

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 КОНТРОЛЯ  
КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА

БГУИР КП 1-40 02 01 109 ПЗ

Студент: гр. 150501 Кардаш С.П.

Руководитель: доцент каф. ЭВМ  
Селезнев И. Л.

Минск 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Обзор литературы .....	4
1.1 Требования к проектируемому устройству.....	4
1.2 Микроконтроллер.....	4
1.3 Датчик метана.....	5
1.4 Датчик температуры .....	6
1.5 Датчик влажности .....	7
1.6 Датчик углекислого газа.....	8
1.7 Устройство отображения информации.....	9
1.8 Устройство воспроизведения звука .....	10
2 Разработка структуры микропроцессорного устройства контроля концентрации метана.....	11
2.1 Компоненты проектируемого устройства .....	11
2.2 Описание взаимодействия модулей .....	11
2.3 Построение структурной схемы .....	12
3 Обоснование выбора узлов, элементов функциональной схемы микропроцессорного устройства контроля концентрации метана.....	13
3.1 Обоснование выбора микроконтроллера.....	13
3.2 Обоснование выбора датчика метана .....	14
3.3 Обоснование выбора датчика температуры и влажности .....	14
3.4 Обоснование выбора датчика углекислого газа .....	15
3.5 Обоснование выбора устройства отображения информации.....	15
3.7 Обоснование выбора источника питания .....	17
3.7 Разработка функциональной схемы.....	18
4 Разработка принципиальной электрической схемы устройства .....	19
4.1 Расчет сопротивления для светодиода.....	19
4.2 Расчет резисторов для аналоговой клавиатуры .....	19
4.3 Описание подключения модулей проектируемого устройства.....	20
4.4 Построение принципиальной схемы устройства.....	22
5 Разработка программного обеспечения.....	23
5.1 Требования к разработке программного обеспечения .....	23
5.2 Схема программы.....	23
5.3 Описание кода программы.....	24
Заключение .....	26
Литература .....	27
Приложение А .....	29
Приложение Б.....	30
Приложение В.....	31
Приложение Г .....	32
Приложение Д.....	33
Приложение Е.....	34

## ВВЕДЕНИЕ

Природный газ – это смесь газов, основную часть которой составляет метан. Как известно, метан не имеет ни цвета, ни запаха, поэтому при использовании в быту, промышленности в него обычно добавляют одоранты. Сам по себе метан является наиболее взрывоопасным газом из углеводородов.

Природный газ нашёл широкое применение в качестве горючего в жилых частных и многоквартирных домах для отопления, подогрева воды и приготовления пищи; как топливо для автомобилей, котельных, агрегатов, ТЭЦ и других объектов.

Поскольку метан используется практически во всех сферах жизни человека, а также является взрывоопасным газом, очень важно отслеживать его предельные концентрации. Так как органы человека не позволяют точно определять концентрации газов, нужно прибегать к использованию электронных устройств.

Устройства, которые определяют концентрации газов в воздухе, называются газоанализаторы. Такие устройства устанавливаются на фабриках, заводах, а также в квартирах и частных домах.

Основные функции газоанализаторов метана:

- непрерывное измерение концентрации метана;
- отображение измеряемых параметров;
- оповещение при превышении установленной концентрации метана.

В основном газоанализаторы метана имеют одинаковую структуру, состоящую из следующих модулей:

- модуль микроконтроллера;
- модуль измерения концентрации метана;
- модуль отображения информации;
- модуль реагирования;
- модуль управления
- модуль питания.

# 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

## 1.1 Требования к проектируемому устройству

Основной функцией проектируемого устройства является измерение концентрации метана в помещениях. При выходе измеряемых значений за пределы нормы устройство должно каким-либо образом оповестить пользователя об опасности взрыва. Помимо измерения концентрации метана в помещении, проектируемый прибор будет измерять температуру и относительную влажность воздуха, а также концентрацию углекислого газа.

Для реализации заданных функций устройство должно включать в свой состав следующие компоненты:

- микроконтроллер;
- датчик метана;
- датчик температуры;
- датчик влажности;
- датчик углекислого газа;
- устройство отображения информации;
- устройство воспроизведения звука;
- светодиоды;
- кнопки.

## 1.2 Микроконтроллер

Основой проектируемого устройства является микроконтроллер.

Для реализации проектируемого устройства были рассмотрены три микроконтроллера, представленные на рынке, ATmega328P, ATmega32U4 от компании Atmel и микроконтроллер MK66FX1M0VMD18 компании NXP Semiconductors.

Микроконтроллер ATmega32U4 семейства AVR является 8-битным контроллером с 32 кБ внутренней памяти, работающий на частоте 16 МГц. На данном контроллере базируются такие платы как Arduino Leonardo, Teensy 2.0, Arduino Micro. Более подробная информация о данном контроллере представлена в источнике [1].

Микроконтроллер ATmega328P, базирующийся на архитектуре AVR, имеет 32 кБ внутренней памяти, а также является 8-битный контроллером. Данный микроконтроллер лежит в основе таких плат как Arduino Uno, Arduino Nano, SparkFun RedBoard, Adafruit Metro. Подробная информация о данном микроконтроллере представлена в источнике [2].

И последний рассматриваемый контроллер MK66FX1M0VMD18 с архитектурой ARM Cortex-M4 имеет разрядность 32-бита и обладает 1 МБ внутренней памяти, а также поддерживает USB и Ethernet. Этот

микроконтроллер используется в плате Teensy 3.6. Информация о контроллере была получена из источника [3].

Основные характеристики упомянутых микроконтроллеров приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристики микроконтроллеров

Параметр сравнения	ATmega328P	МК66FX1M0VMD18	ATmega32U4
Архитектура ядра	AVR	ARM Cortex-M4	AVR
Тактовая частота	20 МГц	180 МГц	16 МГц
Flash-память	32 КБ	1280 КБ	32 КБ
SRAM-память	2 КБ	256 КБ	2.5 КБ
EEPROM-память	1 КБ	4 КБ	1 КБ
Разрядность шины	8 Бит	32 Бита	8 Бит
Напряжение питания	2,7 В - 5.5 В	1,71 В – 3,6 В	2,7 В – 5,5 В
Диапазон температур	-40 до +125°C	-40 до +105°C	-40 до +85°C
Таймер/счетчик 8-бит	2 Шт	2 Шт	1 Шт
Таймер/счетчик 16-бит	1 Шт	2 Шт	2 Шт
Таймер/счетчик 10-бит	—	—	1 Шт
Количество ШИМ	6 Шт	20 Шт	8 Шт
Количество АЦП	8 Шт	25 Шт	12 Шт
Количество контактов	32 Шт	58 Шт	44 Шт
Интерфейс SPI	2 Шт	3 Шт	2 Шт
Интерфейс I2C	1 Шт	4 Шт	1 Шт
Интерфейс UART	—	6 Шт	—
Интерфейс USB	—	2 Шт	—

### 1.3 Датчик метана

Датчик метана является основным датчиком проектируемого устройства. Существует различные типы датчиков по принципу действия:

- Электрохимические датчики. Анализируемый газ вступает в химическую реакцию с электролитом, заполняющим измерительную ячейку. В результате в растворе возникают заряженные ионы, между электродами начинает протекать электрический ток, пропорциональный концентрации анализируемого компонента в пробе.

- Инфракрасные датчики. Поступая в измерительную ячейку, газ поглощает некоторое количество инфракрасного света, а датчик при этом фиксирует снижение интенсивности поступающего света и на базе известной зависимости генерирует выходной сигнал.

- Каталитические датчики. Принцип работы каталитических датчиков заключается в том, что, когда горючий газ окисляется, он выделяет тепло. Это приводит к изменению сопротивления встроенной катушки. А данное сопротивление линейно пропорционально концентрации газа.

Для реализации устройства были рассмотрены три каталитических датчика MQ-4, SGAS711, MQ-9.

Датчики MQ-4 и SGAS711 специализируются на измерение метана, пропана, бутана, в то время как датчик MQ-9 измеряет концентрации угарного газа, и углеводородных газов.

В таблице 1.2 представлены перечисленные ранее датчики с их характеристиками.

Таблица 1.2 – Характеристики датчиков газа

Параметр сравнения	MQ-4	SGAS711	MQ-9
Напряжение питания нагревателя	5,0 В	7,0 В	1,4 – 5,0 В
Напряжение питания датчика	3,3 – 5,0 В	2,5 – 5,0 В	5,0 В
Потребляемая мощность	750 мВт	900 мВт	340 мВт
Тип датчика	Аналоговый	Аналоговый	Аналоговый
Диапазон рабочих температур	-10°C ... +50°C	-20°C ... +50°C	-20°C ... +50°C
Диапазон измерений	200 – 10000 ppm	200 – 10000 ppm	500 – 10000 ppm

#### 1.4 Датчик температуры

В основном большинство датчиков представленных на рынке производит измерения температуры при помощи термистора. Термистор – это электронный компонент, который меняет свое сопротивление в зависимости от температуры. Таким образом, путем измерения сопротивления термистора можно определить температуру.

Для создания устройства были рассмотрены такие датчики, как DHT22, DS18B20, TMP36.

Цифровой датчик DHT22 использует термистор для измерения температуры. Точность измерений данного прибора составляет  $\pm 0,5$  градуса Цельсия. DHT22 также имеет встроенный датчик влажности. Информация о датчике была получена из источника [7].

Датчик DS18B20 имеет точность измерения до  $\pm 0,5$  градуса Цельсия и может работать в диапазоне от  $-55$  до  $+125$  градусов Цельсия. Данный прибор не имеет встроенный датчик влажности. Информация о датчике была получена из источника [8].

Измерительный прибор TMP36 – это аналоговый датчик температуры, который измеряет температуру и выдает аналоговый сигнал, пропорциональный изменению температуры. Датчик имеет точность измерения  $\pm 2,0$  градус Цельсия. Этот прибор не имеет защиты от перегрузки или короткого замыкания. Информация о данном измерительном приборе была получена из источника [9].

Характеристики датчиков температуры приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Характеристики датчиков температуры

Параметр сравнения	DHT22	DS18B20	TMP36
Диапазон рабочих температур	$-40 \dots +80^{\circ}\text{C}$	$-55 \dots +125^{\circ}\text{C}$	$-40 \dots +125^{\circ}\text{C}$
Точность измерения температуры	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$	$\pm 2,0^{\circ}\text{C}$
Напряжение питания	3,3 – 6,0 В	3,0 – 5,5 В	2,7 – 5.5 В
Потребляемый ток	До 1,5 мА	До 1,0 мА	До 0,25 мА
Тип выходного сигнала	Цифровой	Цифровой	Аналоговый
Встроенный датчик влажности	Есть	Нет	Нет

### 1.5 Датчик влажности

Поскольку точность датчиков, измеряющих концентрации метана в воздухе, зависит от влажности воздуха, в котором они находятся, будет разумно производить измерения влажности.

Большинство датчиков представленных на рынке работает по одинаковому принципу. Внутри устройства установлен емкостный датчик, который меняет свою емкость в зависимости от влажности воздуха. Когда воздух вокруг датчика становится более влажным, его емкость увеличивается. Путем измерения емкости датчика можно определить уровень влажности.

Для реализации устройства были рассмотрены такие датчики, как DHT22, SHT31, HH-4030.

Цифровой датчик DHT22 может измерять влажность в пределах от 0% до 100% с точностью измерений равной  $\pm 2\%$ . Также данный прибор включает в себя датчик температуры, что очень удобно. Информации о DHT22 была получена из источника [7].

Датчик температуры и влажности SHT31 может измерять влажность воздуха в диапазоне от 0% до 100% при этом погрешность измерения не более  $\pm 2\%$ . Это датчик имеет защиту от перегрузки и короткого замыкания. Информация о данном устройстве была получена из источника [10].

Аналоговый датчик температуры HIH-4030 имеет широкий диапазон измерения влажности, но точность измерений составляет  $\pm 3,5\%$ . Информация об этом измерительном приборе была получена из источника [11].

В таблице 1.4 представлены характеристики датчиков влажности.

Таблица 1.4 – Характеристики датчиков влажности

Параметр сравнения	DHT22	SHT31	HIH-4030
Диапазон измерения влажности	0 – 100%	0 – 100%	0 – 100%
Точность измерения влажности	$\pm 2\%$	$\pm 2\%$	$\pm 3,5\%$
Напряжение питания	3,3 – 6,0 В	3,3 – 5,0 В	4,0 – 5,8 В
Потребляемый ток	до 1,5 мА	100 мкА	200 мкА
Диапазон рабочих температур	-40 ... +80°C	-40 ... +125°C	-40 ... +85°C
Тип выходного сигнала	Цифровой	Цифровой	Аналоговый
Встроенный сенсор температуры	Есть	Есть	Нет

## 1.6 Датчик углекислого газа

Поскольку дополнительной функцией проектируемого устройства является измерение концентрации углекислого газа в воздухе, рассмотрим датчики углекислого газа и их принцип работы.

Виды датчиков газа по принципу работы были указаны в подразделе 1.3.

Для реализации проектируемого устройства было рассмотрено три датчика углекислого газа: MH-Z19, SenseAir S8, MQ-135.

Цифровой датчик газа MH-Z19 измеряет концентрации углекислого газа в воздухе в диапазоне 0 – 5000 ppm, при этом точность измерений составляет  $\pm 50$  ppm. На рынке этот датчик, по сравнению с другими, имеет более высокую стоимость. Информация о датчике MH-Z19 была получена из источника [12].

Аналоговый датчик MQ-135 имеет широкий диапазон измерений от 0 ppm до 15000 ppm при этом данное устройство может функционировать при отрицательных температурах окружающей среды. Также стоимость MQ-135 не такая высока как у датчика MH-Z19. Информация о данном устройстве была получена из источника [13].



Цифровой датчик SenseAir S8 используется для измерения уровня углекислого газа в воздухе. Датчик имеет высокую точность измерения и может работать в диапазоне от 0 ppm до 5000 ppm. Информация о данном устройстве была получена из источника [14].

В таблице 1.5 представлены характеристики датчиков углекислого газа.

Таблица 1.5 – Характеристики датчиков углекислого газа

Параметр сравнения	MH-Z19	SenseAir S8	MQ-135
Рабочие напряжение	3.6 – 5.5 В	4.5 – 5.25 В	5.0 В
Максимальный потребляемый ток	150 мА	300 мА	150 мА
Диапазон измерения	0 – 5000 ppm	400 – 2000 ppm	0 – 15000 ppm
Точность измерения	±50 ppm	± 40 ppm	нет данных
Диапазон температур	0 ... +50°C	0 ... +50°C	-10 ... +45°C
Тип выходного сигнала	Цифровой	Цифровой	Аналоговый

## 1.7 Устройство отображения информации

Для реализации вывода информации с датчиков в понятной для человека форме, а также настройке устройства в проекте необходим дисплей. Наиболее удобными и простыми в использовании для таких задач являются знак синтезирующие жидкокристаллические дисплеи. Такие экраны могут одновременно отображать ограниченное количество символов.

При проектировании устройства было рассмотрено две модели жидкокристаллических дисплеев: LCD1602, LCD2004.

В таблице 1.6 представлены характеристики дисплеев LCD1602 и LCD2004. Данные о дисплеях были получены из источников [15, 16].

Таблица 1.6 – Характеристики жидкокристаллических дисплеев

Параметр сравнения	LCD1602	LCD2004
Напряжение питания	5 В	5 В
Максимальный потребляемый ток	120 мА	180 мА
Символов в строке	16 Шт	20 Шт
Количество строк	2 Шт	4 Шт
Диапазон рабочих температур	-20 ... +70°C	-20 ... +70°C
Размер экрана	64.5×16.0 мм	76.0×25.2 мм

## 1.8 Устройство воспроизведения звука

На рынке существует большое количество устройств воспроизведения звука, отличающихся по принципу работы. В качестве источника звука при проектировании устройства было решено использовать зуммер.

Конструкция зуммера представлена металлической пластиной с нанесенным на нее напылением из токопроводящей керамики. Пластина и напыление выступают в роли контактов. Устройство полярно, имеет свои положительный и отрицательный контакты.

Принцип действия зуммера основан пьезоэлектрическом эффекте. Согласно ему, при подаче электричества на зуммер он начинает деформироваться. При этом происходят удары о металлическую пластинку, которая и производит “шум” нужной частоты.

Существует два типа зуммеров активный и пассивный. При выборе устройства воспроизведения были рассмотрен как активный, так и пассивный зуммер.

Зуммер YL-44 является активным, а это значит, что он содержит генератор. Поэтому он издает звук всегда, когда на него подано напряжение. Информация о данном зуммере была получена из источника [17].

Пассивный зуммер KY-006 не имеет генератора, поэтому для работы ему необходим внешний. Информация о зуммере была получена из источника [18].

Информация об упомянутых зуммерах представлена в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Характеристики зуммеров

Параметр сравнения	YL-44	KY-006
Напряжение питания	3,3 – 5 В	3.5 – 5 В
Максимальный ток	30 мА	20 мА
Тип зуммера	Активный	Пассивный
Диапазон генерации тона	1.5 – 2.5 кГц	1.5 – 2.5 кГц

## **2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА**

### **2.1 Компоненты проектируемого устройства**

Проектируемое устройство должно выполнять такие функции, как измерение количества метана и углекислого газа в воздухе, определение температуры и влажности окружающей среды. Помимо измерений прибор должен сигнализировать о превышении норм, выводить актуальную информацию с датчиков и обладать возможностью настройки.

Исходя из изложенных функций можно выделить основные модули устройства:

- микроконтроллер;
- датчик метана;
- датчик температуры;
- датчик влажности;
- датчик углекислого газа;
- информационная панель;
- органы индикации;
- исполнительное устройство;
- органы управления;
- блок питания.

### **2.2 Описание взаимодействия модулей**

Модуль микроконтроллера является основным модулем, так как он взаимодействует со всеми блоками устройства.

Все датчики устройства, собрав информацию о параметрах окружающей среды, отправляют ее на микроконтроллер, который обрабатывает ее и в зависимости от алгоритма выполняет какие-либо действия.

Информационная панель выводит на экран данные, обработанные микроконтроллером, в удобной для понимания человеком форме.

Органы индикации также взаимодействуют с микроконтроллером. Но их основной задачей является привлечения внимания пользователя при нестандартных ситуациях.

Исполнительное устройство, как и органы индикации выполняет какие-либо действия, например, запуск вытяжки, при отклонении от установленных норм.

Органы управления предоставляют возможность настройки параметров работы устройства.

Блок питания обеспечивает все устройство энергией.

### **2.3 Построение структурной схемы**

Структурная схема, построенная на основании выделенных блоков, представлена в приложении А.

### 3 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА УЗЛОВ, ЭЛЕМЕНТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА

#### 3.1 Обоснование выбора микроконтроллера

Основой проектируемого устройства является микроконтроллер, поэтому важной задачей является выбор совместимого с периферией, а также достаточного по вычислительной мощности контроллера.

Для реализации устройства контроля концентрации метана были рассмотрены платы на основании микроконтроллеров, приведенных в подразделе 1.2. Плата Iskra Neo на микроконтроллере ATmega32U4, плата Teensy 3.6 на контроллере MK66FX1M0VMD18 и Arduino Uno на микроконтроллере ATmega328P.

Из приведенных плат особое внимание было уделено плате Arduino Uno, так как микроконтроллеры ATmega328P и ATmega32U4 имеют незначительные отличия, а микроконтроллер MK66FX1M0VMD18 хоть и обладает лучшими характеристиками, но имеет более высокую стоимость.

При выборе платы важным аспектом являлось наличие на рынке совместимой периферии, то есть различных датчиков, а также наличие библиотек, которые облегчают работу с периферией.

Таким образом была выбрана плата Arduino Uno.

Характеристики данного микроконтроллера приведены в таблице 3.1. Информация о плате Arduino Uno была получена из источника [19].

Таблица 3.1 – Характеристики платы Arduino Uno

Параметр	Arduino Uno
Микроконтроллер	ATmega328P
Тактовая частота	16 МГц
Количество цифровых входов/выходов	14 Шт
Количество аналоговых входов	6 Шт
Количество входов/выходов с ШИМ	6 Шт
Рабочее напряжение	5 В
Входное напряжение (рекомендуемое)	7 – 12 В
Входное напряжение (предельное)	6 – 20 В
Флеш-память	32 Кб
ОЗУ	2 Кб
EEPROM	1 Кб
Поддерживаемые интерфейсы	I2C, SPI, UART
Рабочая температура	-25 ... +85°C
Размеры	69 x 53 мм
Наличие встроенного светодиода	Есть
Наличие встроенного Wi-Fi модуля	Нет

Внешний вид контроллера представлен на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Изображение платы Arduino Uno

### 3.2 Обоснование выбора датчика метана

В качестве датчика метана выбран датчик MQ-4, поскольку он имеет ряд преимуществ перед датчиками MQ-9 и SGAS711.

Первым преимуществом является широкий диапазон измерений концентраций метана в воздухе. Второе преимущество – более высокая чувствительность к метану. Третье преимущество – довольно легкая работа с датчиком благодаря наличию готовых библиотек. И последнее, доступность датчика и довольно низкая цена.

Датчик метана MQ-4 представлен на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Датчик метана MQ-4

### 3.3 Обоснование выбора датчика температуры и влажности

При выборе датчика температуры были найдены такие датчики, которые совмещают в себе датчик температуры и датчик влажности. Такие датчики довольно удобны, так как они имеют единый корпус, а следовательно, будут занимать меньше места.

Под категорию таких датчиков, из рассмотренных ранее в подразделах 1.4 и 1.5, попадают два датчика: DHT22 и SHT31. Из оставшихся двух датчиков выбор пал на DHT22 из-за его большей распространённости на рынке.

Изображение датчика DHT22 представлено на рисунке 3.3.

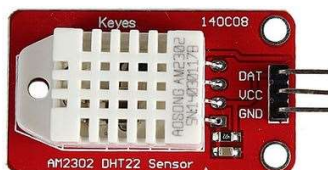


Рисунок 3.3 – Датчик температуры и влажности DHT22

### 3.4 Обоснование выбора датчика углекислого газа

В качестве датчика углекислого газа был выбран датчик MQ-135, хотя он и не является специализированным датчиком для измерения уровня CO<sub>2</sub>. Выбор был обусловлен тем, что цифровые датчики MH-Z19, SenseAir S8 имеют высокую стоимость по сравнению с MQ-135. Также выбранный датчик имеет широкий диапазон измерений и может измерять концентрацию углекислого газа при минусовых температурах.

Датчик MQ-135 представлен на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Датчик углекислого газа MQ-135

### 3.5 Обоснование выбора устройства отображения информации

Для вывода информации в понимаемом человеком виде используется дисплей.

Для реализации устройства контроля концентрации метана в помещении был выбран дисплей LCD2004, несмотря на то что данный дисплей потребляет

больший ток по сравнению с LCD1602, он может выводить больше информации в момент времени.

Для подключения дисплея была использована плата PCF8574, которая позволяет подключить экран используя шину I2C. Техническая документация к плате приведена в источнике [20].

Дисплей с платой PCF8574 изображен на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Дисплей LCD2004 с платой PCF8574

### 3.6 Обоснование устройства выбора воспроизведения звука

В качестве устройства воспроизведения звука был выбран активный зуммер YL-44. Преимуществом данного зуммера перед пищалкой КУ-006 является простота работы. Для воспроизведения звука достаточно подать постоянное напряжение на его контакты, и он будет издавать звук, в то время как на пищалку КУ-006 подавать изменяющиеся напряжение.

Внешний вид зуммера YL-44 представлен на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Зуммер YL-44



### 3.7 Обоснование выбора источника питания

Проектируемое устройство будет питаться от общего источника питания. Для расчёта необходимой мощности источника требуется провести анализ по отдельным модулям схемы.

В таблице 3.1 представлены электрические характеристики каждого модуля проектируемого устройства.

Таблица 3.1 – Электрические характеристики модулей устройства

Модуль	$U_{\text{пит}}$	$I_{\text{макс}}$	$P_{\text{потр}}$
Плата Arduino Uno	5 В	50 мА	0,25 Вт
Дисплей LCD2004	5 В	180 мА	0,9 Вт
Датчик MQ-4	5 В	150 мА	0,75 Вт
Датчик MQ-135	5 В	150 мА	0,75 Вт
Датчик DHT 22	5 В	1,5 мА	0,01 Вт
Светодиоды (2 шт)	5 В	40 мА	0,2 Вт
Зумер	5 В	30 мА	0,15 Вт
Суммарная мощность			3,01Вт

Анализ показал, что для питания устройства нужен источник с напряжением 5 В.

Далее округляя полученную мощность до одного знака после запятой в большую сторону, получаем  $P_{\text{потр}} = 3,1$  Вт. После получения мощности потребления следует взять запас по мощности источника питания приблизительно на 30%. Таким образом мощность источника питания должна быть равной  $P_{\text{пит}} = 4,1$  Вт.

Теперь нужно посчитать максимальный ток источника питания по формуле (3.1).

$$I_{\text{ист}} = \frac{P_{\text{ист}}}{U_{\text{ист}}} = \frac{4,1\text{Вт}}{5\text{ В}} = 0,82\text{ А} \quad (3.1)$$

Требуемый ток от источника питания округляем до одного знака после запятой в большую сторону, тогда  $I_{\text{ист}} = 0,9$  А. Далее делаем запас по току на 20% и таким образом получаем конечный ток источника питания равный  $I_{\text{ист}} = 1,08$  мА.

Источник питания для устройства контроля концентрации метана должен иметь выходное напряжение 5 В и выдавать максимальный ток нагрузки равный 1080 мА.

### **3.7 Разработка функциональной схемы**

Функциональная схема устройства контроля концентрации метана в помещении представлена в приложении Б.

## 4 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА

### 4.1 Расчет сопротивления для светодиода

В проектируемом устройстве предусмотрено три светодиода, которые будут предоставлять информацию о состоянии устройства.

Поскольку напряжение питания используемых светодиодов находится в пределах от 2 до 3 В, а цифровой выход платы Arduino Uno выдает напряжение 5 В, нужно обеспечить падения напряжения, а также ограничить ток, протекающий через диод. Для выполнения этих требований нужно подобрать резистор с подходящим сопротивлением.

Формула для нахождения сопротивления резистора:

$$R = (U_{\text{пит}} - U_{\text{д}}) / I_{\text{д}} \quad (4.1)$$

В формуле (4.1) напряжение питания равно  $U_{\text{пит}} = 5 \text{ В}$ , падение напряжения на светодиоде равно  $U_{\text{д}} = 2,5 \text{ В}$  и прямой ток, протекающий через диод, равен  $I_{\text{д}} = 20 \text{ мА}$ . Подставляя данные значения в формулу, находится сопротивление резистора  $R = 125 \text{ Ом}$ .

Поскольку резистора на 125 Ом не было найдено, было решено использовать резисторы с большим сопротивлением равным 160 Ом. Из-за использования резистора с большим номиналом свет, испускаемый светодиодом будет тусклее.

### 4.2 Расчет резисторов для аналоговой клавиатуры

Для настройки параметров устройства используется аналоговая клавиатура.

По принципу действия такое устройство представляет делитель напряжения. В зависимости от нажатой кнопки ток проходит по определенным резисторам, таким образом происходит изменение напряжения, которое фиксирует аналого-цифровой преобразователь.

На рисунке 4.1 представлена схема резистивной клавиатуры на четырех кнопках.

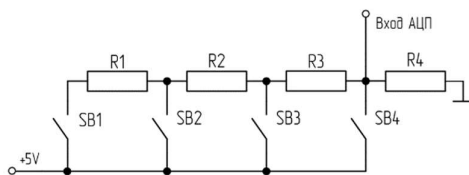


Рисунок 4.1 – Схема аналоговой клавиатуры

Для расчета резисторов в данной схеме можно использовать формулу (4.2), которая позволит подобрать резисторы таким образом, что интервалы при определении значений напряжения АЦП будут равными.

$$R_n = \frac{U_{\text{вх}} \times R_{\text{ст}}}{u \times (k - n)} - R_{\text{ст}} - \sum_{i=1}^{n-1} R_i, \text{ при } n \in Z \mid 1 \leq n \leq k - 1 \quad (4.2)$$

В приведенной формуле:  $u$  – шаг дискретности выходного напряжения определяемый  $u = U_{\text{вх}}/k$ ,  $R_{\text{ст}}$  – стягивающий резистор,  $k$  – количество кнопок,  $n$  – номер кнопки,  $U_{\text{вх}}$  – входное напряжение.

Подставляя значения в формулу и принимая значение стягивающего резистора за 10 кОм, получаем сопротивления резисторов  $R_3 = 3,3$  кОм,  $R_2 = 6,7$  кОм и резистор  $R_1 = 20$  кОм.

#### 4.3 Описание подключения модулей проектируемого устройства

В разделе 3 были выбраны конкретный модули для реализации устройства контроля концентрации метана. Поскольку основой устройства является микроконтроллер Arduino Uno, все модули будут подключаться к нему.

Плата Arduino Uno обладает различными разъемами подключения (см. рисунок 4.2).

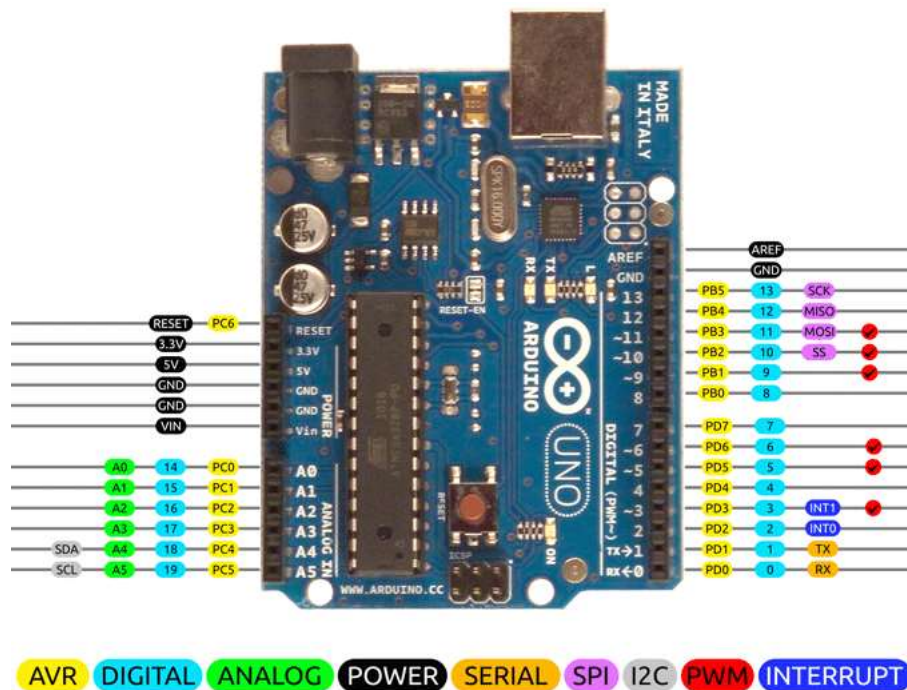


Рисунок 4.2 – Входы выходы платы Arduino Uno

Для обозначения платы Arduino Uno на принципиальной схеме, нужно заполнить таблицу, в которой приведено соответствие между названиями разъемов платы и их условным обозначением на схеме. Такое соответствие представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Соответствие разъемов платы условным обозначениям на схеме

Название разъема	Буквенно-цифровое обозначение разъема на плате	Условное обозначение на схеме
Аналоговый вход	A0	000
Аналоговый вход	A1	001
Аналоговый вход	A2	002
Аналоговый вход	A3	003
Аналоговый вход (SDA)	A4	004
Аналоговый вход (SCL)	A5	005
Шина I2C (SCL)	SCL	100
Шина I2C (SDA)	SDA	101
Опорное напряжение для АЦП	AREF	102
Земля для опорного напряжения	GND	103
Входной/выходной опорный	IOREF	200
Перезагрузка	RESET	201
Вывод напряжения 3,3 В	3,3 V	202
Вывод напряжения 5,0 В	5V	203
Ввод питания 7-12 В	Vin	204
Земля	GND	205
Земля	GND	206
Цифровой вход/выход	D0	300
Цифровой вход/выход	D1	301
Цифровой вход/выход	D2	302
Цифровой вход/выход	D3	303
Цифровой вход/выход	D4	304
Цифровой вход/выход	D5	305
Цифровой вход/выход	D6	306
Цифровой вход/выход	D7	307
Цифровой вход/выход	D8	308
Цифровой вход/выход	D9	309
Цифровой вход/выход	D10	310
Цифровой вход/выход	D11	311
Цифровой вход/выход	D12	312
Цифровой вход/выход	D13	313

К аналоговым входам A4 (SDA) и A5 (SDL) через интерфейс I2C подключается дисплей LCD2004, также на него подается питание от общего источника.

Датчики MQ-135 и MQ-4 подключаются к аналоговым входам A1 и A2 соответственно. Питание датчиков от общего источника напряжения.

Датчик температуры и влажности DHT22 подключается к источнику питания 5 В, а также цифровому входу платы D8.

Резистивная клавиатура подключается к аналоговому входу контроллера A0.

Кнопка для осуществления входа в меню настройки устройства подключается к цифровому входу контроллера D2, поскольку данный вход обладает прерыванием INT0. Также для избегания последствий дребезга контактов кнопки, она включается в цепь параллельно конденсатору.

Светодиоды устройства подключаются к цифровым выходам D4, D5, D6 последовательно с ток задающими резисторами.

Устройство оповещения YL-44 подключается к цифровому выходу контроллера D7, а также к общему источнику питания.

Электромеханическое реле для управления внешними устройствами реагирования подключается к цифровому выходу контроллера D9.

Микроконтроллер подключается к общему источнику питания через фильтр, состоящий из двух конденсаторов, так как для стабильной работы чипа, а также АЦП необходим сигнал без шумов.

#### **4.4 Построение принципиальной схемы устройства**

Принципиальная схема устройства контроля концентрации метана в помещении представлена в приложении В.

## **5 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

### **5.1 Требования к разработке программного обеспечения**

Программное обеспечение должно управлять различными блоками устройства, выполнять в нужное время определённые действия, а также обрабатывать исключительные ситуации.

Исходя из требований к проектируемому устройству, указанным в подразделе 1.1, можно определить основные задачи, которые должны выполняться программным обеспечением устройства.

Программа, исполняемая микропроцессорным устройством контроля концентрации метана, должна реализовывать следующие задачи:

- производить сбор информации с датчиков микропроцессорного устройства;
- отображать полученную с датчиков информацию на дисплее устройства;
- анализировать информацию, считанную с датчиков, и при превышении установленных максимальных значений включать светодиоды и пьезодинамик, открывать реле;
- обрабатывать нажатия кнопок на устройстве и в соответствии с нажатой кнопкой выполнять определенные действия;
- сохранять в постоянное запоминающее устройство измененные параметры срабатывания.

Также программа, исполняемая устройством, не должна превышать объемы памяти доступные микроконтроллеру ATmega328P.

### **5.2 Схема программы**

Схема программы представлена в приложении Д.

Рассмотрим приведенную в приложении схему программы.

Блоки 2 – 4 представляют собой действия, выполняемые один раз при запуске устройства. В блоке 2 происходит инициализация переменных и констант причем значения параметров срабатывания звуковой и световой сигнализации читаются из ПЗУ устройства. Режимы работы контактов платы микроконтроллера задаются в блоке 3. В 4 блоке происходит прогревание датчиков газа в течении 60 секунд, а после калибровка. Этот процесс сопровождается свечением синего светодиода.

Далее программа входит в цикл по считывания и обработки событий. В блоках 5 – 7 происходит опрос датчиков влажности, температуры, концентрации метана, а также датчика углекислого газа. Опрос происходит с периодичность в 2 секунды. После получения актуальных параметров окружающей среды, данные выводятся на дисплей устройства, блок 7.

Блоки 8 – 12 описывают анализ данных, считанных с датчиков газа. При превышении допустимых значений, будет включаться красный светодиод,

пъезодинамик, а также открываться реле. Если же параметры находятся в допустимых пределах, проверяется активность сигнализации и выполняется ее отключение, если она активна.

Блоки 13 – 16 имеют такую же логику только направлены они на анализ температуры и влажности окружающей среды.

В блоках 18 – 28 происходит вход в цикл обработки нажатий кнопок аналоговой клавиатуры. При нажатии на кнопки 1, 2 происходит перемещение по пунктам меню, а при нажатии на кнопки 3, 4 происходит увеличение или уменьшение параметров срабатывания сигнализации.

Блоки 29 – 30 описывают выход из меню редактирования параметров срабатывания, а также в блоке 30 происходит сохранение параметров в ПЗУ устройства.

### **5.3 Описание кода программы**

Код программы в приложении Е описывает алгоритм программы, представленный в подразделе 5.2.

В строках 1 – 5 подключение библиотек для работы с дисплеем и датчиками.

Задание константных значений и глобальных переменных описано в строках 7 – 69.

Установка 0 обработчика аппаратного прерывания происходит в строках 71 – 74. Данная функция будет вызывать при нажатии на кнопку для изменения флага меню.

Для определения номера нажатой кнопки на аналоговой клавиатуре написана функция представленная на строках 76 – 87.

В строках 90 – 112 осуществляется проверка была ли действительно нажата кнопка. Функция, описанная на данных строках, устраняетдребезг контактов.

Строки кода с 115 по 142 описывает алгоритм прогрева датчиков газа, а также вывод информации на дисплей устройства о оставшемся времени прогрева.

Для чтения данных с датчиков устройства была написана функция описанная на строках 144 – 154.

Функция для вывода информации о измеренных параметрах окружающей среды, а также выделение пунктов меню находится на строчках с 157 по 191.

Алгоритм, который описывает поведение устройства при выходе измеряемых параметров за допустимые значения, представлен на строках 194 – 231.

Функция, вход в которую осуществляется по нажатию кнопки, связанной с аппаратным прерыванием, находится на строках 233 – 299. Этот код выполняет изменения параметров срабатывания устройства по нажатию на органы управления устройства.



Далее на строках 301 – 322 находятся функции для чтения и записи данных в ПЗУ микроконтроллера. Эти функции используются при изменении параметров в настройках и при запуске устройства.

На строках 325 – 349 располагается код выполняемый всего лишь один раз при запуске устройства. В этой функции происходит инициализация вводов выводов платы Arduino.

Главный цикл программы, из которого происходит вызов основных функций находится на строках 352 – 365. В нем происходит опрос датчиков каждые две секунды и в зависимости от флага меню осуществляется переход в функцию меню параметров.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе выполнения данной работы было спроектировано и разработано микропроцессорное устройство контроля концентрации метана. Разработанное устройство выполняет основные функции газоанализатора метана.

Спроектированное устройство выполняет измерения параметров окружающей среды, выводит измеренные параметры на дисплей устройства, а также анализирует их. В случае превышения заданных значений сигнализирует об этом.

Плюсами данного устройства являются его простой принцип работы, относительно невысокая стоимость, удобный пользовательский интерфейс и приемлемое энергопотребление.

В дальнейшем планируется развивать и улучшать данное устройство. Возможные направления дальнейшего развития данного устройства могут включать увеличение количества поддерживаемых датчиков, а также установка более точных датчиков, улучшение дизайна и эргономики устройства, интеграцию с мобильными приложениями и облачными сервисами.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Документация atmega32u4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://datasheetspdf.com/pdf-file/912199/ATMEL/ATmega32U4/1>
- [2] Документация atmega328P [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf)
- [3] Документация MK66FX1M0VMD18 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/1045297/NXP/MK66FX1M0VMD18.html>
- [4] Документация MQ-4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf>
- [5] Документация SGAS711 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.renesas.com/us/en/document/dst/sgas711-datasheet>
- [6] Документация MQ-9 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-9\\_Hanwei.pdf](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-9_Hanwei.pdf)
- [7] Документация DHT22 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- [8] Документация DS18B20 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/58557/DALLAS/DS18B20.html>
- [9] Документация TMP36 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/49108/AD/TMP36.html>
- [10] Документация SHT31 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.glynshop.com/erp/owweb/Daten/Datenblaetter/Sensirion/SHT3x\\_LSS\\_V0.93.pdf](https://www.glynshop.com/erp/owweb/Daten/Datenblaetter/Sensirion/SHT3x_LSS_V0.93.pdf)
- [11] Документация HIH-4030 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/SEN-09569-HIH-4030-datasheet.pdf>
- [12] Документация MH-Z19 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.neumueller.com/datenblatt/neumueller/MH-Z19C.pdf>
- [13] Документация MQ-135 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-135\\_Hanwei.pdf](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-135_Hanwei.pdf)
- [14] Документация SenseAir S8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rmtplusstoragesenseair.blob.core.windows.net/docs/publicerat/PSP126.pdf>
- [15] Документация LCD1602 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.mouser.com/pdfdocs/DFR0464Datasheet.pdf>
- [16] Документация LCD2004 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TC2004A-01.pdf>
- [17] Документация YL-44 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://freedelivery.com.ua/arduino-100/moduli-137/zummer-modul-zvuka-zvukoizluchatel-dlya-arduino-2328.html>

[18] Документация KY-006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rxtx.su/mikrokontrollery/arduino/moduli-i-datchiki-k-arduino/modul-passivnogo-zummera-ky-006/>

[19] Документация Arduino Uno [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>

[20] Документация PCF8574 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCF8574\\_PCF8574A.pdf](https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCF8574_PCF8574A.pdf)

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
**(обязательное)**  
**Схема структурная**

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
**(обязательное)**  
**Схема функциональная**

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
**(обязательное)**  
**Схема принципиальная**

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**  
**(обязательное)**  
**Перечень элементов**



**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**  
**(обязательное)**  
**Схема программы**

**ПРИЛОЖЕНИЕ Е**  
**(обязательное)**  
**Код программы**