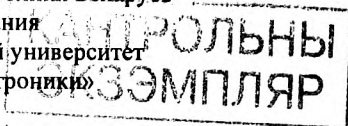


Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»



Институт информационных технологий

Кафедра физико-математических дисциплин

**А. И. Митюхин**

## **АЛГОРИТМЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ**

*Рекомендовано УМО по образованию в области информатики  
и радиоэлектроники в качестве учебно-методического пособия  
для специальности 1-40 01 01 «Программное обеспечение информационных  
технологий»*

Минск БГУИР 2023

## Содержание

|   |     |
|---|-----|
| ВВЕДЕНИЕ .....  | 5   |
| 1. ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ.....  | 8   |
| 1.1. Способы отсчета значений сигнала во времени.....   | 8   |
| 1.2. Классификация сигналов .....   | 12  |
| 1.3. Модели представления сигналов .....  | 20  |
| 1.4. Теорема дискретизации.....   | 21  |
| 1.5. Связь параметров цифровых телевизионных изображений<br>и пространственной дискретизации..... | 23  |
| 1.6. Последовательность операций цифровой обработки сигналов.....                                 | 26  |
| 1.7. Обобщенная схема алгоритма цифровой обработки сигналов.....                                  | 27  |
| 1.8. Процессы обработки изображений.....  | 28  |
| 1.9. Задания для самостоятельного выполнения .....  | 33  |
| 2. ЛИНЕЙНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ СИСТЕМЫ .....  | 34  |
| 2.1. Преобразование сигналов линейными системами .....  | 34  |
| 2.2. Линейные стационарные системы .....  | 36  |
| 2.3. Связь между входным и выходным сигналами в линейной<br>системе .....                         | 36  |
| 2.4. Операция свертки .....   | 39  |
| 2.5. Алгоритм построения аperiodической свертки .....   | 41  |
| 2.6. Алгоритм построения периодической свертки .....  | 44  |
| 2.7. Операция корреляции .....  | 46  |
| 2.8. Линейные разностные уравнения с постоянными параметрами .....                                | 49  |
| 2.9. Рекурсивные линейные дискретные системы .....  | 51  |
| 2.10. Нерекурсивные линейные дискретные системы .....   | 55  |
| 2.11. Задания для самостоятельного выполнения .....   | 58  |
| 3. АЛГОРИТМЫ ОПИСАНИЯ СИСТЕМ И СИГНАЛОВ<br>В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ .....                              | 60  |
| 3.1. Ряды Фурье.....  | 60  |
| 3.2. Дискретная форма ряда Фурье .....  | 66  |
| 3.3. Алгоритм дискретного преобразования Фурье .....  | 72  |
| 3.4. Свойства алгоритма дискретного преобразования Фурье .....                                    | 77  |
| 3.5. Разрешение по частоте в дискретном спектральном анализе.....                                 | 84  |
| 3.6. Спектральный анализ фрагмента речевого сигнала .....   | 85  |
| 3.7. Синтез фрагмента речевого сигнала.....   | 89  |
| 3.8. Задания для самостоятельного выполнения .....  | 90  |
| 4. АЛГОРИТМ БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ .....   | 92  |
| 4.1. Вычислительная сложность дискретного<br>преобразования Фурье.....                            | 92  |
| 4.2. Быстрое преобразование Фурье по основанию два .....  | 94  |
| 4.3. Факторизация матрицы ядра ДПФ .....  | 103 |
| 4.4. Задания для самостоятельного выполнения .....  | 105 |

|   |     |
|---|-----|
| 5. АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ<br>ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ КОДОВ .....                            | 106 |
| 5.1. Основная теорема кодирования для канала с шумом<br>(вторая теорема Шеннона) .....            | 106 |
| 5.2. Вектор ошибок .....  | 111 |
| 5.3. Алгоритм декодирования кода на основе принципа<br>максимального правдоподобия .....          | 112 |
| 5.4. Задания для самостоятельного выполнения .....  | 116 |
| 6. ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ<br>СИГНАЛОВ .....                                     | 117 |
| 6.1. Эффективное представление и описания границы, формы<br>объекта интереса на изображении ..... | 117 |
| 6.2. Спектральный алгоритм кодирования сигналов .....   | 117 |
| 6.3. Алгоритм распознавания образов с помощью<br>количественных признаков .....                   | 125 |
| 6.4. Задания для самостоятельного выполнения и вопросы<br>по разделу .....                        | 136 |
| Список использованных источников .....  | 137 |