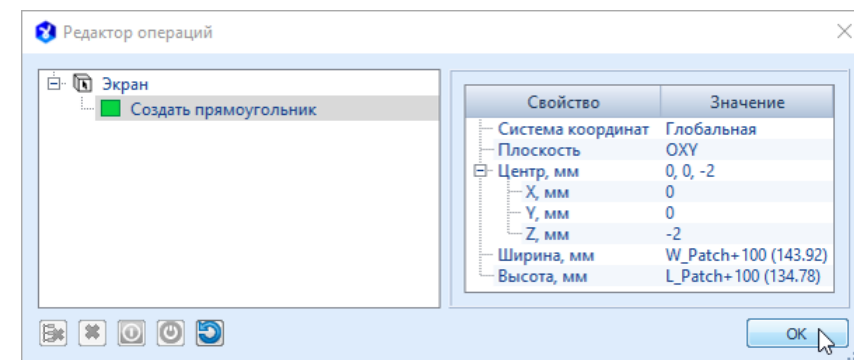
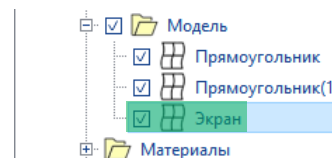
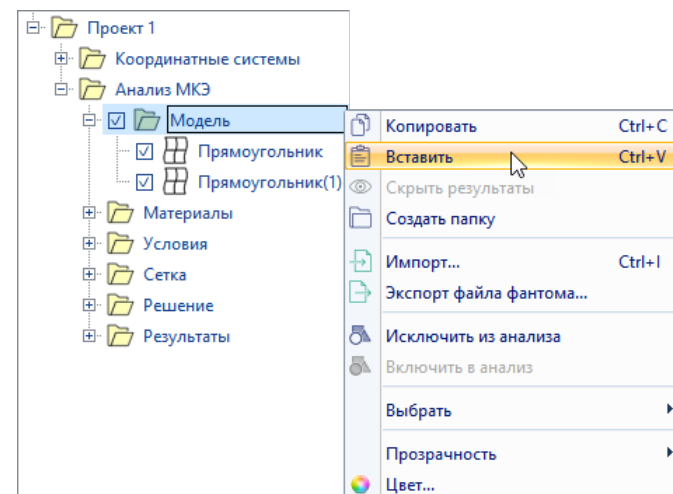
- Нажмите правой кнопкой на объекте **“Прямоугольник”** в дереве проекта и выберите пункт **Копировать** или используйте сочетание **Ctrl+C**.
- Нажмите правой кнопкой на папке **Модель** в дереве проекта и выберите пункт **Вставить** или используйте сочетание **Ctrl+V**.

2) В дереве проекта переименуйте скопированный прямоугольник в **“Экран”**:

- Для этого нажмите правой кнопкой на объекте **“Прямоугольник(2)”** в дереве проекта и выберите пункт **Переименовать** или используйте клавишу **F2**:

3) Двойной клик на объекте **“Экран”** для доступа к **Редактору операций**.

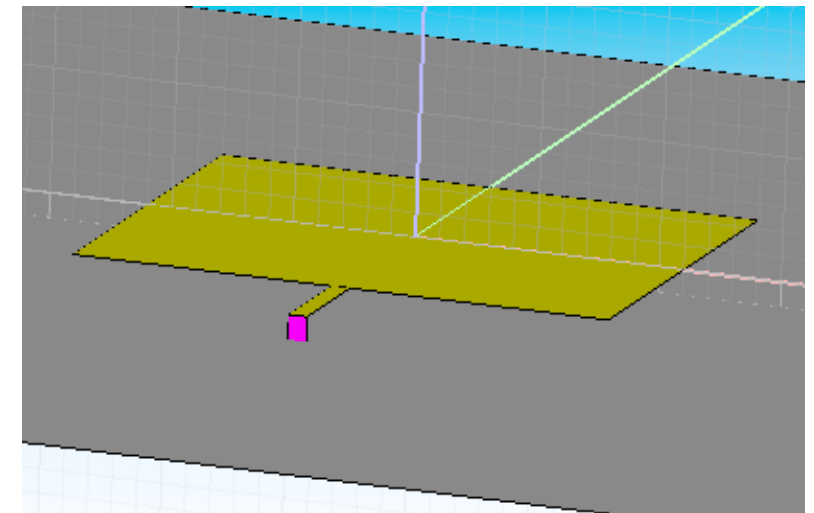
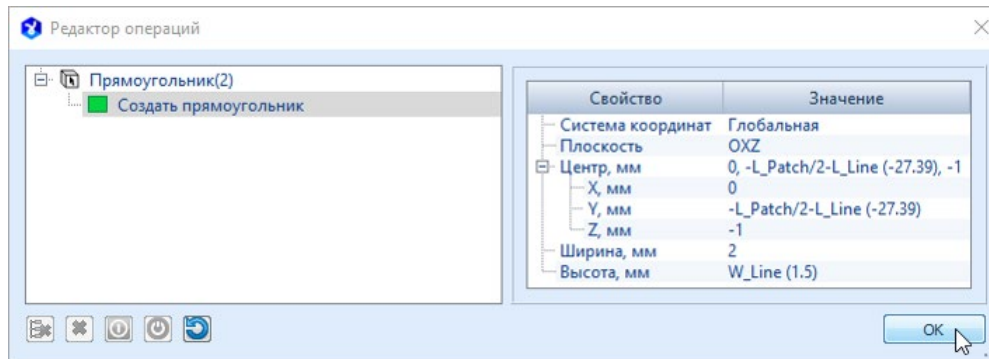
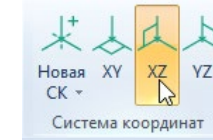
4) В окне **Редактор Операций** измените параметры операции **Создать прямоугольник** следующим образом:



II. Анализ одиночной патч-антенны

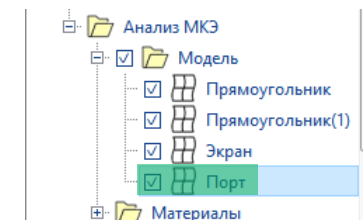
5. Нарисуйте прямоугольник для сосредоточенного порта:

- 1) Во вкладке **Моделирование** > переключитесь на рабочую плоскость **XZ** :
- 2) Во вкладке **Моделирование** > **Прямоугольник**.
- 3) Нарисуйте произвольный прямоугольник.
- 4) Двойной клик на объекте “**Прямоугольник(2)**” для доступа к **Редактору операций**.
- 5) В окне **Редактор Операций** измените параметры операции **Создать прямоугольник** следующим образом:



6) В дереве проекта переименуйте прямоугольник порта в “**Порт**”:

- Для этого нажмите правой кнопкой на объекте “**Прямоугольник(2)**” в дереве проекта и выберете пункт **Переименовать** или используйте клавишу **F2**:



II. Анализ одиночной патч-антенны

6. Нарисуйте прямоугольный параллелепипед подложки:

1) Во вкладке **Моделирование** > вернитесь на рабочую плоскость **XY**:

2) Скопируйте прямоугольник экрана:

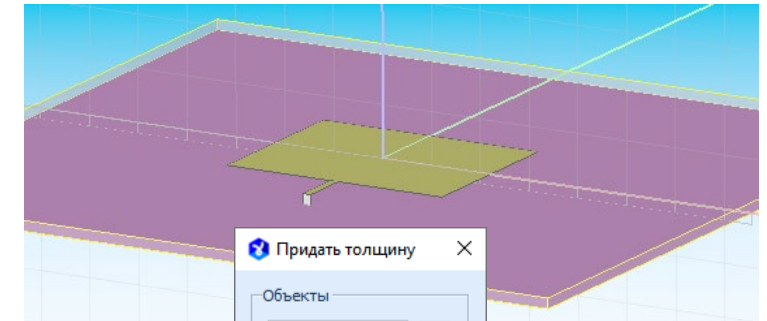
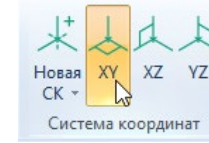
- Нажмите правой кнопкой на объекте “Экран” в дереве проекта и выберите пункт **Копировать** или используйте сочетание **Ctrl+C**.
- Нажмите правой кнопкой на папке **Модель** в дереве проекта и выберите пункт **Вставить** или используйте сочетание **Ctrl+V**.

3) В дереве проекта переименуйте скопированный прямоугольник в “Подложка”:

- Для этого нажмите правой кнопкой на объекте “Экран(1)” в дереве проекта и выберите пункт **Переименовать** или используйте клавишу F2:

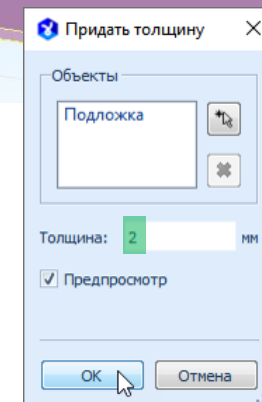
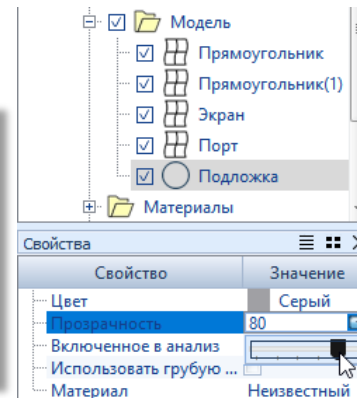
4) Добавьте толщину плоскому объекту подложки:

- Убедитесь, что в дереве проекта выбран объект “Подложка”.
- Во вкладке **Моделирование** > **Придать толщину**.
- В окне **Придать толщину** > введите толщину 2 и нажмите **ОК**.



Деталям можно назначить свою прозрачность:

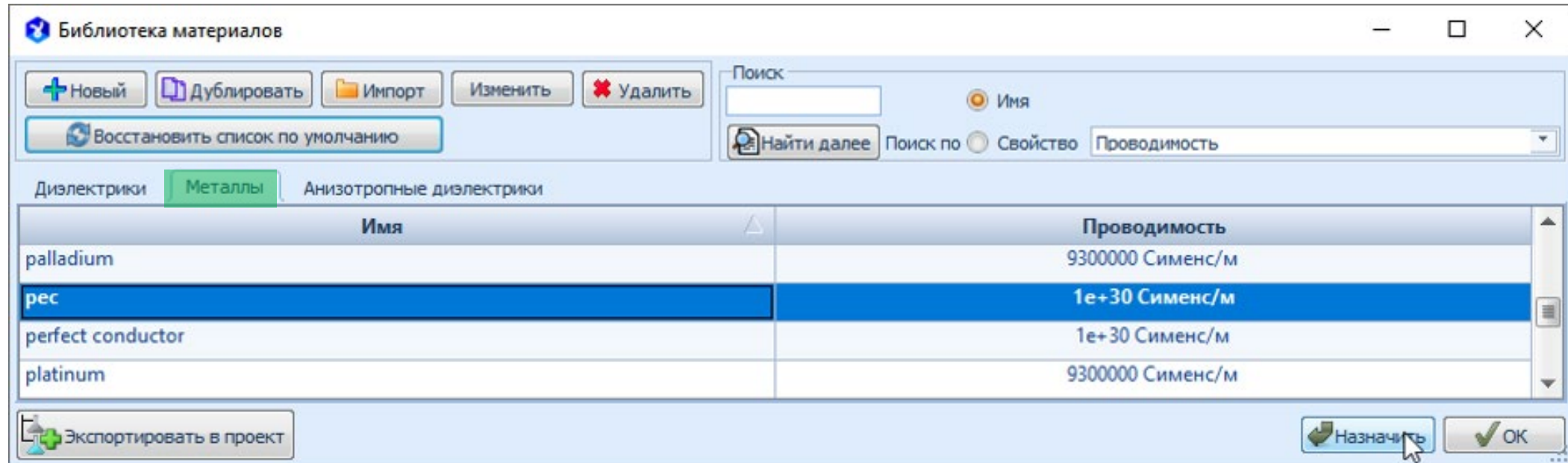
1. Выберите объект, чтобы иметь доступ к его окну **Свойства**.
2. Двойной клик на свойстве **Прозрачность**, чтобы используя слайдер или вручную установить значение.



II. Анализ одиночной патч-антенны

❑ Назначьте материал *рес* на излучатель с подводящей линией и экран:

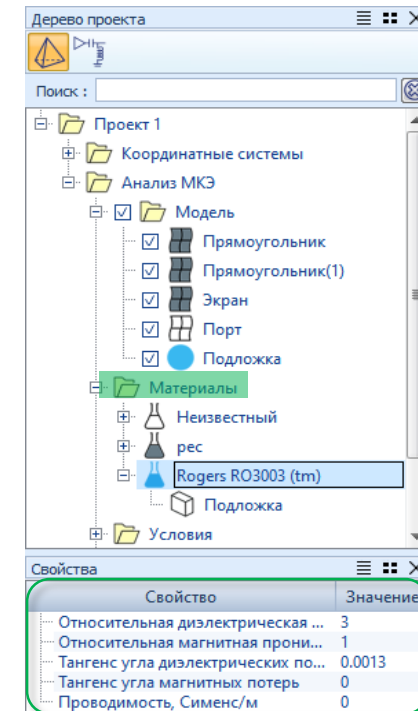
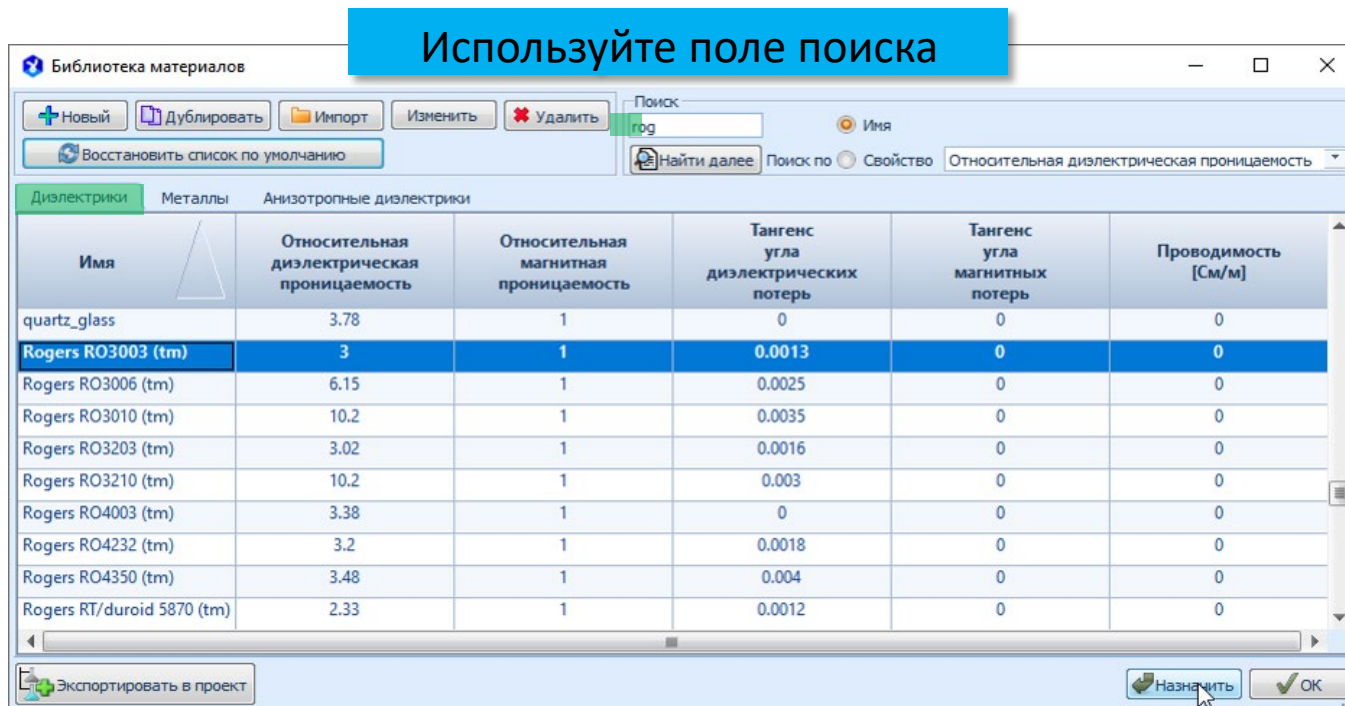
1. Удерживая **Ctrl**, последовательно выделите 3 детали: **излучатель, подводящую линию и экран** (в дереве проекта или окне 3D просмотра) > нажмите правой кнопкой на любом из этих 3 объектов (в дереве проекта или окне 3D просмотра) > **Назначить материал** > **Библиотека материалов...**
2. В окне **Библиотека материалов**:
 - Во вкладке **Металлы** найдите *рес* > выделите его > нажмите **Назначить** и закройте диалог:



II. Анализ одиночной патч-антенны

❑ Назначьте материал **Rogers RO3003** на подложку:

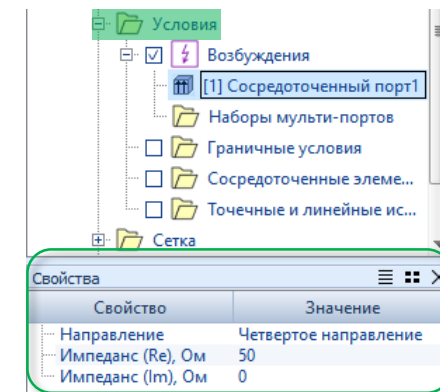
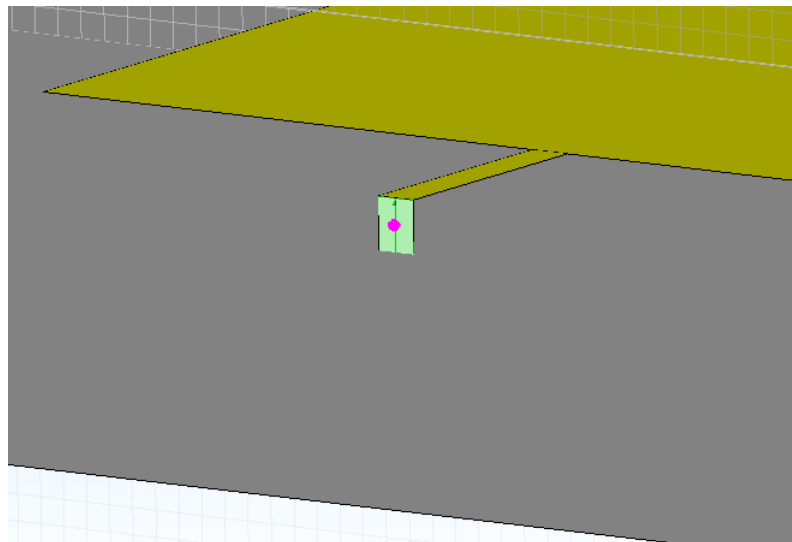
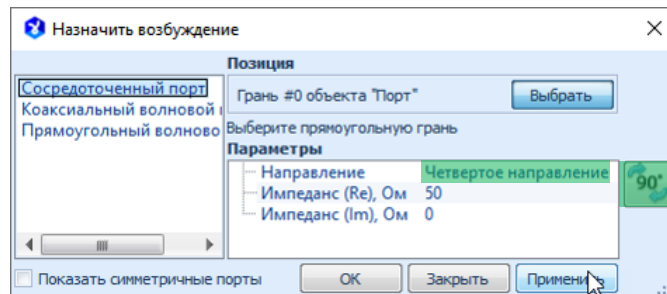
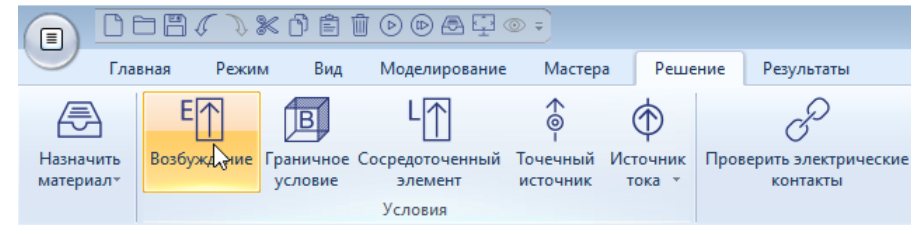
1. Нажмите правой кнопкой на объекте “Подложка” (в дереве проекта или окне 3D просмотра) > **Назначить материал > Библиотека материалов...**
2. В окне **Библиотека материалов**:
 - 1) Во вкладке **Диэлектрики** воспользуйтесь функцией **Поиск** для поиска **Rogers RO3003** > выделите материал > нажмите **Назначить** и закройте диалог.
 - 2) Назначенные материалы перечислены в папке **Материалы** в дереве проекта. Свойства материалов доступны в окне **Свойства** для выбранного материала:



II. Анализ одиночной патч-антенны

□ Назначьте сосредоточенный порт:

1. Снимите выделение с объекта **“Подложка”** в дереве проекта, чтобы скрыть его и получить доступ к порту.
2. Во вкладке **Решение > Возбуждение**.
3. В окне **Назначить возбуждение**:
 - 1) Выберите прямоугольник порта, нажмите на кнопку **Направление вращения** для задания направления возбуждающего поля вдоль оси **Z** (установить **Четвертое направление**) и 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**:



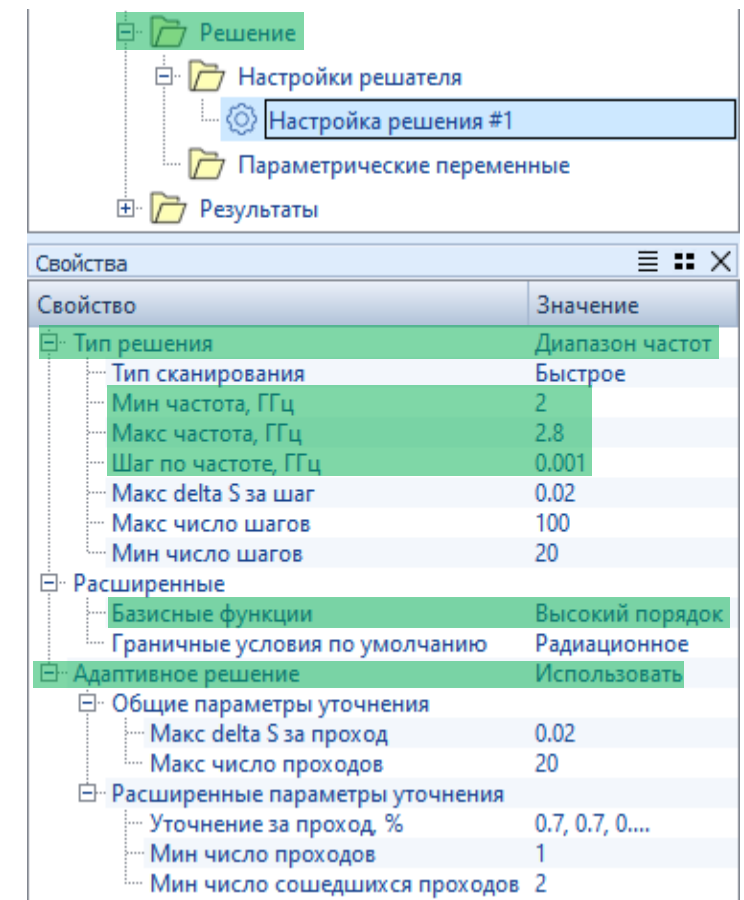
II. Анализ одиночной патч-антенны

❑ Проверьте дерево проекта, чтобы убедиться, что материалы и условия назначены там, где это необходимо:



❑ Установите параметры решения:

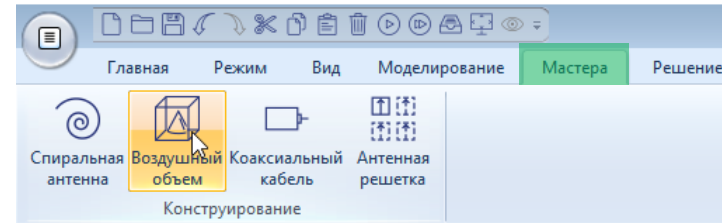
1. В дереве проекта > **Решение** > **Настройки решателя** > **Настройка решения #1**.
2. В окне **Свойства** измените значения следующих полей:
 - 1) Тип решения: Диапазон частот;
 - 2) Макс частота = 2,8 ГГц;
 - 3) Мин частота = 2 ГГц;
 - 4) Шаг по частоте = 0,001 ГГц;
 - 5) Базисные функции: Высокого порядка;
 - 6) Адаптивное решение: Использовать;
 - 7) Для остальных параметров оставьте значения по умолчанию.



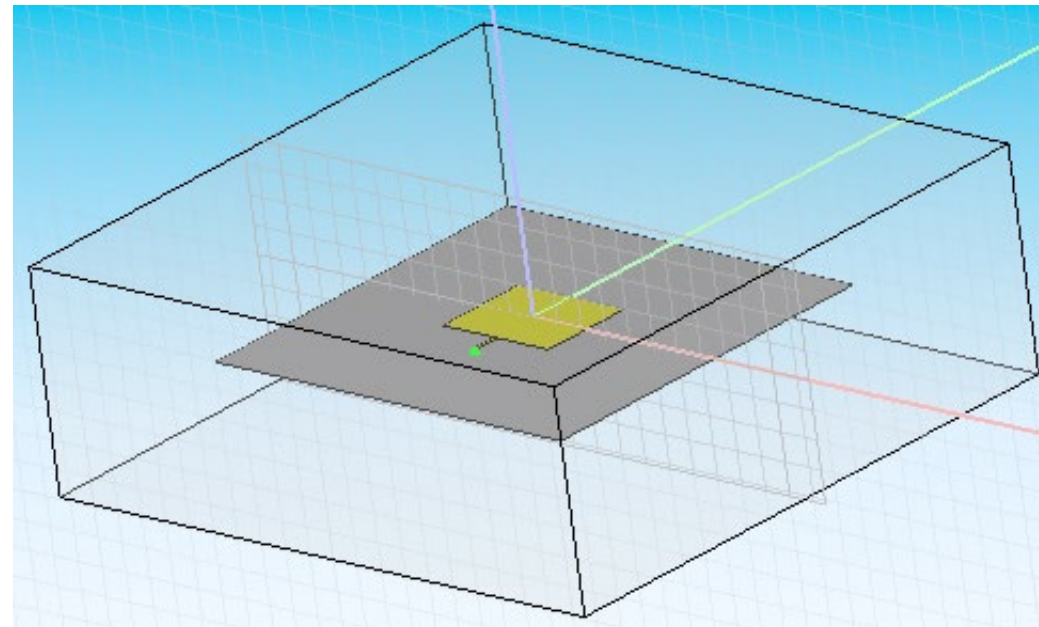
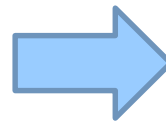
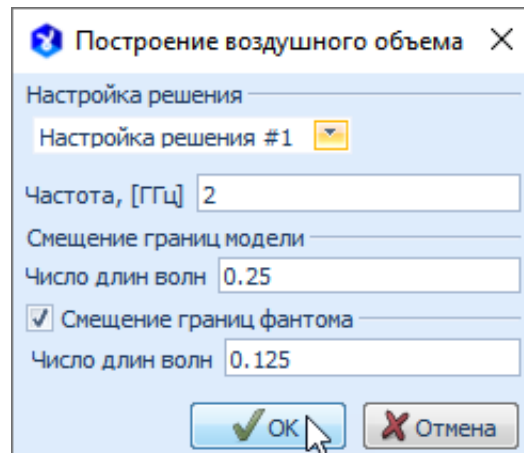
II. Анализ одиночной патч-антенны

❑ Создание воздушного объема:

1. Во вкладке **Мастера** > **Воздушный объем**:



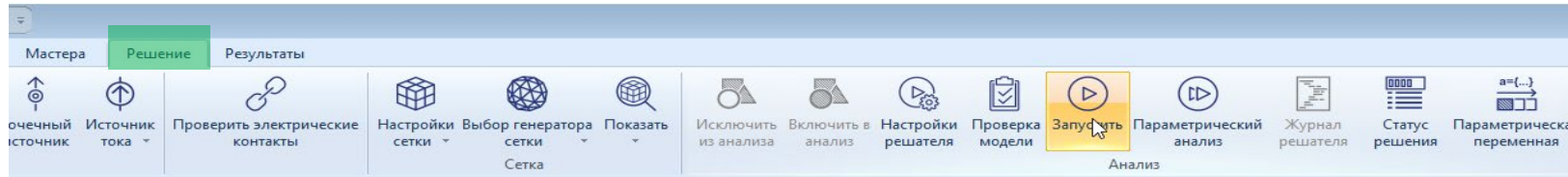
2. В окне **Построение воздушного объема** > оставьте все значения по умолчанию нажмите **ОК**:



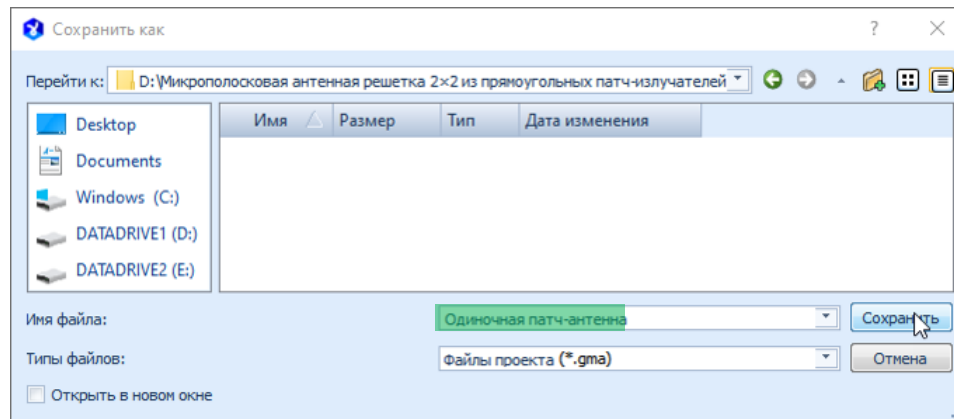
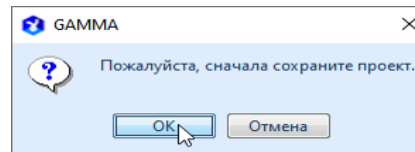
II. Анализ одиночной патч-антенны

❑ Запустите расчет:

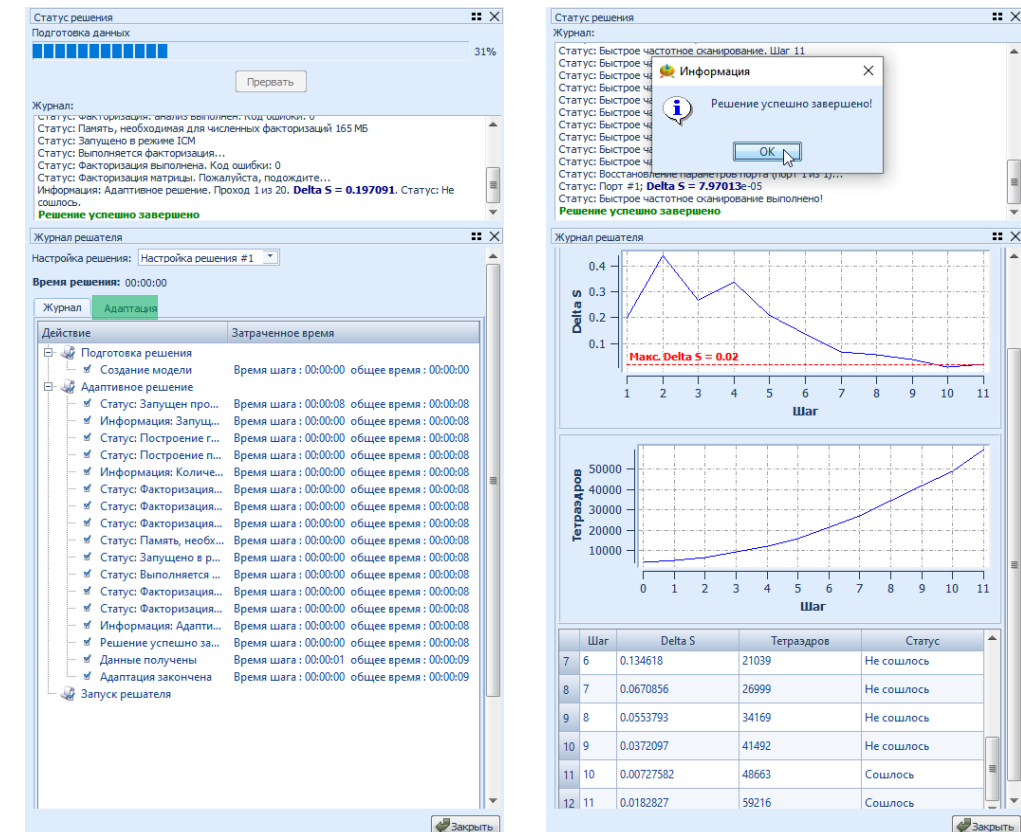
1. Во вкладке **Решение** > **Запустить**.



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



3. Рекомендуются контролировать процесс решения в автоматически открывающемся окне **Статус Решения**. Процесс сходимости доступен во вкладке **Адаптация**:

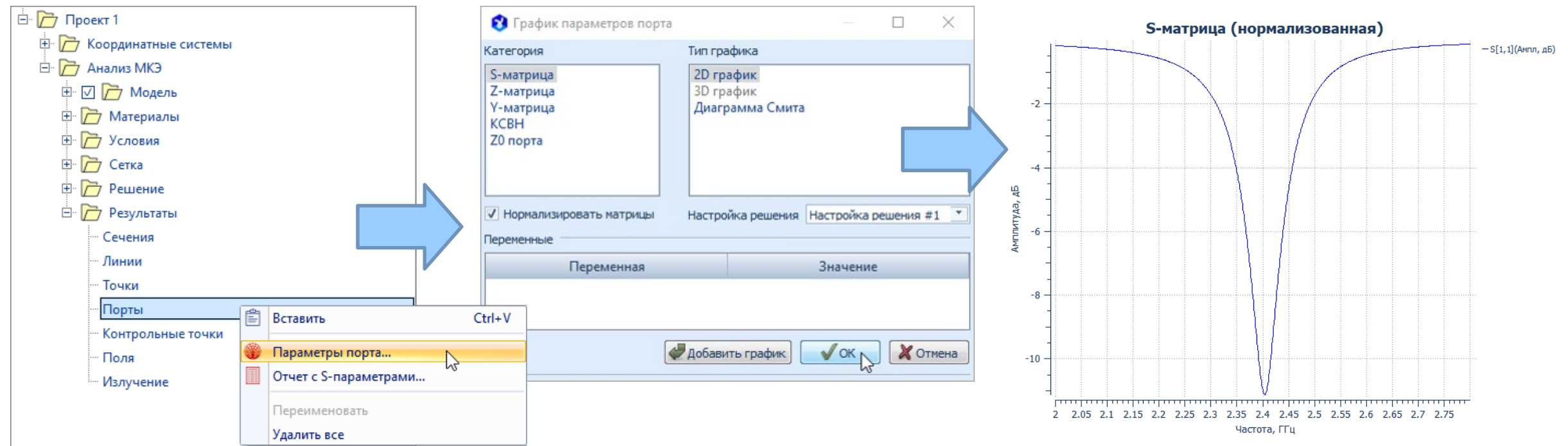


II. Анализ одиночной патч-антенны

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

Для построения графика S-параметров:

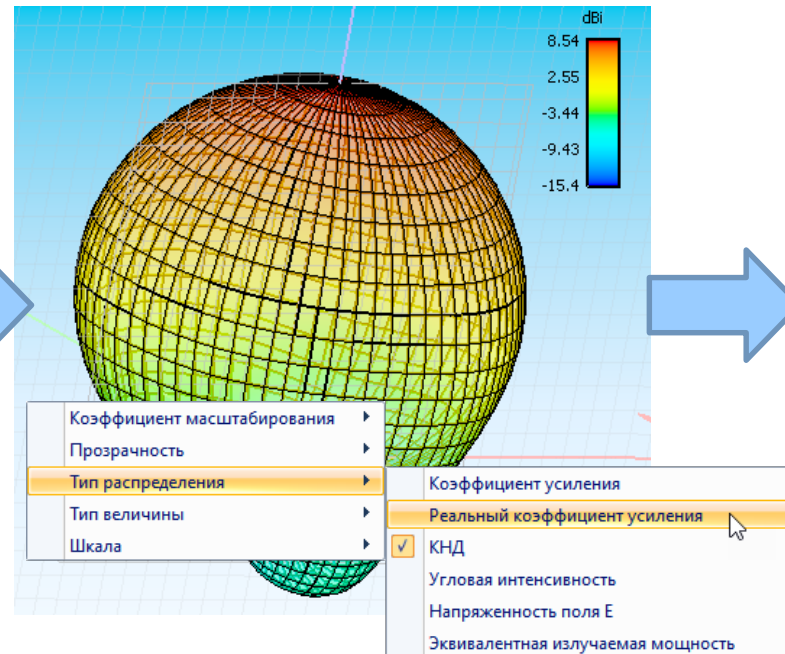
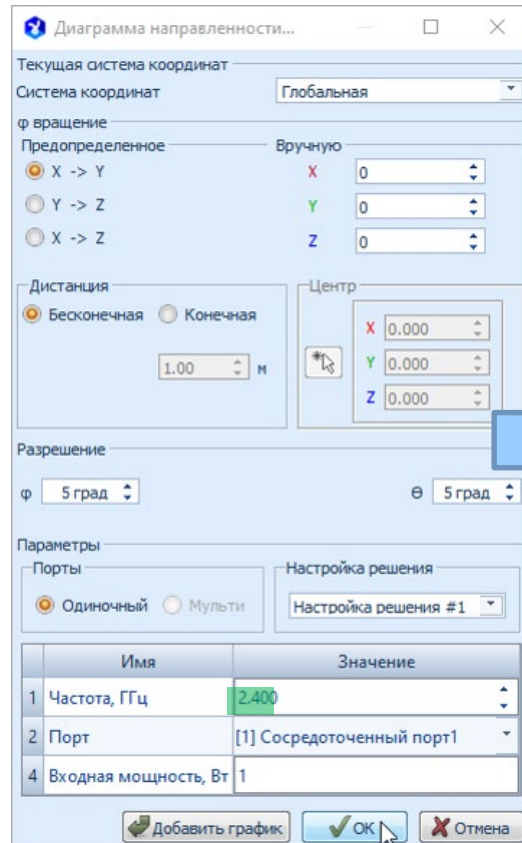
1. В папке *Результаты* > нажмите правой кнопкой на *Порты* > *Параметры порта...*
2. В окне *График параметров портов* нажмите **OK**:



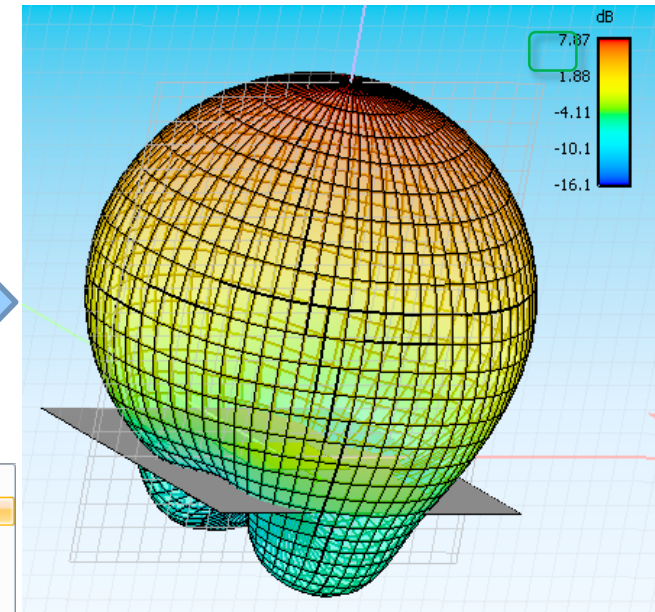
II. Анализ одиночной патч-антенны

□ Построение диаграммы направленности:

1. В папке **Результаты** > нажмите правой кнопкой **Излучение** > **Диаграмма направленности...**
2. В окне **Диаграмма направленности...** > введите частоту для построения диаграммы 2,4 ГГц и нажмите **ОК**.
3. Скройте объект “Воздушный объем” в папке **Модель** в дереве проекта.
4. Нажмите правой кнопкой в окне 3D просмотра > **Тип распределения** > **Реальный коэффициент усиления**:



Пиковое значение КНД = 8,54 дБи

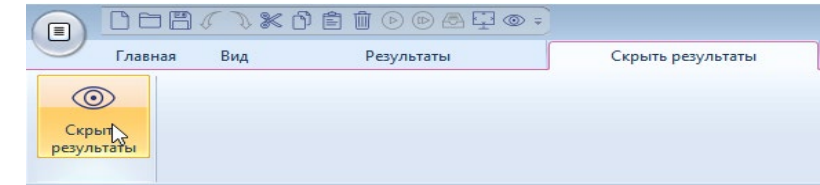
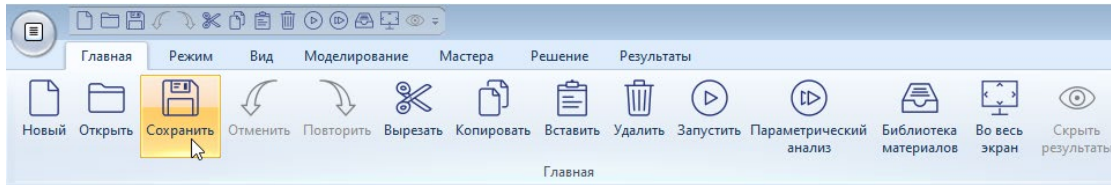


Пиковое значение реального
коэффициента усиления = 7,87 дБ

III. Анализ антенной решетки 2×2 из патч-излучателей

❑ Создание проекта для расчета антенной решетки 2×2 из патч-излучателей:

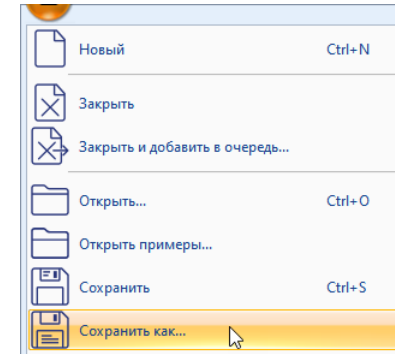
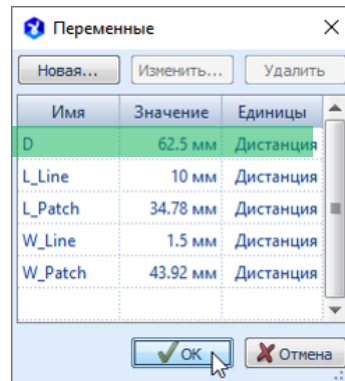
1. Для того, чтобы вернуться к работе с моделью, во вкладке **Заккрыть результаты** > нажмите **Скрыть результат**:
2. Сохраните предыдущий проект на вкладке **Главная** > **Сохранить**:



3. Создайте файл нового проекта с другим именем:

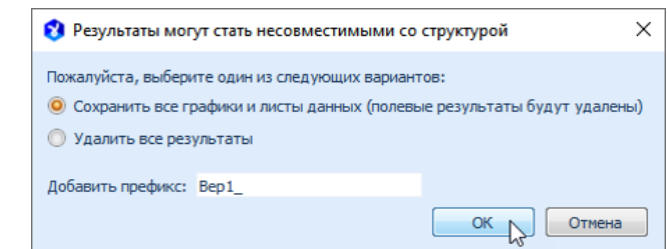
- **Файл > Сохранить как...:**

4. Добавьте новую переменную **D = 62,5 мм**:



5. Удалите объект **“Воздушный объем”**:

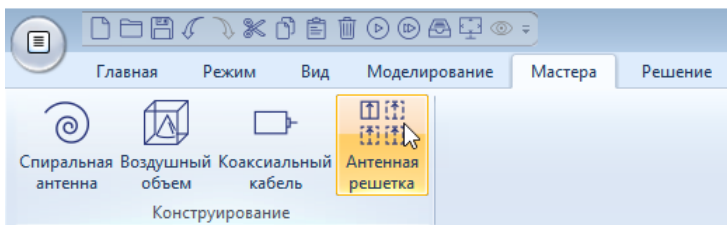
- 1) Нажмите правой кнопкой на объекте **“Воздушный объем”** в дереве проекта и выберете пункт **Удалить** или нажмите **Delete**.
- 2) В появившемся окне нажмите **OK**:



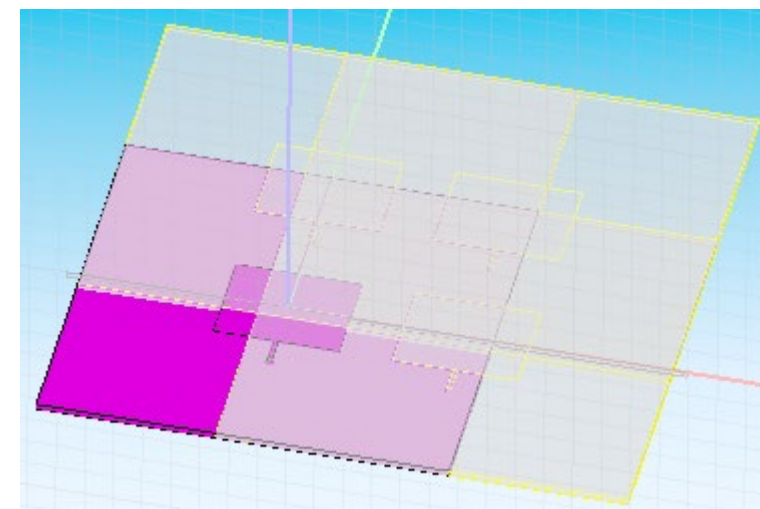
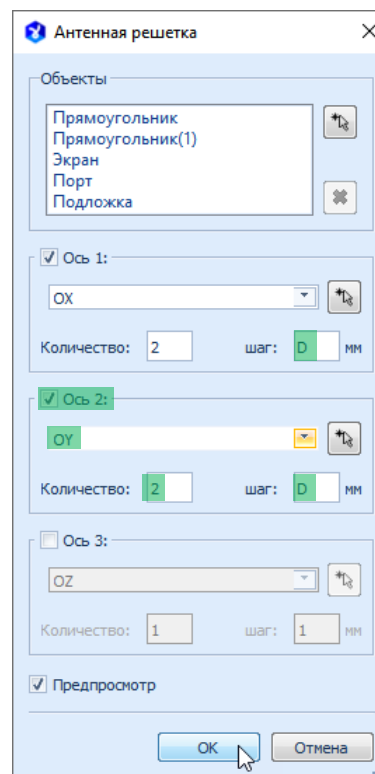
III. Анализ антенной решетки 2×2 из патч-излучателей

❑ Создание антенной решетки 2×2:

1. Верните видимость объекта **“Подложка”** в папке **Модель** в дереве проекта.
2. Выделите все детали одиночной патч-антенны, используя любой из способов:
 - 1) Используйте сочетание **Ctrl+A**.
 - 2) Удерживая **Ctrl**, последовательно выделите все 5 деталей.
 - 3) Выделите все объекты обычной или секущей рамкой в окне 3D просмотра.
 - 4) Выделите первый и последний по списку объекты в дереве проекта, удерживая **Shift**.
3. Во вкладке **Мастера > Антенная решетка**:



4. В окне **Антенная решетка** установите параметры следующим образом:
 - 1) Включите дополнительно Ось 2 (OY).
 - 2) Количество: 2 (по обеим осям).
 - 3) Шаг: D (по обеим осям).



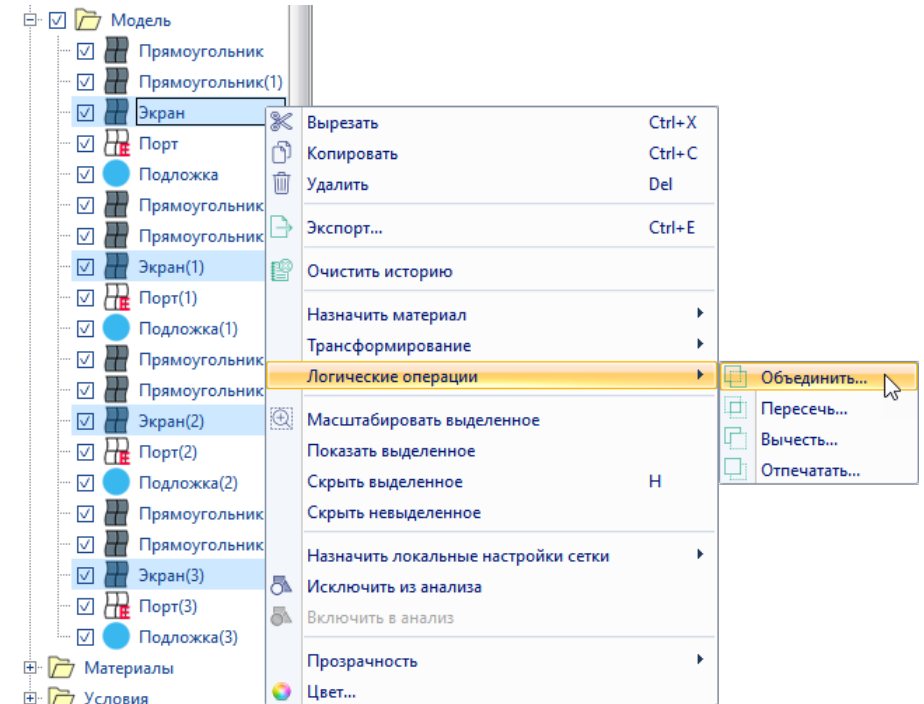
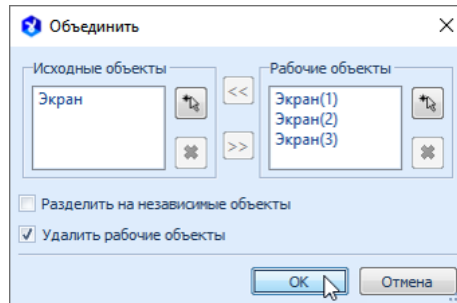
- Скопированные детали имеют такие же свойства, что и исходные объекты (материал, цвет, условие возбуждения)

III. Анализ антенной решетки 2x2 из патч-излучателей

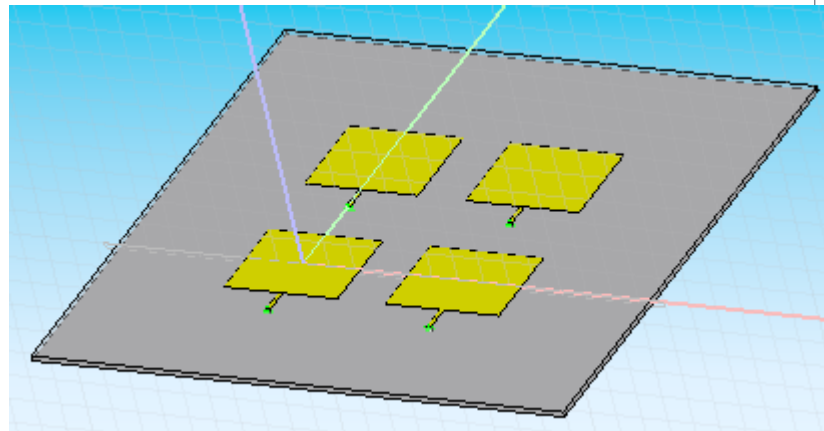
5. Объедините экраны:

- 1) Удерживая **Ctrl**, последовательно выделите 4 детали экранов (в дереве проекта или окне 3D просмотра).
- 2) Нажмите правой кнопкой на любом из этих 4 объектов (в дереве проекта или окне 3D просмотра)
> **Логические операции** > **Объединить...**

1) В окне **Объединить** нажмите **OK**.



6. Повторите операцию объединения с деталями подложек:

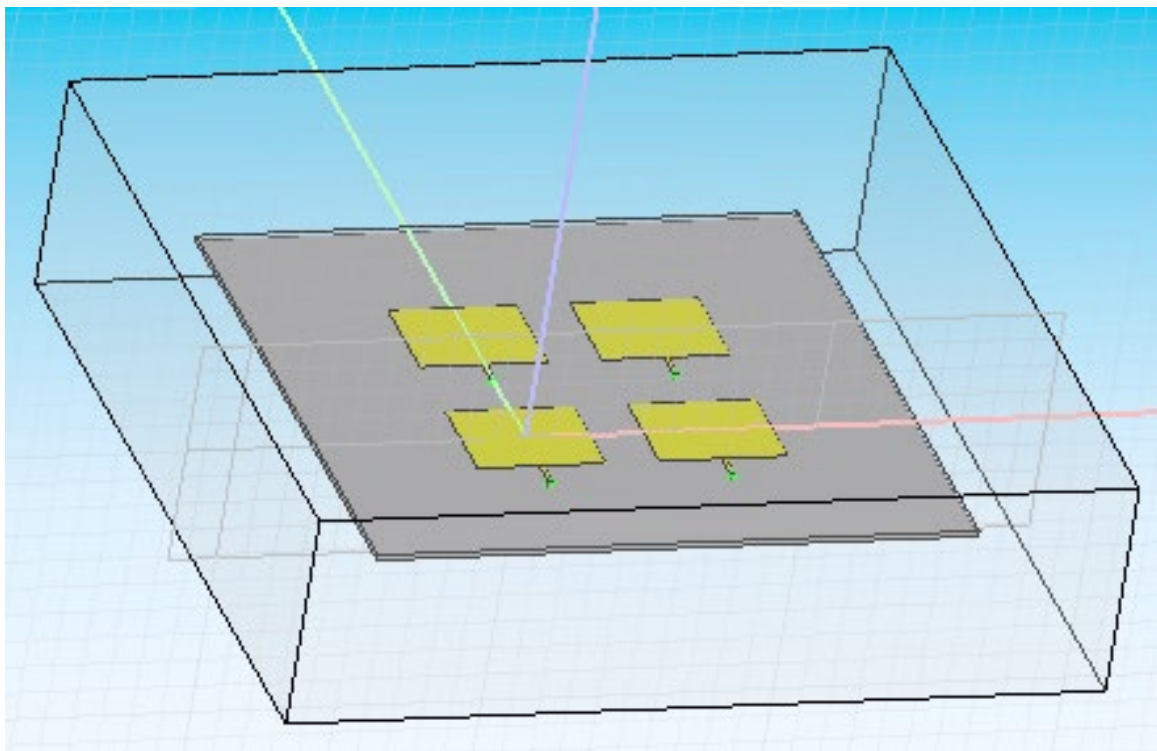


4 экрана объединены в единый.
4 подложки объединены в единую.

III. Анализ антенной решетки 2x2 из патч-излучателей

❑ Создание воздушного объема:

1. Во вкладке **Мастера** > **Воздушный объем**.
2. В окне **Построение воздушного объема** > оставьте все значения по умолчанию нажмите **OK** :

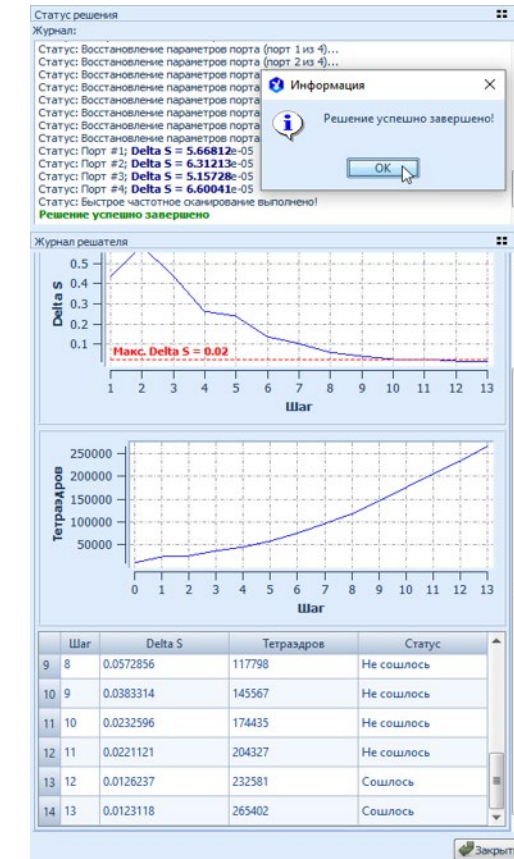
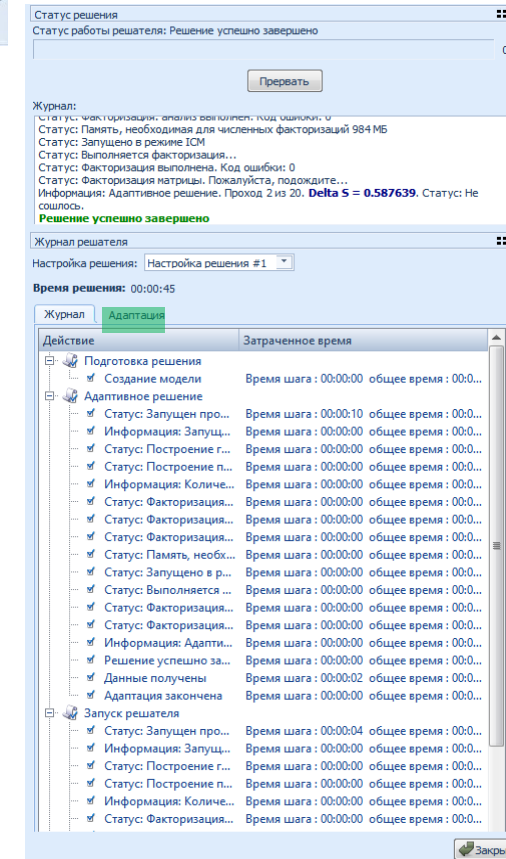
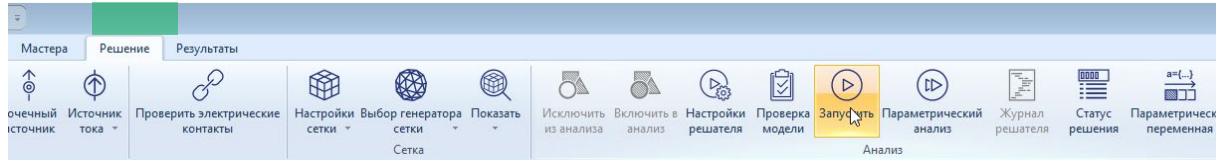


III. Анализ антенной решетки 2x2 из патч-излучателей

❑ Запустите расчет:

1. Рекомендуется сохранить проект перед запуском на расчет на вкладке **Главная > Сохранить**.
2. Во вкладке **Решение > Запустить**.

3. Рекомендуется контролировать процесс решения в автоматически открывающемся окне **Статус Решения**. Процесс сходимости доступен во вкладке **Адаптация**:



III. Анализ антенной решетки 2×2 из патч-излучателей

❑ Создание набора портов (мульти-порта) антенной решетки:

1. Скройте объект “Воздушный объем” в папке **Модель** в дереве проекта.

2. Во вкладке **Результаты** > **Набор мульти-портов**:

3. В окне **Набор мульти-портов**:

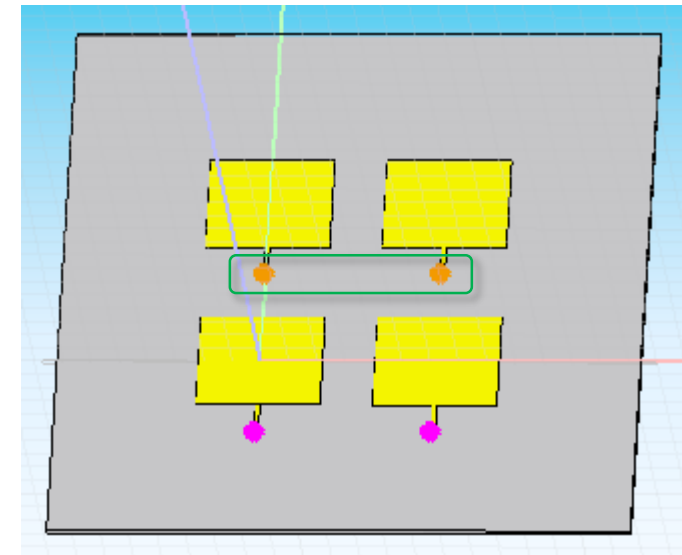
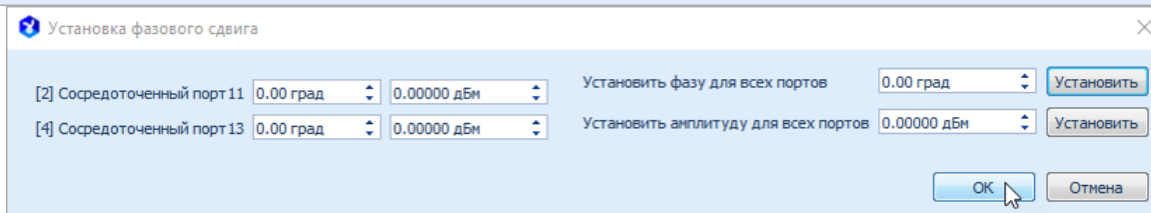
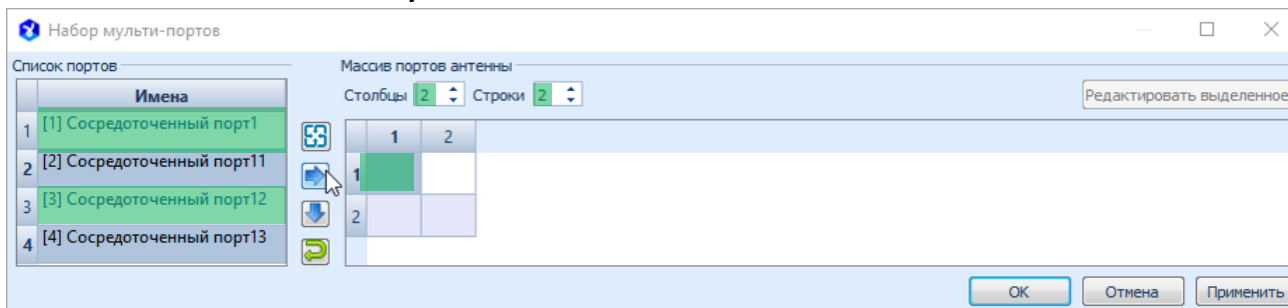
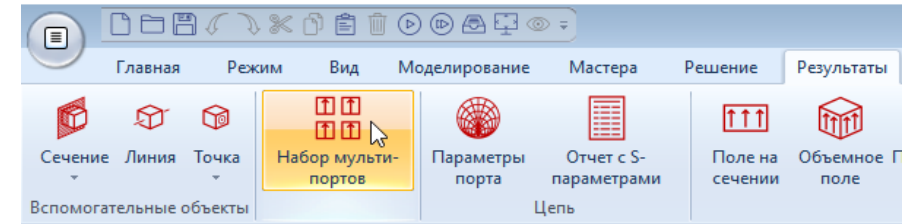
1) Установите **Массив портов антенны 2×2**
(Столбцы: 2, Строки: 2).

2) Выделите ячейку (1;1), которую будем считать началом антенной решетки.

3) Удерживая **Ctrl**, последовательно выделите порты **[2]** и **[4]**. Убедитесь, что выбранные порты соответствуют верхней строке будущего набора портов.

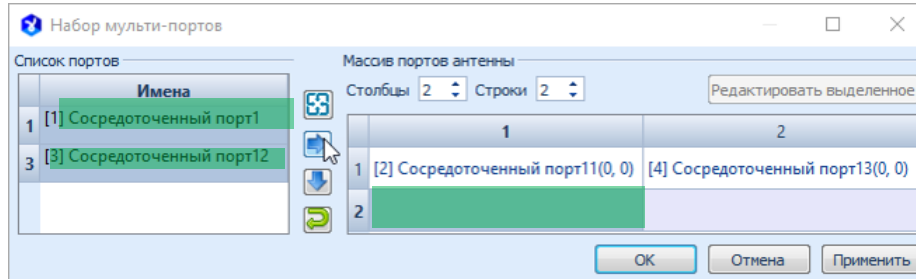
4) Нажмите  чтобы добавить выделенные порты в строку.

5) В окне **Установка фазового сдвига** оставьте все значения по умолчанию и нажмите **ОК**.

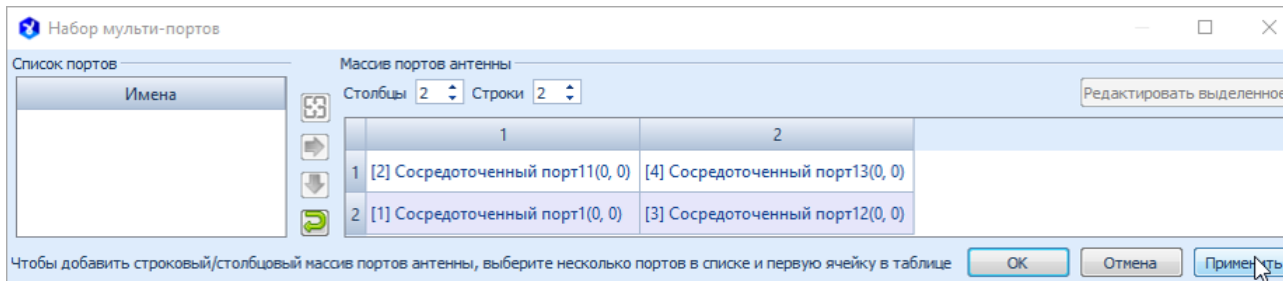


III. Анализ антенной решетки 2x2 из патч-излучателей

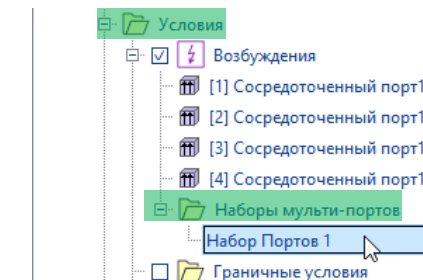
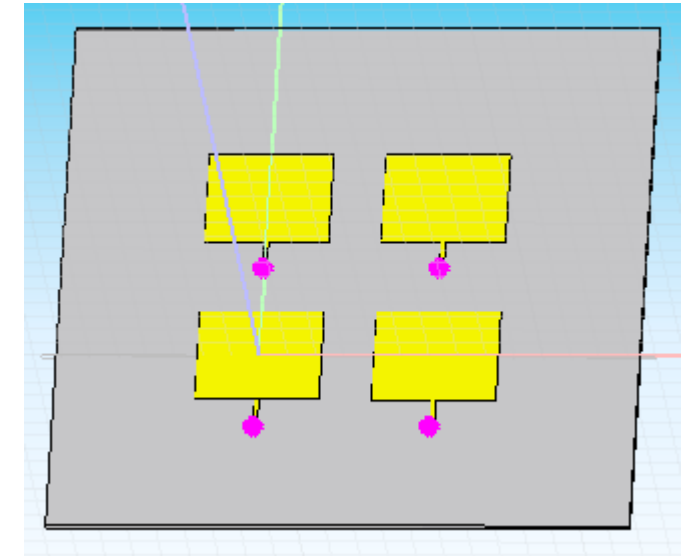
- 6) Выделите ячейку (2;1), которую будем считать началом второй строки антенной решетки.
- 7) Удерживая **Ctrl**, последовательно выделите порты [1] и [3].
- 8) Нажмите , чтобы добавить выделенные порты в строку:



- 9) В окне **Установка фазового сдвига** оставьте все значения по умолчанию и нажмите **OK**.
- 10) На этом установка набора портов антенной решетки завершена, нажмите **Применить** и закройте диалог:



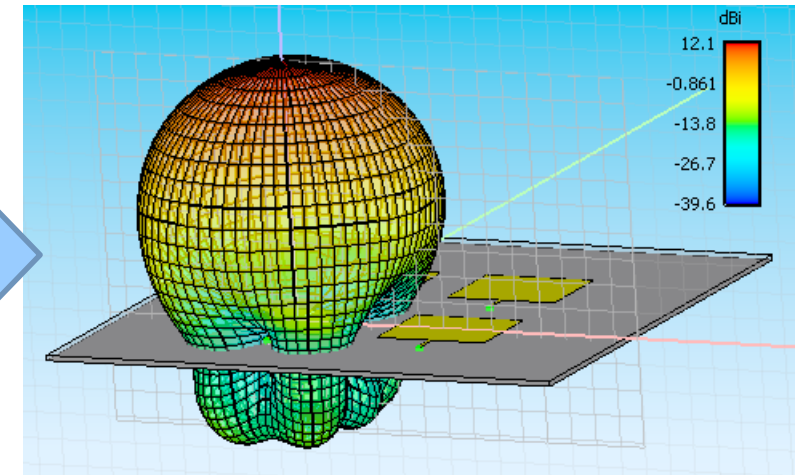
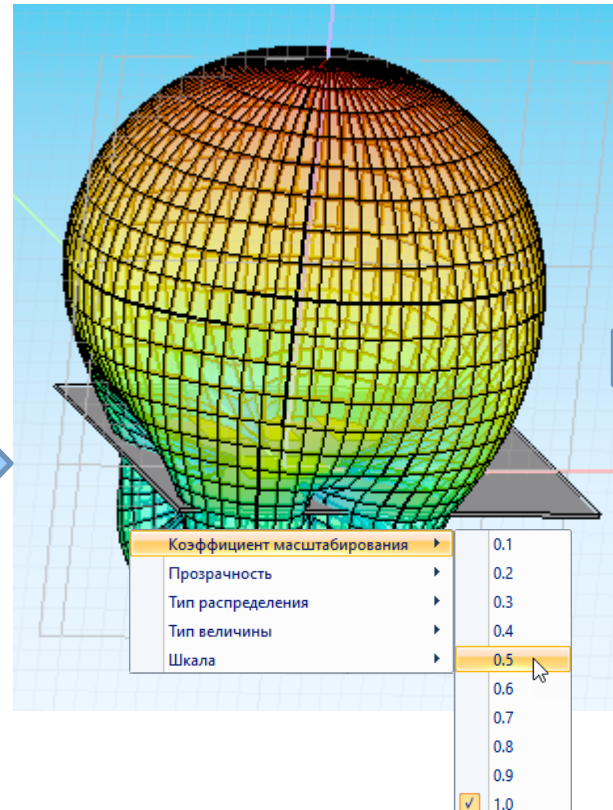
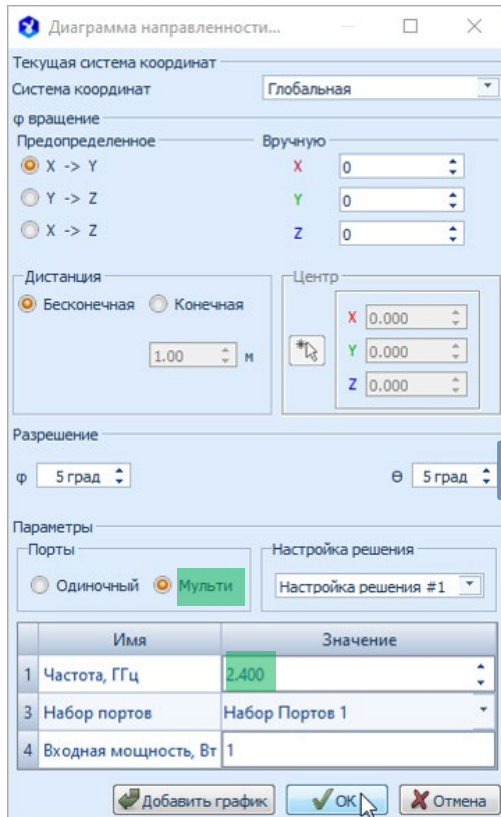
4. Созданный мульти-порт появится в папке **Условия** > **Возбуждения** > **Наборы мульти-портов**:



III. Анализ антенной решетки 2x2 из патч-излучателей

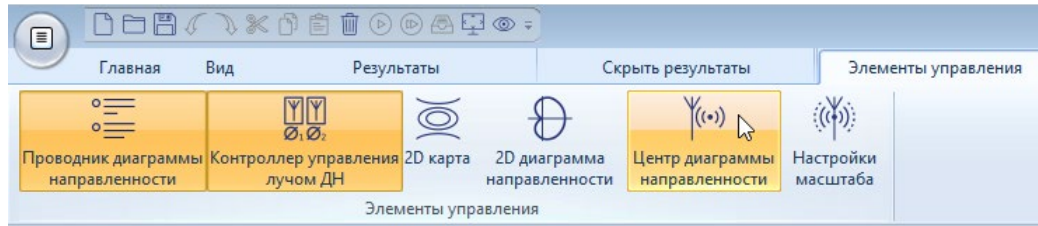
❑ Построение диаграммы направленности:

1. В папке **Результаты** > нажмите правой кнопкой **Излучение** > **Диаграмма направленности...**
2. В окне **Диаграмма направленности...** :
 - 1) Введите частоту для построения диаграммы 2,4 ГГц.
 - 2) Выберите **Мульти** порты и нажмите **ОК**.
3. Нажмите правой кнопкой в окне 3D просмотра > **Коэффициент масштабирования** > **0,5** :

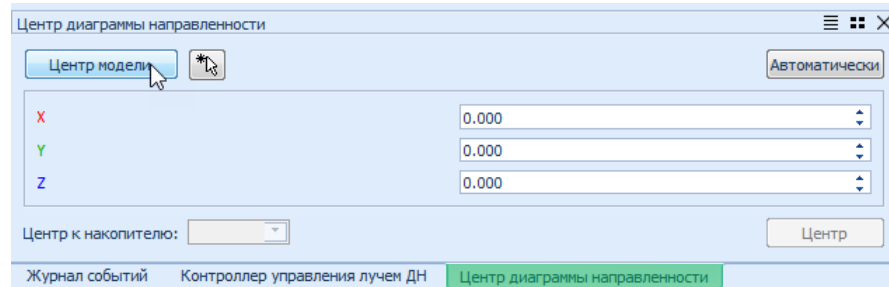


III. Анализ антенной решетки 2x2 из патч-излучателей

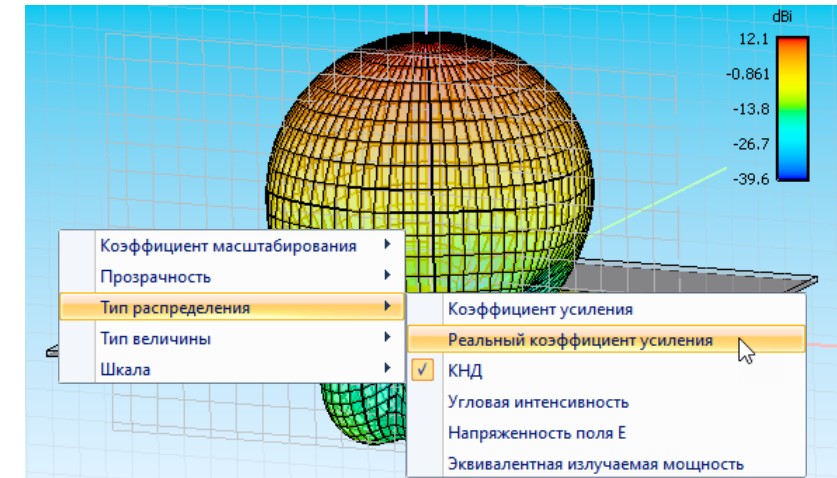
4. Во вкладке **Элементы управления** > **Центр диаграммы направленности**:



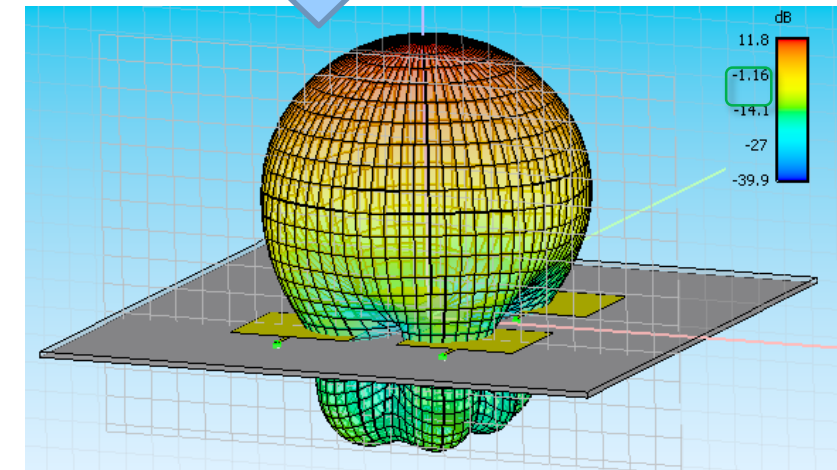
5. В окне **Центр диаграммы направленности** нажмите **Центр модели** для перемещения диаграммы направленности в центр антенны:



6. В меню **Вид** выключите режим **Оси**.
7. Нажмите правой кнопкой в окне 3D просмотра > **Тип распределения** > **Реальный коэффициент усиления**:



Пиковое значение
КНД = 12,1 дБи

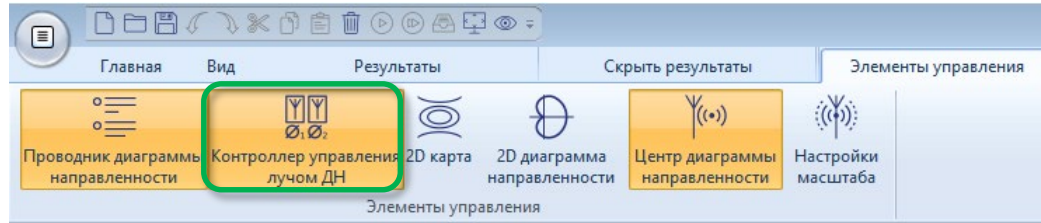


Пиковое значение реального
коэффициента усиления = 11,8 дБ

III. Анализ антенной решетки 2x2 из патч-излучателей

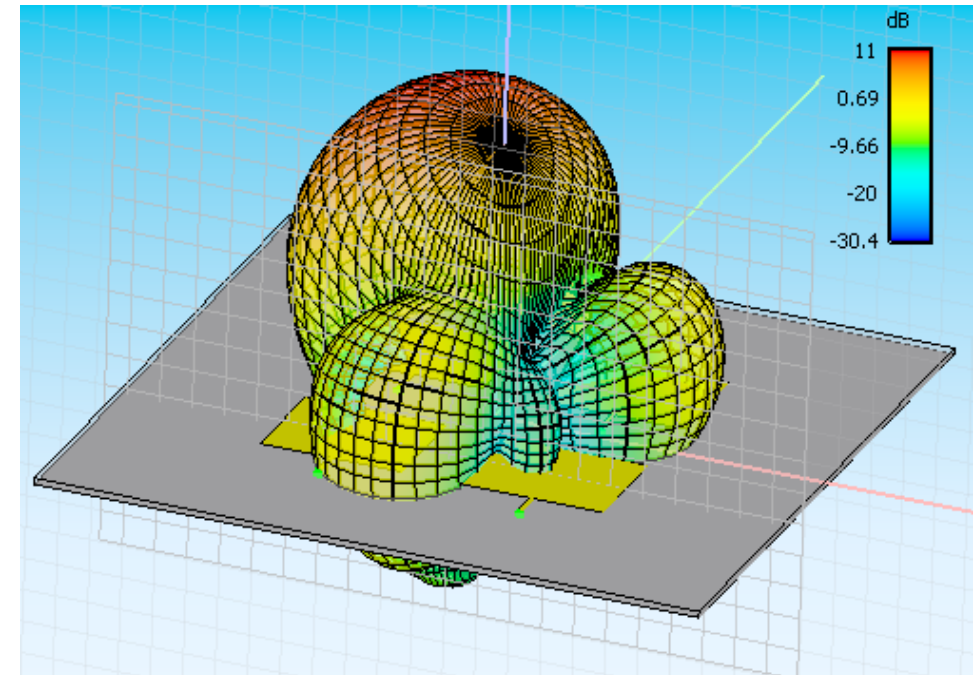
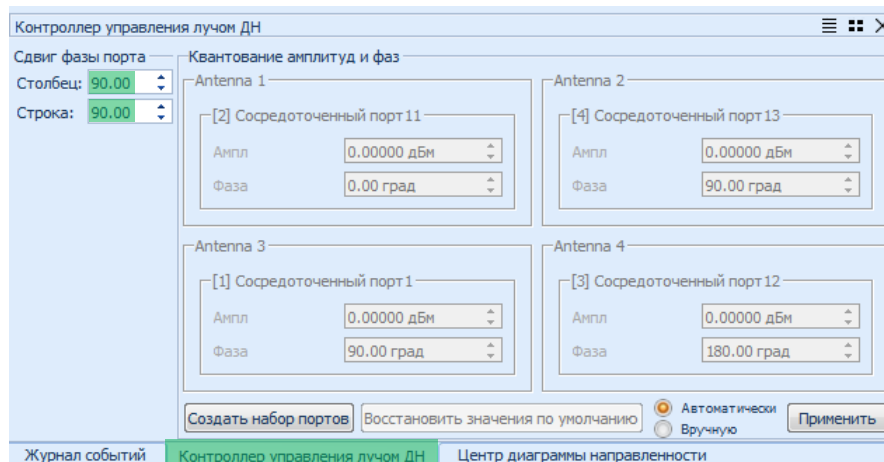
Для отклонения луча (направления главного лепестка диаграммы направленности) при помощи фазового сдвига:

1. Убедитесь, что окно **Контроллер управления лучом ДН** включено во вкладке **Элементы управления**:



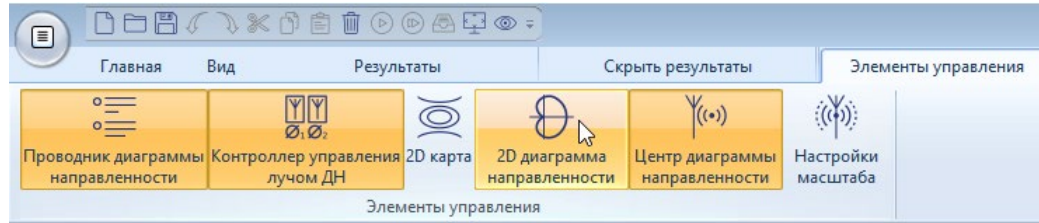
2. В окне **Контроллер управления лучом ДН**:

- 1) Установите **Сдвиг фазы порта** в **Столбец** 90 градусов.
- 2) Установите **Сдвиг фазы порта** в **Строку** 90 градусов.



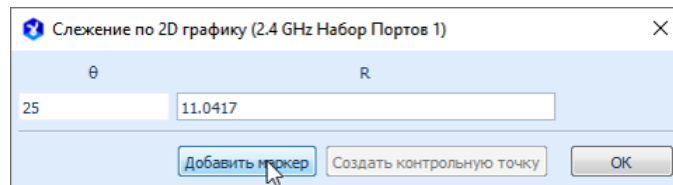
III. Анализ антенной решетки 2x2 из патч-излучателей

3. Во вкладке **Элементы управления** > **2D диаграмма направленности**:



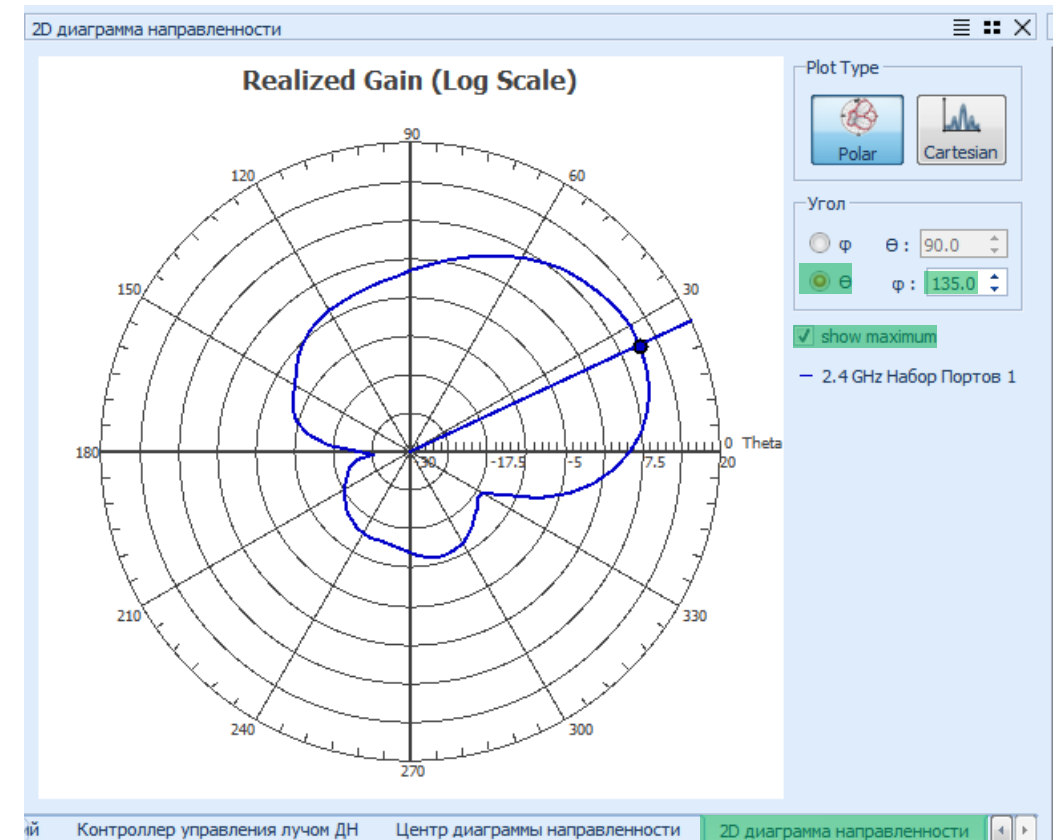
4. В окне **2D диаграмма направленности**:

- 1) Переключите угол на ϑ .
- 2) Введите угол $\varphi = 135$.
- 3) Включите *показывать максимум*.
- 4) Нажмите правой кнопкой на графике > **Слежение**.
- 5) Найдите точку максимума излучения и нажмите **Добавить маркер**:



Информация о маркерах

N	X	Y
1	25	11.0417



Угол отклонения луча по θ составляет 25 градусов