

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Лабораторная работа № 2

«Моделирование формирования изображения при когерентном и некогерентном освещении для идеальной оптической системы»

Специальность "Техническое зрение" (12.04.02)

Выполнил:

Титов Д. А.

Группа: Q4110

Проверила:

Иванова Т. В.

Санкт-Петербург  
2025

## Задание

Отработать навыки моделирования изображений при когерентном и некогерентном освещении.

### Задание:

Создать программу, моделирующую формирование изображения при когерентном и некогерентном освещении.

Заданные условия:

Предмет:

- периодическая решетка (симметричен относительно центра координат):  
1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 линий
- любое изображение (не цветное, вырезать 512x512)

Оптическая система:

- зрачок круглый
- аберрации отсутствуют
- пропускание равномерно по зрачку

Результаты:

- изображение (сечение и полутоновое изображение для периодического, полутоновое для сложного предмета)
- ФРТ (сечение и полутоновое изображение)
- Функция передачи модуляции (частотно-контрастная характеристика) (сечение)

Численные параметры:  $N = 512$ ,  $\lambda = 0.5\text{мкм}$ ,  $D_{\text{зр}} = 20$ ,  $A = A' = 0.5$

## Результаты

Моделирование формирования изображения для периодических решеток: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 линий

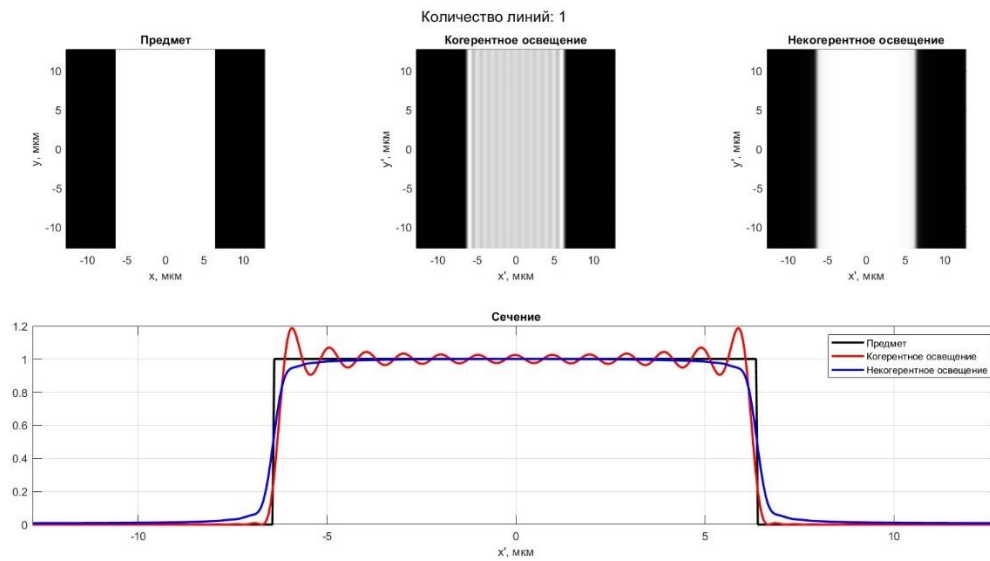


Рисунок 1. Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 1 линия

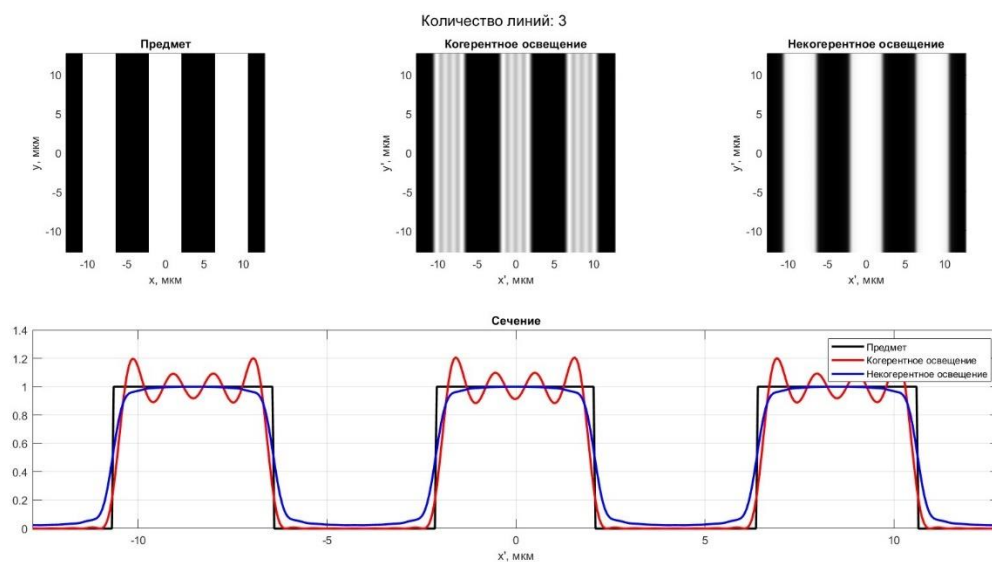


Рисунок 2. Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 3 линии

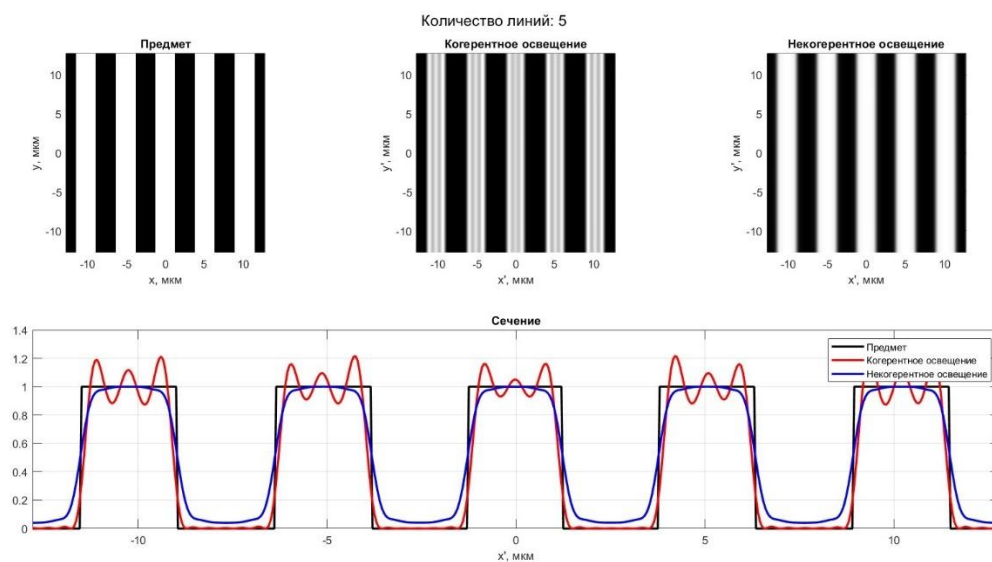


Рисунок 3. Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 5 линий

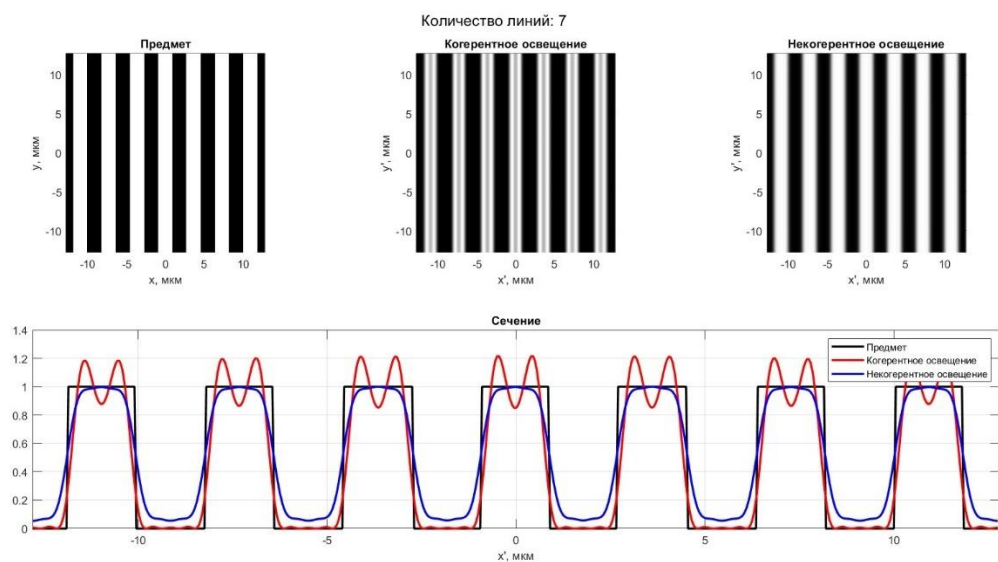


Рисунок 4. Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 7 линий

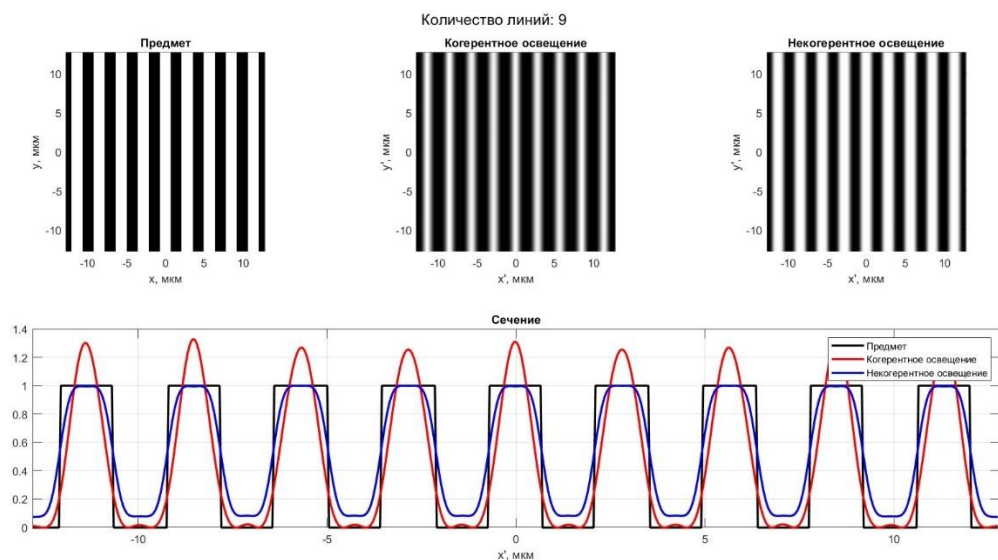


Рисунок 5. Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 9 линий

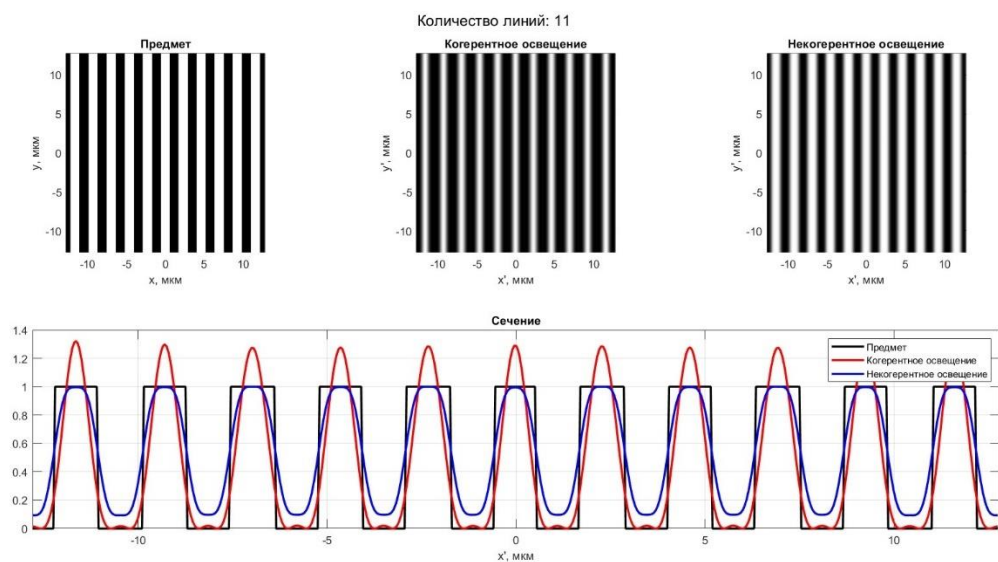


Рисунок 6. Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 11 линий

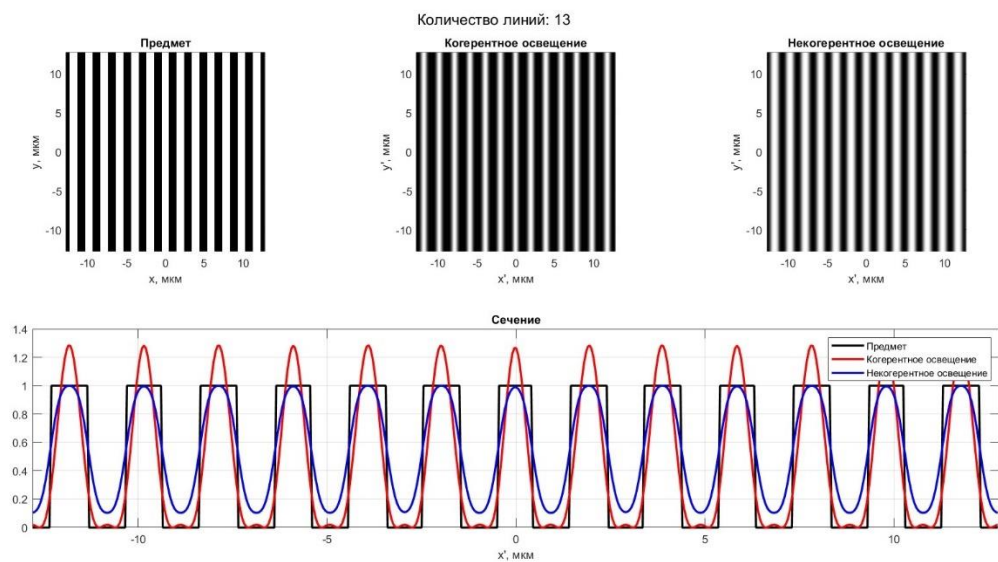


Рисунок 7. Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 13 линий

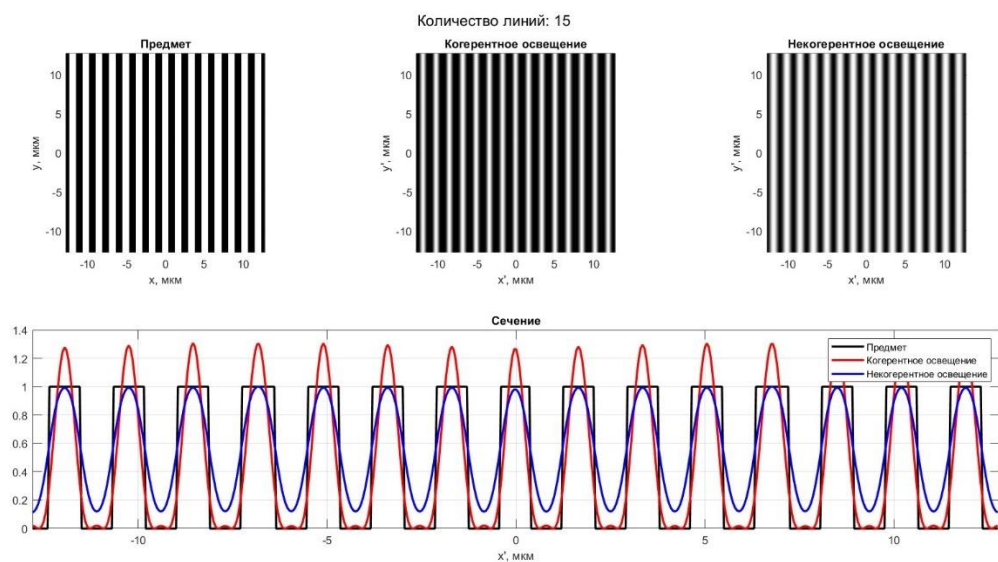


Рисунок 6. Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 15 линий

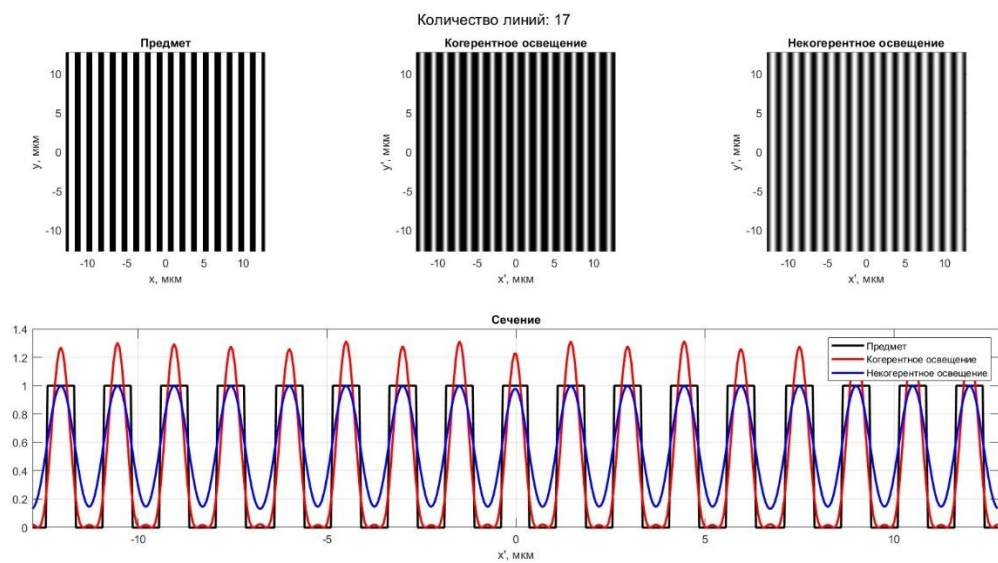


Рисунок 7. Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 17 линий

Моделирование формирования изображения для произвольного изображения:

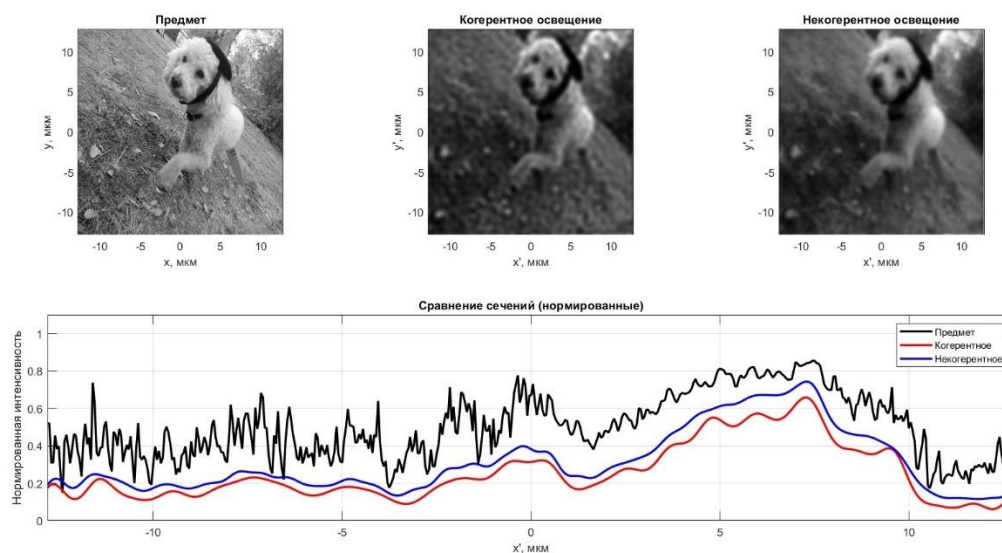


Рисунок 8. Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для произвольного изображения

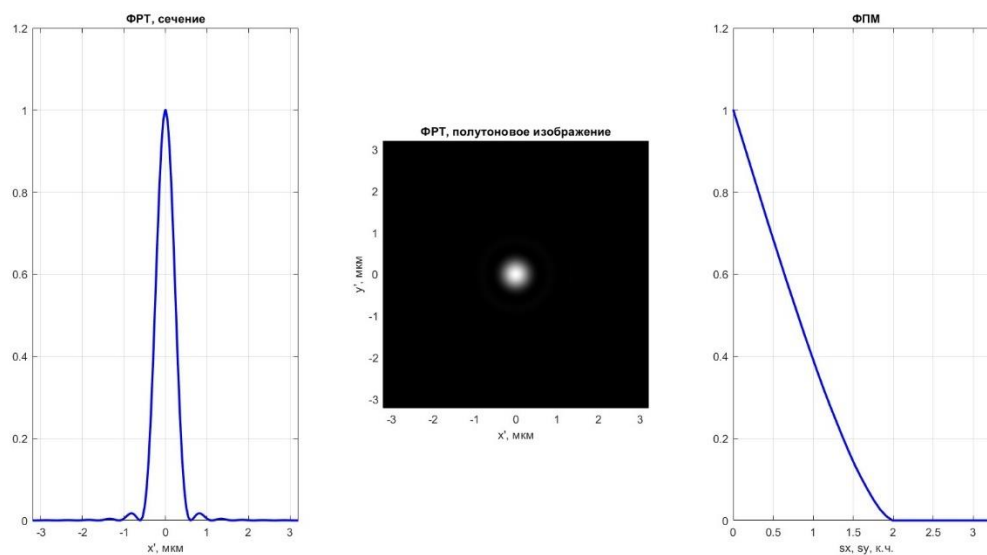


Рисунок 9. Функция рассеяния точки и функция передачи модуляции



## **Выводы.**

В ходе моделирования изображений периодических решёток, а также произвольного изображения с мелкими и крупными деталями было обнаружено различие между когерентным и некогерентным моделированием объектов.

Изображения, полученные в ходе когерентного моделирования, оказались более резкими. Так, когерентные изображения периодических решёток имеют более узкие белые полосы в сравнении с аналогичными более смазанными полосами на некогерентном изображении решёток. Кроме того, мелкие детали, например шерсть собаки, также лучше различались на когерентном произвольном изображении в сравнении с некогерентным изображением.

Также стоит отметить, что на когерентных изображениях периодических решёток были замечены эффекты интерференции, которые отсутствовали у некогерентных изображений. С увеличением пространственной частоты эффект интерференции перестал быть визуально различим.

## Приложение

```
%Часть 1. Формирование изображения предмета-решётки
clear;
clc;

%Параметры системы
N = 512; % Размер массива
lamda = 0.5; % Длина волны, мкм
Dzr = 20; %Охват зрачка
A = 0.5; % Апертура
Rzr = N / Dzr; %Радиус зрачка (формула слайд 9)
dp = Dzr / N; % Шаг по зрачку, к. е. (формула слайд 9)
dn = 1 / (N * dp); % Шаг по предмету, к. е. (формула слайд 8)
dx = dn * (lamda / A); %Шаг по изображению, мкм (формула слайд 8)
n_max = dn * N / 2;
p_max = dp * N / 2;
x_max = dx * N / 2;

% Создание массива координат
% Предмет

[nx, ny] = meshgrid(-n_max:dn:n_max-dn, -n_max:dn:n_max-dn);
% Зрачок

[px, py] = meshgrid(-p_max:dp:p_max-dp, -p_max:dp:p_max-dp);
% Изображение

[x, y] = meshgrid(-x_max:dx:x_max-dx, -x_max:dx:x_max-dx);

%Функция зрачка
f = zeros (N, N);
for i = 1:N
    for j = 1:N
        if px(i,j)^2 + py(i,j)^2 < 1 %уравнение окружности, Rzr = 1, к. е.
            f(i,j) = 1;
        end
    end
end
end

%Обработка решетки с заданным числом линий (count) и вывод результатов
for i = 1:2:17
    item = func_T(i, N);

    %Визуализация предмета (1 строка 1 столбец)
    subplot (2, 3, 1);
    pcolor(x, y, item);
    colormap(gray);
    axis equal;
    axis([-x_max, x_max, -x_max, x_max]);
    shading interp;
    xlabel('x, мкм');
    ylabel('y, мкм');
    title ('Предмет');
```

```

%
%Когерентное освещение
%Дифракционное распространение поля от плоскости предмета до входной
%системы
%Лекция 4, слайды 40-41, 31, 23
fft_item = fftshift(item);
fft_item = fft2(fft_item);
fft_item = fftshift(fft_item);
fft_item = fft_item / N;
%Распространение поля через о.с.
filtered_image = fft_item .* f;
%Дифракционное распространение поля в пр-ве изображений
ifft_image = fftshift(filtered_image);
ifft_image = ifft2(ifft_image);
ifft_image = fftshift(ifft_image);
ifft_image = N * ifft_image;
%Вычисление распределения интенсивности на изображении
intensity_image = abs(ifft_image) .* abs(ifft_image);

%Визуализация когерентного освещения (1 строка 2 столбец)
subplot(2, 3, 2);
pcolor(x, y, intensity_image);
colormap(gray);
axis equal;
axis([-x_max x_max -x_max x_max]);
shading interp;
xlabel('x', 'мкм');
ylabel('y', 'мкм');
title('Когерентное освещение');
%
%Некогерентное освещение
%Лекция слайд 42
%Вычисление фурье-образа распределения интенсивности на предмете
object_intensity = abs(item).^2;
fft_object = fftshift(fft2(ifftshift(object_intensity)));
%Вычисление фурье-образа функции рассеяния точки
PSF = abs(fftshift(ifft2(fftshift(f)))).^2;
PSF = PSF / sum(PSF(:)); % Нормировка
OTF = fftshift(fft2(ifftshift(PSF)));
M_abs = abs(OTF);
%Вычисление фурье-образа распределения интенсивности на изображении
fft_image = fft_object .* OTF;
%Вычисление распределения интенсивности на изображении
ifft_intens_image = real(fftshift(ifft2(fftshift(fft_image))));
ifft_intens_image = ifft_intens_image / max(ifft_intens_image(:));
%Визуализация некогерентного освещения
subplot(2, 3, 3);
pcolor(x, y, ifft_intens_image);
colormap(gray);
axis equal;
axis([-x_max x_max -x_max x_max]);
shading interp;
xlabel('x', 'мкм');
ylabel('y', 'мкм');
title('Некогерентное освещение');
%
%Визуализация сечений

```

```

subplot(2, 1, 2);
p = plot(x(N / 2 + 1, :), item(N / 2 + 1, :), ...
        x(N / 2 + 1, :), intensity_image(N / 2 + 1, :), ...
        x(N / 2 + 1, :), ifft_intens_image(N / 2 + 1, :));
set(p(1), 'Color', 'k', 'LineWidth', 2);
set(p(2), 'Color', 'r', 'LineWidth', 2);
set(p(3), 'Color', 'b', 'LineWidth', 2);
xlim([-x_max, x_max]);
grid on;
legend('Предмет', 'Когерентное освещение', 'Некогерентное освещение');
xlabel("x", 'мкм');
title('Сечение');

% Общий заголовок для всего plot
sgtitle(['Количество линий: ' num2str(i)], 'FontSize', 14);
pause

end

% Генерация решётки (на основе кода слайд 5)
function grid = func_T(count, N)
    w = N/(count*2);
    f_x=-w:1:N;
    ww=0:w*2:N;
    f_y = pulstran(f_x, ww, @rectpuls, w);
    f_y(1+N/2:N) = fliplr(f_y(1:N/2));
    grid=zeros(N,N);
    for i=1:1:N
        grid(:,i)=f_y(i);
    end
end

%Часть 2. Формирование изображения произвольного изображения.
%графики ФРТ и ФПМ
clear;
clc;

%Параметры системы
N = 512; % Размер массива
lamda = 0.5; % Длина волны, мкм
Dzr = 20; %Охват зрачка
A = 0.5; % Апертура
Rzr = N / Dzr; %Радиус зрачка (формула слайд 9)
dp = Dzr / N; % Шаг по зрачку, к. е. (формула слайд 9)
dn = 1 / (N * dp); % Шаг по предмету, к. е. (формула слайд 8)
dx = dn * (lamda / A); %Шаг по изображению, мкм (формула слайд 8)
n_max = dn * N / 2;
p_max = dp * N / 2;
x_max = dx * N / 2;

% Создание массива координат
% Предмет
[nx, ny] = meshgrid(-n_max:dn:n_max-dn, -n_max:dn:n_max-dn);
% Зрачок

```

```

[px, py] = meshgrid(-p_max:dp:p_max-dp, -p_max:dp:p_max-dp);
% Изображение

[x, y] = meshgrid(-x_max:dx:x_max-dx, -x_max:dx:x_max-dx);

%Функция зрачка
f = zeros (N, N);
for i = 1:N
    for j = 1:N
        if px(i,j)^2 + py(i,j)^2 < 1 %уравнение окружности, Rzr = 1, к. е.
            f(i,j) = 1;
        end
    end
end
end

%Загрузка изображения
[fn,pn]=uigetfile('Select an image');
Image = double(imresize(rgb2gray(imread(fullfile(pn,fn))), [512, 512]));
item = flip(Image);

%Визуализация предмета (1 строка 1 столбец)
subplot (2, 3, 1);
pcolor(x, y, item);
colormap(gray);
axis equal;
axis([-x_max, x_max, -x_max, x_max]);
shading interp;
xlabel('x, мкм');
ylabel('y, мкм');
title ('Предмет');
%
%Когерентное освещение
%Дифракционное распространение поля от плоскости предмета до входной
%системы
%Лекция 4, слайды 40-41, 31, 23
fft_item = fftshift(item);
fft_item = fft2(fft_item);
fft_item = fftshift(fft_item);
fft_item = fft_item / N;
%Распространение поля через о.с.
filtered_image = fft_item .* f;
%Дифракционное распространение поля в пр-ве изображений
ifft_image = fftshift(filtered_image);
ifft_image = ifft2(ifft_image);
ifft_image = fftshift(ifft_image);
ifft_image = N * ifft_image;
%Вычисление распределения интенсивности на изображении
intensity_image = abs(ifft_image) .* abs(ifft_image);

%Визуализация когерентного освещения (1 строка 2 столбец)
subplot(2, 3, 2);
pcolor(x, y, intensity_image);
colormap(gray);
axis equal;
axis([-x_max x_max -x_max x_max]);
shading interp;

```

```

xlabel('x', мкм);
ylabel('y', мкм);
title('Когерентное освещение');
%
%Некогерентное освещение
%Лекция слайд 42
%Вычисление фурье-образа распределения интенсивности на предмете
object_intensity = abs(item).^2;
fft_object = fftshift(fft2(ifftshift(object_intensity)));
%Вычисление фурье-образа функции рассеяния точки
%Нормировка с учетом рекомендаций слайдов 15-16
ifft_scattering = (dp/dn) * N * fftshift(ifft2(fftshift(f)));
PSF = abs(ifft_scattering).^2 / (pi*pi);
OTF = (dn/dp) * pi * fftshift(fft2(fftshift(PSF))) / N;
M_abs = abs(OTF); % Модуль передаточной функции (МПФ)
%Вычисление фурье-образа распределения интенсивности на изображении
fft_image = fft_object .* OTF;
%Вычисление распределения интенсивности на изображении
ifft_intens_image = real(fftshift(ifft2(fftshift(fft_image))));
ifft_intens_image = ifft_intens_image / max(ifft_intens_image(:));

%Визуализация некогерентного освещения
subplot(2, 3, 3);
pcolor(x, y, ifft_intens_image);
colormap(gray);
axis equal;
axis([-x_max x_max -x_max x_max]);
shading interp;
xlabel('x', мкм);
ylabel('y', мкм);
title('Некогерентное освещение');
%
% Нормировка данных для совместного отображения
item_norm = item / max(item(:)); % Нормировка предмета [0-1]
intensity_norm = intensity_image / max(intensity_image(:)); % Нормировка когерентного [0-1]
%Визуализация сечений
subplot(2, 1, 2);
p = plot(x(N/2+1, :), item_norm(N/2+1, :), 'k-', ...
        x(N/2+1, :), intensity_norm(N/2+1, :), 'r-', ...
        x(N/2+1, :), ifft_intens_image(N/2+1, :), 'b-');

set(p(1), 'LineWidth', 2);
set(p(2), 'LineWidth', 2);
set(p(3), 'LineWidth', 2);
xlim([-x_max, x_max]);
ylim([0 1.1]); % Фиксированный диапазон для Y
grid on;
legend('Предмет', 'Когерентное', 'Некогерентное');
xlabel('x', мкм);
ylabel('Нормированная интенсивность');
title('Сравнение сечений (нормированные)');

pause

%Визуализация ФРТ сечения, ФРТ полутона и сечения ФПМ графика

```

```

%ФРТ сечение
subplot (1, 3, 1);
p = plot(x(N/2+1, :), PSF(N/2+1, :));
set(p(1), 'Color', 'b', 'LineWidth', 2); % параметры 1го набора x,y
xlim([-x_max/4, x_max/4]); % диапазон значений
grid on; % сетка
xlabel("x", мкм);
title('ФРТ, сечение');

% ФРТ полутоновое изображение
subplot(1, 3, 2);
pcolor(x, y, PSF); % рисование 3d карты уровней
colormap(gray); % черно-белая палитра
axis equal; % одинаковый масштаб по осям
axis([-x_max/4 x_max/4 -x_max/4 x_max/4]); % диапазон значений по осям
shading interp; % раскраска с использование интерполяции
xlabel("x", мкм);
ylabel("y", мкм);
title('ФРТ, полутоновое изображение');

% ФПМ график
subplot(1, 3, 3);
p = plot(px(N/2+1, :), M_abs(N/2+1, :));
set(p(1), 'Color', 'b', 'LineWidth', 2); % параметры 1го набора x,y
xlim([0, p_max/3]); % диапазон значений
grid on; % сетка
xlabel('sx, sy, к.ч. ');
title('ФПМ');

```