

U 1327

**МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И
КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ИМЕНИ МУХАММАДА АЛ-ХОРАЗМИЙ**

ФАКУЛЬТЕТ «РАДИО И МОБИЛЬНАЯ СВЯЗЬ»

Кафедра «Системы телерадиовещания»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ
ЗАДАНИЙ
по дисциплине «Антенны и радиовещание»
для направления образования
5350100 – «Телекоммуникационные технологии»
(«Телерадиовещание»)**

Ташкент – 2022

Методические указания посвящены расчету радиотрасс и компьютерному моделированию антенн, используемых в беспроводных системах телекоммуникаций. Они содержат девять практических заданий, которые должны выполнить студенты в ходе изучения дисциплины «Антенны и радиовещание». Таким образом, данные указания предназначены для использования в учебном процессе при изучении дисциплины «Антенны и радиовещание» студентами направления образования «Телекоммуникационные технологии» (специализация «Телерадиовещание»).

ЗАДАЧА 1

Расчет потерь при распространении радиоволн в свободном пространстве

Цель задачи

В результате работы по теме данной задачи студент должен:

- усвоить понятие «потери передачи» при распространении радиоволн в свободном пространстве;
- приобрести навыки расчета величины потерь в свободном пространстве.

Условие задачи

Дана радиотрасса первого типа. Передающая и приемная антенны имеют коэффициенты усиления G_1 и G_2 , они расположены в свободном пространстве на расстоянии r друг от друга. Передающей антенной излучается радиоволна на частоте f .

Необходимо:

1. Для случая использования ненаправленных (изотропных) антенн рассчитать зависимость величины потерь от расстояния, задавшись значениями расстояний r от $0,5r$ до $4r$ с шагом $0,5r$.

2. Рассчитать зависимость величины потерь от длины волны λ (при фиксированном значении r), задавшись значениями длин волн от $0,5\lambda$ до 4λ с шагом $0,5\lambda$.

3. Заменяя ненаправленные антенны на направленные, провести те же расчеты, что в предыдущих пунктах.

4. Результаты расчетов свести в таблицу, по ним построить графические зависимости величины потерь в дБ от расстояния и от длины волны.

5. Сравнить полученные результаты. Сформулировать выводы.

В Приложении 1 приведены краткие теоретические сведения, формулы расчета потерь радиоволн при их распространении в свободном пространстве, примеры таблицы результатов расчета и графиков.

Контрольные вопросы

1. Потери передачи: понятие, определения, расчетное соотношение.
2. Каковы структурные схемы радиолиний первого и второго типа?
3. Как зависит величина потерь передачи от длины волны, расстояния и направленных свойств антенн?
4. Чем обусловлены потери при передаче электромагнитной энергии в свободном пространстве?

ЗАДАЧА 2

Расчет трассы УКВ при поднятых антеннах

Цель задачи

В результате работы по теме данной задачи студент должен:

- *знать* основные закономерности распространения радиоволн УКВ на малых расстояниях от приемной антенны, где можно принять случай плоской поверхности земли;
- *приобрести навыки* инженерного метода расчета УКВ радиотрассы.

Условие задачи

Имеется передающая радиосистема, состоящая из передатчика и антенно-фидерного тракта, в состав которого входят фидер, элементы тракта, передающая антенна. Передающая антенна излучает радиоволну в требуемом направлении.

Заданы: подводимая к передающей антенне мощность P , коэффициент усиления передающей антенны G , частота излучаемого антенной сигнала f , высоты подвеса передающей антенны h_1 и приемной антенны h_2 .

Необходимо:

1. Рассчитать расстояния, соответствующие первым трем максимумам и первым, трем минимумам напряженности поля.
2. Рассчитать значения множителя ослабления поля F в этих точках. В расчётах можно принять $\theta = 180^\circ$, $R = 1$.
3. Рассчитать значения напряженности поля E_0 в этих точках.
4. Рассчитать значения напряженности поля E_Δ в этих точках.
5. Перевести значения E_Δ из мВ/м в дБ.
6. Результаты расчетов свести в таблицу.
7. Построить графическую зависимость E_Δ от расстояния r .
8. Сформулировать выводы.

В Приложении 2 приведены краткие теоретические сведения, формулы расчета расстояний максимумов и минимумов напряженности поля, множителя ослабления, значений напряженности поля, примеры таблицы результатов расчета и графика.

Контрольные вопросы

1. В каком диапазоне радиоволн антенны можно считать поднятыми?
2. От каких параметров трассы зависят расстояния, на которых напряженность поля принимает максимальные и минимальные значения?
3. Почему в точках приема напряженность поля принимает максимальные и минимальные значения?
4. Какие значения может принимать множитель ослабления в области применимости интерференционных расчетных формул?

ЗАДАЧА 3

Расчет области пространства пролёта радиорелейной линии связи

Цель задачи

В результате работы по теме данной задачи студент должен:

- *знать* основные закономерности распространения радиоволн СВЧ;
- *приобрести общие навыки* инженерного метода расчета пролёта радиорелейной линии связи.

Условие задачи

Передающая антенна радиорелейной линии связи установлена на антенно-мачтовом сооружении на высоте h_1 . Она излучает сигнал на частоте f в сторону приемной антенны, находящейся от нее на расстоянии r . Приемная антенна размещена на антенно-мачтовом сооружении на высоте h_2 .

На пролете между антеннами находится два объекта искусственного (здание) и естественного (дерево) происхождения. Высота здания – h_3 , высота дерева – h_0 .

Здание находится на расстоянии r_3 от передающей антенны, дерево – на расстоянии r_0 от передающей антенны.

Необходимо:

1. Построить графическую модель заданной радиорелейной линии связи.
 2. Рассчитать радиус первой зоны Френеля в месте нахождения здания.
 3. Рассчитать радиус первой зоны Френеля в месте нахождения дерева.
 4. Определить аналитически, попадают ли в первую зону Френеля здание, дерево, либо они вместе.
 5. Если в первую зону Френеля попадают указанные объекты, изменить высоты подвеса передающей, приемной или обеих антенн одновременно таким образом, чтобы объекты ее не перекрывали.
 6. Сформулировать выводы.
- В Приложении 3 приведены краткие теоретические сведения, формула расчета радиусов зон Френеля.

Контрольные вопросы

1. Что называется фронтом волны?
2. Что называется зонами Френеля?
3. От чего зависит радиус зоны Френеля?
4. Какие зоны Френеля имеют существенное значение при распространении радиоволн?
5. Зачем необходимо знать радиус первой зоны Френеля?

ЗАДАЧА 4

Компьютерное моделирование симметричного вибратора

Цель задачи

В результате работы по теме данной задачи студент должен:

- *знать* принципы компьютерного моделирования простых вибраторных антенн;
- *приобрести общие навыки* компьютерного моделирования одиночного симметричного вибратора.

Условие задачи

В среде программы MMANA построить компьютерную модель полуволнового симметричного вибратора. Провести исследования его направленных и электрических свойств.

Задано:

- рабочая частота f ;
- материал проводников вибратора;
- радиус проводников вибратора R .

Вибратор находится в свободном пространстве. В ходе моделирования необходимо получить:

- значения входного сопротивления вибратора;
- значение КСВ;
- значение коэффициента усиления вибратора;
- диаграмму направленности вибратора в вертикальной и горизонтальной плоскостях;
- все перечисленные выше параметры в полосе рабочих частот Δf ;
- сформулировать выводы.

В Приложении 4 приведены краткие теоретические сведения, основные окна программы MMANA с примером моделирования.

Контрольные вопросы

1. Какова конструкция симметричного вибратора?
2. Какова ДН СВ в вертикальной плоскости?
3. Какова ДН СВ в горизонтальной плоскости?
4. Каково максимальное значение КУ СВ?
5. Что означает понятие «полуволновый СВ»?
6. Что такое полоса рабочих частот СВ?
7. Что такое входное сопротивление СВ?

ЗАДАЧА 5

Компьютерное моделирование двух связанных вибраторов

Цель задачи

В результате работы по теме данной задачи студент должен:

- *знать* принципы компьютерного моделирования простых вибраторных антенн;
- *приобрести общие навыки* компьютерного моделирования системы из двух связанных вибраторов.

Условие задачи

В среде программы MMANA построить компьютерную модель системы из двух связанных симметричных вибраторов, один из которых – активный, другой – пассивный. Провести исследования их направленных и электрических свойств.

Задано:

- рабочая частота f ;
- материал проводников вибраторов;
- радиус проводников вибраторов R .

Вибраторы находятся в свободном пространстве и являются полуволновыми.

Задача решается в два этапа: моделирование активного одиночного вибратора, моделирование системы из двух вибраторов.

В ходе моделирования на первом этапе необходимо получить:

- значения входного сопротивления вибратора;
- значение КСВ;
- значение коэффициента усиления вибратора;
- диаграмму направленности вибратора в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

В ходе моделирования на втором этапе необходимо:

- на расстоянии четверть длины волны от активного вибратора установить пассивный вибратор;
- получить результаты моделирования: коэффициент усиления, КСВ, КЗД;
- перемещая пассивный вибратор относительно активного вибратора с шагом, заданным преподавателем, получить наибольшие значения коэффициента усиления и КЗД системы. Перемещения пассивного вибратора провести не менее пяти раз в сторону активного вибратора и не менее пяти раз в сторону от него;
- сформулировать выводы.

В Приложении 5 приведены краткие теоретические сведения, основные окна программы MMANA с примером моделирования.

Контрольные вопросы

1. Какова конструкция двух связанных вибраторов?
2. Что характеризует параметр КЗД?
3. Каковы назначение и свойства рефлектора?
4. Как можно увеличить КЗД в системе двух связанных вибраторов?
5. Что означает термин «связанные вибраторы»?

ЗАДАЧА 6

Компьютерное моделирование направленной вибраторной антенны

Цель задачи

В результате работы по теме данной задачи студент должен:

- *знать* принципы компьютерного моделирования направленных вибраторных антенн;
- *приобрести общие навыки* компьютерного моделирования директорной антенны.

Условие задачи

В среде программы MMANA построить компьютерную модель трехэлементной директорной антенны. Провести исследования её направленных и электрических свойств.

Задано:

- рабочая частота f ;
- материал проводников вибраторов;
- радиус проводников вибраторов R .

Антенна находится в свободном пространстве.

Задача решается на основе результатов, полученных в Задаче 5.

В ходе моделирования необходимо использовать систему из двух связанных вибраторов, установив дополнительно перед активным вибратором директор, представляющий собой пассивный симметричный вибратор. Длину директора необходимо выбрать чуть меньшую или равную длине активного вибратора. Приближая или удаляя директор относительно активного вибратора, требуется получить максимально возможный коэффициент усиления антенны.

Получив такой результат, необходимо провести исследования полученной директорной антенны с получением ее основных параметров и характеристик.

Сформулировать выводы.

В Приложении 6 приведены краткие теоретические сведения, основные окна программы MMANA с примером моделирования.

Контрольные вопросы

1. Какова конструкция директорной антенны?
2. Каковы назначение и свойства директора?
3. Каковы назначение и свойства рефлектора?
4. Каковы требования, предъявляемые к активному вибратору директорной антенны?
5. Каковы достоинства и недостатки директорной антенны?
6. Как управляют коэффициентом усиления директорной антенны?
7. Каковы направленные свойства директорной антенны и от чего они зависят?

ЗАДАЧА 7

Компьютерное моделирование диапазонной вибраторной антенны

Цель задачи

В результате работы по теме данной задачи студент должен:

- *знать* принципы компьютерного моделирования диапазонных вибраторных антенн;
- *приобрести общие навыки* компьютерного моделирования логопериодической антенны.

Условие задачи

Дана логопериодическая антенна, работающая в диапазоне УВЧ.

Заданы коэффициент усиления антенны G , минимальная рабочая частота f_{\min} , максимальная рабочая частота f_{\max} , входное сопротивление антенны $Z_{\text{вх}}$. Диаметр проводников собирательной линии равен 25 мм, диаметр проводников вибраторов равен 15 мм. Антенна находится в свободном пространстве. Проводники антенны выполнены из алюминия.

Требуется провести компьютерное моделирование данной антенны для определения ее диапазонных свойств.

Задача решается в два этапа: конструктивный расчет антенны с помощью компьютерной программы, моделирование антенны в среде программы MMANA.

В ходе решения задачи необходимо:

1. С помощью специальной программы рассчитать размеры логопериодической антенны.
2. На основе расчета построить компьютерную модель антенны в среде программы MMANA и провести ее моделирование.
4. Получить результаты моделирования.
5. Провести исследования антенны в заданной полосе частот.
6. Проанализировать полученные результаты.
7. Сформулировать выводы.

В Приложении 7 приведены краткие теоретические сведения, основные окна программы MMANA с примером моделирования.

Контрольные вопросы

1. Какова конструкция логопериодической антенны?
2. Как возбуждается ЛПА?
3. Что такое активная зона ЛПА?
4. Каковы направленные свойства ЛПА?
5. От чего зависят направленные свойства ЛПА?
6. Что такое период структуры ЛПА?

ЗАДАЧА 8

Компьютерное моделирование линейной антенной решетки

Цель задачи

В результате работы по теме данной задачи студент должен:

- *знать* принципы компьютерного моделирования дискретных излучающих систем;
- *приобрести общие навыки* компьютерного моделирования линейной антенной решетки.

Условие задачи

Дана линейная, равноамплитудная, синфазная, эквидистантная антенная решетка, которая состоит из N полуволновых симметричных вибраторов. Радиус проводников вибраторов равен R , они выполнены из алюминия. Количество элементов в линейной решетке равно N . Относительное расстояние между центрами вибраторов равно d/λ . Рабочая частота сигнала, излучаемого антенной решеткой, равна f . Решетка находится в свободном пространстве.

Требуется провести компьютерное моделирование данной антенной решетки.

В ходе решения задачи необходимо получить:

- значения входного сопротивления антенной решетки;
- значение КСВ;
- значение коэффициента усиления антенной решетки;
- диаграмму направленности антенной решетки в вертикальной и горизонтальной плоскостях;
- все перечисленные выше параметры в полосе рабочих частот Δf ;
- введя фазовый сдвиг между токами, равный ψ , определить направление главного лепестка диаграммы направленности решетки;
- сформулировать выводы.

В Приложении 8 приведены краткие теоретические сведения, основные окна программы MMANA с примером моделирования.

Контрольные вопросы

1. Что называется линейной антенной решеткой?
2. Что называется плоской антенной решеткой?
3. Какова характеристика направленности линейной, равноамплитудной, синфазной, эквидистантной антенной решетки и от чего она зависит?
4. Как можно управлять диаграммой направленности антенной решетки?

ЗАДАЧА 9

Компьютерное моделирование плоской антенной решетки

Цель задачи

В результате работы по теме данной задачи студент должен:

- *знать* принципы компьютерного моделирования дискретных излучающих систем;
- *приобрести общие навыки* компьютерного моделирования плоской антенной решетки.

Условие задачи

Дана плоская антенная решетка, которая состоит из m линейных, равноамплитудных, синфазных, эквидистантных антенных решеток. Решетка находится в свободном пространстве. В качестве ее элементов используются полуволновые симметричные вибраторы. Радиус проводников вибраторов равен R , они выполнены из алюминия. Количество элементов в одной линейной решетке равно N . Относительное расстояние между центрами вибраторов равно d_1/λ . Относительное расстояние между осями линейных решеток равно d_2/λ . Рабочая частота сигнала, излучаемого антенной решеткой, равна f .

Требуется провести компьютерное моделирование данной плоской антенной решетки.

В ходе решения задачи необходимо получить:

- значения входного сопротивления антенной решетки;
- значение КСВ;
- значение коэффициента усиления антенной решетки;
- диаграмму направленности антенной решетки в вертикальной и горизонтальной плоскостях;
- все перечисленные выше параметры в полосе рабочих частот Δf ;
- сформулировать выводы.

В Приложении 9 приведены краткие теоретические сведения, основные окна программы MMANA с примером моделирования.

Контрольные вопросы

1. Что называется линейной антенной решеткой?
2. Что называется плоской антенной решеткой?
3. Какова характеристика направленности линейной, равноамплитудной, синфазной, эквидистантной антенной решетки и от чего она зависит?
4. Как можно управлять диаграммой направленности антенной решетки?

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Методические указания к решению задачи №1

Существуют радиолинии первого и второго типа: на радиолиниях первого типа имеется прямая видимость между передающей и приемной антеннами (рис.1.1, а), а на радиолиниях второго типа между передающей и приемной антеннами имеется пассивный переизлучатель (рис.1.1, б).

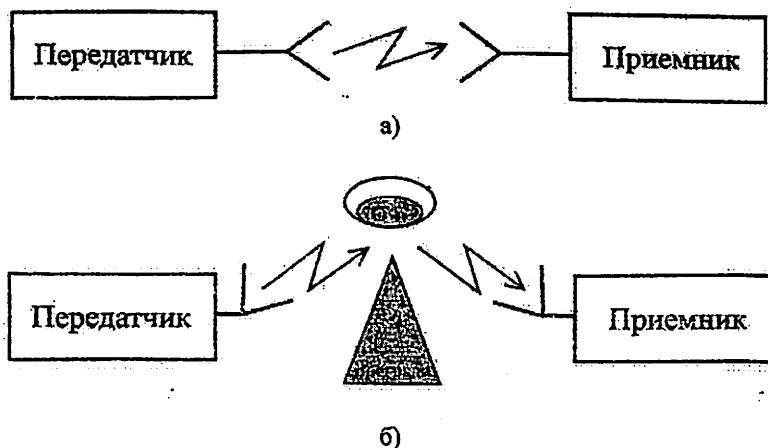


Рис.1.1 Радиолинии первого (а) и второго (б) типов

На радиотрассе первого типа мощность сигнала на входе приемной антенны определяется следующими факторами:

- расстоянием между передатчиком и приемником;
- частотой сигнала;
- направленными свойствами передающей и приемной антеннами.

На радиотрассе второго типа мощность сигнала на входе приемной антенны определяется следующими факторами:

- расстоянием между передатчиком и приемником;
- частотой сигнала;
- направленными свойствами передающей и приемной антеннами;
- эффективной площадью отражающей поверхности пассивного ретранслятора.

Сигнал при распространении в свободном пространстве претерпевает ослабления, которые характеризуются потерями. Потери в свободном пространстве связаны с уменьшением плотности потока электромагнитного поля, излучаемого антенной, на поверхности сферического фронта волны, площадь которой увеличивается с увеличением расстояния. Величина потерь передачи L определяется расстоянием между передающей и приемной

антеннами, их направленными свойствами, длиной волны и не зависит от мощности передатчика.

В задаче №1 требуется рассчитать величины потерь при распространении волны в свободном пространстве для случая радиотрассы первого типа. При этом потери необходимо рассчитать при использовании ненаправленных и направленных передающей и приемной антенн. В задаче необходимо получить зависимость потерь от расстояния при неизменной частоте (длине волны), а также от частоты (длины волны) при фиксированном расстоянии между передающей и приемной антеннами.

Формула расчета потерь радиоволны в свободном пространстве для радиотрассы первого типа имеет вид

$$L_{(раз)} = (4\pi^2)/G_1G_2\lambda^2,$$

где r – расстояние между передающей и приемной антеннами (в метрах);

G_1 – коэффициент усиления передающей антенны (в раз);

G_2 – коэффициент усиления приемной антенны (в раз);

λ – длина волны (в метрах).

Перевод рассчитанных величин потерь в децибелы производится по формуле

$$L_{(дБ)} = 10 \lg L_{(раз)}.$$

Результаты расчетов сводятся в таблицу 1.

Пример оформления графиков зависимости потерь от расстояния и длины волны показаны на рисунках 1.2, а, б.

Таблица 1. Результаты расчета потерь радиоволны в свободном пространстве

п	пг	Направленные антенны L		Ненаправленные антенны L ₀		п	пλ	Направленные антенны L		Ненаправленные антенны L ₀	
		раз	дБ	раз	дБ			раз	дБ	раз	дБ
-	м					-	м				
0,5						0,5					
1,0						1,0					
1,5						1,5					
2,0						2,0					
2,5						2,5					
3,0						3,0					
3,5						3,5					
4,0						4,0					

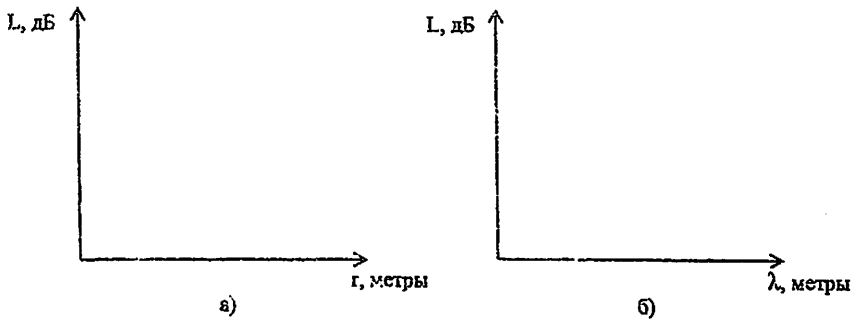


Рис.1.2 Пример оформления графиков

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Методические указания к решению задачи №2

Земные ультракороткие волны (метровые, дециметровые, сантиметровые) широко используются в различных беспроводных системах телекоммуникаций. Механизм распространения земных радиоволн достаточно сложен с точки зрения физики явления, сложен и его математический анализ. Однако при решении ряда важных практических задач нет необходимости рассматривать проблему в целом, поэтому вполне допустимы следующие упрощения:

- атмосфера считается непоглощающей средой;
- поверхность земли считается гладкой и однородной;
- антенны считаются поднятыми (высота подвеса h антенн много больше длины волны λ , их питание осуществляется неизлучающим фидером).

Распространение земных ультракоротких волн сопровождается определенными физическими процессами, вызванными различными факторами. Главным из них является взаимодействие радиоволн с окружающим пространством, в результате чего уровень сигнала в точке приема сильно зависит от этого процесса. Наиболее часто при расчете напряженности электрического поля в точке приема используется так называемая двухлучевая модель распространения радиоволн, согласно которой в раскрыв приемной антенны приходит два луча – прямой и отраженный от поверхности земли (рис.2.1). Принятие такой модели распространения радиоволн характерно для расстояний между передающей и приемной антеннами, находящихся в зоне освещенности.

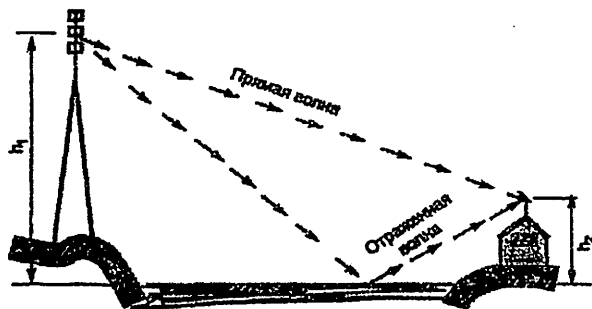


Рис.2.1 Двухлучевая модель распространения радиоволн

Расчет действующего значения напряженности электрического поля (в мВ/м) в месте приема производится по так называемой интерференционной формуле, имеющей вид

$$E_0 = \frac{173 \sqrt{P_1 (\kappa B m) G_1}}{r (\text{км})} \times \sqrt{1 + 2R \cos(\theta + 4\pi h_1 h_2 / \lambda r) + R^2},$$

где P_1 – подводимая к передающей антенне мощность (в кВт);
 G_1 – коэффициент усиления передающей антенны (в раз);
 r – расстояние между передающей и приемной антеннами;
 R – модуль коэффициента отражения (в раз);
 θ – угол потери фазы (в градусах);
 λ – длина волны (в метрах);
 h_1 – высота подвеса передающей антенны (в метрах);
 h_2 – высота подвеса приемной антенны (в метрах).

Множитель $\frac{173 \sqrt{P_1 (\kappa B m) G_1}}{r (\text{км})}$ носит название «напряженность электрического поля в свободном пространстве» и обозначается буквой E_0 .
 Множитель $\sqrt{1 + 2R \cos(\theta + 4\pi h_1 h_2 / \lambda r) + R^2}$ носит название «множитель ослабления» и обозначается как F .

Параметры R и θ зависят от вида поляризации волны, параметров подстилающей поверхности, длины волны, и могут быть либо рассчитаны, либо найдены с помощью специальных графиков.

На небольших расстояниях от передающей антенны действующая напряженность электрического поля в точках приема имеет явно выраженный интерференционный характер, т.е. значения E_0 при изменении расстояния r принимают максимальные и минимальные значения.

Местоположение максимумов E_0 можно определить по формуле

$$r_{\text{макс}} = 4h_1 h_2 / [\lambda(2N + 1)], \text{ где } N = 0, 1, 2, \dots$$

Местоположение минимумов E_0 можно определить по формуле

$$r_{\text{мин}} = 2h_1 h_2 / [\lambda(N + 1)], \text{ где } N = 0, 1, 2, \dots$$

В задаче №2 требуется рассчитать зависимость действующей напряженности электрического поля от расстояний, соответствующих первым трем максимумам и первым трем минимумам уровня поля. Для этого сначала рассчитываются расстояния, на которых находятся первые три максимума и первые три минимума уровней поля. Затем на этих расстояниях рассчитываются множители ослабления F . Затем на этих же расстояниях рассчитываются значения E_0 , учитывая, что расстояния в формуле расчета берутся в километрах. Затем рассчитываются значения E_0 (в мВ/м). Затем значения E_0 переводятся из мВ/м в мкВ/м. И, наконец, значения E_0 переводятся из мкВ/м в дБ по формуле

$$E_{\text{дБ}} = 20 \lg E_{\text{мкВ/м}}$$

Результаты расчета следует занести в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты расчета

$r, \text{ м}$		F	$E_0, \text{ мВ/м}$	$E_{\text{д}}, \text{ мВ/м}$	$E_{\text{д}}, \text{ мкВ/м}$	$E_{\text{д}}, \text{ дБ}$
1 макс						
1 мин						
2 макс						
2 мин						
3 макс						
3 мин						

Пример оформления графика зависимости действующих значений напряженности электрического поля от расстояний показан на рисунке 2.2.

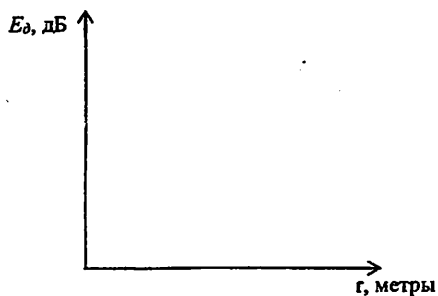


Рис.2.2 Пример оформления графика

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Методические указания к решению задачи №3

В теории распространения радиоволн, особенно при оценке влияния земной поверхности, важное значение имеет понятие "область, существенная для распространения радиоволн". Крайне важно её учитывать при построении радиорелейных систем связи, где сигнал из передающей антенны в приёмную распространяется по прямолинейной траектории при условии наличия прямой видимости между антеннами. При этом энергия радиоволны сосредоточивается не в тонком нитеобразном луче, а в определенной области пространства, представляющей собой эллипсоид вращения с фокусами в точках передачи и приема (рис. 3.1). Такое распределение энергии радиоволны объясняется принципом Гюйгенса-Френеля, согласно которому каждый элемент поверхности фронта волны является источником вторичной сферической волны.

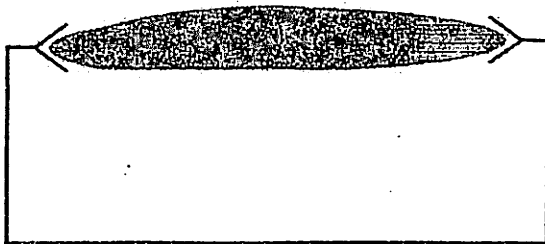


Рис.3.1 Область пространства распространения радиоволн

Область пространства между передающей и приемной антенной делится на так называемые зоны Френеля (рис. 3.2), причем фазы фронта волны в нечетных зонах отличаются от фаз фронта волны в четных зонах на 180 градусов.

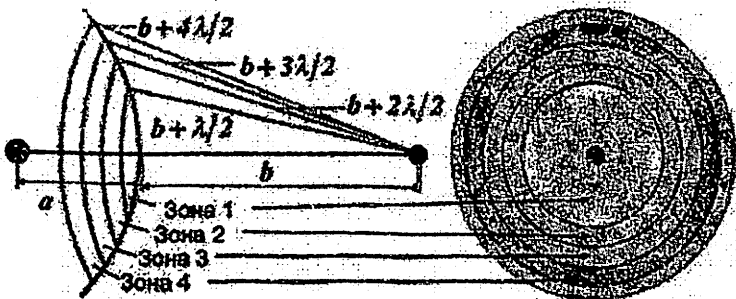


Рис. 3.2 Зоны Френеля

Также важно отметить, что результирующая напряженность поля, создаваемая всеми зонами Френеля в точке приема равна половине значения, создаваемого первой зоной Френеля. Исходя из этого, при построении радиорелейных линий передачи необходимо обеспечить «прозрачность» первой зоны Френеля, не допуская ее затенения различными препятствиями (здания, деревья, мачты и т.п.).

Радиус первой зоны Френеля рассчитывается по формуле

$$R = \sqrt{\frac{\lambda ab}{a+b}},$$

где λ – длина волны (в метрах);

a – расстояние от передающей антенны до точки определения радиуса (в

метрах); $E_0 = \frac{173 \sqrt{P_1(\kappa B m) G_1}}{r(\text{км})} \times \sqrt{1 + 2R \cos(\theta + 4\pi h_1 h_2 / \lambda r) + R^2}$

b – расстояние от приемной антенны до точки определения радиуса (в метрах).

В задаче №3 требуется рассчитать радиусы первой зоны Френеля в тех точках радиотрассы, где размещены объекты, которые гипотетически могут её затенять (рис. 3.3). Затем следует провести анализ, сопоставив высоты этих объектов с высотами подвеса передающей и приемной антенн и радиусами первой зоны Френеля. Если первая зона Френеля затеняется каким-либо объектом, необходимо изменить высоты подвеса антенн таким образом, чтобы объект её не затенял.

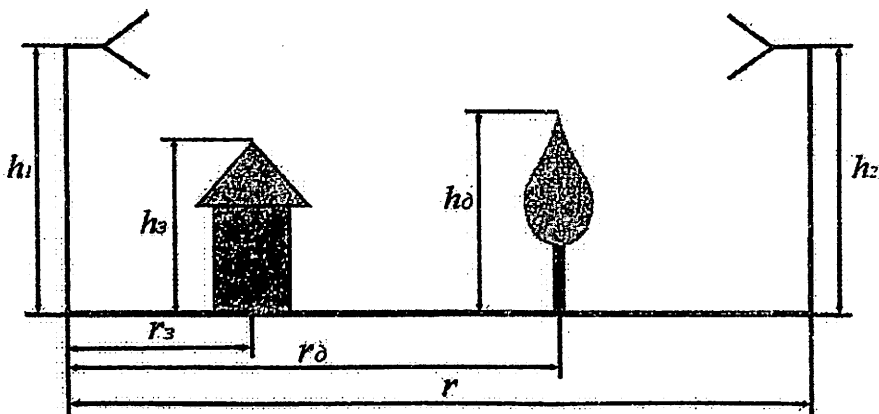


Рис.3.3 Модель радиотрассы

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Методические указания к решению задачи №4

Симметричный вибратор состоит из двух одинаковых цилиндрических проводников (рис. 4.1), между которыми включается линия, соединяющая вибратор с генератором (передатчиком) или приемником. Симметричные вибраторы широко применяются как самостоятельные антенны или как элемент сложных антенн в диапазонах коротких, метровых и дециметровых волн.

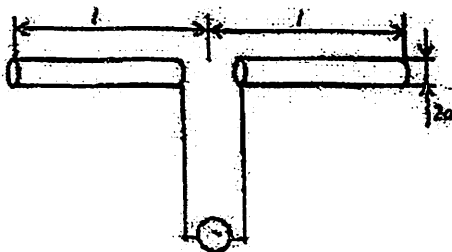


Рис. 4.1 Симметричный вибратор

Направленные и электрические свойства симметричного вибратора зависят от его относительной длины l/λ . При $l/\lambda=0,625$ направленность симметричного вибратора максимальна. Диаграмма направленности симметричного вибратора имеет форму «восьмерки», при этом максимум излучения направлен перпендикулярно его оси. Вдоль своей оси симметричный вибратор не излучает.

В задаче №4 требуется провести компьютерное моделирование одиночного полуволнового симметричного вибратора с помощью программы MMANA.

Последовательность выполнения задачи следующая.

Запустить программу MMANA.

В окне «Геометрия» дать имя файлу задачи, установить значение рабочей частоты (рис. 4.2).

Открыть окно «Вычисления», установить тип окружающего пространства и материал проводников вибратора (рис. 4.3).

Открыть окно «Правка провода», построить модель полуволнового симметричного вибратора, установив заданный радиус его проводников (рис. 4.4).

Открыть окно «Геометрия», установить источник питания вибратора (рис. 4.5).

Открыть окно «Вычисления», запустить процесс моделирования. Получить его результаты (рис. 4.6).

Открыть окно «Вид», проанализировать распределение тока по плечам вибратора (рис. 4.7). Если полученное распределение не соответствует требуемому распределению, то необходимо изменить длину вибратора.

Открыть окно «Правка провода», уменьшить длины плеч вибратора (рис. 4.8).

Открыть окно «Вычисления», запустить процесс моделирования. Получить его результаты (рис. 4.9).

Открыть окно «Вид», проанализировать вид распределения тока по плечам вибратора (рис. 4.10).

Открыть окно «Диаграмма направленности», проанализировать вид диаграммы направленности вибратора в двумерном и трехмерном пространствах (рис. 4.11).

Открыть окно «Вычисления», в нем открыть окно «Графики» (рис. 4.12). Установить требуемую полосу рабочих частот. Запустить процесс расчета основных параметров вибратора, нажав кнопку «По 2 точкам». Получить и проанализировать результаты расчета (рис. 4.13 - 4.16).

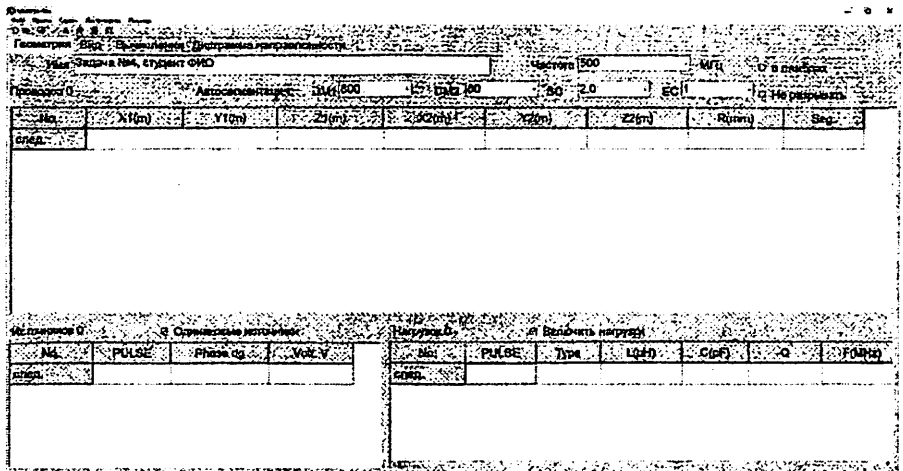


Рис. 4.2 Окно «Геометрия»

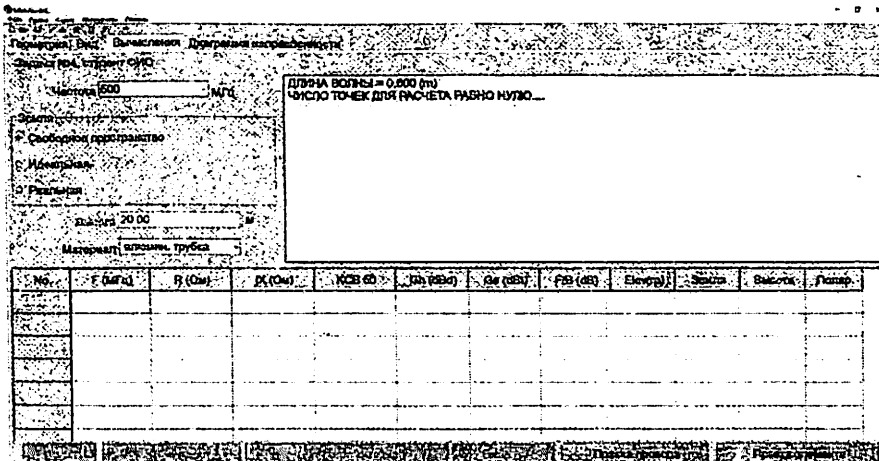


Рис. 4.3 Окно «Вычисления»

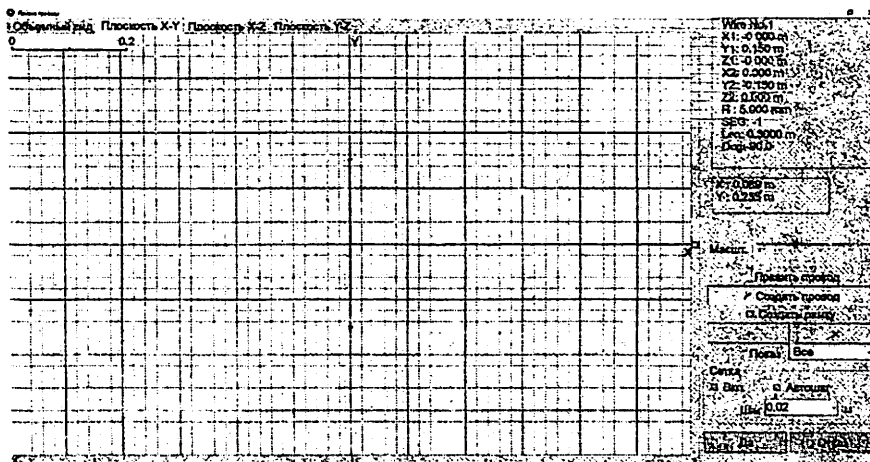


Рис. 4.4 Окно «Правка провода»

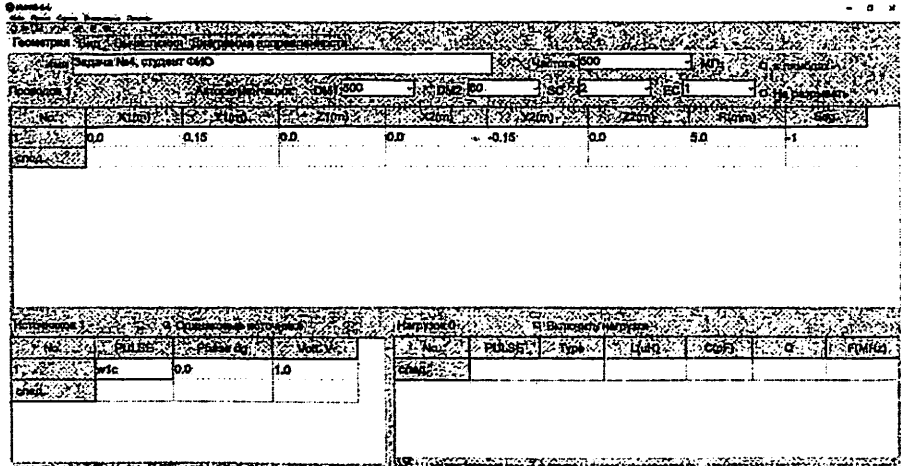


Рис. 4.5 Окно «Геометрия»

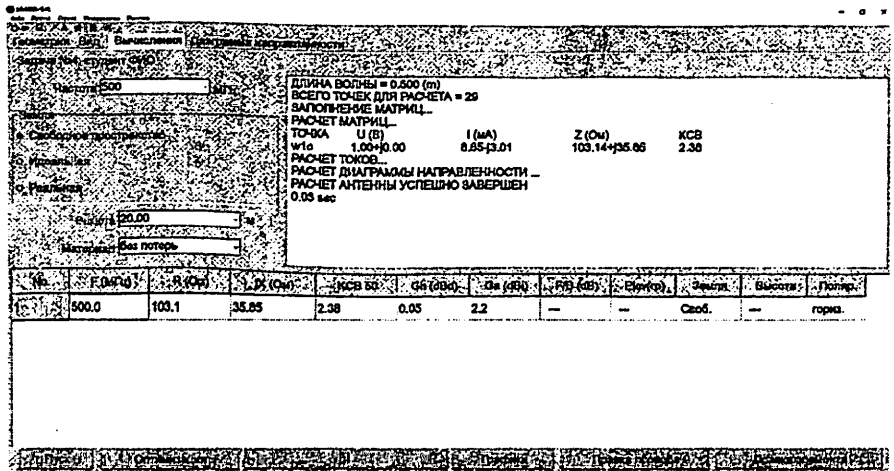


Рис. 4.6 Окно «Вычисления»

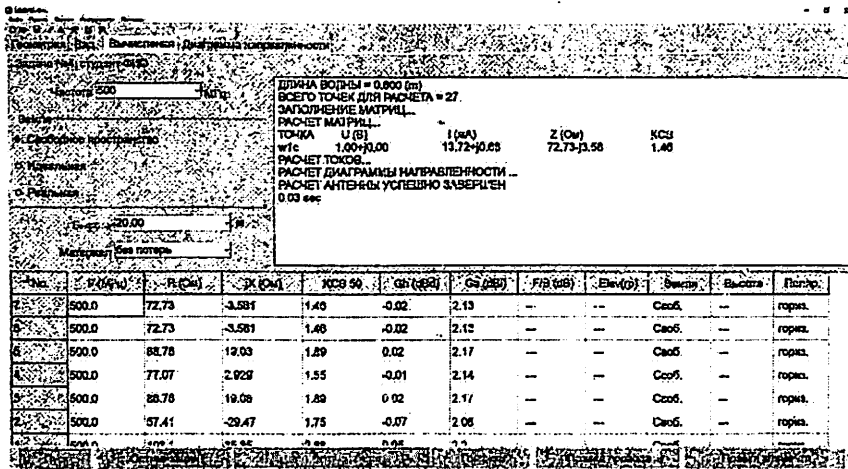


Рис. 4.9 Окно «Вычисления»

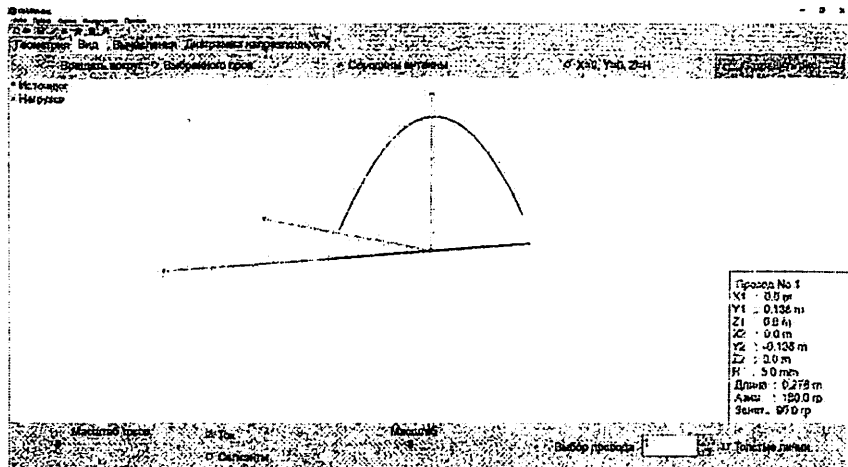


Рис. 4.10 Окно «Вид»

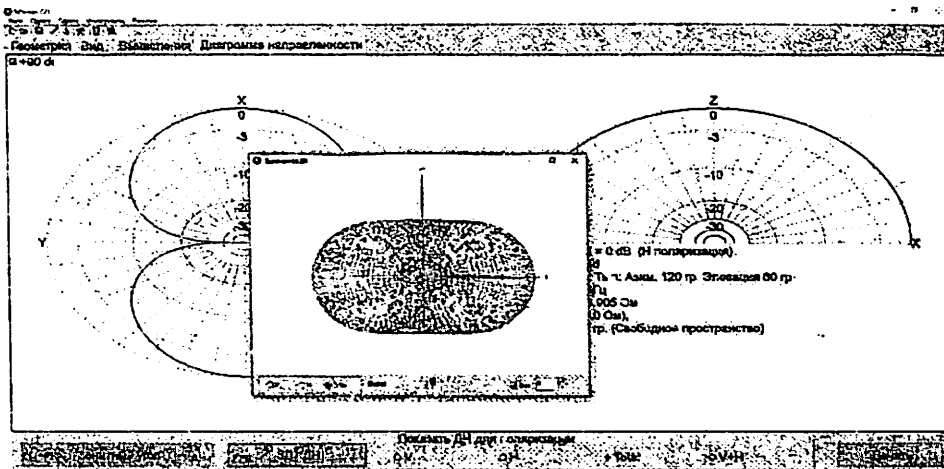


Рис. 4.11 Окно «Диаграмма направленности»

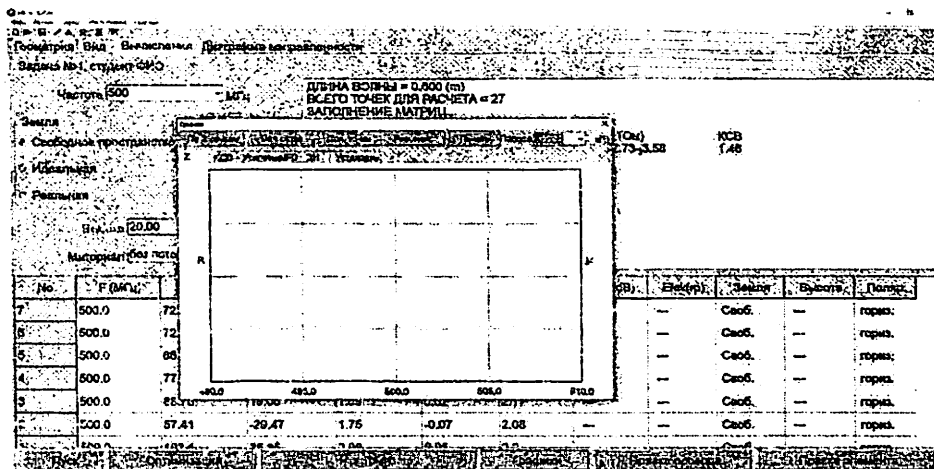


Рис. 4.12 Окно «Графики»

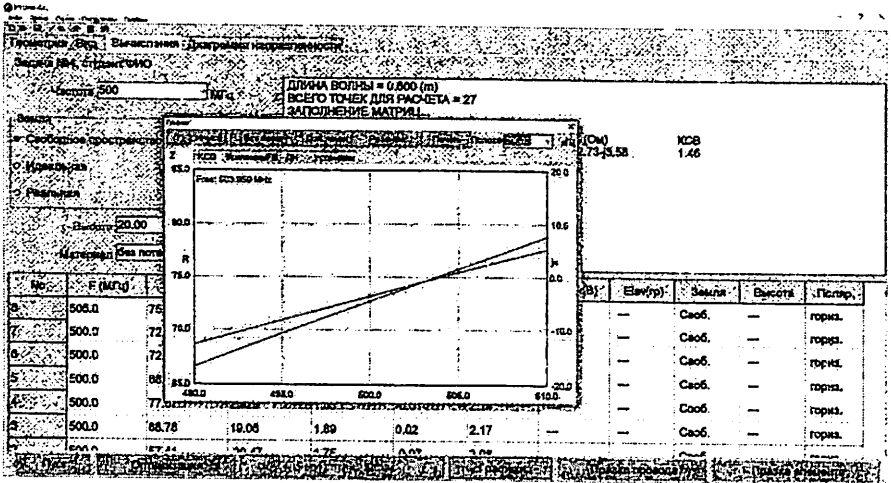


Рис. 4.13 Результаты расчета в окне «Графики»

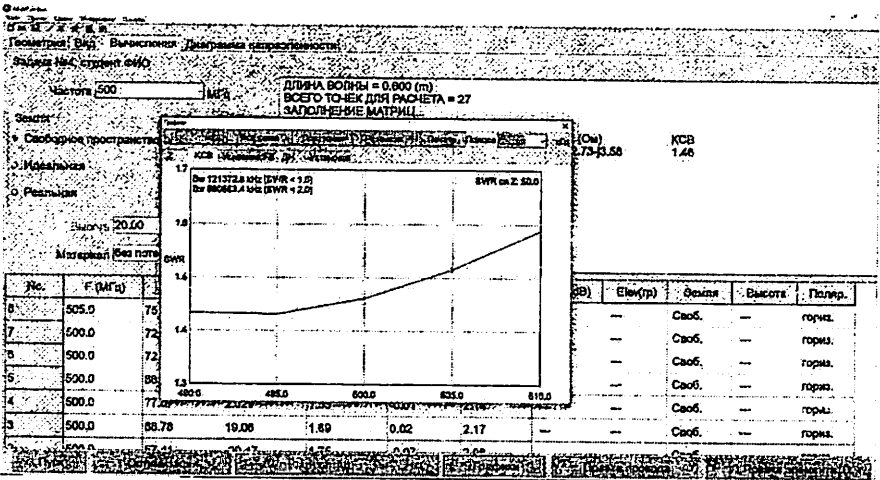


Рис. 4.14 Результаты расчета в окне «Графики»

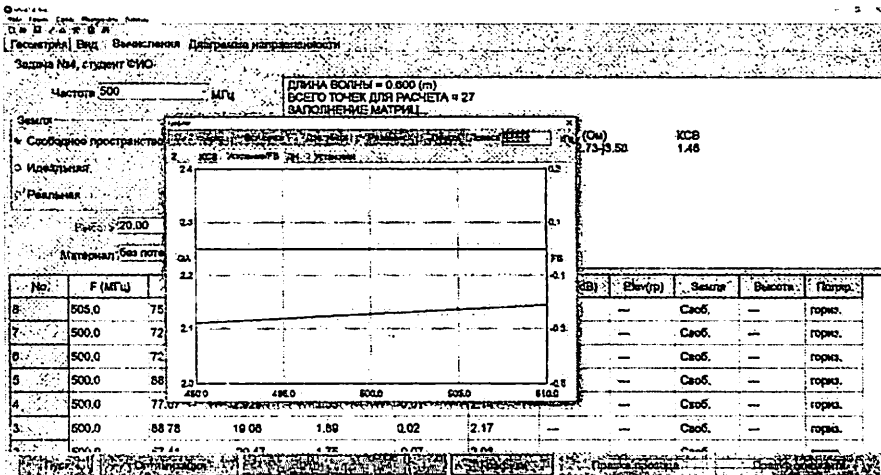


Рис. 4.15 Результаты расчета в окне «Графики»

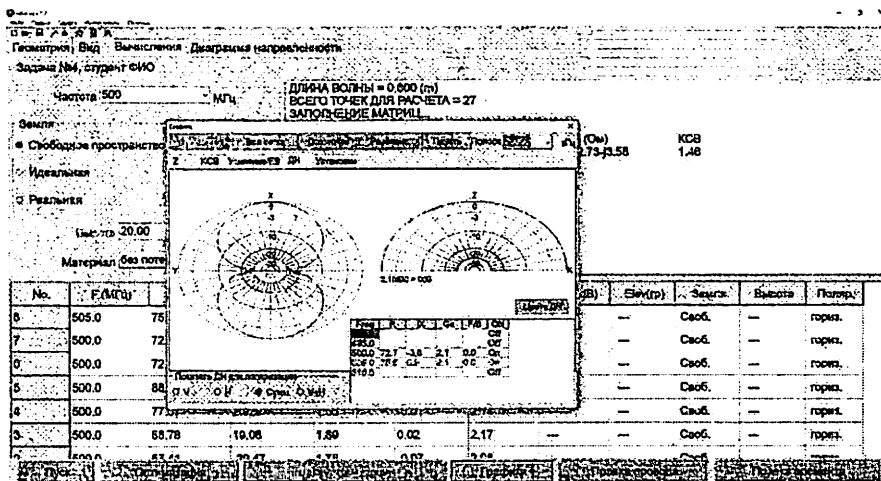


Рис. 4.16 Результаты расчета в окне «Графики»

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Методические указания к решению задачи №5

Для получения однонаправленного излучения или узких диаграмм направленности применяют антенны, состоящие из двух или нескольких симметричных вибраторов, расположенных на небольшом расстоянии (меньше λ) друг от друга. Такие вибраторы заметно влияют друг на друга, поэтому их называют связанными. Взаимодействие связанных вибраторов аналогично взаимодействию связанных колебательных контуров с сосредоточенными параметрами. Поле одного вибратора наводит в другом вибраторе некоторую ЭДС, что эквивалентно изменению сопротивления излучения или входного сопротивления вибратора. Поле, создаваемое системой вибраторов, является результатом сложения полей, создаваемых отдельными вибраторами, с учетом фаз этих полей, определяемых как разностью хода лучей, так и разностью фаз токов в излучателях.

В системе двух связанных вибраторов (рис. 5.1) формирование результирующего поля зависит от межэлементного расстояния, амплитуд токов в вибраторах, фазового сдвига между токами.

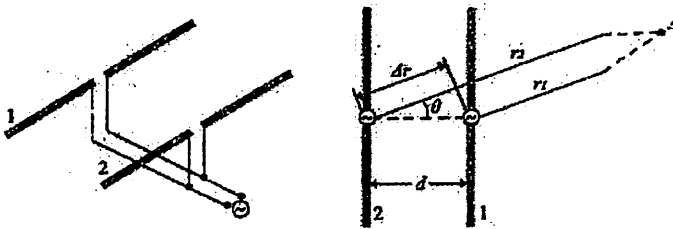


Рис. 5.1 Два связанных симметричных вибратора

Наибольшая направленность двух связанных вибраторов получается при относительном межэлементном расстоянии $d/\lambda = 0,25$, одинаковых амплитудах тока, фазовом сдвиге $\varphi = \pm 90^\circ$.

В задаче №5 требуется провести компьютерное моделирование двух связанных симметричных вибраторов с помощью программы MMANA.

Последовательность выполнения задачи следующая.

На первом этапе повторяется решение задачи №4 без расчета параметров вибратора в полосе рабочих частот.

На втором этапе к одиночному симметричному вибратору добавляется один симметричный вибратор такой же длины. Он должен быть пассивным, т.е. питание к нему не подается.

Для этого открыть окно «Правка провода», на требуемом расстоянии от первого вибратора установить второй вибратор (рис.5.2).

Открыть окно «Вычисления», запустить процесс моделирования (рис. 5.3). Получить его результаты. Главным критерием получения требуемого результата является высокие значения коэффициента усиления и коэффициента защитного действия (рис. 5.4), т.е. однонаправленное излучение (рис. 5.5). Если это условие не обеспечено, требуется повторно провести моделирование.

Для этого открыть окно «Правка провода», изменить расстояние между первым и вторым вибраторами.

Открыть окно «Вычисления», запустить процесс моделирования. Получить его результаты.

Провести несколько процедур моделирования, уменьшая или увеличивая межэлементные расстояния, до получения приемлемого результата.

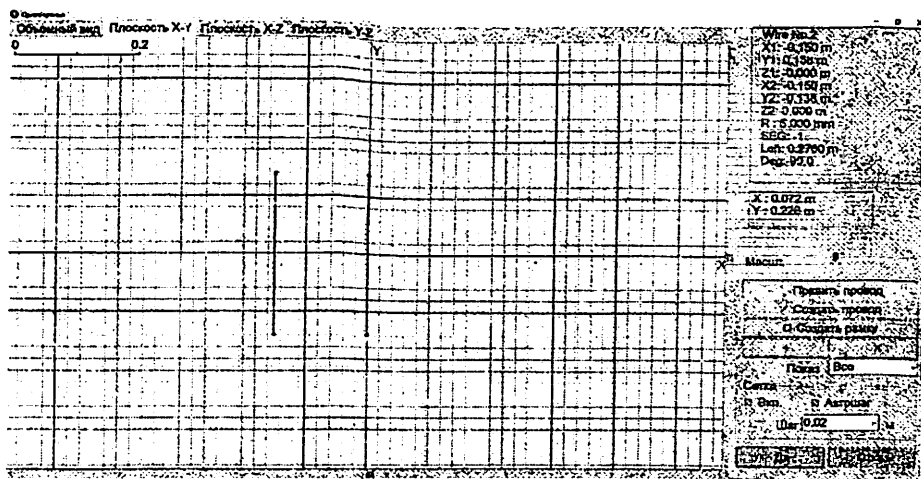


Рис. 5.2 Окно «Правка провода»

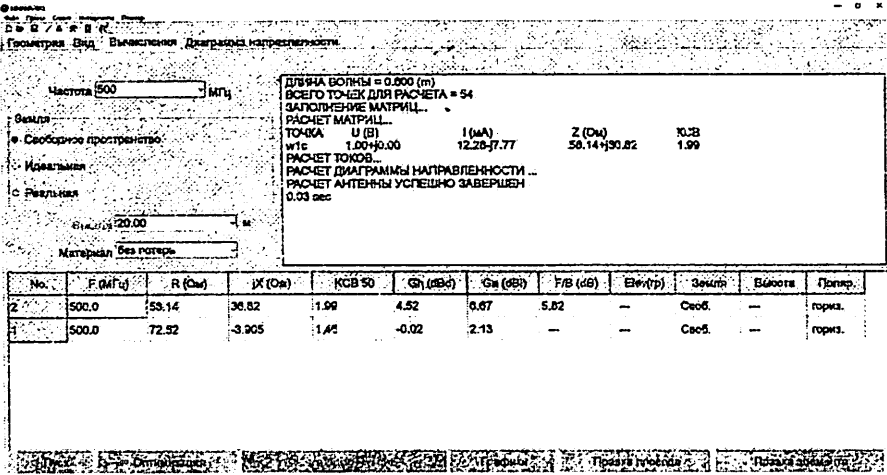


Рис. 5.3 Результаты расчета

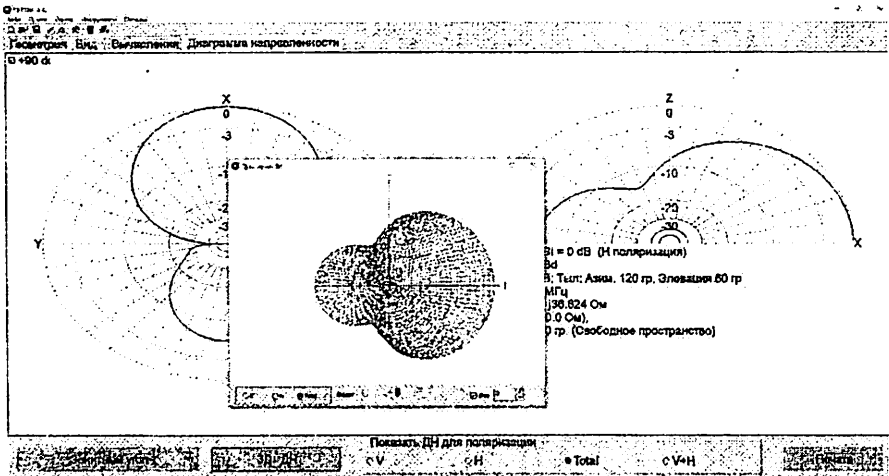


Рис. 5.4 Диаграмма направленности

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Методические указания к решению задачи №6

Директорная антенна состоит из траверсы (несущей), на которой закреплены параллельные друг другу вибраторы (рис. 6.1) Вибратор, к которому подводится питание, является активным. Его длина обычно берется $(0,47 \dots 0,48)\lambda$.

Сзади активного вибратора размещается один пассивный вибратор, выполняющий роль отражателя, являясь, таким образом, рефлектором. Его длина обычно берется $(0,5 \dots 0,52)\lambda$. Расстояние между активным вибратором и рефлектором берется $(0,15 \dots 0,25)\lambda$.

Перед активным вибратором размещаются один или несколько пассивных вибраторов, являющимися директорами. Их назначение – усиление электромагнитного поля. Длина директоров обычно берется $(0,4 \dots 0,45)\lambda$. Расстояние между активным вибратором и директором берется $(0,1 \dots 0,15)\lambda$.

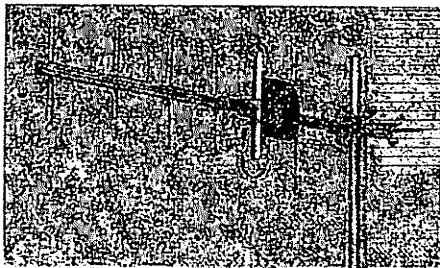


Рис. 6.1 Конструкция директорной антенны

Директорные антенны обладают высокими направленными свойствами, которые определяются числом директоров – чем их больше (но не более 15), тем выше коэффициент усиления.

Рефлектор определяет величину коэффициента защитного действия. Рефлектор устанавливается один, увеличение числа рефлекторов более одного не приводит к росту коэффициента защитного действия.

В задаче №6 требуется провести компьютерное моделирование трехэлементной директорной антенны с помощью программы MMANA.

Последовательность выполнения задачи следующая.

На первом этапе повторяется решение задачи №5.

На втором этапе к двум связанным вибраторам добавляется один симметричный вибратор с несколько меньшей длиной.

Для этого открыть окно «Правка провода», на требуемом расстоянии от активного вибратора установить третий вибратор (рис. 6.2).

Открыть окно «Вычисления», запустить процесс моделирования. Получить его результаты (рис. 6.3). Главным критерием получения требуемого результата

является высокие значения коэффициента усиления. Если это условие не обеспечено, требуется повторно провести моделирование.

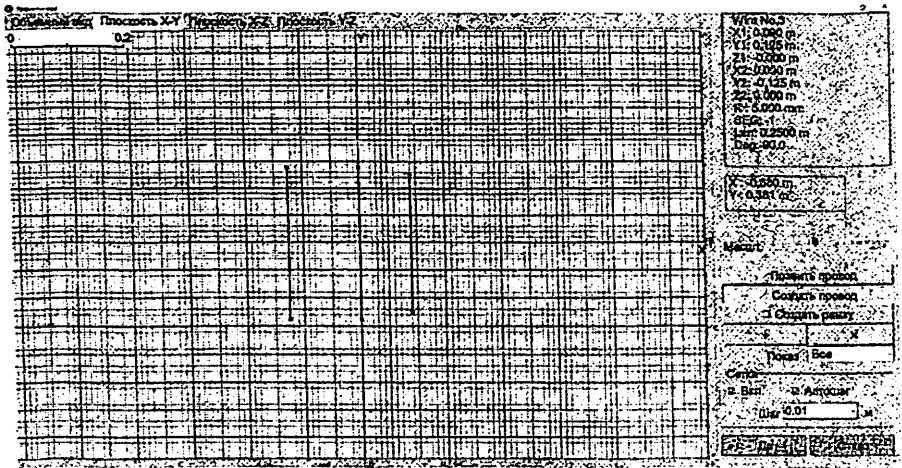


Рис. 6.2 Окно «Правка провода»

№	F (МГц)	R (Ом)	R (Ом)	КСВ 60	Ga (дБ)	Ga (дБ)	F/В (дБ)	E1e(μV)	Усилен	Высота	Полоса
1	500.0	23.7	0.197	2.11	8.03	8.18	14.13	—	Своб.	—	гориз.
2	500.0	23.7	0.197	2.11	8.03	8.18	14.13	—	Своб.	—	гориз.
3	500.0	4.099	25.77	15.5	9.02	9.37	-0.1	—	Своб.	—	гориз.
4	500.0	58.14	39.82	1.69	4.52	8.87	5.82	—	Своб.	—	гориз.
5	500.0	72.62	-3.905	1.46	-0.02	2.13	—	—	Своб.	—	гориз.
6	500.0	58.14	39.82	1.69	4.52	8.87	5.82	—	Своб.	—	гориз.

Рис. 6.3 Результаты вычисления

Для этого открыть окно «Правка провода», изменить расстояние между активным и третьим вибраторами. Также рекомендуется изменить длину третьего вибратора.

Открыть окно «Вычисления», запустить процесс моделирования. Получить его результаты, проанализировав форму диаграммы направленности антенны (рис. 6.4).

Провести несколько процедур моделирования, уменьшая или увеличивая межэлементные расстояния, до получения приемлемого результата.

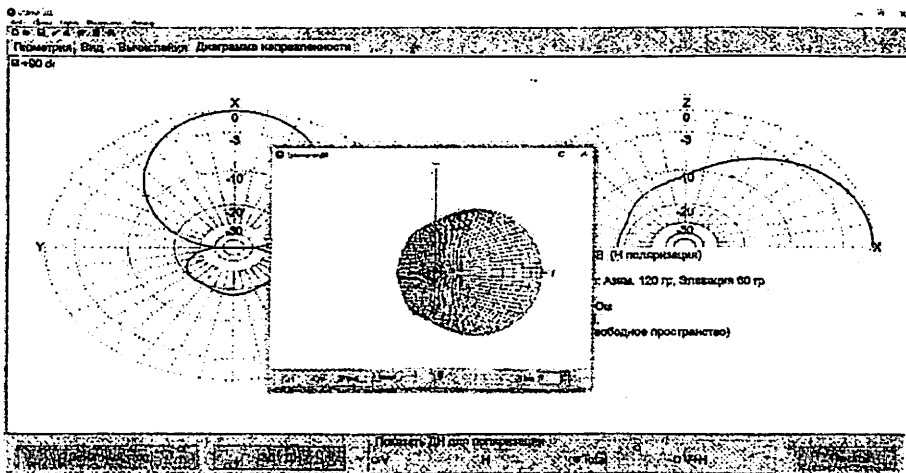


Рис. 6.4 Диаграмма направленности

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Методические указания к решению задачи №7

Логопериодическая антенна относится к классу сверхширокополосных антенн с логарифмической периодичностью параметров в зависимости от частоты. Она образована собирательной линией в виде двух труб круглого, прямоугольного или квадратного сечений, расположенных одна над другой, к которым крепятся плечи вибраторов поочередно через один (рис. 7.1). Вибраторы могут быть плоской или цилиндрической формы, чаще всего изготавливаются из алюминия для облегчения конструкции антенны.

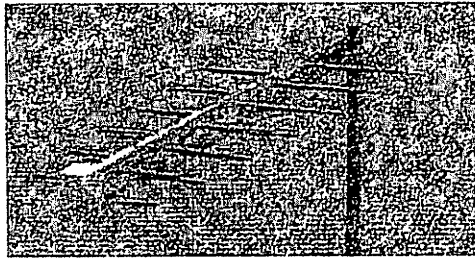


Рис. 7.1 Логопериодическая антенна

Вибраторы логопериодической антенны возбуждаются собирательной линией, к которой со стороны коротких вибраторов подключается коаксиальный фидер. Фидер прокладывается внутри одной из собирательной линии, таким образом, центральный проводник фидера подключается к началу одной собирательной линии, а его экран подключается к началу другой. Подобная конструкция антенны очень удобна, так как не требует применения специального симметрирующего устройства.

Собирательная линия не заканчивается на длинных вибраторах, а продолжается на некоторое расстояние, в конце которого установлен короткозамыкатель, образуя, таким образом, короткозамыкающий шлейф.

Принцип работы антенны основан на электромагнитном подобии, когда размеры излучателей сопоставляются с рабочей длиной волны.

На определенной частоте активно излучают три (максимум пять) вибраторов, остальные в работе антенны не участвуют, поскольку обладают высоким реактивным сопротивлением. Зона, в пределах которой находятся излучающие элементы, называется активной.

При изменении частоты зона смещается – при увеличении частоты в сторону коротких вибраторов, при ее уменьшении в сторону длинных. Таким образом, в работе всегда участвуют не более трех-пяти вибраторов.

Максимум излучения логопериодической антенны ориентирован вдоль собирающей линии в сторону коротких вибраторов и представляет собой один главный лепесток диаграммы направленности.

У логопериодических антенн имеется излучение в обратном направлении, при этом коэффициент защитного действия может достигать довольно больших значений.

В задаче №7 требуется провести расчет и компьютерное моделирование логопериодической антенны с помощью программы MMANA.

Задача решается в два этапа.

На первом этапе с помощью программы расчета конструкции антенны определяются следующие параметры:

- количество вибраторов;
- размеры вибраторов;
- расстояние между вибраторами.

Окно программы показано на рисунке 7.2.

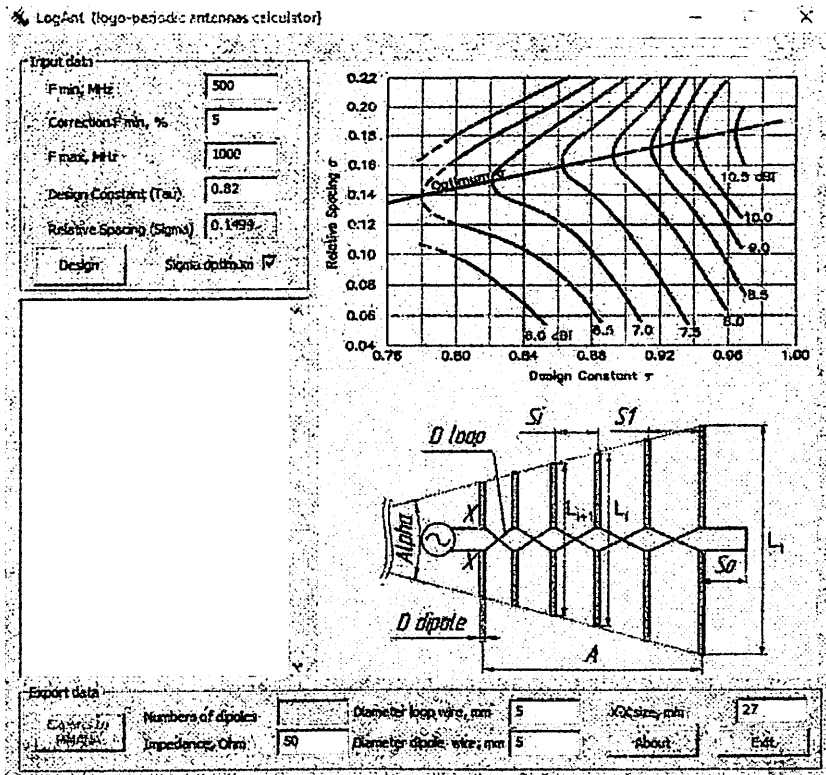


Рис. 7.2 Окно программы расчета логопериодической антенны

Для расчета необходимо задать требуемый коэффициент усиления и полосу рабочих частот. С помощью графика по значению коэффициента усиления необходимо определить величину периода структуры антенны, которая вводится в программу. Далее запускается программа расчета.

Результаты расчета антенны следует экспортировать в программу MMANA (рис. 7.3). Для этого необходимо активировать кнопку «Exports to MMANA». В результате будет создан файл расчета антенны, который необходимо открыть с помощью программы MMANA для дальнейшего её моделирования.

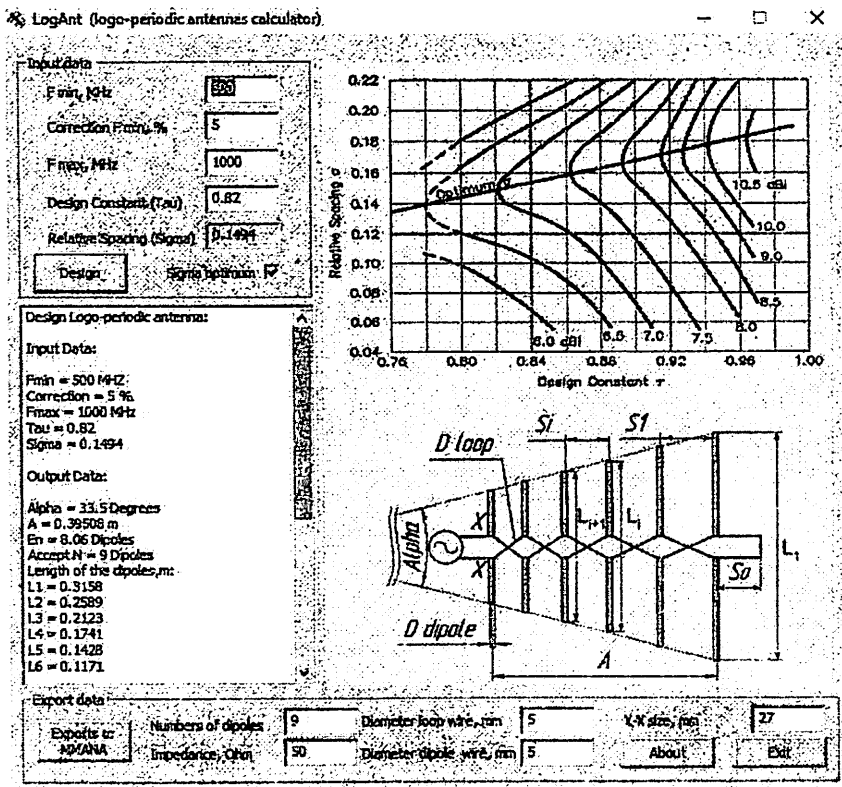


Рис. 7.3 Результаты расчета логопериодической антенны

На втором этапе проводится моделирование рассчитанной логопериодической антенны (рис. 7.4) с получением всех её основных параметров (рис. 7.5-7.6). С помощью окна «Графики» необходимо провести

исследование антенны в заданной полосе частот для определения её диапазонных свойств (рис. 7.7-7.10).

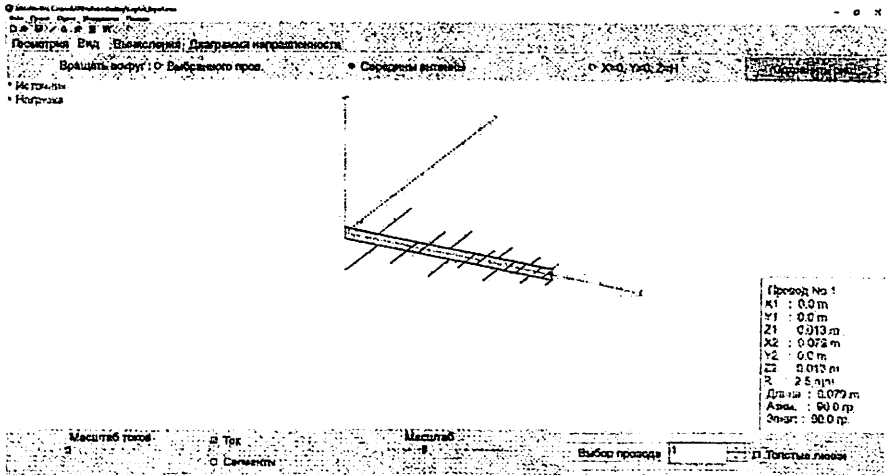


Рис. 7.4 Модель логопериодической антенны

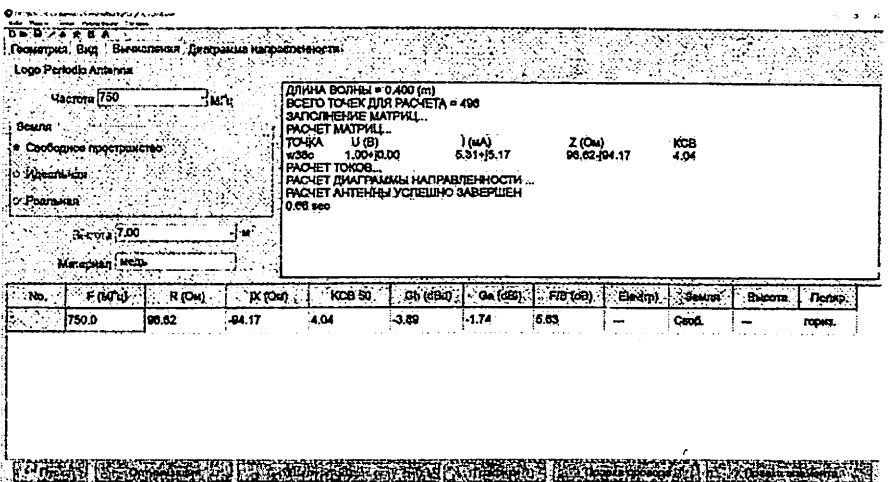


Рис. 7.5 Результаты моделирования логопериодической антенны

Для расчета необходимо задать требуемый коэффициент усиления и полосу рабочих частот. С помощью графика по значению коэффициента усиления необходимо определить величину периода структуры антенны, которая вводится в программу. Далее запускается программа расчета.

Результаты расчета антенны следует экспортировать в программу MMANA (рис. 7.3). Для этого необходимо активировать кнопку «Exports to MMANA». В результате будет создан файл расчета антенны, который необходимо открыть с помощью программы MMANA для дальнейшего её моделирования.

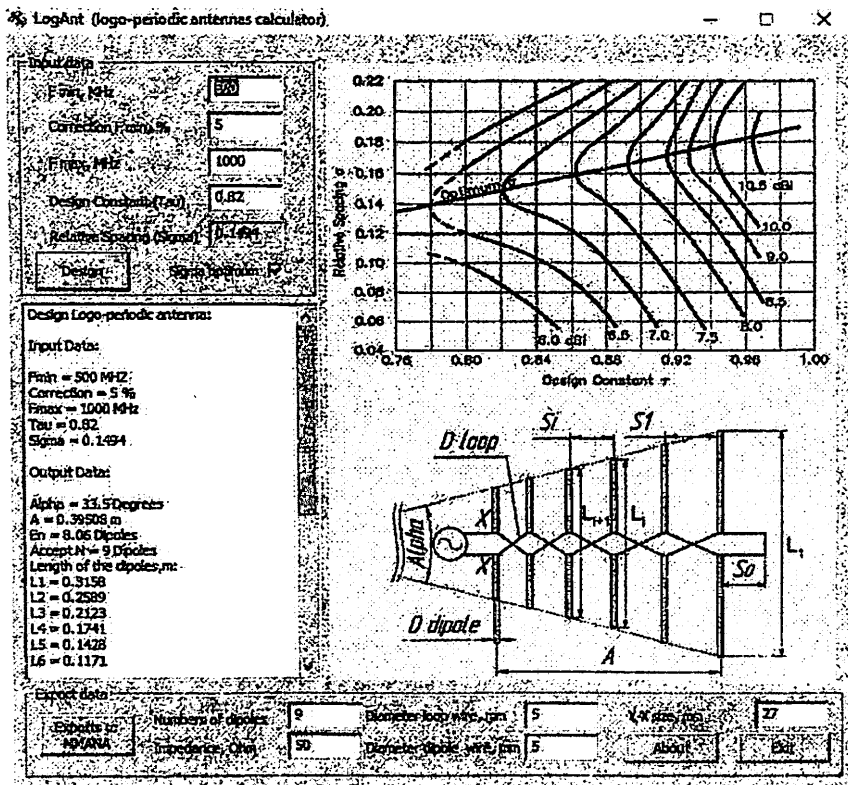


Рис. 7.3 Результаты расчета логопериодической антенны

На втором этапе проводится моделирование рассчитанной логопериодической антенны (рис. 7.4) с получением всех её основных параметров (рис. 7.5-7.6). С помощью окна «Графики» необходимо провести

ИССЛЕДОВАНИЕ антенны в заданной полосе частот для определения её диапазонных свойств (рис. 7.7-7.10).

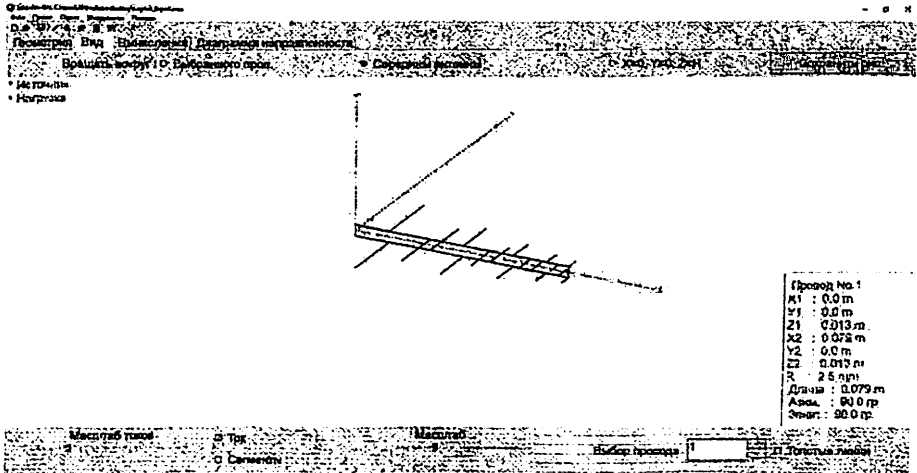


Рис. 7.4 Модель логопериодической антенны

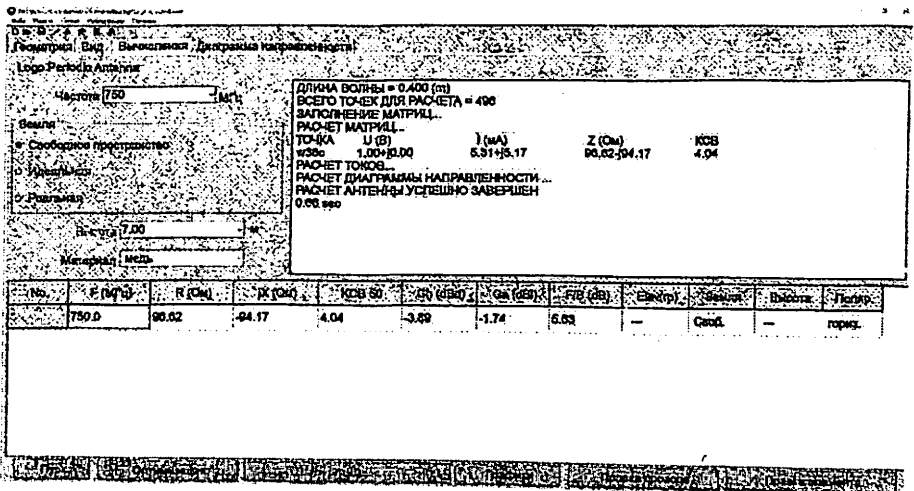


Рис. 7.5 Результаты моделирования логопериодической антенны

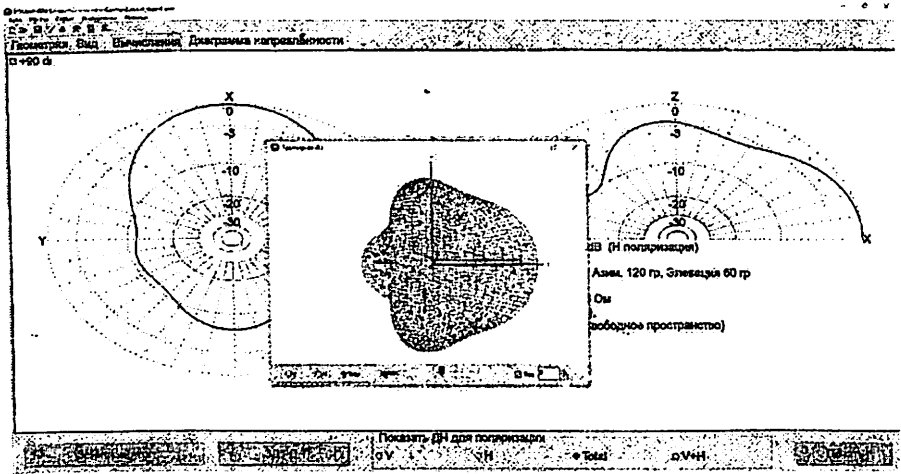


Рис. 7.6 Диаграмма направленности логопериодической антенны

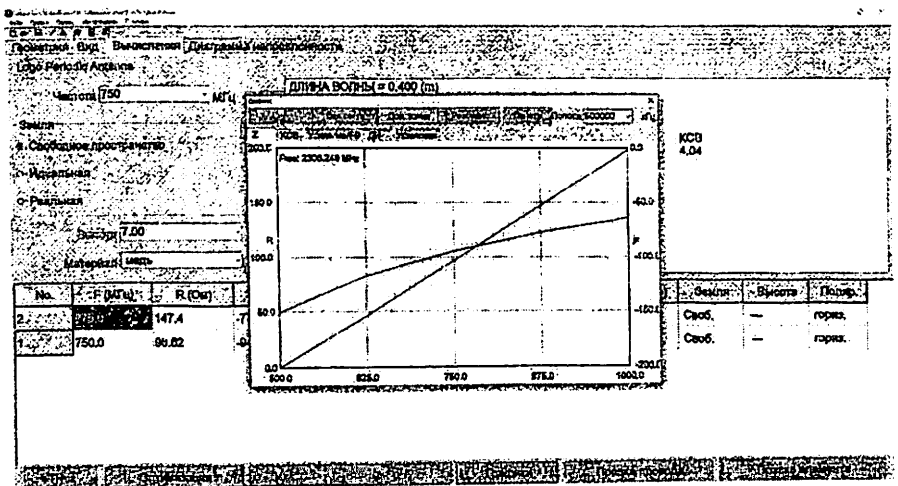


Рис. 7.7 Результаты расчета в окне «Графики»

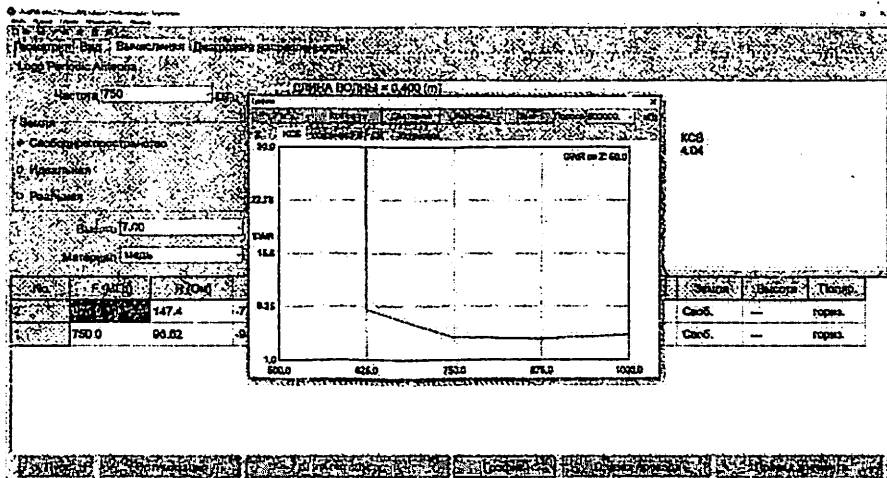


Рис. 7.8 Результаты расчета в окне «Графики»

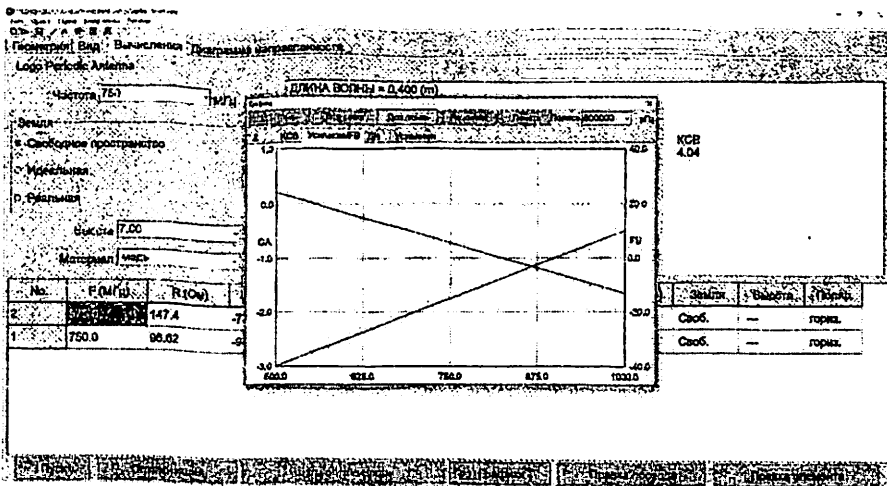


Рис. 7.9 Результаты расчета в окне «Графики»

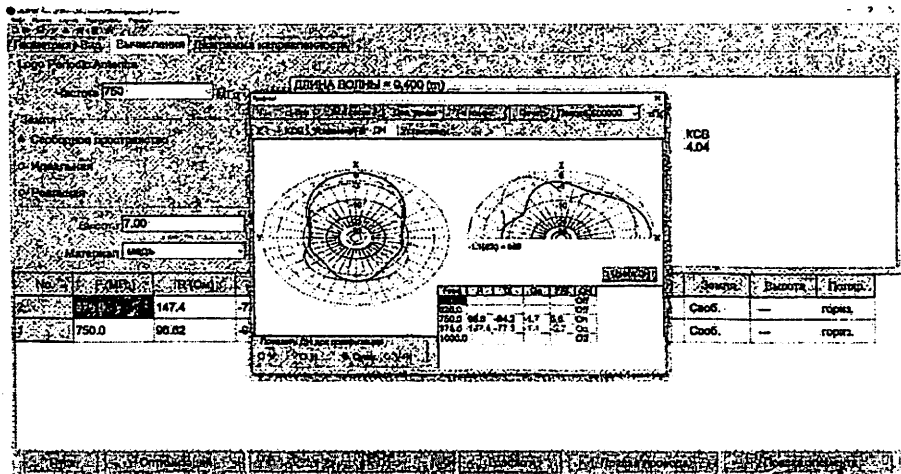


Рис. 7.10 Результаты расчета в окне «Графика»

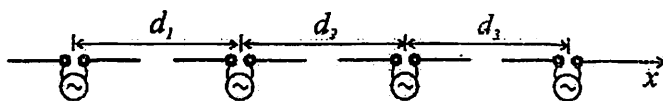
ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Методические указания к решению задачи №8

Основным типом антенн, используемых в системах наземного эфирного телевидения и мобильной связи, являются панельные антенны. Они представляют собой линейные, либо плоские антенные решетки, состоящие из однотипных излучающих элементов.

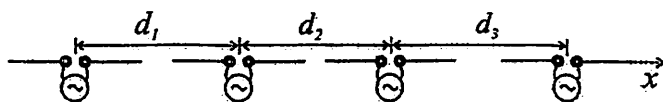
Чаще всего в качестве этих элементов используются симметричные вибраторы (цилиндрические, плоские, веерообразные), иногда встречаются конструкции, представляющие собой систему из нескольких симметричных вибраторов.

Простейшими являются линейные антенные решетки, в которых излучающие элементы располагаются вдоль прямой, называемой осью решетки. Из них выделяются два типа решеток: эквидистантные (рис. 8.1, а), представляющие собой линейную решетку с одинаковыми расстояниями d (шагом решетки) между соседними излучающими элементами, и неэквидистантные (рис. 8.2, б), представляющие собой линейную решетку с неодинаковым расстоянием между соседними излучающими элементами.



$$d_1 = d_2 = d_3$$

а)



$$d_1 \neq d_2 \neq d_3$$

б)

Рис.8.1 Линейные антенные решетки:

а - эквидистантная; б - неэквидистантная.

Направленные свойства линейной антенной решетки зависят от:

- числа элементов;
- расстояния между элементами;
- амплитуд токов в элементах решетки;
- фазового распределения токов на элементах решетки.

В случае синфазного распределения токов на элементах решетки главный лепесток диаграммы направленности направлен перпендикулярно её оси. При введении фазового сдвига между токами главный лепесток поворачивается в сторону отставания фазы.

В задаче №8 требуется провести компьютерное моделирование линейной эквидистантной антенной решетки с помощью программы MMANA.

Последовательность выполнения задания следующая.

Активировать программу MMANA на компьютере.

В окне «Геометрия» задать частоту для исследований синфазной линейной антенной решетки (рис. 8.2).

В окне «Вычисления» задать тип окружающей среды и материал, из которого изготовлены элементы решетки (рис. 8.3).

С помощью кнопки «Правка провода» перейти в соответствующую вкладку для построения модели решетки (рис. 8.4). Изобразить синфазную линейную антенную решетку в определенной плоскости, задав в программе ее геометрические размеры – длину плеч (определяется, исходя из рабочей длины волны и относительной длины вибратора), диаметр проводников, относительное расстояние между вибраторами.

Вернувшись в окно «Геометрия», задать источники возбуждения вибраторов (рис. 8.5).

Зайдя в окно «Вычисления» нажать кнопку «Пуск», получить результаты моделирования (рис. 8.6).

Зайдя в окно «Диаграмма направленности» (рис. 8.7), проанализировать рассчитанные диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях и в трехмерном пространстве. Определить по полученным графикам ширину главного лепестка диаграммы направленности по нулевой и половинной мощностям.

Зайдя в окно «Вид», проанализировать характер распределения токов по плечам вибраторов (рис. 8.8).

В окне «Вычисления», нажав кнопку «Графики», провести исследования антенной решетки в заданной полосе частот для КСВ, КУ, КЗД (рис. 8.9-8.11).

По результатам моделирования сделать выводы об эффективности работы синфазной линейной антенной решетки.

В окне «Геометрия» ввести фазовый сдвиг между токами в элементах решетки (рис. 8.12). Провести повторное моделирование линейной фазированной антенной решетки. В окне «Диаграмма направленности» получить диаграмму направленности линейной фазированной антенной решетки (рис. 8.13).

Провести сравнительный анализ результатов моделирования рассмотренных вариантов линейной антенной решетки.

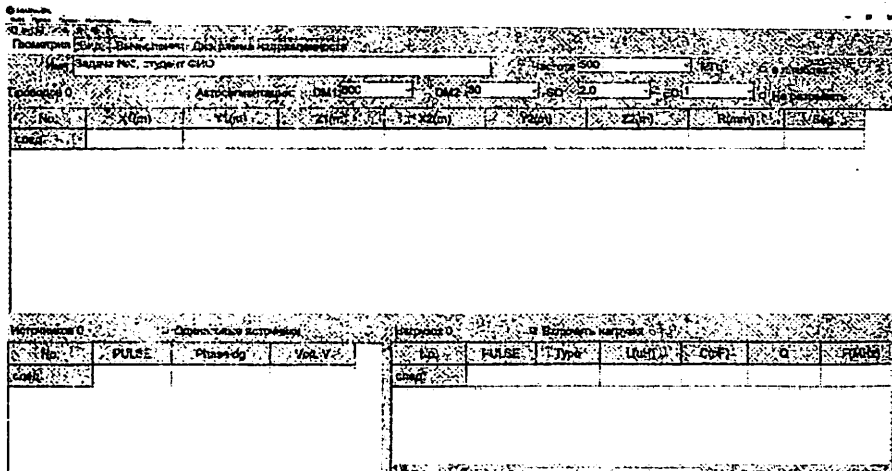


Рис. 8.2 Окно «Геометрия»

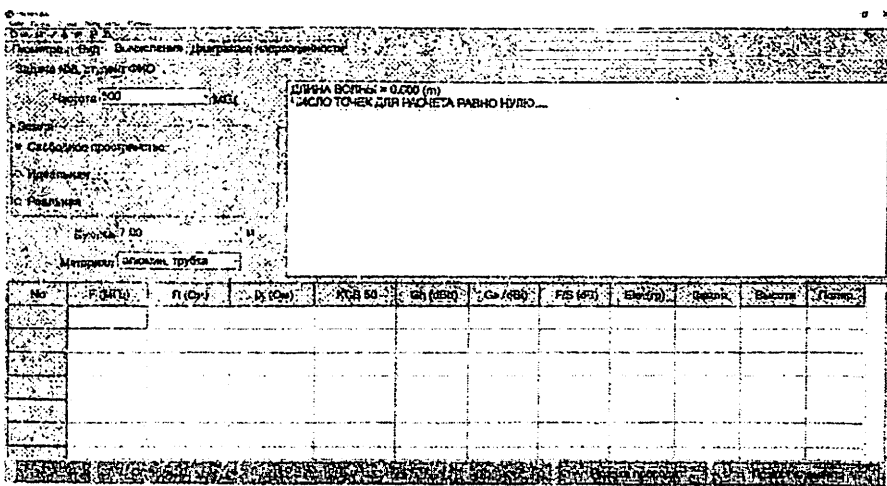


Рис. 8.3 Окно «Вычисления»

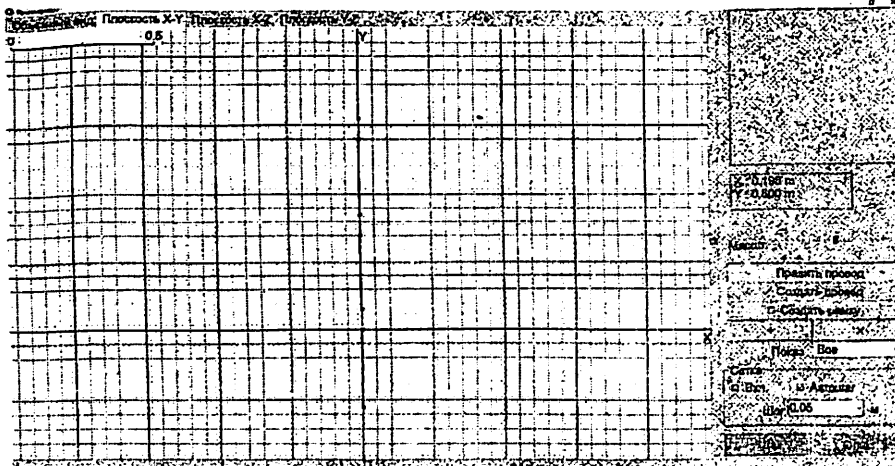


Рис. 8.4 Окно «Правка провода»

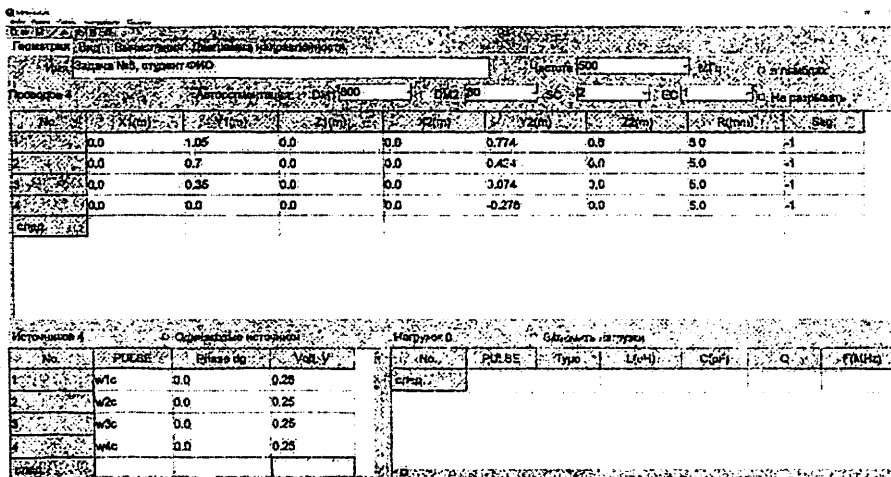


Рис. 8.5 Окно «Геометрия»

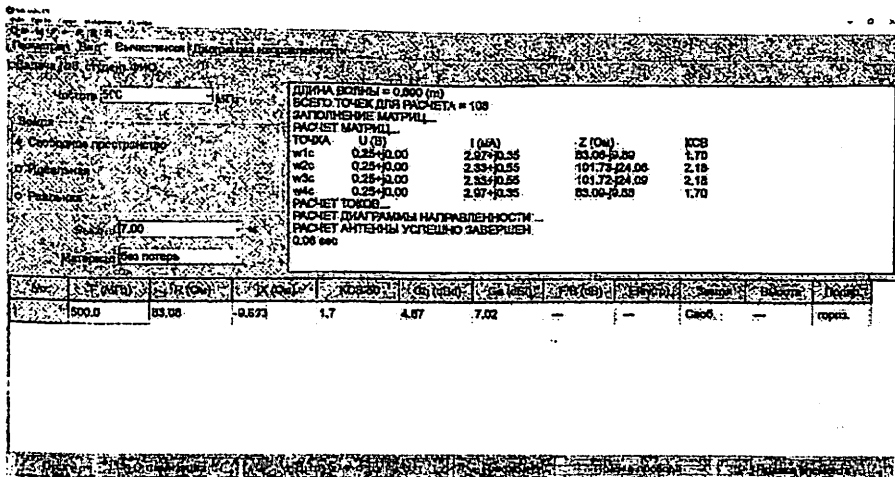


Рис. 8.6 Окно «Вычисления»

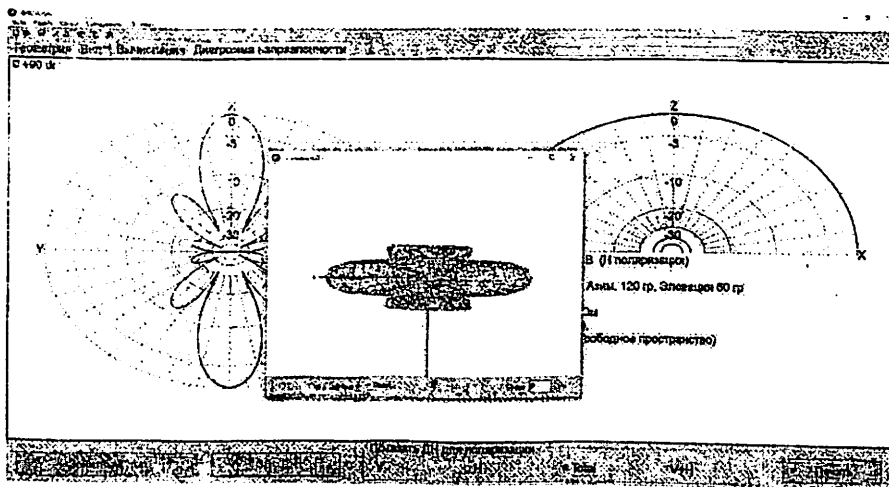


Рис. 8.7 Окно «Диаграмма направленности»

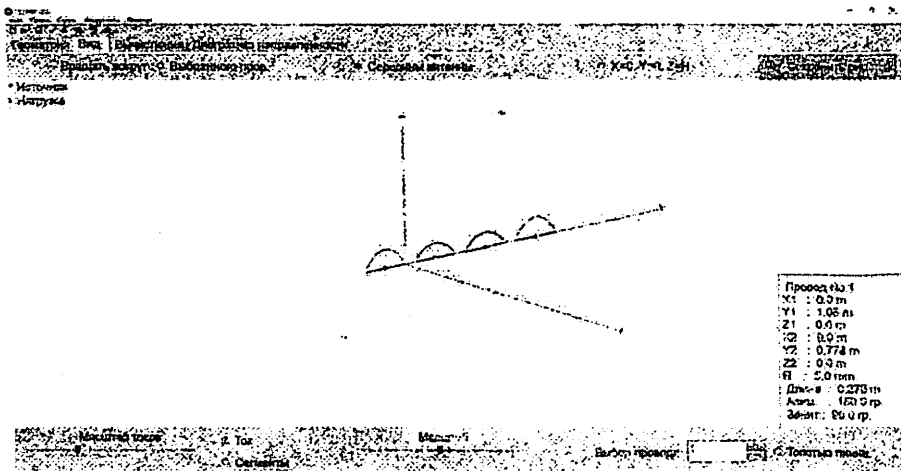


Рис. 8.8 Окно «Вид»

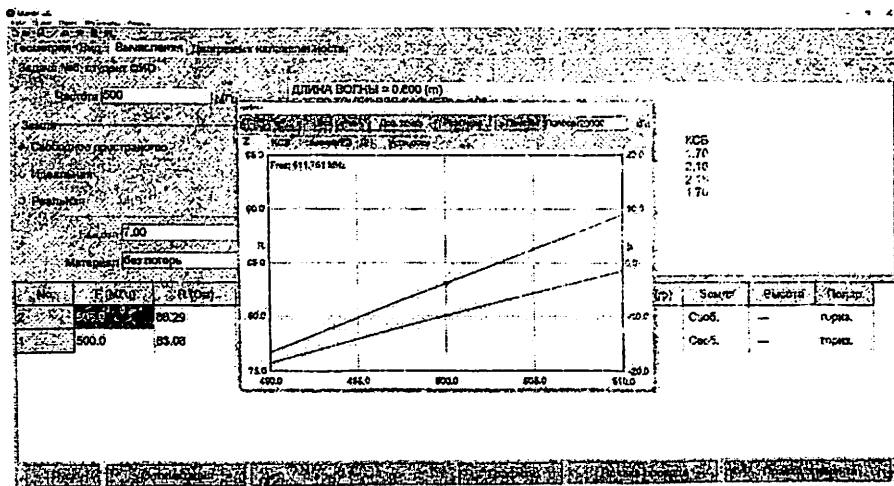


Рис. 8.9 Результаты расчета в окне «Графики»

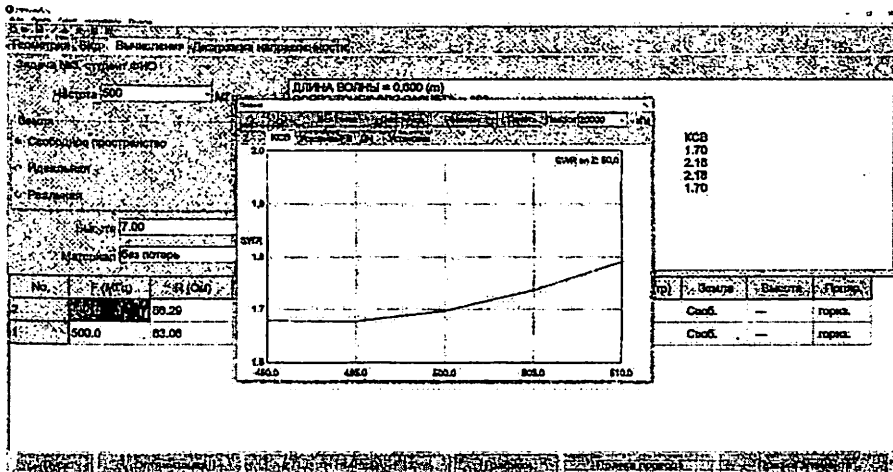


Рис. 8.10 Результаты расчета в окне «Графики»

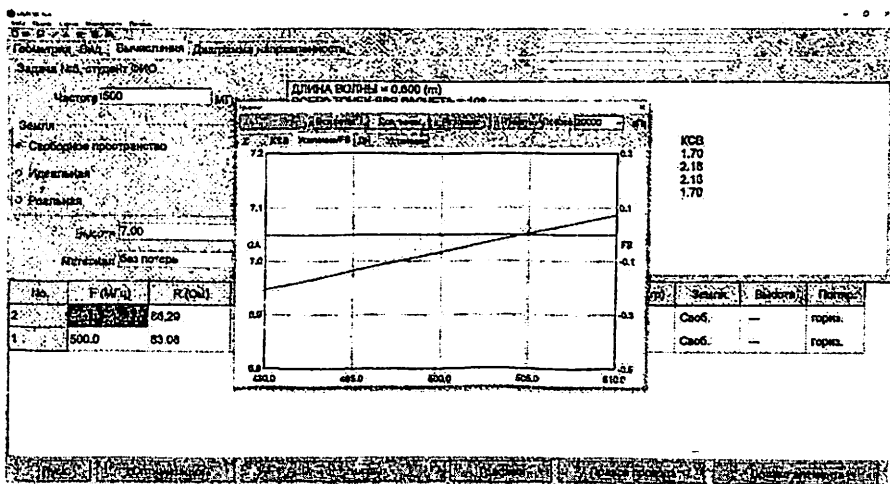


Рис. 8.11 Результаты расчета в окне «Графики»

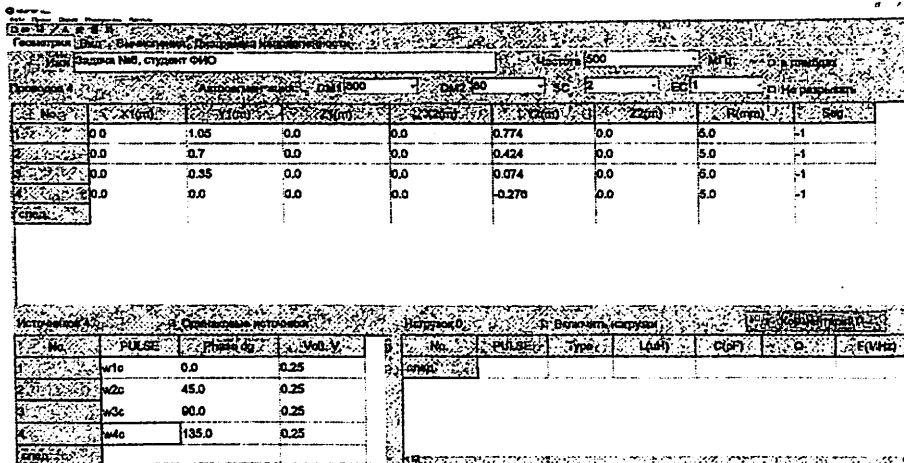


Рис. 8.12 Окно «Геометрия»

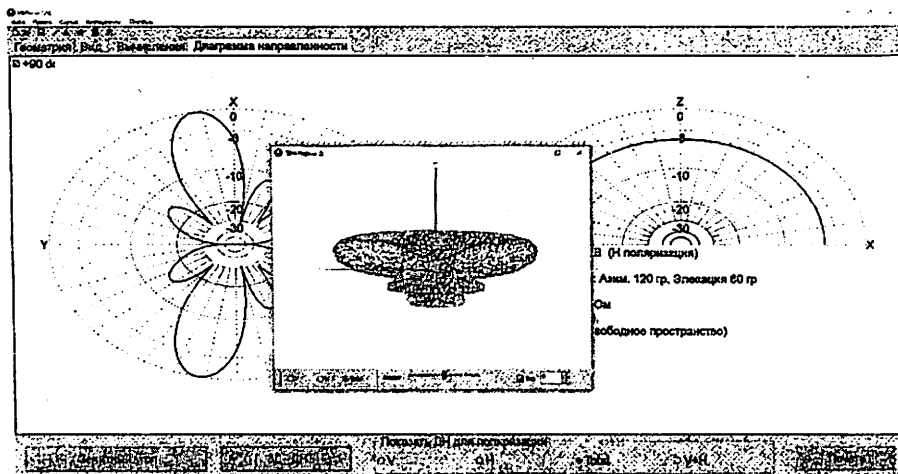


Рис. 8.13 Окно «Диаграмма направленности»

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Методические указания к решению задачи №9

Для увеличения направленных свойств панельной антенны, состоящей из одной линейной антенной решетки, следует увеличивать число ее элементов, при этом происходит сужение главного лепестка диаграммы направленности только в вертикальной плоскости (плоскость вектора E).

Для сужения главного лепестка диаграммы направленности (изменения сектора излучения) и в горизонтальной плоскости (плоскость вектора H) необходимо увеличивать число линейных антенных решеток. Таким образом, производится переход от линейной структуры к плоской (рис.9.1). Плоские решетки состоят из N_2 рядов излучателей, а каждый ряд состоит из N_1 излучателей. Таким образом, общее количество излучателей в решетке составляет $N = N_1 \cdot N_2$.

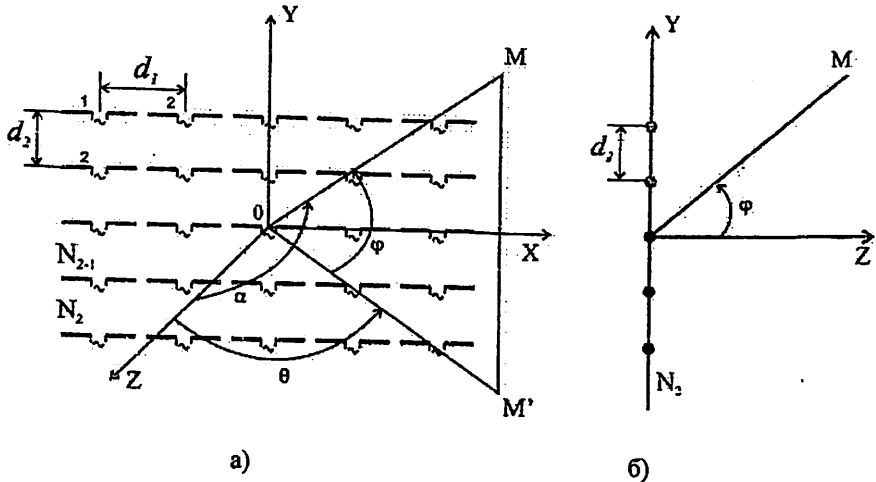


Рис.9.1 Плоская антенная решетка: а - в плоскости YOZ (плоскость вектора E), б - YOZ (плоскость вектора H)

В задаче №9 требуется провести компьютерное моделирование плоской антенной решетки с помощью программы MMANA.

Последовательность выполнения задания следующая.

Активировать программу MMANA на компьютере.

В окне «Геометрия» задать частоту для исследований плоской антенной решетки (рис. 9.2).

В окне «Вычисления» задать тип окружающей среды и материал, из которого изготовлены элементы решетки (рис. 9.3).

С помощью кнопки «Правка провода» перейти в соответствующее окно для построения модели решетки.

Изобразить плоскую антенную решетку в определенной плоскости, задав в программе ее геометрические размеры – длину вибраторов (определяется, исходя из рабочей длины волны и относительной длины вибратора), диаметр проводников, относительное расстояние между вибраторами, относительное расстояние между линейными решетками (рис. 9.4).

Вернувшись в окно «Геометрия», задать источники возбуждения вибраторов (рис. 9.5).

Зайдя в окно «Вычисления», нажать кнопку «Пуск», получить результаты моделирования (рис. 9.6). Нажав кнопку «Графики», проанализировать рассчитанные диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях (рис. 9.7-9.8). Определить по полученным графикам ширину главного лепестка диаграммы направленности по нулевой и половинной мощностям.

Зайдя в окно «Вид», проанализировать характер распределения токов по плечам вибраторов (рис. 9.9).

В окне «Вычисления», нажав кнопку «Графики», провести исследования антенной решетки в заданной полосе частот для КСВ, КУ, КЗД (рис. 9.10-9.12).

По результатам моделирования сделать выводы об эффективности работы плоской антенной решетки.

Оформление: Вид: Вычисления: Диаграмма направленности

Имя: Частота: МГц в диапазоне

Проводник: Автоидентификация: D1: D2: S: E: Не рассчитывать

№	X1[m]	Y1[m]	Z1[m]	X2[m]	Y2[m]	Z2[m]	R[mm]	Объ.
1								

Источники: Структурный источник: Вибратор: Вибраторы:

№	PULSE	Phase deg	Vol V	№	PULSE	Type	Len	Clarity	Q	R[MHz]
1										

Рис. 9.2 Окно «Геометрия»

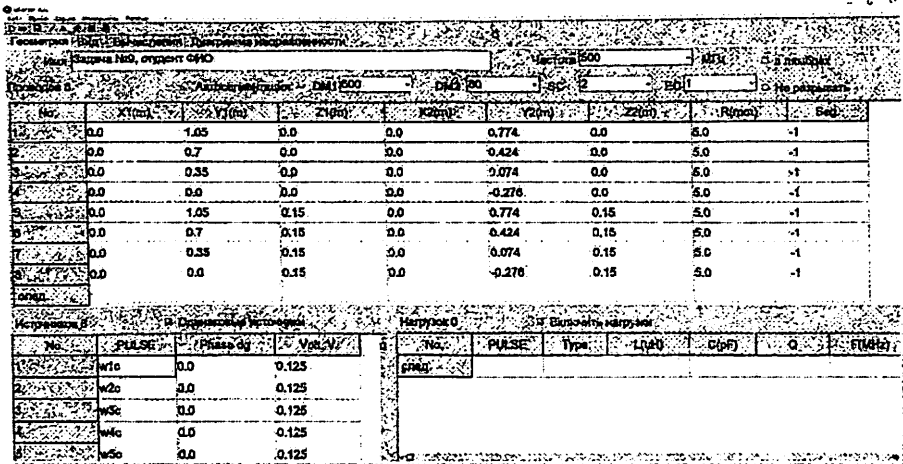


Рис. 9.5 Окно «Геометрия»

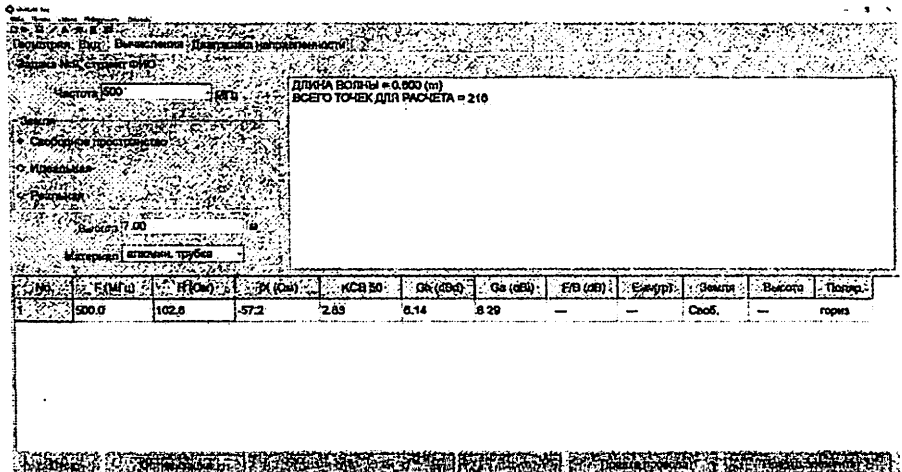


Рис. 9.6 Окно «Вычисления»

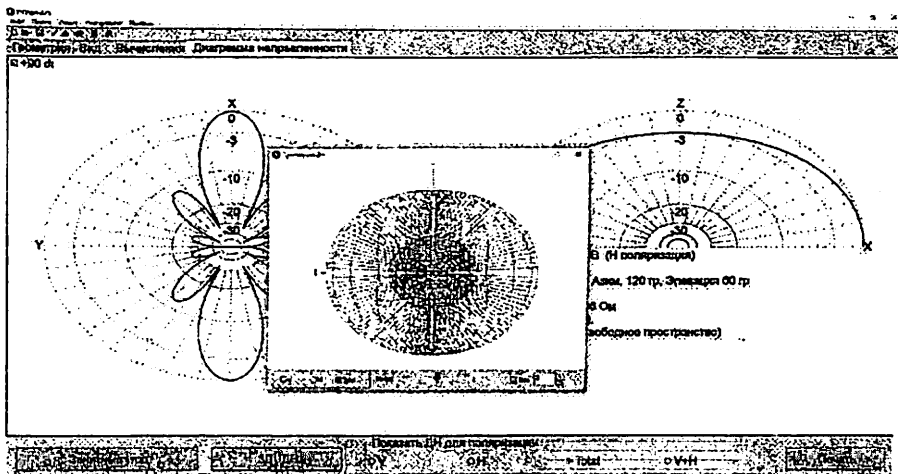


Рис. 9.7 Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости

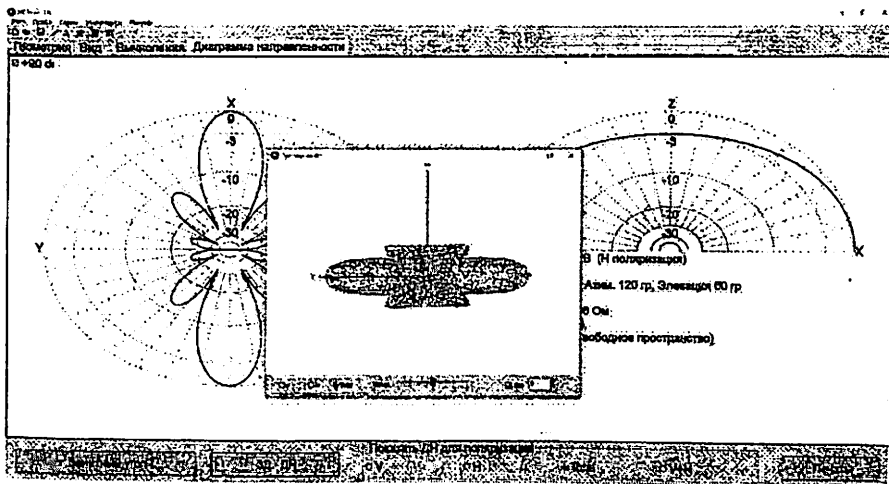


Рис. 9.8 Диаграмма направленности в вертикальной плоскости

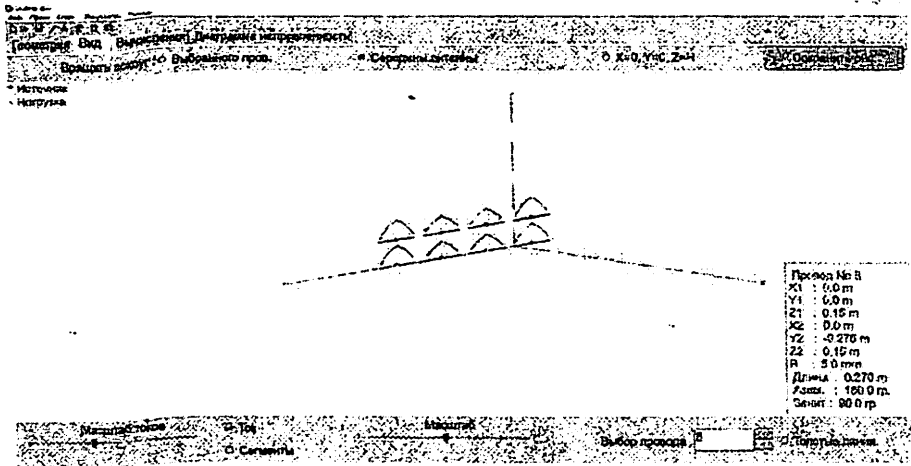


Рис. 9.9 Окно «Вид»

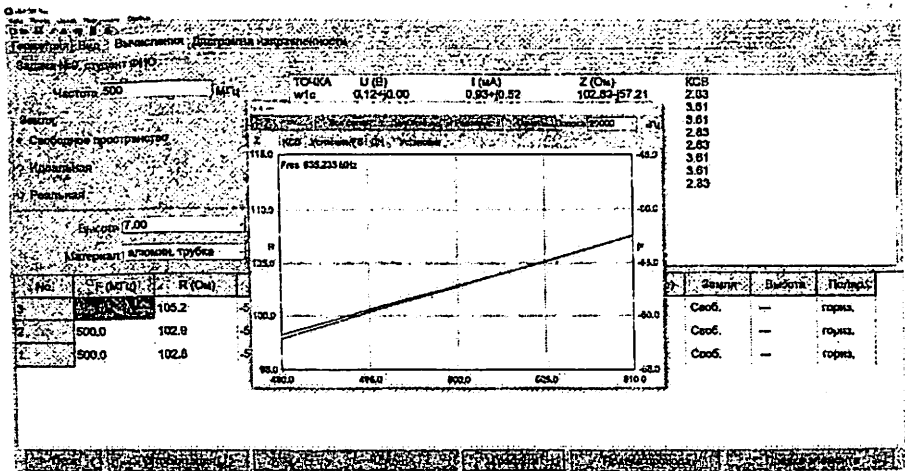


Рис. 9.10 Результаты расчета в окне «Графика»

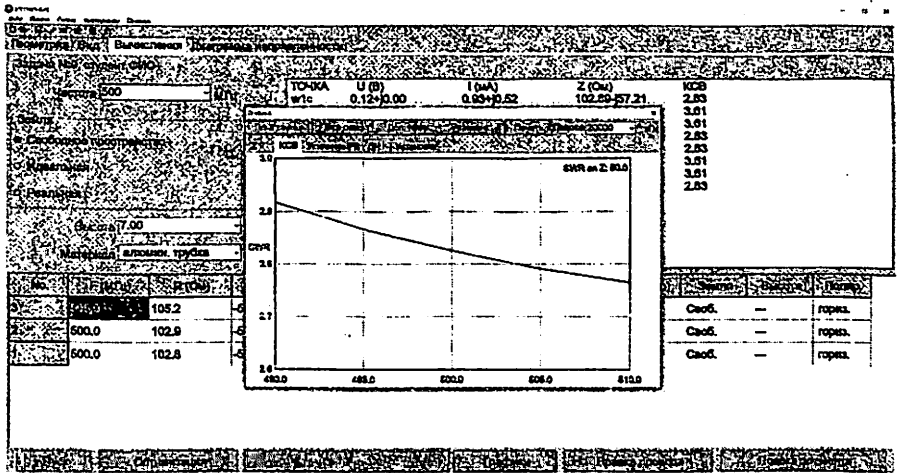


Рис. 9.10 Результаты расчета в окне «Графики»

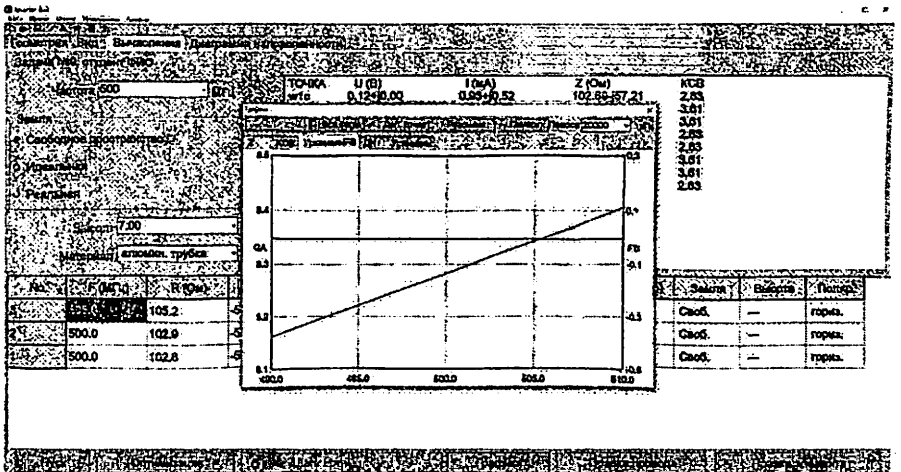


Рис. 9.11 Результаты расчета в окне «Графики»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ
ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«АНТЕННЫ И РАДИОВЕЩАНИЕ»**

**Рассмотрено на заседании кафедры СТРВ
20.05.2022 г. (протокол № ___) и
рекомендовано к печати.**

**Рассмотрено на Научно-методическом Совете
ФР и МС 23.05.2022 г. (протокол № ___) и
рекомендовано к печати.**

Составитель доц. Губенко В.А.

Отв. редактор доц. Арипова У.Х.

Заказ № Печать

Тираж Количество

Формат 60x84 1/16. Печ. лист 395.
Заказ № 154. Тираж 30.
Отпечатано в «Редакционно издательском»
отделе при ТУИТ.
Ташкент ул. Амир Темур, 108.