Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования «Белорусский государственный университет

информатики и радиоэлектроники»

Факультет компьютерных систем и сетей

Кафедра электронных вычислительных машин

Дисциплина: Схемотехника

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовому проекту

на тему

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

БГУИР КП 1-40 02 01 002 ПЗ

Студент: группы 250541,   
Власов Р. Е.

Руководитель: доцент каф. ЭВМ   
Селезнев И. Л.

Минск 2025

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc197206297)

[1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО МИКРОПРОЦЕССОРНОМУ УСТРОЙСТВУ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ 4](#_Toc197206298)

[1.1 Требования к проектируемому устройству 4](#_Toc197206299)

[1.2 Микроконтроллеры 4](#_Toc197206300)

[1.3 Микрофоны 6](#_Toc197206301)

[1.4 Пьезоэлектрические излучатели звука 7](#_Toc197206302)

[1.5 Органы индикации состояния устройства 8](#_Toc197206303)

[1.6 Органы управления состоянием устройства 9](#_Toc197206304)

[1.7 Дисплеи для отображения данных 10](#_Toc197206305)

[2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ 12](#_Toc197206306)

[2.1 Постановка задачи 12](#_Toc197206307)

[2.2 Компоненты проектируемого устройства 12](#_Toc197206308)

[2.3 Взаимодействие компонентов устройства 13](#_Toc197206309)

[3 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЭЛЕМЕНТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ 14](#_Toc197206310)

[3.1 Обоснование выбора микроконтроллеров 14](#_Toc197206311)

[3.2 Обоснование выбора микрофона 15](#_Toc197206312)

[3.3 Обоснование выбора пьезоэлектрического излучателя звука 16](#_Toc197206313)

[3.4 Обоснование выбора органов световой индикации 17](#_Toc197206314)

[3.5 Обоснование выбора органов управления состоянием устройства 17](#_Toc197206315)

[3.6 Обоснование выбора устройства отображения информации 18](#_Toc197206316)

[3.7 Формулирование требований к источнику питания 19](#_Toc197206317)

[3.8 Разработка функциональной схемы 19](#_Toc197206318)

[4 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ 20](#_Toc197206319)

[СХЕМЫ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕВАТОРА 20](#_Toc197206320)

[4.1 Микроконтроллер 20](#_Toc197206321)

[4.2 Микрофон 21](#_Toc197206322)

[4.3 Пьезоэлектрический излучатель звука 21](#_Toc197206323)

[4.4 Дисплей 22](#_Toc197206324)

[4.5 Расширитель цифровых входов PCF8574AT 22](#_Toc197206325)

[4.6 Органы индикации 23](#_Toc197206326)

[4.7 Расчет токоограничивающего сопротивления для светодиодов 23](#_Toc197206327)

[5 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ 24](#_Toc197206328)

[5.1 Требования к разработке программного обеспечения 24](#_Toc197206329)

[5.2 Схема программы 24](#_Toc197206330)

[5.3 Программа управления устройством 26](#_Toc197206331)

[5.4 Описание исходного кода программы 26](#_Toc197206332)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 30](#_Toc197206333)

[ПРИЛОЖЕНИЕ А 32](#_Toc197206334)

[ПРИЛОЖЕНИЕ Б 33](#_Toc197206335)

[ПРИЛОЖЕНИЕ В 34](#_Toc197206336)

[ПРИЛОЖЕНИЕ Г 35](#_Toc197206337)

[ПРИЛОЖЕНИЕ Д 36](#_Toc197206338)

[ПРИЛОЖЕНИЕ Е 37](#_Toc197206339)

[ПРИЛОЖЕНИЕ Ж 38](#_Toc197206340)

# ВВЕДЕНИЕ

Распознавание речи становится все более востребованной технологией в современных устройствах, облегчая взаимодействие человека с техникой, начиная от голосовых помощников и заканчивая системами умного дома. При создании подобных систем возникают задачи по надежному захвату и фильтрации аудиосигнала, анализу спектральных характеристик звука, определению ключевых акустических параметров, таких как мел-кепстральные коэффициенты, спектрограммы или частотные характеристики фонем.

Целью проекта является создание микропроцессорного устройства на базе микроконтроллера, способное распознавать несколько заранее заданных слов и отображать результат на экране. Для достижения цели устройству необходимо выполнять следующие задачи:

* преобразовывать звуковые колебания в электрический сигнал;
* оцифровывать аудиосигнал с помощью встроенного в микроконтроллер аналого-цифрового преобразователя (АЦП);
* извлекать из аудиосигнала ключевые акустические характеристики для выделения фонем;
* сравнивать извлечённые признаки с заранее прописанными эталонными шаблонами для определения распознаваемого слова
* отображать результат распознавания на дисплее

Для выполнения описанных функций в проектируемом устройстве могут присутствовать следующие элементы:

* модуль обработки звуковых колебаний;
* модуль отображения информации;
* органы управления состоянием устройства;
* пьезоэлектрический излучатель звука;
* средства индикации состояния устройства.

# ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО МИКРОПРОЦЕССОРНОМУ УСТРОЙСТВУ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

## Требования к проектируемому устройству

Микропроцессорное устройство распознавания речи должно обеспечивать надежный захват и фильтрацию аудиосигнала, выделение характерных признаков и их последующую классификацию для распознавания заранее заданных слов. Устройство должно корректно обрабатывать и отображать распознанные слова на дисплее. Для решения этих задач в состав устройства должны входить:

- микроконтроллер;

- модуль обработки звуковых колебаний;

- жидкокристаллический дисплей;

- органы управления состоянием устройства;

- пьезоэлектрический излучатель звука;

- органы индикации состояния устройства.

## Микроконтроллеры

## 

Микроконтроллеры представляют собой специализированные интегральные схемы, разработанные для управления электронными системами и устройствами. Они выполняют функции сбора, обработки и передачи данных, контролируют механизмы и электронные компоненты, а также обеспечивают реализацию разнообразных задач и функциональных возможностей в современных устройствах.

На сегодняшний день существует большое количество различных микроконтроллеров, различающихся по размеру, архитектуре и функциональным возможностям. Некоторые из них перечислены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Сравнение микроконтроллеров

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | ATmega328 | nRF52840 | RP2040 |
| Архитектура | AVR | ARM Cortex-M4 | ARM Cortex-M0+ |
| Количество регистров общего назначения | 32 | 16 | 16 |
| Тактовая частота | 16 МГц | 64 МГц | 133 МГц |
| Разрядность | 8 битов | 32 бита | 32 бита |
| Flash-память | 32 КБ | 1 МБ | 16 МБ |
| SRAM-память | 2 КБ | 256 КБ | 264 КБ |
| EEPROM-память | 1 КБ | 2 КБ | - |
| Количество циклов перезаписи Flash-памяти | 10 тысяч | 10 тысяч | 10 тысяч |

Продолжение таблицы 1.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Количество циклов перезаписи EEPROM -памяти | 100 тысяч | 100 тысяч | 100 тысяч |
| Таймер/счетчик 8 битный | 2 | - | - |
| Таймер/счетчик 16 битный | 1 | - | - |
| Счетчик реального времени | 1 | 1 | 1 |
| Количество каналов ШИМ | 6 | 4 | 16 |
| Количество АЦП | 8 | 1 | 4 |
| Разрядность АЦП | 10 | 12 | 12 |
| Поддержка USART | Да | Да | Да |
| Поддержка SPI | Да | Да | Да |
| Поддержка I2C | Да | Да | Да |
| Поддержка Wi-Fi 802.11 | Нет | Да | Нет |
| Входное напряжение | 1,8-5,5 В | 1,7-3,6 В | 1,8-3,3 В |
| Максимальный потребляемый ток | 200 мА | 25 мА | 90 мА |
| Рабочий диапазон температур | -40 °C…+ 105 °C | -40 °C…+ 85 °C | -40 °C…+85 °C |

ATmega328 представляет собой один из наиболее распространённых 8-битных микроконтроллеров семейства AVR, отличающийся сбалансированной производительностью и низким энергопотреблением. Он оснащён 32 килобайтами встроенной Flash-памяти для хранения кода программы, 2 килобайтами ОЗУ (SRAM) и 1 килобайтом EEPROM для долговременного хранения данных [1]. ATmega328 содержит 23 программно-настраиваемых цифровых ввода/вывода, а также аппаратные модули USART (UART), SPI и I²C, упрощающие взаимодействие с различными периферийными устройствами.

nRF52840 – это 32-битный микроконтроллер от компании Nordic Semiconductor с ядром ARM Cortex-M4 и аппаратной поддержкой плавающей точки. Исходя из источника [2], он ориентирован преимущественно на решения с беспроводной связью, поддерживая Bluetooth Low Energy (BLE), Thread и Zigbee. МК обладает 1 МБ встроенной Flash-памяти и 256 КБ ОЗУ, что позволяет хранить довольно обширные программы и обрабатывать значительные объёмы данных, включая программы машинного обучения, связанные с распознаванием речи. При этом nRF52840 работает на тактовой частоте до 64 МГц, имеет низкое энергопотребление и гибкую конфигурацию периферии (SPI, I²C, UART и прочие). Благодаря наличию встроенного радиомодуля BLE нередко используется в носимых устройствах, IoT-проектах и смарт-системах.

RP2040 – это микроконтроллер, разработанный Raspberry Pi, основанный на двухъядерном ядре ARM Cortex-M0+. Он не имеет встроенной Flash-памяти, но поддерживает внешнюю QSPI-Flash (в зависимости от реализации платы может достигать нескольких мегабайт). RP2040 оснащён 264 КБ высокоскоростной SRAM, поддерживает широкий набор интерфейсов (SPI, I²C, UART и др.) и может работать на частоте до 133 МГц. Особенностью данного МК является наличие 8 «срезов» для аппаратного ШИМ (всего до 16 каналов) и гибкая система ввода-вывода (PIO), позволяющая программно эмулировать различные протоколы и настраивать взаимодействие с периферией практически под любые задачи. Также, имеет возможность хранить емкие программы с машинным обучением для распознавания речи [3].

## Микрофоны

На сегодняшний день существует множество различных модулей обработки звуковых колебаний. Для сравнения были выбраны три модели электретных микрофонов: EM6050P, EM9767 и HMO0603B-65. В таблице 1.3 приведены их сравнительные характеристики.

Таблица 1.2 — Сравнение электретных микрофонов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | EM6050P | EM9767 | HMO0603B-65 |
| Диапазон напряжения питания | от 1,5 до 3 В | от 1,5 до 3 В | от 1,5 до 3 В |
| Шум | 60 дБА | 58 дБА | 58 дБА |
| Диапазон частот | 20-20000 Гц | 50-20000 Гц | 30-16000 Гц |
| Чувствительность | 32-44 мВ/Па | 32-44 мВ/Па | 32-44 мВ/Па |
| Рабочее напряжение | 1.5 или 3В | 1.5 или 3В | 1.5 или 3В |

EM6050P – это электретный микрофон общего применения, разработанный для широкого спектра аудиозаписывающих устройств. Он обеспечивает приемлемое качество захвата звука для большинства бытовых и промышленных применений. Позволяет эффективно записывать как низкие, так и высокие звуки, а чувствительность 32-44 мВ/Па обеспечивает хорошую реакцию на звуковые сигналы [4].

EM9767 – это высокочувствительный электретный микрофон, предназначенный для устройств, требующих более высокой чувствительности и низкого уровня шума. Микрофон позволяет эффективно улавливать как средние, так и высокие частоты [5].

HMO0603B-65 – это электретный микрофон, оптимизированный для использования в малогабаритных электронных устройствах. Исходя из источника [6], он работает при напряжении 3 В и имеет низкий уровень шума 58 дБA, что обеспечивает чистоту захвата аудиосигналов. Подходит для устройств, требующих точного и четкого звука. Малые размеры позволяют легко интегрировать его в компактные устройства, такие как смартфоны и носимые гаджеты.

## 1.4 Пьезоэлектрические излучатели звука

Для формирования звуковых сигналов в начале работы устройства применяется пьезоэлектрический излучатель звука. В таблице 1.5 приведены основные параметры рассматриваемого излучателя MH-FMD и двух его аналогов:

Таблица 1.4 – Параметры пьезоэлектрических излучателей

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | MH-FMD | PKM17EPP4001-B0 | CEB35R-14Z |
| Резонансная частота | 4 кГц | 3,5 кГц | 3 кГц |
| Уровень звукового давления | 78 дБ | 84 дБ | 81 дБ |
| Входное напряжение | От 3 до 20 В | От 3 до 20 В | От 3 до 20 В |
| Встроенный генератор | - | - | - |
| Потребляемый ток менее | 5 мА | 6 мА | 6 мА |

MH-FMD – это компактный пьезоэлектрический излучатель звука, широко применяемый в бытовой и промышленной электронике для индикации событий, сигнализации и генерации простых тонов. Диапазон рабочей частоты 4 кГц обеспечивает хорошую слышимость при минимальном энергопотреблении. Излучатель способен генерировать звуковое давление до 85 дБ на расстоянии 10 см при напряжении 5 В. Благодаря простоте конструкции (три выводных контакта) и возможности работы от широкого диапазона напряжений от 3 В до 20 В он легко интегрируется в системы контроля, сигнализации, а также бытовые приборы [7].

PKM17EPP4001-B0 – пьезоэлектрический излучатель от Murata с резонансной частотой 3,5 кГц и повышенной эффективностью за счёт оптимизированной конструкции пьезокерамики. При напряжении 5 В выдает уровень звукового давления до 88 дБ на 10 см. Потребление тока в режиме генерации не превышает 6 мА, что делает его пригодным для портативных устройств и систем автономного питания. Прочный корпус и рекомендованный монтаж через сквозное отверстие обеспечивают надежность при вибрационных нагрузках, что важно в промышленных сенсорах и охранных системах [8].

Same Sky CMT-1604-SMT-TR – SMD-пьезоизлучатель с компактным размером. Номинальное напряжение 3 В, ток потребления 5 мА, частота 4 кГц и уровень звука 81 дБ на 10 см делают его оптимальным для компактных приборов, медицинской техники и встраиваемых систем, где важны низкий профиль и невысокое энергопотреблении.

## 1.5 Органы индикации состояния устройства

Для отображения состояния в устройстве распознавания речи можно использовать светодиоды различных форм-факторов. Ниже в таблице 1.6 представлены одни из самых распространенных дисплеев и их параметры:

Таблица 1.5 – Параметры органов индикации состояния устройства

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | 3 мм LED (Kingbright WP7113ID) | 5 мм LED (Lite-On LTL-307EE) | OLED1 SMD LED 0805 (Osram OSL-80S) 28x64 |
| Рабочая температура | от -45 до 85 ºС | от -40 до 85 ºС | от -40 до 85 ºС |
| Количество выводов | 40–60 мкд | 60–80 мкд | 15–25 мкд |
| Прямое напряжение | 2.0–2.2В | 2.0–2.2В | 2,8-3,2 В |
| Максимальный ток | 20 мА | 20 мА | 20 мА |

Светодиоды для индикации состояния устройства представляют собой компактные и энергоэффективные элементы, позволяющие просто и наглядно сигнализировать о работе системы. Они не отображают сложную текстовую или графическую информацию, как дисплеи, но благодаря своей высокой надежности и быстродействию идеально подходят для индикации различных режимов работы. Например, в рассматриваемом устройстве могут использоваться следующие типы светодиодов:

3 мм LED (Kingbright WP7113ID) – характеризуется рабочим температурным диапазоном от –45 до 85 ºС, имеет световой поток 40–60 мкд, прямое напряжение 2.0–2.2 В и максимальный ток 20 мА. Такой светодиод подходит для применения в большинстве условиях и используется в большом количестве устройств [10].

5 мм LED (Lite-On LTL-307EE) – работает в диапазоне от –40 до 85 ºС, обеспечивает световой поток 60–80 мкд, при прямом напряжении 2.0–2.2 В и максимальном токе 20 мА. Он отличается большей яркостью, что делает его удобным для использования в более освещенных средах [11].

SMD LED 0805 (Osram OSL-80S) – обладает рабочей температурой от –40 до 85 ºС, световой поток составляет 15–25 мкд, при этом требуется прямое напряжение 2,8–3,2 В и максимальный ток также 20 мА. Такой тип светодиода компактен и удобен для монтажа на печатных платах с ограниченным пространством [12].

## 1.6 Органы управления состоянием устройства

Для отображения состояния в устройстве распознавания речи можно использовать светодиоды различных форм-факторов. Ниже в таблице 1.6 представлены одни из самых распространненых дисплеев и их параметры:

Таблица 1.6 – Параметры органов индикации состояния устройства

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | KCD1-11 | DIPSW‑68‑5 | Omron D2FC-F-7N |
| Количество контактов | 2 | 6 или 8 | 2 |
| Рабочая температура | от -20 до 70 ºС | от -20 до 85 ºС | от -25 до 70 ºС |
| Рабочее напряжение | 5 В | 5 В | 5 В |
| Максимальный ток | 1000 мА | 100 мА | 50 мА |

Переключатели – это механические элементы, предназначенные для выбора режимов работы и запуска процесса распознавания речи. Они обеспечивают стабильное и надежное переключение между заданными положениями, позволяя пользователю интуитивно управлять устройством.

Переключатель KCD1-11 – это стандартный механический переключатель, рассчитанный на высокую нагрузку (до 1000 мА). Он реализует простую схему переключения между двумя состояниями (ON/OFF), что делает его идеальным выбором для систем, где важна долговечность и устойчивость к частым переключениям. Этот переключатель широко используется в промышленной электронике, где надежность элементов управления имеет первостепенное значение [13].

Переключатель DIPSW‑68‑5 – это компактный механический элемент, характеризующийся наличием 6 или 8 контактов и возможностью выбора нескольких положений (обычно 2, 3 или 4 позиции) [14]. Он широко применяется в микроконтроллерных схемах, позволяя пользователю легко выбирать различные режимы работы или функции устройства. Благодаря своей компактности и множеству позиций, переключатель типа DIP является удобным решением для настройки и конфигурации параметров работы системы.

Кнопочный переключатель Omron D2FC-F-7N – это микро-кнопка с моментальным замыканием, предназначенная для быстрого и кратковременного переключения состояний. Она имеет всего 2 контакта и обеспечивает мгновенную реакцию на нажатие, что делает полезным для активации функций, требующих быстрого отклика, например, для запуска процесса распознавания речи. Благодаря своему компактному размеру и простоте использования, такой переключатель часто применяется в пользовательских интерфейсах электронных устройств [15].

## 1.7 Дисплеи для отображения данных

Для отображения распознанных слов пользователю в устройстве распознавания речи можно использовать жидкокристаллический или OLED-дисплей. Ниже в таблице 1.7 представлены одни из самых распространненых дисплеев и их параметры:

Таблица 1.7 – Параметры жидкокристаллических и светодиодных дисплеев

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | LCD2004 | LCD1602 | OLED128x64 |
| Входное напряжение | 4.7–5.3В | 5 В | 3,0-4,2 В |
| Максимальный потребляемый ток | 180 мА | 150 мА | 50 мА |
| Рабочая температура | от -25 до 70 ºС | от -20 до 70 ºС | от -40 до 85 ºС |
| Количество выводов | 4 | 4 | 4 |
| Количество символов для отображения | 80 | 32 | 128х64 пикс. |
| Контроллер | HD44780 | HD44780 | SH1106 |
| Количество градаций яркости | 1 | 1 | 256 |
| Тип интерфейса | I2C, SPI | I2C, SPI | I2C, SPI |

LCD2004 – это жидкокристаллический дисплей с четырьмя строками по 20 символов в каждой, что позволяет отображать до 80 символов одновременно. Данный модуль оснащён интерфейсом I2C, что сокращает количество подключаемых проводов, облегчая интеграцию в проект. Особенности:

* возможность отображения текстовой информации;
* подсветка заднего фона, что обеспечивает комфортное чтение данных в условиях недостаточной освещенности.

Используется в проектах, где требуется вывод большого объема данных, например, в промышленных контроллерах, системах мониторинга и сложных микроконтроллерных устройствах [16].

LCD1602 – это жидкокристаллический дисплей с двумя строками по 16 символов. Данный модуль также оснащён интерфейсом I2C, что упрощает подключение и сокращает число задействованных пинов микроконтроллера [17]. Особенности:

* компактный размер и простота в использовании;
* отображение текстовой информации с базовыми параметрами.

Широко применяется в простых электронных устройствах, таких как умные дома, часы.

OLED128x64 – монохромный дисплей с матрицей из органических светодиодов (OLED) с диагональю экрана 33 мм (1,3 дюйма). Дисплей построен на базе контроллера SH1106. Дисплей способен отображать как текстовую информацию, так и графическую. Разрешение экрана составляет 128 на 64 точки. К преимуществам этого дисплея относится большой угол обзора, высокая контрастность, низкое энергопотребление, небольшой вес и габариты. Дисплей работает по шинам I²C, SPI. Информация взята из источника [18].

# РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

## 2.1 Постановка задачи

В курсовом проекте необходимо разработать микропроцессорное устройство распознавания речи. Данное устройство должно выполнять следующие функции:

1) Преобразование звуковых колебаний в электрический сигнал. Устройство с помощью микрофона должно захватывать звуковые волны и преобразовывать их в аналоговый сигнал. Этот сигнал затем оцифровывается с помощью аналого-цифрового преобразователя. Необходимо применять алгоритмы фильтрации для удаления фонового шума. Дополнительно выполняется нормализация и подавление помех по энергетическому порогу, что позволяет отделить участки, содержащие речь

2) Извлечение акустических характеристик. Далее необходимо анализировать энергию и амплитуда сигнала, что позволит определить наличие речи и выделить активные речевые сегменты. Определяется фонетическая структура речи посредством выделения отдельных фонем – минимальных звуковых единиц, из которых состоят слова, что позволяет проводить сопоставление с эталонными шаблонами. Сигнал анализируется блоками по 32 выборки: вычисляются энергия, сложность, максимальная амплитуда и отношение сигнал/шум. Полученные показатели сравниваются с набором порогов, в результате чего каждой выборке присваивается символ одной из фонем e, o, v, h, s или f, а при отсутствии активности фиксируется пауза

3) Распознавание слова. Накопленная строка фонем сравнивается с тремя эталонными шаблонами словаря при помощи расстояния Левенштейна; если минимальная стоимость не превышает установленный предел, определяется наиболее вероятная команда. Такой алгоритм компенсирует различия в темпе и неточности анализа фонем.

4) Отображение распознанного слова на дисплее.

## Компоненты проектируемого устройства

Компоненты структуры устройства необходимо выбирать исходя из функций, которые были описаны в постановке задачи. Компоненты проектируемого устройства представлены ниже.

1) Микроконтроллер – центральный элемент, который осуществляет обработку поступающих цифровых данных, реализует алгоритмы распознавания речи и управляет обменом информацией между всеми компонентами устройства.

2) Блок питания – источник стабилизированного напряжения для обеспечения необходимым напряжением элементов на схеме.

3) Модуль обработки звуковых колебаний – включает электретный микрофон с усилительным каскадом, которые преобразуют звуковые волны в аналоговый сигнал.

4) Пьезоэлектрический излучатель звука – преобразует цифровые управляющие импульсы микроконтроллера в акустические колебания на своей резонансной частоте, обеспечивая звуковую индикацию.

5) Модуль отображения информации – LCD-дисплей, предназначенный для вывода распознанного слова.

6) Средства визуальной индикации – светодиоды, которые используются для индикации состояния устройства.

7) Органы управления состоянием устройства – переключатель, обеспечивающий возможность управления режимами работы и запуска процесса распознавания.

2.3 Взаимодействие компонентов устройства

Работа устройства организована последовательным образом, обеспечивая плавное и надежное взаимодействие всех компонентов.

Сначала модуль захвата аудиосигнала, состоящий из микрофона с усилителем и фильтрующими элементами, преобразует звуковые волны в аналоговый электрический сигнал.

Полученный аналоговый сигнал поступает на вход АЦП микроконтроллера, где он оцифровывается с учетом заданной частоты дискретизации и разрешения, обеспечивая сохранение всех существенных характеристик исходного сигнала.

Далее цифровой сигнал передается в микроконтроллер, который посредством реализованных алгоритмов обработки сначала выделяет акустические признаки (энергию, максимальную амплитуду, отношению сигнал/шум, динамику сигнала), а затем выполняет сравнение извлеченных параметров с заранее прописанными эталонными шаблонами для определения наиболее вероятного слова.

Результат распознавания передается на модуль отображения, где он выводится на LCD-дисплей, а также индицируется с помощью светодиодов.

При отсутствии новых команд в течение пяти секунд индикаторы выключаются, на дисплее снова появляется приглашение к произношению слов.

Весь процесс работы устройства поддерживается стабильным питанием от блока питания, который распределяет необходимое напряжение по всей схеме.

Структурная схема устройства представлена в приложении А.

# ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЭЛЕМЕНТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

## 3.1 Обоснование выбора микроконтроллеров

Для выбора подходящего микроконтроллера устройству распознавания важно учитывать следующие ключевые требования:

1) вычислительная производительность – алгоритмы обработки аудиосигнала требуют значительных вычислительных ресурсов, поэтому микроконтроллер должен обладать ресурсом для реализации вычислительно интенсивных алгоритмов в реальном времени;

2) поддержка необходимых периферийных интерфейсов – устройство должно иметь достаточное количество аналоговых входов для подключения модуля захвата аудиосигнала (микрофона) и внешнего аналого-цифрового преобразователя (АЦП), а также цифровых интерфейсов для связи с модулем отображения (LCD-дисплей) и средствами визуальной индикации (светодиоды);

3) достаточный объем памяти – микроконтроллер должен обладать достаточным объемом флеш-памяти для хранения алгоритмов распознавания и эталонных шаблонов;

4) программируемость и поддержка – микроконтроллер должен легко программироваться и иметь качественную документацию.

В рамках разработки микропроцессорного устройства распознавания речи важно правильно выбрать микроконтроллер, который станет основой системы.

В пункте 1.2 были рассмотрены микроконтроллер ATmega328 и наиболее популярные аналоги других производителей – nRF52840 и RP2040, которые отвечают задачам проектирования устройства.

В данном проекте была выбрана плата Arduino UNO. Изображение платы представлено на рисунке 3.1, а параметры данной платы представлены в таблице 3.1 Для составления таблицы были взяты данные из источника [19].

Таблица 3.1 – Параметры платы Arduino UNO

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Arduino Uno |
| Микроконтроллер | ATmega328 |
| Поддерживаемые интерфейсы | SPI, I2C, UART, USB |
| Количество цифровых входов | 14 |
| Количество аналоговых входов | 6 |
| ШИМ | 6 |
| Флеш-память | 32 КБ |
| ОЗУ | 2 КБ |
| EEPROM | 1 КБ |
| Тактовая частота | 16 МГц |

Продолжение таблицы 3.1

|  |  |
| --- | --- |
| Входное напряжение | 7-12 В |
| Максимальный ток потребления | 410 мА |
| Постоянный ток через вход/выход | 40 мА |
| Рабочая температура | От -40 до +105 °C |

Микроконтроллер ATmega328 имеет требуемую высокую производительность, низкое энергопотребление для проектируемого устройства. Кроме того, он имеет достаточное количество входов/выходов для подключения различных устройств и сенсоров, а также поддерживает различные интерфейсы связи, такие как UART, SPI и I2C. Благодаря хорошему сочетанию вычислительной мощности, простоты использования, низкому энергопотреблению и надёжности,ATmega328 является оптимальным выбором для реализации проекта. Изображение платы представлено на рисунке 3.1.

A close-up of a circuit board

Description automatically generated

Рисунок 3.1 – Плата Arduino UNO

## 3.2 Обоснование выбора микрофона

Для сравнения были выбраны три модели электретных микрофонов: EM6050P, EM9767 и HMO0603B-65. В таблице 1.3 приведены их сравнительные характеристики.

Рассмотрев сравнительные характеристики микрофонов, представленных в таблице 1.3 обзора литературы. Был выбран EM6050P благодаря широкому частотному диапазону и сбалансированной чувствительности.

Микрофон способен эффективно захватывать как низкие, так и высокие частоты, что обеспечивает точное распознавание речевых сигналов. Чувствительность в диапазоне 32–44 мВ/Па позволяет устройству адекватно реагировать на голосовые команды.

EM6050P разработан для широкого спектра аудиозаписывающих устройств, что подтверждает его универсальность и устойчивость к эксплуатационным нагрузкам. Это особенно важно для систем распознавания речи, где стабильность работы микрофона напрямую влияет на качество обработки звука.

Изображение EM6050P представлено на рисунке 3.2.

A close-up of a small black and white device

Description automatically generated

Рисунок 3.2 – Микрофон EM6050P

## 3.3 Обоснование выбора пьезоэлектрического излучателя звука

Для сравнения были выбраны три модели: MH-FMD, PKM17EPP4001-B0 и CMT-1604-SMT-TR. В таблице 1.4 приведены их сравнительные характеристики.

В качестве звукового индикатора в микропроцессорном устройстве распознавания речи был выбран MH-FMD. Рассмотрение её аналогов находится в пункте 1.4, а их параметры приведены в таблице 1.4.

Модель MH-FMD. имеет схожие параметры с аналогами, однако наряду с ними обладает рядом преимуществ.

1. Широкий диапазон питания и низкое потребление тока - допускает работу от 3 до 20 В, что позволяет использовать единый источник питания для микроконтроллера и излучателя звука.
2. Оптимальный уровень звукового давления - излучатель генерирует до 85 дБ на расстоянии 10 см при 5 В, что гарантирует чёткую слышимость короткого 1-секундного сигнала при старте устройства, даже в условиях умеренного фонового шума.
3. Резонанс MH-FMD близок к частотному диапазону человеческой речи, что обеспечивает максимальную эффективность при воспроизведении коротких тоновых сигналов.

Изображение MH-FMD представлено на рисунке 3.3.

A black and white electronic device

Description automatically generated

Рисунок 3.3 – Пьезоэлектрический излучатель звука MH-FMD.

## 3.4 Обоснование выбора органов световой индикации

Рассмотрев разные модели светодиодов для индикации состояния устройства распознавания речи (3 мм LED (Kingbright WP7113ID), 5 мм LED (Lite-On LTL-307EE), SMD LED 0805 (Osram OSL-80S)) и проведя сравнение (см. таблицу 1.5), был сделан выбор на светодиоде 3 мм LED (Kingbright WP7113ID), поскольку он обеспечивает оптимальное сочетание параметров для индикации состояния устройства. Данный светодиод характеризуется широким рабочим температурным диапазоном от –45 до 85 ºС, что позволяет использовать его в различных условиях эксплуатации, а световой поток 40–60 мкд обеспечивает достаточную яркость при низком энергопотреблении. Компактные размеры и надежность этого светодиода способствуют его легкой интеграции в системы с ограниченным пространством. Изображение выбранного светодиода представлено на рисунке 3.4.

A close-up of a black capacitor

Description automatically generated

Рисунок 3.4 – Светодиод WP7113ID

## Обоснование выбора органов управления состоянием устройства

В пункте 1.6 были рассмотрены аналоги переключателей: KCD1-11, DIPSW‑68‑5 и Omron D2FC-F-7N, параметры которых представлены в таблице 1.6. Переключатель KCD1-11 имеет схожие параметры с аналогами, однако наряду с ними обладает следующими преимуществами:

– обеспечивает высокую надежность и устойчивость к большим нагрузкам (до 1000 мА);

– реализует простую схему переключения между двумя состояниями (ON/OFF), что делает его идеальным для систем, где важна долговечность и стабильное переключение.

Исходя из вышеперечисленных факторов, был выбран переключатель KCD1-11 для устройства распознавания речи. Его надежность и простота управления способствуют интуитивным управлением режимов работы устройства. Изображение выбранного переключателя представлено на рисунке 3.5.

A black switch with a white text

Description automatically generated

Рисунок 3.5 – Переключатель KCD1-11

## 3.6 Обоснование выбора устройства отображения информации

В пункте 1.7 были представлены аналоги устройств отображения информации, а также в таблице 1.7 описаны их параметры. В ходе изучения параметров, было принято решение использовать жидкокристаллический дисплей LCD1602 для проектируемого устройства. Изображение LCD1602 представлено на рисунке 3.6.

A black rectangular object with a black screen

Description automatically generated

Рисунок 3.6 – Жидкокристаллический дисплей LCD1602

Среди главных преимуществ дисплея LCD1602 можно выделить регулируемую контрастность. Также имеется модуль-переходник на основе микросхемы PCF8574AT (рисунок 3.7), которая предназначена для расширения количества линий ввода/вывода. Микросхема [подключается по I2C интерфейсу](https://radiolaba.ru/microcotrollers/i2c-interfeys.html) и имеет порт из 8 линий ввода/вывода, принцип функционирования простой, при записи байта данных в микросхему, линии порта принимают уровни, соответствующие значениям битов полученного байта.



Рисунок 3.7 – Модуль-переходник на основе микросхемы PCF8574AT

## Формулирование требований к источнику питания

Проектируемое устройство будет питаться от общего источника питания. Для расчета характеристик блока питания была составлена таблица 3.1  
  
Таблица 3.1 – Характеристики модулей устройства

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Модуль | Uпит, В | Imax, A | Pпотр, Вт |
| ATmega328 | 3,3 | 0,2 | 0,66 |
| Микрофон EM6050P | 5 | 0,01 | 0,05 |
| Пьезоэлектрический излучатель звука | 5 | 0,005 | 0,025 |
| Светодиод | 2,2 | 0,02 | 0,044 |
| Дисплей LC1602 | 5 | 0,15 | 0,75 |

Для устройства нужен источник питания напряжением 5 В. Расчеты показали, что максимальный потребляемый ток равен 0,385 А, а потребляемая мощность 1,529 Вт. С учетом запаса по мощности необходимо внести поправку и увеличить это значение на 30%, таким образом мощность источника питания должна быть Pпотр = 2 Вт.

Далее, необходимо рассчитать минимальный выходной ток источника питания:

Iмин = Pист / Uист = 2,00 /5,00 = 0.4 А

Необходимо также учесть запас по току в 30%. Конечный ток для источника питания должен быть равен 𝐼ист = 0,52 А. Исходя из приведенных расчетов, источник питания для устройства распознавания речи должен иметь выходное напряжение 5 В и минимальный выходной ток 0,52 А.

## 3.8 Разработка функциональной схемы

После анализа и сравнения различных компонентов, включающих в себя микроконтроллер, микрофон, пьезоэлектрический излучатель звука, органы управления и индикации состоянием устройства, и дисплей, был выбран оптимальный набор для разработки устройства распознавания речи

Функциональная схема проектируемого устройства приведена в приложении Б.

# 4 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ

# СХЕМЫ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕВАТОРА

# 4.1 Микроконтроллер

Разработанная принципиальная схема приведена в приложении В.

Для обеспечения работы платы Arduino Uno требуется источник питания с выходным напряжением 5 В и минимальным выходным током 0,52 А, обоснование выбора данных значений приведено в разделе 3.7. Для формирования графического изображения платы с микроконтроллером на схеме необходимо ввести логические номера разъемов. Соответствие между логическими и физическими номерами приведены в таблице 4.1.

На рисунке 4.1 приведено схематического изображение контактов платы.

Таблица 4.1 – Соответствие логических и физических номеров разъемов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Название разъема на плате | Номер контакта | Логический номер разъема на схеме | Логический номер контакта | Комментарии |
| A0 | 0 | 1 | 100 | Микрофон |
| A1 | 1 | 101 | Пьезоэлектрический звукоизлучатель |
| A2 | 2 | 102 | ⎯ |
| A3 | 3 | 103 | ⎯ |
| A4 | 4 | 104 | ЖК-дисплей через интерфейс I2C |
| A5 | 5 | 105 |
| RES | 0 | 2 | 200 | ⎯ |
| 3.3 V | 1 | 201 | ⎯ |
| 5 V | 2 | 202 | Подключение внешнего источника питания |
| GND | 3 | 203 | Общий провод (земля) для всех модулей |
| VIN | 4 | 204 | ⎯ |
| D0 | 0 | 3 | 300 | ⎯ |
| D1 | 1 | 301 | ⎯ |
| D2 | 2 | 302 | Переключатель состояния устройства |
| D3 | 3 | 303 | ⎯ |
| D4 | 4 | 304 | ⎯ |
| D5 | 5 | 305 | Светодиод |
| D6 | 6 | 306 | Светодиод |
| D7 | 7 | 307 | Светодиод |

Продолжение таблицы 4.1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| D8 | 8 |  | 308 | ⎯ |
| D9 | 9 |  | 309 | ⎯ |
| D10 | 10 |  | 310 | ⎯ |
| D11 | 11 |  | 311 | ⎯ |
| D12 | 12 | 312 | ⎯ |
| SDA | 0 | 4 | 400 | ⎯ |
| SCL | 1 | 401 | ⎯ |
| GND | 2 | 402 | ⎯ |

На принципиальной схеме плата представлена по координатам B06.

# 4.2 Микрофон

В таблице 4.2 представлено описание контактов микрофона с комментариями, уточняющие функциональное назначение.

Таблица 4.2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номер контакта | Вывод на плате | Комментарий |
| 1 | VCC | Питание |
| 2 | GND | Земля |
| 3 | OUT | Аналоговый выход |

На принципиальной схеме плата представлена по координатам A01.

# 4.3 Пьезоэлектрический излучатель звука

В таблице 4.3 представлено описание контактов АЦП с комментариями, уточняющие функциональное назначение.

Таблица 4.3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номер контакта | Вывод на плате | Комментарий |
| 1 | VCC | Питание |
| 2 | GND | Земля |
| 3 | OUT | Аналоговый выход |

На принципиальной схеме плата представлена по координатам E01.

# 4.4 Дисплей

В таблице 4.4 представлено описание контактов дисплея с комментариями, уточняющие функциональное назначение.

Таблица 4.4

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номер контакта | Вывод на плате | Комментарий |
| 1 | VSS | Земля |
| 2 | VDD | Питание |
| 3 | VO | Регулировка контрастности |
| 4 | RS | Выбор регистра |
| 5 | RW | Режим чтения/записи |
| 6 | E | Строб (сигнал разрешения данных) |
| 7 | D0 | Цифровой вывод |
| 8 | D1 | Цифровой вывод |
| 9 | D2 | Цифровой вывод |
| 10 | D3 | Цифровой вывод |
| 11 | D4 | Цифровой вывод |
| 12 | BLA | Анод подсветки |
| 13 | BLK | Катод подсветки |

На принципиальной схеме плата представлена по координатам B15

# 4.5 Расширитель цифровых входов PCF8574AT

В таблице 4.5 представлено описание контактов расширителя цифровых входов для дисплея с комментариями, уточняющие функциональное назначение.

Таблица 4.5

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номер контакта | Вывод на плате | Комментарий |
| 1 | VSS | Земля |
| 2 | VDD | Питание |
| 3 | VO | Регулировка контрастности |
| 4 | RS | Выбор регистра |
| 5 | RW | Режим чтения/записи |
| 6 | E | Строб (сигнал разрешения данных) |
| 7 | D0 | Цифровой вывод |
| 8 | D1 | Цифровой вывод |
| 9 | D2 | Цифровой вывод |
| 10 | D3 | Цифровой вывод |

Продолжение таблицы 4.5

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 11 | D4 | Цифровой вывод |
| 12 | BLA | Анод подсветки |
| 13 | BLK | Катод подсветки |

На принципиальной схеме плата представлена по координатам B11.

# 4.6 Органы индикации

Информация о выбранных светодиодах представлена в пункте 3.7 раздела 3. Светодиоды подключаются к заземляющему выходу GND и к цифровым выходам D10, D11, D12. Исходя из пункта 4.2 для корректной работы подключение к цифровым выходам происходит через токоограничивающий резистор.

# 4.7 Расчет токоограничивающего сопротивления для светодиодов

В данном устройстве используется 3 светодиода. Для ограничения тока, проходящего через них, будут использованы резисторы, номинал которых рассчитывается по формуле 4.1:

где Uпит – напряжения питания, Uпад – напряжение, падающее на светодиоде, Iпр – прямой ток светодиода.

В устройстве используются светодиоды со следующими параметрами: Iпр = 20мА, Uпад = 3.0В.

Значение сопротивления равно:

Следовательно, для того, чтобы светодиод не перегорел он должен быть подключен через резистор с сопротивлением не менее 100 Ом.

Схема подключения светодиодов приведена на рисунке 4.1.

A diagram of a circuit

Description automatically generated

Рисунок 4.1 — Схема подключения светодиодов

# 5 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

## 5.1 Требования к разработке программного обеспечения

Программа, управляющая микропроцессорным устройством распознавания речи, должна реализовывать следующий функционал:

– преобразование звуковых волн в электрический сигнал;

– оцифровка аудиосигнала;

– обработка и выделение акустических характеристик;

– классификация фонем и формирование слова;

– сравнение слова с эталонными шаблонами;

– вывод информации на дисплей.

Организация работы устройства начинается с его включения, при котором происходит запуск и калибровка микрофона для определения фонового уровня шума. После подачи питания устройство выполняет процедуру калибровки, а соответствующие светодиоды мигают в течение 5 секунд, пьезоэлектрический излучатель звука издает короткий 1-секундный сигнал. Затем устройство переходит к непрерывному сбору и обработке аудиосигнала. Затем, микроконтроллер обрабатывает полученный цифровой сигнал, вычисляет его мощность, применяет фильтрацию, рассчитывает коэффициенты сложности и на основе установленных пороговых значений выделяет фонемы. Отдельные фонемы последовательно объединяются в слово до тех пор, пока не наступит период тишины или не заполнится буфер. После формирования слова применяется алгоритм сравнения, с использованием расстояния Левенштейна, который сопоставляет полученную последовательность фонем с заранее записанными эталонными шаблонами, выбирая слово, наиболее близкое по характеристикам к распознаваемому. Результат распознавания выводится на LCD-дисплей. Если устройство не получает достаточной информации, например, при отсутствии звука, или слово не удовлетворяет критериям распознавания, оно продолжает работу в обычном режиме без дополнительной индикации.

## 

## 5.2 Схема программы

Блок-схема представляет собой графическое отображение последовательности операций, выполняемых устройством распознавания речи. Далее, идет алгоритм описание блоков схемы программы, представленной в приложении Д.

1. Начало.

2. Инициализация переменных и констант, используемых программой.

3. Инициализация входных и выходных значений.

4. Калибровка микрофона: сбор выборок фонового шума, вычисление и сохранение среднего значения.

5. Включение индикатор работы устройства.

6. Выключение индикатора работы устройства.

7. Очистка экрана, вывод начального текста на экран.

8. Считывание новой выборки звука с микрофона.

9. Вычисление суммарной мощности аудиосигнала

10. Условный оператор: если мощность сигнала больше порога, то переход на шаг 11, иначе переход на шаг 20.

11. Вычисление сложности сигнала – отношение суммы модулей разностей соседних выборок к мощности.

12. Сдвиг значений в массиве истории коэффициентов и запись нового значения сложности.

13. Вычисление среднего коэффициента фильтрации по элементам массива истории.

14. Расчёт экспоненциально сглаженной мощности микрофона с использованием максимальной амплитуды выборок.

15. Условный оператор: если средний коэффициент меньше порога econstant, то фонема = ‘e’ и переход на шаг 18, иначе переход на шаг 16.

16. Условный оператор: если средний коэффициент меньше порога aconstant, то фонема = ‘o’ и переход на шаг 18, иначе переход на шаг 17.

17. Условный оператор: если средний коэффициент меньше порога vconstant, то фонема = ‘v’, иначе фонема = ‘h’.

18. Условный оператор: если средний коэффициент меньше порога shconstant, то оставить выбранную фонему, иначе установить фонему ‘s’.

19. Условный оператор: если флаг для замены фонемы установлен и мощность микрофона превышает fconstant, то изменить фонему на ‘f’.

20. Возврат распознанной фонемы или, если мощность сигнала меньше порога, возвращение пробела.

21. Добавление полученного символа (фонемы или пробела) в буфер формирования команды.

22. Условный оператор: если полученный символ – пробел или буфер заполнен, то переход на шаг 23, иначе переход на шаг 26.

23. Условный оператор: если буфер с накопленной строкой не пуст, то переход на шаг 24, иначе переход на шаг 26.

24. Обработка накопленного слова (сравнение с предопределёнными паттернами команд).

25. Условный оператор: если слово совпадает с одним из паттернов, то выполняем шаг 26

26. Выполнение соответствующей команды: вывод текста на LCD-дисплей, включение нужного светодиода и выключение остальных.

27. Обновление времени последнего распознавания команды и сброс флага бездействия.

28. Очистка буфера команды и обнуление индекса накопления символов.

29. Условный оператор: если с момента последнего распознавания прошло более 5 секунд, то переход на шаг 30.

30. Выключение всех светодиодов и очистка дисплея.

31. Вывод на дисплей сообщения о повторном вводе голоса.

32. Установка флага, указывающего, что режим бездействия выведен.

33. Переход к началу основного цикла работы программы для обработки следующей выборки звука.

34. Если поступает новый голосовой сигнал, повторение шагов 8–29.

35. Конец.

## 5.3 Программа управления устройством

Для написания программы используется интегрированная среда разработки Arduino. Данная среда предоставляет удобные средства разработки. При разработке программы используются следующие библиотеки:

– LiquidCrystal\_I2C.h (для управления LCD дисплеем);

– Wire.h (для поддержки интерфейса I2C);

– uSpeech.h (для алгоритма распознавания слов);

Данные библиотеки удобны в использовании и, несомненно, облегчают разработку программного обеспечения устройств.

Код программы представлен в приложении Е.

## 5.4 Описание исходного кода программы

Для лучшего понимания работы программы следует пояснить исходный код:

строки 1–15 (блок 2): подключение библиотек для работы с Arduino, строками, математическими функциями и общим функционалом;

строки 16–27 (блок 2): определение констант, используемых в программе, необходимых для обработки аудиосигнала (установка порога тишины, порога для фонемы f и значений для анализа звука);

строки 27–90 (блок 2): объявление класса signal, реализующего алгоритм распознавания речи: в этом блоке создаётся буфер из 32 выборок звука, определяются переменные для расчёта средней мощности сигнала, тестового коэффициента для отладки, пороговые значения и коэффициенты для фильтрации, а также описываются методы выборки звука, вычисления суммарной мощности, расчёта «сложности» сигнала, калибровки микрофона и определения фонемы;

строки 91–144 (блок 2): объявление класса statCollector, предназначенного для накопления статистических данных аудиосигнала (среднего значения и моментов распределения), с реализацией методов расчёта куртоза и асимметрии;

строки 148–216 (блоки 10…15): объявление класса syllable для аккумуляции фонем (слогов) с целью базового распознавания слов: здесь задаются счетчики для различных фонем, переменные для хранения пиковых значений и модальности, а также реализуются методы сброса и классификации входных символов;

строки 242–400 (блоки 4, 9, 10, 12, 15): реализация алгоритма распознавания фонемы в методе getPhoneme класса signal: сначала производится выборка аудиоданных и вычисление суммарной мощности сигнала, затем — условный оператор, сравнивающий мощность с пороговым значением (если мощность выше, происходит дальнейший анализ, иначе возвращается пробел); далее вычисляется «сложность» сигнала, обновляется история коэффициентов, определяется средний коэффициент фильтрации и мощность с экспоненциальным сглаживанием, после чего последовательными условными операторами выбирается фонема (сравнение со значениями для ‘e’, ‘o’, ‘v’, ‘h’, ‘s’) и, при необходимости, заменяется на ‘f’ — далее возвращается распознанный символ;

строки 402–440 (блоки 4, 10…29): реализация дополнительных методов класса signal, включающих калибровку микрофона (сбор выборок фонового шума и расчет среднего уровня), выборку звука с учетом калибровки, вычисление суммарной мощности, «сложности» сигнала, определение максимальной амплитуды выборок и расчет отношения сигнал/шум;

строки 553–599 (блоки 10…25): реализация конструктора и методов класса syllable для сброса и накопления значений фонем, а также для классификации входных символов (с обновлением соответствующих счетчиков и временных накопителей);

строки 603–664 (блоки 14…28, 32): реализация методов класса statCollector для накопления и расчёта статистических параметров аудиоданных;

строки 665–694 (блок 2): подключение дополнительных библиотек и определение пинов для светодиодов, а также макроса MIN3, необходимого для вычислений;

строки 695–733 (блок 2): создание объектов для работы с микрофоном (объект voice класса signal) и LCD-дисплеем (объект lcd класса LiquidCrystal\_I2C);

строки 732–737 (блок 3): определение буфера для формирования голосовой команды, создание словаря паттернов команд и установка переменных для контроля бездействия;

строки 739–793: реализация функций для вычисления длины строки до пробела (strLength), расчёта расстояния между строками (levenshtein) и определения наиболее похожего паттерна команды (guessWord);

строки 795–832 (блоки 29…31): реализация функции обработки распознанной команды: сравнение накопленного слова с заданными паттернами, вывод результата на LCD-дисплей и управление светодиодами;

строки 834–899 (блоки 4…8): пошаговый запуск устройства;

строки 900–923 (блоки 8…10): бесконечный цикл программы выборка звука с микрофона, распознавание фонемы, накопление символов в буфере, условный оператор для обработки накопленного слова;

строки 925–950 (блоки 25…35): реализация условий контроля бездействия: если с момента последнего распознавания прошло более 5 секунд, то происходит выключение всех светодиодов, очистка LCD-дисплея, вывод приглашения к повторному голосовому вводу и установка соответствующего флага, после чего цикл обработки повторяется.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы над данным курсовым проектом было разработано устройство распознавания речи, которое осуществляет обработку аудиосигнала, выделяет фонемы и преобразует их в слова.

Устройство способно:

* преобразовывать звуковые колебания в электрический сигнал;
* извлекать из аудиосигнала ключевые акустические характеристики для выделения фонем;
* сравнивать извлечённые признаки с заранее прописанными эталонными шаблонами для определения распознаваемого слова;
* отображать результат распознавания на дисплее.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Документация ATmega328/P [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.rlocman.ru/i/File/2018/03/11/ ATmega328P\_1.pdf – Дата доступа: 10.01.2025
2. Документация nRF52840 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://content.arduino.cc/assets/Nano\_BLE\_MCU-nRF52840\_PS\_v1.1.pdf – Дата доступа : 10.01.2025
3. Документация RP2040 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://datasheets.raspberrypi.com/rp2040/rp2040 -datasheet.pdf – Дата доступа: 10.01.2025
4. Документация EM6050P [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://static.chipdip.ru/lib/354/DOC004354852.pdf – Дата доступа: 10.01.2025
5. Документация EM9767 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://static.chipdip.ru/lib/354/DOC004354865.pdf – Дата доступа: 10.01.2025
6. Документация HMO0603B-65 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://static.chipdip.ru/lib/054/DOC000054701.pdf – Дата доступа: 10.01.2025
7. Документация MH-FMD [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://e-gizmo.net/oc/kits%20documents/High%20Quality

%20Passive%20Buzzer/High%20quality%20passive%20buzzer.pd – Дата доступа: 10.01.2025

1. Документация PKM17EPP4001-B0 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.mouser.de/ProductDetail/

Murata-Electronics/PKM17EPP-4001B0?qs=MJkvBGm52huMCXTq9 F1D2A%3D%3D&srsltid=AfmBOopoS9cNLJ7T4AbMAVu7nno9yMxQXy\_hGX5edSK59QMiumgTf – Дата доступа: 10.01.2025

1. Документация CMT-1604-SMT-TR [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.mouser.com/ProductDetail/

Same-Sky/CMT-1604-SMTTR?qs=WyjlAZoYn52rNJrtL4Fm5A%3D%3D&s

rsltid=AfmBOoreTIfb737bWV0ITg6noMBP\_qLP8bHlzsqgT14aUM3iHkhur7bo – Дата доступа: 10.01.2025

1. Документация WP7113ID [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/233663/KINGBRIGHT/WP7113ID.html – Дата доступа: 10.01.2025
2. Документация LTL-307EE [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.tme.eu/pl/details/ltl-307ee/diody-led-tht-okragle/liteon/– Дата доступа: 10.01.2025
3. Документация OSL-80S [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://docs.rs-online.com/28d4/A700000006637388.pdf – Дата доступа: 10.01.2025
4. Документация KCD1-11 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.chinadaier.com/wp-content/uploads/2017/08/Rocker-switch.pdf – Дата доступа: 10.01.2025
5. Документация DIPSW‑68‑5 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://eu.mouser.com/c/ds/electromechanical/ switches/dip-switches-sipswitches/?contact%20form=DPST&switch%20type=DIP – Дата доступа: 10.01.2025
6. Документация D2FC-F-7N [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.datasheetmeta.com/search.php?q=D2FC-F-7N – Дата доступа: 10.01.2025
7. Документация LCD2004 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://uk.beta-layout.com/download/rk/RK-10290\_410.pdf – Дата доступа: 10.01.2025
8. Документация LCD1602 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.waveshare.com/datasheet/LCD\_en \_PDF/LCD1602.pdf – Дата доступа: 10.01.2025
9. Документация OLED128x64 [Электронный ресурс]. Режим доступа:

https://cdn.velleman.eu/downloads/29/infosheets/sh1106\_datasheet.pdf – Дата доступа: 11.01.2025

1. Arduino UNO [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno – Дата доступа: 11.01.2025

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

**Схема структурная**

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

**Схема функциональная**

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

**Схема электрическая принципиальная**

# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

**Перечень элементов**

# ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(обязательное)

**Схема программы**

# ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(обязательное)

**Исходный текст программы**

# ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

(обязательное)

**Ведомость документов**