Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Факультет компьютерных систем и сетей

Кафедра электронных вычислительных машин

Дисциплина: Структурная и функциональная организация электронных вычислительных машин

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовому проекту

на тему

МЕТЕОСТАНЦИЯ С СИСТЕМОЙ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

БГУИР КП 1–40 02 01 01 327 ПЗ

Студент: П. В. Сякачёв

Руководитель: А. А. Воронов

МИНСК 2022

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Факультет: ФКСиС. Кафедра: ЭВМ.

Специальность: 40 02 01 «Вычислительные машины, системы и сети».

Специализация: 40 02 01-01 «Проектирование и применение локальных компьютерных сетей».

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ЭВМ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Б.В.Никульшин

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2022 г.

ЗАДАНИЕ

по курсовому проекту студента

Сякачёва Павла Владимировича

**1** Тема проекта: «Метеостанция с системой сбора и передачи информации об окружающей среде».

**2** Срок сдачи студентом законченного проекта: 13 мая 2022 г.

**3** Исходные данные к проекту:

**3.1** Микроконтроллер.

**3.2** Датчики температуры и влажности.

**3.3** Датчик пыли.

**3.4** Датчик формальдегида.

**3.5** Датчик CH4.

**3.6** GPS-модуль.

**4** Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке

вопросов):

Введение 1. Обзор литературы. 2. Разработка структурной схемы. 3. Разработка функциональной схемы. 4. Разработка принципиальной схемы. Заключение. Список использованных источников. Приложения.

**5** Перечень графического материала (с точным указанием обязательных

чертежей):

**5.1** Метеостанция с системой сбора и передачи информации об окружающей среде. Схема электрическая структурная.

**5.2** Метеостанция с системой сбора и передачи информации об окружающей среде. Схема электрическая функциональная.

**5.3** Метеостанция с системой сбора и передачи информации об окружающей среде. Схема электрическая принципиальная.

**5.4** Метеостанция с системой сбора и передачи информации об окружающей среде. Чертёж электромонтажный.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование этапов  дипломного проекта | Объем  этапа,  % | Срок выполнения этапа | Примечания |
| Подбор и изучение литературы | 5 | 05.02 – 20.02 |  |
| Подбор компонентов | 20 | 20.02 – 10.03 |  |
| Разработка устройства | 40 | 10.03 – 01.04 |  |
| Сборка устройства | 20 | 01.04 – 20.04 |  |
| Оформление пояснительной записки | 15 | 20.04 – 10.05 |  |

Дата выдачи задания: 05.02.2022

Руководитель А. А. Воронов

ЗАДАНИЕ ПРИНЯЛ К ИСПОЛНЕНИЮ \_\_\_\_\_\_\_\_ П. В. Сякачёв

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 5](#_Toc103763532)

[1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ 6](#_Toc103763533)

[1.1 Мониторинг воздушной окружающей среды 6](#_Toc103763534)

[1.2 Принципы автоматизации мониторинга окружающей среды 7](#_Toc103763535)

[1.3 Интерфейсы передачи данных 8](#_Toc103763536)

[1.4 Обзор аналогов 9](#_Toc103763537)

[2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ 11](#_Toc103763538)

[2.1 Описание структурной схемы 11](#_Toc103763539)

[2.2 Принцип работы схемы 20](#_Toc103763540)

[3 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ 21](#_Toc103763541)

[3.1 Микроконтроллер 21](#_Toc103763542)

[3.2 Датчик температуры и влажности 21](#_Toc103763543)

[3.3 Датчики газов модели MQ 21](#_Toc103763544)

[3.4 Датчик формальдегида 21](#_Toc103763545)

[3.5 Датчик качества воздуха 22](#_Toc103763546)

[3.6 Датчик газов (оксид углерода, диоксид азота, аммиак) 22](#_Toc103763547)

[3.7 Датчик пыли 22](#_Toc103763548)

[3.8 GPS-модуль 22](#_Toc103763549)

[3.9 Устройства вывода 22](#_Toc103763550)

[4 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ 23](#_Toc103763551)

[4.1 Датчик температуры и влажности 23](#_Toc103763552)

[4.2 Датчики газов модели MQ 23](#_Toc103763553)

[4.3 Датчик формальдегида 23](#_Toc103763554)

[4.4 Датчик качества воздуха 23](#_Toc103763555)

[4.4 Датчик газов (оксид углерода, диоксид азота, аммиак) 24](#_Toc103763556)

[4.4 Датчик пыли 24](#_Toc103763557)

[4.4 GPS-модуль 24](#_Toc103763558)

[4.4 Микроконтроллер 24](#_Toc103763559)

[4.5 Устройство вывода 24](#_Toc103763560)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 26](#_Toc103763561)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 27](#_Toc103763562)

[ПРИЛОЖЕНИЕ А 29](#_Toc103763563)

[ПРИЛОЖЕНИЕ Б 30](#_Toc103763564)

[ПРИЛОЖЕНИЕ В 31](#_Toc103763565)

[ПРИЛОЖЕНИЕ Г 32](#_Toc103763566)

[ПРИЛОЖЕНИЕ Д 33](#_Toc103763567)

[ПРИЛОЖЕНИЕ Е 34](#_Toc103763568)

# ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в мире всё больше поднимаются вопросы изменения климата, глобального потепления и подобные проблемы. Люди понимают, что такие изменения могут сильно повлиять на природу Земли и на них самих. Таким образом становится важным регистрировать и анализировать изменение параметров климатических условий, для чего создаются метеостанции – специальные учреждения для проведения таких анализов. Так же для упрощения работы людей разрабатываются портативные метеостанции-устройства, которые сами обрабатывают информацию и отправляют её для проведения дальнейших анализов.

Целью данного дипломного проекта является разработка аппаратно программного комплекса для мониторинга окружающей среды. Предполагается, что данный комплекс будет накапливать и систематизировать следующие данные:

− концентрация в воздухе частиц пыли PM2.5 и PM10;

− степень загрязненности воздуха летучими органическими веществами;

− степень загрязненности воздуха сжиженными углеводородными газами;

− концентрация в воздухе газов CO, NH3, NO2, CH2O, C7H8,H2, C3H8,

CH4, C4H10, O3;

− концентрация в воздухе природного газа, паров спирта;

− регистрация гамма-фотонов и жесткого бета-излучения;

− местонахождение комплекса.

В качестве устройства управления для аппаратной части будет использоваться микроконтроллер STM32. Основными преимуществами данного микроконтроллера являются низкая стоимость, удобство использования, большой выбор сред разработки, высокая производительность и удобная отладка микроконтроллера. Прошивка будет выполнена на языке Си.

Разрабатываемое устройство может быть в перспективе полезно в научных, учебных и профессиональных сферах.

Разработка данного проекта повышает навыки разработки электрических устройств, работы с микроконтроллерами и датчиками, используя различные интерфейсы приема-передачи информации. В результате выполнения проекта даётся возможность практики в разработке аппаратного обеспечения и документации к нему.

В будущем данная разработка может быть усовершенствована для дальнейшего применения и практического использования в различных сферах. Основной рынок покупателей может прийтись на учебные заведения, научные институты или иные коммерческие организации.

# 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

## 

## 1.1 Мониторинг воздушной окружающей среды

Под мониторингом понимают систему наблюдений, оценки и прогноза состояния окружающей среды. Основной принцип мониторинга – это непрерывное слежение. Главная цель – это наблюдение за состоянием окружающей среды и уровнем ее загрязнения. Мониторинг воздушной окружающей среды – это система наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, а также оценка и прогноз изменения качества атмосферного воздуха в целях своевременного выявления негативных воздействий природных и антропогенных факторов.

Обычно в программу мониторинга входят наблюдения за изменениями в различных сферах содержания загрязняющих веществ, обладающих канцерогенными, мутагенными и иными неблагоприятными свойствами. Постоянным наблюдениям в атмосферном воздухе подвергаются следующие загрязняющие вещества, наиболее опасные для природных экосистем и человека: оксиды углерода, азота, диоксид серы, озон, пыль, аэрозоли, тяжелые металлы, летучие органические вещества, пары спирта. Тщательно исследуют и такие вредные физические воздействия, как радиацию, гамма-фотоны и жесткое бета излучение.

Существуют следующие подходы к мониторингу:

1. Косвенный мониторинг. Основан на оценках, которые получают путем использования замещающих параметров или расчетов материальных балансов.

2. Прямой мониторинг. Основан на инструментальных замерах.

Выбор подхода к мониторингу проводится на основе соответствия поставленной цели, то есть отвечает ли метод первоначальной цели проведения мониторинга.

Замещающие параметры являются измеряемыми показателями, которые могут быть прямо или косвенно сопоставлены со стандартными прямыми измерениями загрязнителей и которые могут стать предметом мониторинга или использования взамен прямых показателей. В некоторых случаях они могут быть даже более точными по сравнению с результатами прямых измерений, однако применение замещающих параметров не всегда возможно.

Мониторинг материальных балансов является методом, позволяющим учитывать поступление, накопление, выход, а также генерирование или разрушение рассматриваемых веществ. Такой подход часто применяется на промышленных предприятиях для контроля выбросов и сбросов в окружающую среду. Материальные балансы могут использоваться для оценки выбросов, сбросов и образования отходов от производственного объекта, процесса или технологического подразделения. Выбросы и сбросы в окружающую среду и образование отходов затем рассчитываются на основе разницы в балансе. Материальные балансы могут использоваться только в случае, когда определены точные значения поступления и удаления материалов и их количественные параметры, но незначительная погрешность на любом отдельном этапе расчетов может существенно повлиять на конечные оценки значений.

При определении требований к проведению мониторинга также следует учитывать различные временные факторы. Важно определить точные периоды проведения измерений. Другим значимым фактором является время осреднения результатов измерений и частота измерений.

Мониторинг воздушной среды очень важен, так как атмосферный воздух является жизненно важным компонентом окружающей среды, неотъемлемой частью среды обитания человека, растений и животных. Мониторинг воздушной среды является очень трудоемким процессом, особенно при использовании подхода прямых измерений. Кроме того, неавтоматизированный процесс не позволяет достигнуть необходимой оперативности измерений и непрерывности временных рядов. Это целесообразно использовать только для периодического определения таких параметров и характеристик, которые не требуют непрерывного контроля. Поэтому все чаще и чаще прибегают к автоматизации данного процесса. Принципы автоматизации мониторинга окружающей среды будут рассмотрены в следующем подразделе.

## 1.2 Принципы автоматизации мониторинга окружающей среды

В основе автоматизированной системы мониторинга окружающей среды должны преимущественно лежать такие принципы, как оперативность и автоматизация. Оперативность подразумевает, что данные должны поступать в реальном масштабе времени. Оперативность работы автоматизированной системы мониторинга окружающей среды предполагает также сокращение временных рамок принятия решения по классификации наблюдаемого объекта. Поэтому необходимо автоматизировать не только процесс сбора данных, но и обработку данных. Система должна программно воспроизводить результаты измерений, чтобы привлечь внимание к объектам, угрожающим экологическому состоянию наблюдаемой территории.

Одним из принципов является автоматизация получения информации от средств измерения. Осуществляется за счет автоматической передачи данных от различных средств измерения, датчиков на всех этапах получения и обработки информации.

Рекомендуемым принципом построения автоматизированной системы мониторинга окружающей среды является модульная структура. Каждый модуль может работать независимо от остальных, что увеличивает надежность системы в целом. Такой принцип построения системы мониторинга позволяет внедрять в нее новые модули без значительной модификации структуры системы, и разрабатывать новое аппаратное и программное обеспечение в то время, когда система уже выполняет свои функции с первоначальным набором аппаратных и программных средств. Помимо сокращения времени ввода системы мониторинга окружающей среды в эксплуатацию, такой подход дает значительный экономический эффект. Несмотря на то, что модули системы могут работать независимо друг от друга, при интеграции информации, поступающей от нескольких датчиков, можно повысить качество решения задачи мониторинга.

Определение геолокации является неотъемлемой частью автоматизированной системы мониторинга окружающей среды. Это позволяет осуществлять комплексное представление информации в виде экологических карт. В настоящее время такие карты составляются только эпизодически.

Подводя итоги, автоматизированная система мониторинга окружающей среды должна позволять:

− собирать данные о состоянии окружающей среды в реальном масштабе времени;

− автоматически передавать собранные данные;

− обрабатывать собранные данные; − наглядно отображать результаты измерений;

− внедрять новый функционал без значительной модификации структуры системы;

− отображать собранные данные в наглядном виде;

− определять и отображать геолокацию.

## 1.3 Интерфейсы передачи данных

Задачей данного проекта является разработка устройства, для которого нужно подключить и обработать информацию с множества датчиков, которые работают по различным интерфейсам. Интерфейс [5] — граница между двумя функциональными объектами, требования к которой определяются стандартом; совокупность средств, методов и правил взаимодействия (управления, контроля и т. д.) между элементами системы.

### 1.3.1 Программный интерфейс I2C

I²C [6] (Inter-Integrated Circuit) — последовательная асимметричная шина для связи между интегральными схемами внутри электронных приборов. Использует две двунаправленные линии связи (SDA и SCL), применяется для соединения низкоскоростных периферийных компонентов с процессорами и микроконтроллерами (например, на материнских платах, во встраиваемых системах, в мобильных телефонах).

Шина I2C синхронная, состоит из двух линий: данных (SDA) и тактов (SCL). Есть ведущий (master) и ведомые (slave). Инициатором обмена всегда выступает ведущий, обмен между двумя ведомыми невозможен. Всего на одной двухпроводной шине может быть до 127 устройств.

Такты на линии SCL генерирует master. Линией SDA могут управлять как мастер, так и ведомый в зависимости от направления передачи. Единицей обмена информации является пакет, обрамленный уникальными условиями на шине, именуемыми стартовым и стоповым условиями. Мастер в начале каждого пакета передает один байт, где указывает адрес ведомого и направление передачи последующих данных. Данные передаются 8-битными словами. После каждого слова передается один бит подтверждения приема приемной стороной.

### 1.3.2 Программный интерфейс UART/USART

UART [7] (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) - универсальный асинхронный приёмопередатчик, интерфейс для связи цифровых устройств, предназначенный для передачи данных в последовательной форме.

USART (Universal Synchronous-Asynchronous Receiver/Transmitter) - универсальный синхронно-асинхронный приёмопередатчик - аналогичный UART интерфейс, но дополнительно к возможностям UART, поддерживает режим синхронной передачи данных - с использованием дополнительной линии тактового сигнала.

Передача данных в UART осуществляется по одному биту в равные промежутки времени. Этот временной промежуток определяется заданной скоростью UART и для конкретного соединения указывается в бодах.

### 1.3.3 Аппаратный интерфейс ADC

Аналогово-цифровой преобразователь (ADC, analog-to-digital converter) - устройство, преобразующее величину входного аналогового сигнала в цифровой код. Обратное преобразование осуществляется при помощи цифро-аналогового преобразователя (ЦАП, DAC).

## 1.4 Обзор аналогов

### 1.4.1 Метеостанция Сокол М-1

Одним из аналогов разрабатываемой метеостанции является метеостанция Сокол М-1 [9] – комплекс устройств, предназначенных для измерения, сохранения, анализа и передачи метеорологических параметров окружающей среды, получения климатодиаграммы в автоматическом режиме. Такая метеостанция отслеживает и прогнозирует погодные условия и дает информацию для оперативного планирования работ. Активно используется в сельском хозяйстве и строительстве.

Конструкция метеостанции Сокол-М1 включает следующие элементы:

* датчики контроля параметров воздуха (температуры, атмосферного давления, относительной влажности), уровня ультрафиолета солнечного излучения;
* блок регистрации и анализа данных;
* встроенная в корпус цифровая камера;
* выносные измерители направления и скорости ветра;
* аккумулятор;
* солнечная панель.

### 1.4.2 Метеостанция Vaisala TacMet MAWS201M

Тактическая система метеорологических наблюдений Vaisala TacMet MAWS201M [10] – разворачиваемая в полевых условиях компактная метеорологическая станция для различных полевых операций.

В состав системы входит:

* набор датчиков скорости и направления ветра;
* атмосферного давления;
* температуры воздуха;
* относительной влажности и осадков;
* взаимодействие с интеллектуальными датчиками;
* измеритель высоты нижней границы облаков;
* датчик текущей погоды и детектор ударов молнии.

### 1.4.3 Метеостанция Davis Vantage Pro2 6152RU

Метеостанция Davis Vantage Pro2 6152RU [11] состоит из блока датчиков сбора внешних метеоданных ISS и консоли управления с дисплеем и блоком питания. В консоль встроены датчики измерения температуры, влажности воздуха и атмосферного давления. Блок ISS устанавливается снаружи помещения, а консоль управления внутри. Данные с ISS в консоль управления передаются по радиомодему (беспроводным способом). Блок ISS включает в себя беспроводной модуль передачи данных и следующие датчики: самоосвобождающийся дождевой коллектор для измерения уровня осадков; анемометр для измерения скорости и направления ветра; датчики измерения температуры и влажности воздуха.

# 2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ

## 2.1 Описание структурной схемы

Система состоит из следующих блоков:

1. датчик температуры и влажности AHT10;

2. датчик широкого спектра газов MQ-2;

3. датчик паров спирта MQ-3;

4. датчик природного газа MQ-4;

5. датчик газов (метан, природный газ, бытовой газ) MQ-5;

6. датчик газов (изобутан, пропан, сниженный углерод) MQ-6;

7. датчик угарного газа MQ-7;

8. датчик газа MQ-8;

9. датчик горючих и угарного газа MQ-9;

10. датчик озона MQ131;

11. датчик углекислого газа MQ135;

12. датчик пыли SDS011;

13. датчик качества воздуха CCS811;

14. датчик газов (оксид углерода, диоксид азота, аммиак) MICS6814;

15. датчик формальдегида CJMCU-1100.

16. Микроконтроллер STM32F407VGTx

AHT10 – это высокоточный цифровой датчик температуры. Датчик имеет интерфейс I2C и подключается как любое другое устройство с I2C, на контакты SDA и SCL. На плате модуля установлен стабилизатор напряжения питания и конвертер уровней для шины I2C. Данный датчик представлен на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Датчик AHT10

Датчик MQ-2 позволяет выявлять минимальную концентрацию водорода и углеводородных газов (пропан, метан, бутан). Датчик относится к семейству датчиков MQ, которые отличаются низкой стоимостью, простотой использования и легкостью подключения. Принцип работы основан на детекторе, изготовленного из сплава оксида олова и алюминия, который в процессе работы сенсора существенно нагревается. В результате химической реакции, происходящей при попадании молекул углеводородных газов на чувствительный элемент, изменяется сопротивление сенсора. Измеряя изменение сопротивление, можно узнать точное значение концентрации газа в воздухе. При измерении газа используются единицы измерения доли на миллион (ppm) – это отношение одного газа к другому. Датчик MQ-2 изображен на рисунке 2.2.

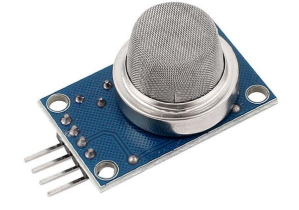


Рисунок 2.2 – Датчик MQ-2

Датчик паров спирта MQ-3, датчик природного газа MQ-4, датчик горючих газов MQ-5, датчик сжиженных нефтяных газов MQ-6, датчик угарного газа MQ-7, датчик газа MQ-8, датчик горючих и угарного газов MQ-9 относятся к полупроводниковым приборам. Принцип работы датчиков основан на изменении сопротивления тонкопленочного слоя олова SnO2 при контакте с молекулами определяемого газа. Чувствительный элемент датчиков состоит из керамической трубки с покрытием AI2O3 и нанесенного на нее чувствительного слоя диоксида олова. Внутри трубки проходит нагревательный элемент, который нагревает чувствительный слой до температуры, при которой он начинает реагировать на определяемый газ. Чувствительность к разным газам достигается варьированием состава примесей в чувствительном слое. В датчиках предусмотрено два режима работы, переключаемых джампером:

− нагреватель датчика постоянно включен, таким образом можно обойтись одним трехпроводным шлейфом;

− управление нагревателем программно. Датчик MQ-3 представлен на рисунке 2.3, датчик MQ-4 представлен на рисунке 2.4, датчик MQ-5 – на рисунке 2.5, датчик MQ-6 – на рисунке 2.6, датчик MQ-7 – на рисунке 2.7., датчик MQ-8 представлен на рисунке 2.8, датчик MQ-9 – на рисунке 2.9.



Рисунок 2.3 – Датчик MQ-3

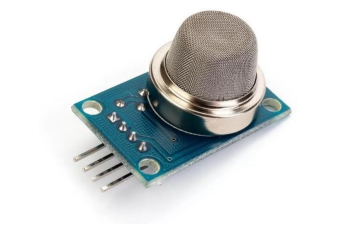


Рисунок 2.4 – Датчик MQ-4



Рисунок 2.5 – Датчик MQ-5



Рисунок 2.6 – Датчик MQ-6



Рисунок 2.7 – Датчик MQ-7



Рисунок 2.8 – Датчик MQ-8



Рисунок 2.9 – Датчик MQ-9

Датчик озона MQ1-31, представляет собой полупроводниковый оксид металла с высокой электрической проводимостью в чистом воздухе. Когда озон присутствует в среде, в которой находится датчик, проводимость датчика уменьшается по мере увеличения концентрации озонового газа в воздухе. Изменение проводимости может быть преобразовано в выходной сигнал, соответствующий концентрации газа с помощью простой цепи. Датчик озона MQ131 обладает высокой чувствительностью к озону и обладает определенной чувствительностью к сильным окисляющим газам, таким как хлор и диоксид азота, и реагирует на органические помехи газа в противоположном направлении к озону. Датчик MQ131 изображен на рисунке 2.10.



Рисунок 2.10 – Датчик MQ-131

MQ-135 – это датчик газа, который обнаруживает в воздухе концентрацию углекислого газа, угарного газа, ацетона, аммония, спирта и дыма. Датчик является одним из датчиков серии MQ. Обнаружение концентрации газов в датчике происходит за счет измерения сопротивления чувствительного материала при взаимодействии газов с этим чувствительным материалом. Датчик обнаруживает концентрации углеводородных газов, паров спирта, пропана, метана, водорода и дыма примерно от 300 до 10000 миллионных долей (ppm). Основным рабочим элементом датчика является нагревательный элемент, за счет которого происходит химическая реакция, в результате которой получается информация о концентрации газа. В процессе работы датчик должен нагреваться. Также необходимо помнить, что за счет нагревательного элемента, датчик потребляет большой ток, поэтому рекомендуется использовать внешнее питание. Основным элементом датчика является нагреватель, он же является и основным потребителем энергии. Ввиду этого, на плате предусмотрен вывод питания нагревателя. Таким образом, можно управлять нагревателем для экономии энергопотребления. Датчик MQ135 изображен на рисунке 2.11.



Рисунок 2.11 – Датчик MQ-135

Датчик пыли PM2.5 и PM10 качества воздуха SDS011 используется для определения качества воздуха путем измерения концентрации ультрадисперсных частиц (PM), размер которых менее 100 нм, а именно PM2.5 и PM10. Частицы PM2.5 имеют размер 2.5 микрон, частицы PM10 имеют размер 10 микрон. Принцип действия датчика заключается в том, что через отверстие с помощью кулера в измерительную зону датчика втягивается воздух, там воздух облучается лазером, количество отраженного частицами света попадает на чувствительный элемент датчика и преобразовывается в электрические импульсы, воздух выдувается через выходное отверстие. Датчик изображен на рисунке 2.12.



Рисунок 2.12 – Датчик SDS011

CCS811 – малопотребляющий газовый датчик, который позволяет измерять концентрацию летучих органических веществ в диапазоне 0..1187 ppb и концентрацию CO2 в диапазоне 400 …8192 ppm. Структурная схема CCS811 включает два основных блока: датчик MOX (Metal Oxide Semiconductor) и встроенный микроконтроллер. Микроконтроллер обеспечивает опрос датчика, связь с внешним управляющим процессом по I2C и управление системой питания. Для связи с внешним управляющим контроллером используется интерфейс I2C: линии SCL и SDA, а также линии адреса A0. Отличительной чертой CCS811 является низкий уровень потребления, которого можно достичь за счет использования минимального рабочего напряжения питания 1.8 В, а также с помощью встроенных рабочих режимов с различным уровнем потребления. В CCS811 используется МОХ-датчик (Metal Oxide), сопротивление которого зависит от концентрации ЛОВ. При полном отсутствии ЛОВ сопротивлении минимально. Датчик CCS811 изображен на рисунке 2.13.

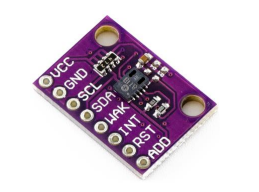


Рисунок 2.13 – Датчик ССS811

Датчик CJMCU-1100используется для обнаружения формальдегида, толуола, бензола и других летучих органических веществ, это полупроводниковый датчик, который широко используется в вентиляционном оборудовании, вентиляторах, воздушных фильтрах, капотах, вытяжки и другом оборудование. С высокой чувствительностью и стабильностью, он может обнаруживать концентрацию выше 0.1 ppm. Данный датчик представлен на рисунке 2.14.



Рисунок 2.14 – датчик CJMCU-1100

Также в аппаратной части комплекса используется GPS модуль NEO-6M. Данный модуль имеет керамическую антенну, встроенный чип памяти и резервную батарею. Основа модуля это GPS-чип NEO-6M с шагом контактов от 0.1 мм. Для связи с микроконтроллером используется UART. Чип способен отслеживать до 22 спутников на 50 каналах с большим уровнем чувствительности (161 дБ). Данный модуль представлен на рисунке 2.15.



Рисунок 2.15 – GPS модуль NEO-6M

Для отправки данных на сервер используется GSM-модуль SIM800L. С помощью данного модуля можно отправлять SMS-сообщения, совершать или принимать телефонные звонки, подключаться к Интернету через GPRS, TCP/IP и многое другое. А также, модуль поддерживает четырехдиапазонную сеть GSM/GPRS. В основе модуля лежит чип SIM800L от SimCom. Рабочее напряжение чипа составляет от 3.4В до 4.4В. Для подключения к сотовой сети, нужна внешняя антенна. Данный модуль представлен на рисунке 2.16.

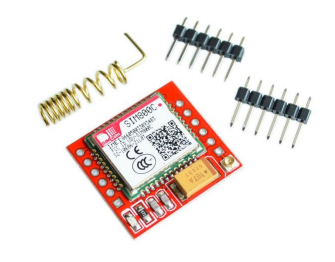


Рисунок 2.16 – Модуль SIM800L

Датчиками и модулями управляет микроконтроллер STM32F407. Данный микроконтроллер базируется на ядре Cortex-M4. Ядро Cortex-M4 поддерживает инструкции DSP и имеет блок операций с плавающей запятой. Архитектура набора команд имеет дополнительный набор инструкций с насыщением и SIMD инструкций, которые представляют DSP-расширение.

Ядро Cortex-M4 поддерживает набор инструкций Thumb-2. Thumb-2 включает смешанные 32-х и 16-ти битные инструкции, что дает возможности достичь компромисс между быстродействием и плотностью кода. При этом поддерживается набор Thumb, являясь подмножеством Thumb-2.

Центральное процессорное устройство микроконтроллера STM32F407 реализовано по Гарвардской архитектуре. Но при этом, Гарвардская архитектура реализована не классическим образом. Ядро имеет раздельные каналы для инструкций и данных, но инструкции и данные разделят одно и тоже адресное пространство, и физически могут находится на одном устройстве. Центральное процессорное устройство включает интерфейсы контроллера вложенных векторизованных прерываний, шины инструкций, шины данных, отладки, логику управления, систему выборки, дешифрации и исполнения команд, арифметико-логическое устройство и банк регистров.

В центральном процессорном устройстве реализован трехступенчатый конвейер. Обработка каждой команды осуществляется в три этапа – выборка, декодирование, выполнение.

Контроллер вложенных векторизованных прерываний позволяет управлять работой системы прерываний микроконтроллера. Понятие «вложенных» подразумевает, что при выполнении прерываний они могут прерываться другими прерываниями, имеющими более низкое значение уровня приоритета. Понятие «векторизованных» означает, что каждый тип прерывания имеет собственный вектор – адрес, по которому сразу же при возникновении прерывания будет передано управление.

Также в ядро микроконтроллера встроен 24-х битный системный таймер обратного отсчета, производящий декрементирующий отсчет от заданного значения до 0. По достижении 0 происходит прерывание. Таймер соединен с контроллером вложенных векторизованных прерываний. Он может использоваться для различных целей, требующих совершения периодических действий. Основное целевое назначение – системный таймер операционных систем.

Контроллер пробуждающих прерываний (КПП) – это модуль, связанный с контроллером вложенных векторизованных прерываний, но отделенный от основной схемы процессора. Предназначен для пробуждения системы в тех случаях, когда процессор, включая контроллер вложенных векторизованных прерываний, полностью отключён. Для ядер Cortex-M4 данный модуль является опциональным.

Модуль защиты памяти (МЗП) предназначен для повышения надёжности системы, путем управления правами доступа к определенным регионам памяти. Данный модуль позволяет делить карту памяти на регионы (до 8 регионов, возможны и подрегионы), определять для каждого региона локализацию, размер, права доступа и атрибуты памяти. При помощи модуля защиты памяти, можно, например, запретить непривилегированному коду изменять данные в областях системной памяти, или определить некоторые области оперативной памяти как неиспользуемые, для предотвращения возможности внедрения в них вредоносного кода.

Цифровой сигнальный процессор (Цифровой Процессор Обработки Сигналов – ЦПОС, Digital Signal Processor – DSP) представляет расширение центрального процессорного устройства, реализующее команды, специально нацеленные на ускорение обработки оцифрованных сигналов, SIMD-инструкций, инструкций умножения-сложения. Данный модуль может применяться для компрессии/декомпрессии сигналов, подавления шумов, сглаживания сигналов.

Математический сопроцессор (FPU – Floating Point Unit) – это модуль, предназначенный для осуществления операций с плавающей запятой. Он реализует вычислительные операции одинарной точности, то есть число занимает 32 бита. Математический сопроцессор имеет 5 системных регистров, и 32 32-х битных численных регистра, доступ к которым может осуществляться так же, как к 16-ти 64-битным регистрам для операций загрузки, сохранения и перемещения.

Системный контрольный блок (SCB – System Control Block) – это модуль, содержащий регистры, поддерживающие получение системной информации и осуществление системного контроля.

Матрица шин (Bus Matrix) – это модуль внутрипроцессорной коммуникации шин, соединяющий компоненты ядра с внешними (по отношению к ядру) шинами. Внешние шины, соединяющие ядро с периферией микроконтроллера, реализуют соответствующие варианты спецификации шинной архитектуры AMBA 3 (ARM Advanced Microcontroller Bus Architecture – Развитая Шинная Архитектура Микроконтроллера). Cortex-M4 предоставляет три первичных шинных интерфейса реализующих вариант протокола AMBA 3 AHB-Lite, являющегося урезанным вариантом AHB (Advanced High-performance Bus – Развитая Высокопроизводительная Шина), и один интерфейс для системы отладки, реализующий AMBA 3 APB (Advanced Peripheral Bus – Развитая Шина Периферии) протокол.

Система отладки представляет собой целостную структуру, включающую в себя ряд компонентов. Часть этих компонентов архитектурно входят в состав ядра Cortex-M4, другие, по отношению к нему, рассматриваются как внешние периферийные устройства. Функционально система отладки представляет собой отдельную систему, достаточно независимую от основной вычислительной системы, что позволяет минимизировать влияние процесса отладки на выполнение программы. Также система отладки представляет подмножество системы отладки ARM CoreSight.

Таблица ПЗУ используется для автоматического обнаружения отладчиком компонентов отладки. Таблица содержит сведения о расположении в памяти системных компонентов и компонентов отладки. Компоненты отладки имеют идентификаторы, позволяющие определить их присутствие в системе, а также идентификаторы, определяющие особенности их реализации. Два младших бита значения в таблице ПЗУ определяют наличие компонента. Если они оба установлены, значить компонент присутствует. Остальные биты определяют смещение начала регистров компонента в памяти от стартового адреса таблицы ПЗУ.

Для взаимодействия микроконтроллера и периферии будут использоваться интерфейсы UART, I2C и аналоговые сигналы.

## 2.2 Принцип работы схемы

Устройство, разрабатываемое в данном курсовом проекте, использует различные виды датчиков, которые фиксируют следующие параметры воздуха: температуру, влажность, содержание метана, формальдегида, содержание пыли. Сигналы с этих датчиков поступают на микроконтроллер, который обрабатывает пришедшие данные и отправляет их в блок вывода. Блок вывода отображает все вышеописанные параметры.

Схема электрическая структурная разрабатываемой системы приведена в приложении А.

# 3 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Схема электрическая функциональная разрабатываемой системы представлена в приложении Б.

Ниже приведены описания требований к компонентам. Требования основаны на условиях работы устройства, связь компонентов основывается на структурной схеме из предыдущего раздела. Для функциональной схемы выбраны абстрактные очертания будущих компонентов, то есть описываются только основные контакты и связи.

Условные обозначения контактов датчиков выполнены по следующей схеме: входные контакты обозначаются «IN», а выходные – «OUT».

## 3.1 Микроконтроллер

Для работы с датчиками, обработки и отправки данных, необходимо выбрать подходящий микроконтроллер, который сможет работать с большим количеством датчиков и будет поддерживать различные интерфейсы. У такого микроконтроллера должно быть достаточное количество входов как цифровых, так и аналоговых. На схеме микроконтроллер обозначен как «MCU».

## 3.2 Датчик температуры и влажности

Учитывая то, что устройство будет использоваться на улице и использовать его будут в научных целях, устройство должно быть достаточно точным, диапазон температур должен быть минимум от -40 С° до +50 С°, диапазон измерения влажности минимум от 0% до 100%. Датчик должен будет иметь хотя бы один цифровой выход для отправки данных в микроконтроллер. На схеме датчик обозначен «S01».

## 3.3 Датчики газов модели MQ

Учитывая то, что устройство будет использоваться в относительно чистом воздухе, диапазон измерения подобных газов должен быть минимум от 0% до 1% содержания в воздухе. На схеме датчики обозначены от «S02» до «S11».

## 3.4 Датчик формальдегида

Датчик формальдегида работает аналогично датчикам модели MQ. На схеме обозначен как «S12».

## 3.5 Датчик качества воздуха

Датчик качества воздуха работает аналогично датчикам модели MQ. На схеме обозначен как «S13».

## 3.6 Датчик газов (оксид углерода, диоксид азота, аммиак)

Датчик газов работает аналогично предыдущему. На схеме обозначен как «S14».

## 3.7 Датчик пыли

Согласно общепринятой классификации, датчик пыли должен уметь определять пыль двух категорий – размером от 0,3 мкм до 2,5 мкм и от 2,5 мкм до 10 мкм. Таким образом, минимальная чувствительность его должна быть от 0,3 мкм. На схеме датчик обозначен как «S15».

## 3.8 GPS-модуль

GPS-модуль должен отслеживать местоположение устройства в пространстве, благодаря чему можно будет получить его координаты. На схеме датчик обозначен как «S16».

## 3.9 Устройства вывода

Устройство вывода будет представлять модуль, в который будет установлена SIM-карта. На схеме устройство обозначено как «OD».

# 4 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Схема электрическая принципиальная разрабатываемой системы представлена в приложении В.

## 4.1 Датчик температуры и влажности

Согласно описанным в третьем разделе параметрам, был выбран датчик температуры и влажности компании ASAIR, модель «DHT10» [12]. Диапазон измеряемых температур от -40 С° до +80 С° с погрешностью ±0,3 С°, диапазон измерений влажности от 0% до 100%, с погрешностью в 2%.

Датчик имеет два контакта (GND и VIN) для питания и два информационных контакта (SDA и SCL). Связывается с микроконтроллером посредством интерфейса I2C.

Соединение с микроконтроллером осуществляется через цифровые выходы SDA и SCL, которые подключены к контактам PB7 и PB6 микроконтроллера. Имеет обозначение «S01» – первый датчик.

## 4.2 Датчики газов модели MQ

В схеме используется датчики компании Hanwei Electronics [13].

Датчики имеют по два контакта для питания, один цифровой и один аналоговый информационные. Для получения данных из датчиков, следует использовать аппаратный интерфейс АЦП.

Соединение с микроконтроллером осуществляется через аналоговые выходы A0, которые подключены к контактам PA0 микроконтроллера. Имеют обозначение «S02» - «S11».

## 4.3 Датчик формальдегида

В качестве датчика формальдегида выбрана модель «CMJCU-1100» компании ETC [14].

Сам датчик устроен аналогично предыдущим и имеет такие же контакты (GND, VCC, DOUT, AOUT). Датчик так же следует подключать через АЦП.

Соединение с микроконтроллером осуществляется через аналоговый выход A0, который подключён к контакту PA1 микроконтроллера. Имеет обозначение «S12».

## 4.4 Датчик качества воздуха

В качестве датчика качества воздуха выбрана модель «CSS811» компании AMS.

Имеет обозначение «S13».

## 4.4 Датчик газов (оксид углерода, диоксид азота, аммиак)

Модель «MICS6814» компании AMS.

Имеет обозначение «S14».

## 4.4 Датчик пыли

В качестве датчика пыли был выбран датчик компании Nova Fitness Co. модели «SDS011» [15].

Датчик полностью соответствует требованиям, описанным в предыдущей главе. Имеет 7 контактов. 2 из которых нужны для питания. Сам датчик связывается с микроконтроллером при помощи UART интерфейса.

Соединение с микроконтроллером осуществляется через цифровые выходы RX и TX, который подключён к контактам PB9 и PB10 микроконтроллера. Имеет обозначение «S15».

## 4.4 GPS-модуль

Для определения местоположения метеостанции используется GPS-модуль компании U-blox, модели «NEO-6M» [16].

Датчик имеет четыре контакта, два из которых – питание, два – информационные. Датчик, как и предыдущий, связывается с микроконтроллером при помощи UART-интерфейса.

Соединение с микроконтроллером осуществляется через цифровые выходы RX и TX, который подключён к контактам PA2 и PA3 микроконтроллера. Имеет обозначение «S16».

## 4.4 Микроконтроллер

В качестве микроконтроллера для данной системы выбрана модель «STM32F407» [17], производимая компанией STMicroelectronics. Конкретная модель выбрана по тем причинам, что она наиболее удобна для работы с большим количеством датчиков, используя различные интерфейсы. Так же данная модель имеет относительно небольшую стоимость и хорошо справляется со всякого рода вычислениями.

Все контакты информационных портов являются двунаправленными: то есть могут как считывать сигнал, так и генерировать его.

Обозначен как «MCU» – микроконтроллер.

## 4.5 Устройство вывода

В качестве устройства вывода выбран GSM-модуль SIM800L. С помощью данного модуля можно отправлять SMS-сообщения, совершать или принимать телефонные звонки, подключаться к Интернету через GPRS, TCP/IP и многое другое [18] компании SIMCom.

Устройство имеет 4 контакта для подачи питания на микроконтроллер и два информационных контакта.

Соединение дисплея с микроконтроллером осуществляется через шину, к которой, с одной стороны, подключены все информационные и управляющие, кроме управления контрастностью, контакты дисплея, а с другой – PD0 – PD7 для советующих информационных контактов D0 - D7 и PB0, PB1, PB2 для управляющих контактов E, RW, RS соответственно. Имеет обозначение «OD» – устройство вывода.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения курсовой работы было спроектировано и смоделировано устройство – портативная метеостанция, которая при помощи датчиков собирает информацию о параметрах воздуха.

В результате выполнения проекта был получен опыт в проектировке аппаратного обеспечения, сборке устройств на практике, написания документации.

В перспективе есть множество моментов, которые могут быть усовершенствованы: добавление новых датчиков, расширение функционала устройства, оптимизация работы и многое другое.

Разработка данного устройства является очень ценным опытом в разработке аппаратного обеспечения. Так же стоит выделить важность тематики – мониторинг изменения климата, анализ параметров воздуха. Данное устройство может иметь большую значимость в учебной, научной и других сферах.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] Коллективный блог «Хабрахабр» [Электронный ресурс]. – Программирование современных микроконтроллеров: лекция 1 – Режим доступа: https://habr.com/ru/company/samsung/blog/411143/ – Дата доступа: 05.12.2021

[2] Сайт «MicroTechnics» [Электронный ресурс]. – STM32 с нуля. Учебный курс. Введение. – Режим доступа: https://microtechnics.ru/stm32-uchebnyj-kurs-vvedenie/ – Дата доступа: 05.12.2021

[3] Сайт «Files.Storyinf» [Электронный ресурс]. – ГОСТ Р 58712-2019 Автоматизированная метеорологическая измерительная система. Общие технические требования – Режим доступа: https://files.stroyinf.ru/Data/723/72351.pdf – Дата доступа: 05.12.2021

[4] Сайт проекта «ПУЭ8» [Электронный ресурс]. – Датчики измерения температуры: типы, принцип работы. – Режим доступа: https://pue8.ru/vybor-elektrooborudovaniya/804-datchiki-izmereniya-temperatury-tipy-printsip raboty.html – Дата доступа: 05.12.2021

[5] Сайт «Wikipedia.org» [Электронный ресурс]. – Интерфейс – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Интерфейс – Дата доступа: 05.12.2021

[6] Блог об электронике «EasyElectronics» [Электронный ресурс]. –Интерфейсная шина IIC – Режим доступа: http://easyelectronics.ru/interface-bus-iic-i2c.html – Дата доступа: 05.12.2021

[7] Коллективный блог «Хабрахабр» [Электронный ресурс]. – UART и с чем его едят – Режим доступа: https://habr.com/ru/post/109395/ – Дата доступа: 05.12.2021

[8] Сайт «Wikipedia.org» [Электронный ресурс]. – Аналого-цифровой преобразователь – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Аналого-цифровой\_преобразователь – Дата доступа: 05.12.2021

[9] Сайт компании «Белсвязькомплект-К» [Электронный ресурс]. – Метеорологическая станция Сокол-М1 – Режим доступа: https://www.belconnect.by/catalog/meteorologicheskie-stantsii/sokol-m1/ – Дата доступа: 05.12.2021

[10] Сайт компании «Раймет» [Электронный ресурс]. – MAWS201M ТАКТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ VAISALA TACMET – Режим доступа: https://raimet.ru/catalog/product/maws201m-takticheskaya-sistema-meteorologicheskix – Дата доступа: 05.12.2021

[11] Сайт компании «Адвант - МПИ» [Электронный ресурс]. – Метеостанция Davis Vantage Pro2 6152RU – Режим доступа: http://www.advant-mpi.by/meteostancija-davis-vantage-pro2-6152ru.php – Дата доступа: 05.12.2021

[12] Сайт «ES.CO» [Электронный ресурс]. – DHT10 Technical Manual – Режим доступа: http://www.es.co.th/Schemetic/PDF/ASAIR\_DHT10.PDF – Дата доступа: 05.12.2021

[13] Сайт компании «Sparkfun» [Электронный ресурс]. – TECHNICAL DATA MQ-4 GAS SENSOR – Режим доступа: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf – Дата доступа: 05.12.2021

[14] Сайт «Datasheet-pdf.com» [Электронный ресурс]. – PRODUCT INFORMATION Sensor for Air quality control – Режим доступа: http://www.datasheet-pdf.com/PDF/MS1100-Datasheet-ETC-813045 – Дата доступа: 05.12.2021

[15] Сайт «freedelivery.com» [Электронный ресурс]. – Laser PM2.5 Sensor specification – Режим доступа: https://freedelivery.com.ua/files/datasheets/Datasheet-Nova-SDS011.pdf – Дата доступа: 05.12.2021

[16] Сайт «TerraElectronica.ru» [Электронный ресурс]. – UART GPS NEO-6M User Manual – Режим доступа: https://www.terraelectronica.ru/pdf/show?pdf\_file=%2Fz%2FDatasheet%2FU%2FUART+GPS+NEO-6M+User+Manual.pdf – Дата доступа: 05.12.2021

[17] Сайт компании «STMicroelectronics» [Электронный ресурс]. – STM32F103x8 Datasheet – Режим доступа: https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf – Дата доступа: 05.12.2021

[18] Сайт «Uamper.com» [Электронный ресурс]. – SIM800L\_Hardware\_Design\_V1.00 – Режим доступа: https://uamper.com/products/datasheet/SIM800L\_datasheet.pdf – Дата доступа: 05.12.2021

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

(Обязательное)

Метеостанция с системой сбора и передачи информации об окружающей среде. Схема электрическая структурная

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(Обязательное)

Метеостанция с системой сбора и передачи информации об окружающей среде. Схема электрическая функциональная

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

(Обязательное)

Метеостанция с системой сбора и передачи информации об окружающей среде. Схема электрическая принципиальная

# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(Обязательное)

Метеостанция с системой сбора и передачи информации об окружающей среде. Чертёж электромонтажный

# ПРИЛОЖЕНИЕ Д

*(обязательное)*

Метеостанция с системой сбора и передачи информации об окружающей среде. Перечень элементов

# ПРИЛОЖЕНИЕ Е

*(обязательное)*

Метеостанция с системой сбора и передачи информации об окружающей среде. Ведомость документов