



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

И
шифр

Информационные и управляющие системы

наименование

Кафедра

И4
шифр

Радиоэлектронные системы управления

наименование

Отчет о научно-исследовательской работе в семестре по теме

Контроль формы рефлектора крупногабаритной антенны

Выполнил студент
группы И4М31

Гаврилова Ю. И.

Фамилия И.О.

РУКОВОДИТЕЛЬ

Страхов С. Ю.

Фамилия И.О.

Подпись

Оценка

«_____» _____ 2018г.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2018 г.

Реферат

Отчет содержит 15 стр., 4 источника и 1 приложение.

Ключевые слова: крупногабаритная антенна, рефлектор, контроль формы рефлектора.

Объектом исследования является процесс контроля формы рефлектора крупногабаритной трансформируемой антенны.

Целью магистерской диссертации является исследование системы контроля крупногабаритной трансформируемой антенны и подбор лазерного сканера, подходящего по заданным параметрам.

Задачи, необходимые выполнить в научно-исследовательской работе в 3 семестре:

1. Выбор методов решения
2. Разработка математической модели ДН

Содержание

Введение	4
1. Диаграмма направленности антенны.....	5
Приближение, даваемое принципом Гюйгенса-Френеля	7
Приближение Фраунгофера	9
2. Выполнение работы.....	10
Заключение	13
Список использованных источников	14
Приложение А	15

Введение

Важное направление работ в области аэрокосмической техники непосредственно связано с созданием систем глобальной связи. Создание крупногабаритных трансформируемых антенн представляет большой интерес, как в России, так и в зарубежных странах. Разработки по созданию таких антенн начались еще в 80-х гг. XX века и продолжаются до сих пор. За это время было предложено множество различных конструкций. Но увеличение размеров космических антенн позволяет повысить коэффициент их использования.

Для недавно освоенных диапазонов дециметровых и сантиметровых волн возникла необходимость в создании больших космических антенн диаметром 10 - 100 метров. С увеличением мощности космических аппаратов все более актуальной становится проблема создания крупногабаритных трансформируемых антенн.

Такие системы раскрываются в рабочее положение на орбите в условиях невесомости. Система поддержания и управления формой антенны основана на механическом воздействии на отражающую поверхность антенны, что приводит к смещению элементов отражающего профиля. Поэтому отличительной особенностью крупногабаритных трансформируемых антенн является необходимость управления их формой и на стадии подготовки к работе, и во время функционирования, что необходимо для достижения оптимальных характеристик диаграммы направленности.

Целью данного этапа НИР в семестре является:

3. Выбор методов решения
4. Разработка математической модели ДН

1. Диаграмма направленности антенны

Любая антенна, независимо от конструкции, обладает свойством обратимости, что позволяет принимать и излучать сигнал в одном направлении на разных частотах.

В настоящее время чаще изучают характеристики антенны в передающем режиме. Конструкция и габариты передающих и принимающих антенн может сильно отличаться. Это связано с тем, что передающая антенна должна пропускать через себя высокие мощности, чтобы передать сигнал на максимально возможное расстояние, а антенна в режиме приема взаимодействует с полями малой напряженности.

Энергия волны излучается не равномерно во все стороны, а в пределах узкого, расходящегося пучка. Вблизи от антенны волна распространяется без расхождения, эту зону называют ближней зоной, или зоной Френеля. За пределами ближней зоны начинается дальняя зона, или зона Фраунгофера.

В ближней зоне интенсивность ультразвукового поля, как вдоль пучка, так и по его сечению распределена неравномерно и меняется от точки к точке. В дальней зоне – интенсивность плавно падает, как вдоль луча, так и по его сечению. Направленность поля, или изменение интенсивности волны в дальней зоне в зависимости от угла между направлением излучения и осью на постоянном расстоянии от излучателя можно отобразить с помощью, так называемой диаграммы направленности.

Диаграмма направленности – графическое (аналитическое) представление зависимости принятого или отраженного сигнала от направления антенны. На рисунке 1 показан общий вид диаграммы направленности антенны в объеме. Такая диаграмма направленности является поверхностью объема и имеет несколько максимумов. Главный максимум является главным лепестком диаграммы и показывает направление главного излучения или приема. Остальные максимумы называют боковыми лепестками.

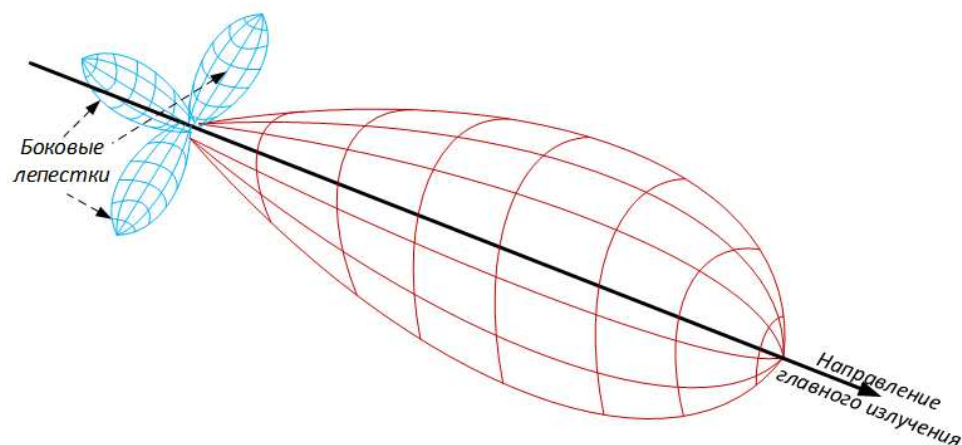


Рисунок 1 – Диаграмма направленности антенны в объеме

Для удобства изображения (и технического применения) ДН их принято рассматривать в двух перпендикулярных плоскостях. Как правило, это плоскости электрического вектора E и магнитного вектора H (которые друг другу в большинстве сред перпендикулярны), рисунок 2.

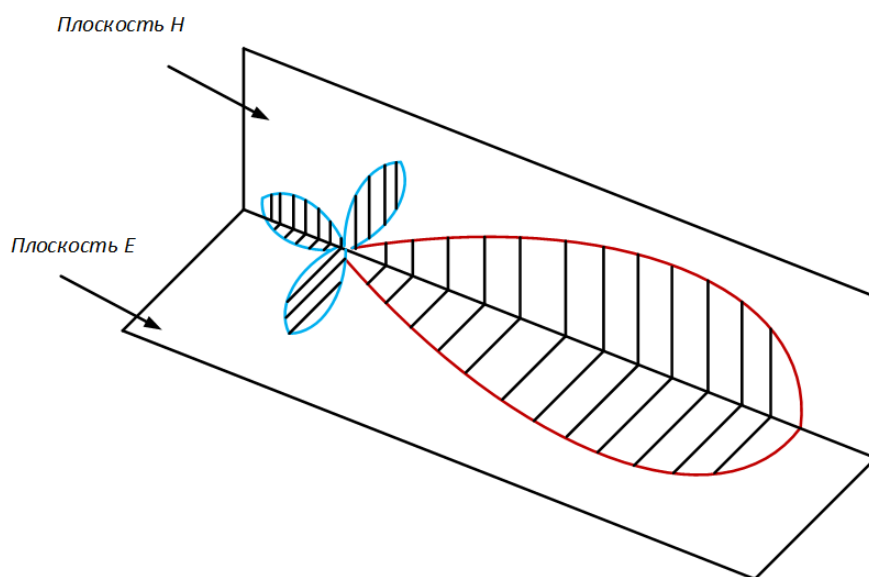


Рисунок 2 – ДН в двух плоскостях

В некоторых случаях ДН рассматривают в вертикальной и горизонтальной плоскостях по отношению к плоскости Земли. Плоские диаграммы изображают полярной или декартовой (прямоугольной) системами координат.

Представление диаграммы направленности в прямоугольной системе координат более удобно для инженерных расчетов, такое построение чаще применяется для исследования самой структуры диаграммы. Для этого диаграммы строят нормированными, с главным максимумом, приведенным к единице. На рисунке ниже приводится типичная нормированная диаграмма направленности зеркальной антенны.

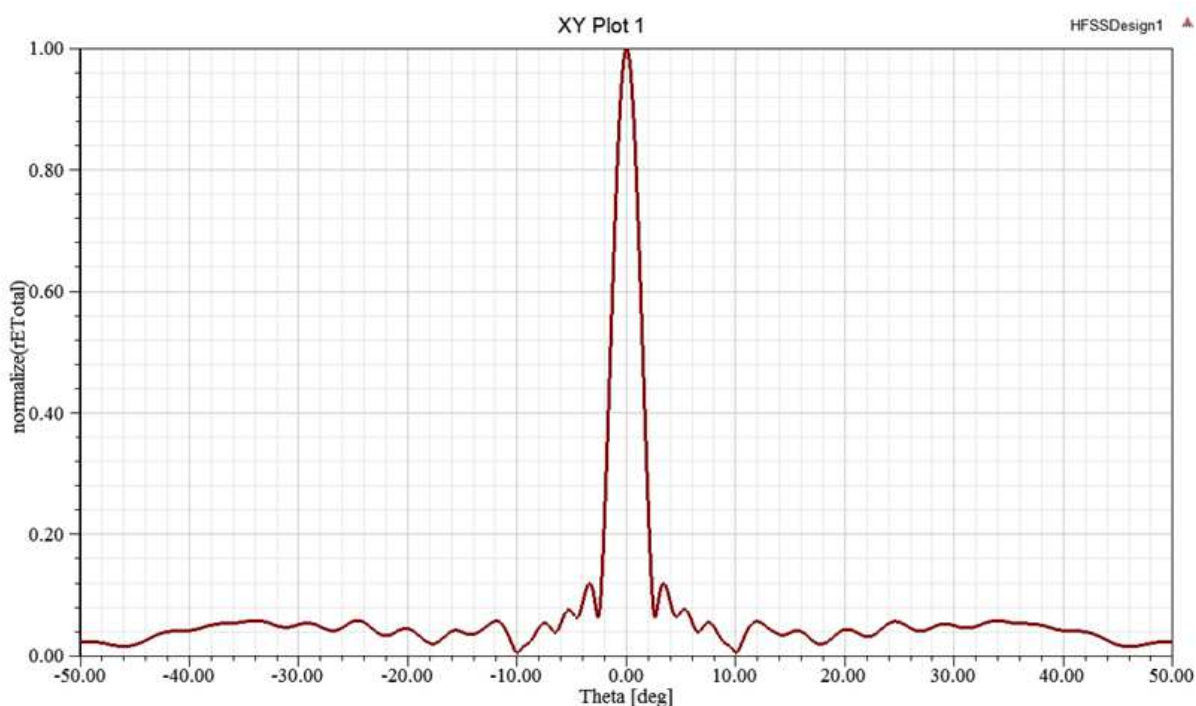


Рисунок 3 – ДН зеркальной антенны

2. Методические указания по выполнению работы

Приближение, даваемое принципом Гюйгенса-Френеля

Рассмотрим дифракцию монохроматического света на бесконечном непрозрачном, экране с отверстием Σ конечных размеров. Рассматривается плоский экран, с которым жестко связана прямоугольная система координат (x_1, y_1)

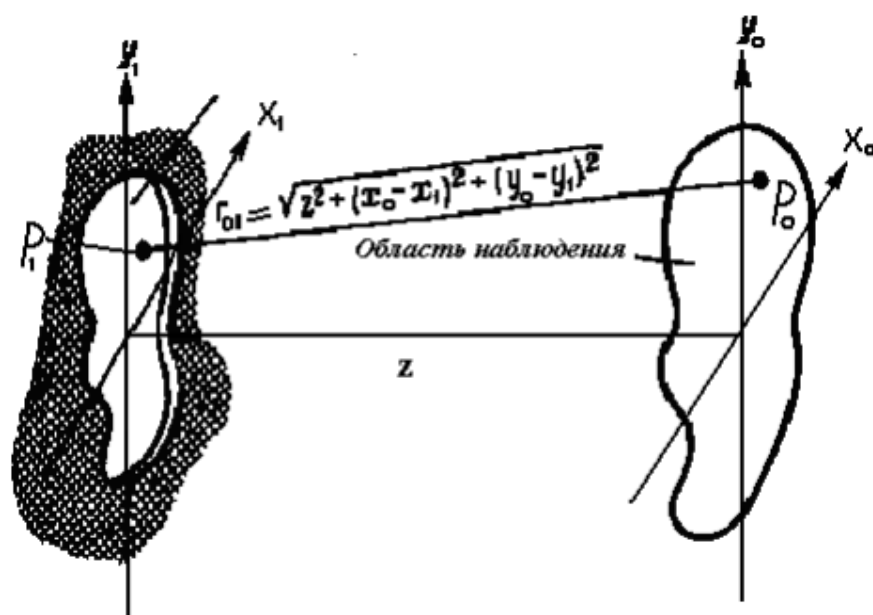


Рисунок 4 – Геометрическая схема дифракционной задачи

Кроме того, предполагается, что область наблюдения представляет собой плоскость, параллельную плоскости экрана и расположенную на расстоянии z по нормали от него. С плоскостью наблюдения связана система координат (x_0, y_0) , оси которой параллельны осям плоскости (x_1, y_1) .

Воспользуемся приближениями, которые известны под названием граничных условий Кирхгофа:

1. на отверстии S распределение поля U и его производная dU/dn имеют точно такие же значения, какие они имели бы в отсутствие экрана;
2. на той части поверхности S , которая лежит в области геометрической тени экрана, распределение поля U и его производная dU/dn тождественно равны нулю.

Граничные условия Кирхгофа значительно упрощают результат, однако следует отметить, что при этом пренебрегается краевыми эффектами. Так, наличие экрана будет приводить к искажению электромагнитного поля в области отверстия. Кроме того, за экраном отсутствует резкая граница «свет-тень», так как поле проникает за экраном в область тени на расстояние нескольких длин волн. Но если минимальный размер отверстия много

больше длины волны света $S_{min} \gg \lambda$, то этими краевыми эффектами можно пренебречь и использовать оба граничных условия.

Дальнейшее упрощение выражения для поля можно произвести, если принять, что расстояние 01 r от отверстия до точки наблюдения много больше длины волны $r_{01} \gg \lambda$, что обычно имеет место на практике.

Учитывая это, можно получить выражение для поля в следующем виде:

$$U_0(x_0, y_0) = \iint_S \frac{1}{i\lambda} U_1(x_1, y_1) \frac{\exp(ikr_{01})}{r_{01}} \cos(\vec{n}, \vec{r}_{01}) dx_1 dy_1.$$

Этот результат известен как интеграл Френеля – Кирхгофа.

Можно провести еще некоторые приближения, которые приведут к более простым расчетам распределения электромагнитного поля. Приближения будут основываться на предположении, что расстояние z между отверстием экрана и плоскостью наблюдения значительно превышает максимальный линейный размер отверстия S . Также будем рассматривать в плоскости наблюдения конечную область вблизи оси z , учитывая, что расстояние z много больше максимального размера этой области. Путем несложных преобразований интеграл суперпозиции можно привести к виду

$$U_0(x_0, y_0) = \frac{\exp(ikz)}{iz\lambda} \exp\left[i\frac{k}{2z}(x_0^2 + y_0^2)\right] \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ U_1(x_1, y_1) \exp\left[i\frac{k}{2z}(x_1^2 + y_1^2)\right] \right\} \times \\ \times \exp\left[-i\frac{2\pi}{z\lambda}(x_0x_1 + y_0y_1)\right] dx_1 dy_1.$$

Когда расстояние z достаточно велико для того, чтобы это выражение можно было считать точным, считается, что наблюдение поля ведется в области дифракции Френеля.

Приближение Фраунгофера

Расчет дифракционной картины становится еще проще, если принять более жесткие ограничения, чем в приближении Френеля. В частности, в области дифракции Френеля напряженность поля $U(x_0, y_0)$ можно найти путем Фурье-преобразования произведения распределения $U(x_1, y_1)$ в

отверстии на квадратичную фазовую функцию $\exp[j(\frac{k}{2z})(x_1^2 + y_1^2)]$, если к тому же принять более строгое предположение Фраунгофера

$$z \gg \frac{k(x_1^2 + y_1^2)_{\max}}{2},$$

то квадратичный фазовый множитель становится равным приблизительно единице по всему отверстию; тогда наблюдаемое распределение поля можно найти непосредственно, вычисляя Фурье-образ распределения в самом отверстии. Таким образом, в области дифракции Фраунгофера

$$U(x_0, y_0) = \frac{\exp(jkz) \exp\left[j\frac{k}{2z}(x_0^2 + y_0^2)\right]}{j\lambda z} \times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U(x_1, y_1) \exp\left[-j\frac{2\pi}{\lambda z}(x_0 x_1 + y_0 y_1)\right] dx_1 dy_1.$$

Без учета множителей, стоящих перед интегралом, это выражение представляет собой Фурье-образ распределения поля в отверстии, вычисленный для частот $f_x = x_0/\lambda z$, $f_y = y_0/\lambda z$

2. Выполнение работы

Исходные данные:

- Размер антенны: 10x10 м
- Форма антенны: квадрат
- Длина волны: 1 см
- Первый случай: идеальный - $\Delta\varphi = 0$
- Второй случай: задан закон изменения фазы

В ходе работы рассматривалась амплитуда излучения в зоне Фраунгофера, используя среду Matlab, по формуле:

$$U(x_0, y_0) = \frac{\exp(jkz) \exp\left[j\frac{k}{2z}(x_0^2 + y_0^2)\right]}{j\lambda z} \times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U(x_1, y_1) \exp\left[-j\frac{2\pi}{\lambda z}(x_0 x_1 + y_0 y_1)\right] dx_1 dy_1.$$

В Matlab`е эта формула была реализована следующим образом:

```
for ii = 1:(Nx+1)
    for jj = 1:(Ny+1)
        X(ii,jj) = -dXm + 2*(ii-1)*dXm/Nx + X0m;
        Y(ii,jj) = -dYm + 2*(jj-1)*dYm/Ny + Y0m;
        F0 = (exp(j*k*z)*exp(j*k*(X(ii,jj)^2+Y(ii,jj)^2)/(2*z)))/(j*lambda*z);
        % Подынтегральная функция:
        F1 = @(x,y) R(x,y).*exp(-j.*2.*pi.*(X(ii,jj).*x+Y(ii,jj).*y)./(lambda.*z));

        F2 = F0*integral2(F1,-b/2,b/2,-a/2,a/2);

        Q(ii,jj) = sqrt((real(F2)^2)+(imag(F2)^2)) ; % Амплитуда
    end
    ii-1 % Вывод в консоль итерации по ii
end
```

В результате были получены следующие графики:

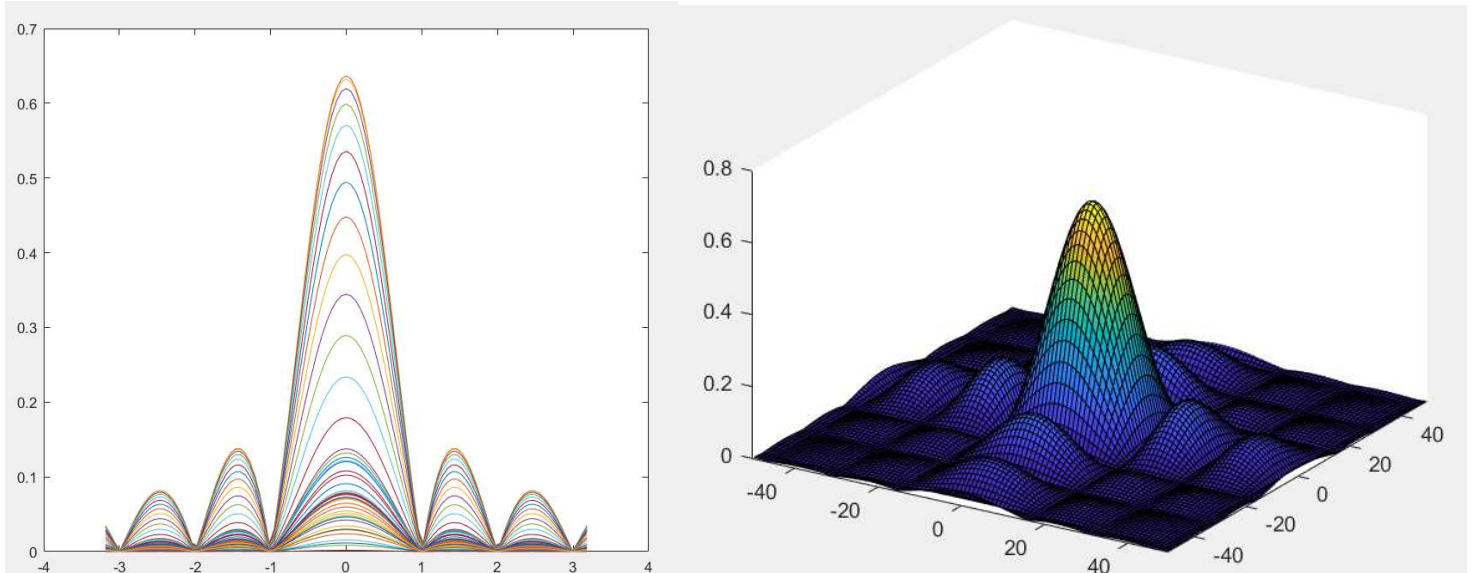


Рисунок 5 – Зависимость амплитуды сигнала от координаты направления в первом случае

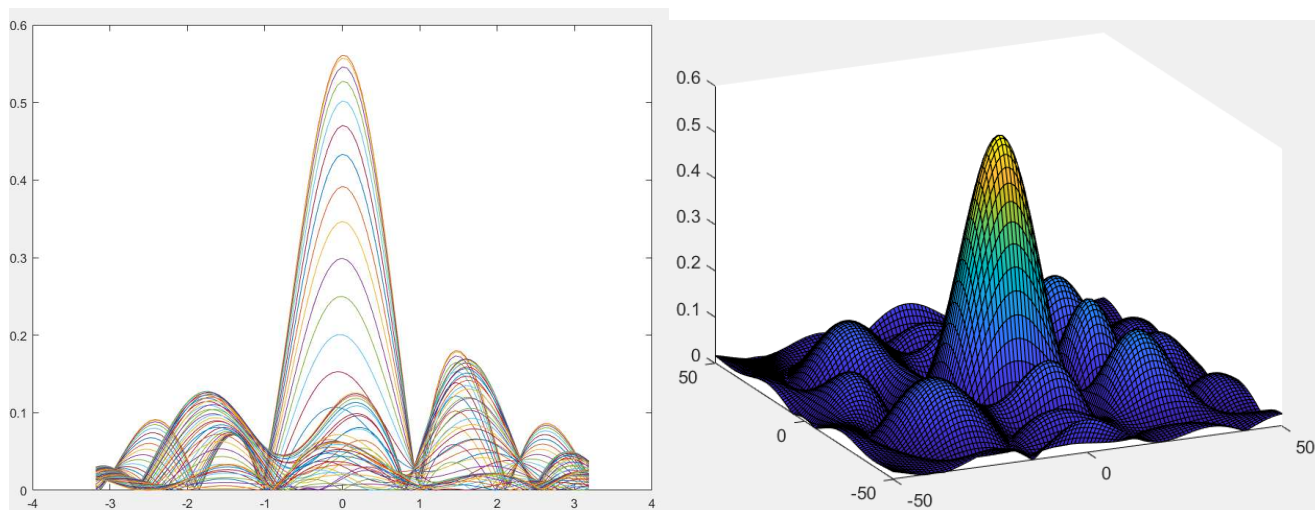


Рисунок 6 - Зависимость амплитуды сигнала от координаты направления во втором случае (Закон изменения фазы: $R = A \cdot \exp(j \cdot \sin(x) \cdot \cos(y))$)

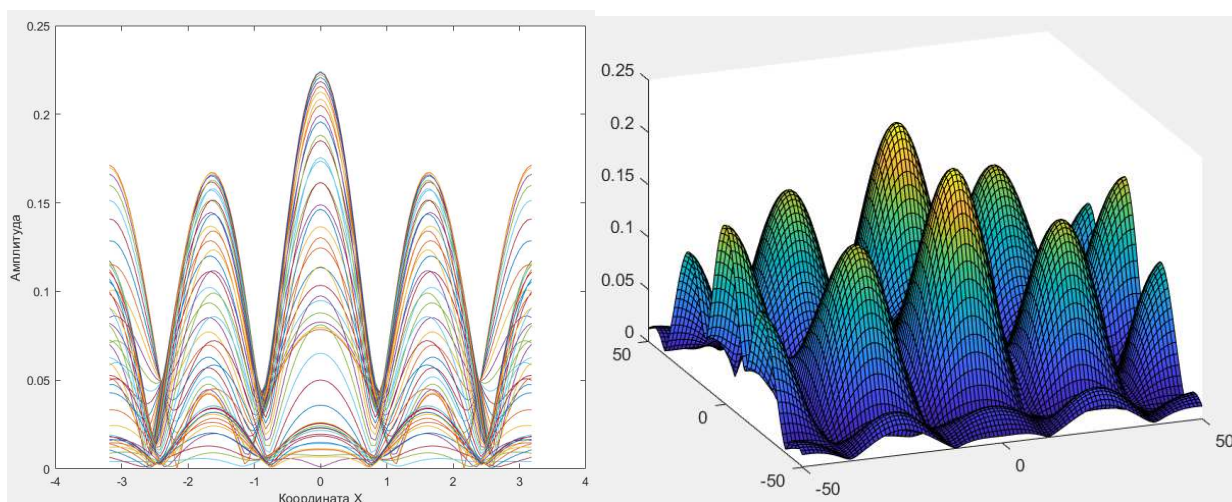


Рисунок 7 - Зависимость амплитуды сигнала от координаты направления во втором случае (Закон изменения фазы: $R = A \cdot \exp(j \cdot \sin(x) \cdot y)$)

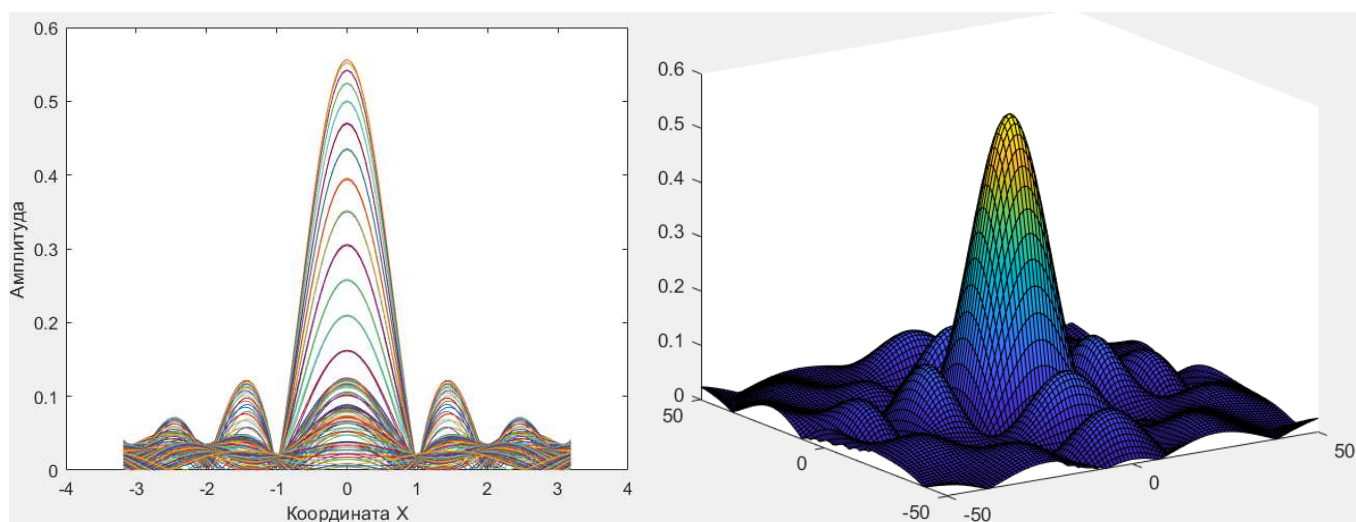


Рисунок 8 - Зависимость амплитуды сигнала от координаты направления во втором случае (Закон изменения фазы: $R = A \cdot \exp(j \cdot \sin(y) \cdot \cos(x \cdot y))$)

Заключение

В результате научно-исследовательской работы в семестре были выполнены задачи:

1. Выбраны методы решения поставленной задачи
2. Разработана математическая модель диаграммы направленности антенны с различными фазовыми искажениями антенны

Список использованных источников

1. Shintate K. et al. Large Deployable Reflector (LDR). Journal of the National Institute of Information and Communications Technology, 2003, vol. 50, no. 3/4.
2. Бахрах Л.Д. Проблемы антенной техники / Л.Д. Бахрах, Н.А. Бей, Д.И. Воскресенский. М.: Радио и связь, 1989.
3. Отчет о ПНИЭР «Создание высокоэффективной системы беспроводной узконаправленной передачи энергии и информации для управления состоянием объектов космического базирования на основе лазерных и волоконно-оптических технологий» / Соглашение о предоставлении субсидии № 14.577.21.0201 от 27.10.2015 г., Этап 2. / СПб, БГТУ, 2015г.
4. Гудмен Д. Введение в Фурье-оптику. – М.: Мир, 1970.

Приложение А

```
% Начальные данные для расчета:
Nx = 100; % Число элементов по X
Ny = 100; % Число элементов по Y
X0m = 0; % Точка центра расчетной сетки по X
Y0m = 0; % Точка центра расчетной сетки по Y
dXm = 50; % Половина размаха расчетной сетки по X
dYm = 50; % Половина размаха расчетной сетки по Y
a = 10; % Длина сечения по X
b = 10; % Длина сечения по Y
lambda=0.01;% Длина волны 1 см
A=1;
% Константы
k = (2*pi)/lambda;
z=ceil(k*((a/2)^2+(b/2)^2)/2); % Расстояние до зоны наблюдения
j = sqrt(-1);

% Вводимые значения
R = @(x,y) A.*exp(j.*sin(x).*y); %Закон изменения фазы

X = zeros (Nx,Ny);
Y = zeros (Nx,Ny);
Q = zeros (Nx,Ny);

% Расчет
for ii = 1:(Nx+1)
    for jj = 1:(Ny+1)
        X(ii,jj) = -dXm + 2*(ii-1)*dXm/Nx + X0m;
        Y(ii,jj) = -dYm + 2*(jj-1)*dYm/Ny + Y0m;
        F0 = (exp(j*k*z)*exp(j*k*(X(ii,jj)^2+Y(ii,jj)^2)/(2*z)))/(j*lambda*z);
% Подынтегральная функция:
        F1 = @(x,y) R(x,y).*exp(-j.*2.*pi.*(X(ii,jj).*x+Y(ii,jj).*y)./(lambda.*z));
        F2 = F0*integral2(F1,-b/2,b/2,-a/2,a/2);
        Q(ii,jj) = sqrt((real(F2)^2)+(imag(F2)^2)) ; % Амплитуда
    end
ii-1 % Вывод в консоль итерации по ii
end

% Графика

% Вывод графика зависимости Полученной Амплитуды от нормированной %координаты
x:
plot((a*X/(lambda*z)),Q);
xlabel('Координата X');
ylabel('Амплитуда');
```