

Титул

Задание

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение..... | 4 |
| 1 Основные теоретические сведения..... | 5 |
| 2 Ход работы..... | 7 |
| 2.1 Описание процесса выполнения работы..... | 7 |
| 2.2 Пример выполнения работы..... | 8 |
| 3 Контрольные вопросы..... | 16 |
| Заключение..... | 17 |
| Список использованных источников..... | 18 |

Введение

В ходе педагогической практики необходимо было разработать программу лабораторной работы по курсу “Цифровая обработка сигналов информационно-управляющих систем” по теме “Звуковые сигналы”.

В ходе практики был получен опыт разработки методических указаний, содержащих теоретический материал, инструкцию по выполнению практического задания и контрольные вопросы. Кроме того, инструкции для практического задания были проверены опытным путем.

1 Основные теоретические сведения

В своей повседневной жизни человек регулярно имеет дело с процессами формирования и обработки звуковых сигналов. Наша речь — это древнейшая способность человека, позволяющая общаться друг с другом. Она представляет собой последовательность акустических сигналов. Без этих сигналов сложно представить жизнь современного человеческого общества со всеми его достижениями. Для людей с ограниченным зрением звуковые сигналы в бытовой жизни имеют еще большее значение. Так, например, в современных городах сигналы светофора дополняют звуковыми сигналами. Кроме необходимой для жизни информации, звуки могут доставлять человеку эмоциональные переживания — музыкальное творчество с незапамятных времён являлось средством выражения чувств.

В настоящее время человек, используя современные технологии, преуспел в передаче речи на большие расстояния, записи музыки в отличном качестве. Мобильные телефоны, диктофоны, микрофоны, планшеты, компьютеры, аудиоплееры, видеоплееры, видеокамеры, микшерные пульта, динамики и наушники — все эти устройства формируют, хранят, обрабатывают или воспроизводят звук для того, чтобы наша жизнь была комфортной.

Для описания звуковых сигналов музыканты используют нотную грамоту, тем не менее каждый звуковой сигнал может быть описан и математически [1].

Любой звуковой сигнал постоянной тональности представляет собой гармонический сигнал определенной длительности:

$$S(t) = A \sin(2\pi ft + \varphi), t \in [0; \tau],$$

где A — амплитуда сигнала, соответствует уровню громкости звука;

f — частота колебания, соответствует тональности звука;

φ — фаза сигнала (не различается человеческим слухом);

τ — длительность тонального сигнала.

С увеличением амплитуды звук становится громче, с увеличением частоты — выше. Среднестатистическому человеческому уху доступны

частоты в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц. При этом принято считать, что человеческая речь создает колебания в диапазоне от 300 Гц до 4 кГц [2]. В современной музыке стандартом музыкального строя стала равномерная темперация.

Равномерная темперация — темперированный музыкальный строй, в котором каждая октава делится на математически равные интервалы, в наиболее типичном случае на двенадцать полутонов диапазоном $\frac{1}{12\sqrt[2]{2}}$ Гц [3].

Можно математически вычислить частоты для всего звукоряда, пользуясь формулой:

$$f(i) = f_0 \cdot 2^{\frac{i}{12}},$$

где f_0 — частота камертона (например, нота Ля — 440 Гц);

i — количество полутонов в интервале от исследуемого звука к эталону f_0 .

Современный уровень технологий позволяет хранить и обрабатывать аудио сигналы в цифровом виде.

Цифровая звукозапись — технология преобразования аналогового звука в цифровой с целью сохранения его на физическом носителе для возможности последующей обработки или воспроизведения [4].

Основными параметрами цифрового звукозаписывающего устройства с точки зрения обеспечения качества аудио сигнала являются разрядность, частота дискретизации, количество каналов и коэффициент сжатия. Перечень наиболее распространённых современных форматов цифровой звукозаписи приведен в таблице 1 [5].

Таблица 1 — Перечень современных форматов цифровой звукозаписи.

| Название формата | Разрядность, бит | Частота дискретизации, кГц | Число каналов | Коэффициент сжатия |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------|
| CD | 16 | 44,1 | 2 | 1 |
| Dolby Digital (AC3) | 16-24 | 48 | 6 | 12 |
| DTS | 20---24 | 48; 96 | до 8 | 3 |
| DVD-Audio | 16; 20; 2 | 44,1; 48; 88,2; 96 | 6 | 2 |
| DVD-Audio | 16; 20; 24 | 176,4; 192 | 2 | 2 |
| MP3 | переменная | до 48 | 2 | 11 |
| AAC | переменная | до 96 | до 48 | с потерями |
| AAC+ (SBR) | переменная | до 48 | 2 | с потерями |
| Ogg Vorbis | до 32 | до 192 | до 255 | с потерями |
| WMA | до 24 | до 96 | до 8 | 2 |

2 Ход работы

2.1 Описание процесса выполнения работы

Для успешного выполнения работы необходимо:

1. Выполнить имитационное моделирование сигнала, соответствующего звуковому ряду в виде последовательности из N заданных нот длительности T .
2. Построить график полученного сигнала во временной области.
3. Сформировать и построить спектр мощности и спектрограмму сигнала.
4. Воспроизвести с использованием звуковой карты и динамиков компьютера полученную звуковую последовательность.

5. Сохранить звуковой ряд в файл на жестком диске в произвольном аудио формате.
6. Прослушать полученный файл средствами операционной системы или установленного программного обеспечения.
7. Сформировать и наложить шум, распределенный по нормальному закону на звуковую последовательность нот, таким образом, чтобы соотношение сигнал-шум результирующего сигнала составляло L_{SNR} .
8. Воспроизвести с использованием звуковой карты и динамиков компьютера полученную звуковую последовательность с наложенным шумом.
9. Составить, проиграть и записать в файл произвольную мелодию длительностью не менее 50 нот.

После выполнения экспериментальной части необходимо ответить на предложенные контрольные вопросы для закрепления пройденного материала и установления взаимосвязи между полученными результатами практических работ и теоретическими знаниями.

Результаты работы рекомендуется оформить в виде отчета, в котором должна содержаться следующая информация: цель работы; решённые в процессе её достижения задачи; основные математические выражения, использованные при решении задач; текст программы или схема моделирования, результаты моделирования в виде графиков и заключение, позволяющее сделать вывод о сопоставимости результатов практической работы с теоретическими сведениями.

2.2 Пример выполнения работы

Инициализация и формирование значений основных параметров продемонстрированы в листинге 1.

Листинг 1 — инициализация и формирование значений основных параметров

```
% Моделирование звуковых сигналов
clear all; % Очистка памяти
close all; % Закрытие всех окон с графиками
clc; % Очистка окна команд и сообщений
fontSize=10; % Размер шрифта графиков
```



```

fontType=''; % Тип шрифта графиков
% Цвет графиков
tColor=[0,0.447,0.741]; % Временная область
tColorLight=[0.3 0.7 0.9]; % Временная область
Color0=[1 0 0]; % Эталонные сигналы
fColor=[1 0.4 0]; % Частотная область
eColor=[0.85 0.325 0.098]; % Погрешности
eColorLight=[0.9 0.9 0.4]; % Погрешности
eColorDark=[0.635 0.078 0.184]; % Погрешности

fd=1025; % Частота дискретизации
Td=1/fd; % Период дискретизации
snrSound=3; % Уровень шума, дБ
% Длительности нот
%t05=0:Td:.5-Td; % 0.5 с
%t07=0:Td:.7-Td; % 0.7 с
%t09=0:Td:.9-Td; % 0.9 с
t10=0:Td:2-Td; % 1.0 с
%t15=0:Td:1.5-Td; % 1.5 с
%t30=0:Td:3-Td; % 3.0 с
% Определение обозначений для нот
Z_t10(1:length(t10))=0; % пауза 1 с
% Частоты нот первой октавы
A4=440.000; % частота ноты ЛЯ,Гц
C4=A4*2^ (-9/12); % частота ноты ДО,Гц
D4=A4*2^ (-7/12); % частота ноты РЕ,Гц
D4d=A4*2^ (-6/12); % частота ноты РЕ#,Гц
E4=A4*2^ (-5/12); % частота ноты МИ,Гц
F4=A4*2^ (-4/12); % частота ноты ФА,Гц
G4=A4*2^ (-2/12); % частота ноты СОЛЬ,Гц
A4=A4*2^ ( 0/12); % частота ноты ЛЯ,Гц
B4=A4*2^ ( 2/12); % частота ноты СИ,Гц

```

В листинге 2 приведен исходный код для формирования звукового ряда нот первой октавы . На рисунке 1 продемонстрирован результат.

Листинг 2 — Формирования звукового ряда

```

% Формирование нотной последовательности
gamma_notes=[Z_t10,getNote(C4,t10),Z_t10,getNote(D4,t10),Z_t10,...
    getNote(E4,t10),Z_t10,getNote(F4,t10),Z_t10,getNote(G4,t10),...
    Z_t10,getNote(A4,t10),Z_t10,getNote(B4,t10),Z_t10];
T_gamma=length(gamma_notes); % Длительность музыкального ряда
% Формирование сигнала нотной последовательности во временной области
xtime=linspace(0,T_gamma/fd,T_gamma); % Область определения
% Формирование графика
figure; plot(xtime,gamma_notes,'Color',tColor);
saveas(gcf,'figure_0','eps')
set(get(gcf,'CurrentAxes'),'FontSize',fontSize); % Изменение шрифта
title({'\rm Звуковой ряд первой октавы'}); % Заголовок
xlabel ('Время,\it nT_d\rm,c'); % Надпись оси абсцисс
ylabel('Уровень громкости'); % Надпись оси ординат
yticks([]); % Нет значений на оси ординат

```

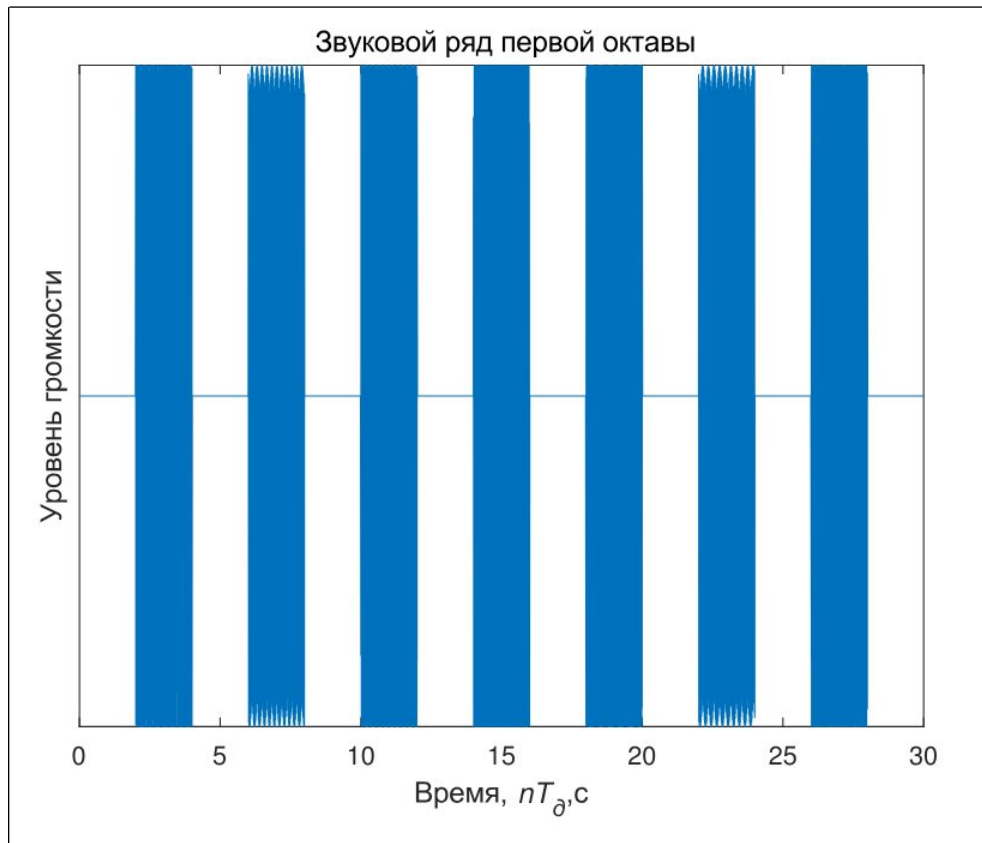


Рисунок 1 — звуковой ряд первой октавы

В листинге 3 приведен исходный код для формирования спектра мощности звуковой волны. На рисунке 2 продемонстрирован результат.

Листинг 3 — визуализация звуковой волны в частотной области

```
% Формирование спектра мощности
[fpNotes,freq]=periodogram(gamma_notes,rectwin(length(gamma_notes)),...
    length(gamma_notes),fd,'power'); % Формирование значений
% Формирование графика
figure; plot(freq,fpNotes,'Color',fColor);
saveas(gcf,'figure_1','epsc')
set(get(gcf,'CurrentAxes'),'FontSize',fontSize); % Изменение шрифта
title({'\rm Спектр мощности звукового ряда первой октавы'}); % Заголовок
xlabel('Частота,\it f\rm,Гц'); % Надпись оси абсцисс
ylabel('Мощность'); % Надпись оси ординат
yticks([]); % Нет значений на оси ординат
```

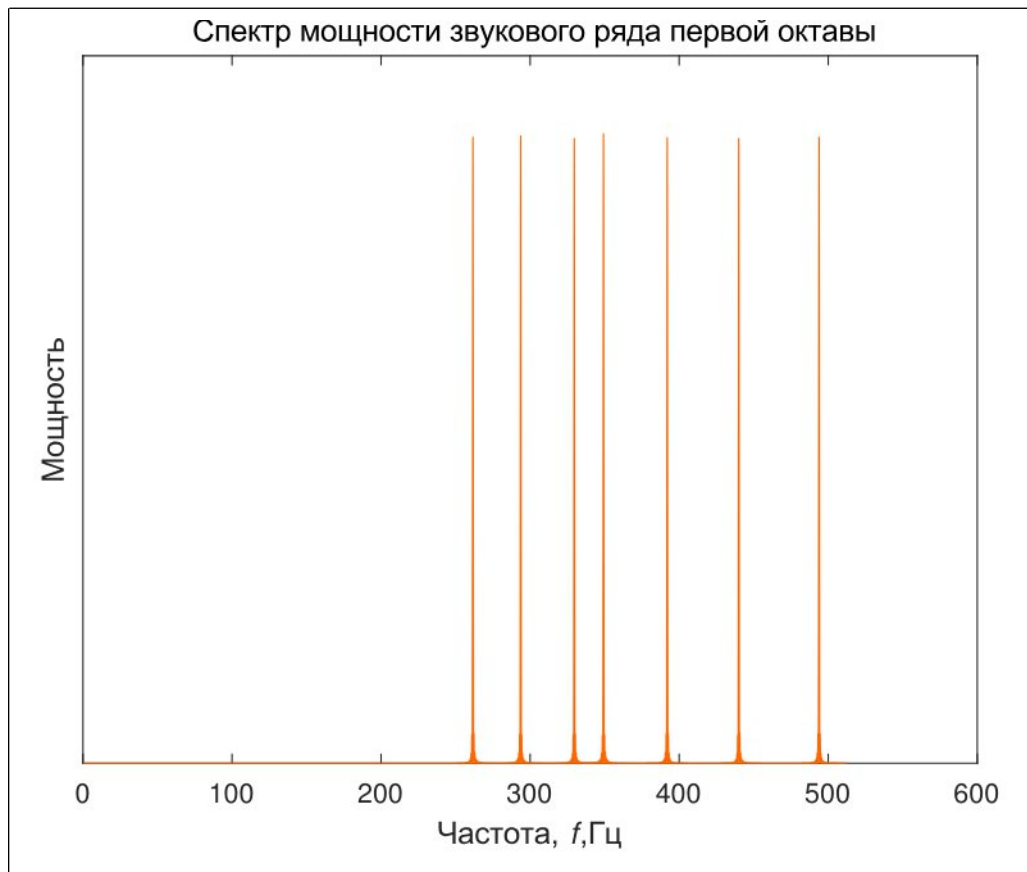


Рисунок 5 — спектр мощности звукового ряда первой октавы

В листинге 4 приведен исходный код для построения зашумленного звукового ряда. На рисунке 6 продемонстрирован результат.

Листинг 4 — построение зашумленного звукового ряда

```
% Проигрывание гаммы
sound(gamma_notes,fd);
% % Запись мелодии в WAV-файл
audiowrite('gamma.wav',gamma_notes,fd);
disp('Нажмите любую клавишу для продолжения...');
pause; % Пауза перед следующей мелодией

close all;

% Формирование шума нотной последовательности
ngamma_notes=awgn(gamma_notes,snrSound);
ngamma_notes=ngamma_notes/max(ngamma_notes);
% Формирование графика
figure; plot(xtime,ngamma_notes,'Color',tColor);
saveas(gcf,'figure_2','eps')
set(get(gcf,'CurrentAxes'),'FontSize',fontSize); % Изменение шрифта
title({'\rm Зашумленный звуковой ряд'}); % Заголовок
xlabel('Время,\it nT_д\rm,c'); % Надпись оси абсцисс
ylabel('Уровень громкости'); % Надпись оси ординат
yticks([]); % Нет значений на оси ординат
```

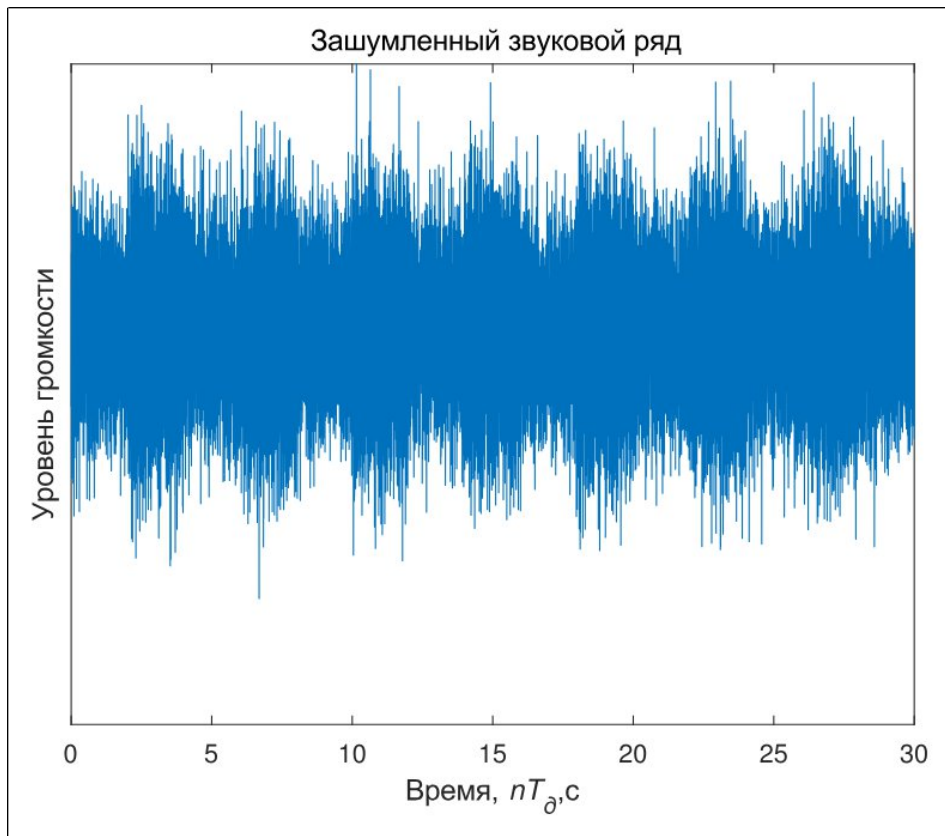


Рисунок 6 — зашумленный звуковой ряд

В листинге 5 приведен исходный код для построения спектра мощности зашумленного звукового ряда. На рисунке 7 продемонстрирован результат.

Листинг 5 — построение спектра мощности зашумленного звукового ряда

```
% Формирование спектра мощности
[fpnNotes,freq]=periodogram(ngamma_notes,rectwin(length(ngamma_notes)),...
    length(ngamma_notes),fd,'power'); % Формирование значений
% Формирование графика
figure; plot(freq,fpnNotes,'Color',fColor);
saveas(gcf,'figure_3','epsc')
set(get(gcf,'CurrentAxes'),'FontSize',fontSize); % Изменение шрифта
title({'\rm Спектр мощности зашумленного звукового ряда'}); % Заголовок
xlabel('Частота,\it f\rm,Гц'); % Надпись оси абсцисс
ylabel('Мощность'); % Надпись оси ординат
yticks([]); % Нет значений на оси ординат
```

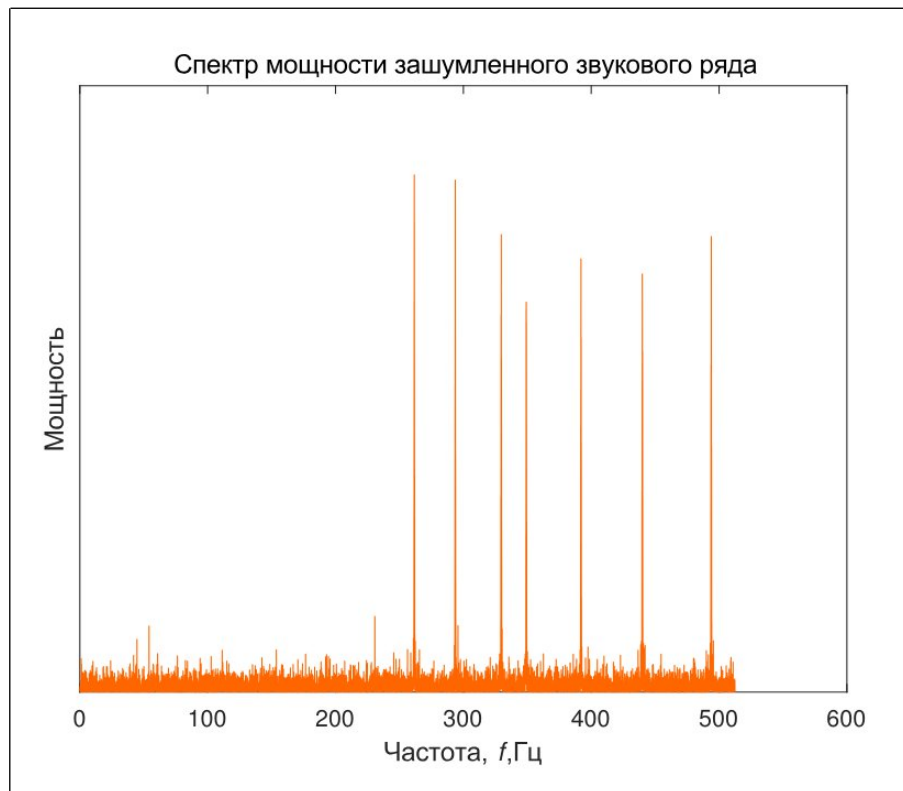


Рисунок 7 — спектр мощности зашумленного звукового ряда

В листинге 6 приведен исходный код для построения спектрограммы зашумленного звукового ряда. На рисунке 8 продемонстрирован результат.

Листинг 6 — построение спектрограммы зашумленного звукового ряда

```
% Формирование спектрограммы звукового ряда

figure; spectrogram(ngamma_notes,256,0,[],fd);
saveas(gcf,'figure_4','eps');
set(get(gcf,'CurrentAxes'),'FontSize',fontSize); % Изменение шрифта
title({'\rm Спектрограмма зашумленного звукового ряда'}); % Заголовок
xlabel('Частота,\it f\rm, Гц'); % Надпись оси абсцисс
ylabel ('Время,\it nT_д\rm, с'); % Надпись оси ординат
h=colorbar;
h.Label.String='Спектральная мощность, \it S(f)\rm, дБ/Гц';
h.Label.FontSize=12;
```

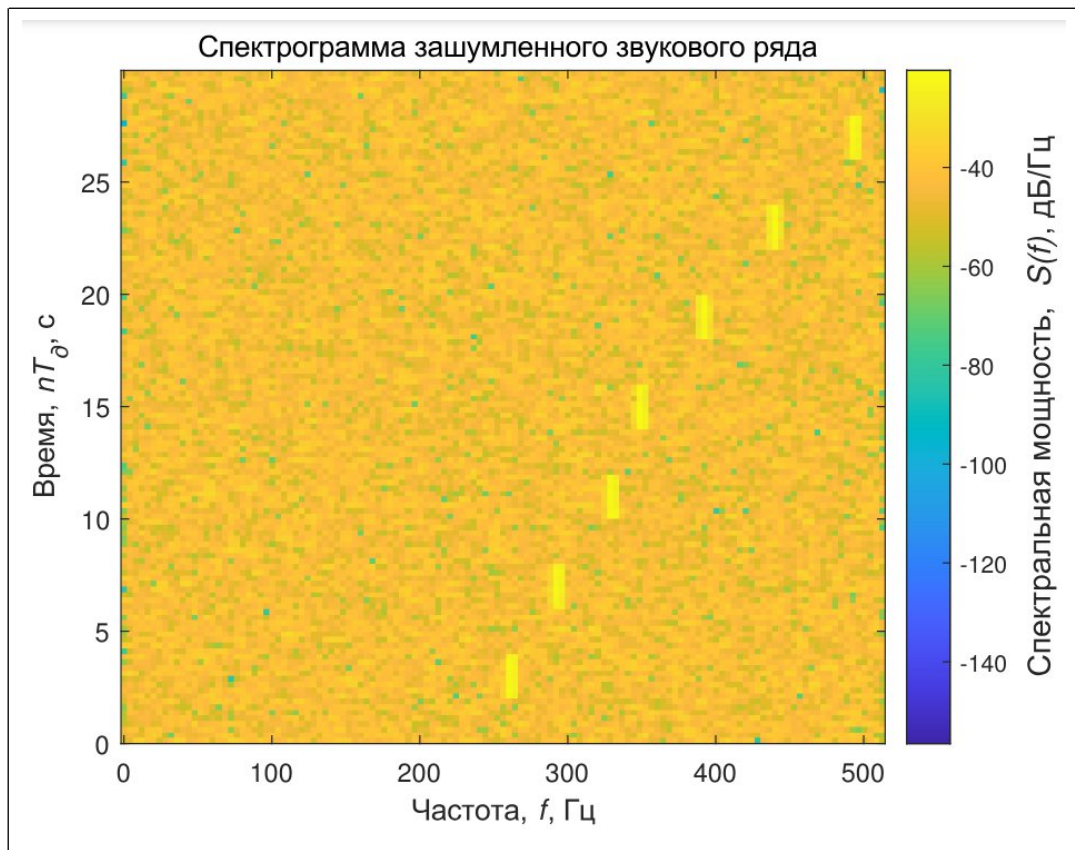


Рисунок 8 — спектрограмма зашумленного звукового ряда

В листинге 7 приведен исходный код для генерации мелодии.

Листинг 7 — генерация мелодии

```
% Проигрывание гаммы
sound(ngamma_notes,fd);
% Запись мелодии в WAV-файл
audiowrite('ngamma.wav',ngamma_notes,fd);
disp('Нажмите любую клавишу для продолжения...');
pause; % Пауза перед следующей мелодией
close all;

% Формирование массива-мелодии
sw_notes=[getNote(D3,t05),getNote(D3,t05),getNote(D3,t05),getNote(G3,t15),...
    getNote(D3,t15),getNote(C4,t05),getNote(B3,t05),getNote(A3,t05),...
    getNote(G4,t15),getNote(D3,t07),getNote(C4,t05),getNote(B3,t05),...
    getNote(A3,t05),getNote(G4,t15),getNote(D3,t07),getNote(C4,t05),...
    getNote(B3,t05),getNote(C4,t05),getNote(A3,t15),getNote(D3,t07),...
    getNote(D3,t05),getNote(G3,t15),getNote(D3,t15),getNote(C4,t05),...
    getNote(B3,t05),getNote(A3,t05),getNote(G4,t15),getNote(D3,t07),...
    getNote(C4,t05),getNote(B3,t05),getNote(A3,t05),getNote(G4,t15),...
    getNote(D3,t07),getNote(C4,t05),getNote(B3,t05),getNote(C4,t05),...
    getNote(A3,t15),getNote(D3,t07),getNote(D3,t05),getNote(E3,t09),...
    getNote(E3,t07),getNote(C4,t07),getNote(B3,t07),getNote(A3,t07),...
    getNote(G3,t07),getNote(G3,t05),getNote(A3,t05),getNote(B3,t05),...
    getNote(A3,t07),getNote(E3,t05),getNote(F3d,t09),getNote(D3,t07),...
    getNote(D3,t05),getNote(E3,t09),getNote(E3,t07),getNote(C4,t07),...]
```

```

    getNote(B3,t07),getNote(A3,t07),getNote(G3,t07),getNote(D3,t07),...
    getNote(A3,t05),getNote(A3,t15),getNote(D3,t07),getNote(D3,t05),...
    getNote(E3,t09),getNote(E3,t07),getNote(C4,t07),getNote(B3,t07),...
    getNote(A3,t07),getNote(G3,t07),getNote(G3,t05),getNote(A3,t05),...
    getNote(B3,t05),getNote(A3,t07),getNote(E3,t07),getNote(F3d,t05),...
    getNote(D3,t09),getNote(D3,t05),getNote(G4,t07),getNote(F4,t05),...
    getNote(D3,t07),getNote(D4,t05),getNote(C4,t07),getNote(A3,t05),...
    getNote(A3,t07),getNote(G3,t05),getNote(D3,t30)];
% Проигрывание мелодии
sound(sw_notes,fd);
% Запись мелодии в WAV-файл
audiowrite('melody.wav',sw_notes,fd);

```

3 Контрольные вопросы

В заключение лабораторной работы студенту необходимо ответить на контрольные вопросы, приведенные ниже:

1. Что из себя представляет математическая модель звукового сигнала постоянной тональности?
2. Какой частотный диапазон занимает человеческая речь?
3. Какой частотный диапазон воспринимает человеческий орган слуха?
4. На какую величину отличаются соседние тона при равномерной темперации?
5. Чему равна частота ноты «ля» третьей октавы, если частота ноты «ля» первой октавы равна 440 Гц?
6. В чем преимущество визуального анализа сигналов с помощью спектрограммы по сравнению с графиком спектра?

Заключение

В ходе педагогической была разработана программа лабораторной работы по курсу “Цифровая обработка сигналов информационно-управляющих систем” по теме “Звуковые сигналы” и углублены собственные знания в этой теме.

Разработанные методические указания содержат теоретический материал, инструкцию по выполнению практического задания и контрольные вопросы. Кроме того, инструкции для практического задания были проверены опытным путем.

Список использованных источников

1. Волошинов А.В. Математика и искусство. Просвещение, 2000, с. 335.
2. Основные характеристики слуха человека // Audionika : сайт. – URL: <https://audionika.ru/info/nash-slukh/osnovnye-kharakteristiki-slukha-cheloveka.html> (дата обращения: 10.04.2024)
3. Рождение современного музыкального строя // Snob : сайт. – URL: <https://snob.ru/profile/23533/blog/38325/> (дата обращения: 20.04.2024)
4. Развитие цифровой аудиозаписи // habr : сайт. – URL: <https://habr.com/ru/articles/515738/> (дата обращения: 03.05.2024)
5. Форматы цифрового звука // Digital Music Academy : сайт. – URL: <https://digitalmusicacademy.ru/lesson-digital-audio-formats> (дата обращения: 10.05.2024)