

СПб ГУТ)))

ЗВУКОВОЕ ВЕЩАНИЕ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 2

Анализ частотных характеристик звукового сигнала с помощью математического программного пакета

Выполнила:

Репкина П.А.

Студентка группы:

РЦТ-22

Научный преподаватель:

Свиньина О.А.

Санкт-Петербург

2024

СОДЕРЖАНИЕ

1. ФОРМИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ	3
1.1 Формирование гармонического сигнала	3
1.2 Формирование сигнала скользящего тона	3
1.3 Формирование сигнала белого шума	4
2. ВЫПОЛНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА В МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ	4
2.1 Вычисление БПФ в математическом программном пакете	4
2.2 Использование оконной функции при вычислении БПФ	5
2.3 Построение графика мгновенного спектра звукового сигнала	5
2.4 Расчет текущего и энергетического спектров звукового сигнала	6
2.5 Расчет и построение спектрограммы звукового сигнала	7
3. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ...	7
4. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ	13
5. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	29
5.1 Анализ влияния длины и типа оконной функции на разрешающую способность спектра по частоте	29
5.2 Анализ влияния длины и типа оконной функции на разрешающую способность спектра по времени	30
5.3 Анализ частотных характеристик речевых сигналов	31

1. ФОРМИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ

Для формирования любого испытательного звукового сигнала необходимо:

1. Сформировать переменные, содержащие значения: частоты и периода дискретизации; длительности звукового сигнала в секундах и в отсчетах;

2. Сформировать массив, содержащий последовательность отсчетов времени в секундах.

Код программы:

```
% частота дискретизации, Гц
fs = 48000;
% период дискретизации, с
Ts = 1/fs;
% длительность сигнала, с
T = 1;
% длительность сигнала в отсчетах
N = T*fs;
% последовательность отсчетов времени
t = 0:Ts:T-Ts;
```

1.1 Формирование гармонического сигнала

Для формирования синусоидального сигнала необходимо:

1. Сформировать переменные, содержащие значения амплитуды и частоты синусоидального сигнала;

2. С помощью функции `sin` сформировать массив, содержащий отсчеты синусоидального сигнала.

Код программы:

```
% частота сигнала, Гц
F = 1000;
% амплитуда сигнала
A = 1;
% последовательность отсчетов синусоидального сигнала
x = A * sin(2*pi*F*t);
```

1.2 Формирование сигнала скользящего тона

Для формирования сигнала скользящего тона необходимо:

1. Сформировать переменные, содержащие значения: начальной и конечной частоты сигнала, амплитуды сигнала;

2. Сформировать массив, содержащий отсчеты сигнала скользящего тона, с помощью функции `chirp`.

Код программы:

```
% начальная частота, Гц
f_strt = 100;
% конечная частота, Гц
f_fnsh = 1000;
```

```
% последовательность отсчетов скользящего тона
y = chirp(t, f_strt, T, f_fnsh);
```

1.3 Формирование сигнала белого шума

Для формирования сигнала белого шума необходимо с помощью функции `randn` сформировать массив, содержащий случайные величины, распределенные по нормальному закону с математическим ожиданием 0 и среднеквадратическим отклонением 1.

Код программы:

```
% последовательность отсчетов белого шума
z = randn(1, length(t));
```

2. ВЫПОЛНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА В МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ

2.1 Вычисление БПФ в математическом программном пакете

Для расчета БПФ необходимо:

1. Сформировать переменные, содержащие значения длины БПФ N и половины длины БПФ $N/2$. Как правило, длина БПФ выбирается равной степени числа 2;
2. Сформировать переменные $n1$ и $n2$, определяющие номера первого и последнего отсчета в выборке, для которой будет рассчитываться БПФ;
3. С помощью функции `fft` рассчитать БПФ звукового сигнала и записать результаты в массив;
4. Выделить первые $N/2$ отсчетов из массива, содержащего результаты расчета БПФ;
5. Выделить из полученных комплексных значений БПФ амплитуды спектральных составляющих;
6. Рассчитать уровень спектральных составляющих в dBFS.

Код программы:

```
% длина БПФ
N = 1024;
% расчет половины длины БПФ
N2 = N/2;
% первый отсчет выборки
n1 = 1;
% последний отсчет выборки
n2 = n1 + N - 1;
% вычисление БПФ для входного сигнала x
X = fft(x(n1:n2), N);
% выделение первых N/2 отсчетов из массива X
X2 = X(1:N2);
% выделение амплитуд спектральных составляющих и
% масштабирование значений АЧХ
S = abs(X2/N2);
% расчет значений амплитуд спектральных составляющих в dBFS
SdB = 20*log10(S);
```

2.2 Использование оконной функции при вычислении БПФ

Для умножения звукового сигнала, отсчеты которого записаны в массив, на произвольную оконную функцию необходимо:

1. Сформировать массив `win` длины `N`, содержащий в себе амплитудные значения оконной функции, полученные с помощью встроенных функций или аналитического выражения;
2. В случае, если массив отсчетов сигнала и массив значений оконной функции оба имеют вид вектора-строки/вектора-столбца, выполнить транспонирование массива `win` для возможности последующего умножения на него выборки отсчетов звукового сигнала;
3. Выполнить умножение выборки элементов массива `x(n1:n2)` на массив `win`.

Код программы:

```
% формирование массива амплитудных значений оконной функции
% Бартлетта и выполнение операции транспонирования
% сформированного массива
win = bartlett(N).';
% умножение выборки из N отсчетов сигнала x на массив win
xw = x(n1:n2).*win;
```

2.3 Построение графика мгновенного спектра звукового сигнала

Для построения графика мгновенного спектра звукового сигнала на основании значений уровня спектральных составляющих БПФ, записанных в `SdB`, необходимо:

1. Сформировать массив значений отсчетов частоты `f` размера `N/2×1`;
2. Сформировать графическое окно и координатные оси;
3. Выполнить построение зависимости значений спектральных составляющих БПФ с помощью функции `plot`, указав в качестве аргументов функции массив значений отсчетов частоты `f` и массив `SdB`;
4. Установить желаемый масштаб графика; подписать координатные оси; сделать видимой координатную сетку; при построении нескольких зависимостей на одной координатной плоскости сформировать легенду.

Код программы:

```
% формирование массива значений отсчета частоты
f_bpf = 0:fs/N:(N2-1)*(fs/N);
% формирование графического окна и координатной оси
figure
grid
% построение зависимости SdB от f_bpf
plot(f_bpf, SdB);
grid on
% установка масштаба графика
axis([min(f_bpf) max(f_bpf) min(SdB) max(SdB)]);
% подписать координатные оси
xlabel('Частота, Гц');
ylabel('Амплитуда, dBFS');
```

2.4 Расчет текущего и энергетического спектров звукового сигнала

Для расчета текущего и энергетического спектров звукового сигнала $x(n)$, имеющего длительность T и частоту дискретизации F_s , отсчеты которого записаны в массив x , необходимо:

1. Сформировать переменные, содержащие значения длины выборки N и половины длины выборки $N/2$;
2. Рассчитать длину последовательности звукового сигнала $M = F_s * T$;
3. Рассчитать целое число выборок L , укладываемых без перекрытия по длине последовательности M сигнала $x(n)$, и длину состоящей из целого числа выборок последовательности M_L ;
4. Сформировать новую последовательность звукового сигнала $x_L(n)$, длина M_L которой равна целому числу выборок;
5. Сформировать цикл, рассчитывающий линейные значения амплитуд мгновенного спектра для каждой из L последовательных выборок сигнала $x_L(n)$ с использованием оконной функции;
6. Рассчитать текущий спектр как среднее арифметическое значение полученных мгновенных спектров;
7. Рассчитать энергетический спектр как среднеквадратичное значение полученных мгновенных спектров;
8. Рассчитать уровень составляющих текущего и энергетического спектров в dBFS.

Код программы:

```
% длина выборки
N = 1024;
% расчет половины длины выборки
N2 = N/2;

% длина последовательности звукового сигнала
M = fs*T;

% расчет целого числа выборок
L = ceil(M/N);
% длина состоящая из целого числа выборок
M_L = L*N;

% новая последовательность x длины M_L
x_L = zeros(1, M_L);
x_L(1:M) = x;

%оконная функция
win = bartlett(N)';
% цикл для расчета мгновенных спектров
S = zeros(L, N/2);
for i = 1:L
    index = (i-1) * N + 1;
    viborka = x_L(index:index+N-1);
    viborka_win = viborka.*win;
    spectrum = abs(fft(viborka_win, N));
    S(i, :) = spectrum(1:N/2);
```

```

end

% расчёт текущего спектра
S_T = mean(S, 1);

% расчёт энергетического спектра
S_RMS = sqrt(mean(S.^2, 1));

% расчет значений амплитуд спектральных составляющих в dBFS
S_T_dBFS = 20 * log10(S_T);
S_RMS_dBFS = 20 * log10(S_RMS);

% Построение графиков
figure;
subplot(2, 1, 1);
plot(S_T_dBFS);
title('Текущий спектр (dBFS)');
xlabel('Гармоника');
ylabel('Амплитуда (дБ)');
grid
subplot(2, 1, 2);
plot(S_RMS_dBFS);
title('Энергетический спектр (dBFS)');
xlabel('Гармоника');
ylabel('Амплитуда (дБ)');
grid

```

2.5 Расчет и построение спектрограммы звукового сигнала

Для расчета и построения спектрограммы звукового сигнала $x(n)$, имеющего частоту дискретизации F_s , отсчеты которого записаны в массив x , необходимо:

1. Сформировать графическое окно;
2. Рассчитать и построить в сформированном графическом окне спектрограмму звукового сигнала x с помощью функции `specgram`;
3. Установить желаемую цветовую палитру спектрограммы с помощью функции `colormap`;
4. Сформировать легенду значений уровня сигнала с помощью функции `colorbar`;
5. Установить желаемый масштаб графика с помощью функции `axis`.

Код программы:

```

% построение спектрограммы ЗС
figure;
specgram(x, 256, fs, bartlett(256), 50);
colormap();
colorbar();

```

3. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Запускаем GNU Octave и создаём новый скрипт файл.

Напишем программу, которая будет выполнять следующие операции:

1. Расчет номера варианта задания m ;

2. Формирование испытательного сигнала $x(n)$ длительностью 60 с, содержащего 10 синусоидальных составляющих $x_k(n)$;
3. Формирование испытательного сигнала скользящего тона $y(n)$ длительностью 60 с;
4. Формирование испытательного сигнала белого шума $w(n)$ длительностью 60 с;
5. Чтение значений отсчетов сигнала и значения частоты дискретизации из аудиофайла;
6. Расчет набора мгновенных спектров мгновенных спектров испытательного сигнала при заданных значениях параметров: длина БПФ/оконной функции, тип оконной функции; перекрытие спектров отсутствует;
7. Расчет текущего спектра испытательного сигнала;
8. Расчет энергетического спектра испытательного сигнала;
9. построение в одном графическом окне двух координатных плоскостей;
10. Расчет и построение в отдельном графическом окне спектрограммы испытательного сигнала при заданных значениях параметров: частота дискретизации, длина БПФ/оконной функции, тип оконной функции; перекрытие выборок отсутствует;
11. Оформление сформированных графиков.

Код программы:

```
clc
clear
close all
pkg load signal

% шрифт и его размер ГОСТ для графиков
set(0, "defaultaxesfontsize", 14)
set(0, "defaultaxesfontname", "Times New Roman")
set(0, "defaultlinelinelwidth", 1)

% 1) расчет варианта задания
date = datenum([2004 04 08]);
m = mod(date, 50) + 1

% частота дискретизации
Fs = 48000;
% длительность сигнала
T = 60;
% последовательность отсчетов времени
t = 0:1/Fs:T-1/Fs;

% 2) формирование амплитуд и частот синусоидальных составляющих
for k = 1:10
    Fk(k) = k * ceil(0.95^m * 10^3);
    Ak(k) = 1 - 0.5*log10(k);
end
% создание сигнала из 10 синусоидальных составляющих
for i = 1:10
```



```

    x(i, :) = Ak(i) * sin(2*pi*Fk(i)*t);
end
signal_1 = sum(x);

% 3) начальное и конечное частоты скользящего тона
f_start = 3*ceil(abs(cos(m)+sin(50-m))*10^3);
f_stop = 2*10^4-10*ceil(abs(cos(m)+sin(50-m))*10^3);
%создание сигнала скользящего тона
signal_2 = chirp(t,f_start,T,f_stop, 'quadratic');

% 4) формирование белого шума
signal_3 = randn(1, length(t));

% 5) чтение значений отсчетов и частоты дискретизации из
аудиофайла
[signal_4, fs1] = audioread('normal.wav');
[signal_5, fs2] = audioread('slow_and_quiet.wav');
[signal_6, fs3] = audioread('fast_and_bass.wav');

% 6) расчет мгновенных спектров
N = 128;
N2 = N/2;
win = rectwin(N)';
M = Fs*T;
L = ceil(M/N);
M_L = L*N;
% для сигнала из 10 синусоидальных составляющих
signal_1_L = zeros(1, M_L);
signal_1_L(1:M) = signal_1;
S_1 = zeros(L, N/2);
for l = 1:L
    index = (l-1) * N + 1;
    viborka = signal_1_L(index:index+N-1);
    viborka_win = viborka.*win;
    spectrum = abs(fft(viborka_win, N));
    S_1(l, :) = spectrum(1:N/2);
end
% для сигнала скользящего тона
signal_2_L = zeros(1, M_L);
signal_2_L(1:M) = signal_2;
S_2 = zeros(L, N/2);
for l = 1:L
    index = (l-1) * N + 1;
    viborka = signal_2_L(index:index+N-1);
    viborka_win = viborka.*win;
    spectrum = abs(fft(viborka_win, N));
    S_2(l, :) = spectrum(1:N/2);
end
% для белого шума
signal_3_L = zeros(1, M_L);
signal_3_L(1:M) = signal_3;
S_3 = zeros(L, N/2);
for l = 1:L
    index = (l-1) * N + 1;
    viborka = signal_3_L(index:index+N-1);
    viborka_win = viborka.*win;
    spectrum = abs(fft(viborka_win, N));
    S_3(l, :) = spectrum(1:N/2);
end

```

```

end
% формирование выборок для речевых сигналов
M2 = length(signal_4);
L2 = ceil(M2/N);
M2_L = L2*N;
% для речевого нормального сигнала
signal_4_L = zeros(1, M2_L);
signal_4_L(1:M2) = signal_4;
S_4 = zeros(L2, N/2);
for l = 1:L2
    index = (l-1) * N + 1;
    viborka = signal_4_L(index:index+N-1);
    viborka_win = viborka.*win;
    spectrum = abs(fft(viborka_win, N));
    S_4(l, :) = spectrum(1:N/2);
end
% для речевого тихого сигнала
signal_5_L = zeros(1, M2_L);
signal_5_L(1:M2) = signal_5;
S_5 = zeros(L2, N/2);
for l = 1:L2
    index = (l-1) * N + 1;
    viborka = signal_5_L(index:index+N-1);
    viborka_win = viborka.*win;
    spectrum = abs(fft(viborka_win, N));
    S_5(l, :) = spectrum(1:N/2);
end
% для речевого громкого сигнала
signal_6_L = zeros(1, M2_L);
signal_6_L(1:M2) = signal_6;
S_6 = zeros(L2, N/2);
for l = 1:L2
    index = (l-1) * N + 1;
    viborka = signal_6_L(index:index+N-1);
    viborka_win = viborka.*win;
    spectrum = abs(fft(viborka_win, N));
    S_6(l, :) = spectrum(1:N/2);
end

% 7) расчет текущего спектра
S1_T = mean(S_1, 1);
S2_T = mean(S_2, 1);
S3_T = mean(S_3, 1);
S4_T = mean(S_4, 1);
S5_T = mean(S_5, 1);
S6_T = mean(S_6, 1);

% 8) расчет энергетического спектра
S1_RMS = sqrt(mean(S_1.^ 2, 1));
S2_RMS = sqrt(mean(S_2.^ 2, 1));
S3_RMS = sqrt(mean(S_3.^ 2, 1));
S4_RMS = sqrt(mean(S_4.^ 2, 1));
S5_RMS = sqrt(mean(S_5.^ 2, 1));
S6_RMS = sqrt(mean(S_6.^ 2, 1));

% расчет значений амплитуд спектральных составляющих в dBFS
S1_T_dBFS = 20 * log10(S1_T);
S1_RMS_dBFS = 20 * log10(S1_RMS);

```

```

S2_T_dBFS = 20 * log10(S2_T);
S2_RMS_dBFS = 20 * log10(S2_RMS);
S3_T_dBFS = 20 * log10(S3_T);
S3_RMS_dBFS = 20 * log10(S3_RMS);
S4_T_dBFS = 20 * log10(S4_T);
S4_RMS_dBFS = 20 * log10(S4_RMS);
S5_T_dBFS = 20 * log10(S5_T);
S5_RMS_dBFS = 20 * log10(S5_RMS);
S6_T_dBFS = 20 * log10(S6_T);
S6_RMS_dBFS = 20 * log10(S6_RMS);

% 9) построение графиков
% расчет значений амплитуд спектральных составляющих в dBFS
t1_target = 30;
frame_index = floor(t1_target * Fs / N) + 1;
start_idx = (frame_index - 1) * N + 1;
end_idx = start_idx + N - 1;
frame = signal_1(start_idx:end_idx);
spectrum1 = abs(fft(frame, N));
spectrum1 = spectrum1(1:N/2);
spectrum1_dBFS = 20 * log10(spectrum1);

t2_target = 20;
frame_index = floor(t2_target * Fs / N) + 1;
start_idx = (frame_index - 1) * N + 1;
end_idx = start_idx + N - 1;
frame = signal_2(start_idx:end_idx);
spectrum2 = abs(fft(frame, N));
spectrum2 = spectrum2(1:N/2);
spectrum2_dBFS = 20 * log10(spectrum2);

t3_target = 30;
frame_index = floor(t3_target * Fs / N) + 1;
start_idx = (frame_index - 1) * N + 1;
end_idx = start_idx + N - 1;
frame = signal_3(start_idx:end_idx);
spectrum3 = abs(fft(frame, N));
spectrum3 = spectrum3(1:N/2);
spectrum3_dBFS = 20 * log10(spectrum3);

t4_target = 2*40/3;
frame_index = floor(t4_target * Fs / N) + 1;
start_idx = (frame_index - 1) * N + 1;
end_idx = start_idx + N - 1;
frame = signal_4(start_idx:end_idx);
spectrum4 = abs(fft(frame, N));
spectrum4 = spectrum4(1:N/2);
spectrum4_dBFS = 20 * log10(spectrum4);

t5_target = 2*40/3;
frame_index = floor(t5_target * Fs / N) + 1;
start_idx = (frame_index - 1) * N + 1;
end_idx = start_idx + N - 1;
frame = signal_5(start_idx:end_idx);
spectrum5 = abs(fft(frame, N));
spectrum5 = spectrum5(1:N/2);
spectrum5_dBFS = 20 * log10(spectrum5);

```

```

t6_target = 2*40/3;
frame_index = floor(t6_target * Fs / N) + 1;
start_idx = (frame_index - 1) * N + 1;
end_idx = start_idx + N - 1;
frame = signal_6(start_idx:end_idx);
spectrum6 = abs(fft(frame, N));
spectrum6 = spectrum6(1:N/2);
spectrum6_dBFS = 20 * log10(spectrum6);
% формирование массива значений отсчета частоты
f_bpf = Fs/N:Fs/N:(N/2-1)*(Fs/N);
% графики мгновенного спектра
figure;
subplot(2, 1, 1);
hold on;
semilogx(f_bpf, spectrum1_dBFS(1:length(f_bpf)));
semilogx(f_bpf, spectrum2_dBFS(1:length(f_bpf)));
semilogx(f_bpf, spectrum3_dBFS(1:length(f_bpf)));
semilogx(f_bpf, spectrum4_dBFS(1:length(f_bpf)));
semilogx(f_bpf, spectrum5_dBFS(1:length(f_bpf)));
semilogx(f_bpf, spectrum6_dBFS(1:length(f_bpf)));
title('Спектр');
xlabel('Частота, Гц');
ylabel('Амплитуда (дБ)');
legend('S1(f)', 'S2(f)', 'S3(f)', 'S4(f)', 'S5(f)', 'S6(f)');
grid
% графики энергетического и текущего спектра
subplot(2, 1, 2);
hold on
semilogx(S1_RMS_dBFS);
semilogx(S1_T_dBFS);
semilogx(S2_RMS_dBFS);
semilogx(S2_T_dBFS);
semilogx(S3_RMS_dBFS);
semilogx(S3_T_dBFS);
semilogx(S4_RMS_dBFS);
semilogx(S4_T_dBFS);
semilogx(S5_RMS_dBFS);
semilogx(S5_T_dBFS);
semilogx(S6_RMS_dBFS);
semilogx(S6_T_dBFS);
title('Энергетический и текущий спектр (dBFS)');
xlabel('Гармоника, k');
ylabel('Амплитуда (дБ)');
legend('S1_R_M_S(k)', 'S1_T(k)', 'S2_R_M_S(k)', 'S2_T(k)', 'S3_R_M_S(k)', 'S3_T(k)', 'S4_R_M_S(k)', 'S4_T(k)', 'S5_R_M_S(k)', 'S5_T(k)', 'S6_R_M_S(k)', 'S6_T(k)');
grid
% 10) построение спектрограмм
figure;
specgram(signal_1(1:Fs*20), N, Fs, rectwin(N), 0);
title('Спектрограмма для сигнала из 10 синусоидальных составляющих');
colorbar();

figure;
specgram(signal_2(1:Fs*20), N, Fs, rectwin(N), 0);
title('Спектрограмма для сигнала скользящего тона');
colorbar();

```

```

figure;
specgram(signal_3(1:Fs*20), N, Fs, rectwin(N), 0);
title('Спектрограмма для сигнала белого шума');
colorbar();

figure;
specgram(signal_4(1:Fs*20), N, Fs, rectwin(N), 0);
title('Спектрограмма для нормального речевого сигнала');
colorbar();

figure;
specgram(signal_5(1:Fs*20), N, Fs, rectwin(N), 0);
title('Спектрограмма для тихого речевого сигнала');
colorbar();

figure;
specgram(signal_6(1:Fs*20), N, Fs, rectwin(N), 0);
title('Спектрограмма для громкого речевого сигнала');
colorbar();

```

4. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ

В соответствии с номером варианта $m = 46$, в качестве оконных функций укажем:

Таблица 1 – Выбор типа оконной функции

m	Окно 1	Окно 2	Окно 3	Окно 4
46	Прямоугольное	Наттолла	Бартлетта	Парзена

Выполнить расчет и построение графиков мгновенного, текущего и энергетического спектров, а также спектрограммы, для следующих значений длины БПФ/оконной функции: 128 и 16384 для каждого типа оконной функции на рисунках 1-32.

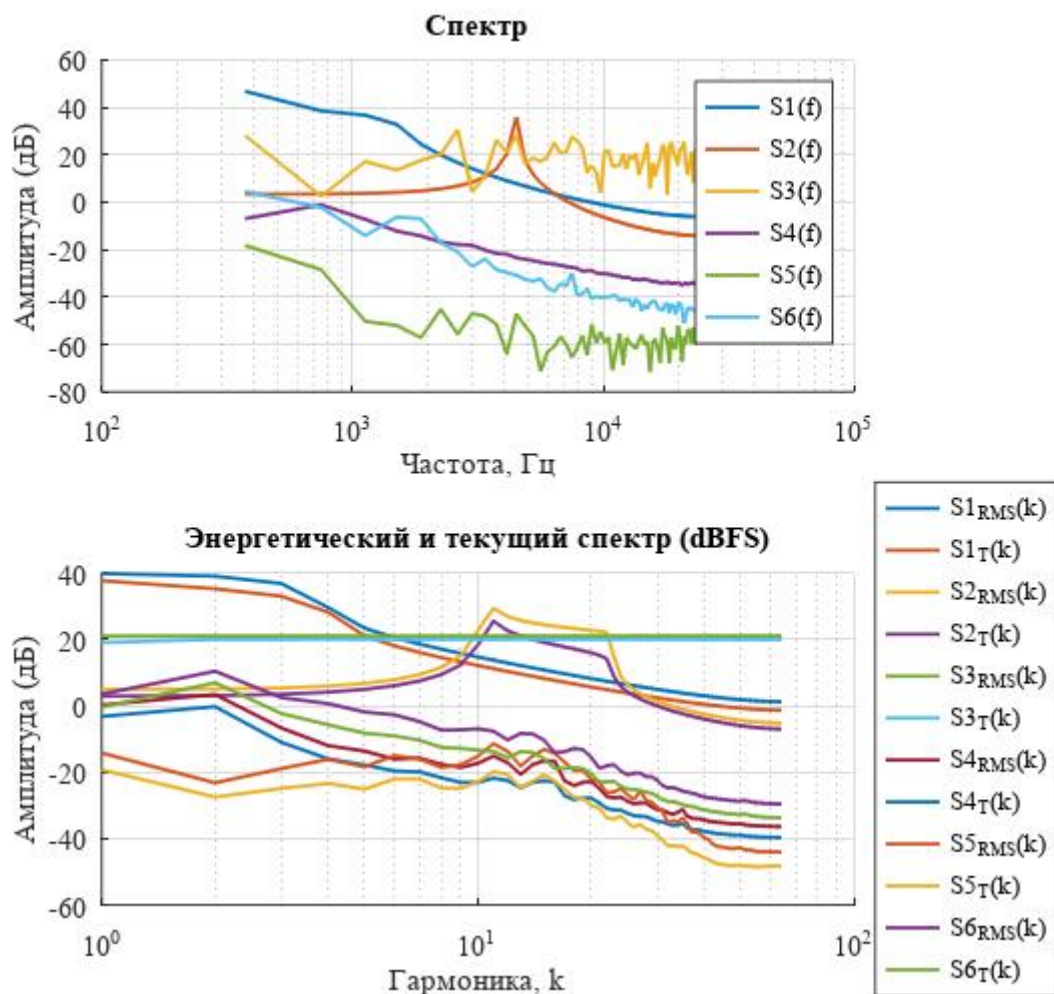


Рисунок 1 – Мгновенный спектр для $N = 128$ прямоугольного окна

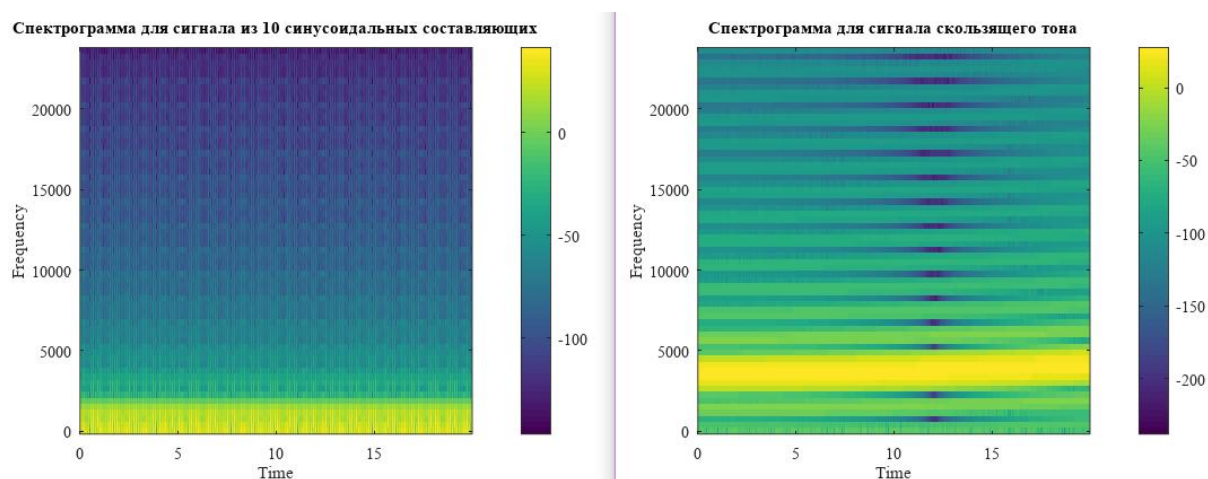


Рисунок 2 – Спектрограммы для $N = 128$ прямоугольного окна

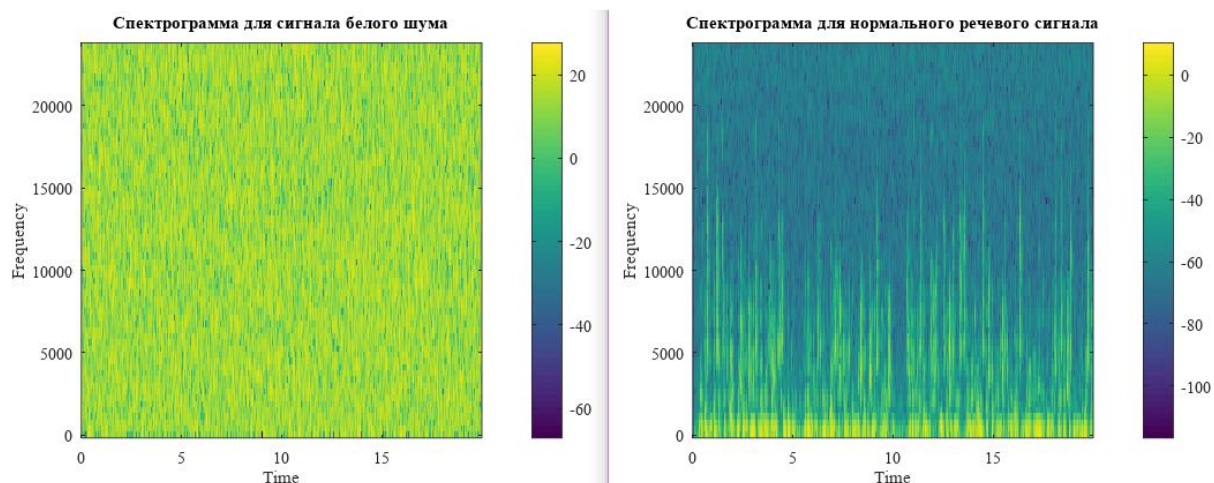


Рисунок 3 – Спектрограммы для $N = 128$ прямоугольного окна

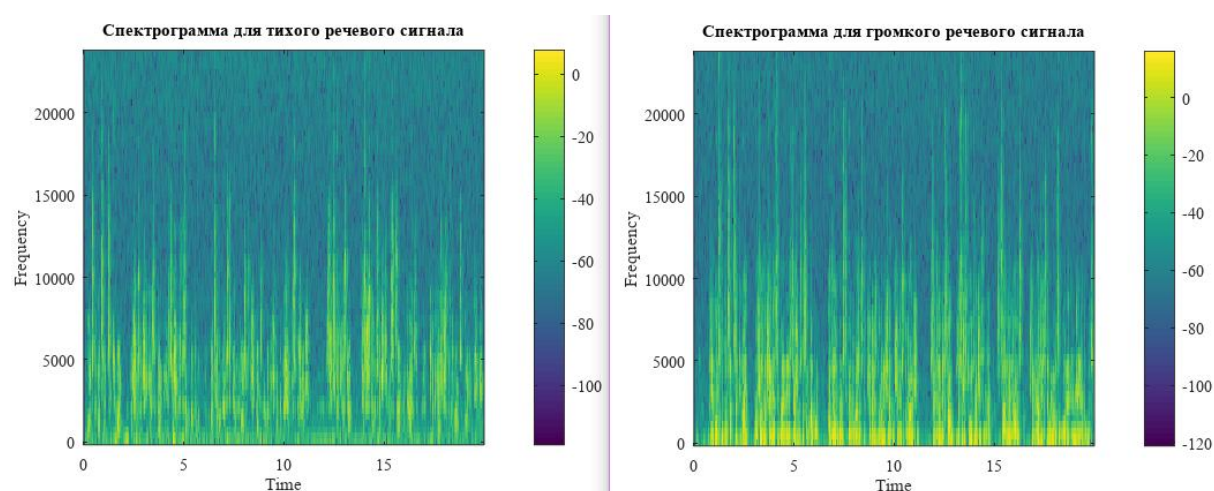


Рисунок 4 – Спектрограммы для $N = 128$ прямоугольного окна

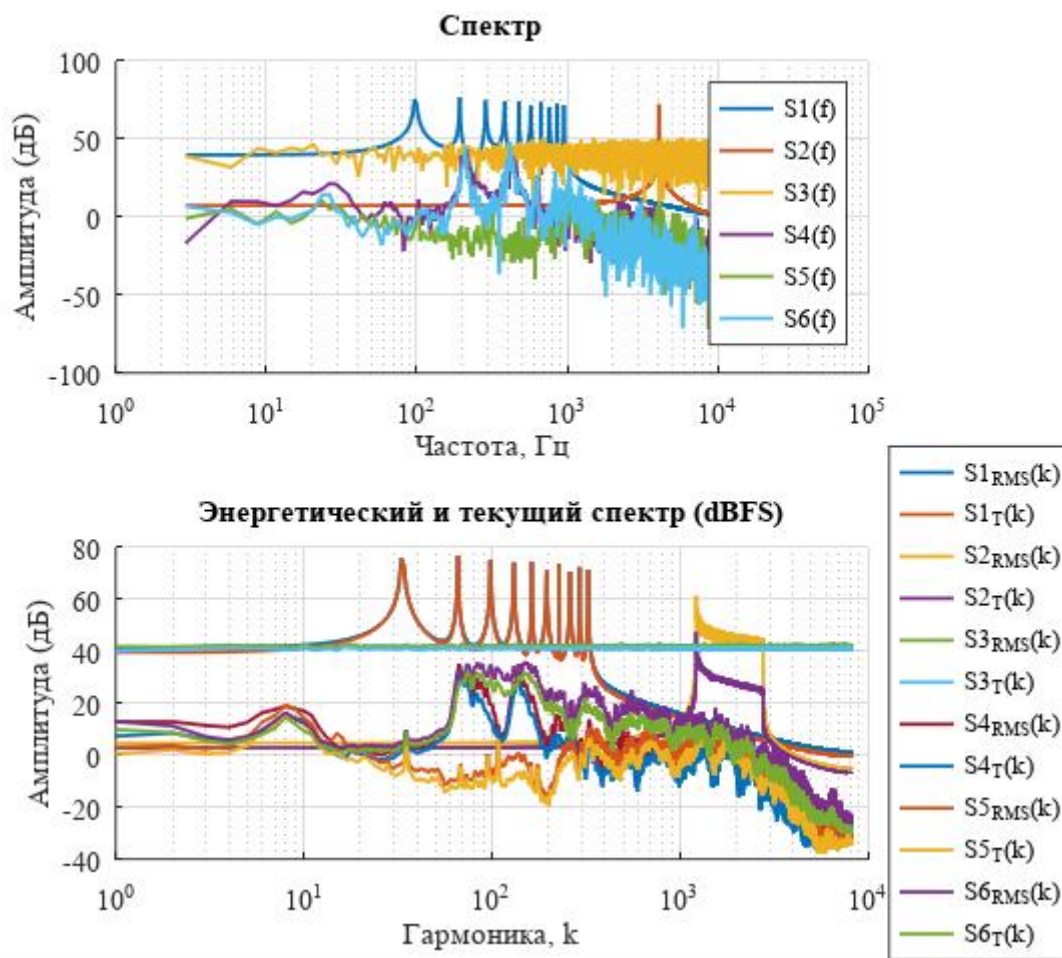


Рисунок 5 – Мгновенный спектр для $N = 16384$ прямоугольного окна

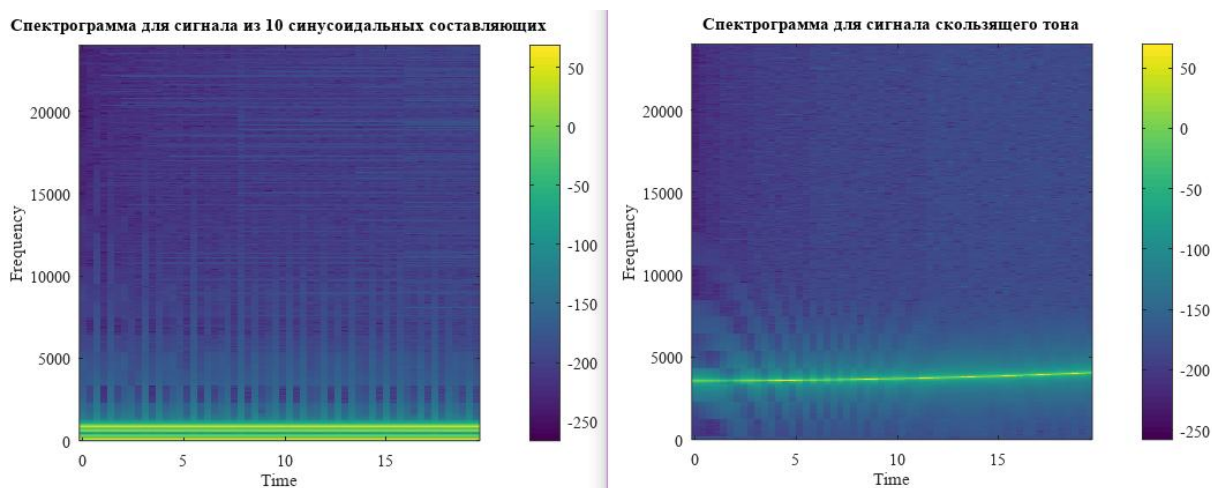


Рисунок 6 – Спектрограммы для $N = 16384$ прямоугольного окна

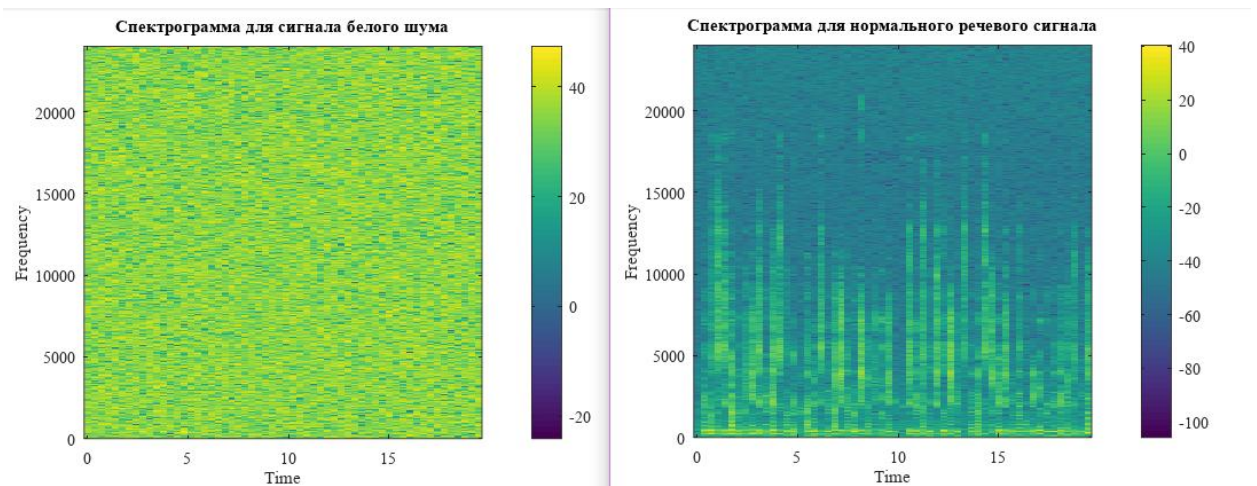


Рисунок 7 – Спектрограммы для $N = 16384$ прямоугольного окна

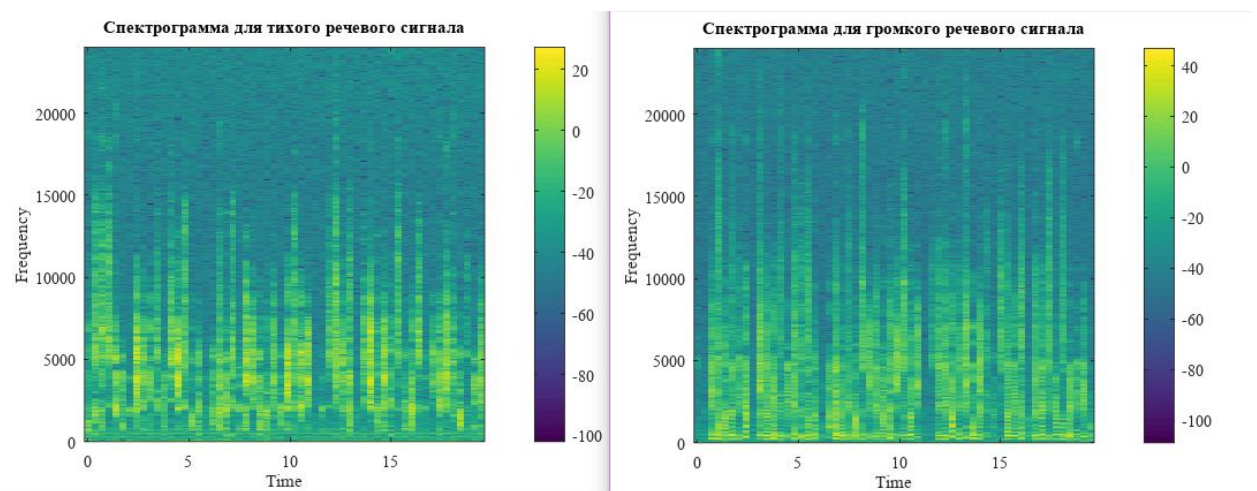


Рисунок 8 – Спектрограммы для $N = 16384$ прямоугольного окна

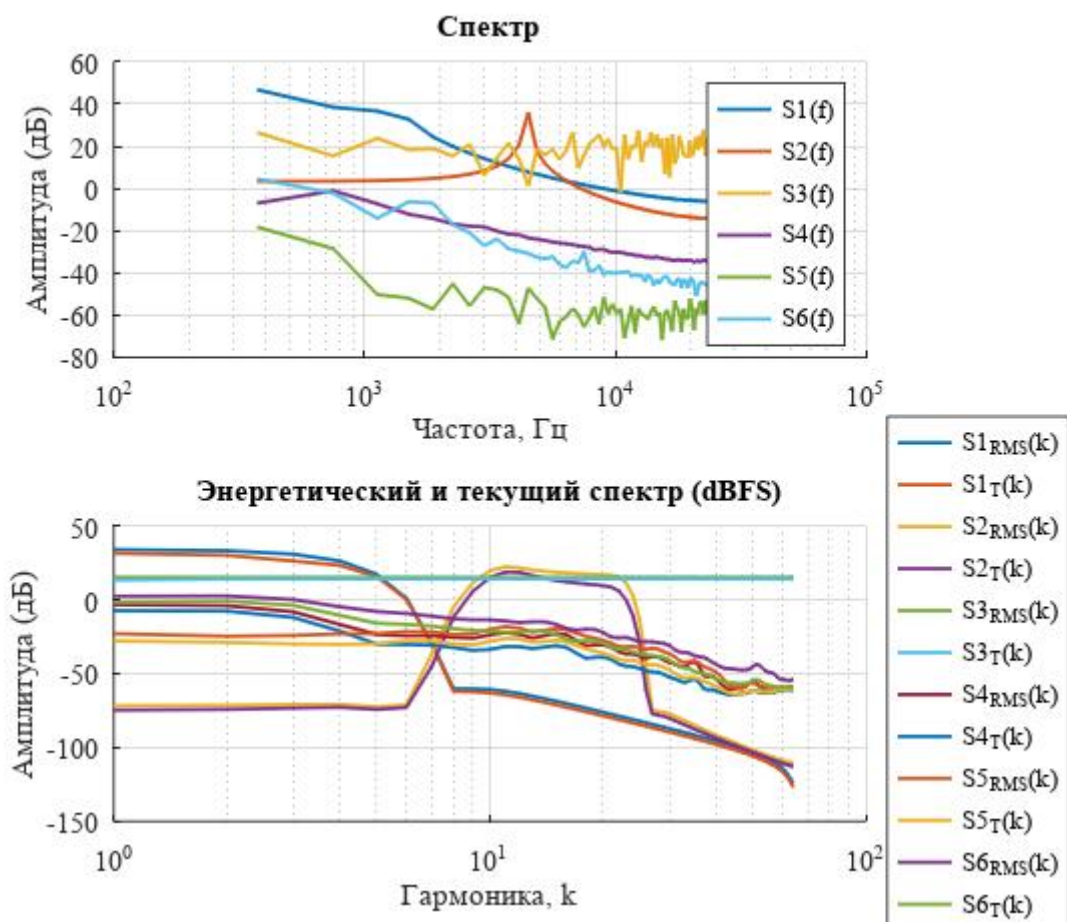


Рисунок 9 – Мгновенный спектр для $N = 128$ окна Наттолла

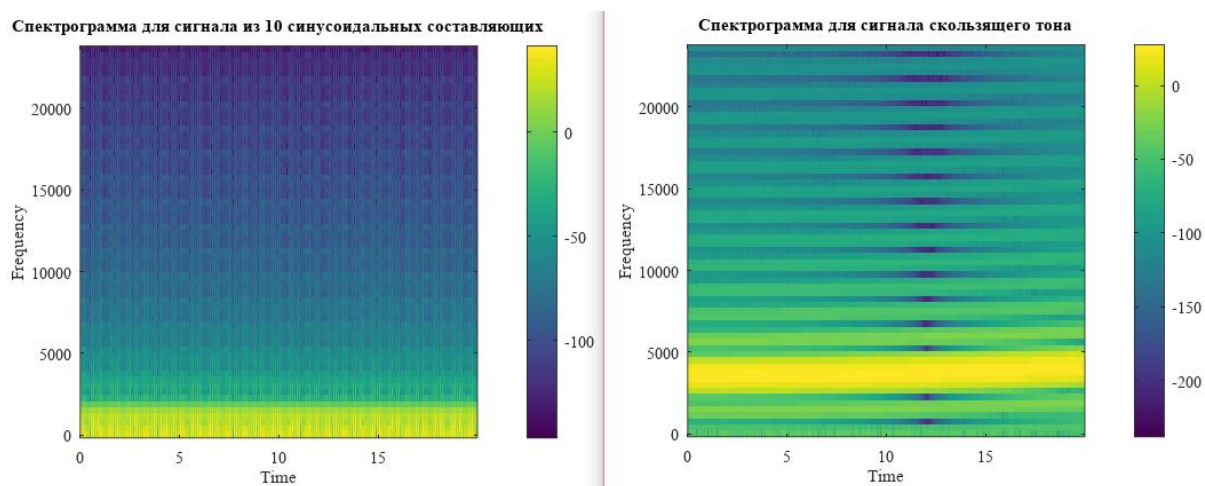


Рисунок 10 – Спектрограммы для $N = 128$ окна Наттолла

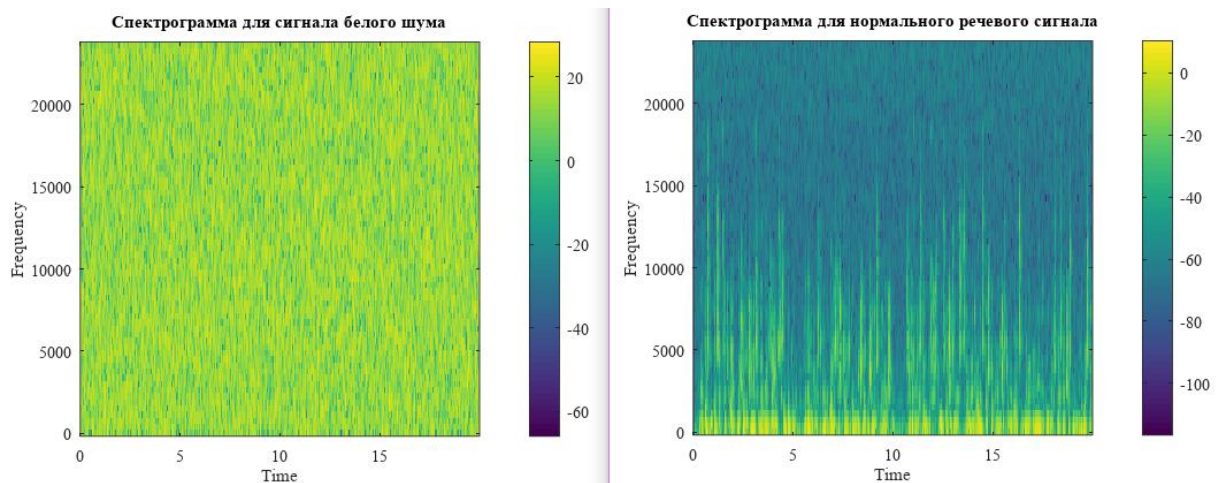


Рисунок 11 – Спектрограммы для $N = 128$ окна Наттолла

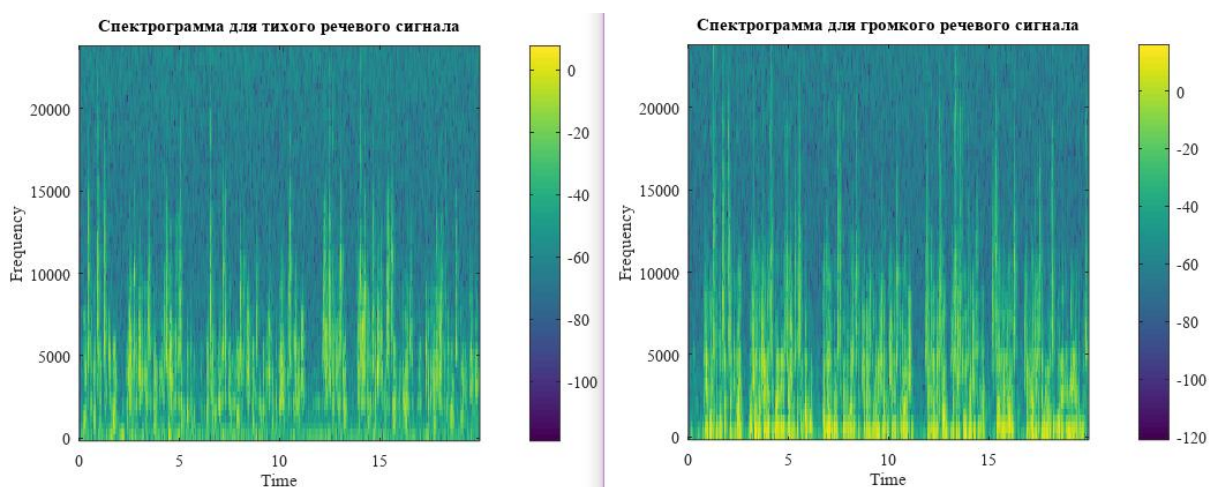


Рисунок 12 – Спектрограммы для $N = 128$ окна Наттолла

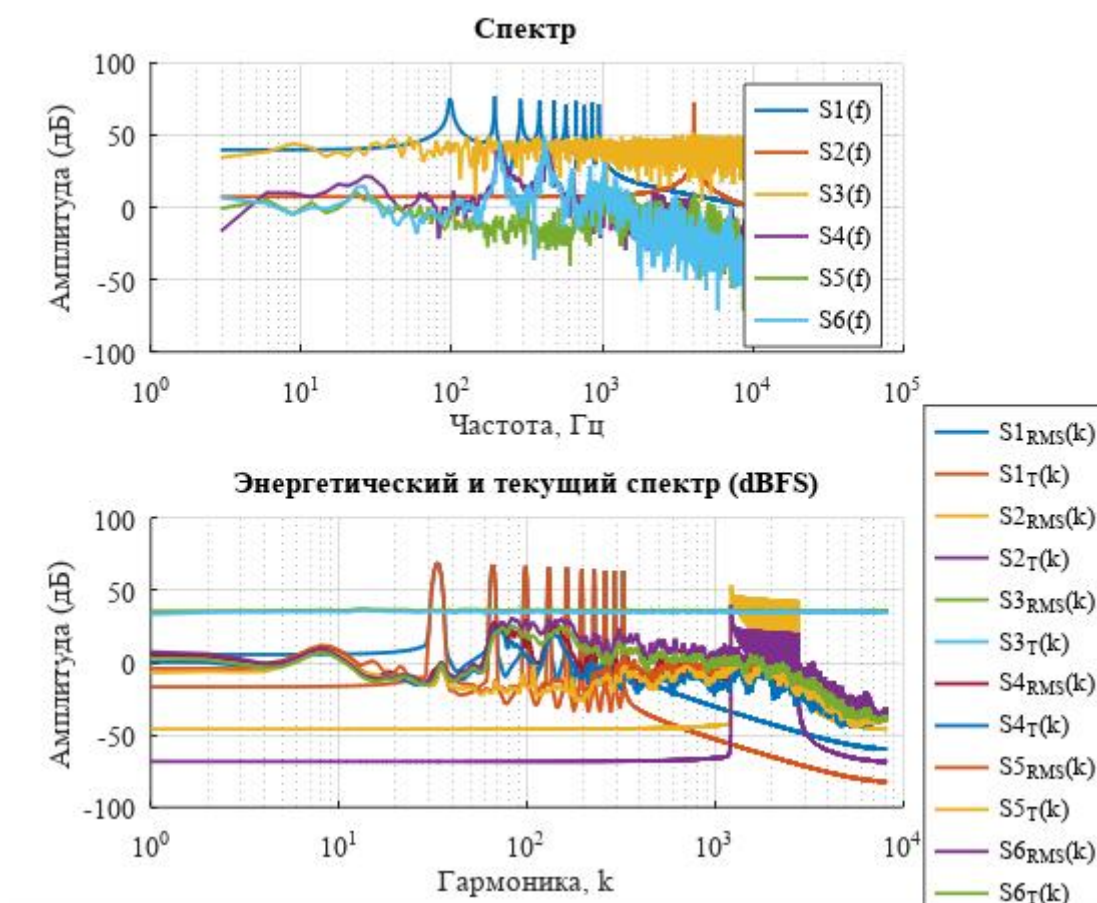


Рисунок 13 – Мгновенный спектр для $N = 16384$ окна Наттолла

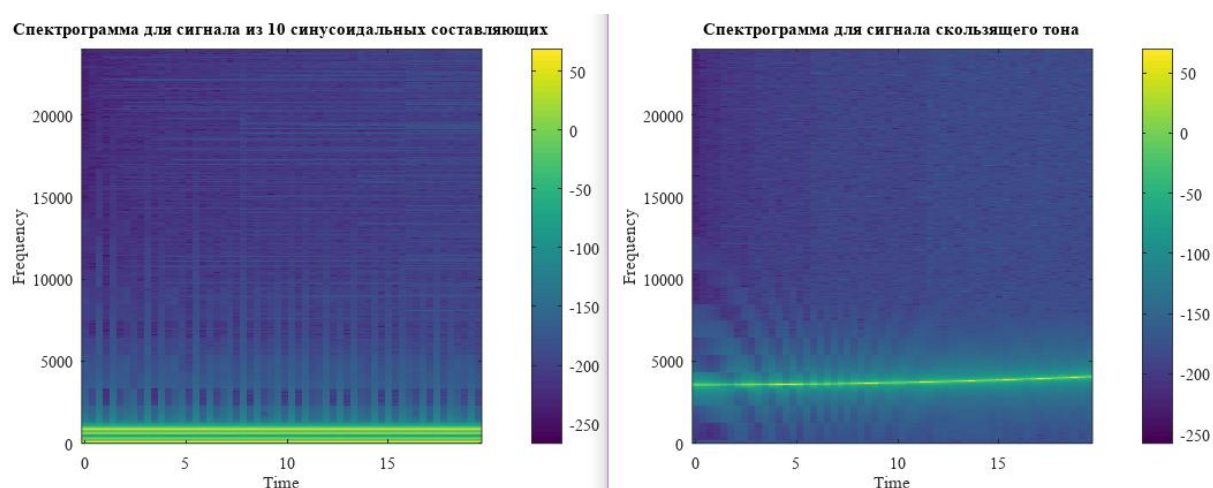


Рисунок 14 – Спектрограммы для $N = 16384$ окна Наттолла

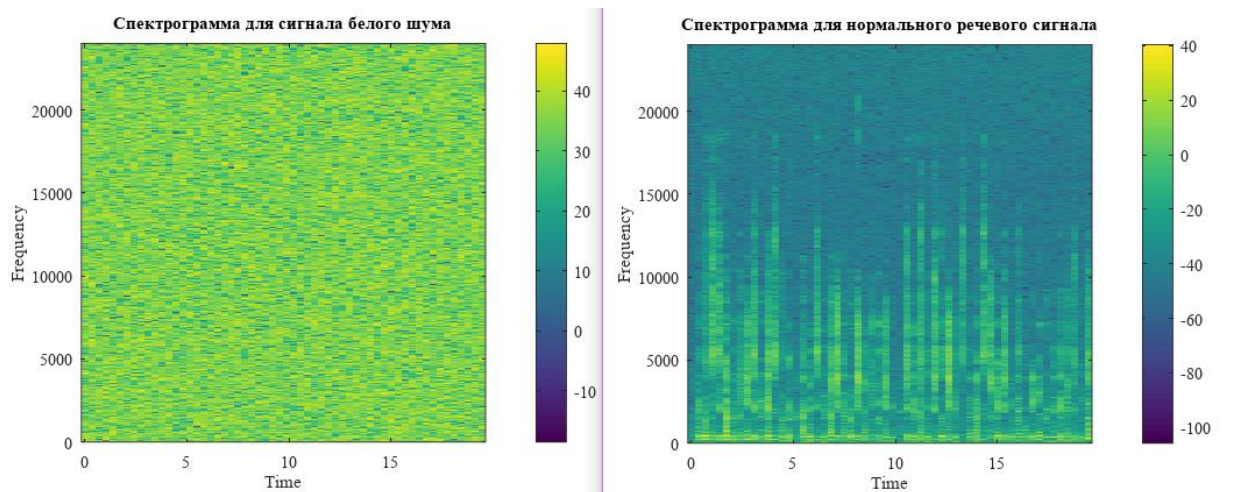


Рисунок 15 – Спектрограммы для $N = 16384$ окна Наттолла

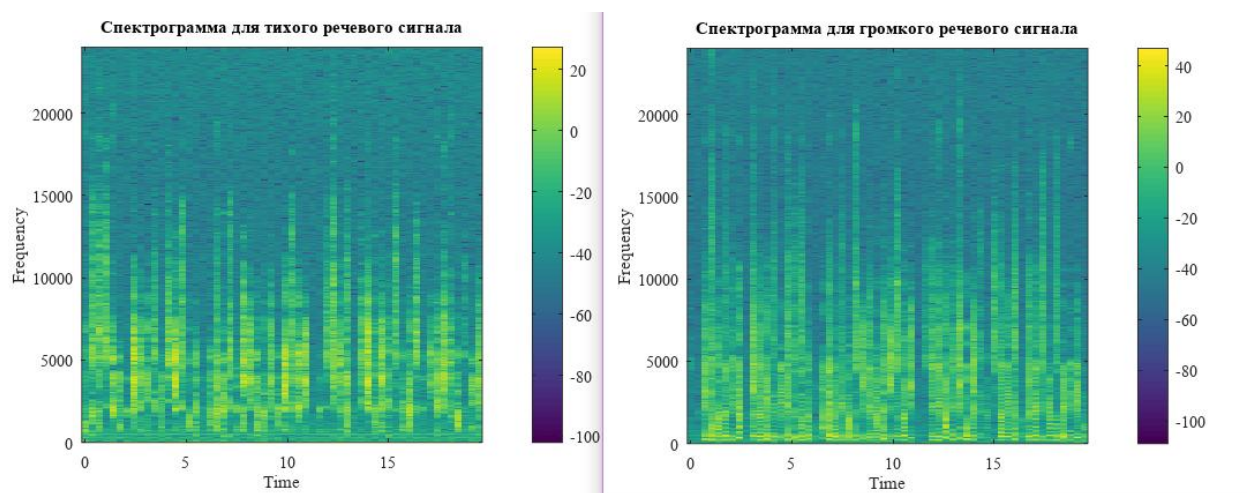


Рисунок 16 – Спектрограммы для $N = 16384$ окна Наттолла

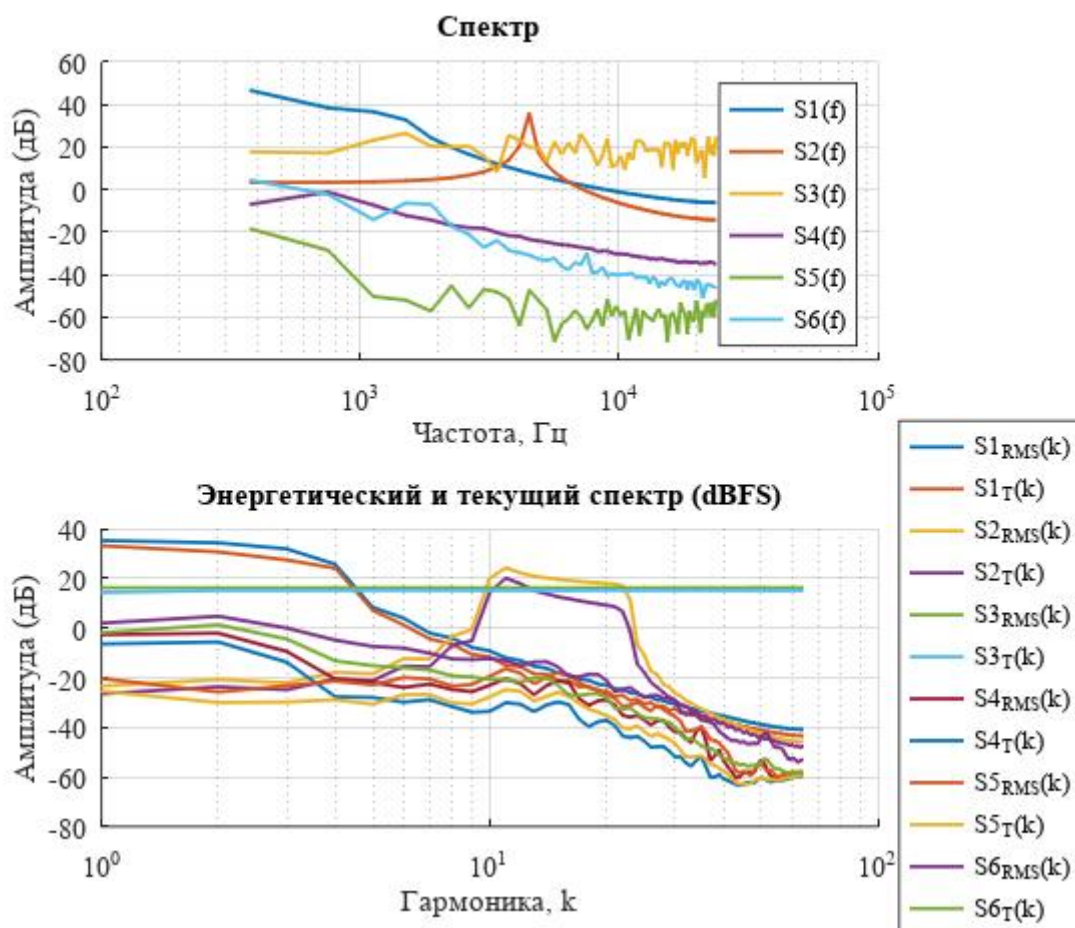


Рисунок 17 – Мгновенный спектр для $N = 128$ окна Бартлетта

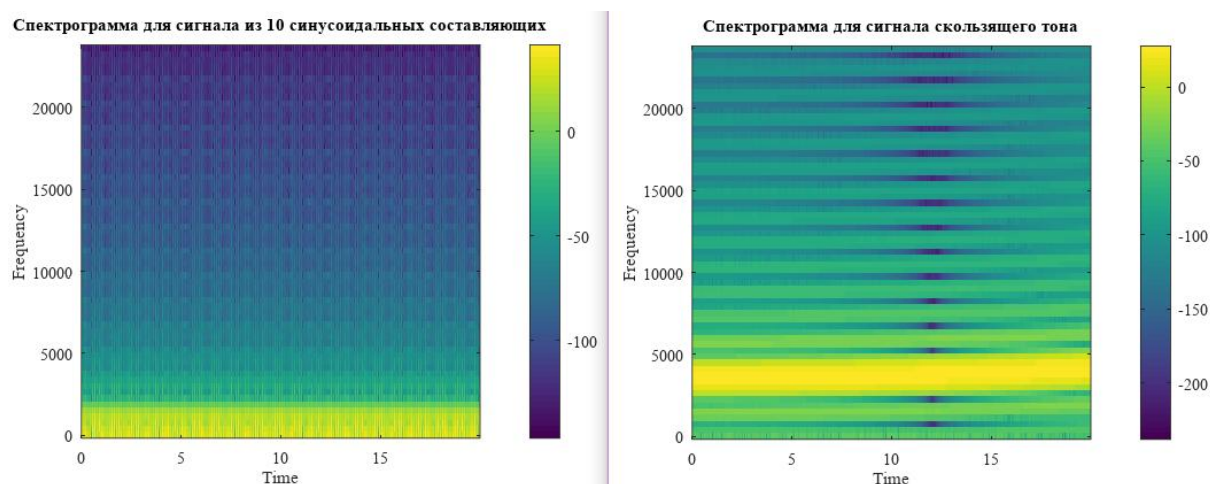


Рисунок 18 – Спектрограммы для $N = 128$ окна Бартлетта

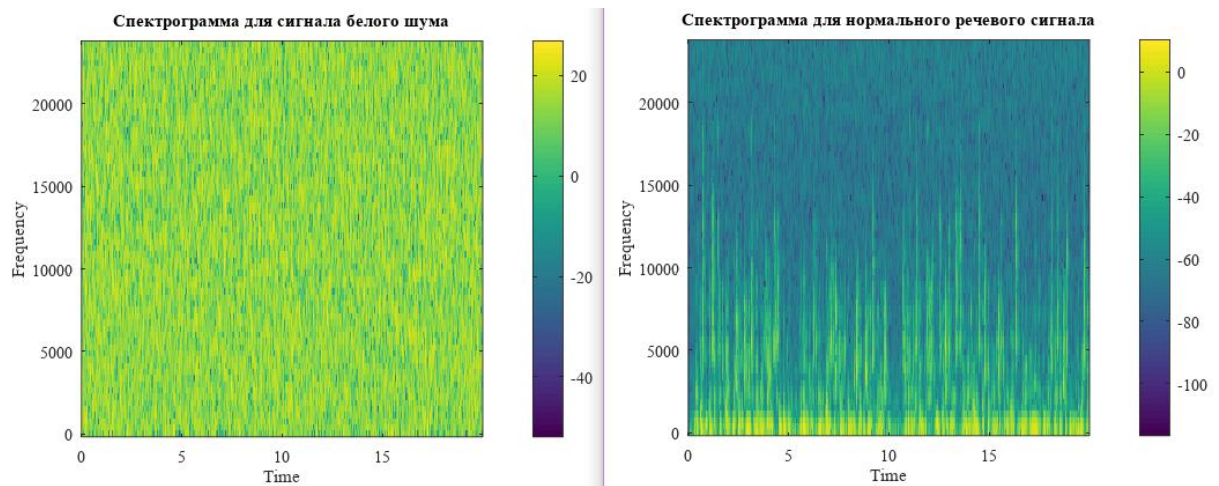


Рисунок 19 – Спектрограммы для $N = 128$ окна Бартлетта

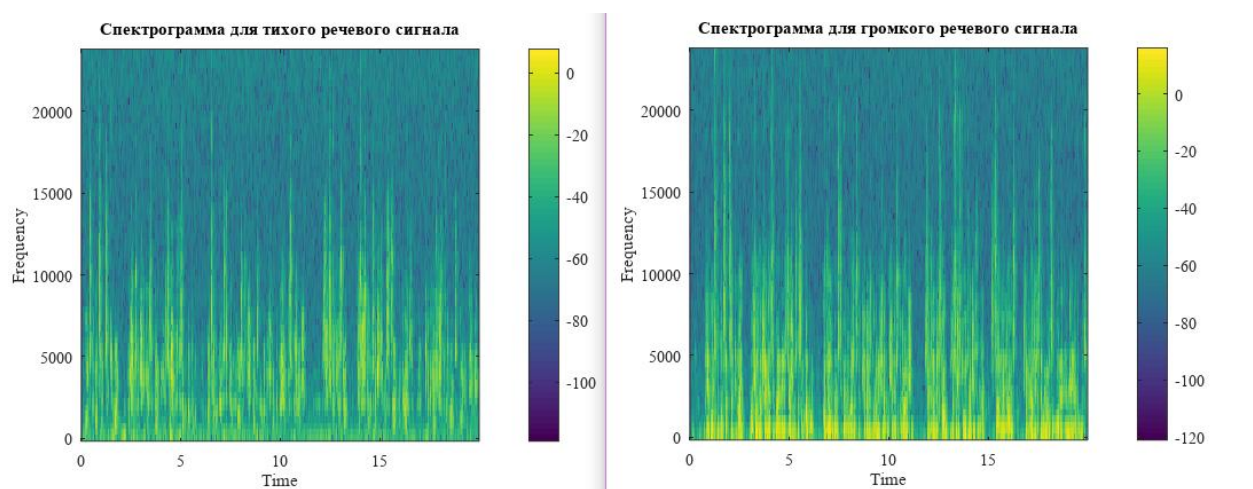


Рисунок 20 – Спектрограммы для $N = 128$ окна Бартлетта

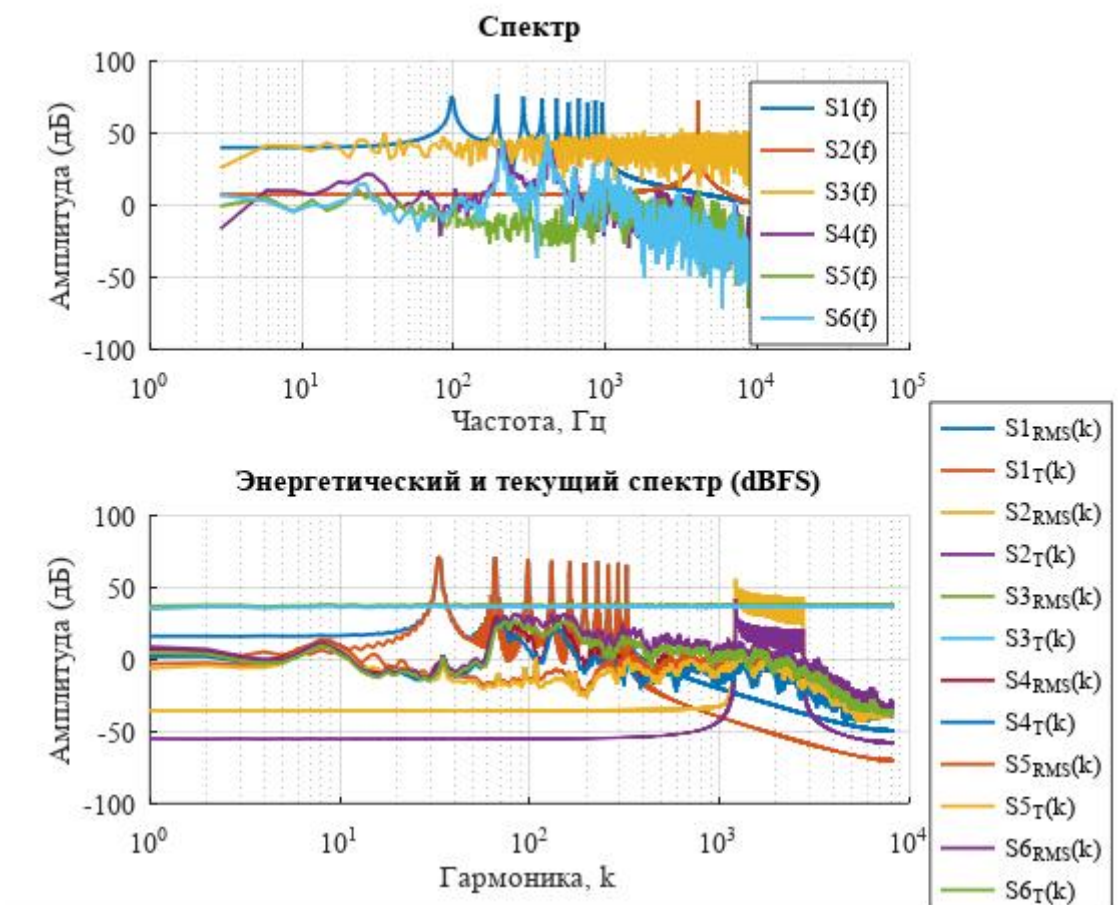


Рисунок 21 – Мгновенный спектр для $N = 16384$ окна Бартлетта

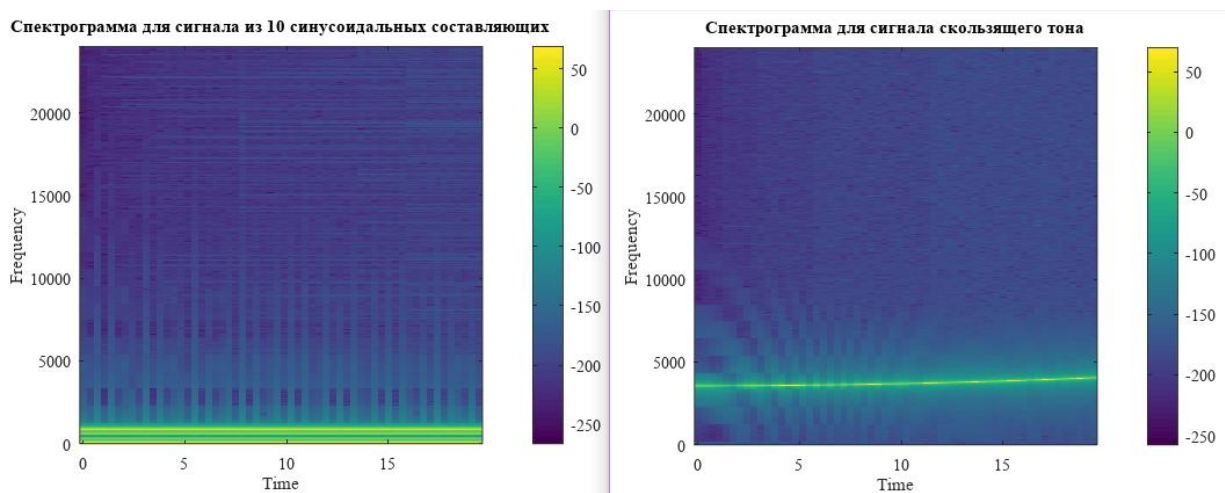


Рисунок 22 – Спектрограммы для $N = 16384$ окна Бартлетта

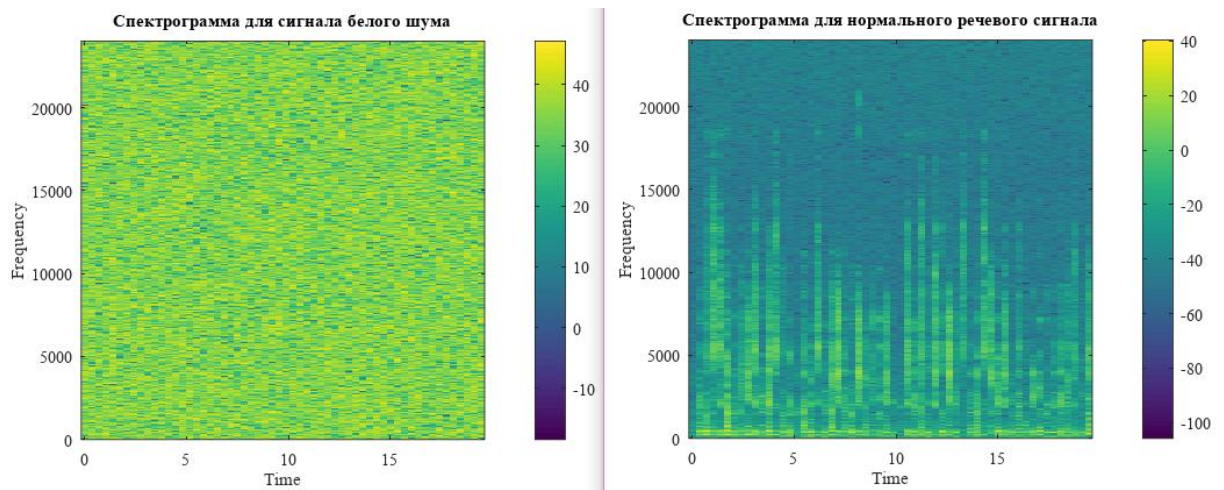


Рисунок 23 – Спектрограммы для $N = 16384$ окна Бартлетта

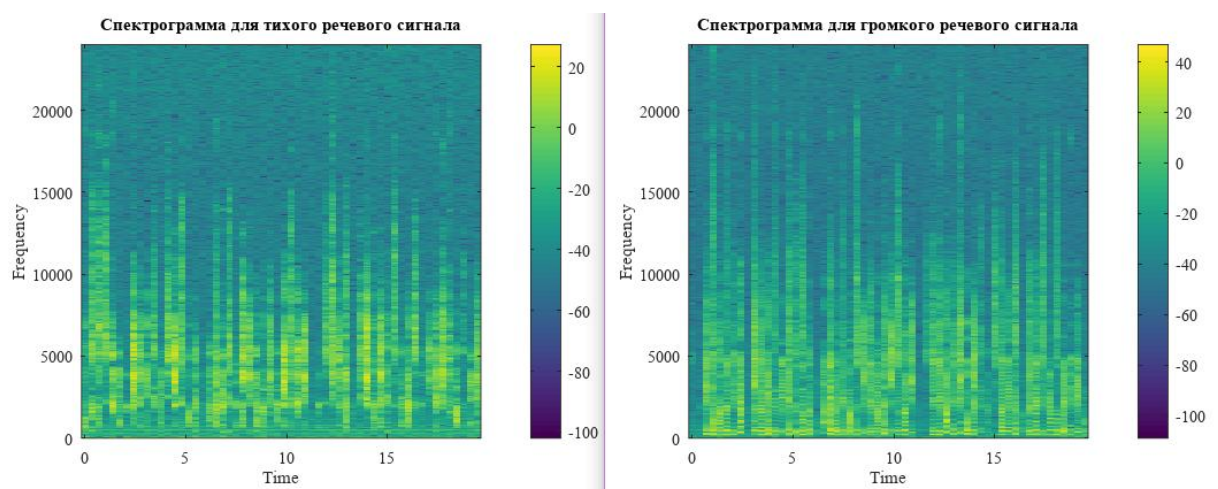


Рисунок 24 – Спектрограммы для $N = 16384$ окна Бартлетта

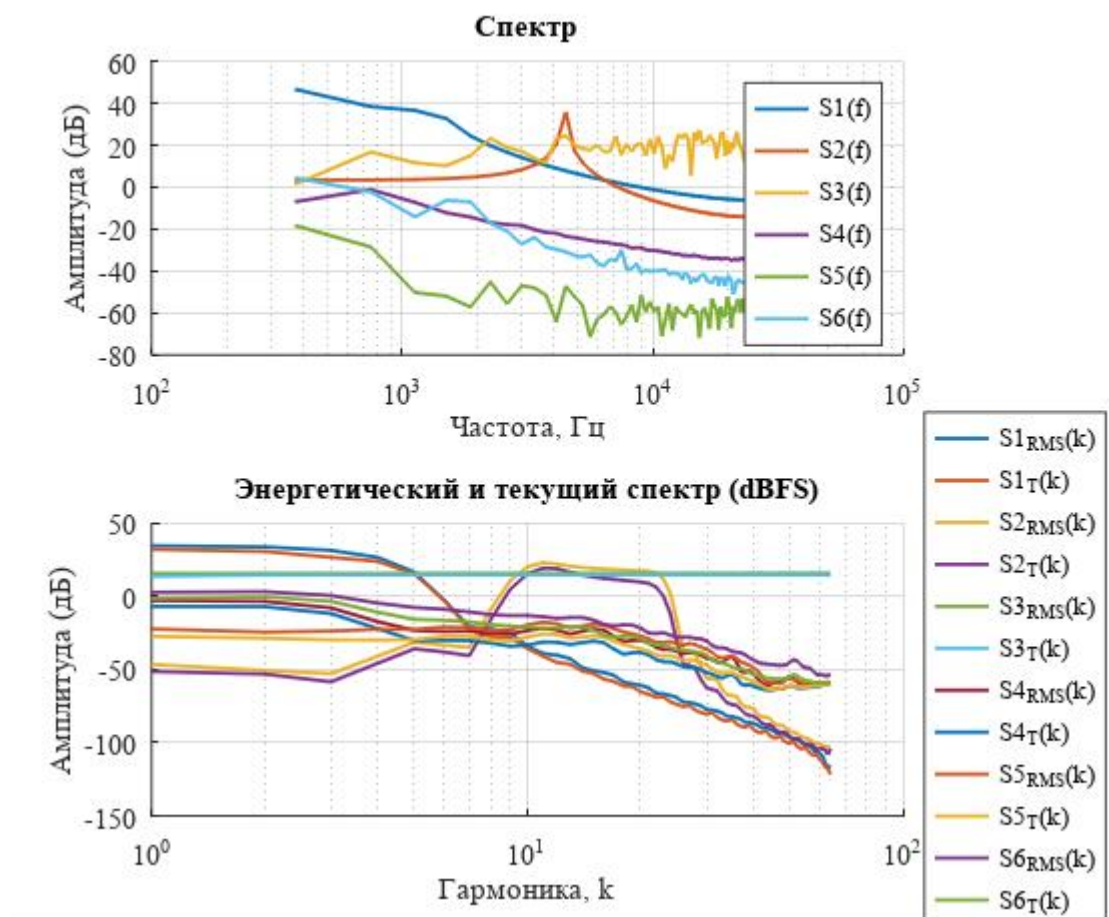


Рисунок 25 – Мгновенный спектр для $N = 128$ окна Парзена

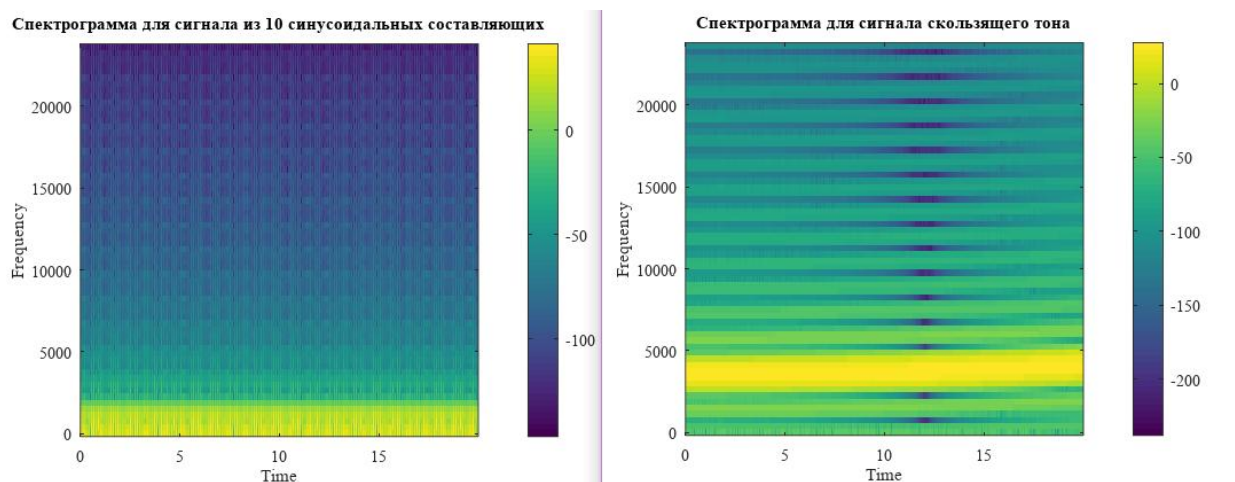


Рисунок 26 – Спектрограммы для $N = 128$ окна Парзена

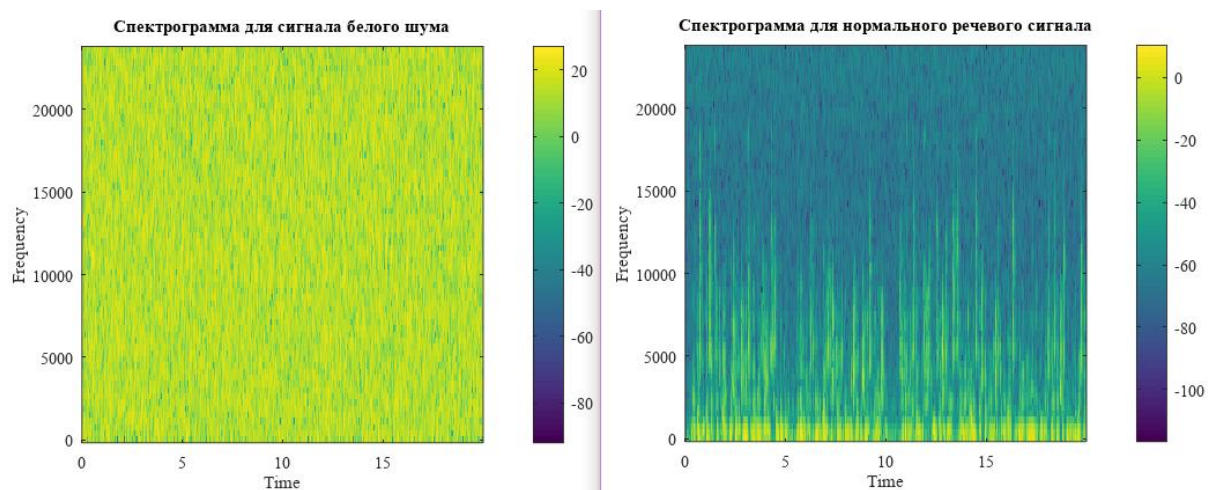


Рисунок 27 – Спектрограммы для $N = 128$ окна Парзена

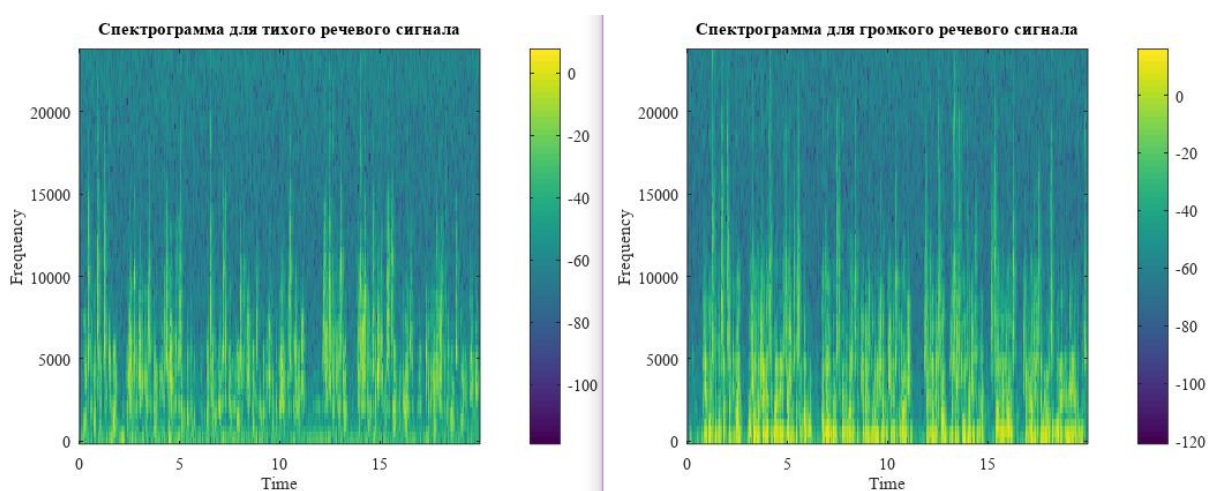


Рисунок 28 – Спектрограммы для $N = 128$ окна Парзена

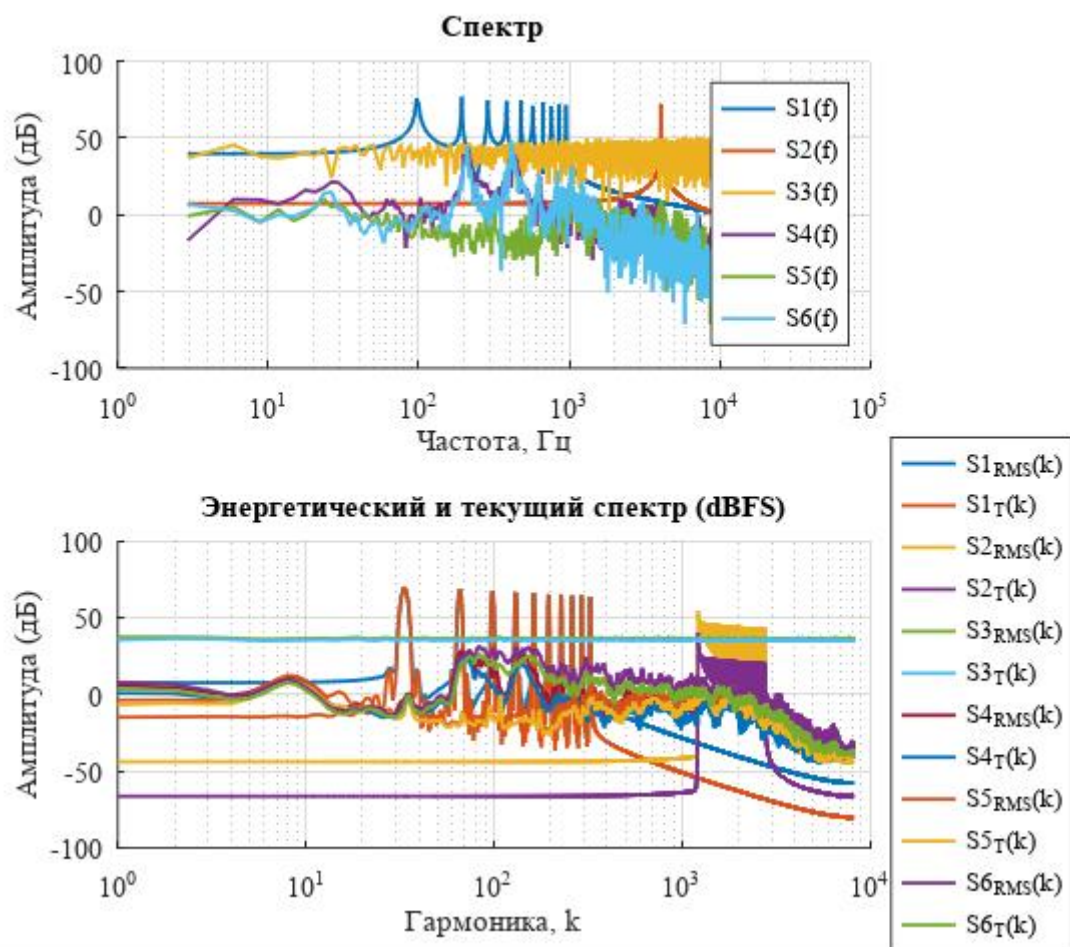


Рисунок 29 – Мгновенный спектр для $N = 16384$ окна Парзена

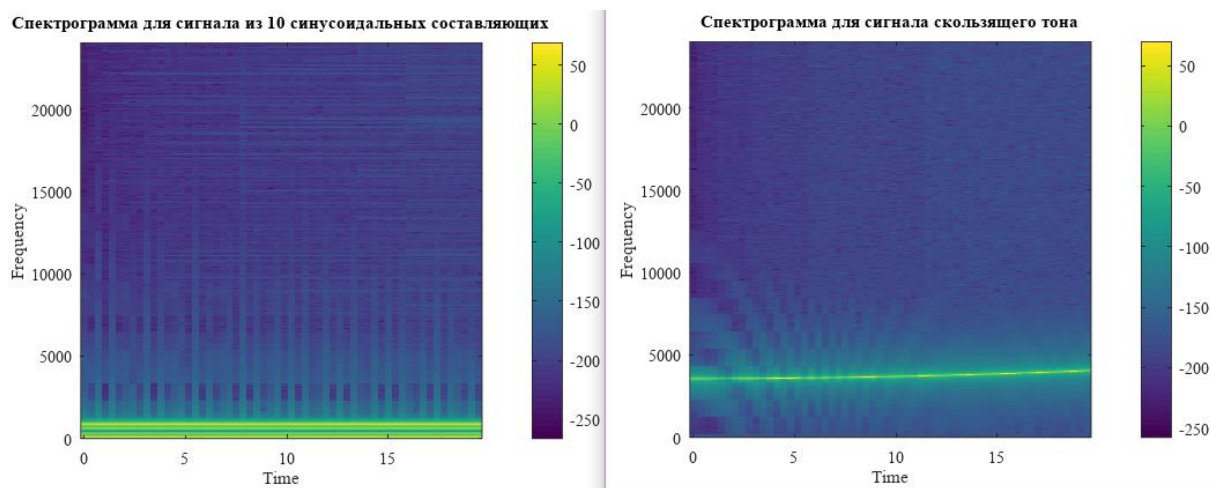


Рисунок 30 – Спектрограммы для $N = 16384$ окна Парзена

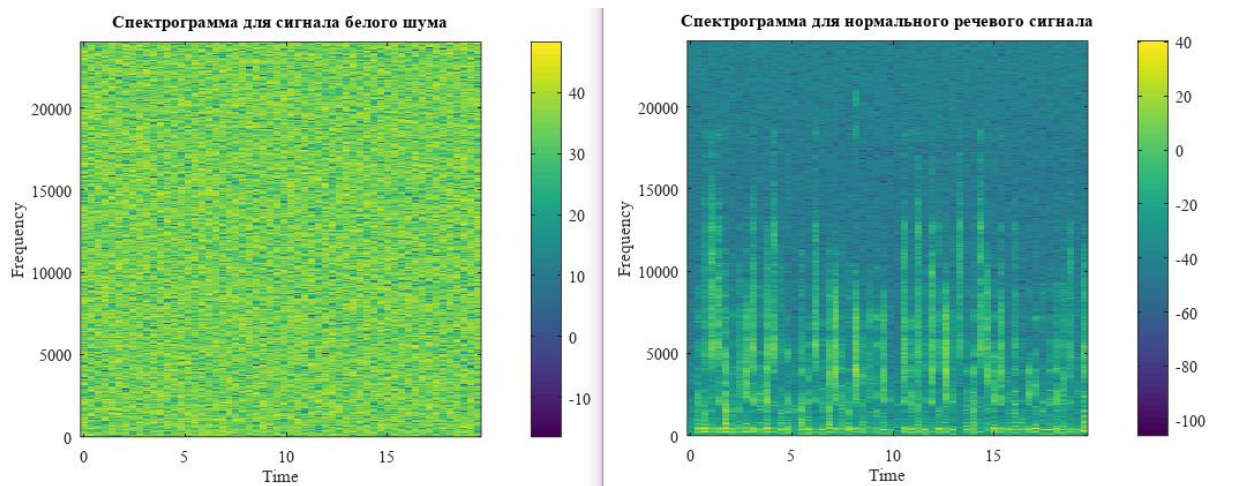


Рисунок 31 – Спектрограммы для $N = 16384$ окна Парзена

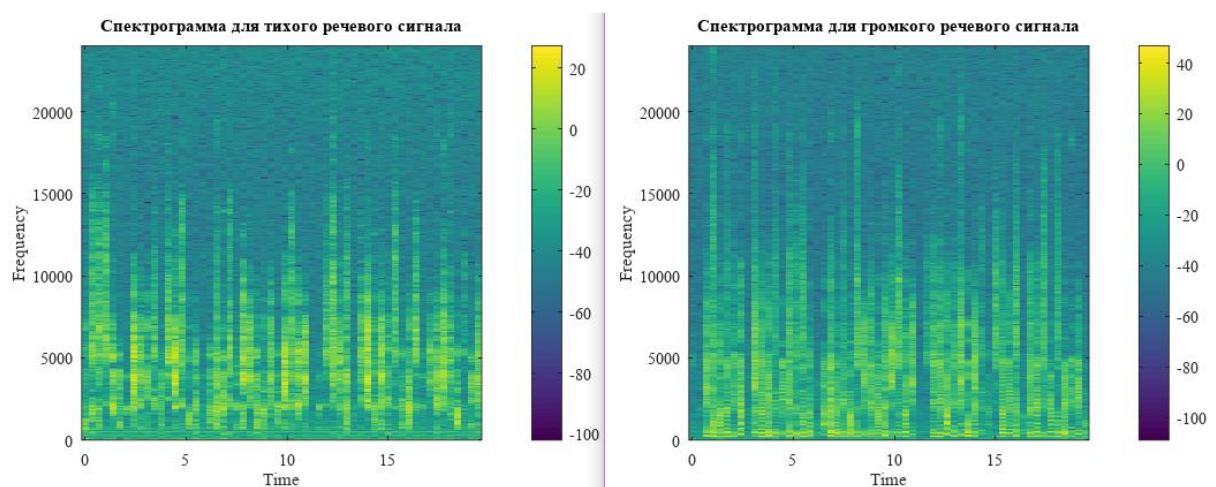


Рисунок 32 – Спектрограммы для $N = 16384$ окна Парзена

5. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

5.1 Анализ влияния длины и типа оконной функции на разрешающую способность спектра по частоте

Проанализируем графики мгновенных, текущих и энергетических спектров гармонического сигнала.

Теперь сформулируем и обоснуем теоретически следующие выводы:

1. Зависит ли ширина главного лепестка спектра гармонического сигнала от типа оконной функции? Какая из исследованных оконных функций обладает наибольшей (наименьшей) шириной главного лепестка?

Да, ширина главного лепестка зависит от типа оконной функции. Наибольшая ширина главного лепестка у окна Наттолла, наименьшая ширина — у прямоугольного окна.

2. Зависит ли величина ослабления боковых лепестков спектра гармонического сигнала от типа оконной функции? Какая из исследованных оконных функций приводит к наибольшему (наименьшему) ослаблению боковых лепестков?

Да, зависит. Наибольшая величина ослабления у окна Бартлетта, наименьшая — у прямоугольного окна.

3. Зависит ли ширина главного лепестка от длины оконной функции? Для какой из исследованных оконных функций это проявляется в наибольшей (наименьшей) степени?

Да, ширина главного лепестка обратно пропорциональна длине оконной функции. В наибольшей степени это проявляется у прямоугольного окна, в наименьшей — у окна Наттолла.

4. Зависит ли величина ослабления боковых лепестков от длины оконной функции? Для какой из исследованных оконных функций это проявляется в наибольшей (наименьшей) степени?

Да, зависит. В наибольшей степени проявляется у окна Бартлетта, в наименьшей — у прямоугольного окна.

5. Зависит ли ширина главного лепестка и величина ослабления боковых лепестков от частоты и/или амплитуды синусоидальной составляющей сигнала?

Нет, не зависит.

6. Какая из исследованных оконных функций является наиболее эффективной с точки зрения различения близко расположенных синусоидальных составляющих в спектре исследуемого сигнала?

Наиболее эффективным считаю окно Парзена, так как оно оптимально по соотношению ширины главного лепестка к ослаблению боковых лепестков.

7. Какое значение длины оконной функции является минимально необходимым для различения синусоидальных составляющих в спектре исследуемого сигнала?

Минимальная длина оконной функции должна быть больше либо равна единице, делённой на расстояние между частотами. Чем ближе расположены частоты, тем больше должна быть длина окна.

5.2 Анализ влияния длины и типа оконной функции на разрешающую способность спектра по времени

Проанализируем графики мгновенных, текущих и энергетических спектров сигналов скользящего тона и белого шума.

Теперь сформулируем и обоснуем теоретически следующие выводы:

1. Зависит ли форма текущего/энергетического спектра от типа оконной функции?

Да, тип окна влияет на ширину главного лепестка, уровень и ослабление боковых лепестков, что, в свою очередь, сказывается на форме спектра.

2. Зависит ли форма текущего/энергетического спектра от длины оконной функции?

Да, зависит.

3. Как влияет отношение длины оконной функции и длительности испытательного сигнала на форму получаемого текущего/энергетического спектра?

Если длина окна слишком велика, это приводит к сглаживанию временных изменений сигнала. Но если длина окна схожа с длительностью сигнала, то спектр может потерять свои детали и быть искажённым.

4. Чем график текущего спектра отличается от графика энергетического спектра? Для всех ли испытательных сигналов отличия проявляются одинаково?

График энергетического спектра обычно выглядит более сглаженно. Для нестационарных сигналов различия между текущим и энергетическим спектрами проявляются более явно.

5. Как влияют тип и длина оконной функции на получаемую спектрограмму?

Чем уже оконная функция, тем лучше временное разрешение, в то время как большее значение длины окна приводит к улучшению частотного разрешения.

6. Какой тип и какое значение длины оконной функции являются оптимальными для получения наиболее верной формы графика текущего/энергетического спектра сигнала скользящего тона/белого шума?

Для скользящего тона оптимальна небольшая длина окна, где лучше всего подходит окно Парзена. В случае белого шума длина окна не столь критична, так как он является стационарным, поэтому оптимальным будет окно Бартлетта.

5.3 Анализ частотных характеристик речевых сигналов

Проанализируем графики мгновенных, текущих и энергетических спектров речевых сигналов.

Теперь сформулируем и обоснуем теоретически следующие выводы:

1. Какой тип и какое значение длины оконной функции являются оптимальными для расчета и построения графика текущего/энергетического спектра речевых сигналов?

Оптимальным будет окно, обеспечивающее баланс между временным и частотным разрешением. Мне подойдет окно Бартлетта, длина окна выбирается исходя из спектральных характеристик речи.

2. Какой тип и какое значение длины оконной функции являются оптимальными для получения наиболее верного представления об изменении во времени частотных характеристик речевых сигналов?

Для высоких временных разрешений лучше всего использовать окно Парзена. Короткие окна лучше справляются с быстрыми изменениями частот.

3. Как проявляется различная эмоциональная окраска речи на графиках текущего/энергетического спектров и спектрограмме?

На графиках текущего/энергетического спектров изменения в амплитуде и распределении частот становятся заметными при наличии

эмоциональной окраски. Например, для гнева наблюдаются более высокие уровни энергии в низких и средних частотах, а для радости — в высоких частотах. На спектрограмме эмоции отражаются через изменения частотной структуры во времени.

4. Как проявляется различный темп речи на графиках текущего/энергетического спектров и спектрограмме?

При медленном темпе речи спектральные пики становятся более чёткими из-за увеличения времени анализа каждого звука. На спектрограммах ускорение речи проявляется в сжатии временных интервалов между спектральными элементами.

5. Зависит ли выбор оптимальных параметров спектрального анализа от темпа речевого сигнала (скорости произнесения слов)?

Да, выбор параметров зависит от темпа. При быстром произношении предпочтительнее использовать более короткие окна для повышения временного разрешения.

6. Зависит ли выбор оптимальных параметров спектрального анализа от эмоциональной окраски голоса?

Да, это имеет значение. Для анализа резких изменений лучше применять окна с высоким временным разрешением.

7. Можно ли по графикам текущего/энергетического спектров и спектрограмме определить наличие: акустических шумов в помещении записи; различных помех; шумов квантования?

Да, это возможно. Акустические шумы видны в спектрограмме как постоянный широкополосный шум. Помехи проявляются в виде периодических артефактов, а шумы квантования — как низкоуровневый широкополосный шум.

8. Можно ли на основании графиков текущего/энергетического спектров и спектрограмме сделать предположения о субъективных качественных характеристиках исследуемого речевого сигнала?

Да, можно. Отсутствие артефактов и стабильная структура формант говорят о высоком качестве записи. Чёткие форманты без наложений указывают на хорошую дикцию, а интенсивность и частотная структура спектра позволяют предположить эмоциональный оттенок. Наличие шумов искажает спектр и снижает субъективное восприятие качества.