



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Институт: ИВТИ

Кафедра: ПМИИ

Направление подготовки:

01.03.02 Прикладная математика и
информатика

ОТЧЕТ по практике

Наименование практики:

Производственная практика: технологическая
(проектно-технологическая) практика

Студент

(Подпись)

Желтиков А.А.

(Фамилия и инициалы)

Группа

А-05-19

ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ПРАКТИКЕ

отлично

(отлично, хорошо, удовлетворительно, неуд)

(Подпись)

Гелесев А.И.

(Фамилия и инициалы члена комиссии)

(Подпись)

Ижуткин В.С.

(Фамилия и инициалы члена комиссии)

Москва 2022

Содержание

1	График прохождения практики.	2
2	Описание профильной организации.	3
3	Результаты выполнения индивидуального задания.	4
3.1	Постановка задания.	4
3.2	Описание объекта задания.	4
3.3	Описание метода решения задания.	5
3.4	Практическая часть задания.	5
3.5	Выводы о проделанной работе.	13
	Список используемой литературы	14

1 График прохождения практики.

Номер п/п	Перечень работ в соответствии с заданием на практику	Отметка о выполнении работ
1	Получение задания от руководителя. Установка и настройка на компьютере необходимых инструментальных средств.	Выполнено
2	Изучение необходимых материалов	Выполнено
3	Разработка программ на языках Python, C#	Выполнено
4	Оформление отчета	Выполнено

Руководитель практики от (МЭИ)

(подпись)

Ижуткин В.С.

(Фамилия и Инициалы)

2 Описание профильной организации.

Всероссийский научно-исследовательский Институт радиотехники является одним из старейших оборонных научно-исследовательских предприятий. 27 октября 1908 года Государственная Дума рекомендовала постройку Научно-технической лаборатории Военного ведомства. К началу первой Мировой войны уже функционировала Центральная научно-техническая лаборатория Военного ведомства, преобразованная в 1920 году в Государственный научно-технический Институт, на базе которого в 1921 году было создано Особое техническое бюро - предшественник АО «ВНИИРТ».

В предвоенные годы были созданы первые отечественные образцы аппаратуры радиоуправления различной техникой (катера, танки, самолеты, подводные лодки) на большие расстояния. Впервые в стране были выполнены работы по кварцевой стабилизации частот радиоустройств, разработаны устройства по управлению взрывами фугасов, созданы металлоискатели для поиска затонувших кораблей и подлодок, электромагнитный трал, радиоприборы и радиолинии для связи и телемеханики на УКВ. Были разработаны новейшие типы мощных авиабомб, самолетные оптические прицелы, средства для воздушной транспортировки тяжелого оружия. Первые отечественные серийные образцы радиолокационных станций наземного, воздушного и морского базирования, созданные Институтом, нашли широкое применение в военное время.

В годы Великой Отечественной войны Институт был практически единственным предприятием в СССР, разрабатывающим и поставляющим в войска: радиолокационные станции наземного, воздушного и морского базирования; автоматические, быстродействующие, буквопечатающие, помехоустойчивые средства связи; средства радионавигации; портативные радиостанции специального назначения; системы автоматизации управления самолетным, корабельным и танковым вооружением; прицелы для бомбометания; устройства по управлению взрывами фугасов на различные расстояния.

В послевоенные годы Институтом проводится большой объем работ по радиолокационным бомбоприцелам и головкам самонаведения. Впервые в отечественной радиолокации осваиваются сантиметровый и дециметровый диапазон волн, создаются когерентные РЛС, трехкоординатные РЛС, радиовысотомеры, РЛС с активной ФАР, твердотельные автоматизированные радиолокационные станции.

С момента основания Институтом разработано и вместе с заводами поставлено в войска и за рубеж более 50 типов радиолокационных станций, многие из которых освоены в серийном производстве и нашли применение в нашей стране и за рубежом. 21 разработка Института отмечена Государственными премиями.

Основными направлениями научно-технической и производственной деятельности Института являются:

- выполнение работ, определенных государственным оборонным заказом и государственной программой вооружения в части проведения научных исследований, разработки, изготовления опытных образцов и участия в серийном производстве РЛС обнаружения, наведения и целеуказания межвидового применения;
- комплексные исследования по проблемам создания системы разведки и предупреждения о воздушно-космическом нападении и построения глобального информационно-управляющего поля в интересах реализации концепции воздушно-космической обороны РФ;

- исследования по проблемам радиолокационного обнаружения, разработка и участие в серийном производстве РЛС обнаружения, наведения и целеуказания, вторичных радиолокаторов для ВВС, СВ и ВМФ, а также средств защиты РЛС от противорадиолокационных ракет и высокоточного оружия;
- исследования, включая экспериментальные работы в обеспечение создания всех составных частей РЛС, в том числе унифицированных антенн, передатчиков и приёмников, устройств обработки сигналов и информации, а также устройств отображения и передачи информации;
- выполнение работ по поставкам радиолокационной техники инозаказчикам.

3 Результаты выполнения индивидуального задания.

3.1 Постановка задания.

Разработка программ с использованием языков программирования Python, C# для расчёта объёмной диаграммы направленности фазированной антенной решётки (ФАР) на передачу для обнаружения РЛС цели на заданных направлениях по азимуту и углу места:

- коэффициент усиления антенны..... $G_a=33$ дБ;
 - направления на цель..... азимут $\theta_1=20^\circ$, угол места $\epsilon_1=12^\circ$;
 - излучатели в полостях антенны расположены равномерно, в узлах прямоугольной сетки координат;
 - решётка прямоугольная, отношение ширины к высоте 4:3
- Изучить предельные значения азимута и угла места.

3.2 Описание объекта задания.

Фазированная антенная решётка (ФАР) — антенная решётка, направление излучения и (или) форма соответствующей диаграммы направленности которой регулируются изменением амплитудно-фазового распределения токов или полей возбуждения на излучающих элементах.

Излучающий элемент (антенной решётки) — составная часть антенной решётки, антенна или группа антенн с заданным относительным возбуждением. В антенной решётке требуемая диаграмма направленности формируется благодаря специальным образом организованной интерференции электромагнитных волн, излучаемых в пространство её излучающими элементами. Для этого обеспечивают необходимое амплитудно-фазовое распределение — необходимые относительные амплитуды и начальные фазы переменных токов или полей возбуждения каждого излучающего элемента антенной решётки. Отличие фазированной антенной решётки заключается в том, что амплитудно-фазовое распределение не является фиксированным, оно может регулироваться (управляемо изменяться) в период использования устройства. Благодаря этому можно перемещать луч (главный лепесток диаграммы направленности) антенной решётки в определённом секторе пространства (антенная решётка с электрическим сканированием луча как альтернатива антенне с механическим сканированием, это альтернатива механически вращающейся антенне) или изменять форму диаграммы направленности.

Эти и некоторые другие свойства ФАР, а также возможность применять для управления ФАР современные средства автоматики и вычислительной техники, обу-

словили их перспективность и широкое использование в радиолокации, радионавигации, радиосвязи, радиоастрономии и т. д. ФАР, содержащие большое число управляемых элементов, входят в состав различных наземных (стационарных и подвижных), корабельных, авиационных и космических радиотехнических систем. Ведутся интенсивные разработки в направлении дальнейшего развития теории и техники ФАР и расширения области их применения.

3.3 Описание метода решения задания.

Один из важнейших параметров антенны - коэффициент усиления, который можно рассчитать используя формулу:

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2}$$

Далее используется преддущая формула, с помощью неё можно вычислить площадь антенны:

$$A = \frac{G\lambda^2}{4\pi}$$

После того, как была рассчитана площадь, нужно вычислить количество элементов, а затем найти максимальное отклонение антенны по азимуту. Для этого используется формула:

$$\frac{d}{\lambda} \leq \frac{1}{(1 + \sin \Theta_{max})}$$

Для расчета объемной диаграммы направленности одного излучателя подойдёт аппроксимация формулы:

$$AM = \frac{\sin \sqrt{(2.78 * \frac{\theta}{\Theta})^2 + (2.78 * \frac{\xi}{\Theta})^2}}{\sqrt{(2.78 * \frac{\theta}{\Theta})^2 + (2.78 * \frac{\xi}{\Theta})^2}}$$

Для расчета главного сечения, проходящего через максимум объемной диаграммы направленности, подойдёт аппроксимация формулы:

$$AM1 = \frac{\sin \sqrt{(2.78 * \frac{\theta}{\Theta})^2}}{\sqrt{(2.78 * \frac{\theta}{\Theta})^2}}$$

Формула для расчёта полной диаграммы направленности:

$$AR = \sum_0^n e^{-i*k*(d_{n,1}*\sin(\theta-\theta_1)+\sin(\xi-\xi_1))} * e^{-i*\psi}$$

$$DPRL = 10 * \log_{10}(\frac{AM(\theta,\xi)*(AR(\theta,\xi)*\overline{AR(\theta,\xi)})}{N^2})$$

3.4 Практическая часть задания.

Для выполнения практического задания на языке Python мною были выбраны и изучены две библиотеки:

1. NumPy — это библиотека Python, которую применяют для математических вычис-

лений: начиная с базовых функций и заканчивая линейной алгеброй. Полное название библиотеки — Numerical Python extensions, или «Числовые расширения Python».

2. Matplotlib — это библиотека на языке Python для визуализации данных. В ней можно построить двумерные (плоские) и трехмерные графики.

Для построения и расчета нужных диаграмм, необходимо ввести исходные данные:

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import math
```

```
lmbd = 0.25
Ga = 33
Mu = 0.8
Azimut = 20
angle = 12
```

После это создаются функции для работы с введенными данными.
Функция для расчета площади антенны.

```
def A_sqr(G,lmb):
    sqr = 10**(0.1*33) * lmb**2 / (4 * math.pi)
    return sqr
```

Функция для построения главного сечения максимума объемной диаграммы направленности одного излучателя.

```
def AM1(t):
    buff = (2.78*t/90) ** 2
    return np.sin(np.sqrt(buff)) / np.sqrt(buff)
```

Функция для построения объемной диаграммы направленности одного излучателя.

```
def AM(t,k):
    buff = (2.78*t/90) ** 2
    buff_k = (2.78*k/90) ** 2
    return np.sin(np.sqrt(buff + buff_k)) / np.sqrt(buff + buff_k)
```

Функции для построения главного сечения максимума объемной диаграммы направленности.

```
def P(d_x,d_y,lmbd,t,k):
    k = 2*np.pi/lmbd
    ksi = k * d_x * np.sin(np.radians(t))
    while np.all(ksi) > 2 * np.pi:
        ksi = ksi - 2*np.pi
    while np.all(ksi) < 0:
        ksi = ksi + 2*np.pi
    return ksi

def AR(d_x,d_y,lmbd,theta,azim,eta,angle,P):
    k = 2*np.pi/lmbd
```

```

x = 0
for i in range(len(d_x)):
    x += np.exp(-1j*k*(d_x[i]*np.sin(np.radians(theta - azimuth))))
return x

def DPRL(d_x, d_y, lmbd, theta, azimuth, eta, angle):
    ph = P(d_x, d_y, lmbd, azimuth, angle)
    AR_ = AR(d_x, d_y, lmbd, theta, azimuth, eta, angle, ph)
    AM_ = AM(theta)
    return 10 * np.log10(AM_*AR_*np.conjugate(AR_)/len(d_x)**2)

```

Функции для построения объемной диаграммы направленности.

```

from IPython.display import clear_output
def P1(d_x,d_y,lmbd,t,k):
    ksi = 0
    k = 2*np.pi/lmbd
    ksi = k * ( d_x * np.sin(np.radians(t)) + d_y * np.sin(np.radians(k)) )
    while np.any(ksi) > 2 * np.pi:
        ksi = ksi - 2*np.pi
    while np.any(ksi) < 0:
        ksi = ksi + 2*np.pi
    return ksi

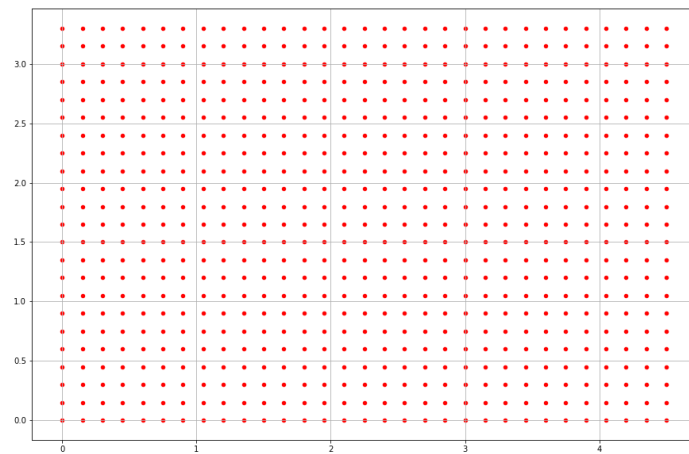
def AR1(d_x,d_y,lmbd,theta,azim,eta,angle,P):
    k = 2*np.pi/lmbd
    x = 0
    for i in range(len(d_x)):
        x += np.exp(-1j * ( k * ( d_x[i] * (np.sin(np.radians(theta - azimuth)))+
                                d_y[i] * (np.sin(np.radians(eta - angle))))))
        clear_output(wait=True)
        print(str(i/713 * 100) + " % -- Wait")
    return x

def DPRL1(d_x, d_y, lmbd, theta, azimuth, eta, angle):
    ph = P1(d_x, d_y, lmbd, azimuth, angle)
    AR_ = AR1(d_x, d_y, lmbd, theta, azimuth, eta, angle, ph)
    AM_ = AM(theta, eta)
    return 10 * np.log10(AM_*AR_*np.conjugate(AR_)/len(d_x)**2)

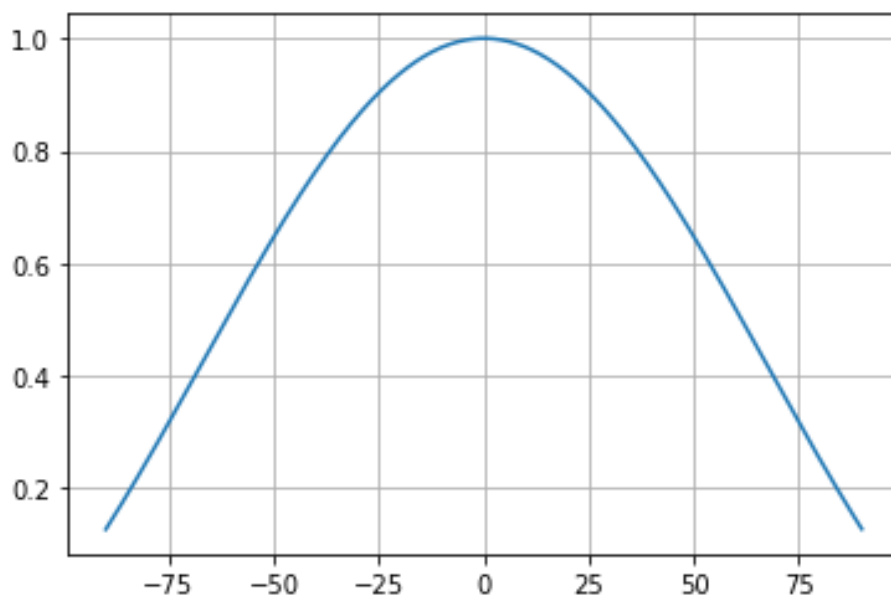
```

После того как все функции были предописаны, остается лишь правильно использовать их внутри кода, поэтому используя библиотеку Matplotlib, строятся нужные для изучения графики.

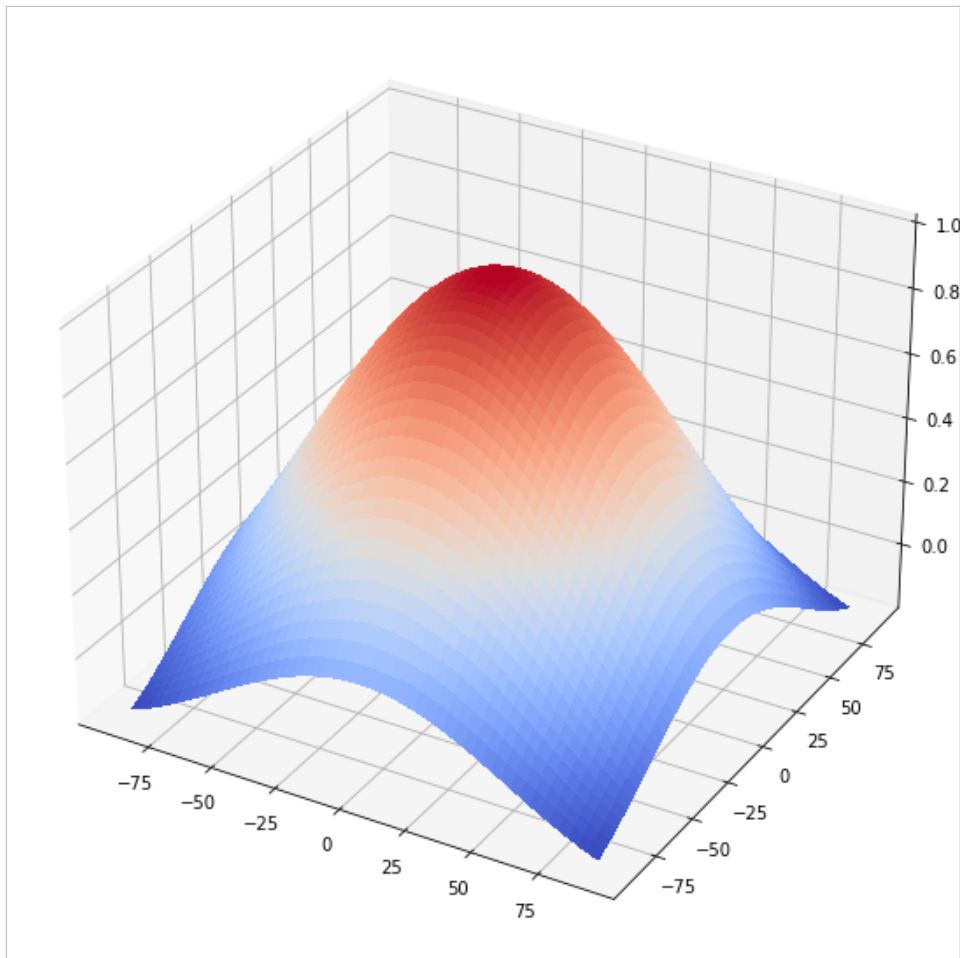
Построение (ФАР):



Построение главного сечения максимума объемной диаграммы направленности одного излучателя:



Построение объемной диаграммы направленности одного излучателя:



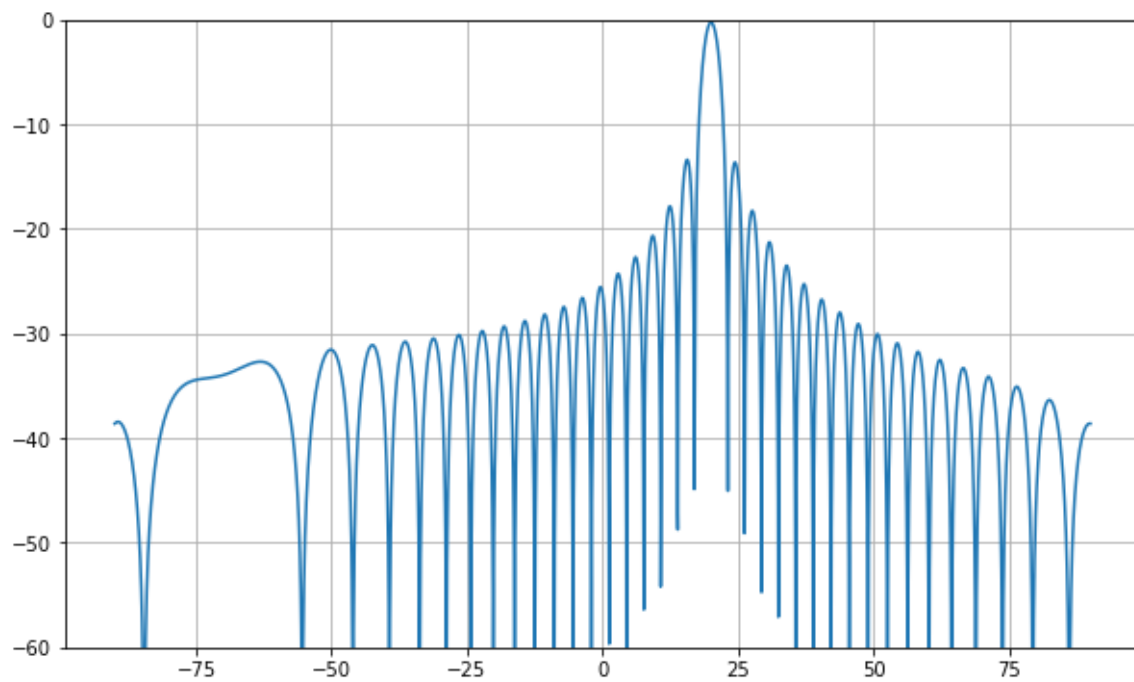
(Листинг построения объемного графика.)

```
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
from matplotlib import cm
fig = plt.figure(figsize=(10, 10))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')

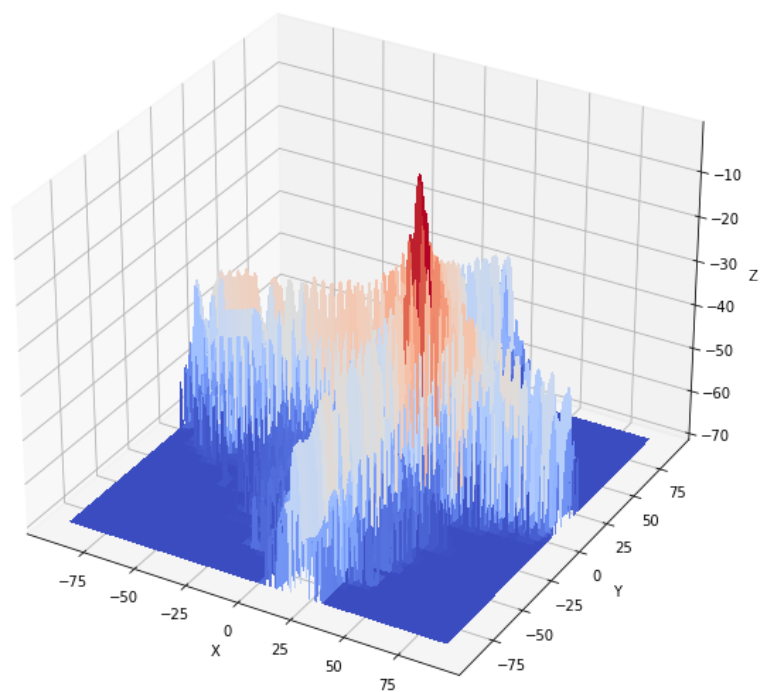
t = np.arange(-90.,90., 0.02)
k = np.arange(-90.,90., 0.02)
t, k = np.meshgrid(t, k)
ax.plot_surface(t, k, AM(t, k) , cmap=cm.coolwarm,antialiased=False)
```

Так же построим объемную диаграмму направленности и её сечение.

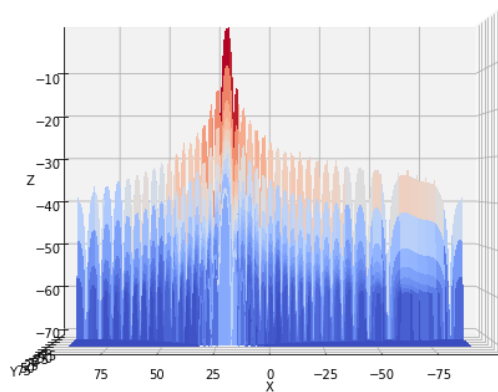
Сечение диаграммы направленности:



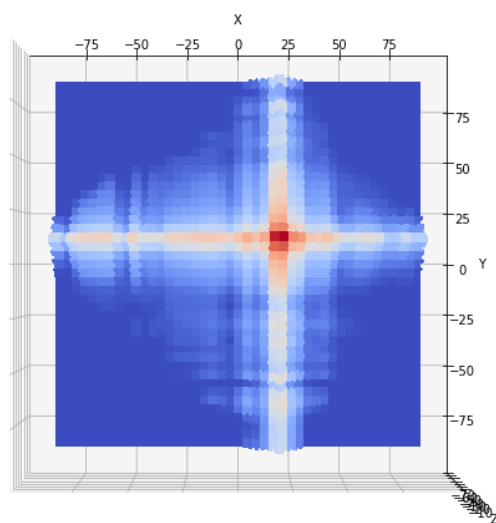
Пример проекций объемной диаграммы:



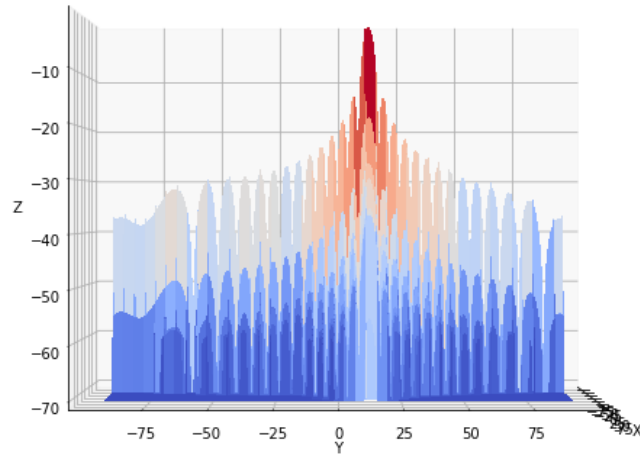
Объемная диаграмма направленности, Оси XYZ



Объемная диаграмма направленности, Оси ZX



Объемная диаграмма направленности, Оси XY



Объемная диаграмма направленности, Оси ZY
(Листинг построения объемного графика.)

```
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
from matplotlib import cm

t = np.arange(-90.,90., 0.05)
e = np.arange(-90.,90., 0.05)

fig = plt.figure(figsize=(10, 10))
ax = plt.axes(projection='3d')

X, Y = np.meshgrid(t, e)
Z = DPRL1(data_x, data_y, lmbd, X , 20 , Y, 12).real

Z[Z < -60] = -70

ax.set(xlabel = 'X', ylabel = 'Y', zlabel = 'Z')
ax.plot_surface(X, Y, Z, cmap=cm.coolwarm,antialiased=False)
```

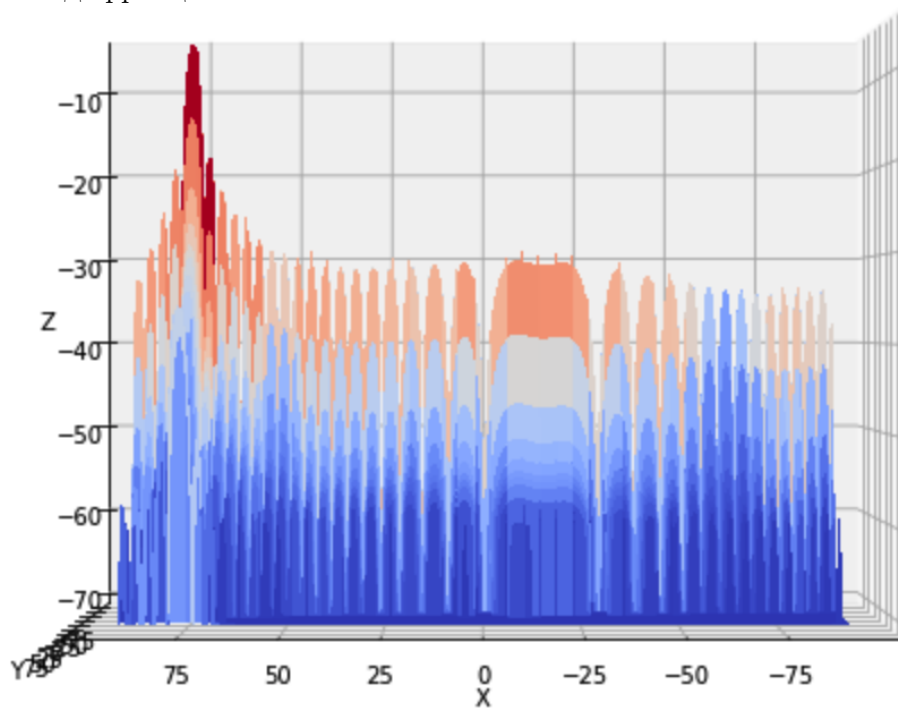
3.5 Выводы о проделанной работе.

При разработке программ для расчёта объемной диаграммы направленности фазированной антенной решетки (ФАР), на языке Python можно отметить высокую точность построения графиков, а на языке C# высокую скорость расчета больших вычислений.

При более детальном изучении графиков, можно отметить влияние предельных значений азимута и угла места.

Моделируя диаграмму направленности при диапазоне значений $\pm 75^\circ$ можно заметить наличие дифракционных лепестков, которые могут отражаться от поверхности земли и вызывать ложные показания об исследуемом(ей) объекте(цели). Дифракционные максимумы появляются тогда, когда размер отдельных элементов решетки равен или больше длины волны; боковые лепестки отсутствуют, если размер элемента не превышает половины длины волны.

Ниже представлен график предельного значения азимута, на нем отчетливо виден один из дифракционных лепестков.



Список литературы

- [1] Хансен Р.С. - "Фазированные антенные решетки. Второе издание. Москва: Техносфера, 2012. - 560 с., ISBN 978-5-94836-323-3"
- [2] Д.И. Воскресенский, В.И. Степаненко, В.С. Филиппов и др. - "Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток: Учеб. пособие для вузов"
- [3] Пудовкин, А.П. - "П881 Основы теории антенн : учебное пособие / А.П. Пудовкин, Ю.Н. Панасюк, А.А. Иванков. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 92 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-0981-4 "