

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

КАФЕДРА № 52

ОТЧЕТ
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

ассистент

должность, уч. степень, звание

подпись, дата

Борисовская А.В.

инициалы, фамилия

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ФОРМАТА
BMP24

по курсу: Мультимедиа технологии

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. № 5912

подпись, дата

Нам Д.О.

инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2022

1. Цель работы

Ознакомление со структурой формата BMP, изучение способов представления изображений, анализ статистических свойств изображений, а также получение практических навыков обработки изображений.

2. Описание структуры формата RGB24

Изображение в формате RGB24 в системе хранится как BMP-файл. Файл BMP имеет следующую структуру:

- Заголовок
- Палитра (отсутствует в RGB24)
- Данные по пикселям

Для Windows BMP также характерно следующее:

- Данные представляются в виде одномерного массива, в котором значения, относящиеся к отдельным пикселям, записаны строка за строкой
- Ширина строки в байтах должна быть выравнена по границе двойного слова (4 байта)
- Каждый пиксель в формате RGB24 представляется тремя байтами. Первый содержит значение компоненты G, второй – B, третий – R.

Заголовок состоит из двух структур: BITMAPFILEHEADER и BITMAPINFOHEADER.

```
typedef struct tagBITMAPFILEHEADER {  
    WORD bfType;  
    DWORD bfSize;  
    WORD bfReserved1;  
    WORD bfReserved2;  
    DWORD bfOffBits;  
} BITMAPFILEHEADER, *PBITMAPFILEHEADER;
```

```
typedef struct tag BITMAPINFOHEADER {  
    DWORD biSize;  
    LONG biWidth;  
    LONG biHeight;  
    WORD biPlanes;  
    WORD biBitCount;  
    DWORD biCompression;  
    DWORD biSizeImage;
```

```
    LONG biXPelsPerMeter;  
    LONG biYPelsPerMeter;  
    DWORD biClrUsed;  
    DWORD biClrImportant;  
} BITMAPINFOHEADER, *PBITMAPINFOHEADER;
```

biWidth – ширина изображения в пикселях и biHeight – ширина изображения в пикселях, использовались для преобразования массива значений пикселей в матрицу.

3. Ход работы

3.1 Выбор BMP-файла

Файл был выбран из набора Kodak Image Set (kodim13)



Рисунок 1. Исходный файл

3.2 Разложение изображения на цветовые компоненты



Рисунок 2. R-компонента



Рисунок 3. G-компонента



Рисунок 4. В-компонента

Данные изображения были получены путем обнуления байтов, не относящихся к компоненте.

3.3 Вычисление корреляционных свойств компонент R, G, B

Correlation RG = 0.95683

Correlation RB = 0.68496

Correlation GB = 0.60044

3.4 Построение сечений трехмерного графика оценки нормированной автокорреляционной функции $r_{A,A}(x, y)$

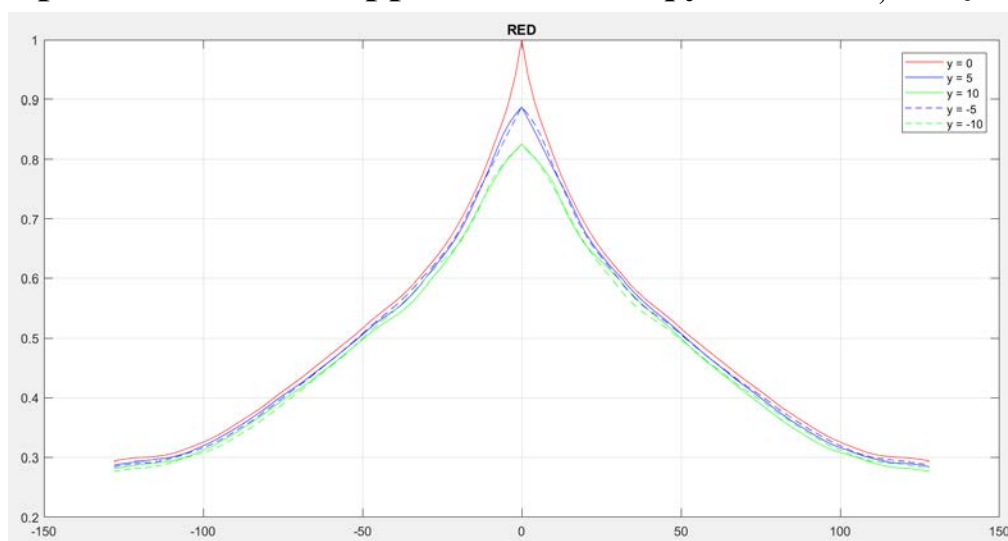


Рисунок 5. График автокорреляционной функции R-компоненты

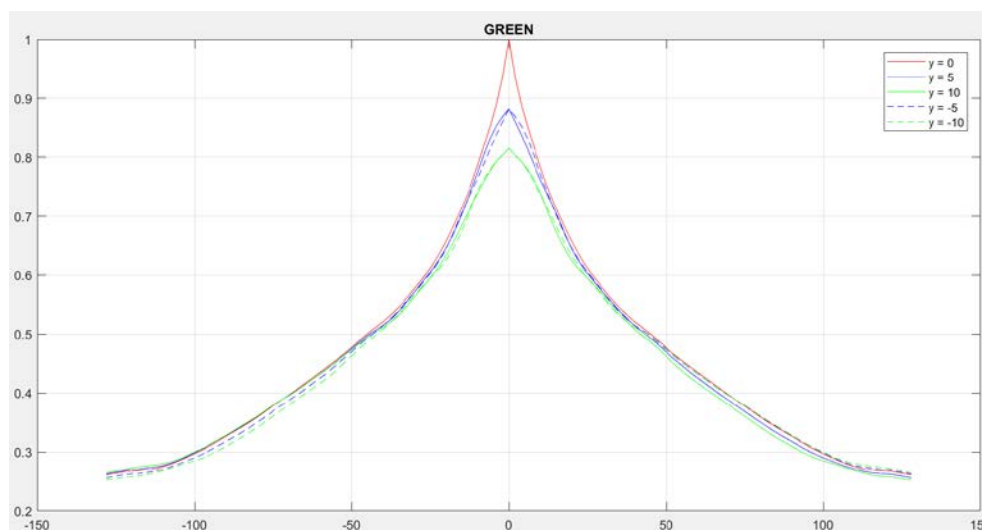


Рисунок 6. График автокорреляционной функции G-компоненты

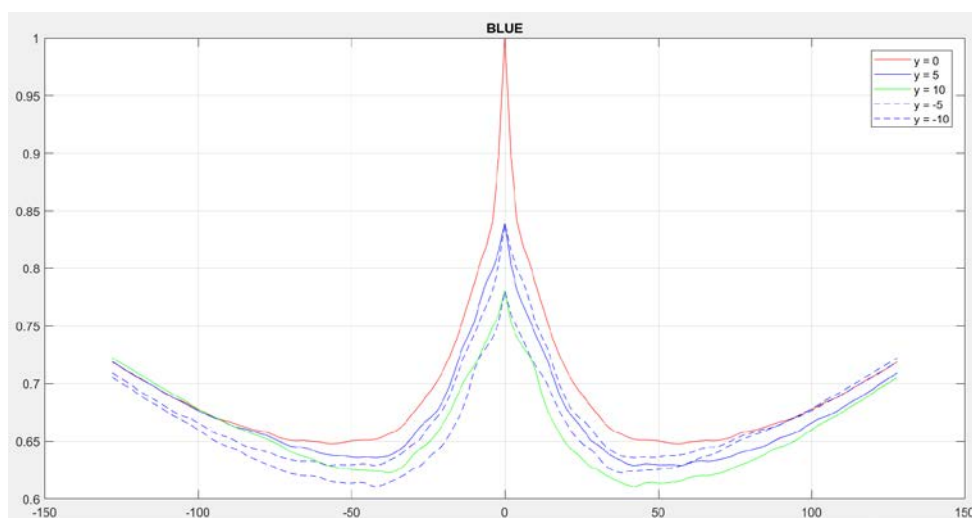


Рисунок 7. График автокорреляционной функции G-компоненты

3.5 Преобразование RGB24 в формат YCbCr

Значение корреляции:

- Correlation YCb: -0.2161
- Correlation YCr: 0.0511
- Correlation CbCr: -0.5167

Изображение компонент Y, Cb, Cr:



Рисунок 8. Y-компонента



Рисунок 9. Сб-компонента

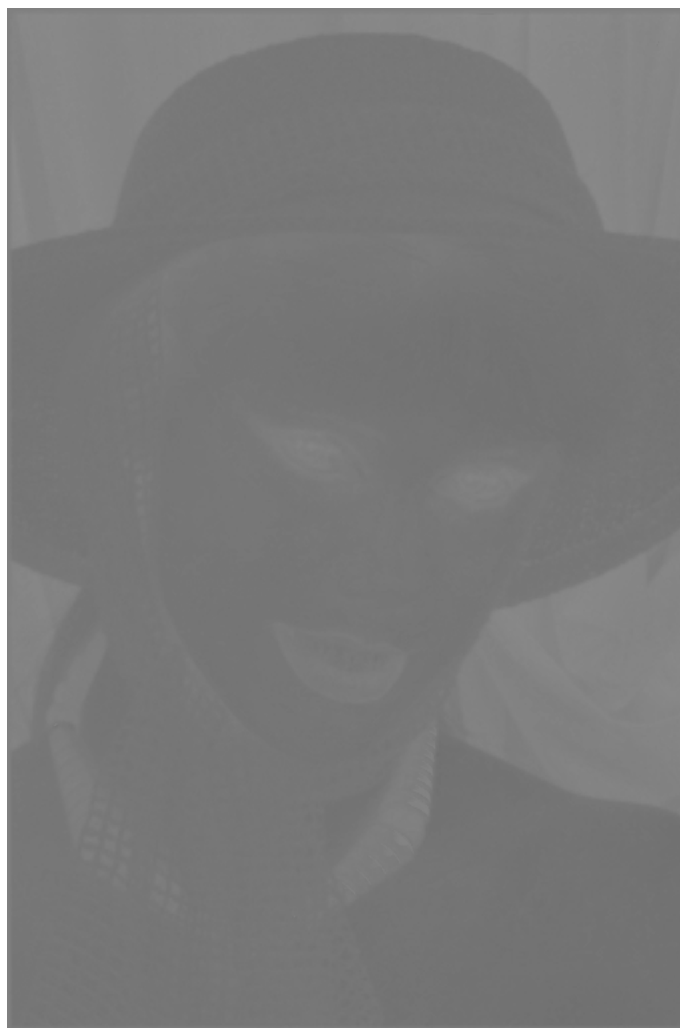


Рисунок 10. Cb-компонента

Вычисление PSNR по восстановленным из формата YCbCr данным:

PSNR Red = 106.5894

PSNR Green = 58.4192

PSNR Blue = 97.9285

Из-за того, что значения PSNR гораздо больше 45, ошибки после восстановление не обнаружить невооруженным глазом.

3.6 Децимация изображений

Децимация по 4-м пикселям:

(a – исключение четных строк и столбцов)

PSNR R for x2 (a) = 47.6331

PSNR G for x2 (a) = 48.6838

PSNR B for x2 (a) = 36.153

PSNR Cb for x2 (a) = 41.0957

PSNR Cr for x2 (a) = 50.5432

(b – вычисление значений элементов прореженного изображения как среднее арифметическое)

PSNR R for x2 (b) = 50.8314

PSNR G for x2 (b) = 51.7949

PSNR B for x2 (b) = 39.4133

PSNR Cb for x2 (b) = 44.3653

PSNR Cr for x2 (b) = 53.7529

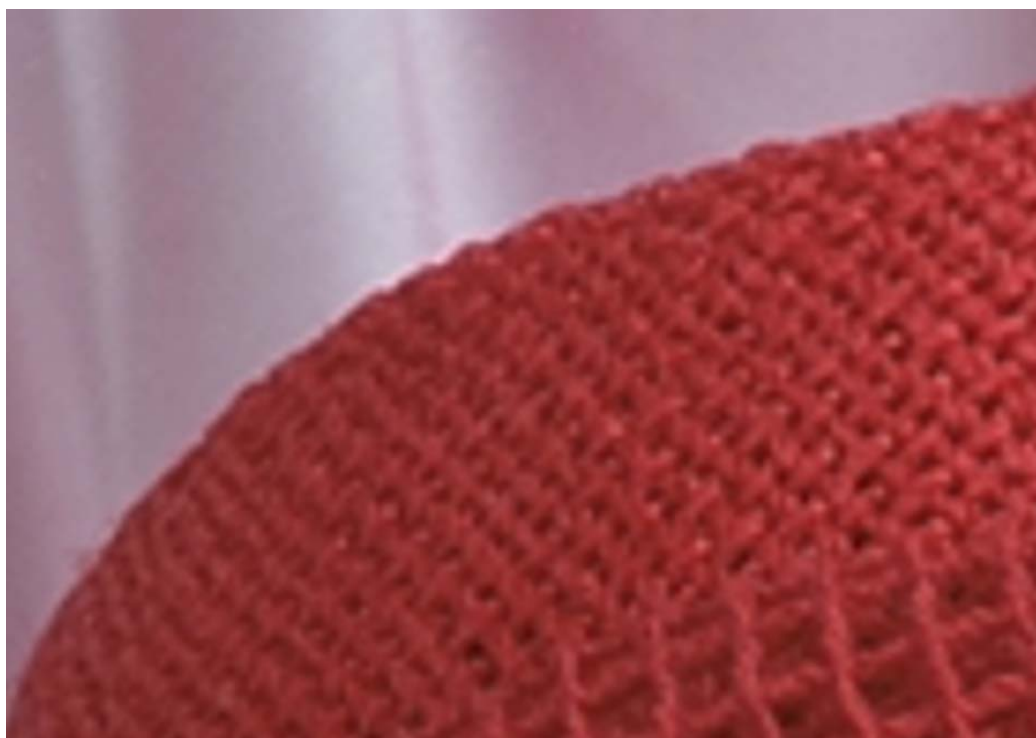


Рисунок 11. Фрагмент первоначальной картинки

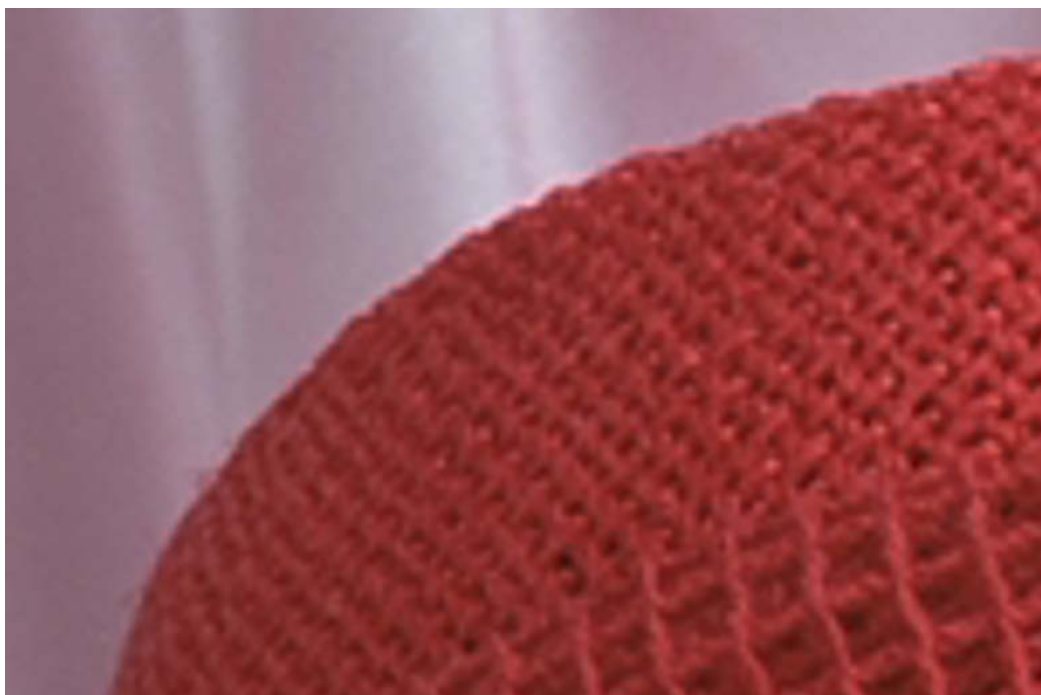


Рисунок 12. Фрагмент картинки, восстановленной после децимации способом (а)

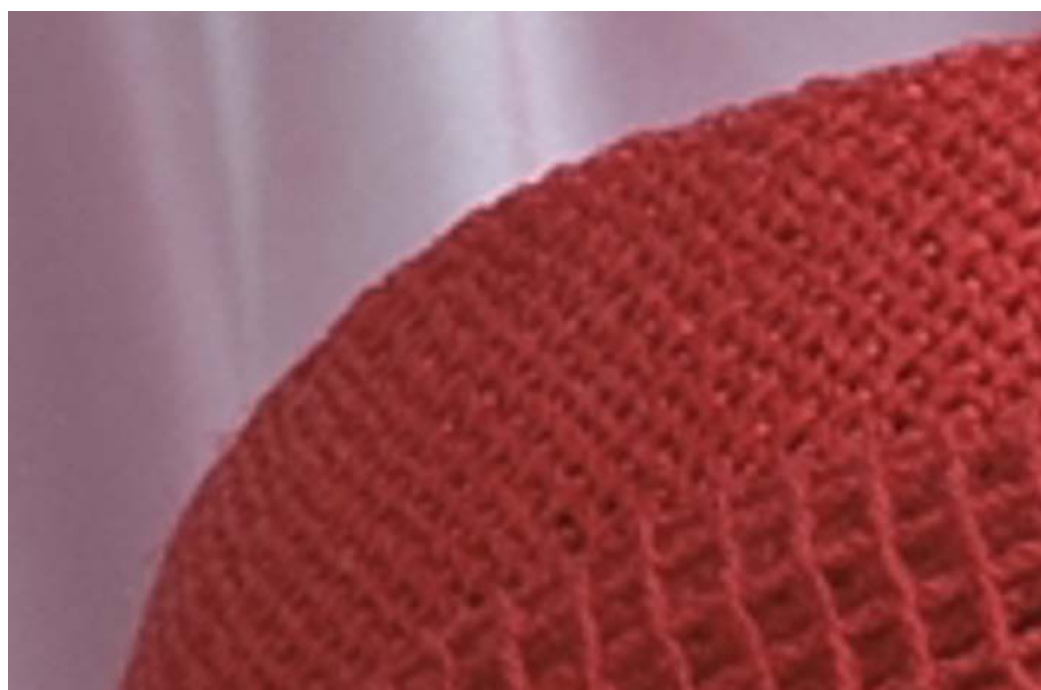


Рисунок 13. Фрагмент картинки, восстановленной после децимации способом (b)

Децимация по 16-ти пикселям:

(а – исключение четных строк и столбцов)

PSNR R for x4 (a) = 42.514

PSNR G for x4 (a) = 43.4813

PSNR B for x4 (a) = 29.1656

PSNR Cb for x4 (a) = 34.0537

PSNR Cr for x4 (a) = 45.1366

(b – вычисление значений элементов прореженного изображения как среднее арифметическое)

PSNR R for x4 (b) = 46.6584

PSNR G for x4 (b) = 47.6575

PSNR B for x4 (b) = 33.7612

PSNR Cb for x4 (b) = 38.7127

PSNR Cr for x4 (b) = 49.4717

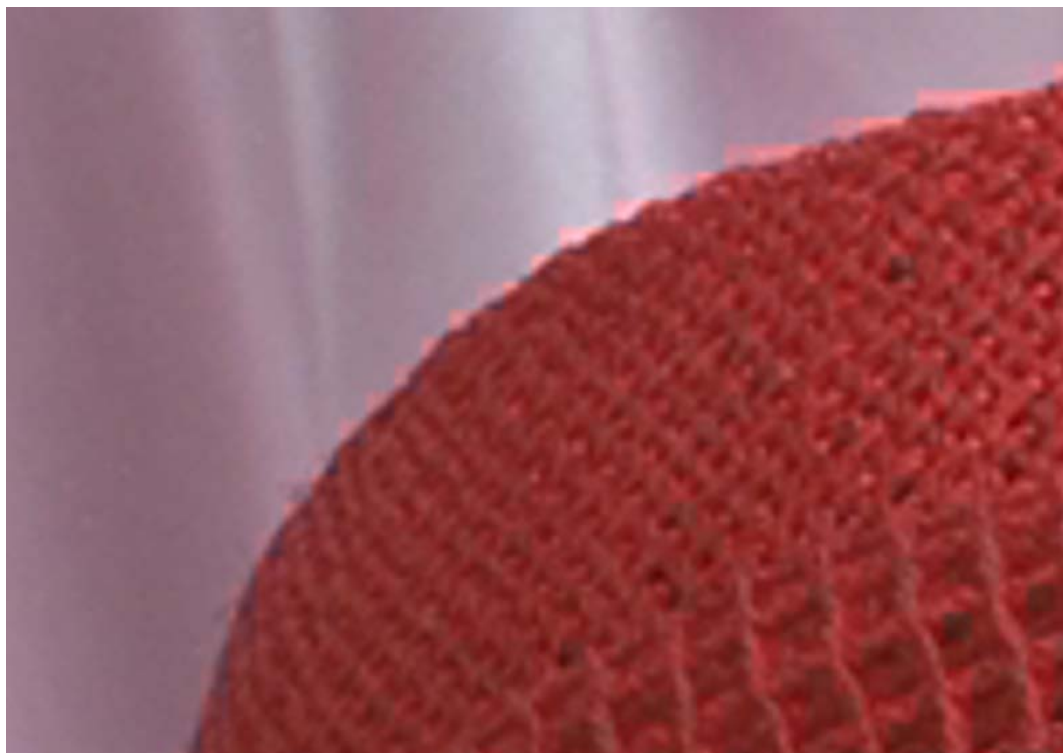


Рисунок 14. Фрагмент картинки после децимации способом (a)

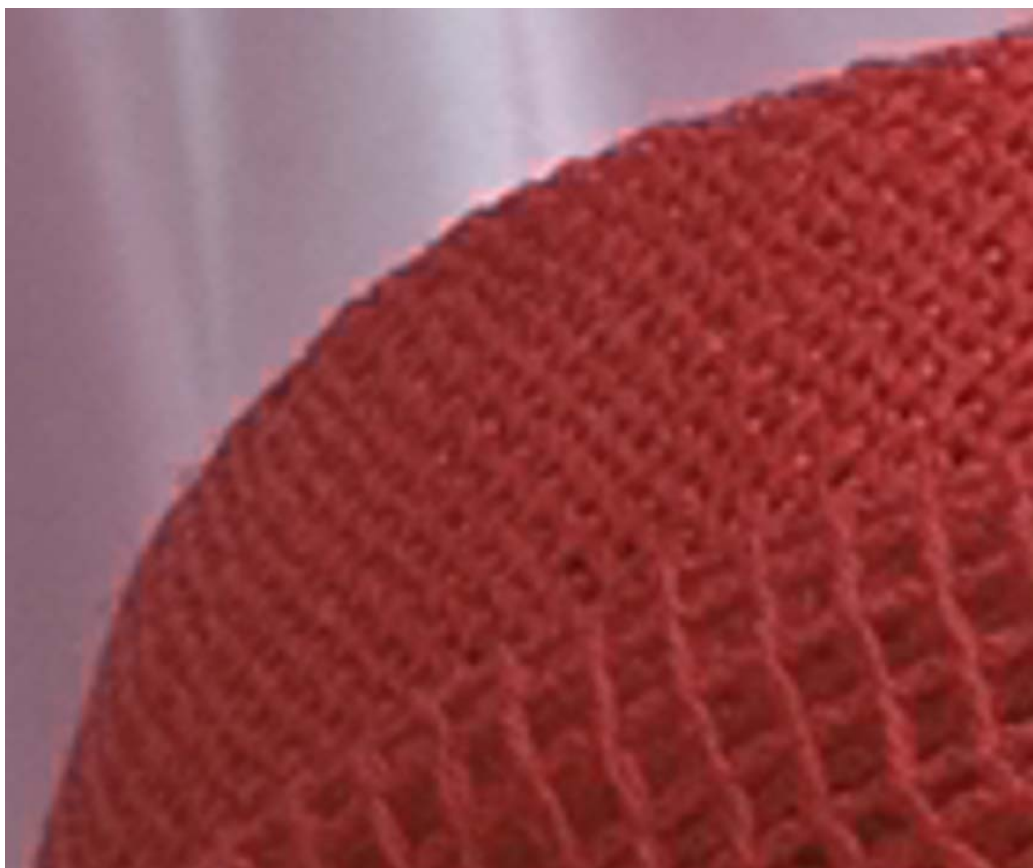


Рисунок 15. Фрагмент картинки после децимации способом (b)

3.7 Построение гистограмм частот

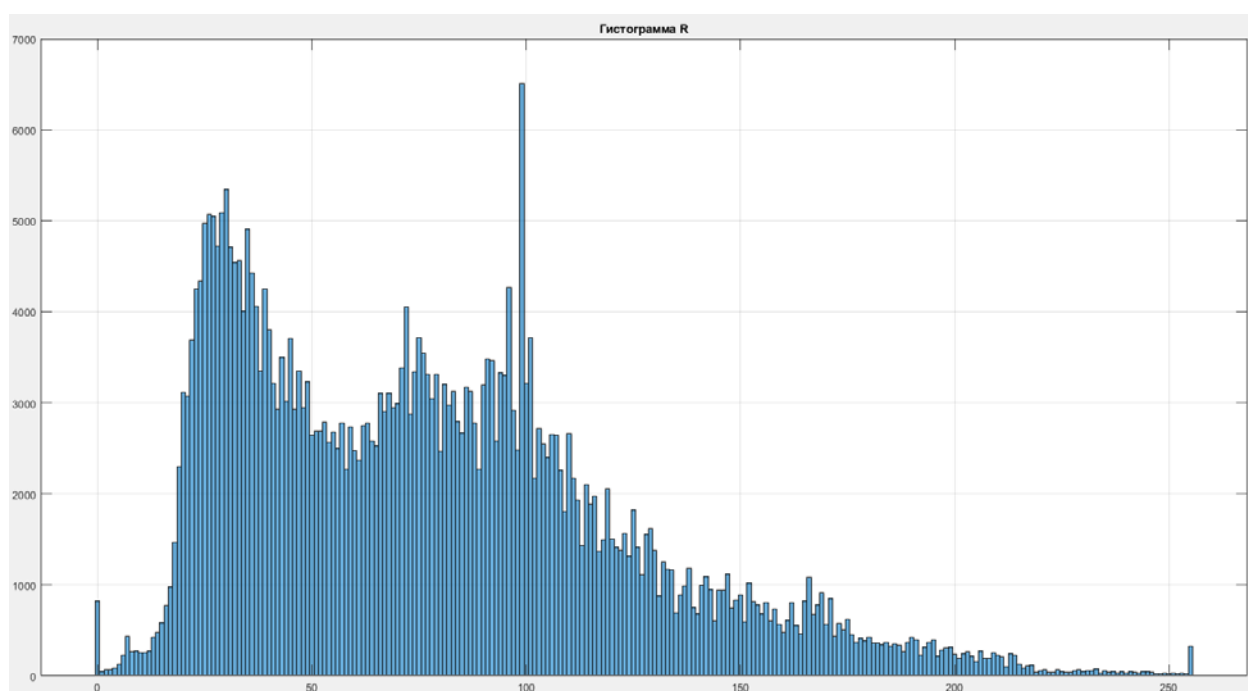


Рисунок 16. Гистограмма R-компоненты

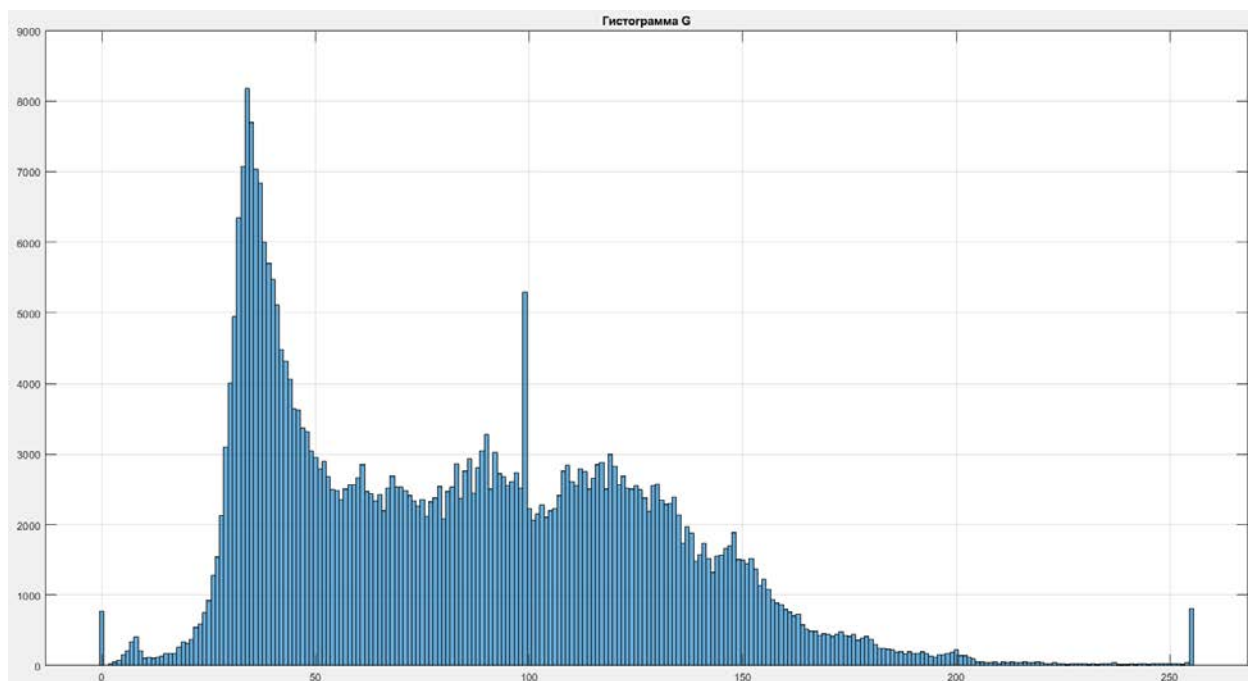


Рисунок 17. Гистограмма G-компоненты

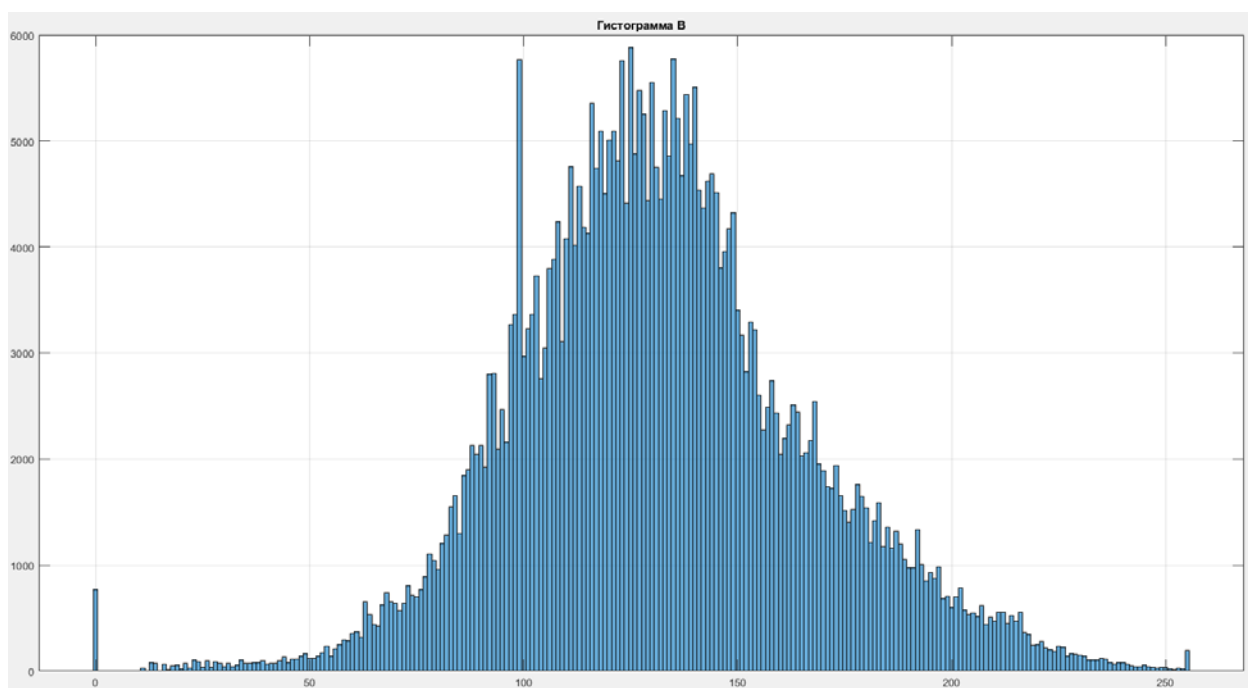


Рисунок 18. Гистограмма B-компоненты

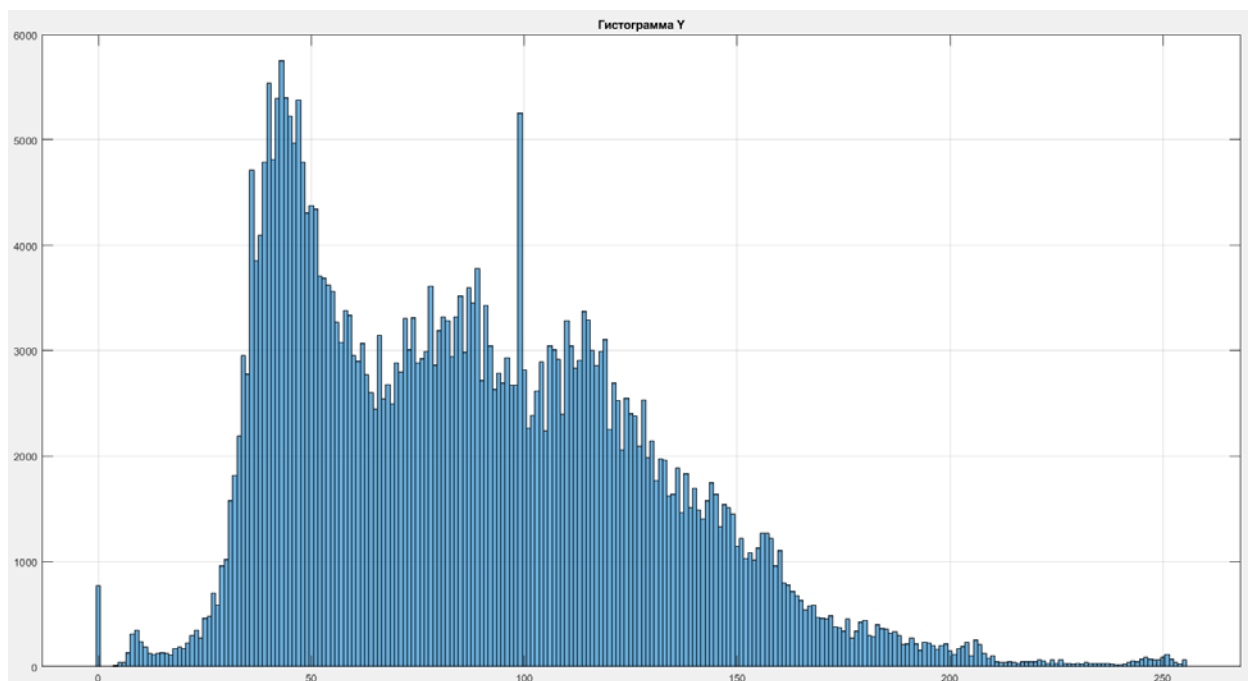


Рисунок 19. Гистограмма Y-компоненты

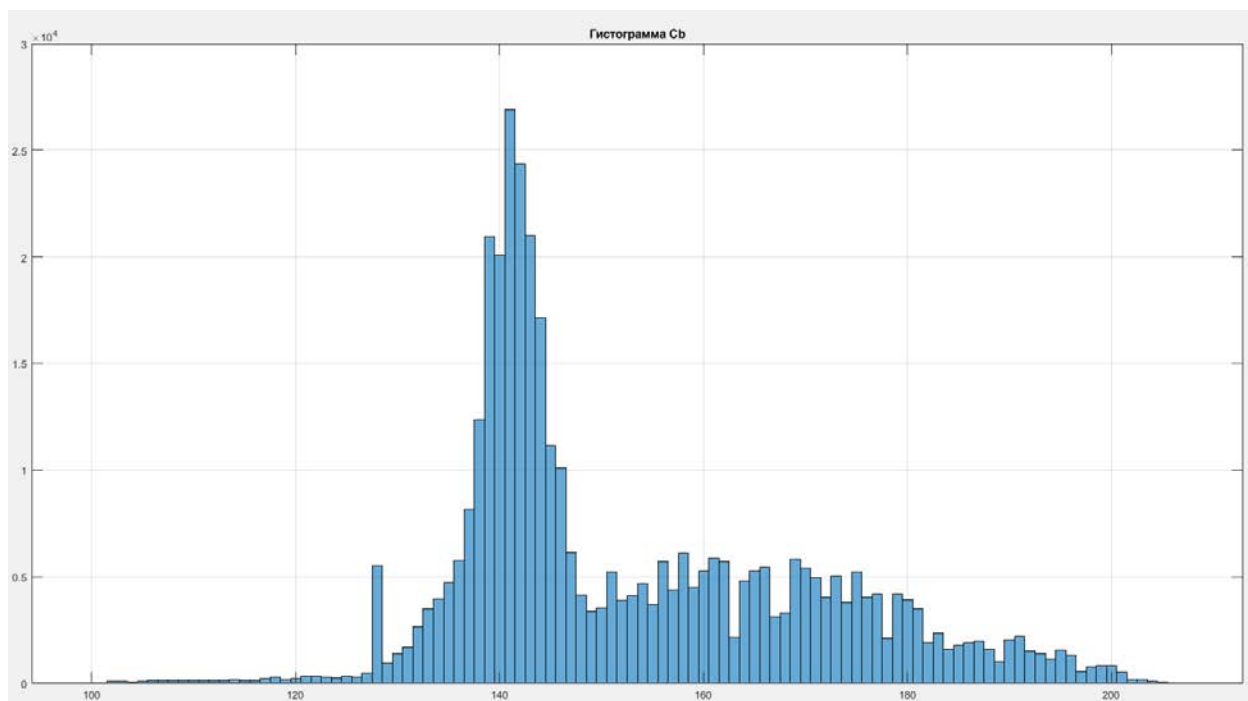


Рисунок 20. Гистограмма Sb-компоненты

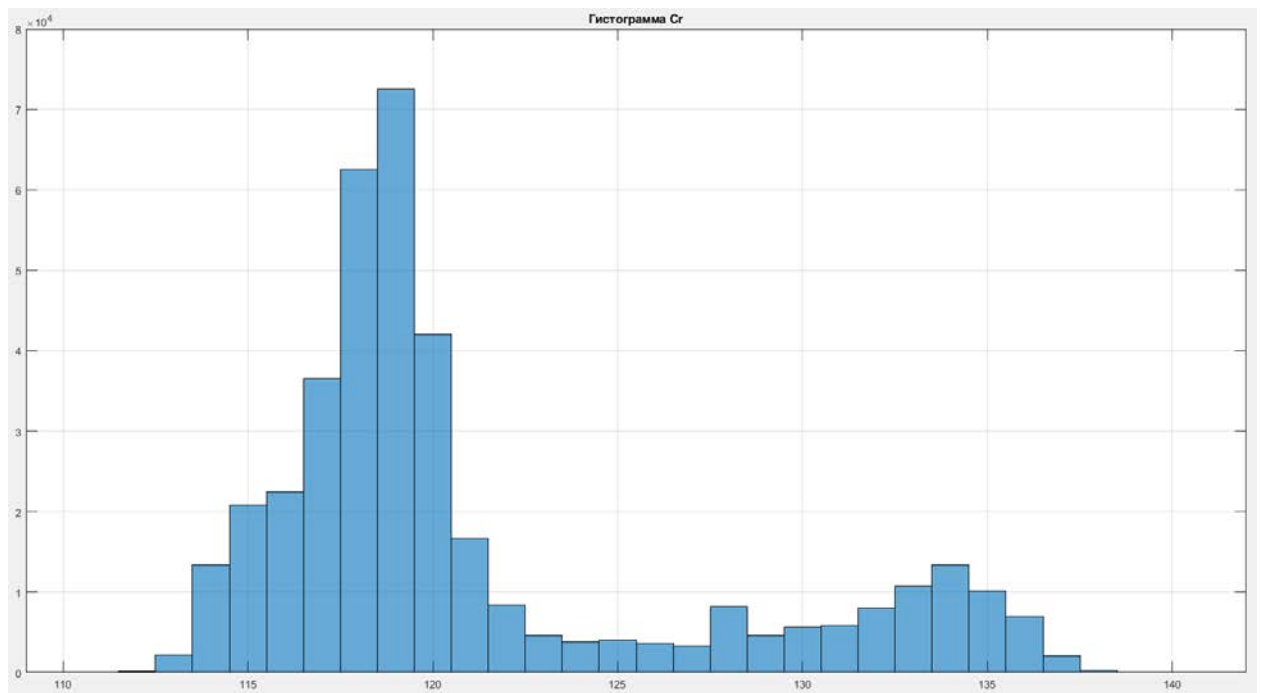


Рисунок 21. Гистограмма Cr-компоненты

3.8 Оценка числа бит при поэлементном независимом сжатии

Энтропия R = 7.3145

Энтропия G = 7.2225

Энтропия B = 7.0983

Энтропия Y = 7.243

Энтропия Cb = 5.7411

Энтропия Cr = 3.9299

3.9 Построение гистограмм частот для массивов разностей $D_A^{(R)}$

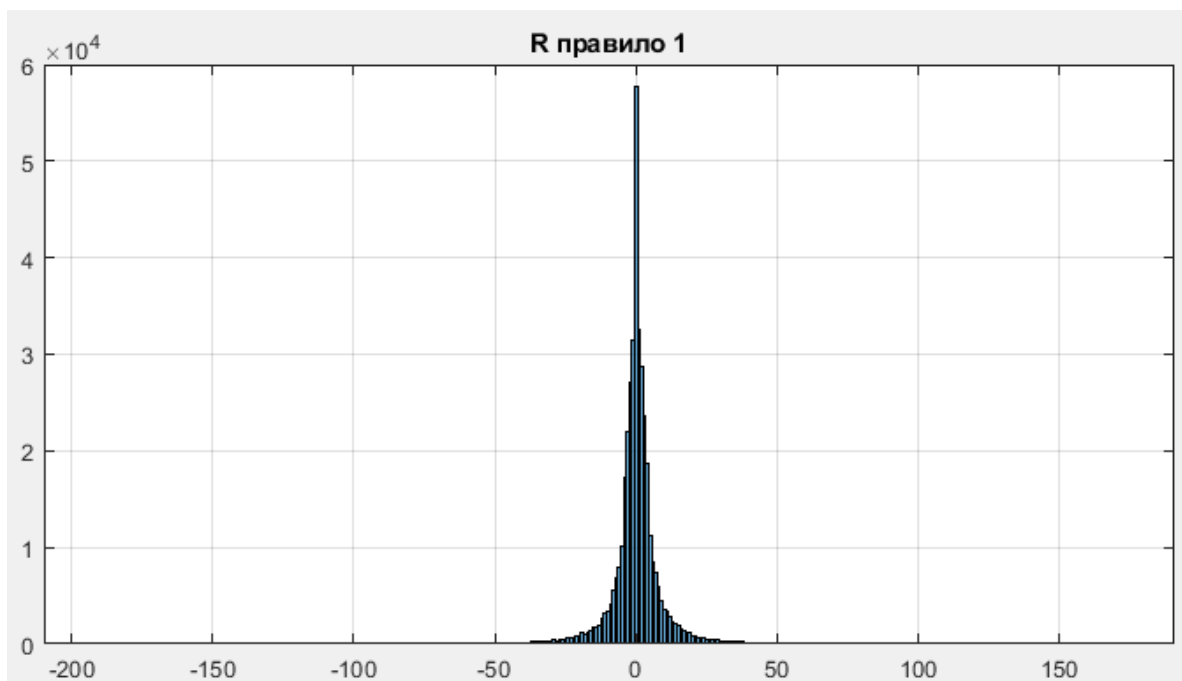


Рисунок 22. Гистограмма D_R с правилом 1

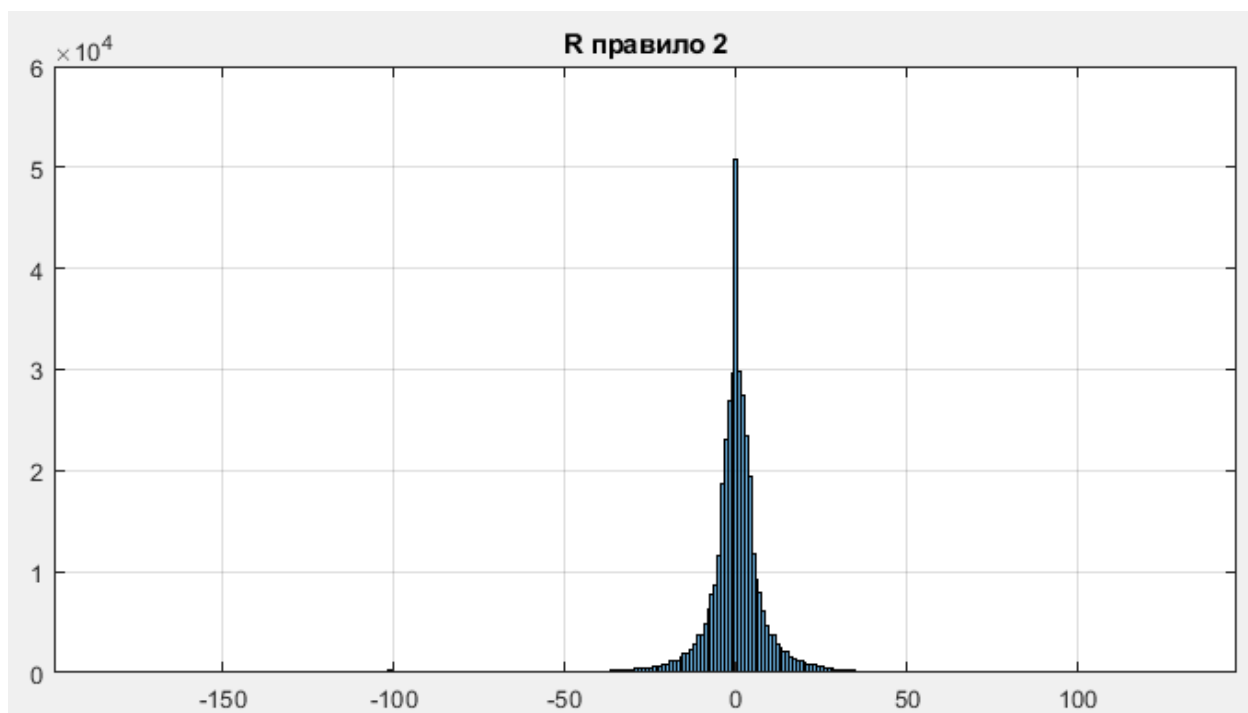


Рисунок 23. Гистограмма D_R с правилом 2

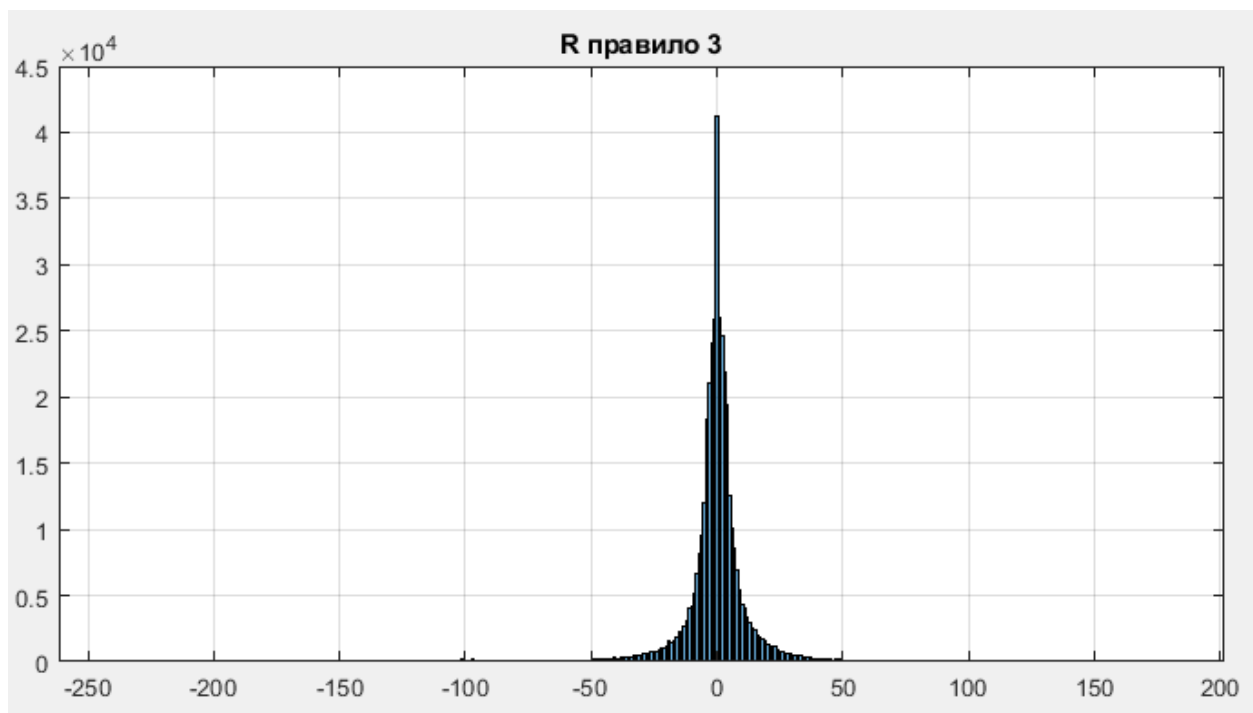


Рисунок 24. Гистограмма D_R с правилом 3

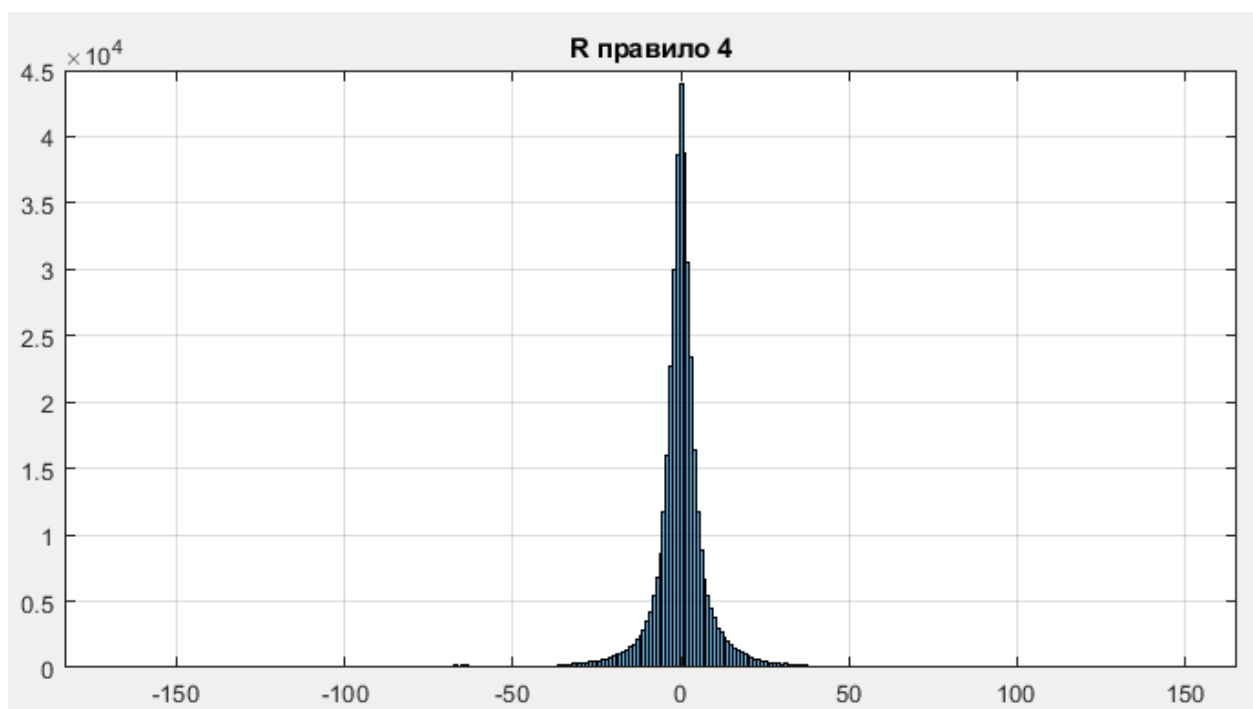


Рисунок 25. Гистограмма D_R с правилом 4

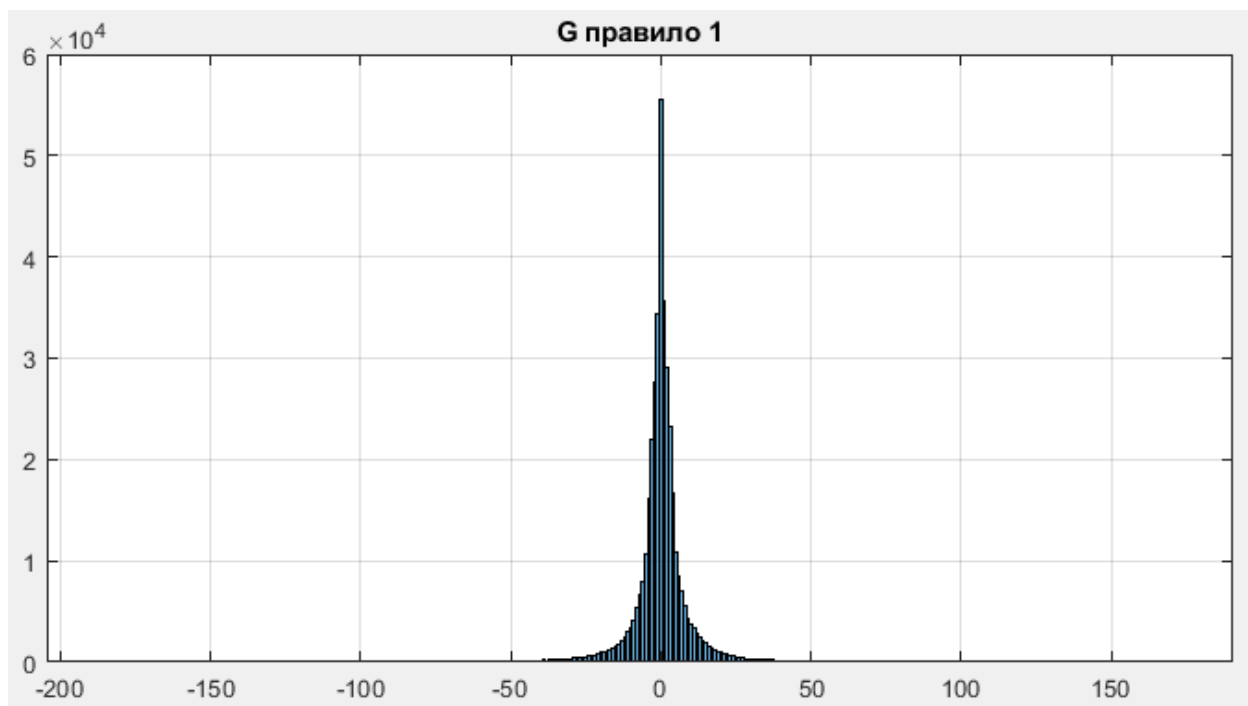


Рисунок 26. Гистограмма D_G с правилом 1

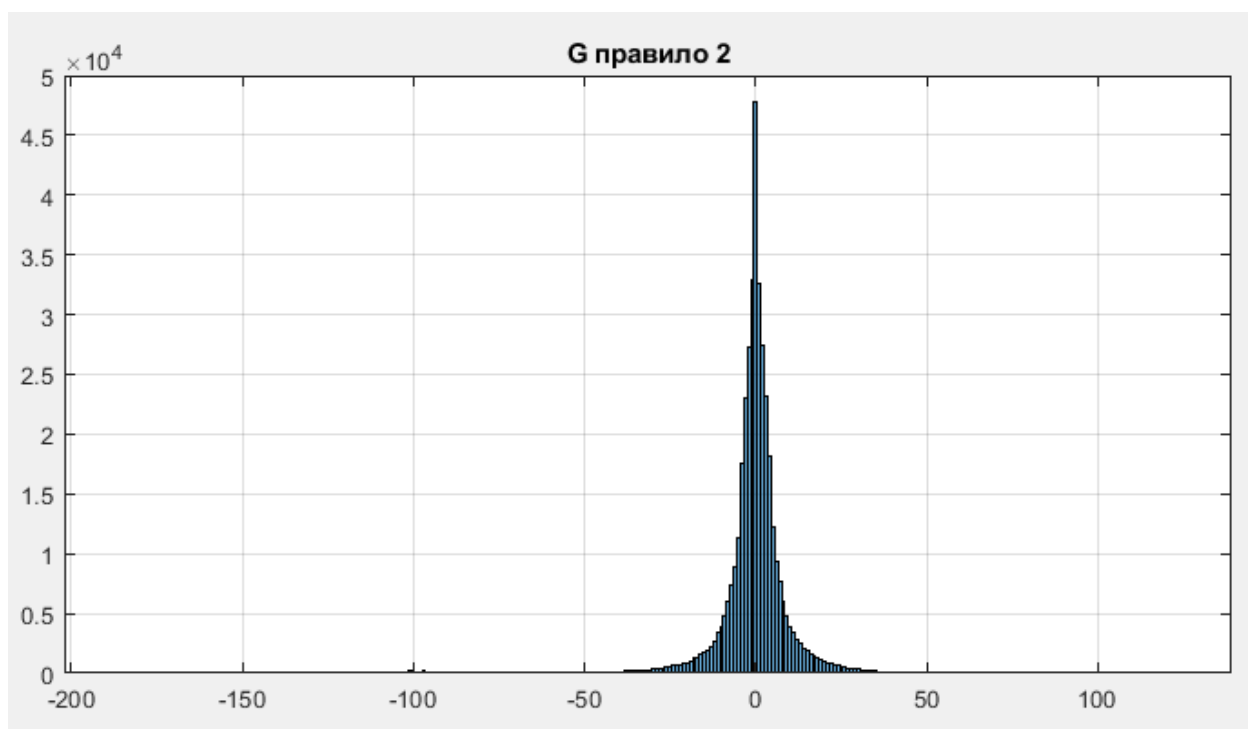


Рисунок 27. Гистограмма D_G с правилом 2

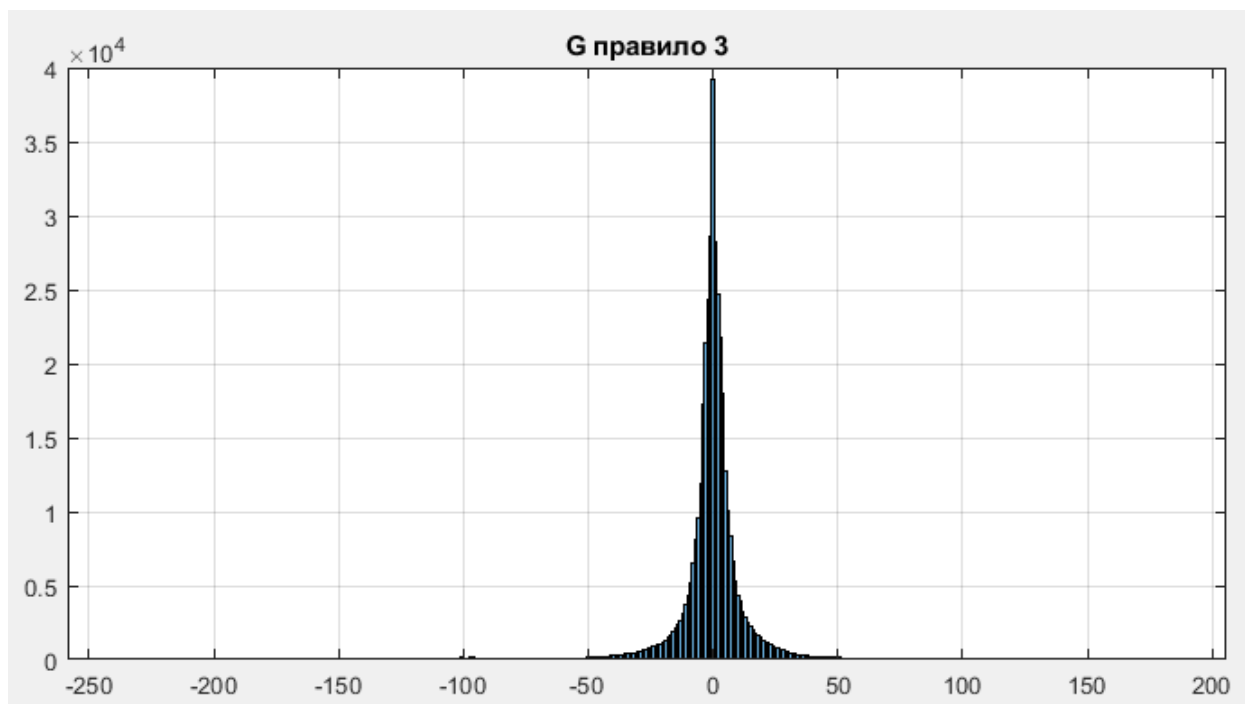


Рисунок 28. Гистограмма D_G с правилом 3

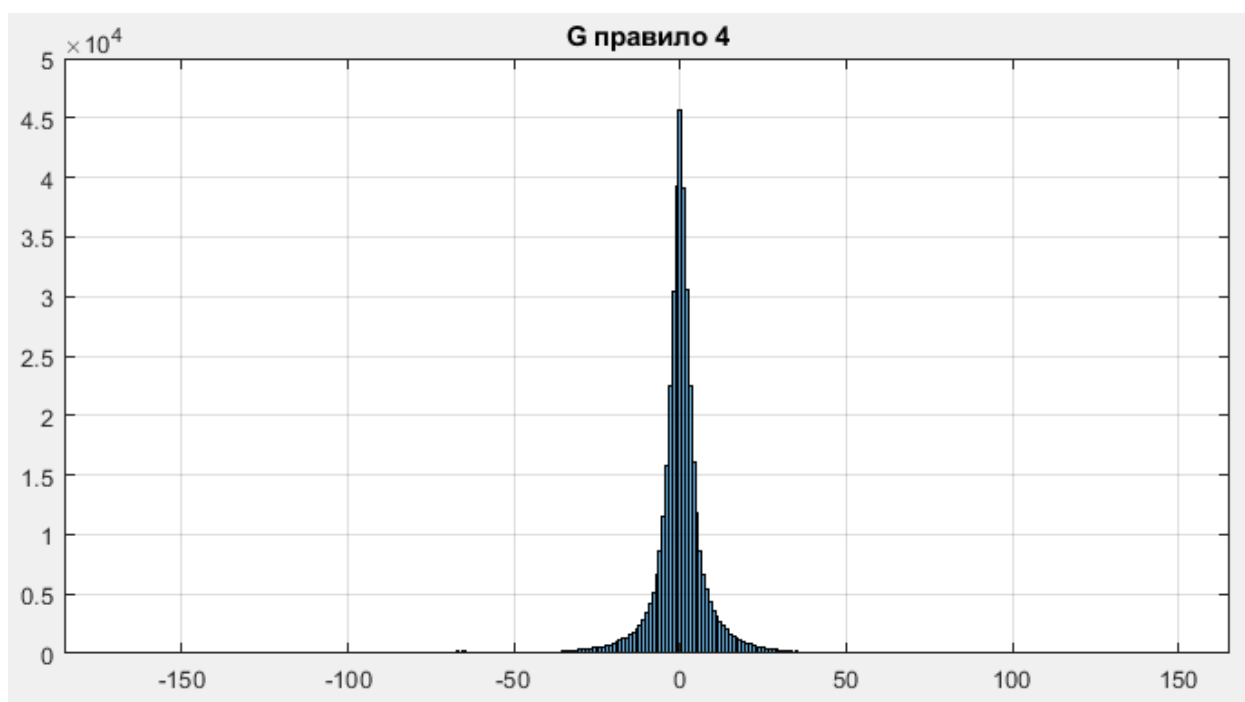


Рисунок 29. Гистограмма D_G с правилом 4

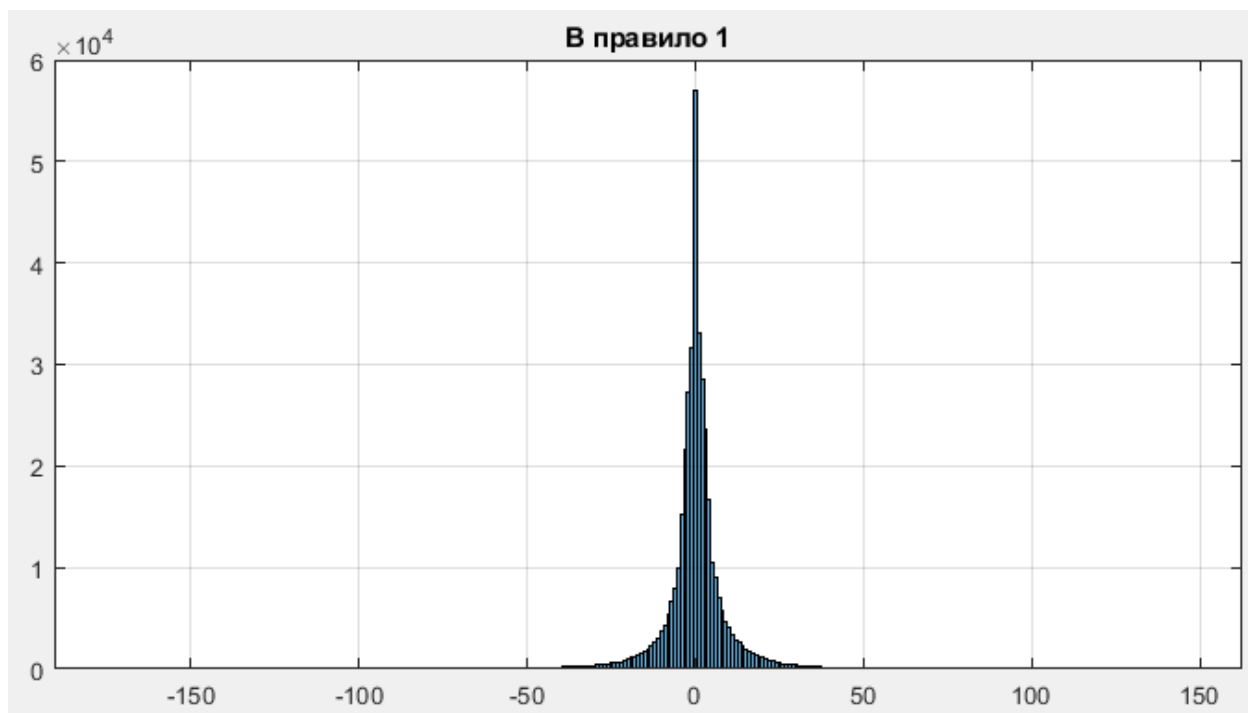


Рисунок 30. Гистограмма D_B с правилом 1

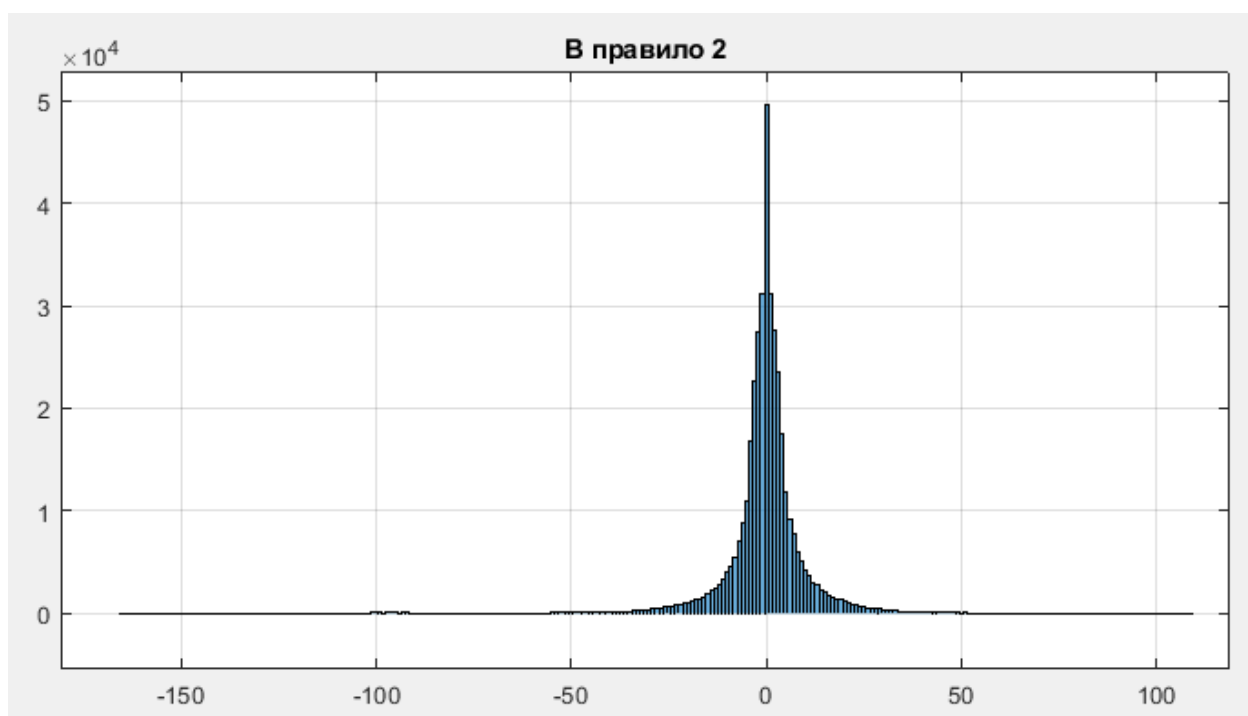


Рисунок 31. Гистограмма D_B с правилом 2

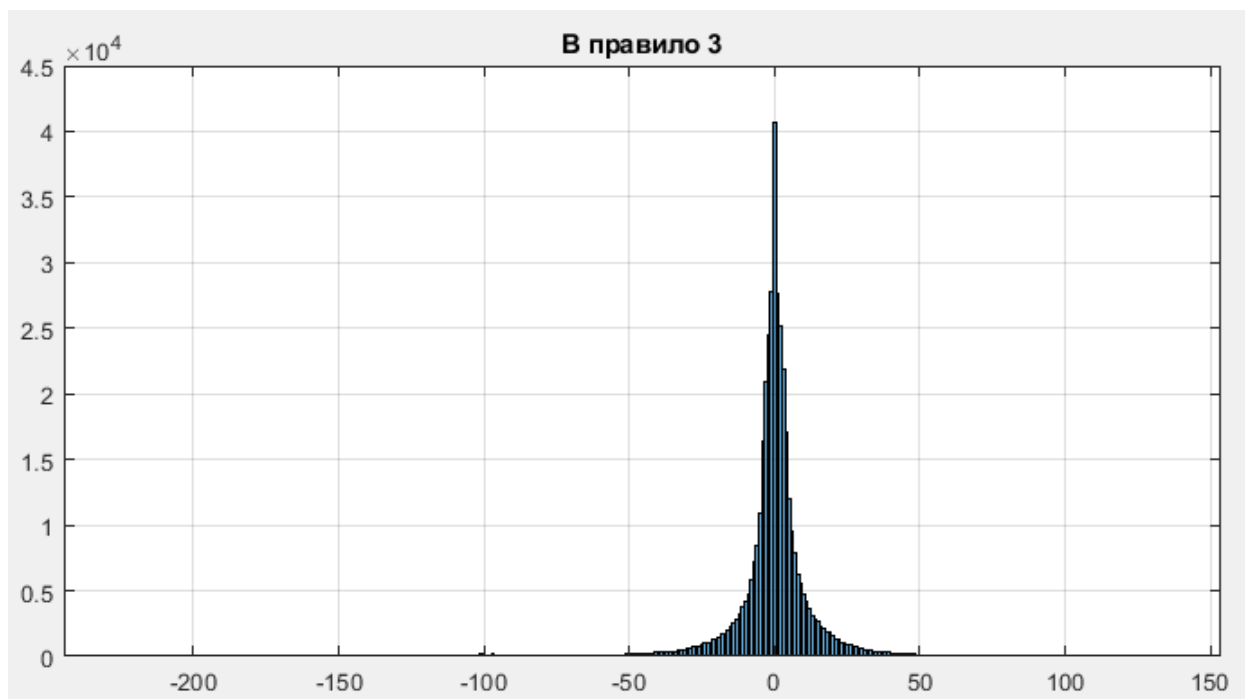


Рисунок 32. Гистограмма D_B с правилом 3

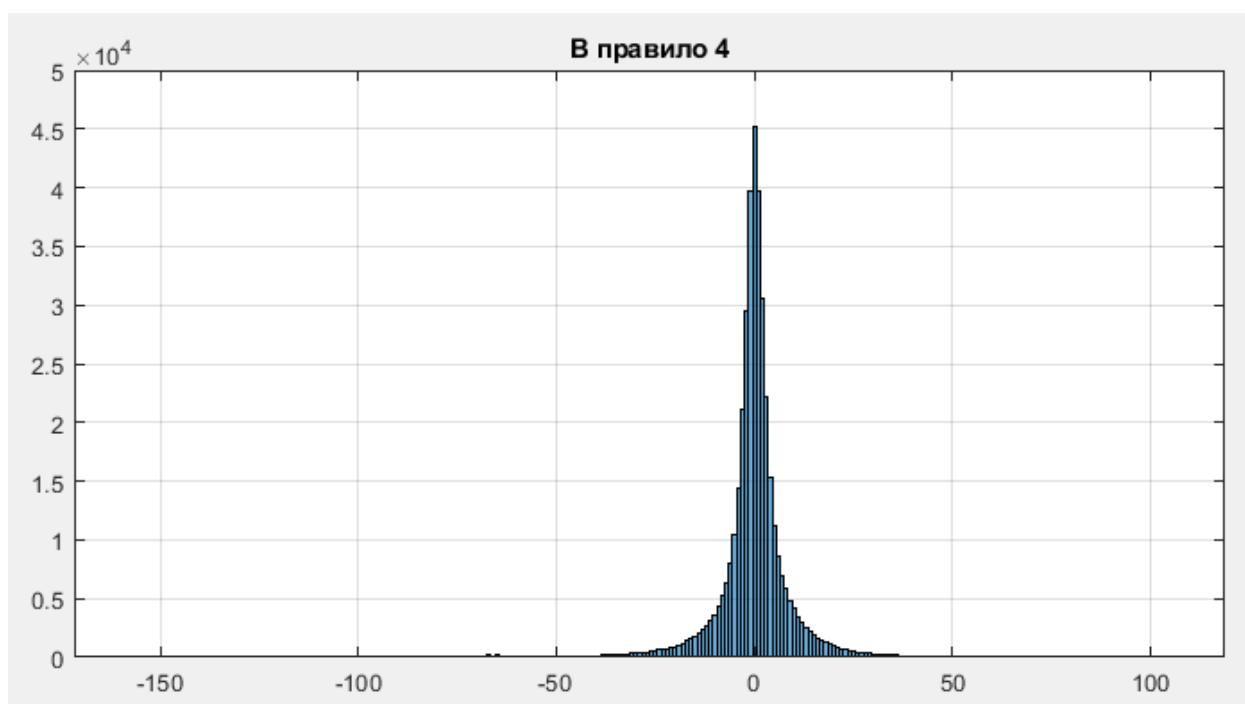


Рисунок 33. Гистограмма D_B с правилом 4

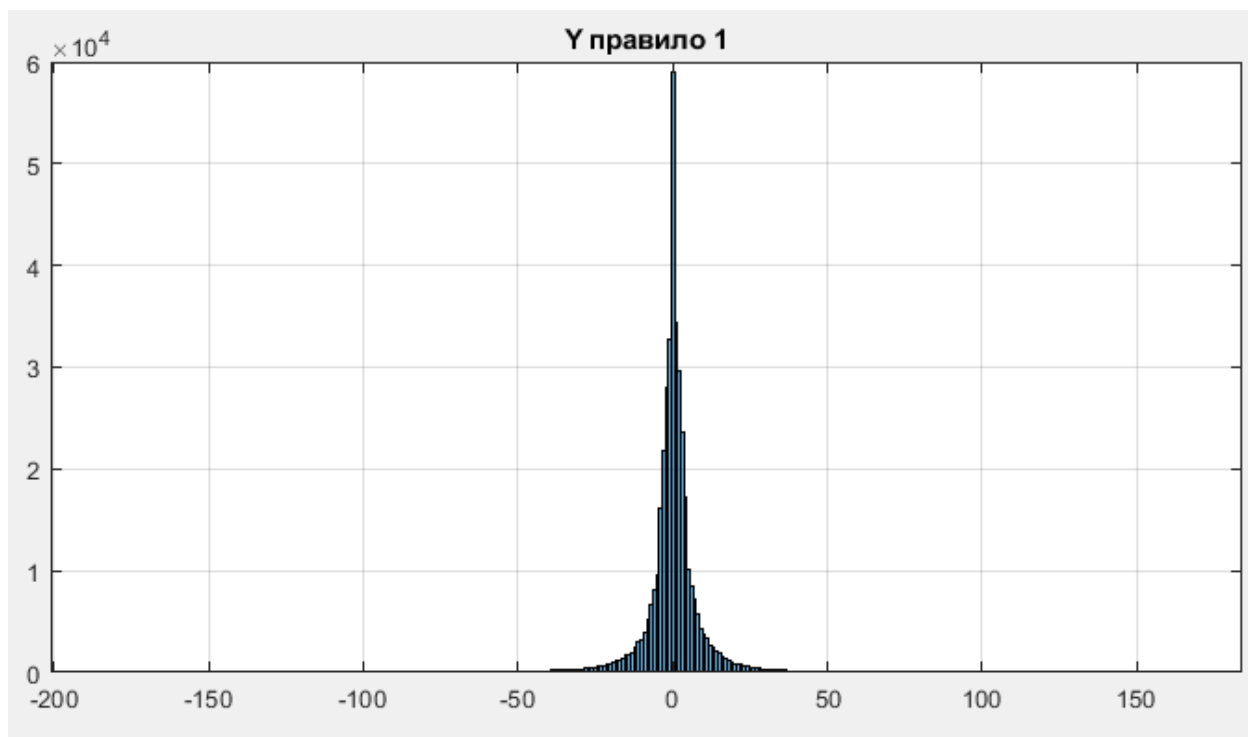


Рисунок 34. Гистограмма D_Y с правилом 1

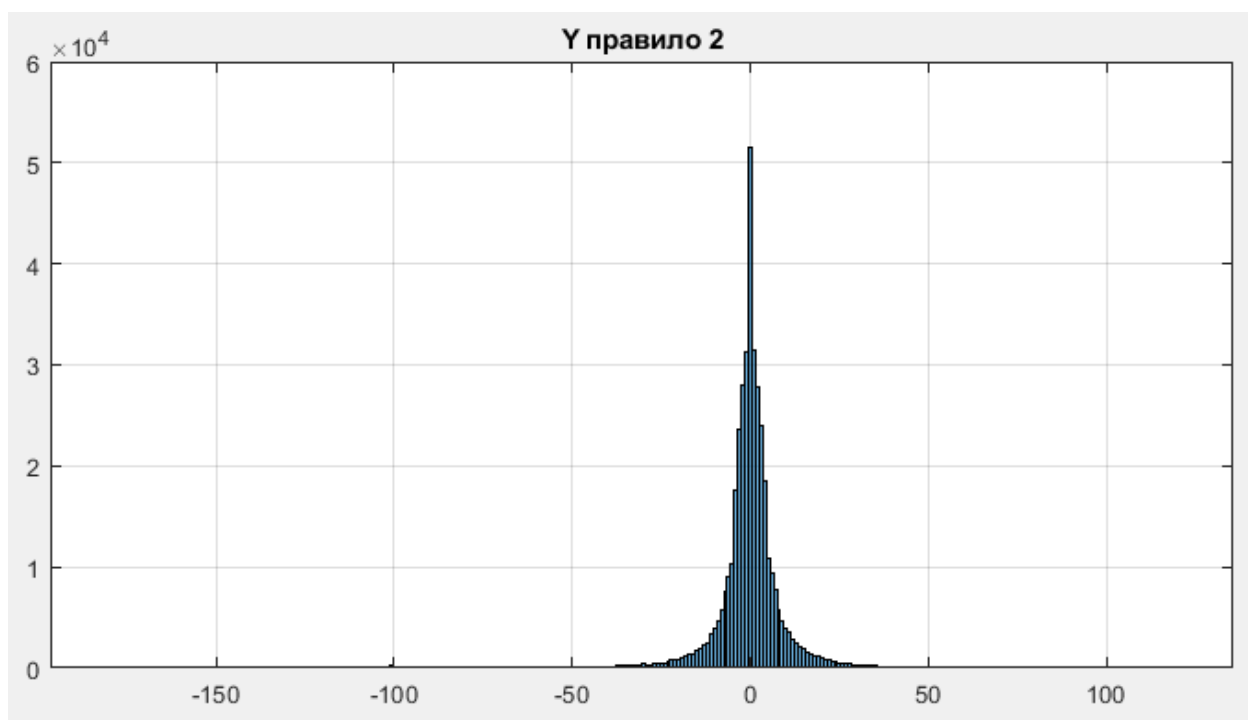


Рисунок 35. Гистограмма D_Y с правилом 2

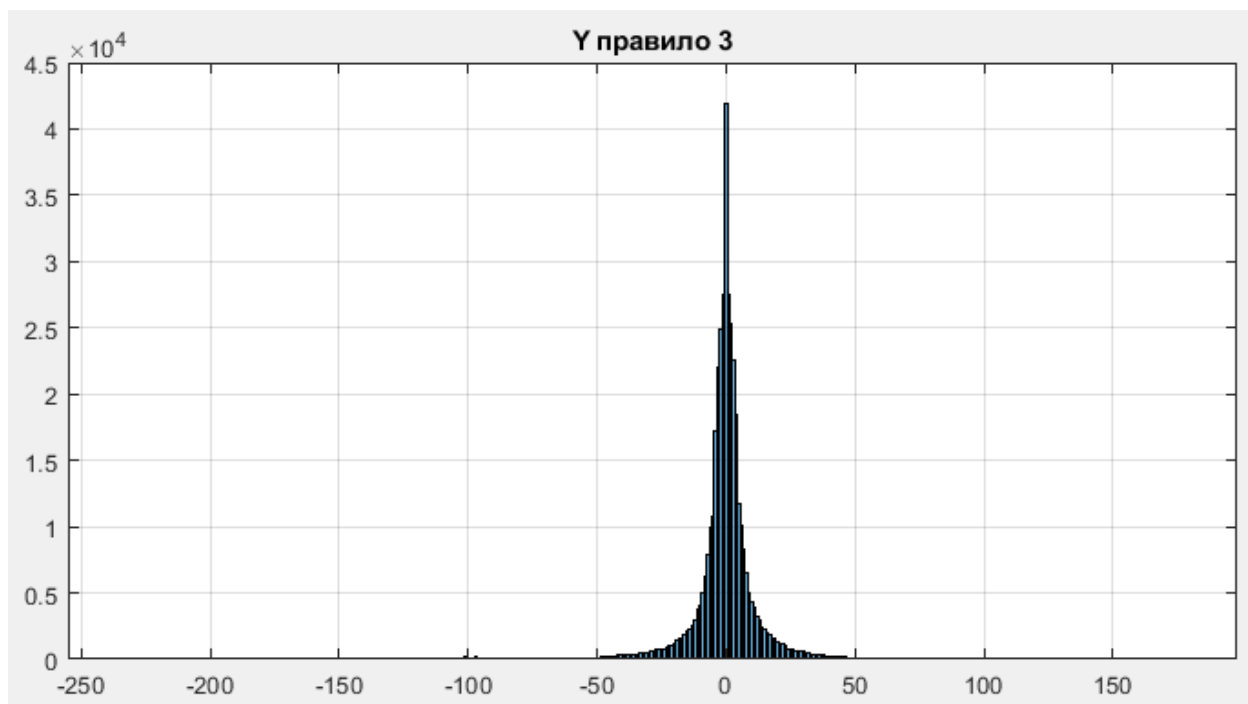


Рисунок 36. Гистограмма D_Y с правилом 3

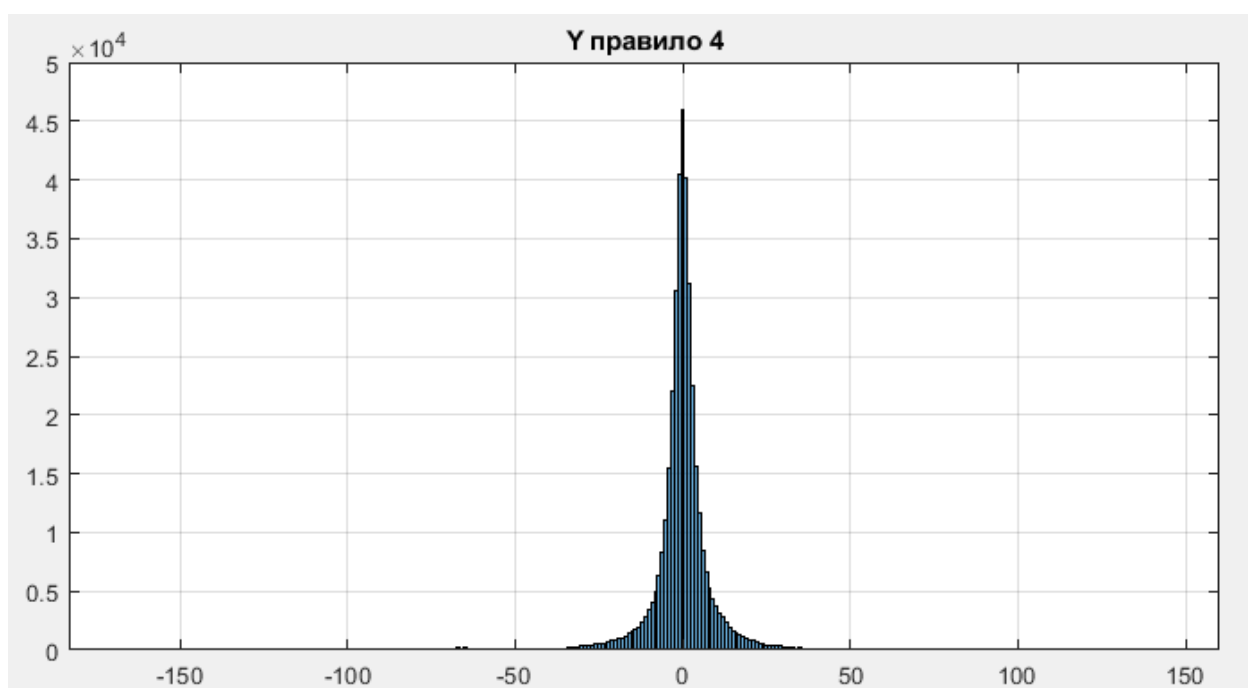


Рисунок 37. Гистограмма D_Y с правилом 4

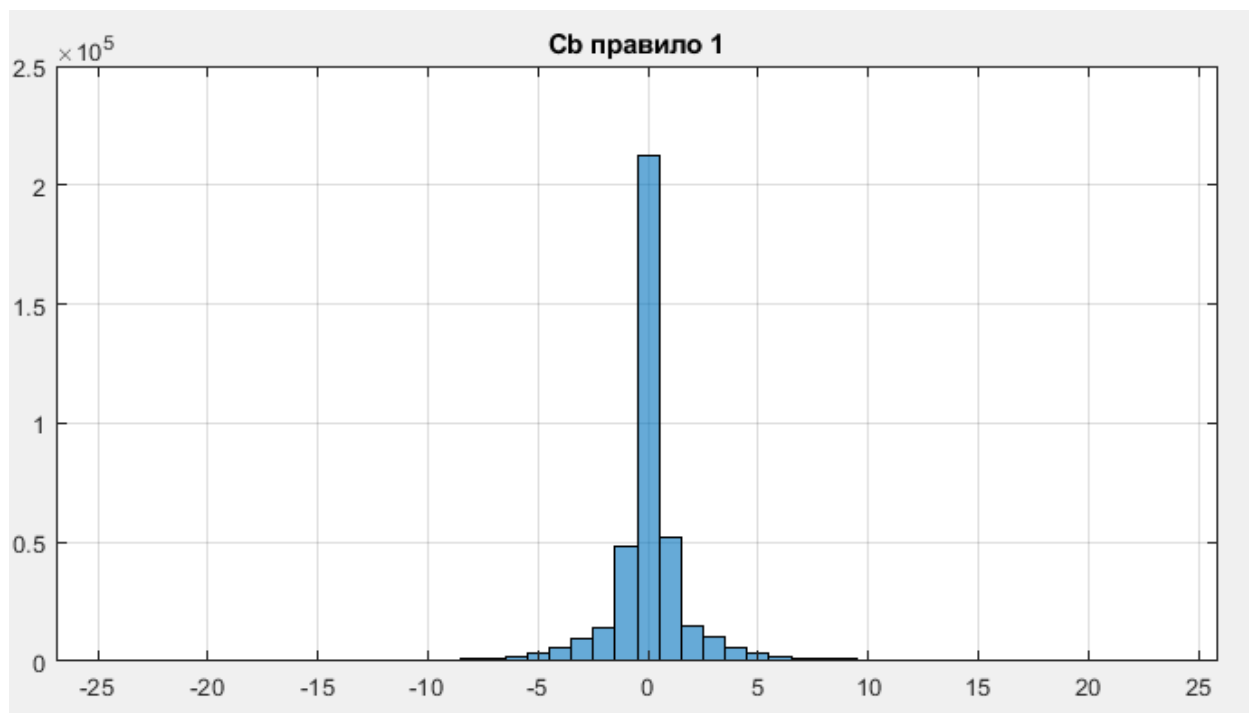


Рисунок 38. Гистограмма D_{Cb} с правилом 1



Рисунок 39. Гистограмма D_{Cb} с правилом 2

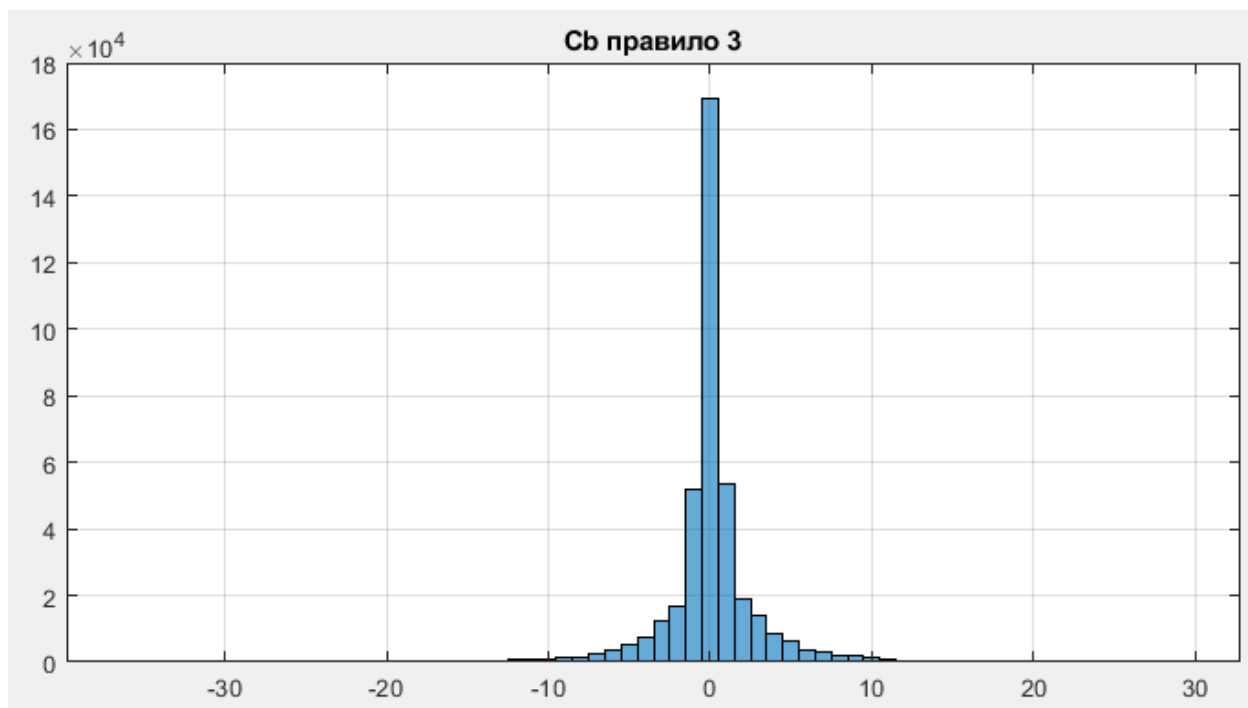


Рисунок 40. Гистограмма D_{Cb} с правилом 3

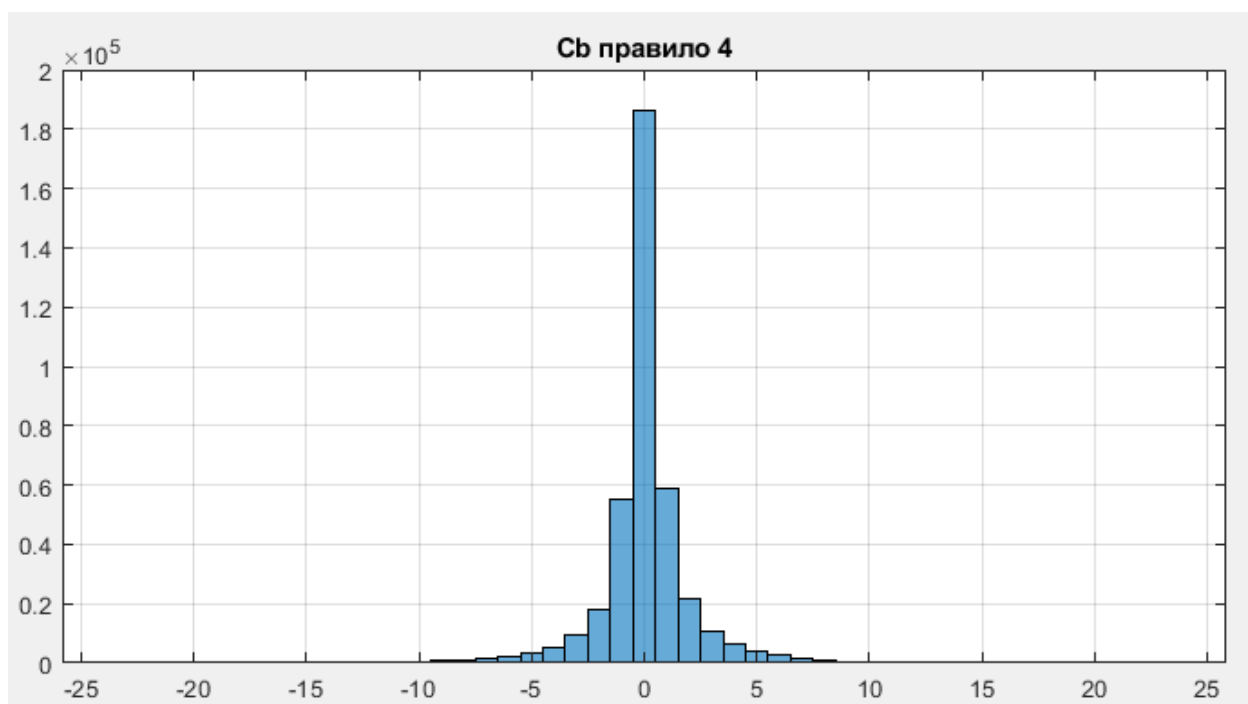


Рисунок 41. Гистограмма D_{Cb} с правилом 4

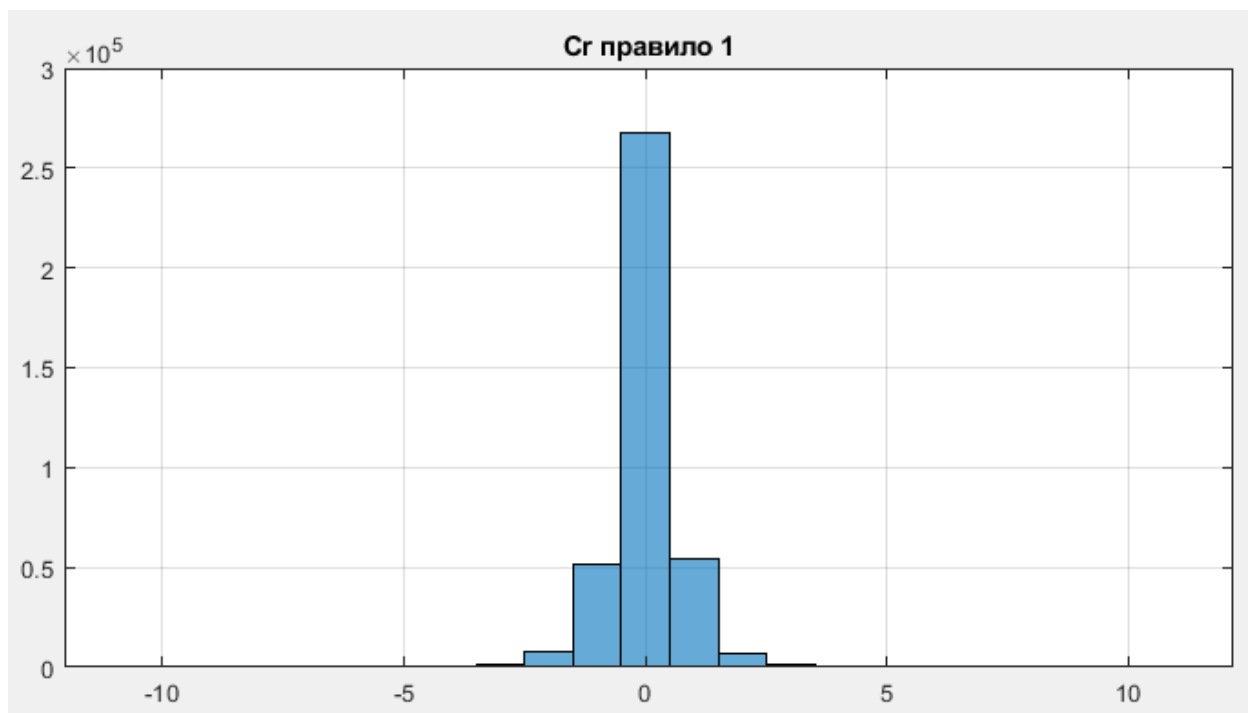


Рисунок 42. Гистограмма D_{Cr} с правилом 1

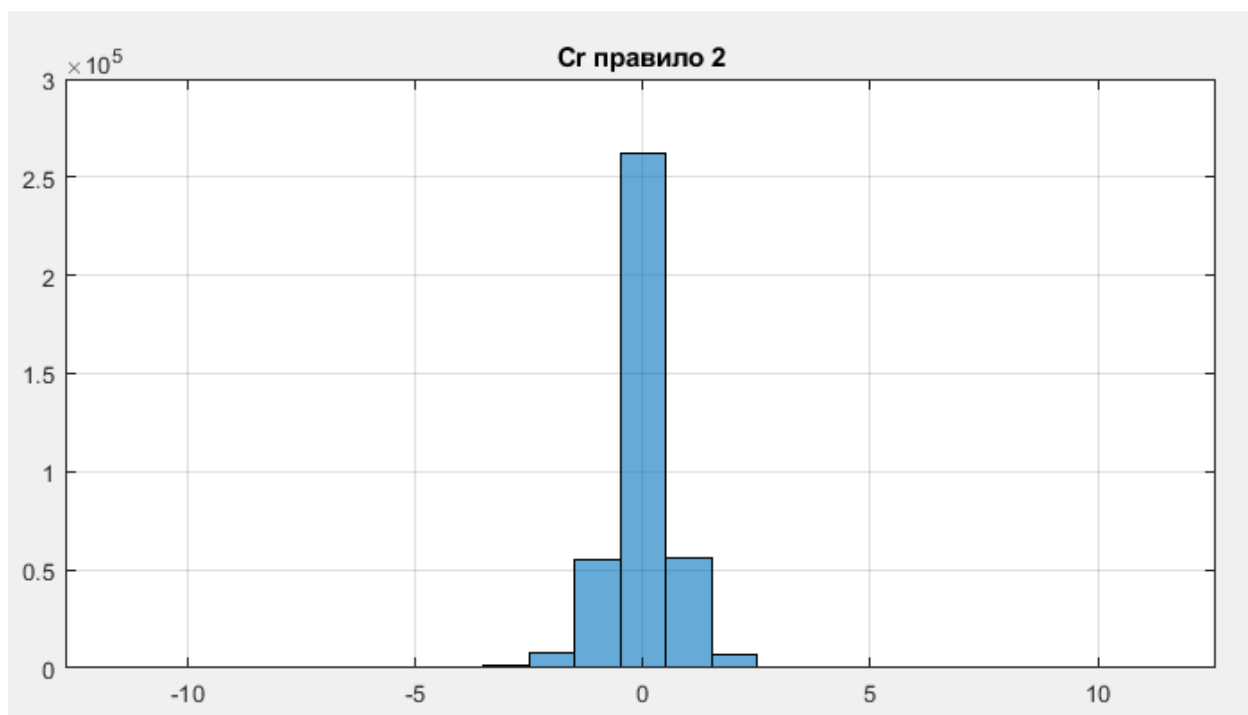


Рисунок 43. Гистограмма D_{Cr} с правилом 2

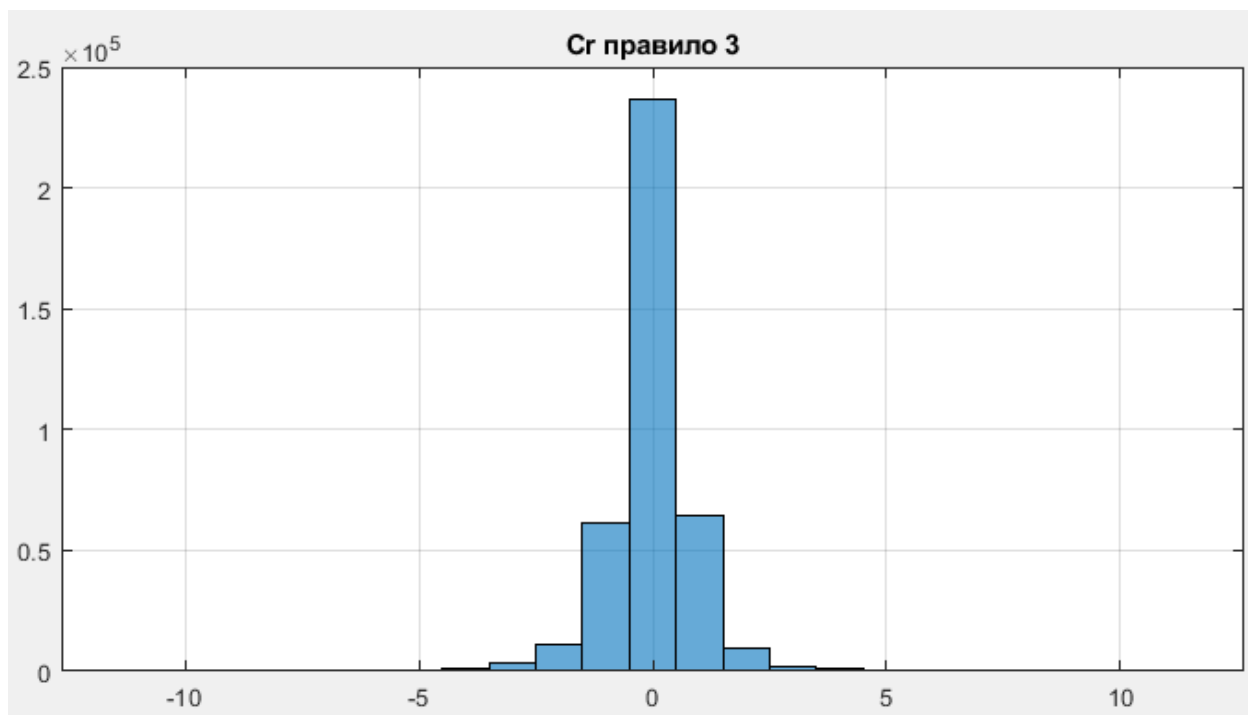


Рисунок 44. Гистограмма D_{Cr} с правилом 3

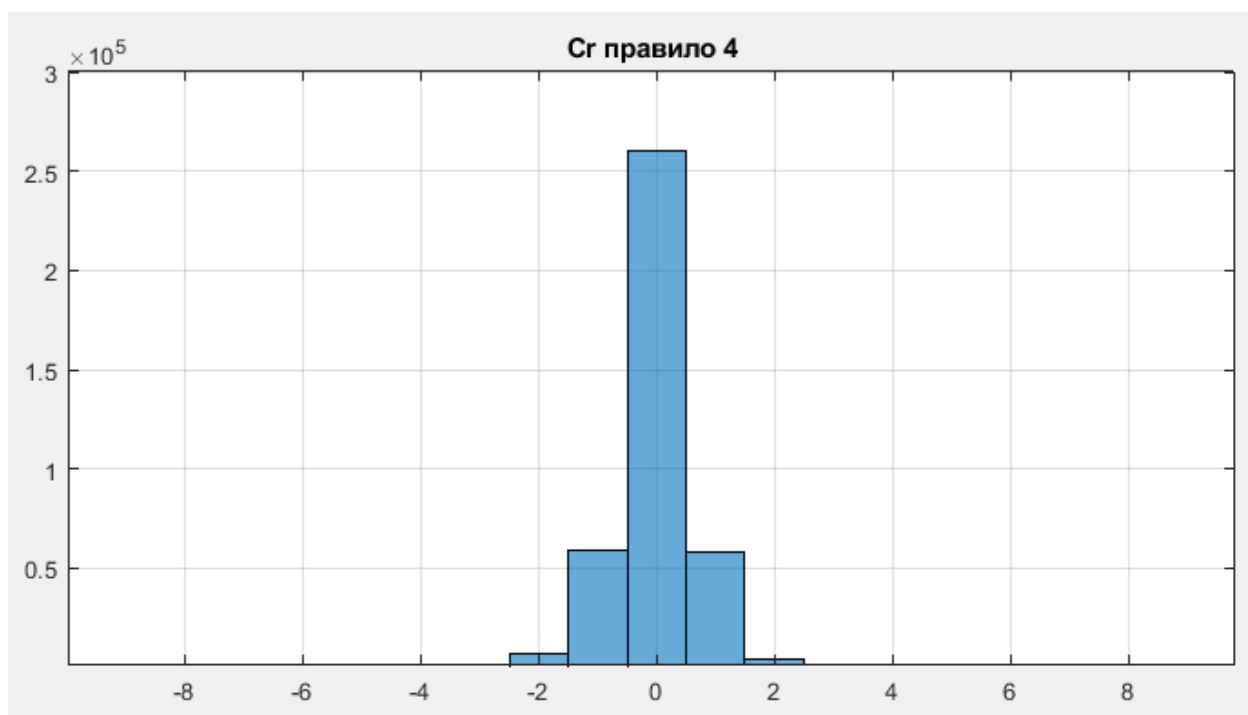


Рисунок 45. Гистограмма D_{Cr} с правилом 4

3.10 Оценка числа бит при поэлементном независимом сжатии массивов разностей. Сравнение значений с оценками энтропии соответствующих компонент

Энтропия R1 = 4.7895

Энтропия R2 = 4.8684

Энтропия R3 = 5.2057

Энтропия R4 = 4.7512

Энтропия G1 = 4.7744

Энтропия G2 = 4.8599

Энтропия G3 = 5.1973

Энтропия G4 = 4.7365

Энтропия B1 = 4.8366

Энтропия B2 = 4.8857

Энтропия B3 = 5.2398

Энтропия B4 = 4.777

Энтропия Y1 = 4.7549

Энтропия Y2 = 4.831

Энтропия Y3 = 5.1705

Энтропия Y4 = 4.7146

Энтропия Cb1 = 2.4393

Энтропия Cb2 = 2.5847

Энтропия Cb3 = 3.0095

Энтропия Cb4 = 2.6058

Энтропия Cr1 = 1.4703

Энтропия Cr2 = 1.4963

Энтропия Cr3 = 1.7413

Энтропия Cr4 = 1.4635

4. Результаты выполнения индивидуального задания

Разложение изображения на битовые плоскости.

Сформированы восемь битональных изображений на основе значений битовых плоскостей (Рис. 46), а также построены гистограммы частот (Рис. 47) и вычислена энтропия.

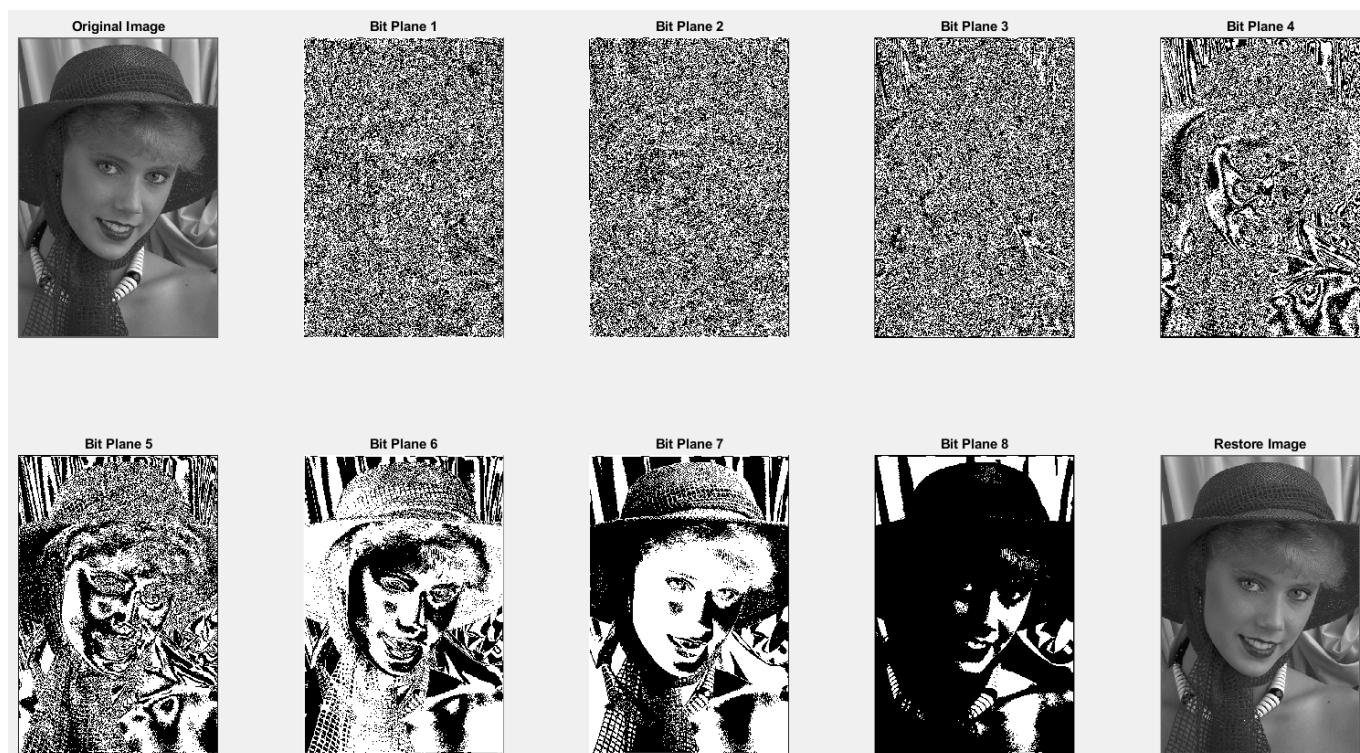


Рисунок 46. Восемь битональных изображений

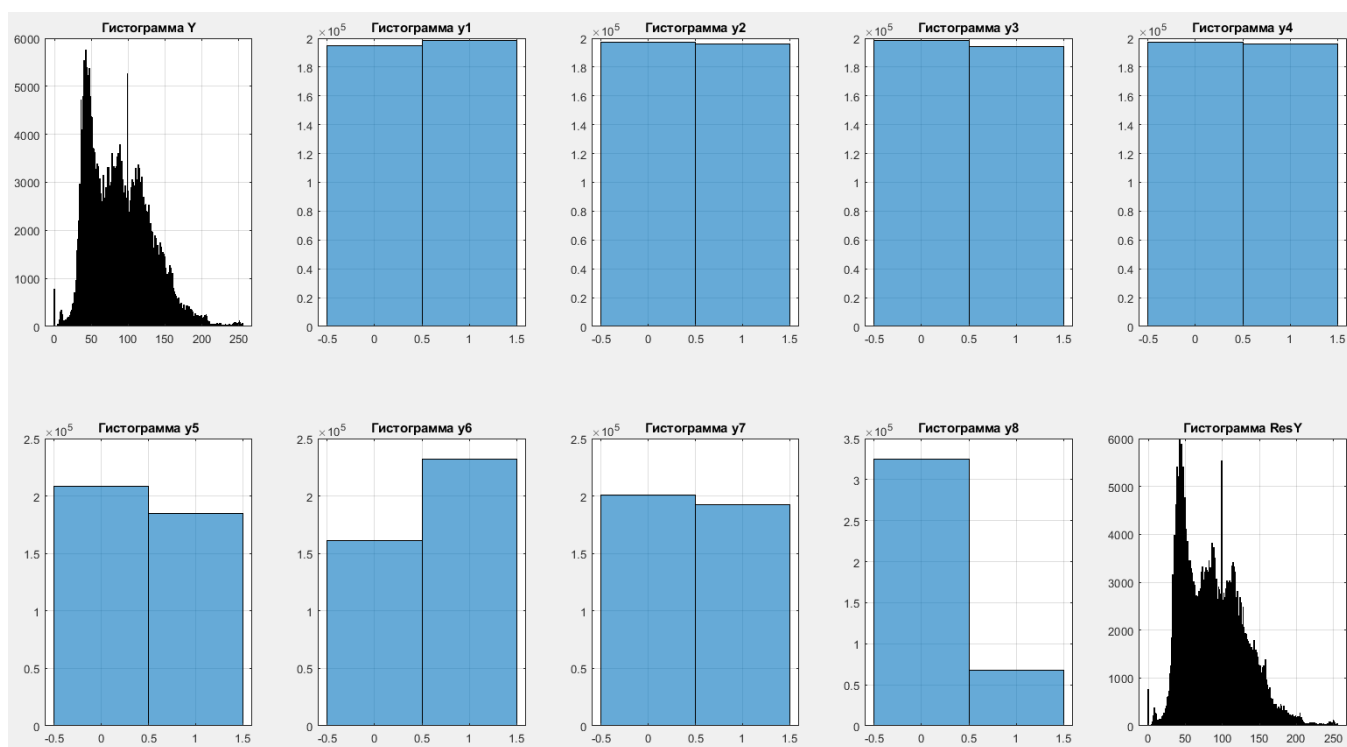


Рисунок 47. Гистограммы частот

Энтропия $Y = 7.243$
Энтропия $y_1 = 0.99993$
Энтропия $y_2 = 0.99999$
Энтропия $y_3 = 0.99992$
Энтропия $y_4 = 0.99999$
Энтропия $y_5 = 0.99745$
Энтропия $y_6 = 0.97639$
Энтропия $y_7 = 0.99967$
Энтропия $y_8 = 0.66492$
Энтропия $resY = 7.2428$

5. Вывод

1. Изображение в формате RGB24 содержит информацию о каждом пикселе в виде трех компонент R, G, B. Размер одного пикселя – 3 байт. Значения корреляционной функции между этими компонентами очень высоки.
2. Значения автокорреляционной функции каждой из компонент уменьшается при смещении выборок друг от друга.
3. Преобразование изображения в формат YCbCr позволяет уменьшить необходимую для хранения изображения память, с помощью прореживания компонент Cb, Cr, т.к. эти две компоненты хранят относительно небольшое количество информации об изображении относительно Y.
4. Были использованы и сравнены два способа децимации изображения: децимация путем исключения четных строк и столбцов (a) и децимация путем вычисления значения элементов прореженного изображения, как среднего арифметического четырех смежных элементов из исходного изображения (b). Искажения картинки относительно изначального изображения меньше при использовании способа (b).
5. По гистограммам частот (Рис. 16 – 21) видно, что диапазон значений Cb и Cr значительно меньше, чем у остальных. Согласно значениям энтропии, компоненты Cb и Cr используют лишь 4-6 бит, а R, G, B, Y используют 7-8 бит.
6. По гистограммам частот (Рис. 22 – 45) видно, что формирование разности по правилу 4 дает гистограмму с наименьшей шириной. Это связано с тем, что мы сравниваем с большим количеством соседей. По результатам энтропии также видно, что выигрывает формирование разности по правилу 4.

6. Листинг программы

```
close all
clear, clc

Kodim = fopen('kodim04.bmp');

% FILEHEADER
FHead = struct('bfTYPE', '', 'bfSIZE', '', 'bfr1', '', 'bfr2', '', 'bfoffBITS', '');

FHead.bfTYPE = fread(Kodim, 2, 'uint8');
FHead.bfSIZE = fread(Kodim, 1, 'ulong');
FHead.bfr1 = fread(Kodim, 2, 'uint8');
FHead.bfr2 = fread(Kodim, 2, 'uint8');
FHead.bfoffBITS = fread(Kodim, 1, 'ulong');

% BITMAPINFOHEADER
InfoHead =
struct('biSIZE', '', 'biWIDTH', '', 'biHEIGHT', '', 'biPLANES', '', 'biBITCOUNT', '', '
biCOMPRESSION', '', 'biSIZEIMAGE', '', 'biXPELSPERMETER', '', 'biYPELSPERMETER', '',
'biCLRUSED', '', 'biCLRIMPORTANT', '');

InfoHead.biSIZE = fread(Kodim, 1, 'ulong');
InfoHead.biWIDTH = fread(Kodim, 1, 'ulong');
InfoHead.biHEIGHT = fread(Kodim, 1, 'ulong');
InfoHead.biPLANES = fread(Kodim, 1, 'uint16');
InfoHead.biBITCOUNT = fread(Kodim, 1, 'uint16');
InfoHead.biCOMPRESSION = fread(Kodim, 1, 'ulong');
InfoHead.biSIZEIMAGE = fread(Kodim, 1, 'ulong');
InfoHead.biXPELSPERMETER = fread(Kodim, 1, 'ulong');
InfoHead.biYPELSPERMETER = fread(Kodim, 1, 'ulong');
InfoHead.biCLRUSED = fread(Kodim, 1, 'ulong');
InfoHead.biCLRIMPORTANT = fread(Kodim, 1, 'ulong');
disp(InfoHead.biBITCOUNT);

PIXELS = fread(Kodim, 'uint8');
fclose(Kodim);

% Раскладываем по цветам
j = 1;
for i = 1 : 3 : length(PIXELS)
    R(j) = PIXELS(i);
    G(j) = PIXELS(i + 1);
    B(j) = PIXELS(i + 2);
    j = j + 1;
end

decomp(R, 1, 0, 0, 'red.bmp', FHead, InfoHead);
decomp(G, 0, 1, 0, 'green.bmp', FHead, InfoHead);
decomp(B, 0, 0, 1, 'blue.bmp', FHead, InfoHead);

% Коэффициенты корреляции
r_rg = correlation(R, G, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
r_gb = correlation(G, B, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
r_rb = correlation(R, B, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);

disp(['Correlation RG = ', num2str(r_rg)]);
disp(['Correlation RB = ', num2str(r_rb)]);
disp(['Correlation GB = ', num2str(r_gb)]);
```



```

disp(newline);

% Вычисление автокорреляции
y1 = 0;
y2 = 5;
y3 = 10;
y4 = -5;
y5 = -10;

R0 = auto(R, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT, y1);
RP5 = auto(R, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT, y2);
RP10 = auto(R, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT, y3);
RM5 = auto(R, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT, y4);
RM10 = auto(R, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT, y5);

B0 = auto(B, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT, y1);
BP5 = auto(B, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT, y2);
BP10 = auto(B, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT, y3);
BM5 = auto(B, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT, y4);
BM10 = auto(B, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT, y5);

G0 = auto(G, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT, y1);
GP5 = auto(G, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT, y2);
GP10 = auto(G, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT, y3);
GM5 = auto(G, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT, y4);
GM10 = auto(G, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT, y5);

x = -InfoHead.biWIDTH / 4 : 2 : InfoHead.biWIDTH / 4;
figure(1);
plot(x, R0, 'Color', 'r');
hold on;
plot(x, RP5, 'Color', 'b');
hold on;
plot(x, RP10, 'Color', 'g')
hold on;
plot(x, RM5, 'b--')
hold on;
plot(x, RM10, 'g--')
hold on;
grid on;
title('RED');
legend('y = 0', 'y = 5', 'y = 10', 'y = -5', 'y = -10');

figure(2);
plot(x, B0, 'Color', 'r');
hold on;
plot(x, BP5, 'Color', 'b');
hold on;
plot(x, BP10, 'Color', 'g')
hold on;
plot(x, BM5, 'b--')
hold on;
plot(x, BM10, 'b--')
hold on;
grid on;
title('BLUE');
legend('y = 0', 'y = 5', 'y = 10', 'y = -5', 'y = -10');

figure(3);
plot(x, G0, 'Color', 'r');
hold on;

```

```

plot(x, GP5, 'Color', 'b');
hold on;
plot(x, GP10, 'Color', 'g')
hold on;
plot(x, GM5, 'b--')
hold on;
plot(x, GM10, 'g--')
hold on;
grid on;
title('GREEN');
legend('y = 0', 'y = 5', 'y = 10', 'y = -5', 'y = -10');

% Форматируем в YCbCr
Y = 0.299 .* R + 0.587 .* G + 0.114 .* B;
Cb = 0.5643 .* (B - Y) + 128;
Cr = 0.7132 .* (R - Y) + 128;

r_YCb = correlation(Y, Cb, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
r_YCr = correlation(Y, Cr, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
r_CrCb = correlation(Cr, Cb, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);

disp(['Correlation Y_Cb = ', num2str(r_YCb)]);
disp(['Correlation Y_Cr = ', num2str(r_YCr)]);
disp(['Correlation Cb_Cr = ', num2str(r_CrCb)]);
disp(newline);

decomp(Y, 1, 1, 1, 'Ycomp.bmp', FHead, InfoHead);
decomp(Cb, 1, 1, 1, 'Cb_comp.bmp', FHead, InfoHead);
decomp(Cr, 1, 1, 1, 'Cr_comp.bmp', FHead, InfoHead);

%Обратное преобразование
Rn = clip(Y + 1.402 .* (Cr - 128));
Gn = clip(Y - 0.714 .* (Cr - 128) - 0.334 .* (Cb - 128));
Bn = clip(Y + 1.772 .* (Cb - 128));

PSNR_R = my_psnr(InfoHead, R, Rn);
PSNR_G = my_psnr(InfoHead, G, Gn);
PSNR_B = my_psnr(InfoHead, B, Bn);

disp(['PSNR R = ', num2str(PSNR_R)]);
disp(['PSNR G = ', num2str(PSNR_G)]);
disp(['PSNR B = ', num2str(PSNR_B)]);
disp(newline);
saveimg(Rn, Gn, Bn, 'RGBNew.bmp', FHead, InfoHead);

% Децимация в 2 раза
disp('Decimation x2');
Cb = reshape(Cb, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
Cr = reshape(Cr, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
CbN1 = zeros(InfoHead.biWIDTH/2, InfoHead.biHEIGHT/2);
CrN1 = zeros(InfoHead.biWIDTH/2, InfoHead.biHEIGHT/2);
CbN2 = zeros(InfoHead.biWIDTH/2, InfoHead.biHEIGHT/2);
CrN2 = zeros(InfoHead.biWIDTH/2, InfoHead.biHEIGHT/2);
x = 1;
y = 1;
for i = 1 : InfoHead.biHEIGHT
    for j = 1 : InfoHead.biWIDTH
        if (mod(i, 2) == 1) && (mod(j, 2) == 1)
            CbN1(x, y) = Cb(j, i);
            CrN1(x, y) = Cr(j, i);

```

```

        CbN2(x, y) = (Cb(j, i) + Cb(j + 1, i) + Cb(j, i + 1) + Cb(j + 1,
i + 1)) / 4;
        CrN2(x, y) = (Cr(j, i) + Cr(j + 1, i) + Cr(j, i + 1) + Cr(j + 1,
i + 1)) / 4;
        x = x + 1;
    end
end
if (mod(i, 2) == 1)
    x = 1;
    y = y + 1;
end
end

% Восстановление размера
CbNew1 = zeros(InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
CrNew1 = zeros(InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
CbNew2 = zeros(InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
CrNew2 = zeros(InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);

for i = 1 : InfoHead.biHEIGHT/2
    for j = 1 : InfoHead.biWIDTH/2
        CbNew1(2*j-1, 2*i-1) = CbN1(j, i);
        CbNew1(2*j-1, 2*i) = CbN1(j, i);
        CbNew1(2*j, 2*i-1) = CbN1(j, i);
        CbNew1(2*j, 2*i) = CbN1(j, i);

        CrNew1(2*j-1, 2*i-1) = CrN1(j, i);
        CrNew1(2*j-1, 2*i) = CrN1(j, i);
        CrNew1(2*j, 2*i-1) = CrN1(j, i);
        CrNew1(2*j, 2*i) = CrN1(j, i);

        CbNew2(2*j-1, 2*i-1) = CbN2(j, i);
        CbNew2(2*j-1, 2*i) = CbN2(j, i);
        CbNew2(2*j, 2*i-1) = CbN2(j, i);
        CbNew2(2*j, 2*i) = CbN2(j, i);

        CrNew2(2*j-1, 2*i-1) = CrN2(j, i);
        CrNew2(2*j-1, 2*i) = CrN2(j, i);
        CrNew2(2*j, 2*i-1) = CrN2(j, i);
        CrNew2(2*j, 2*i) = CrN2(j, i);
    end
end

CbNew1 = reshape(CbNew1, 1, InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT);
CrNew1 = reshape(CrNew1, 1, InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT);
CbNew2 = reshape(CbNew2, 1, InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT);
CrNew2 = reshape(CrNew2, 1, InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT);

Rn2_1 = clip(Y + 1.402 .* (CrNew1 - 128));
Gn2_1 = clip(Y - 0.714 .* (CrNew1 - 128) - 0.334 .* (CbNew1 - 128));
Bn2_1 = clip(Y + 1.772 .* (CbNew1 - 128));

saveimg(Rn2_1, Gn2_1, Bn2_1, 'RGB_x2_1.bmp', FHead, InfoHead);

Rn2_2 = clip(Y + 1.402 .* (CrNew2 - 128));
Gn2_2 = clip(Y - 0.714 .* (CrNew2 - 128) - 0.334 .* (CbNew2 - 128));
Bn2_2 = clip(Y + 1.772 .* (CbNew2 - 128));

```

```

saveimg(Rn2_2, Gn2_2, Bn2_2, 'RGB_x2_2.bmp', FHead, InfoHead);

Cb = reshape(Cb, 1, InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT);
Cr = reshape(Cr, 1, InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT);

% PSNR
PSNR_R1 = my_psnr(InfoHead, R, Rn2_1);
PSNR_G1 = my_psnr(InfoHead, G, Gn2_1);
PSNR_B1 = my_psnr(InfoHead, B, Bn2_1);

PSNR_R2 = my_psnr(InfoHead, R, Rn2_2);
PSNR_G2 = my_psnr(InfoHead, G, Gn2_2);
PSNR_B2 = my_psnr(InfoHead, B, Bn2_2);

PSNR_Cb1 = my_psnr(InfoHead, Cb, CbNew1);
PSNR_Cr1 = my_psnr(InfoHead, Cr, CrNew1);
PSNR_Cb2 = my_psnr(InfoHead, Cb, CbNew2);
PSNR_Cr2 = my_psnr(InfoHead, Cr, CrNew2);

disp(['PSNR R for x2 (a) = ', num2str(PSNR_R1)]);
disp(['PSNR G for x2 (a) = ', num2str(PSNR_G1)]);
disp(['PSNR B for x2 (a) = ', num2str(PSNR_B1)]);
disp(['PSNR R for x2 (b) = ', num2str(PSNR_R2)]);
disp(['PSNR G for x2 (b) = ', num2str(PSNR_G2)]);
disp(['PSNR B for x2 (b) = ', num2str(PSNR_B2)]);
disp(['PSNR Cb for x2 (a) = ', num2str(PSNR_Cb1)]);
disp(['PSNR Cr for x2 (a) = ', num2str(PSNR_Cr1)]);
disp(['PSNR Cb for x2 (b) = ', num2str(PSNR_Cb2)]);
disp(['PSNR Cr for x2 (b) = ', num2str(PSNR_Cr2)]);
disp(newline);

%Децимация x4
disp('Decimation x4');
Cb = reshape(Cb, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
Cr = reshape(Cr, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
CbN1 = zeros(InfoHead.biWIDTH/4, InfoHead.biHEIGHT/4);
CrN1 = zeros(InfoHead.biWIDTH/4, InfoHead.biHEIGHT/4);
CbN2 = zeros(InfoHead.biWIDTH/4, InfoHead.biHEIGHT/4);
CrN2 = zeros(InfoHead.biWIDTH/4, InfoHead.biHEIGHT/4);
x = 1;
y = 1;
for i = 1 : InfoHead.biHEIGHT
    for j = 1 : InfoHead.biWIDTH
        if (mod(i, 4) == 1) && (mod(j, 4) == 1)
            CbN1(x, y) = Cb(j, i);
            CrN1(x, y) = Cr(j, i);
            CbN2(x, y) = middle(Cb, i, j);
            CrN2(x, y) = middle(Cr, i, j);
            x = x + 1;
        end
    end
    if (mod(i, 4) == 1)
        x = 1;
        y = y + 1;
    end
end

%Восстановление размера
CbRec1 = zeros(InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
CrRec1 = zeros(InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);

```

```

CbRec2 = zeros(InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
CrRec2 = zeros(InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
for i = 1 : InfoHead.biHEIGHT/4
    for j = 1 : InfoHead.biWIDTH/4
        for x = 0 : 3
            for y = 0 : 3
                CbRec1(4*j-x, 4*i-y) = CbN1(j, i);
                CrRec1(4*j-x, 4*i-y) = CrN1(j, i);
                CbRec2(4*j-x, 4*i-y) = CbN2(j, i);
                CrRec2(4*j-x, 4*i-y) = CrN2(j, i);
            end
        end
    end
end

CbRec1 = reshape(CbRec1, 1, InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT);
CrRec1 = reshape(CrRec1, 1, InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT);
CbRec2 = reshape(CbRec2, 1, InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT);
CrRec2 = reshape(CrRec2, 1, InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT);

Rn4_1 = clip(Y + 1.402 .* (CrRec1 - 128));
Gn4_1 = clip(Y - 0.714 .* (CrRec1 - 128) - 0.334 .* (CbRec1 - 128));
Bn4_1 = clip(Y + 1.772 .* (CbRec1 - 128));

saveimg(Rn4_1, Gn4_1, Bn4_1, 'RGB_x4_1.bmp', FHead, InfoHead);

Rn4_2 = clip(Y + 1.402 .* (CrRec2 - 128));
Gn4_2 = clip(Y - 0.714 .* (CrRec2 - 128) - 0.334 .* (CbRec2 - 128));
Bn4_2 = clip(Y + 1.772 .* (CbRec2 - 128));

saveimg(Rn4_2, Gn4_2, Bn4_2, 'RGB_x4_2.bmp', FHead, InfoHead);

Cb = reshape(Cb, 1, InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT);
Cr = reshape(Cr, 1, InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%PSNR
PSNR_R1 = 10*log10((InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT * (2^8 - 1)^2) /
sum((R - Rn4_1).^2));
PSNR_G1 = 10*log10((InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT * (2^8 - 1)^2) /
sum((G - Gn4_1).^2));
PSNR_B1 = 10*log10((InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT * (2^8 - 1)^2) /
sum((B - Bn4_1).^2));
PSNR_R2 = 10*log10((InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT * (2^8 - 1)^2) /
sum((R - Rn4_2).^2));
PSNR_G2 = 10*log10((InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT * (2^8 - 1)^2) /
sum((G - Gn4_2).^2));
PSNR_B2 = 10*log10((InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT * (2^8 - 1)^2) /
sum((B - Bn4_2).^2));
PSNR_Cb1 = 10*log10((InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT * (2^8 - 1)^2) /
sum((Cb - CbRec1).^2));
PSNR_Cr1 = 10*log10((InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT * (2^8 - 1)^2) /
sum((Cr - CrRec1).^2));
PSNR_Cb2 = 10*log10((InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT * (2^8 - 1)^2) /
sum((Cb - CbRec2).^2));
PSNR_Cr2 = 10*log10((InfoHead.biWIDTH * InfoHead.biHEIGHT * (2^8 - 1)^2) /
sum((Cr - CrRec2).^2));

disp(['PSNR R for x4 (a) = ', num2str(PSNR_R1)]);
disp(['PSNR G for x4 (a) = ', num2str(PSNR_G1)]);
disp(['PSNR B for x4 (a) = ', num2str(PSNR_B1)]);

```

```

disp(['PSNR R for x4 (b) = ', num2str(PSNR_R2)]);
disp(['PSNR G for x4 (b) = ', num2str(PSNR_G2)]);
disp(['PSNR B for x4 (b) = ', num2str(PSNR_B2)]);
disp(['PSNR Cb for x4 (a) = ', num2str(PSNR_Cb1)]);
disp(['PSNR Cr for x4 (a) = ', num2str(PSNR_Cr1)]);
disp(['PSNR Cb for x4 (b) = ', num2str(PSNR_Cb2)]);
disp(['PSNR Cr for x4 (b) = ', num2str(PSNR_Cr2)]);

```

```

figure(4);
histogram(R, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Гистограмма R');
hold on;

```

```

figure(5);
histogram(G, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Гистограмма G');
hold on;

```

```

figure(6);
histogram(B, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Гистограмма B');
hold on;

```

```

figure(7);
histogram(Y, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Гистограмма Y');
hold on;

```

```

figure(8);
histogram(Cb, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Гистограмма Cb');
hold on;
disp(newline);

```

```

figure(9);
histogram(Cr, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Гистограмма Cr');
hold on;

```

```

%Энтропия
H_r = ent(R);
H_g = ent(G);
H_b = ent(B);
H_y = ent(Y);
H_cb = ent(Cb);
H_cr = ent(Cr);

```

```

disp(['Энтропия R = ', num2str(H_r)]);
disp(['Энтропия G = ', num2str(H_g)]);
disp(['Энтропия B = ', num2str(H_b)]);
disp(['Энтропия Y = ', num2str(H_y)]);
disp(['Энтропия Cb = ', num2str(H_cb)]);
disp(['Энтропия Cr = ', num2str(H_cr)]);
disp(newline);

```

```

%Массивы разностей
Rdiff = reshape(R, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);

```

```

G = reshape(G, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
B = reshape(B, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
Cb = reshape(Cb, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
Cr = reshape(Cr, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);
Ydiff = reshape(Y, InfoHead.biWIDTH, InfoHead.biHEIGHT);

figure(10);
R1 = reshape(dif1(Rdiff), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,1), histogram(R1, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('R правило 1');
hold on;

R2 = reshape(dif2(Rdiff), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,2), histogram(R2, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('R правило 2');
hold on;

R3 = reshape(dif3(Rdiff), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,3), histogram(R3, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('R правило 3');
hold on;

R4 = reshape(dif4(Rdiff), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,4), histogram(R4, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('R правило 4');
hold on;

figure(11);
G1 = reshape(dif1(G), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,1), histogram(G1, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('G правило 1');
hold on;

G2 = reshape(dif2(G), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,2), histogram(G2, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('G правило 2');
hold on;

G3 = reshape(dif3(G), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,3), histogram(G3, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('G правило 3');
hold on;

G4 = reshape(dif4(G), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,4), histogram(G4, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('G правило 4');
hold on;

figure(12);
B1 = reshape(dif1(B), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,1), histogram(B1, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('B правило 1');
hold on;

B2 = reshape(dif2(B), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,2), histogram(B2, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('B правило 2');
hold on;

```

```

B3 = reshape(dif3(B), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,3), histogram(B3, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('В правило 3');
hold on;

B4 = reshape(dif4(B), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,4), histogram(B4, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('В правило 4');
hold on;

figure(13);
Y1 = reshape(dif1(Ydiff), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,1), histogram(Y1, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Y правило 1');
hold on;

Y2 = reshape(dif2(Ydiff), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,2), histogram(Y2, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Y правило 2');
hold on;

Y3 = reshape(dif3(Ydiff), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,3), histogram(Y3, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Y правило 3');
hold on;

Y4 = reshape(dif4(Ydiff), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,4), histogram(Y4, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Y правило 4');
hold on;

figure(14);
Cb1 = reshape(dif1(Cb), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,1), histogram(Cb1, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Cb правило 1');
hold on;

Cb2 = reshape(dif2(Cb), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,2), histogram(Cb2, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Cb правило 2');
hold on;

Cb3 = reshape(dif3(Cb), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,3), histogram(Cb3, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Cb правило 3');
hold on;

Cb4 = reshape(dif4(Cb), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,4), histogram(Cb4, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Cb правило 4');
hold on;

figure(15);
Cr1 = reshape(dif1(Cr), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,1), histogram(Cr1, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Cr правило 1');

```



```

hold on;

Cr2 = reshape(dif2(Cr), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,2), histogram(Cr2, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Cr правило 2');
hold on;

Cr3 = reshape(dif3(Cr), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,3), histogram(Cr3, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Cr правило 3');
hold on;

Cr4 = reshape(dif4(Cr), 1, (InfoHead.biWIDTH-1)*(InfoHead.biHEIGHT-1));
subplot(2,2,4), histogram(Cr4, 'BinMethod', 'integers');grid on;
title('Cr правило 4');
hold on;

%Энтропия
disp_ent(R1, R2, R3, R4, 'R');
disp('-----');
disp_ent(G1, G2, G3, G4, 'G');
disp('-----');
disp_ent(B1, B2, B3, B4, 'B');
disp('-----');
disp_ent(Y1, Y2, Y3, Y4, 'Y');
disp('-----');
disp_ent(Cb1, Cb2, Cb3, Cb4, 'Cb');
disp('-----');
disp_ent(Cr1, Cr2, Cr3, Cr4, 'Cr');
disp('-----');

Y_dop(Y);

```