|  |  |
| --- | --- |
| *Описание: voenmeh* | МИНОБРНАУКИ РОССИИ  федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  высшего образования  **«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**  **(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)** |
| БГТУ.СМК-Ф-4.2-К5-01 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Факультет |  |  |  | «Оружие и системы вооружения» |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Кафедра |  | 27.04.04 |  | «Управление в технических системах» |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Дисциплина |  | «Производственная практика» | | |

КУРСОВАЯ РАБОТА

на тему

|  |
| --- |
| Расчет головной части РГ-7 в программы FEKO. |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнил студент группы | | | |  | Е6М31 |
| Филиппов Александр Вячеславович | | | | | |
| Фамилия И.О. | | | | | |
| **РУКОВОДИТЕЛЬ** | | | | | |
| Митчин Н.А. | |  |  | | |
| Фамилия И.О. Подпись | | | | | |
| Оценка |  | | | |  |
| «\_\_\_\_\_» |  | | | | 201\_г. |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2019 г

**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**

**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)**

УТВЕРЖДАЮ:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Заведующий кафедрой | | | Е6 |
|  |  | Егоренков Л.С. | |
| подпись |  | Фамилия И.О. | |

З А Д А Н И Е

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| на курсовой проект по дисциплине | | | | | | «производственной практики» | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| выполняемый в | | | | 12 | семестре | | | 2018 | | | - 2019 | | | | уч. года | | |  | | |  | | |
| студенту | | Филиппову Александру Вячеславовичу | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| группы | | Е6М31 | факультета | | Е | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Тема работы | | Расчет головной части РГ-7 в программы FEKO. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Дата выдачи задания | | | | | | | | |  | | | | 05.03 | | | 2019 г. | | |  | | |  | | |
| 3 | Сроки сдачи студентом оконченного проекта | | | | | | | | |  | | | | 26.03 | | | 2019 г. | | |  | | |  | | |
| 4 | Техническое задание | | | | | | | | |  | | | |  | | | 20\_\_\_ г. | | |  | | |  | | |
|  | Исходная технико-экономическая информация к проекту | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | Знакомство с программным обеспечением FECO. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | Использовать отечественные и зарубежные источники информации. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Состав и объем проекта | | | | | | | |  | | | |  | | | |  | | |  | | |  | | |
|  | 5.1 | Чертежи, схемы, диаграммы: | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | Чертежи в программе FEKO, рисунки. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | 5.2 | Программа расчетов на ЭВМ | | | | | Требуется. FEKO | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | 5.3 | Расчетно-пояснительная записка к проекту на | | | | | | | | | |  | | | | стр. | | |  | | |  | | |

|  |  |
| --- | --- |
| 6 | Календарный план выполнения курсового проекта |
|  |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Этап | Краткое содержание | Срок выполнения | |
| по плану | фактически |
| 1 | Знакомство с программой FEKO. | 05.03.19 |  |
| 2 | Задание геометрии CADFEKO | 12.03.19 |  |
| 3 | Обработка результатов в POSTFEKO | 20.03.19 |  |
| 4 | Оформление пояснительной записки. | 23.03.19 |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 7 | Дополнительные указания по проектированию | | | Банков С.Е., Курушин А.А. «Расчет |
|  | излучаемых структур с помощью FEKO» | | | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
| 8 | Отзыв руководителя |  | | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
| 9 | Общая оценка о работе студента | |  | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  |
|  |
|  |

Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

подпись ФИО

дата

Руководитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

подпись ФИО

дата

Оглавление

[Введение 5](#_Toc8745874)

[1. Характеристика системы FEKO 5](#_Toc8745876)

[2. Работа в интерфейсе CADFEKO 7](#_Toc8745877)

[2.1. Задание геометрии CADFEKO 7](#_Toc8745878)

[2.2. Создание геометрии РГ-7. 8](#_Toc8745879)

[2.3. Металлическая среда. 9](#_Toc8745880)

[2.4. Разбиение на ячейки (сетка) 9](#_Toc8745881)

[2.5. Источники облучения (плоская волна) 10](#_Toc8745882)

[3. Обработка результатов в POSTFEKO 11](#_Toc8745883)

[3.1. Результаты расчетов обтекателя в POSTFEKO 12](#_Toc8745885)

[Выводы 14](#_Toc8745889)

[Список использованных источников 15](#_Toc8745890)

# 

# Введение

# Программа FEKO предоставляет новый подход к проектированию трехмерных СВЧ устройств, основанный на нескольких методах расчета. Это центральный - метод моментов, методы геометрической и физической оптики, а также новый многопортовой метод расчета, в котором используются последние достижения в решении систем линейных уравнений с помощью выделения блоков. FEKO - это универсальная платформа, которая объединяет EDITFEKO, POSTFEKO, PREFEKO, OPTFEKO, TIMEFEKO для проектирования систем больших электрических размеров. В книге рассмотрены разные аспекты методов расчета и установок опций, во время черчения и моделирования рупорных, печатных, а также многопортовых антенных систем. Рассмотрен ряд оригинальных структур современных антенн, с линейной и круговой поляризацией, анализируемых с помощью FEKO. Рассматривается оптимизация СВЧ структур, значительно повышающая эффективность проектирования.

*Цель работы* - познакомится с программой FEKO и рассчитать в ней ЭПР головной части РГ-7.

# 1.Характеристика системы FEKO

Название программы FEKO происходит от немецкой фразы «FEldberechnung bei Korpern mit beliebiger Oberflache» (Расчет поля с учетом тел произвольных форм). Название раскрывает, что FEKO может использоваться для расчета электромагнитных волн в пространстве, включающем объекты произвольных форм. Базовым методом FEKO является метод моментов (MoM). Метод моментов – это способ решения интегральных уравнений (иногда его называют методом Галеркина или Бубнова-Галеркина). В отличие от метода конечных элементов [3], где пространство расчета замкнутое и ограниченное, метод, в основе которого лежит решение интегральных уравнений, не ограничивает величину задачи. Метод МоМ – базовый, но не единственный метод, реализованный в FEKO (рис.1).

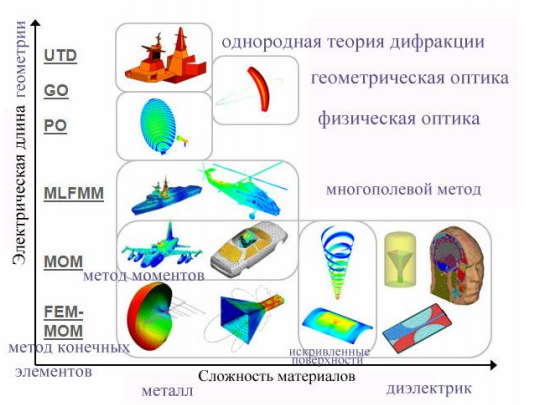


Рис.1. Применение различных методов, реализованных в FEKO для решения различных задач

Электромагнитные поля вычисляются после расчета токов на проводящих поверхностях и эквивалентных электрических и магнитных токов на поверхности диэлектрического твердого тела. Токи находятся, используя линейную комбинацию базовых функций, а коэффициенты при них получаются, решая систему линейных уравнений. Как только распределение тока найдено, может быть рассчитаны ближнее поле, дальнее поле, диаграмма направленности излучения, направленность и входное сопротивление антенн. Задачи, включающие большие объекты, обычно решаются с помощью метода физической оптики (PO) и её вариантов, или используя однородную теорию дифракции (UTD). В комплексе FEKO (рис. 2) эти решения объединяются с MoM на уровне матрицы взаимодействий.

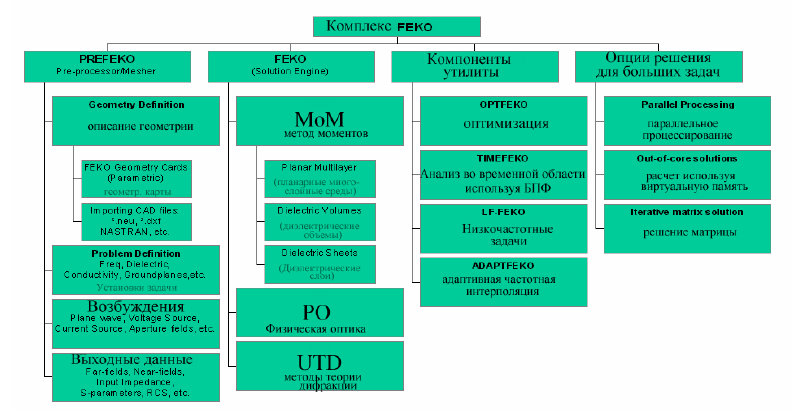


Рис. 2. Композиция комплекса FEKO

Этим делается существенный шаг к решению задач, когда рассматриваемый объект слишком большой (в терминах длин волны) чтобы его моделировать методом MoM, но слишком маленький, чтобы применять только асимптотическую аппроксимацию UTD. Используя гибридизацию методов MoM/PO или методов MoM /UTD, критические области структуры могут рассматриваться, используя MoM, а остающиеся области (обычно большие, плоские или искривленные металлические поверхности) используют аппроксимацию PO или UTD. В FEKO предусмотрен вывод сигналов во временной области, для чего в ней имеются гармонические источники.

Визуализация результатов выполняется в FEKO на этапе постпроцессорной обработки данных. Это может быть:

- распределение электрических токов на металлических поверхностях;

- распределение поля в объеме; - параметры многополюсников (матрицы S,Y,Z и т.д.);

- диаграммы Смита;

- параметры антенн (диаграмма направленности, коэффициент направленного действия, поляризационные диаграммы);

- относительная поглощенная мощность (для случая биологических объектов);

- визуализация лучей (при решении методом ОТД); - реакция цепей во временной области (при анализе переходных процессов).

# Работа в интерфейсе CADFEKO

Первоначально FEKO был создан и приобрел мировую известность, как программа, которую запускали в виде пакета перфокарт. Но в 90-х годах 20 57 столетия компания EMSS создала интерфейс CADFEKO, который приближает работу пользователя к пользователю Windows. Так что сейчас большинство моделей небольшой и средней сложности удобно создавать в программе CADFEKO.

CADFEKO был разработан, чтобы облегчить создание моделей в графической среде автоматизированного проектирования. Этот процесс включает черчение геометрии и разбиение её на ячейки, а также задание электромагнитных параметров и конфигурации решения. CADFEKO дает возможность строить параметрические модели. Если модель создана, используя переменные, то вся модель перечерчивается, при изменении этих переменных. Это используется, например, чтобы найти размер антенны, с заданной резонансной частотой. Кроме того, CADFEKO сохраняет хронологию создания конструкции так, что операция объединения автоматически модифицируется, если какой либо из объектов изменяется впоследствии. Если созданы диэлектрические материалы, которые заполняют диэлектрические области модели, то параметры среды можно в дальнейшем изменять.

## **2.1.Задание геометрии CADFEKO**

Интерфейс CADFEKO, показанный на рис. 3, содержит главное меню и инструментальную панель сверху, дерево проекта слева, информационное окно и строку состояния внизу, и область черчения. Информационное окно внизу (рис. 3) сообщает о каждом шаге пользователя при создании геометрии, разбиения на ячейки и т.д. В нём также выводит информация об ошибках. Статус-бар показывает единицы длины, режим захвата точки и координаты текущей позиции курсора - в глобальных координатах – с использованием выбранного режима захвата. CADFEKO имеет гибкий интерфейс.

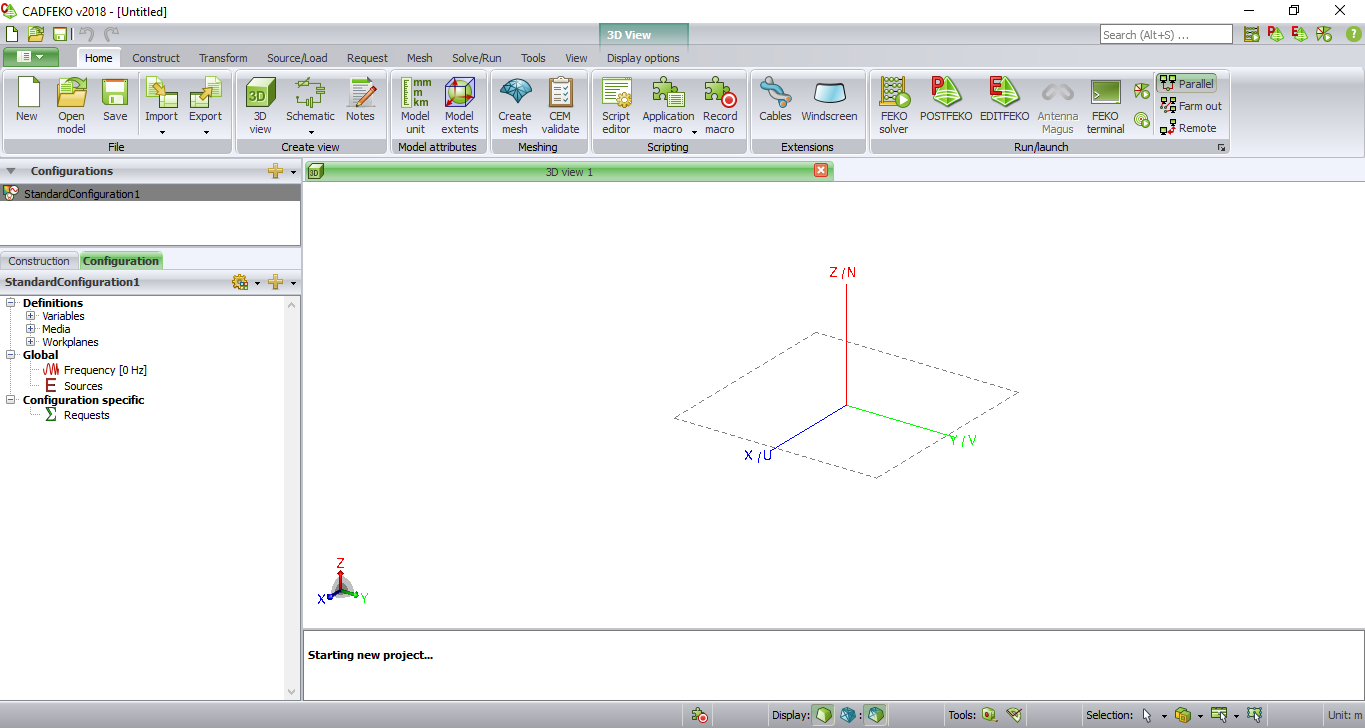


Рис. 3. Главное окно CADFEKO

## **2.2.Создание геометрии РГ-7.**

В меню Geometry → Solid содержит подменю для черчения нового кубоида, пирамиды (возможно усеченной), сферы, цилиндра или конуса.

При создании геометрии используются глобальные или локальные координаты и точку ввода. Объекты имеют фиксированную ориентацию в выбранных (глобальных или локальных) координатах. Для кубоида все фаски можно использовать как плоскости для черчения следующей компоненты. Для пирамид основание (база) её выравнивается с плоскостью xy или осями U и V, а высота идет в направлении оси z или N. Для цилиндров и конусов ось идет в направлении оси z или N. При произвольном ориентировании, объекты должны быть созданы в локальных координатах.

В диалоге Create нужно ввести положение одного угла и размеров по трем координатным направлениям.

Головной части РГ-7 состоит из элементарных тел: диска, цилиндра, кольца, конуса. рис. 3.

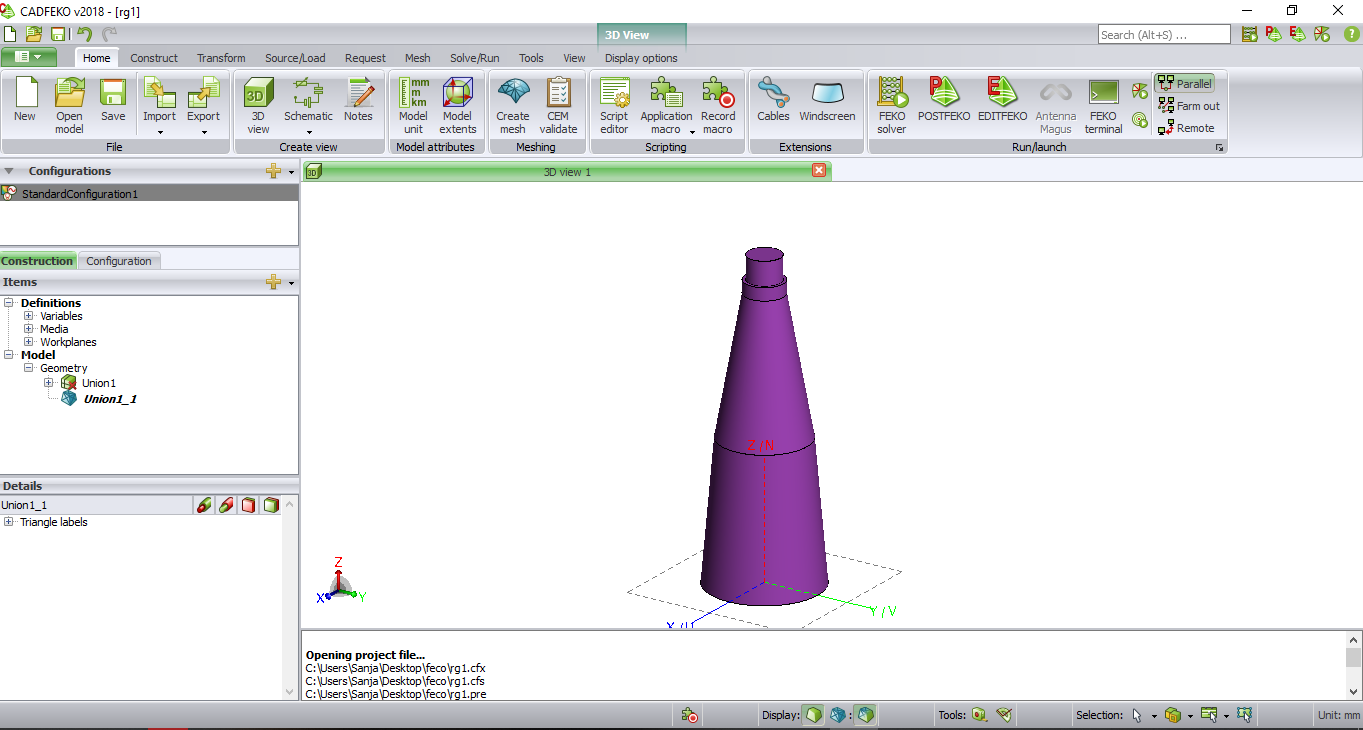


Рис. 4. Головная часть РГ-7 в CADFEKO

После чего объединяем все элементарные тела по команде Geometry -> Union. Получаем целую головную часть РГ-7.

## **2.3. Металлическая среда.**

Металлические среды создаются, нажимая на Media правой кнопкой мыши и выбирая Create metallic medium, или выбирая команду Model → Add medium → Metallic из главного меню. Отметим, что невозможно установить твердый объект как металлическую среду. Это можно выполнить заданием внутренней области как свободное пространство и установке толстой металлической среды на поверхности. «Толстая» здесь подразумевает, что поверхность намного более толстая, чем глубина поверхностного слоя. Головная часть РГ-7 сделана из алюминия толщиной 2 мм. Рис. 5.

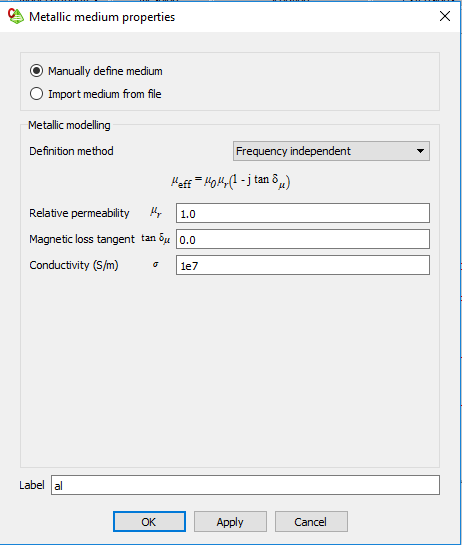


Рис. 5. Диалог создания металлической среды

Диалог создания металлической среды Металлические среды определены в терминах проводимости Conductivity, относительной магнитной проницаемости Relative permeability и коэффициента магнитных потерь Magnetic loss.

## **2.4. Разбиение на ячейки (сетка)**

Выберите команду Mesh → Create mesh, чтобы открыть диалог Create mesh, показанный на рис. 6. Укажите, будут ли все части или только выбранные части разбиваться на ячейки. В отличие от других диалогов, выбор может быть изменен, пока диалог открыт. Это позволяет, например, разбивать различные части на ячейки с различной плотностью без закрытия диалога.

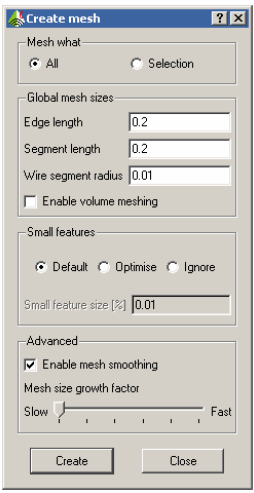


Рис. 6. Диалог разбиения на ячейки

В поле Edge length вводится размер разбиения для граней треугольников и тетраэдров. Заметим, что некоторые грани могут быть на 30 % больше чем это значение. Все грани, не формирующиеся границы фасок, полагаются проводящими проводами и разбиваются на сегменты. В поле Segment length задается максимальная длина этих сегментов. Обычно, радиусы этих проводов определены на гранях геометрии. В поле Wire segment radius задается радиус, который относится ко всем проводам, для которых не определен локальный радиус. Если отмечена опция Enable volume meshing, все диэлектрические твердые объекты разбиваются на тетраэдры так, и они становятся областью решения методом конечных элементов (FEM). Размер ячейки не может быть меньшим, чем максимальная координата, разделенная на 1x108 . Это - предел численной точности геометрии. Для очень малых моделей (требование соответственно малые размеры), расширения геометрии должны быть уменьшены.

## **2.5. Источники облучения (плоская волна)**

При описании структуры, возбуждаемой плоской волной, выберите Solution → Add excitation → Plane wave из главного меню или нажмите правой кнопкой мыши на папку Excitation в дереве проекта и выберите Add plane wave. Появляется диалог (рис. 7). 144 Направление падение плоской волны определяется в сферической системе координат, в терминах углов θ и φ (в градусах). Поляризация определяется углом η, идущем вправо от направления распространения. Эллиптичность должна быть равна 0 для линейной поляризации, и 1 для круговой поляризации.

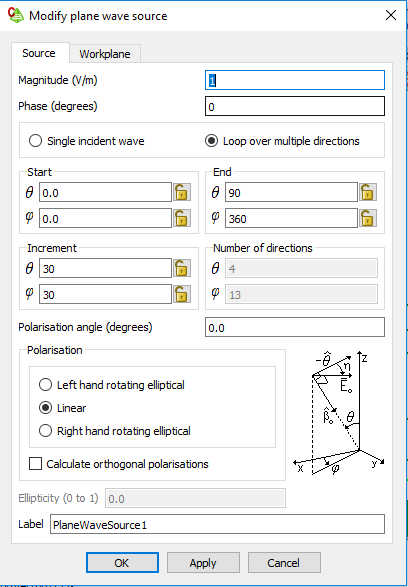


Рис. 7. Возбуждение в виде нескольких плоских волн

Если выбран режим Loop over multiple directions, FEKO вычисляет решение для каждого указанного направления падения. Пользователь должен определить конечный угол и приращение угла для каждой угловой координаты. CADFEKO вычисляет и показывает получающееся число падающих направлений. Заметим, что окончательный угол определяется от начального угла, приращения и числа отсчетов и может не совпадать с указанным конечным углом. Облучение головной части РГ-7 происходит с частотой

# Обработка результатов в POSTFEKO

После выполнения расчета в ядре FEKO и нахождения результатов решения – токов на поверхности, запускается POSTFEKO. POSTFEKO автоматически загружает файлы геометрии файла текущей задачи.(рис 8)

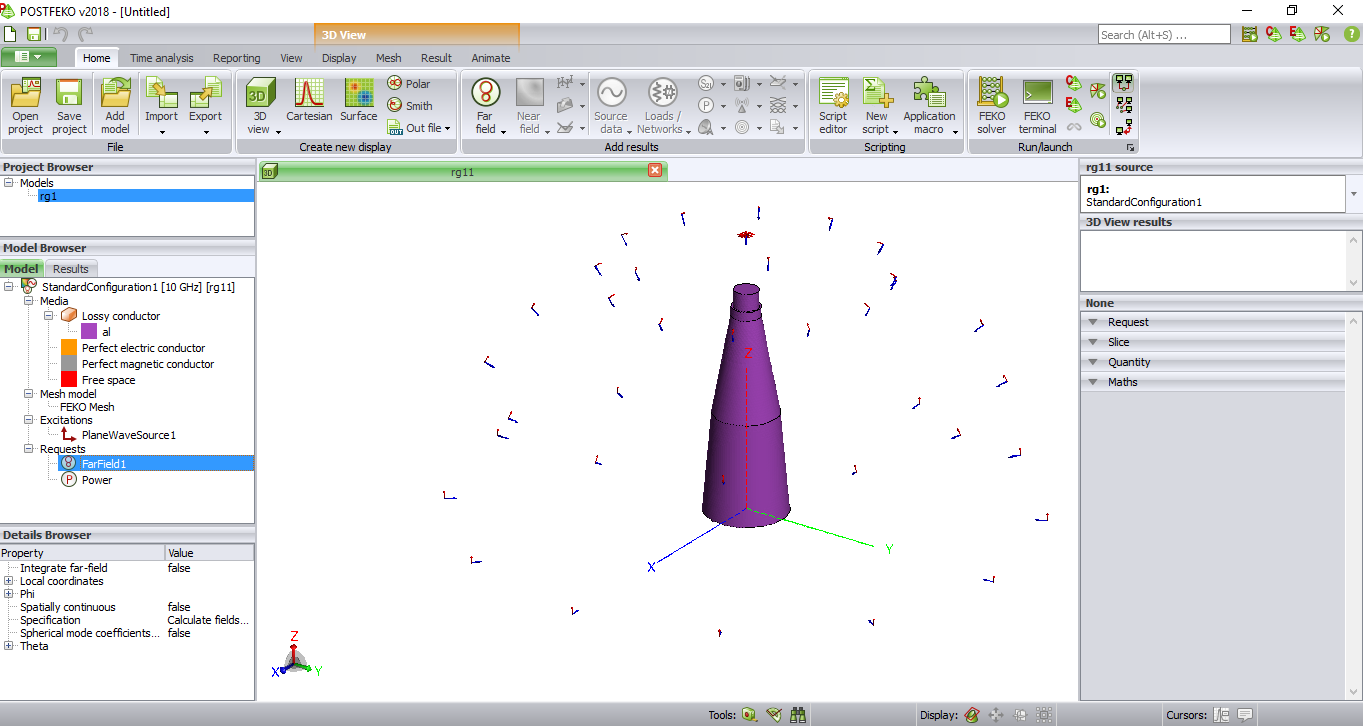


Рис. 8. Головная часть РГ-7 в POSTFEKO

**График дальнего поля.**

Для полей в дальней зоне группа Quantity включает электрическое поле и осевое отношение Axial Ratio. Если модель не содержит никакие возбуждения плоской волны, также возможно вывести направленность D и усиление G. Если это содержит одиночное плоское возбуждение (по одному), возможно вывести эффективную площадь рассеяния RCS (радиолокационное поперечное сечение). График ЭПР головной части РГ-7 представлен на рисунке 9.

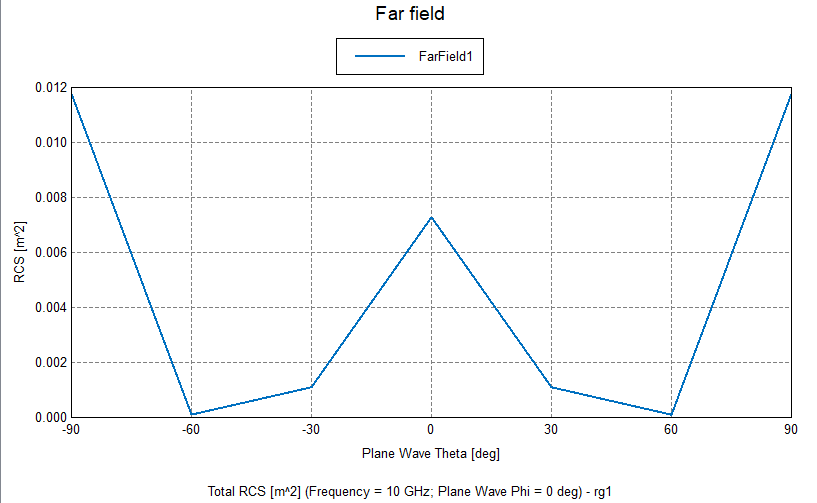


Рис. 9. ЭПР Головной части РГ-7 в POSTFEKO

# Угол обнаружения РЛС системы активной защиты составляет . ЭПР головной части РГ-7 из график под этим углом равняется

## **3.1. Результаты расчетов обтекателя в POSTFEKO**

Была так же создана геометрия обтекателя обладающий малой отражающей формой конусов. Параметры облучения не менялись.

# 

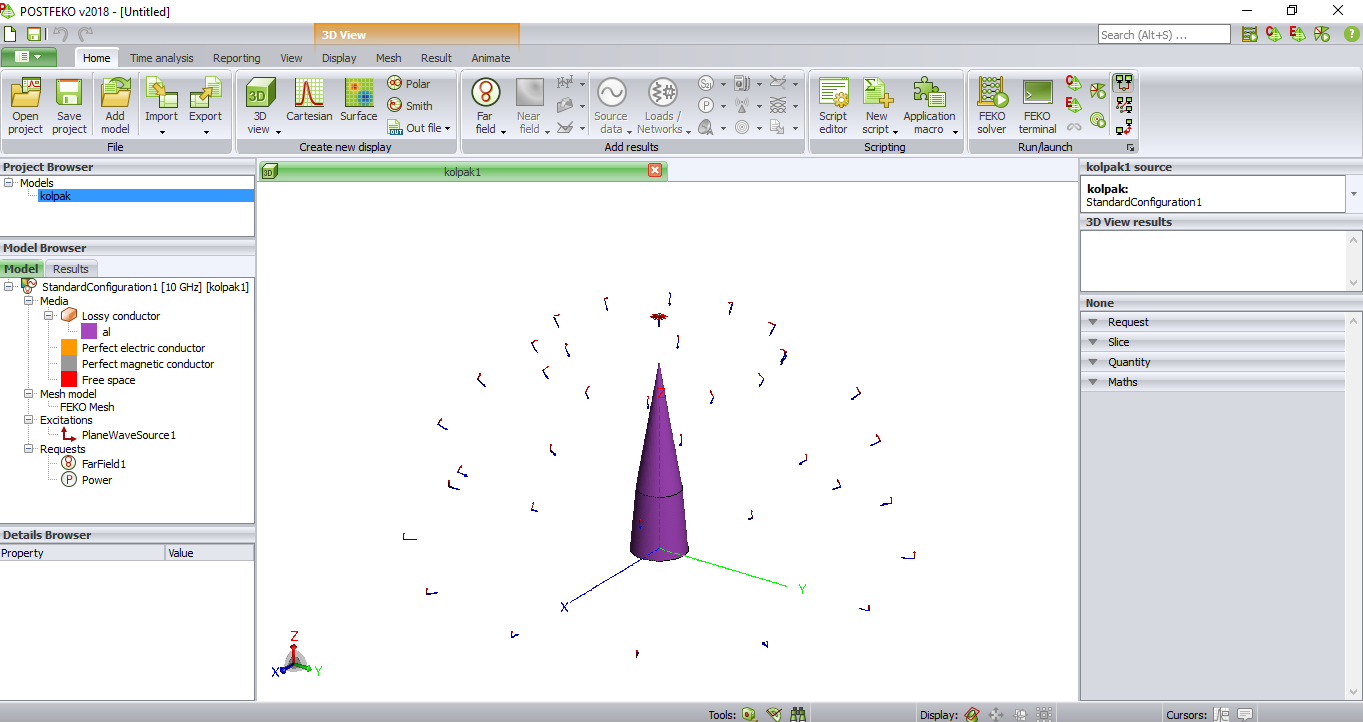


Рис. 10. Обтекатель для РГ-7 в POSTFEKO

# График ЭПР обтекателя для РГ-7 представлен на рисунке 11.

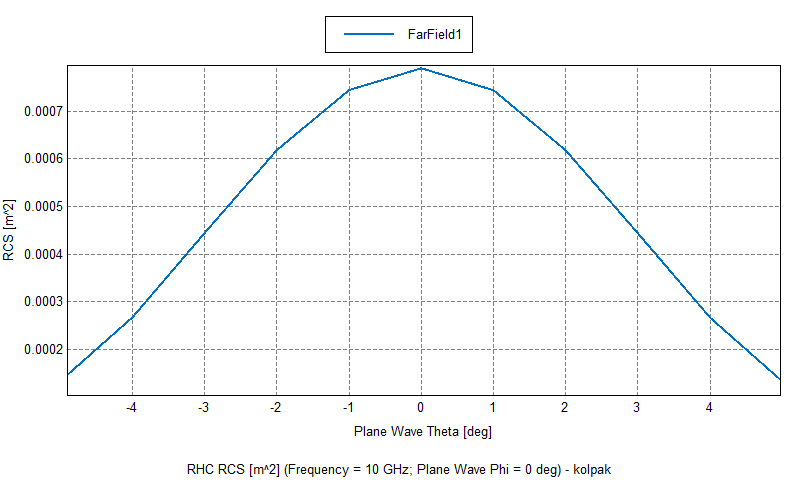


Рис. 11. ЭПР обтекателя для РГ-7 в POSTFEKO

# ЭПР обтекателя РГ-7 из график под углом равняется

# Выводы

К настоящему времени можно сказать, что идея внедрения в процесс проектирования численных методов, реализованных на персональных компьютерах, получает всё более полную реализацию.

Программа FEKO уникальна еще и тем, что освоение её предполагает глубокое знание теоретической базы.

С помощью программы FEKO были рассчитаны ЭПР головной части РГ-7 и обтекателя на нее. По предварительным расчетам при надевании на головную часть обтекателя ЭПР уменьшается в 21 раз, что делает РГ-7 незаметнее для РЛС активной защиты танка.

# 

# Список использованных источников

1. Марков Г.Т., Васильев Е.Н. Математические методы прикладной электродинамики. М., «Сов Радио», 1970, 117 с.
2. Д.М. Сазонов, А.Н. Гридин, Б.А. Мишустин. Устройства СВЧ. М., "Высшая школа", 1981, 295 с.
3. Баскаков С.И. Основы электродинамики. М., «Сов.Радио», 1973, 248 с
4. Обуховец В.А., Касьянов А.О. Микрополосковые отражательные антенны решетки. Методы проектирования и численное моделирование/ Под ред. В.А.Обуховца. М.: Радиотехника, 2006, -240 с.
5. Банков С.Е., Курушин А.А. Система 3D электродинамического моделирования FEKO. EDA Express, 2003, № 8 .