



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ

Информатика и системы управления

КАФЕДРА

Проектирования и технологии производства ЭА

ОТЧЕТ

По семинару №6

по курсу

Киберфизические системы

Студент

Фан К.

(Подпись, дата)

(И.О.Фамилия)

Руководитель задания

Леонидов В. В.

(Подпись, дата)

(И.О.Фамилия)

Москва, 2023

Задание 1: Реализация вейвлетов Морле в среде MATLAB

```
clc, clear, close all
fs = 40;
T = 5;
ts = -T: 1/fs: T-1/fs;
N = length(ts);
f1 = 1;
f2 = 1.5;
f3 = 2;
f4 = 2.5;
f5 = 3;
figure
g = exp(-ts.^2/2); %Гауссова функция
plot(ts, g), grid on
title('Гауссова функция')
f = 0:fs/N:fs-fs/N;
figure
x1 = cos(2*pi*ts*f1);
w1 = x1.*g;
W1 = abs(fft(w1));
subplot(3, 1, 1)
plot(ts,x1), grid on
title('Косинусоидальный сигнал x1 при f1 = 1 Гц')
subplot(3,1,2)
plot(ts,w1), grid on;
title('Вейвлет Морле w1')
subplot(3,1,3)
plot(f(1:N/2),W1(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета Морле W1')
figure
x2 = cos(2*pi*ts*f2);
w2 = x2.*g;
W2 = abs(fft(w2));
subplot(3, 1, 1)
plot(ts,x2), grid on
title('Косинусоидальный сигнал x2 при f2 = 1.5 Гц')
subplot(3,1,2)
plot(ts,w2), grid on;
title('Вейвлет Морле w2')
subplot(3,1,3)
plot(f(1:N/2),W2(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета Морле W2')
figure
x3 = cos(2*pi*ts*f3);
w3 = x3.*g;
W3 = abs(fft(w3));
subplot(3, 1, 1)
plot(ts,x3), grid on
title('Косинусоидальный сигнал x3 при f3 = 2 Гц')
subplot(3,1,2)
```

```

plot(ts,w3), grid on;
title('Вейвлет Морле w3')
subplot(3,1,3)
plot(f(1:N/2),W3(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета Морле W3')
figure
x4 = cos(2*pi*ts*f4);
w4 = x4.*g;
W4 = abs(fft(w4));
subplot(3, 1, 1)
plot(ts,x4), grid on
title('Косинусоидальный сигнал x4 при f4 = 3 Гц')
subplot(3,1,2)
plot(ts,w4), grid on;
title('Вейвлет Морле w4')
subplot(3,1,3)
plot(f(1:N/2),W4(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета Морле W4')
figure
x5 = cos(2*pi*ts*f5);
w5 = x5.*g;
W5 = abs(fft(w5));
subplot(3, 1, 1)
plot(ts,x5), grid on
title('Косинусоидальный сигнал x5 при f5 = 2.5 Гц')
subplot(3,1,2)
plot(ts,w5), grid on;
title('Вейвлет Морле w5')
subplot(3,1,3)
plot(f(1:N/2),W5(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета Морле W5')

```

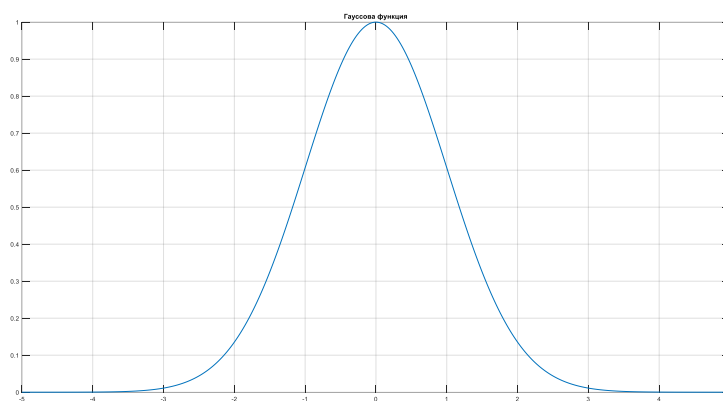


Рисунок 1: Гауссова функция

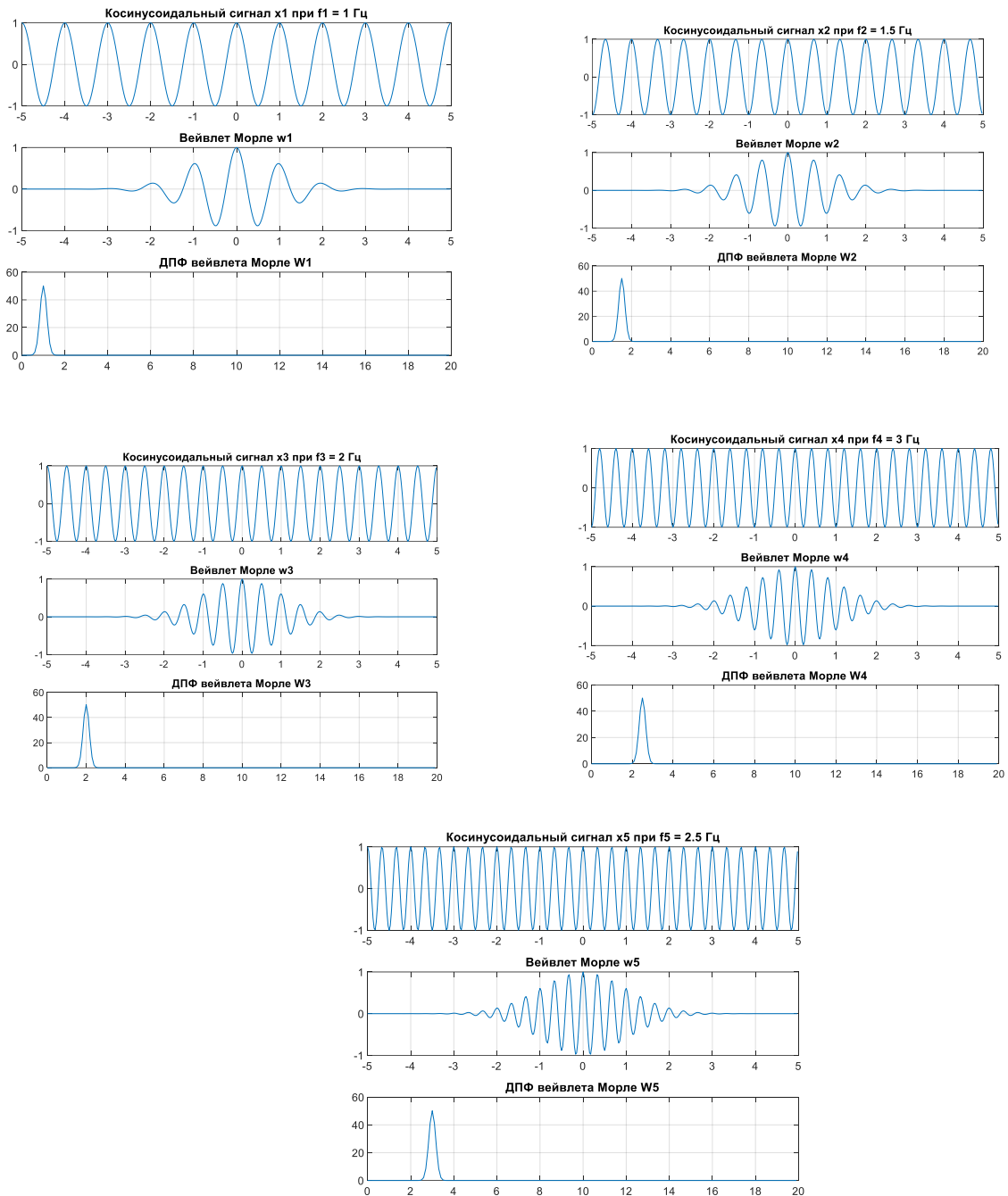


Рисунок 2: Вейвлеты Морле с разными значениями частоты синусоиды

Вывод:

В данном задании рассмотрим вейвлеты Морле. Вейвлет Морле создается путем умножения функции Гаусса на косинусоидальный сигнал. Были рассмотрены косинусоиды с разными частотами, и результатом являются представленные на рисунке 2 вейвлеты Морле.

Задание 2: Реализация вейвлетов «Мексиканская шляпа» в среде MATLAB

```
clc, clear, close all

fs = 100;
T = 5;
ts = -T: 1/fs: T-1/fs;
N = length(ts);

f = 0:fs/N:fs-fs/N;

figure

g1 = exp(-ts.^2*2); %Гауссова функция
dg1 = -diff(g1,2); % вторая производная от Гауссовой функции
W1 = abs(fft(dg1));

subplot(3, 1, 1)
plot(ts,g1), grid on
title('Гауссова функция g1')
subplot(3,1,2)
plot(ts(1:length(ts)-2),dg1), grid on;
title('Вейвлет "Мексиканская шляпа" dg1')
subplot(3,1,3)
plot(f(1:N/2),W1(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета "Мексиканская шляпа" W1')

figure

g2 = exp(-ts.^2*4); %Гауссова функция
dg2 = -diff(g2,2); % вторая производная от Гауссовой функции
W2 = abs(fft(dg2));

subplot(3, 1, 1)
plot(ts,g2), grid on
title('Гауссова функция g2')
subplot(3,1,2)
plot(ts(1:length(ts)-2),dg2), grid on;
title('Вейвлет "Мексиканская шляпа" dg2')
subplot(3,1,3)
plot(f(1:N/2),W2(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета "Мексиканская шляпа" W2')

figure

g3 = exp(-ts.^2*8); %Гауссова функция
dg3 = -diff(g3,2); % вторая производная от Гауссовой функции
W3 = abs(fft(dg3));
```

```

subplot(3, 1, 1)
plot(ts,g3), grid on
title('Гауссова функция g3')
subplot(3,1,2)
plot(ts(1:length(ts)-2),dg3), grid on;
title('Вейвлет "Мексиканская шляпа" dg3')
subplot(3,1,3)
plot(f(1:N/2),W3(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета "Мексиканская шляпа" W3')

figure

g4 = exp(-ts.^2*16); %Гауссова функция
dg4 = -diff(g4,2); % вторая производная от Гауссовой функции
W4 = abs(fft(dg4));

subplot(3, 1, 1)
plot(ts,g4), grid on
title('Гауссова функция g4')
subplot(3,1,2)
plot(ts(1:length(ts)-2),dg4), grid on;
title('Вейвлет "Мексиканская шляпа" dg4')
subplot(3,1,3)
plot(f(1:N/2),W4(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета "Мексиканская шляпа" W4')

figure

g5 = exp(-ts.^2*32); %Гауссова функция
dg5 = -diff(g5,2); % вторая производная от Гауссовой функции
W5 = abs(fft(dg5));

subplot(3, 1, 1)
plot(ts,g5), grid on
title('Гауссова функция g5')
subplot(3,1,2)
plot(ts(1:length(ts)-2),dg5), grid on;
title('Вейвлет "Мексиканская шляпа" dg5')
subplot(3,1,3)
plot(f(1:N/2),W5(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета "Мексиканская шляпа" W5')

```

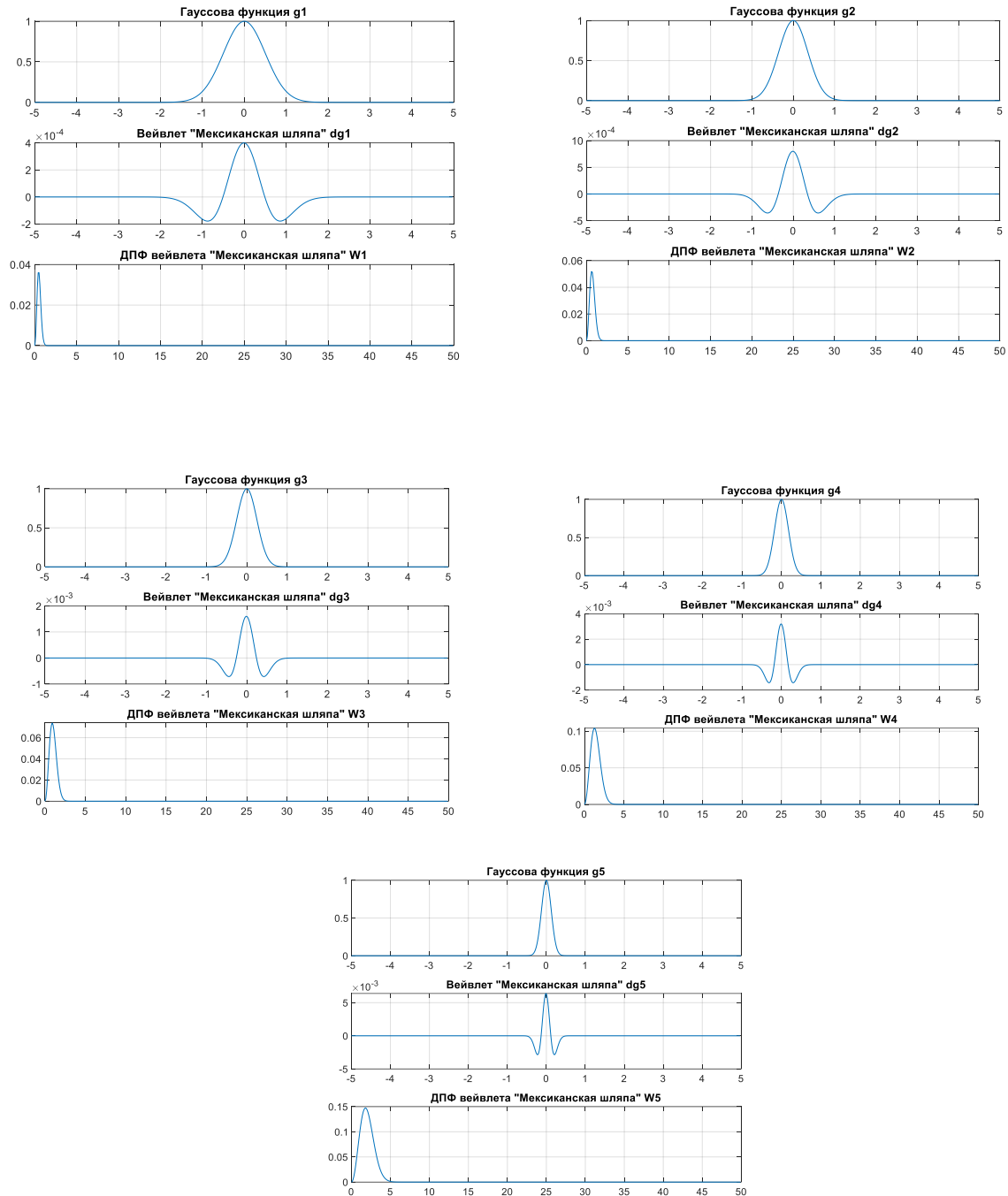


Рисунок 3: Вейвлеты «Мексиканская шляпа» с разными степенями Гауссова функции

Вывод:

В данном задании рассмотрим вейвлеты «Мексиканская шляпа». Вейвлет «Мексиканская шляпа» создается путем второй производной от Гауссовой функции. Были рассмотрены Гауссова функции с разными степенями, и результатом являются представленные на рисунке 3 вейвлеты «Мексиканская шляпа».

Задание 3: Реализация вейвлетов Хаара в среде MATLAB

```
clc, clear, close all
fs = 258;
T = 1.5;
ts = 0:2/fs:T-1/fs;
N = length(ts);
[wpws,x] = wpsfun('db1',4); % вейвлет-пакетные функции
                             % Вейвлета Хаара (Db1)
for i = 1: size(wpws,1)
    for j = length(wpws) + 1 : length(ts)
        wpws(i,j) = 0;
    end
end
f = 0:fs/N:fs-fs/N;
figure
W0 = abs(fft(wpws(1,:)));
subplot(2,1,1)
plot(ts,wpws(1,:), 'LineWidth',2), grid on;
title('Масштабирующая функция Хаара wpws0')
subplot(2,1,2)
plot(f(1:N/2),W0(1:N/2)), grid on
title('ДПФ W0')
figure
W1 = abs(fft(wpws(2,:)));
subplot(2,1,1)
plot(ts,wpws(2,:), 'LineWidth',2), grid on;
title('Вейвлет Хаара wpws1')
subplot(2,1,2)
plot(f(1:N/2),W1(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета Хаара W1')
figure
W2 = abs(fft(wpws(3,:)));
subplot(2,1,1)
plot(ts,wpws(3,:), 'LineWidth',2), grid on;
title('Вейвлет Хаара wpws2')
subplot(2,1,2)
plot(f(1:N/2),W2(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета Хаара W2')
figure
W3 = abs(fft(wpws(4,:)));
subplot(2,1,1)
plot(ts,wpws(4,:), 'LineWidth',2), grid on;
title('Вейвлет Хаара wpws3')
subplot(2,1,2)
plot(f(1:N/2),W3(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета Хаара W3')
figure
W4 = abs(fft(wpws(5,:)));
subplot(2,1,1)
plot(ts,wpws(5,:), 'LineWidth',2), grid on;
```



```

title('Вейвлет Хаара wps4')
subplot(2,1,2)
plot(f(1:N/2),W4(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета Хаара W4')

```

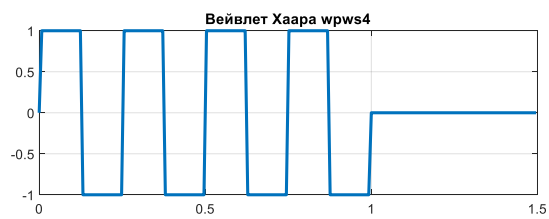
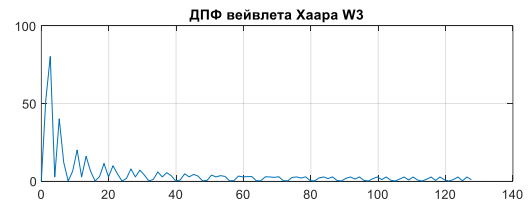
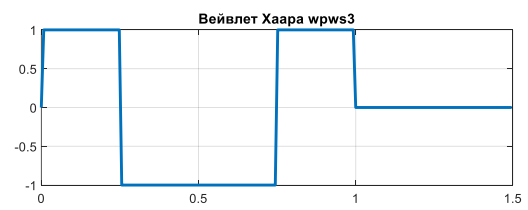
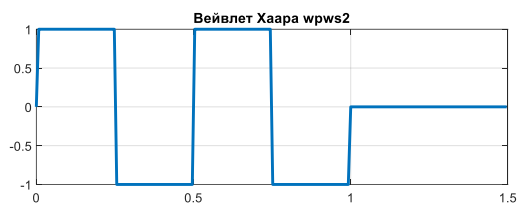
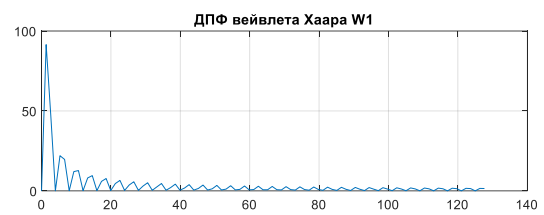
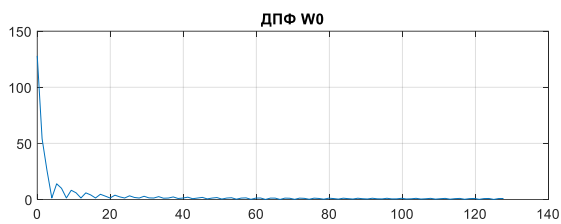
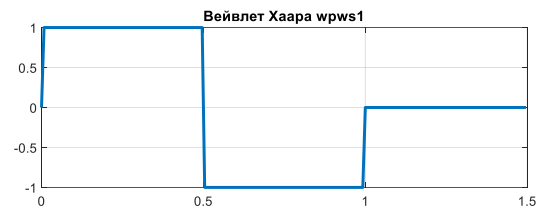
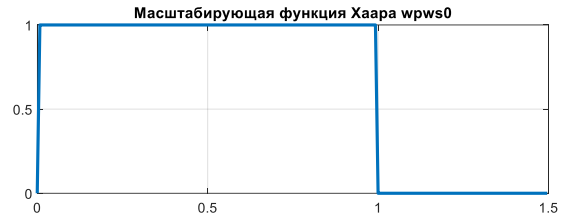


Рисунок 4: Пакеты вейвлета Хаара

Вывод:

В данном задании рассмотрим вейвлеты Хаара. Как частный случай вейвлета Добеши, вейвлет Хаара также известен как db1. С помощью функции «wrfun» MATLAB создаются пакеты вейвлета Хаара. Пакеты вейвлета Хаара показаны на рисунке 4. Wpws0 и Wpws1 соответствуют масштабирующую функцию и материнскую функцию данного вейвлета.

Задание 4: Реализация вейвлетов Добеши в среде MATLAB

```
clc, clear, close all
fs = 200;
T = 2.5;
ts = 0:1/fs:T-1/fs;
N = length(ts);
[wpws,x] = wpsfun('db2',4); % вейвлет-пакетные функции
                             % Вейвлета Добеши DB2
for i = 1: size(wpws,1)
    for j = length(wpws) + 1 : length(ts)
        wpws(i,j) = 0;
    end
end
f = 0:fs/N:fs-fs/N;
figure
W0 = abs(fft(wpws(1,:)));
subplot(2,1,1)
plot(ts,wpws(1,:), 'LineWidth',2), grid on;
title('Масштабирующая функция DB2 wpws0')
subplot(2,1,2)
plot(f(1:N/2),W0(1:N/2)), grid on
title('ДПФ W0')
figure
W1 = abs(fft(wpws(2,:)));
subplot(2,1,1)
plot(ts,wpws(2,:), 'LineWidth',2), grid on;
title('Вейвлет DB2 wpws1')
subplot(2,1,2)
plot(f(1:N/2),W1(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета DB2 W1')
figure
W2 = abs(fft(wpws(3,:)));
subplot(2,1,1)
plot(ts,wpws(3,:), 'LineWidth',2), grid on;
title('Вейвлет DB2 wpws2')
subplot(2,1,2)
plot(f(1:N/2),W2(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета DB2 W2')
figure
W3 = abs(fft(wpws(4,:)));
subplot(2,1,1)
plot(ts,wpws(4,:), 'LineWidth',2), grid on;
title('Вейвлет DB2 wpws3')
subplot(2,1,2)
plot(f(1:N/2),W3(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета DB2 W3')
figure
W4 = abs(fft(wpws(5,:)));
subplot(2,1,1)
plot(ts,wpws(5,:), 'LineWidth',2), grid on;
```

```

title('Вейвлет DB2 wps4')
subplot(2,1,2)
plot(f(1:N/2),w4(1:N/2)), grid on
title('ДПФ вейвлета DB2 W4')

```

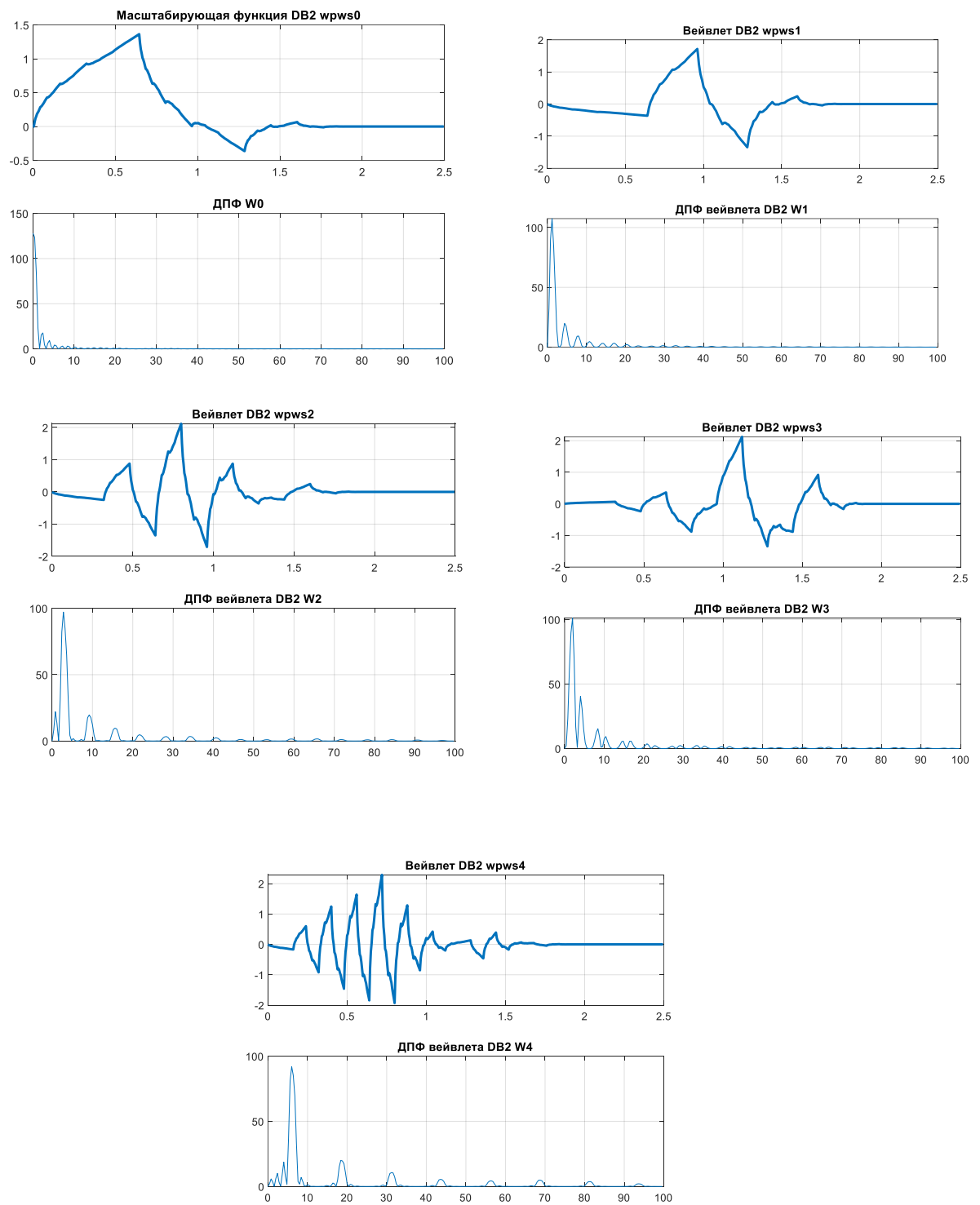


Рисунок 5 – Пакеты вейвлета Добеши DB2

Вывод:

В данном задании рассмотрим вейвлеты Добеши DB2. С помощью функции «wrfun» MATLAB создаются пакеты вейвлета Добеши DB2. Пакеты вейвлета Добеши DB2 показаны на рисунке 4. Wpws0 и Wpws1 соответствуют масштабирующую функцию и материнскую функцию данного вейвлета.

Задание 5: Реализация вейвлетов для поиска ошибок сигнала в среде MATLAB

```
clear, clc, close all

fs = 100;
ts = 0: 1/fs: 5-1/fs;
N = length(ts);

x = sin(2*pi*10*ts);
x(300) = []; % убираем из сигнала отсчёт с индексом 300
plot(ts(1:length(ts)-1),x), grid on;
title('Синусоида с разрывом')

figure
[cfs,frq] = cwt(x,'amor',fs); % вейвлет-преобразование
tms = (0: numel(x)-1)/fs;
surface(tms,frq,abs(cfs));
axis tight
shading flat
title('Вейвлет-преобразование')
xlabel('Время'), ylabel('Частота')
```

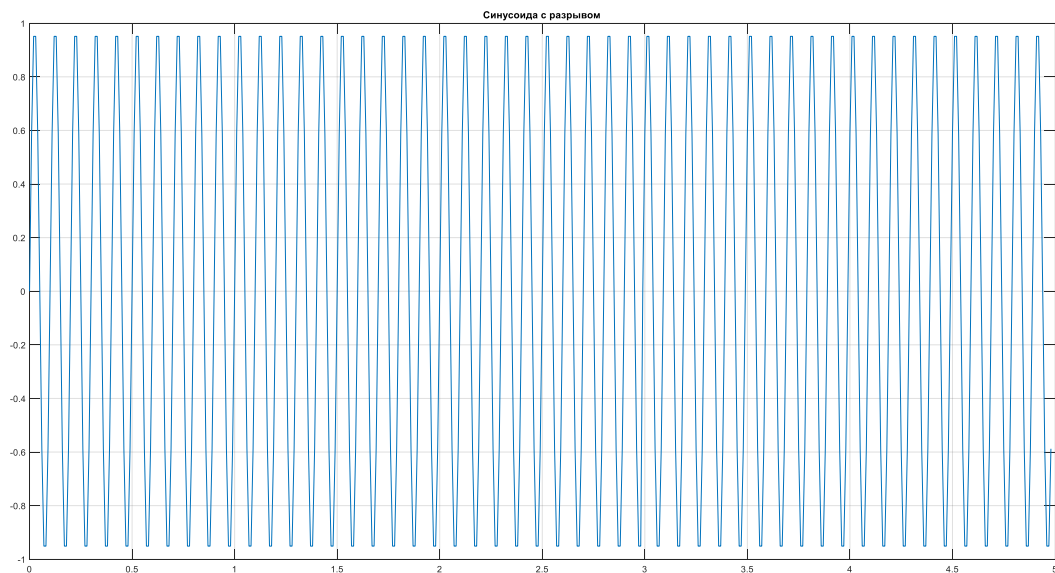


Рисунок 6: Синусоида с разрывом

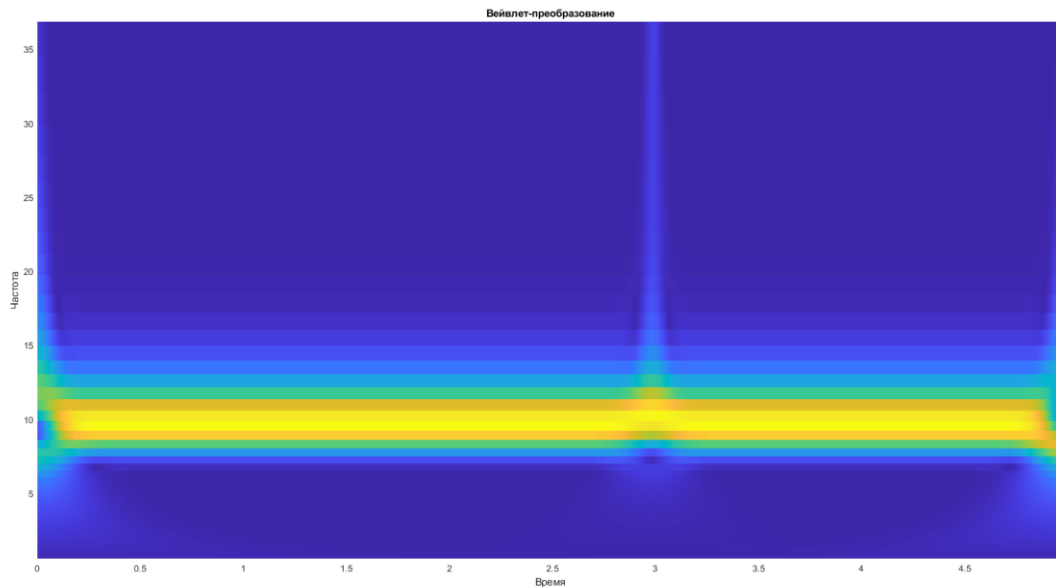


Рисунок 7: Поиск разрыва функции с помощью вейвлет-преобразования

Вывод:

В данном задании мы проводим поиск разрыва сигнала с помощью вейвлет-преобразования. Сначала убираем из сигнала отсчёт с индексом 300, а затем выполняем вейвлет-преобразование с использованием вейвлета Морле на полученном сигнале. Видно, из рисунка 7, что в момент времени 3 секунды, что соответствует отсчёту с индексом 300 возникает всплеск.

Задание 6: Реализация вейвлет-преобразования в среде MATLAB

```
clear, clc, close all

fs = 400;

f1 = 10;
f2 = 20;
f3 = 30;
f4 = 40;
f5 = 50;

t1 = 0: 1/fs : 1-1/fs;
t2 = 1: 1/fs : 2-1/fs;
t3 = 2: 1/fs : 3-1/fs;
t4 = 3: 1/fs : 4-1/fs;
t5 = 4: 1/fs : 5-1/fs;

x1 = sin(2*pi*f1*t1);
x2 = sin(2*pi*f2*t2);
x3 = sin(2*pi*f3*t3);
x4 = sin(2*pi*f4*t4);
x5 = sin(2*pi*f5*t5);

ts = [t1 t2 t3 t4 t5];
x = [x1 x2 x3 x4 x5];
N = length(ts);

X = 2*abs(fft(x))/N;
f = (0:N-1)*fs/N;

subplot(2,1,1);
plot(x), grid on, title("Исходный сигнал");
subplot(2,1,2);
stem(f,X), grid on, title("ДПФ исходного сигнала");

figure
cwt(x, 'amor', fs)

% набор фильтров
fb = cwtfilterbank(SignalLength=numel(x), SamplingFrequency=fs, ...
    FrequencyLimits=[10 50]);
figure
freqz(fb)
figure
cwt(x, FilterBank=fb)
```

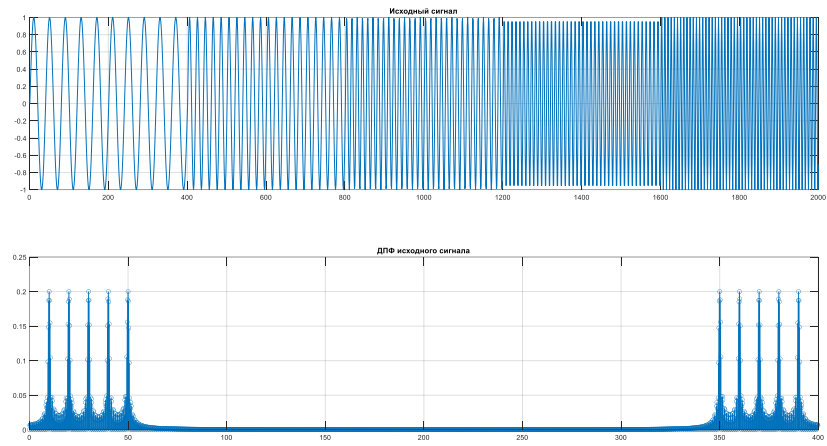



Рисунок 8: Сигнал с различными частотами от 10 Гц до 50 Гц и его ДПФ

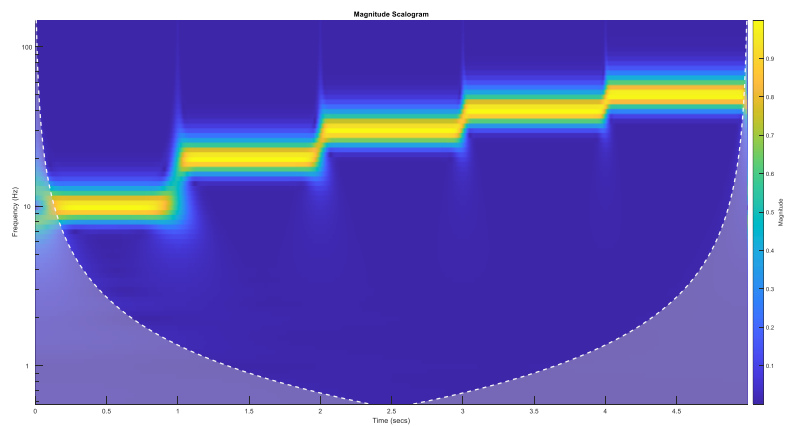


Рисунок 9: Вейвлет-преобразование от сигнала x

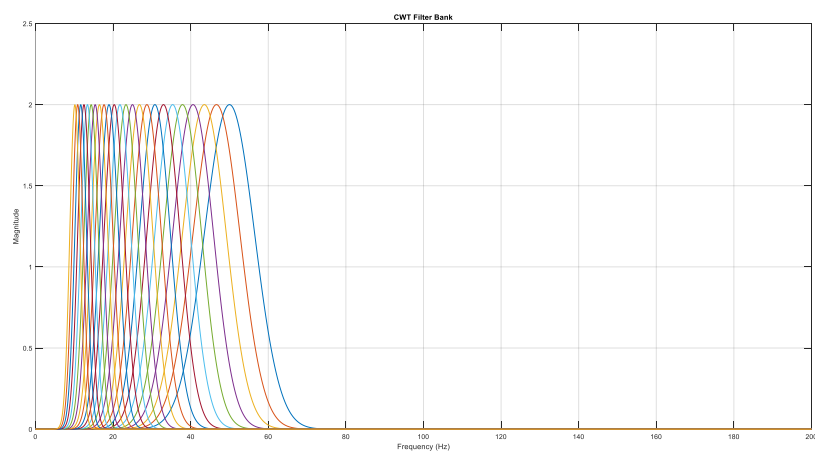


Рисунок 10: АЧХ набора фильтров вейвлетов с частотой от 10 до 50 Гц

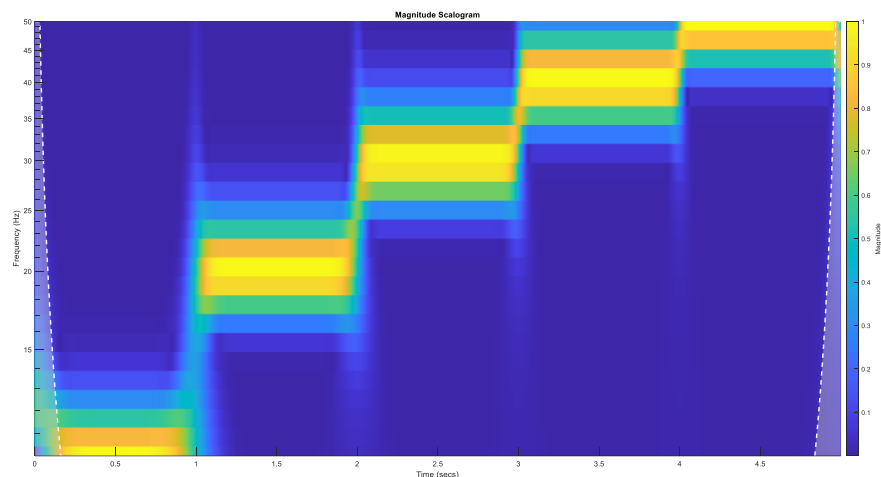


Рисунок 11: Вейвлет-преобразование с использованием набора фильтров

Вывод:

В ходе проведения исследования на исходный сигнал с частотами от 10 Гц до 50 Гц было применено вейвлет-преобразование (cwt). На рисунке 9 явно видно 5 частотных составляющих с частотами, которые были заданы в скрипте. С помощью функции 'cwtfilterbank' формируем набор вейвлетов, соответствующих исследуемому диапазону частот 10Гц – 50 Гц (рис. 10). На рисунке 11 показан вейвлет-преобразование с использованием этого набора фильтров.

Задание 7: Реализация вейвлетов для избавления от шума сигнала в среде MATLAB

а) Избавление от шума сигнала с использованием функций `wdenoise`

```
clear ,clc ,close all

fs = 1000;
ts = 0: 1/fs: 1-1/fs;

x = 2*sin(2*pi*5*ts) + 6 *sin(2*pi*10*ts);
x = awgn(x,5);
plot(x), hold on

x1 = wdenoise(x,3,'Wavelet', 'db2');
plot(x1,'LineWidth',2)

legend({'Input signal';'Denoised signal'})
```

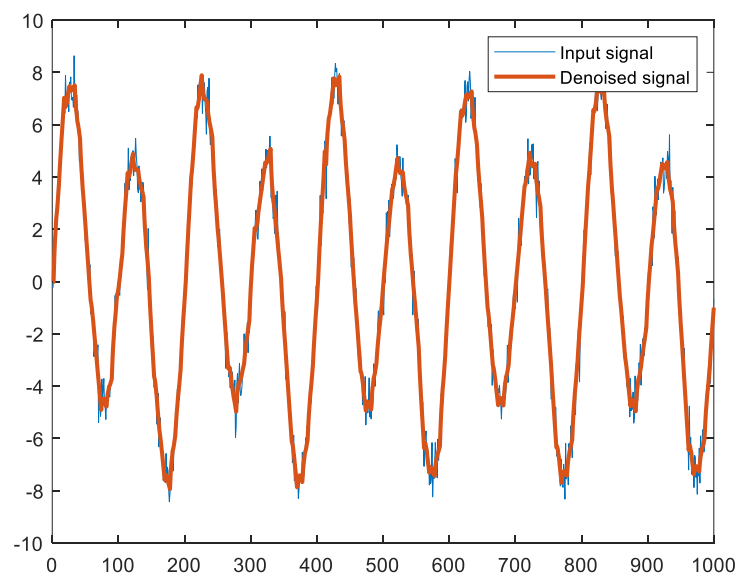


Рисунок 12: Избавление от шума сигнала с использованием функций `wdenoise`

б) Избавление от шума сигнала с помощью пакета `waveletAnalyzer`

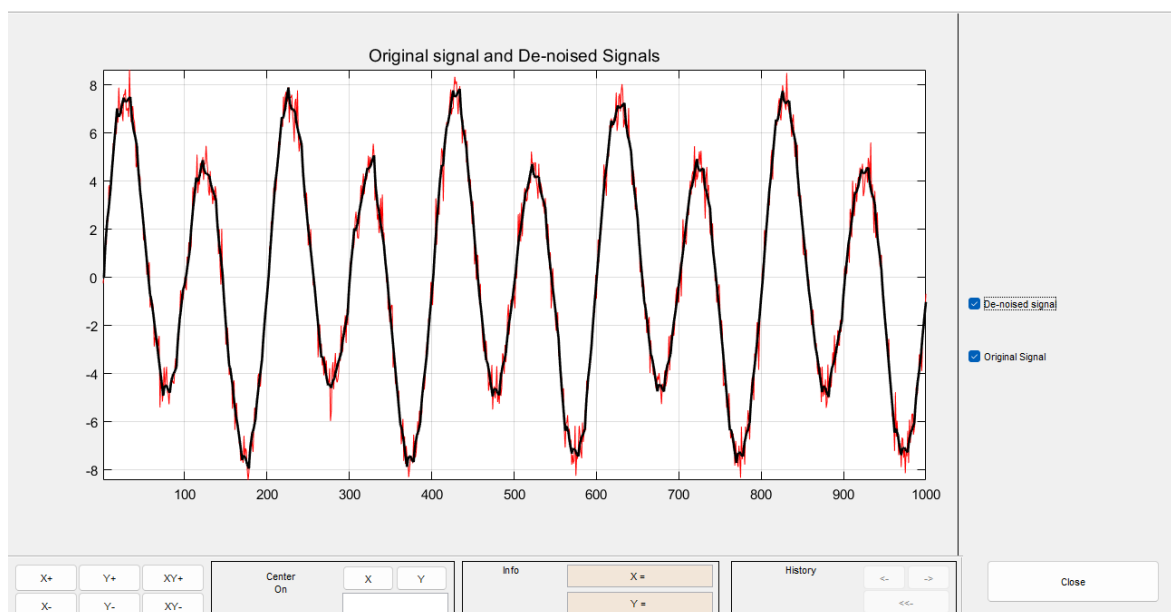
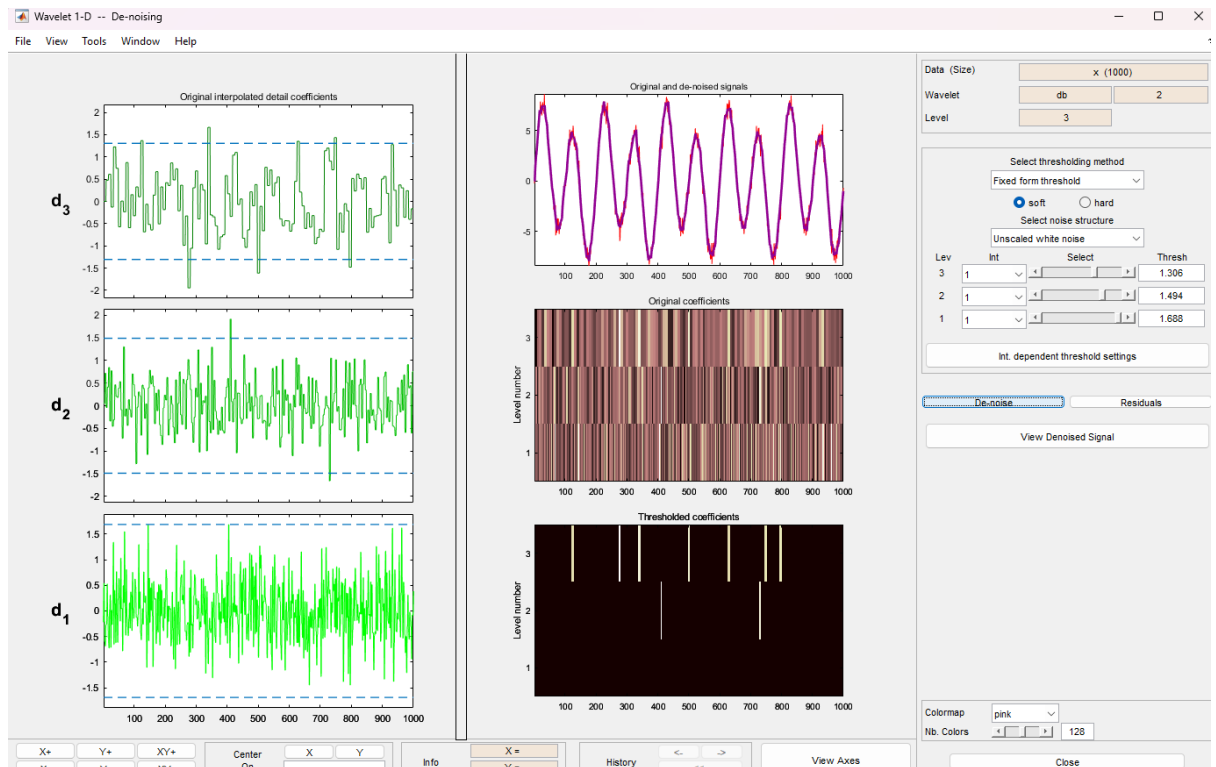


Рисунок 13: Избавление от шума сигнала с помощью пакета waveletAnalyzer

Вывод:

В этом задании для избавления от шума используем 2 метода, включая функцию `wdenoise` и пакет `waveletAnalyzer`. Оба метода работают хорошо, т. е. получаем сигнал без шума.

Задание 8: Вейвлет-декомпозиция в MATLAB

а) Вейвлет-декомпозиция с использованием функций MATLAB

```
clear, clc, close all
load multi_signal.mat
subplot(4,1,1), plot(x), title('x')
[C,L] = wavedec(x,3,'db3');% многоуровневое одномерное вейвлет-разложение
cA3 = appcoef(C,L,'db3',3); % вычисляет аппроксимирующий коэффициент
                             % 2-ого уровня
A3 = wrcoef('a',C,L,'db3',3); % аппроксимирующий сигнал на втором уровне
% вычисление детализирующие коэффициенты
cD3 = detcoef(C,L,3);
cD2 = detcoef(C,L,2);
cD1 = detcoef(C,L,1);
% детализирующие сигналы
D1 = wrcoef('d',C,L,'db3',1);
D2 = wrcoef('d',C,L,'db3',2);
D3 = wrcoef('d',C,L,'db3',3);
subplot(5,1,2); plot(A3); title('Approximation A3')
subplot(5,1,5); plot(D1); title('Detail D1')
subplot(5,1,4); plot(D2); title('Detail D2')
subplot(5,1,3); plot(D3); title('Detail D3')
```

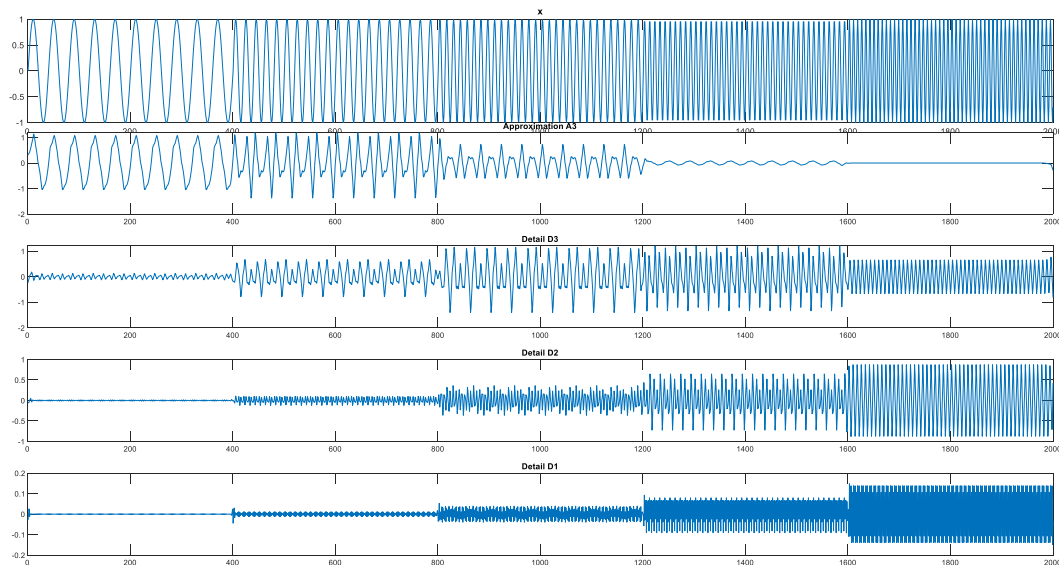


Рисунок 14: Вейвлет-Декомпозиция сигнала с использованием функций MATLAB

б) Вейвлет-Декомпозиция сигнала с помощью пакета waveletAnalyzer

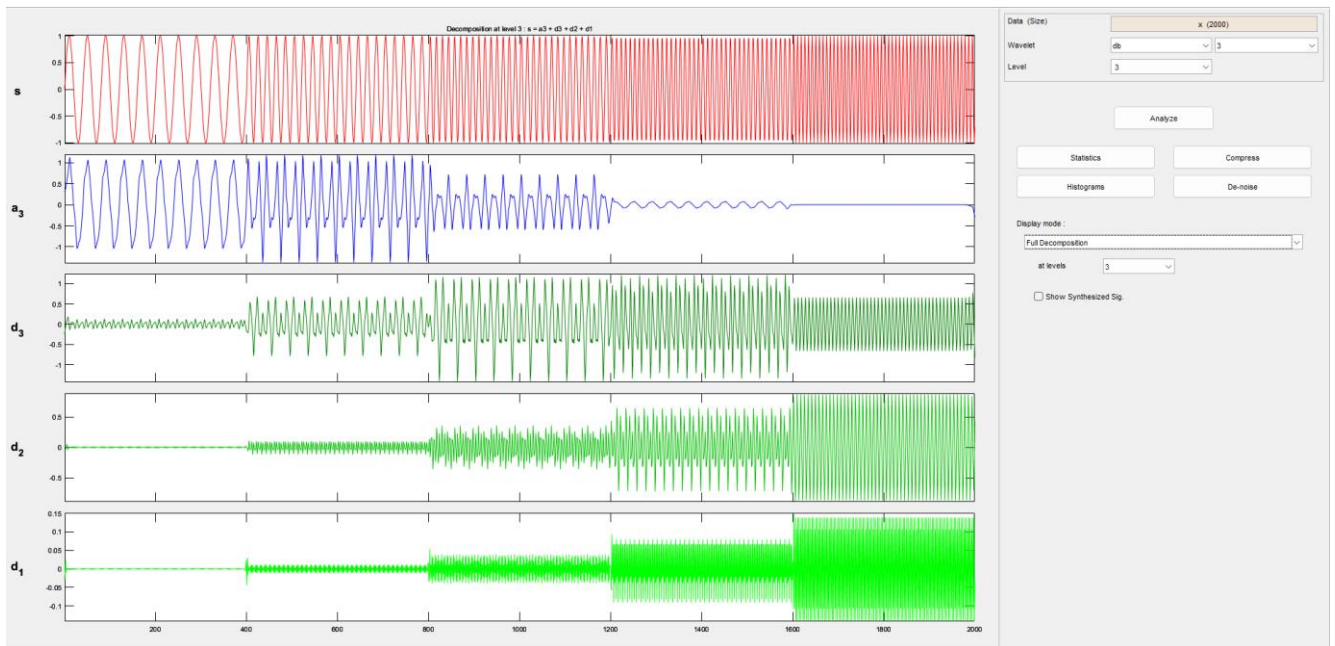


Рисунок 15: Вейвлет-Декомпозиция сигнала с помощью пакета waveletAnalyzer

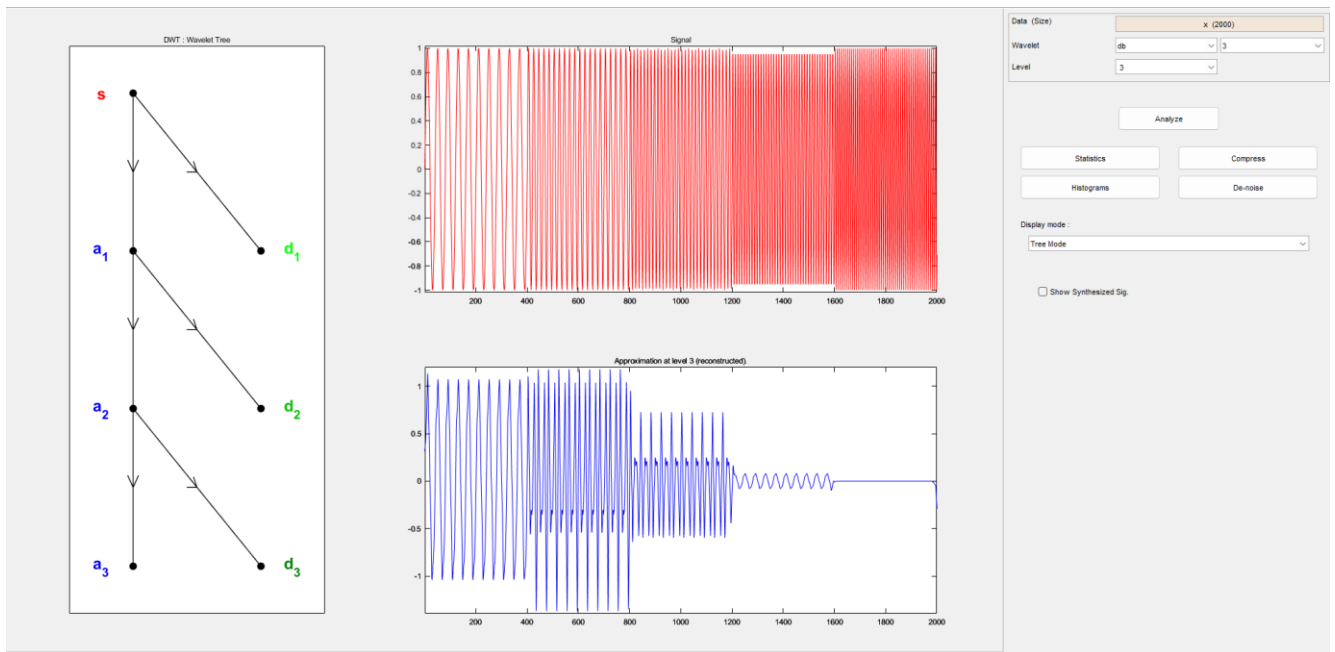


Рисунок 16: Дерево Вейвлет- декомпозиции

Вывод:

В этом задании было исследование вейвлет-декомпозиции сигнала с использованием функций MATLAB и с помощью пакета waveletAnalyzer. В качестве вейвлета выберем вейвлет Добеши db3.

Во-первых, мы выполняем декомпозицию вейвлета сигнала, используя функции MATLAB, такие как wavedec, wrcoef, результаты показаны на рисунке 14. Затем мы выполняем вейвлет-декомпозицию сигнала с помощью пакета waveletAnalyzer, , результаты показаны на рисунке 15. Оба метода получают одинаковые результаты.

На рисунке 16 показано дерево Вейвлет- декомпозиции. На определённом уровне разложения сигнал (в этом задании 3-й уровень декомпозиции) представлен суммой аппроксимирующей составляющей (a_3) и полученных на всех этапах, включая данный, детализирующих составляющих (d_3, d_2, d_1). Таким образом, $s = a_3 + d_3 + d_2 + d_1$.