

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

(наименование института полностью)

Промышленная электроника

(наименование кафедры)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника

(направление (профиль)/специальность)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Система мониторинга параметров помещения на основе микро-
контроллера ESP32»

Студент(ка)

В.А. Сидоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.А. Шевцов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2019

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит обзор состояния вопроса по устройствам измерения параметров окружающей среды в помещениях, описание структуры и основных особенностей микроконтроллера ESP32, обзор датчиков для измерения температуры, влажности, уровня освещенности, уровня содержания CO₂, разработку структурной и электрической принципиальной схем.

В первом разделе проведен обзор состояния вопроса по устройствам измерения параметров окружающей среды, их структуры и основных характеристик.

Во втором разделе рассмотрена структура и особенности использования микроконтроллера (системы на чипе) ESP32. Приведены его основные технические характеристики.

В третьем разделе составлена структурная схема устройства мониторинга параметров помещения и описано назначение структурных единиц схемы.

В четвертом разделе разработана электрическая принципиальная схема системы мониторинга параметров и выполнены необходимые расчеты.

В пятом разделе выполнена разводка печатной платы и составлен сборочный чертеж конструкции.

В шестом разделе проведены расчеты затрат на закупку элементов и основных материалов для изготовления системы мониторинга параметров помещения.

В седьмом разделе проведено описание вредных и опасных факторов при изготовлении дистанционной системы управления.

Выполнено 6 чертежей на формате А1. Объем работы 51 лист.

Содержание

Введение.....	4
1. Обзор решений систем мониторинга параметров окружающей среды	6
2. Разработка структурной схемы устройства	14
3. Разработка алгоритма функционирования устройства	17
4. Разработка принципиальной схемы устройства	19
4.1. Описание центрального процессорного устройства системы.....	19
4.2. Выбор датчика CO ₂	23
4.3. Выбор датчика температуры и влажности.	29
4.4. Выбор датчика освещенности.	34
4.5. Составление принципиальной схемы	35
5. Разработка конструкции печатной платы модуля сбора	40
5.1. Конструкция устройства	40
5.2. Разработка печатной платы устройства.....	40
5.3. Изготовление печатной платы	43
6. Экономическая часть	44
7. Безопасность и экологичность работы	47
Заключение.	49
Список используемой литературы:	50

Введение

В настоящее время развитие техники изготовления микроконтроллеров позволяет создавать чипы, которые кроме самих микроконтроллеров могут содержать и узлы беспроводной радиосвязи. Миниатюризация технологии позволяет уже размещать кроме схем микроконтроллеров даже модули организации связи по технологии WiFi.

Устройства, собранные на таких системах на кристалле позволяют создавать точки доступа, для подключения к ним внешних терминальных устройств, например смартфонов, ноутбуков, стационарных компьютеров, так и выполнять роль клиентов с подключением к имеющимся беспроводным WiFi сетям в роли клиента.

Это позволяет организовывать оперативный доступ к показаниям датчиков параметров различных физических величин с внешних устройств, или обеспечивать передачу этих данных на удаленные сервисы хранения данных, так называемые «облачные сервисы».

Датчики в настоящее время переходят из разряда аналоговых устройств на уровень интегрированных цифровых модулей, которые содержат собственно преобразователь «физическая величина – напряжение», а затем преобразуют полученное напряжение с помощью встроенных аналого-цифровых преобразователей в цифровой код и в формате последовательной передачи данных передают информацию на то или иное приемное устройство, как правило на микроконтроллер, осуществляющий последующую обработку измеренных и полученных значений.

Все это упрощает, ускоряет и удешевляет процесс разработки новых устройств, позволяющих измерять, накапливать и передавать необходимому потребителю наборы значений физических величин, измеряемых с помощью датчиков.

В выпускной квалификационной работе, проведена разработка системы мониторинга параметров окружающей среды в соответствии с техническим заданием. Источниками собираемых сигналов являются датчики температуры, влажности, уровня содержания CO₂ в воздухе, а также датчик освещенности, работающий в пороговом режиме: отслеживается заранее установленное значение (значение уставки) и при его достижении меняется логическое состояние соответствующей переменной.

Внимание в работе уделено в основном аппаратной части системы мониторинга и незначительно проработаны вопросы построения управляющей программы.

Для задач выпускной квалификационной работы подошла среда программирования Arduino, поскольку является бесплатно распространяемой и позволят сосредоточиться на отладке аппаратной части системы мониторинга, не уделяя значительного внимания на вопросы программирования.

Результаты измерений подготавливаются для передачи на html-страницу, подготовленную средствами Arduino и доступными для дальнейшего использования.

1. Обзор решений систем мониторинга параметров окружающей среды

Контроль за параметрами окружающей среды может проводиться с использованием проб, получаемых ручным образом: замеры температуры с помощью термометров, определение влажности с помощью гигрометров, определение давления мембранно-пружинным барометром и т.д. Кроме достаточно высокой инструментальной точности, зависящей от используемых измерительных приборов, ручной способ взятия проб, или другими словами проведение измерений значений параметров, характеризуется необходимостью задействовать в этом процессе человека.

Однако, если воспользоваться электронными средствами контроля – электронными датчиками, появляется возможность автоматизировать измерения и проводить замеры в нужные моменты времени. Автоматизированное или полностью автоматическое измерение в электронном виде позволяет легко обрабатывать полученные данные с помощью компьютерной техники и различных специализированных программных пакетов.

Кроме этого, данные мониторинга, получаемые в электронном виде просто архивировать, хранить и каталогизировать, используя их в различных базах данных и в различных процессах.

Основными контролируемыми параметрами, используемыми в быту и даже при контроле окружающей среды в производственных помещениях, традиционно являются температура окружающего воздуха, его влажность и содержание газа CO₂ в составе атмосферы помещений. Кроме этого для целей автоматизации процесса освещения используют датчики освещенности различных типов.

На рынке имеется множество предложений, включающих измерение и индикацию, а в некоторых случаях и накопление и хранение, а также передачу в удаленные центры хранения или обработки параметров окружающей среды.

Такие аппаратные решения на потребительском рынке получили название метеостанций.

Обычно, метеостанция содержит в своем составе термодатчики для измерения температуры в помещении, на улице с помощью беспроводного модуля, связывающегося с базовой станцией, датчика влажности и давления. Традиционно, данные выводятся на жидкокристаллический экран трансфлективного типа, работающего в отраженном свете, или же на жидкокристаллический экран активного типа.

Однако, обычно, такие метеостанции не позволяют получать информацию с них с помощью тех или иных типов компьютерных терминальных устройств: смартфонов, ноутбуков или персональных компьютеров. Также, информация с таких метеостанций не может накапливаться ни на терминальных устройствах, ни, тем более в облачных сервисах.

Рассмотрим некоторые из них:

Метеостанции Atomic



Рисунок 1.1. – Внешний вид метеостанции Atomic W839007-B

Метеостанции данной марки в основной своей массе позволяют выполнять следующие операции [1]:

1. Измерение температуры окружающей среды с помощью беспроводного термодатчика по радиоканалу.
2. Измерение температуры воздуха внутри помещения встроенным в станцию датчиком.
3. Измерение значений относительной влажности воздуха
4. Измерение значений атмосферного давления.

Далее, эти метеостанции позволяют выполнять различную обработку измеренных значений физических величин:

1. Проверку нахождения измеренных величин в заданных диапазонах и сигнализацию в случае выхода какой-либо величины за пределы установленного диапазона.
2. Сохранение нескольких значений температуры и давления атмосферного воздуха и отображение их в виде графиков различных видов.
3. На основе анализа измеренных и сохраненных значений давления построение прогноза по тенденции изменения давления .
4. Различные дополнительные сервисные функции: календарь, индикатор разрядов, индикация комфортных для человека параметров.

Эти метеостанции имеют жидкокристаллический экран с фиксированным изображением, в структуре которого каждый символ не может менять свою форму и может менять только свое состояние: видимое или невидимое.

С одной стороны это позволяет экономить потребляемую энергию, что критично, поскольку метеостанции автономны и как правило питаются от батареек или аккумуляторов.

С другой стороны – это не позволяет производителю использовать дополнительные возможности вычислительных ресурсов центрального процессора метеостанции и расширять функциональный состав прибора в зависимости от ситуации на рынке.

Цена подобных метеостанций различных производителей колеблется в диапазоне от 1000 до 5000 рублей.

Другим вариантом устройств для измерения параметров окружающей среды являются устройства с более мощным центральным процессором, представляющем собой чаще всего «систему на кристалле». Таким устройствам свойственно наличие жидкокристаллического дисплея и нередко цветного, наличие беспроводных интерфейсов распространенных стандартов Bluetooth или Wi-Fi, возможность подключения к ним для считывания информации через беспроводные интерфейсы различных терминальных устройств: смартфонов, ноутбуков, стационарных компьютеров. Часть из подобных устройств является составными частями той или иной экосистемы климатических устройств одного и того же производителя.

Рассмотрим некоторые варианты, представленные в настоящий момент на рынке.

Монитор качества воздуха IQAir AirVisual Pro

Монитор качества воздуха IQAir AirVisual Pro является продуктом, выпускаемым под брендом IQAir.



Рисунок 1.2. – внешний вид монитора качества воздуха IQAir AirVisual Pro

Это устройство обладает следующим функционалом:

[\[https://www.airvisual.com/\]](https://www.airvisual.com/) .

- измерение в воздухе уровня CO₂;
- измерения уровня частиц размера PM_{2.5} и PM₁₀ в воздухе;
- измерение уровня относительной влажности воздуха;
- измерение температуры окружающего воздуха;
- использование его как внутри помещения , так и на улице;
- прогноз качества воздуха на ближайшие 3 дня;
- подключение устройства к облачному сервису с передачей информации о параметрах окружающей среды;
- передача информации в социальные сети или авторизованным устройствам;
- сохранение истории измеренных параметров в течение 24 часов;
- хранение измеренных значений в облачном сервисе до 3 лет;
- при наличии вблизи от домашнего устройства аналогичных устройств, расположенных на улице – передача на экран домашнего устройства показаний параметров воздуха на улице;
- цветной жидкокристаллический экран диагональю 5”;
- возможность работы от аккумулятора.

Базовая станция для управления климатической техникой TION MAGICAIR.

Другим примером подобных устройств, позволяющих проводить измерение параметров окружающей среды является базовая станция для управления климатической техникой TION MAGICAIR

[\[https://tion.ru/product/magicaир/\]](https://tion.ru/product/magicaир/) . Внешний вид этого устройства показан на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3. – Внешний вид базовой станции для управления климатической техникой TION MAGICAIR

Устройство TION MAGICAIR позволяет измерять в автоматическом режиме с интервалом около раза в минут температуру, влажность и содержание CO₂ в воздухе помещения. Результаты измерений передаются в облачный сервис, поддерживаемый фирмой TION. Этот сервис позволяет архивировать перечисленные параметры, с течением времени увеличивая интервалы между измеренными значениями. Пользователь устройства может в графиче-

ской форме наблюдать, как в разные этапы времени менялись качества воздуха в помещении.

Кроме этого, устройство TION MAGICAIR является составной частью системы, выпускаемой фирмой под брендом TION и включающей в свой состав еще и так называемые бризеры – устройства для фильтрации и нагрева воздуха забираемого с улицы или фильтрующих воздух внутри помещений. Этот класс устройств направлен на поддержание в жилых или офисных помещениях определенных параметров воздушной среды и в зависимости от их сложности, имеющих различный функционал, начиная от клапана забора наружного воздуха, фильтрации этого воздуха системой фильтров, включая фотокаталитические и фильтры высокой степени фильтрации HEPA. Кроме этого в состав бризеров может входить и установка увлажнителя воздуха.

Устройство TION MAGICAIR является измерительным модулем системы и в случае повышения концентрации CO₂ выше некоторого уровня дает команду на открытие приточного клапана и включение вентиляторов, нагоняющих в помещение свежий уличный воздух. При этом система фильтров производит фильтрацию частиц, имеющихся в уличном воздухе.

TION MAGICAIR не имеет в своем составе экранов, кнопок и полностью управляется со смартфона из своего специального приложения, или через браузерную страницу с персонального компьютера. Сведения о результатах измерений также могут быть получены только через приложение или на странице устройства.

Для функционирования модуля TION MAGICAIR необходима локальная сеть Wi-Fi с доступом в глобальную сеть Интернет. Иначе настройка, управление и получение сведений о параметрах окружающей среды не смогут быть выполнены.

Таким образом, мы рассмотрели три типа устройств, предназначенных для измерения параметров воздуха окружающей среды, перекликающимися с заданием на выпускную квалификационную работу:

- локальные метеостанции с измерением температуры, влажности и давления воздуха с возможностью минимальной локальной архивации и простейших прогнозов;

- устройства мониторинга параметров окружающей среды, представляющие собой законченные устройства с измерением температуры, влажности, давления воздуха, а также в дополнение – измерение концентрации CO₂ и содержание различных малоразмерных частиц PM_{2.5} или PM_{10.0} (малоразмерные частицы диаметром 2,5 мкм и менее и малоразмерные частицы диаметром 10 мкм и менее);

- устройства измерения параметров окружающего воздуха, являющиеся элементами систем управления качеством воздуха с доступом к облачным сервисам производителя и управляющие вентиляционными, нагревательными и увлажнительными устройствами или их комплексами.

2. Разработка структурной схемы устройства

В соответствии с заданием разрабатываемое устройство должно выполнять измерение температуры, относительной влажности и уровня содержания CO₂ в воздухе помещения где оно располагается. Кроме этого система мониторинга параметров окружающей среды должна иметь возможность подключения с по беспроводному протоколу Wi-Fi к точке доступа локальной сети с последующим доступом к сети интернет.

Питание разрабатываемого устройства будет осуществляться от аккумуляторной батареи, поэтому необходимо предусмотреть модуль стабилизации напряжения, снимаемого с аккумулятора, а также модуль заряда аккумулятора от внешнего источника электрической энергии. В настоящее время заметное распространение получили зарядные устройства для мобильных телефонов, имеющие выходное напряжение +5В и выходные разъемы в формате стандарта USB.

В техническом задании на выпускную квалификационную работу оговорен тип используемого микроконтроллера – устройства, являющегося ядром всей системы. Это «система на чипе» ESP32 производства фирмы Espressif Systems. Микросхема включает в свой состав все необходимые модули для организации работы либо в качестве точки доступа, либо в качестве клиентского устройства. Кроме этого в состав микросхемы, что будет рассмотрено ниже, входит оперативная память, некоторое количество флэш памяти и другие типовые для микроконтроллеров узлы, позволяющие не использовать дополнительные микросхемы, а ограничиться только одним корпусом.

Для привязки показаний датчиков к определенным моментам времени целесообразно использование в составе разрабатываемой системы модуля реального времени (RTC).

В техническом задании сказано, что измерение освещенности осуществляется не в абсолютных значениях, а с привязкой к некоему уровню,

как пороговому. При этом при достижении порогового значения происходит выработка сигнала управления для дополнительного устройства управления. Будем считать, что достаточно просто выставлять сигнал высокого уровня на некотором выводе микроконтроллера при достижении значения срабатывания, и низкого уровня в остальных случаях.

Все перечисленные функции будут реализоваться с помощью соответствующих блоков устройства, представленных на блок схеме устройства и показанных на рисунке 2.1.

Кроме связей, показанных на рисунке, следует учесть, что потенциально напряжение питания может понадобиться для обеспечения работоспособности кроме микроконтроллера еще и датчиков физических величин.

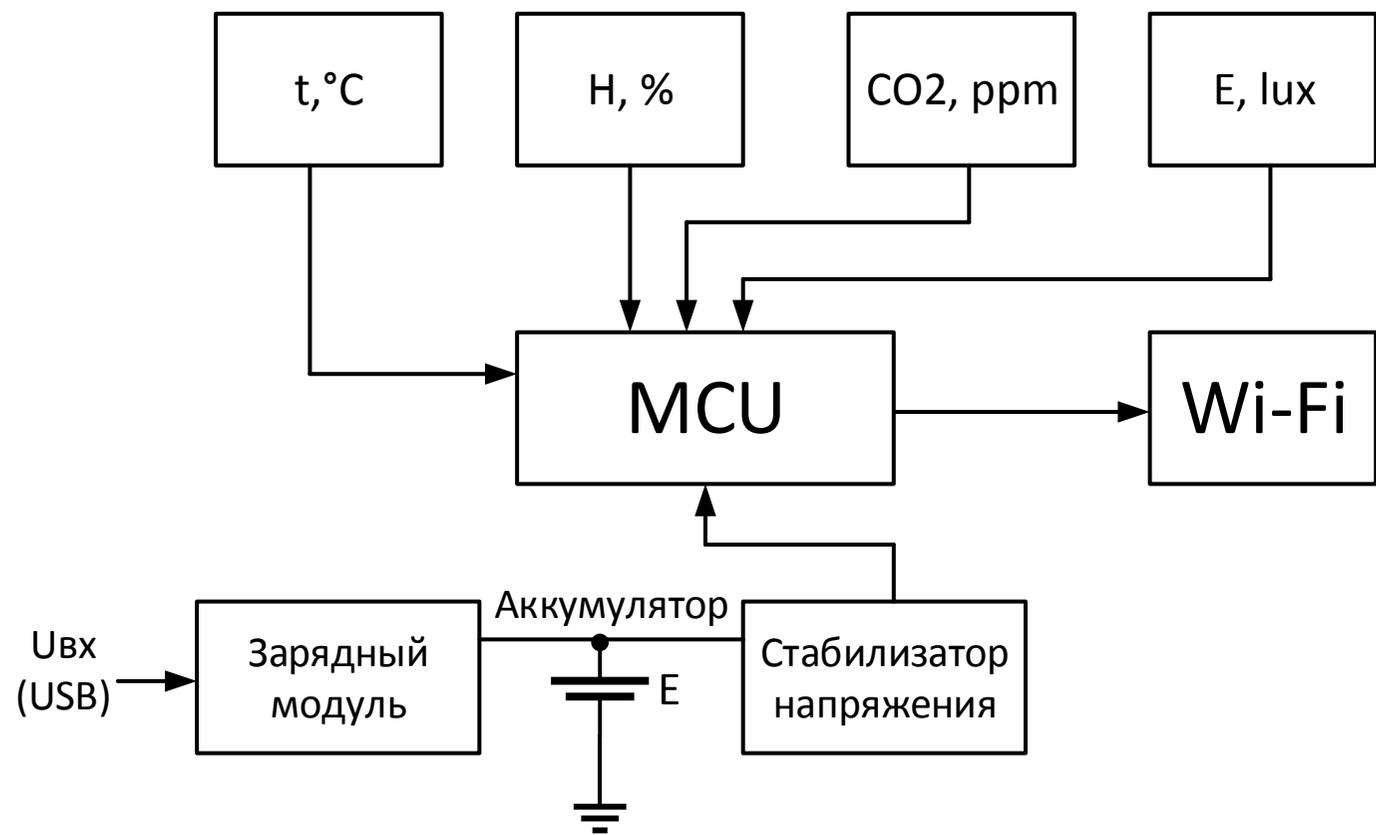


Рисунок 2.1. – Структурная схема системы мониторинга параметров помещения

3. Разработка алгоритма функционирования устройства

Алгоритм функционирования устройства слежения за параметрами окружающей среды можно описать следующим образом.

После подачи напряжения питания на устройство должна производиться инициализация микроконтроллера.

Микроконтроллер опрашивает поочередно все датчики и сохраняет считанные значения.

Как правило, в процессе считывания значений физических величин с датчиков требуется выполнить процесс нормирования показаний, т.е. приведение их к единому масштабу.

Для привязки показаний датчиков к определенным моментам времени необходимо считывать показания часов модуля реального времени и только затем считывать значения показаний датчиков.

Целесообразно завести двумерный массив переменных, в котором каждая строка будет представлять собой отсчеты в один и тот же момент времени, а в столбцах будут располагаться измеренные значения физических величин.

После выполнения измерений и нормирования измеренных величин, необходимо хранить массив значений в памяти микроконтроллера ESP32 до времени передачи информации через модуль WiFi либо на клиентское устройство, либо на некий облачный сервис для хранения данных.

Все эти процедуры повторяются циклически в течение всего включенного состояния устройства.

Изобразим описанный словесно алгоритм в виде блок-схемы на рисунке 3.1.

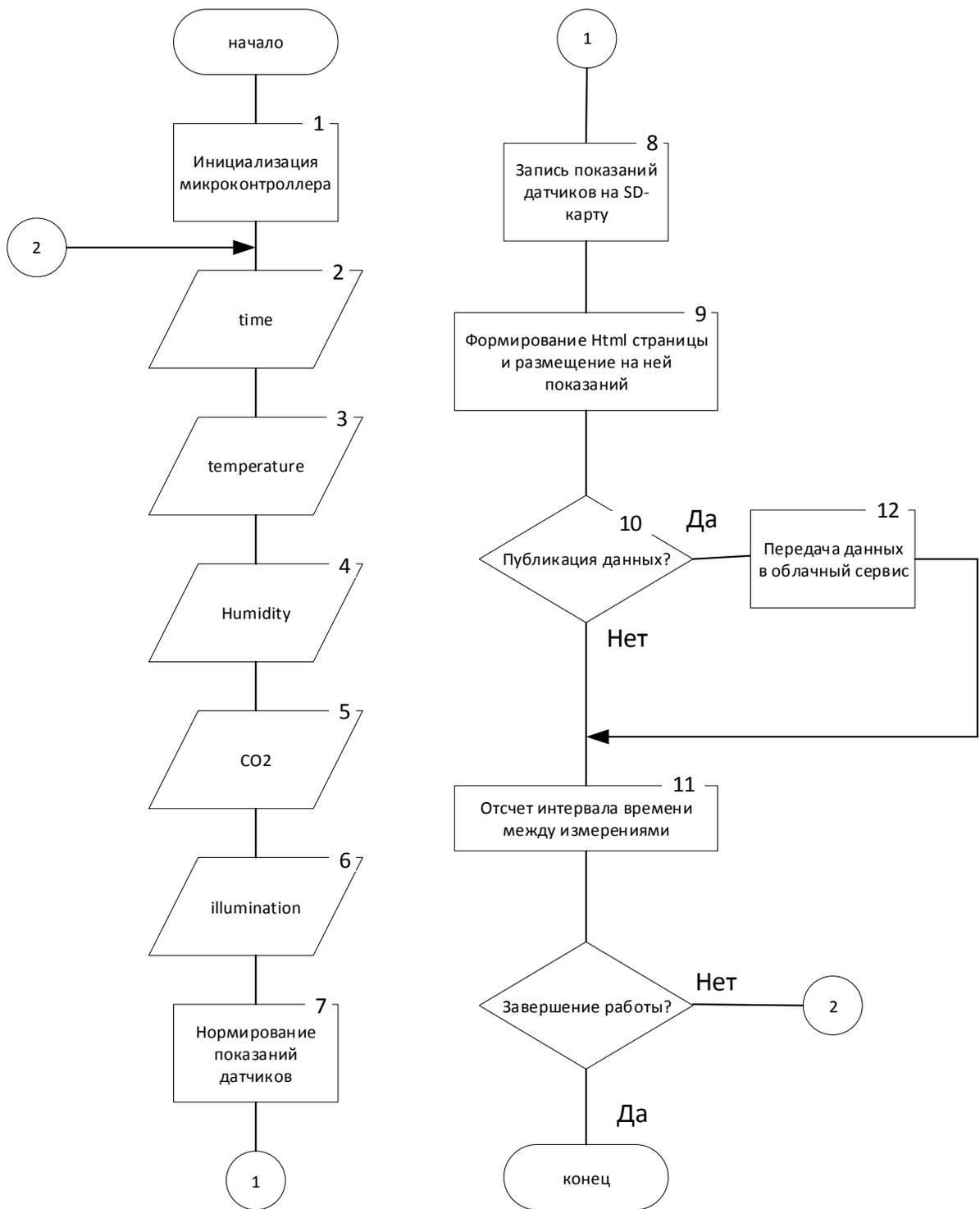


Рисунок 3.1. – Блок-схема алгоритма функционирования устройства.

4. Разработка принципиальной схемы устройства

4.1. Описание центрального процессорного устройства системы

В соответствии с заданием на выпускную квалификационную работу в основе устройства должен лежать микроконтроллер (система на кристалле) ESP 32 фирмы Espressif Systems.

Рассмотрим устройство этой микросхемы.

Микросхема ESP32 Espressif Systems представляет собой однокристалльную систему на чипе, включающую в свой состав набор следующих модулей [<https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp32/overview>]:

- 32-х разрядное двухядерное процессорное ядро, работающее на частоте 160 или 240 МГц, имеющее 512 кБайт статической оперативной памяти, 448 кБайт постоянной памяти, а также флэш память объемом 1,2,4,...64Мбайт;

- модули, обеспечивающие беспроводную связь: WiFi, работающий в стандартах 802.11 b/g/n/e/i, со скоростью установки соединения до 150 Мбит/с, а также модуль Bluetooth стандарта v4.2 BR/EDR и работающий в режиме BLE.

Микросхема содержит следующие периферийные интерфейсы:

- до 18 каналов 12-ти разрядного аналого-цифрового преобразователя,
- 2 штуки 8-ми разрядных цифро-аналоговых преобразователей,
- возможность подключения 10 сенсоров прикосновения,
- встроенный температурный датчик,
- 4 порта SPI,
- 2 порта I2C,
- 3 аппаратных последовательных асинхронных порта,
- возможность аппаратной поддержки карт SD/eMMC/SDIO,
- аппаратную реализацию ШИМ-контроллера для управления электромоторами,

- аппаратную реализацию ШИМ-контроллера для управления светодиодами,

- датчик Холла,

- маломощный аналоговый предусилитель.

При работе с микросхемой на аппаратном уровне поддерживаются следующие протоколы безопасности (шифрования и кодирования):

- IEEE 802.11 спецификаций WPA, WPA/WPA2 и WAPI,

- кодирование информации во флэшпамяти,

- работа с криптографическими алгоритмами RSA, ECC, RNG, AES, SHA-2.

Расположение выводов микросхемы показано на рисунке 4.1

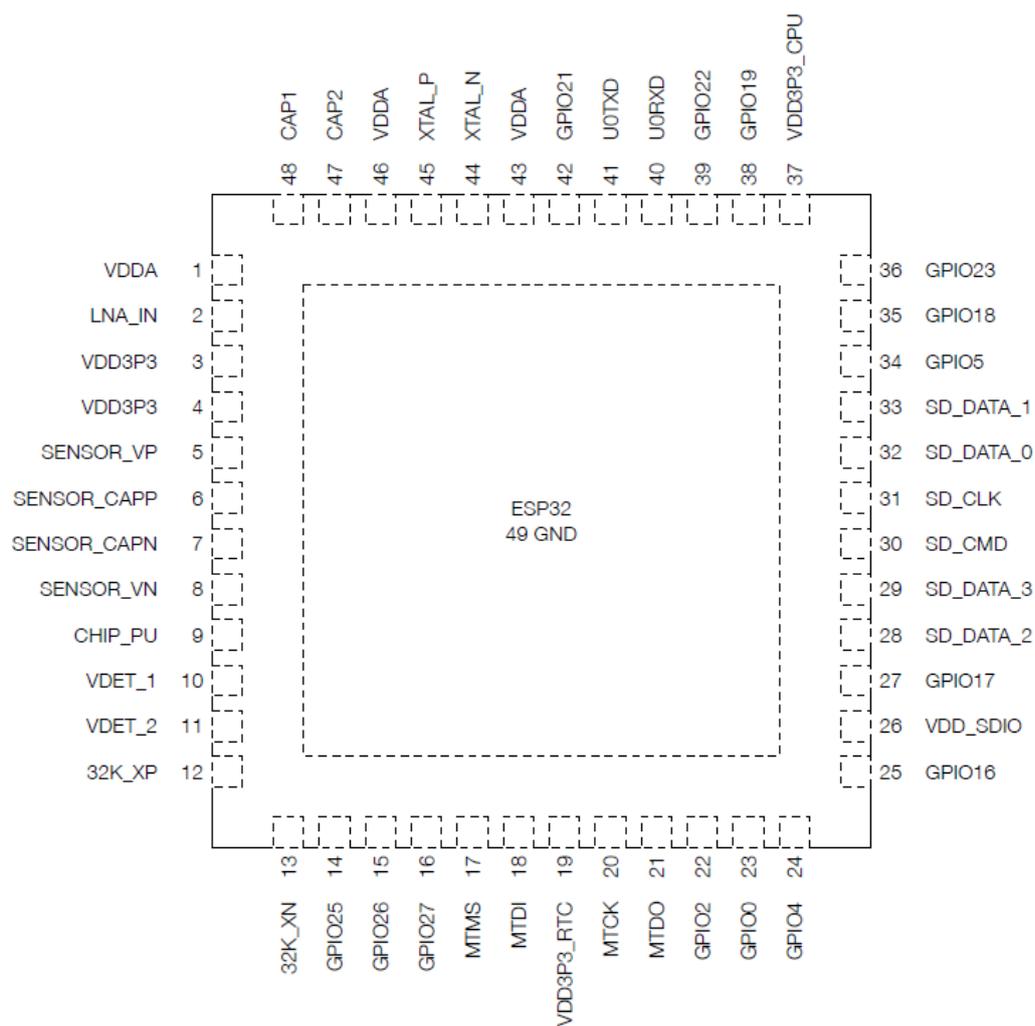


Рисунок 4.1. – Расположение выводов микросхемы ESP32.

Питание микросхемы осуществляется от источника напряжением 3,3В, потребляемый ток до 500 мА.

Структурная схема системы на чипе ESP32 показана на рисунке 4.2.

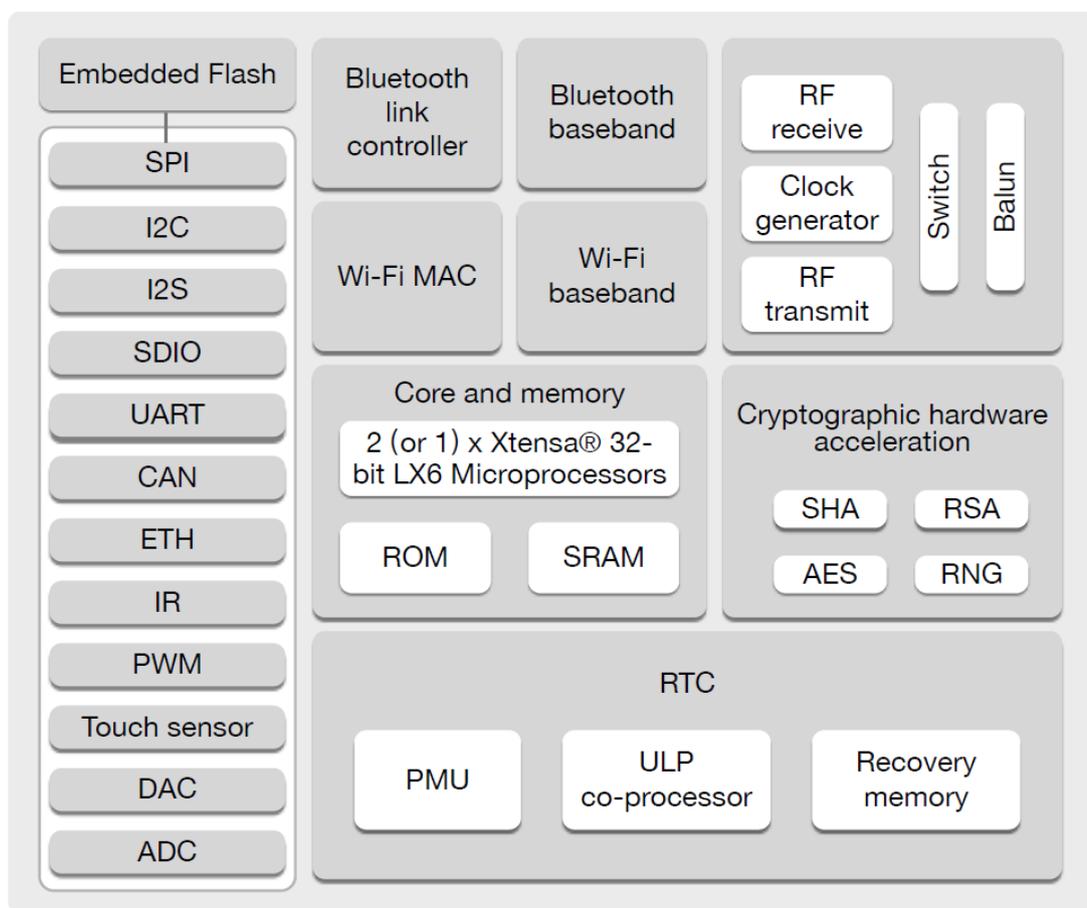


Рисунок 4.2. – Структурная схема ESP32.

На структурной схеме видны основные модули микроконтроллера, которые можно использовать в своих проектах. Для решения задач, поставленных в техническом задании необходимы модули WiFi для связи с внешними устройствами и сетью Интернет, модули арифметико-логического устройства для функционирования алгоритма работы всей системы как единого целого. Кроме того, потребуется набор периферийных интерфейсов для подключения внешних датчиков.

Осуществим выбор датчиков для измерения параметров окружающей среды.

Начнем с выбора датчика содержания CO₂ в окружающей атмосфере.

4.2. Выбор датчика CO2

Параметром, которым оперируют датчики CO2 является концентрация вещества в воздухе. Единицей измерения в данном случае является ppm (parts per million), что можно перевести, как «частиц на миллион». С измерением концентрации в процентах единица ppm связана соотношением

$$1 \text{ ppm} = 0,0001\%$$

В настоящее время существует несколько типов таких датчиков. Рассмотрим их по очереди.

Наименьшую стоимость имеют электрохимические датчики, называемые ионоселективными и представляющие собой напыление на керамическом основании вещества, являющегося мембраной для CO2 и пропускающего только его в активную область, где происходит электролитическая реакция. В результате такой реакции меняется сопротивление датчика и уже по изменениям падения напряжения на таком датчике делают выводы о концентрации CO2 в воздухе.

Особенностью таких датчиков является необходимость подогрева активного вещества для протекания электрохимической реакции. Подогрев осуществляется от источника питания всего устройства за счет протекания тока через керамическую структуру, которая по сути в данном случае выполняет роль резистора, нагревающегося при протекании тока.

На рынке представлено несколько моделей таких датчиков, которые незначительно отличаются друг от друга ценой, но в целом лежат в одном и том же диапазоне.

Рассмотрим несколько моделей таких датчиков.

Датчик MG812, производимый китайской фирмой Winsen Electronics выглядит, как показано на рисунке 4.3. и обладает следующими характеристиками



Рисунок 4.3. – Внешний вид датчика MG812

Диапазон измерения концентрации CO₂ – 0...10000 ppm.

Тип выходного сигнала – напряжение, меняющееся линейно.

Время выхода на установившееся значение показаний – до 60с.

Сопротивление нагревательного элемента постоянному току - 60 ± 5 Ом.

Напряжение питания нагревательного элемента 5 В.

Потребляемая мощность – до 500 мВт.

Рабочий диапазон температур -20...+50 °С.

Рабочий диапазон влажности до 90%.

Этот датчик, как и другие, основанные на принципе электрохимической реакции, сильно чувствителен к испарениям ряда соединений, в основном кремнийорганических, а также к попадающим в воздух галогенам, газам, вызывающих коррозию, а также щелочных металлов. Эти датчики могут выходить из строя после заморозки, попадания паров воды.

Схема подключения датчика в электрическую цепь, рекомендованная производителем, показана на рисунке 4.4.

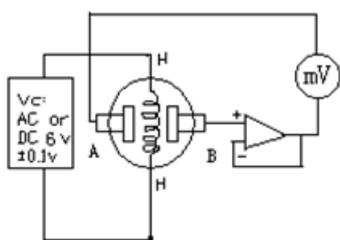


Рисунок 4.4. – Схема подключения датчика MG812 в электрическую цепь.

К выводам Н подключается источник питания постоянного или переменного напряжения 6 В, а к выводам АВ подключается схема повторителя на операционном усилителе и уже с этой схемы снимается напряжение, пропорциональное концентрации CO₂.

Следует учитывать, что питание нагревателя датчика должно обеспечивать токи до 100 мА. При этом нагрев корпуса датчика может достигать 50 градусов и выше.

Зависимость эдс, генерируемой датчиком в результате электрохимической реакции от концентрации газов, содержащих углерод, опубликованная производителем датчика показана на рисунке 4.5.

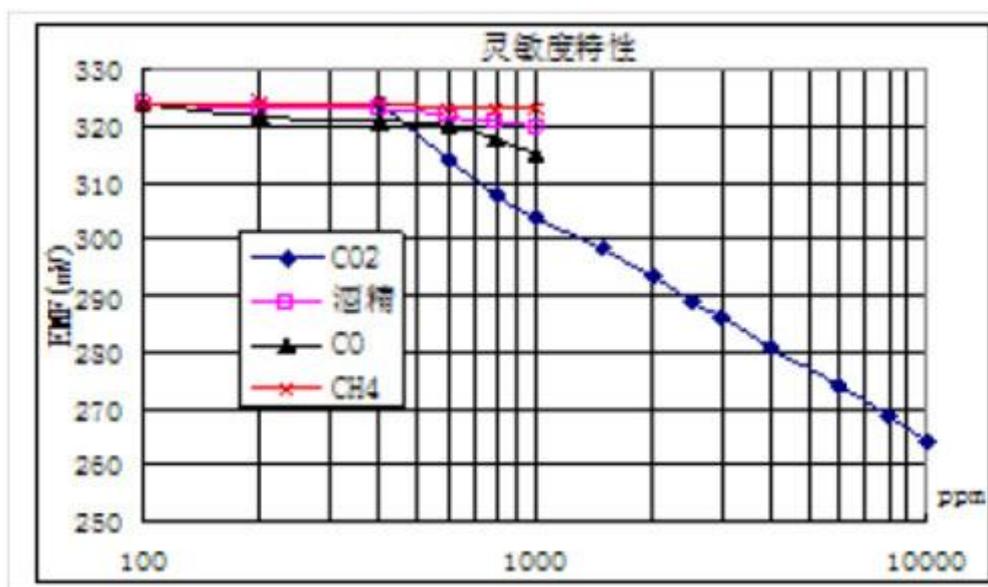


Рисунок 4.5. – Зависимость электрохимической ЭДС датчика MG812 от концентрации соединений углерода для различных соединений.

Уже из этой диаграммы становится понятно, что датчик имеет характеристику чувствительности для соединений углерода совпадающую для разных газов в диапазоне малых концентраций (до 400 ppm), однако характеристика для больших концентраций газа производителем не показана, что вызывает опасения в ненормальной работе датчика в плане реакции не только на концентрацию в воздухе CO₂, но также и на концентрацию других распространенных газов, содержащих соединения углерода.

Другим принципом, по которому происходит измерение концентрации CO₂ в окружающем воздухе является способ определения степени поглощения нерассеянного инфракрасного излучения (NDIR). Поскольку CO₂ поглощает инфракрасный свет, то чем больше в окружающей атмосфере этого газа, тем интенсивнее осуществляется поглощение инфракрасного света. При реализации такой технологии в состав устройства датчика CO₂ входят источник инфракрасного света и фототранзистор, максимальная чувствительность которого лежит в области инфракрасного диапазона.

В качестве источника инфракрасного света могут использоваться либо светодиоды, либо нити накаливания, находящиеся в режиме недокаленного свечения, когда наибольшая интенсивность излучения происходит как раз в инфракрасном диапазоне. В случае использования светодиодов получается экономичное в плане потребления энергии решение, с малым временем выхода на рабочий режим. Однако излучение светодиодов происходит в очень узкой полосе спектра и как следствие возникают некоторые погрешности в учете реального содержания CO₂ в воздухе.

При использовании в качестве источника света нити накаливания, ширина спектра излучения гораздо шире, что позволяет фиксировать концентрацию CO₂ более точно, однако датчики, построенные с использованием таких источников света дольше выходят на рабочий режим, поскольку для начала корректных измерений им необходимо предварительно прогреть нить накала. Кроме того, при работе нити накала расходуется значительное коли-

чество электроэнергии, что ограничивает использование таких датчиков в автономных приложениях, или же значительно снижает ресурс автономной работы всего устройства.

При этом, для датчиков с нитью накала сложнее реализуется алгоритм повышения энергетической эффективности датчиков CO₂ за счет кратковременного включения источника инфракрасного излучения на интервал проведения замеров, с последующим отключением источника света. В датчиках с использованием инфракрасных светодиодов такой алгоритм реализуется достаточно просто.

Кроме источников и приемников инфракрасного излучения, в состав датчиков CO₂ входят и микроконтроллеры, осуществляющие обработку результатов измерения, выполняющие периодическую автоматическую калибровку датчиков, а также организующие интерфейсы взаимодействия с внешними устройствами, для которых и производится измерение концентрации CO₂.

Наиболее распространенной на территории России моделью датчиков CO₂, работающих по технологии NDIR является датчик MH-Z19B, производимый фирмой Winsen. Его внешний вид показан на рисунке 4.6.



Рисунок 4.6. – Внешний вид датчика MH-Z19B.

Этот датчик позволяет производить измерение концентрации CO₂ в воздухе, измерять температуру воздуха и имеет следующие технические характеристики.

Напряжение питания: 4,5...5,5 В постоянного напряжения.

Средний потребляемый ток: менее 60мА.

Пиковый потребляемый ток: 150 мА.

Напряжение, используемое в интерфейсах связи: 3.3В.

Выходные интерфейсы выдерживают взаимодействие с TTL логикой с уровнем напряжения 5

Выходные интерфейсы: UART (TTL, 3,3В), PWM, аналоговый сигнал.

Время предварительного нагрева 3 минуты.

Диапазон рабочих температур: 0...50 °С

Диапазон рабочей влажности воздуха: 0...90%

Размеры : 33mmx20mmx9 mm

Масса 5 г.

Из описания видно, что датчик может подключаться к ведущему устройству достаточно разнообразными способами.

Можно использовать подключение к последовательным портам UART как аппаратной, так программной реализаций, при этом датчик позволяет осуществлять управления режимами работы, диапазонами измерения и выполнять режим автокалибровки.

Кроме это, сигнал, пропорциональный величине концентрации CO₂ в окружающем воздухе может сниматься в аналоговом виде и в дальнейшем обрабатываться с помощью аналоговых устройств (операционных усилителей, компараторов и т.д.). Кроме этого, на выходе PWM можно снять сигнал прямоугольной формы, длительность которого будет пропорциональна уровню CO₂ и эти импульсы будут следовать с одинаковой частотой.

Таким образом, можно сделать вывод, что датчик МН-Z19В представляет собой достаточно универсальное устройство с возможностью получения выходных данных в различных режимах для различного использования.

Поскольку датчик МН-Z19В является более точным, показывающим достоверные сведения и позволяющий осуществить непосредственное подключение к микроконтроллеру, выберем в качестве датчика концентрации CO₂ в нашей работе его.

Условное графическое обозначение датчика МН-Z19В показано на рисунке 4.7.

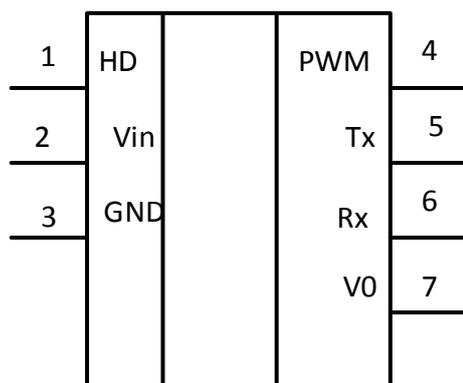


Рисунок 4.7. – Условное графическое обозначение датчика CO₂ МН-Z19b.

4.3. Выбор датчика температуры и влажности.

Рассмотрим основные типы датчиков влажности и на основании этого рассмотрения произведем выбор типа и модели датчика для нашего устройства.

Различают следующие типы датчиков влажности (гигрометров):

- емкостные датчики;
- резистивные датчики;
- термисторные датчики;
- оптические датчики.

Рассмотрим основные особенности перечисленных типов датчиков.

Принцип действия емкостных датчиков основан на изменении емкости воздушного конденсатора при изменении влажности воздуха.

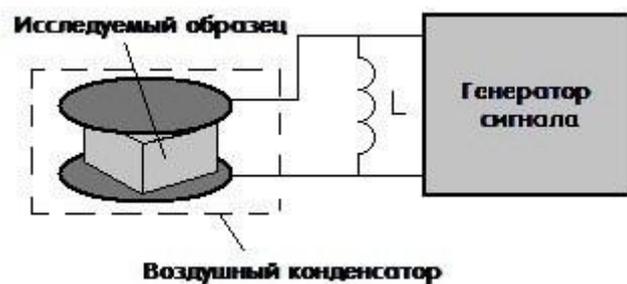


Рисунок 4.8. – Структура емкостного типа датчика влажности с воздушным диэлектриком

Недостатком использования воздушного промежутка является чувствительность в этом случае и к другим примесям в воздухе. Поэтому более точными являются емкостные датчики с диэлектриком, чувствительным к влажности. Конденсатор, полученный таким образом из проводящих пластин и чувствительного к влаге диэлектрика подключается в колебательный контур и по отклонениям рабочей частоты определяют емкость этого конденсатора, а соответственно и величину влажности воздуха. Узкими местами такого способа замера влажности, является резкое снижение точности измерений при влажности менее 0,5%, кроме того, материал диэлектрика не должен содержать примесей с высокой проницаемостью, влияющих на его диэлектрические свойства, а соответственно и на качество измерений.

Кроме перечисленных вариантов воздушного и твердого диэлектрика используют третий вариант построения емкостного датчика на основе тонкопленочного изоляционного материала с поверхностными обкладками, структура которого показана на рисунке 4.9.

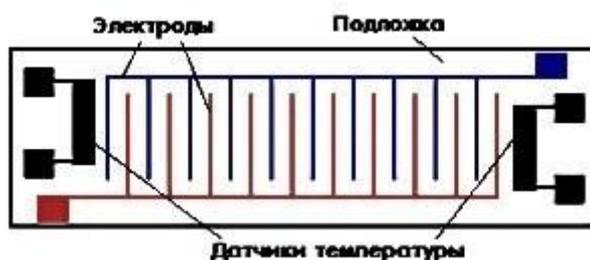


Рисунок 4.9. – Структура емкостного поверхностного датчика влажности.

Из рисунка видно, что в состав датчика влажности интегрированы два датчика температуры для последующей термокомпенсации показаний датчика влажности.

Резистивный тип датчика влажности состоит из двух электродов (рисунок 4.10.), нанесенных на электроизоляционный материал, выступающий в качестве подложки. Поверх электродов наносят слой токопроводящего материала, чувствительного к уровню влажности окружающего пространства. В настоящее время наибольшее применение в качестве такого материала нашел

оксид алюминия. Главное достоинство таких датчиков – их низкая стоимость.

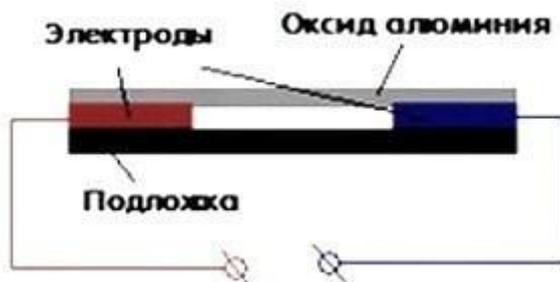


Рисунок 4.10. – Структура резистивного датчика влажности.

Другим типом датчиков влажности является термисторный датчик.

В таком датчике используют два термистора, один из которых расположен в герметичном корпусе, содержащем сухой воздух, структура датчика такого типа показана на рисунке 4.11.

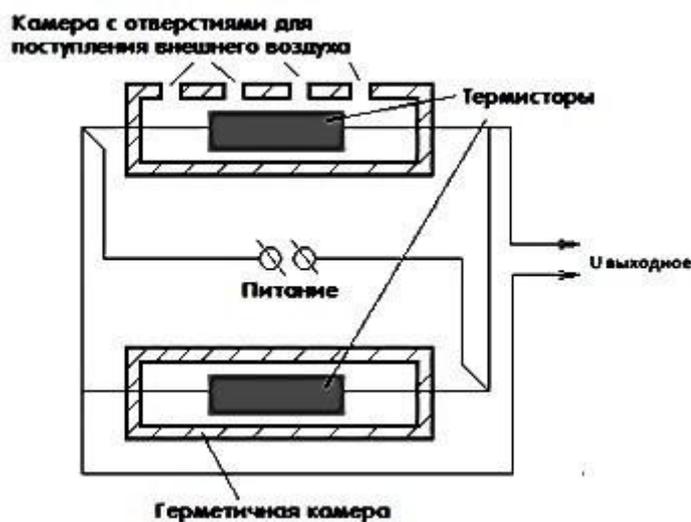


Рисунок 4.11. – Структура датчика влажности термисторного типа.

Через отверстия в камере верхнего термистора поступает влажный воздух. Пара термисторов в герметичном и открытом корпусах включена в диагональ моста, к которому подключается питающее напряжение. Под действием этого напряжения термисторы нагреваются. Если бы оба термистора находились в одинаковых условиях, то они нагревались бы одинаково, но один из них находится в герметичном корпусе в сухой среде, а второй – в воздушной среде, содержащей влагу. Эта влага регулярно испаряется с по-

верхности термистора и охлаждает его. Его температура снижается, а соответственно меняется и сопротивление, что нарушает баланс моста и на воводах второй диагонали моста появляется величина напряжения пропорциональная влажности воздуха. Это напряжение и является измеряемой величиной в данном датчике влажности.

Оптические датчики влажности.

В датчиках такого типа основными составными частями являются источник света – светодиод, зеркальная поверхность, подогреваемая или охлаждаемая с помощью электрического тока и имеющая на своей поверхности закрепленный термодатчик. Луч света от светодиода падает на зеркало и в зависимости от количества конденсата на поверхности зеркала рассеивается в большей или меньшей степени. После отражения от зеркала свет поступает на фотодетектор, в качестве которого может выступать, например, фототранзистор. Таким образом, зная температуру зеркала, при которой влага из воздуха начнет на нем оседать и получая информацию от фотодетектора о полученном количестве света, при этом зная атмосферное давление, можно определить для данных условий уровень влажности.

Такие датчики имеют максимальную точность по сравнению с остальными типами, но также, по сравнению с остальными имеют и максимальную стоимость, а также требуют систематического обслуживания, в части поддержания чистоты зеркала, фотоизлучающих и фотопринимающих устройств.

На практике, при создании микроконтроллерных устройств получили наибольшее использование датчики влажности емкостного типа на основе пленочных диэлектриков, чувствительных к влажности воздуха.

Такие датчики имеют встроенную электронную схему, формирующую набор импульсов, параметры которых пропорциональны температуре окружающей среды и ее влажности.

Типичным примером датчиков такого типа являются датчики DHT22 или же AM2302.

Внешний вид датчиков показан на рисунке 4.12, физические размеры и нумерация выводов – на рисунке 4.13.



Рисунок 4.12. – Внешний вид датчика DHT22 (AM2302).

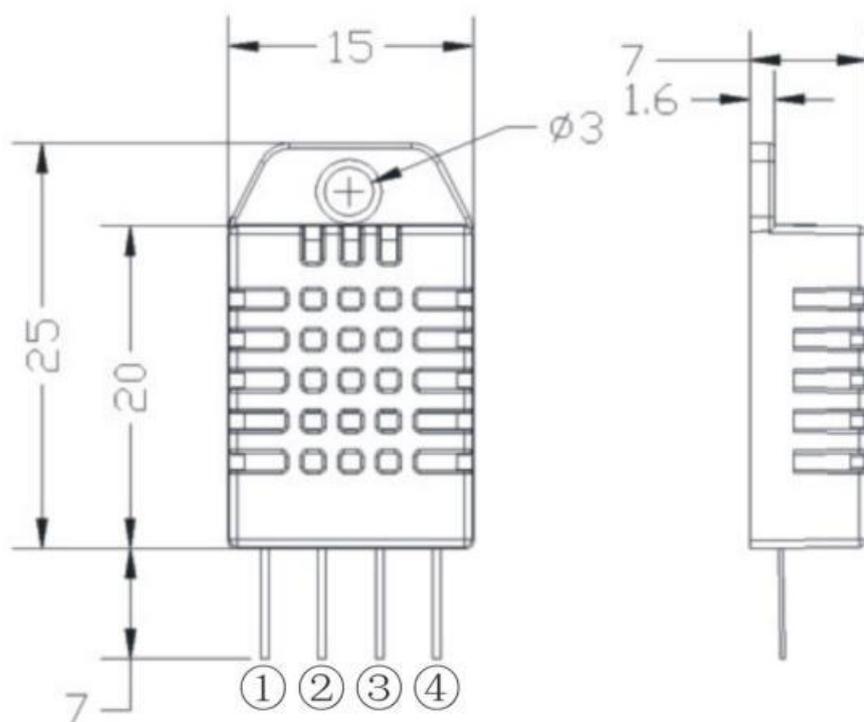


Рисунок 4.13. – Физические размеры и нумерация выводов датчика DHT22 (AM2302).

В соответствии с нумерацией выводов, показанной на рисунке 4.13 их назначение следующее:

- 1 – напряжение питания V_{cc} ,
- 2 - вывод данных DATA,
- 3 – неиспользуемый вывод,
- 4 – общий вывод GND.

Напряжение питания датчика может быть в диапазоне 3-5 В.

Потребляемый ток: 0.05...2,5 мА.

Диапазон измеряемой относительной влажности 0%...100%.

Точность измерения влажности от 2 до 5 %.

Диапазон измерения температуры: -40°C ... $+80^{\circ}\text{C}$.

Точность измерения температуры: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

Максимальная частота измерения 0,5Гц.

Расстояние между выводами 2,54мм.

Разрешение выходного слова 16 разрядов.

4.4. Выбор датчика освещенности.

В соответствии с заданием на выпускную квалификационную работу функция датчика освещенности сводится к пороговому обнаружению изменения уровня освещенности для коммутации внешних приборов, например реле управления освещением. Поэтому, требования к точности этого датчика достаточно простые. Он должен быть достаточно дешев, реагировать на освещенность и на его основе можно построить регулируемую систему.

Как правило, в качестве таких датчиков используют фоторезисторы, обладающие низкой ценой и возможностью использовать их в автономных решения. Внешний вид фоторезистора в типовом корпусе показан на рисунке 4.14.



Рисунок 4.14. – Внешний вид фоторезистора.

Как правило, фоторезистор включается в одно плечо делителя напряжения, а в другое подключают резистор. Тем самым, получается снимать изменяющуюся от освещенности фоторезистора величину напряжения, которую затем обрабатывать на микроконтроллере и в зависимости от величины этого напряжения принимать те или иные решения в программе микроконтроллера.

4.5. Составление принципиальной схемы

Итак, в результате выполненных обзоров подобраны основные элементы схемы устройства для мониторинга параметров окружающей среды в помещении в соответствии с полученным заданием на выпускную работу и можно переходить к составлению принципиальной схемы.

В состав устройства кроме перечисленных датчиков будут входить микросхема реального времени DS1302 для отсчета показаний датчиков микроконтроллером с заданными интервалами времени и сохранения моментов времени (часы:минуты:секунды.число месяца.месяц.год). Для работы микросхемы к ней подключается кварцевый резонатор с частотой 32.768кГц.

Для сохранения данных замеров, кроме отправки в сетевые интернет сервисы, будем использовать модуль SD карты Catalex MicroSD Card Adapter v1/0. Это позволит использовать SD карту для накопления данных и в случае

необходимости эту карту переносить на нужные устройства: компьютеры, ноутбуки.

Питание всего устройства будем осуществлять от двух последовательно соединяемых металл-гидридных аккумуляторов с номинальным напряжением 1,2В каждый.

Преобразование напряжения до уровня питания всех микросхем и модулей в нашем устройстве будем использовать повышающий стабилизатор напряжения на основе микросхемы VL8530. Это микросхема представляет собой импульсный повышающий стабилизатор, который потребляет в состоянии покоя ток до 7мкА и специализирован на преобразовании напряжения от металл-гидридных аккумуляторов.

Схема на основе этого стабилизатор показана на рисунке 4.15

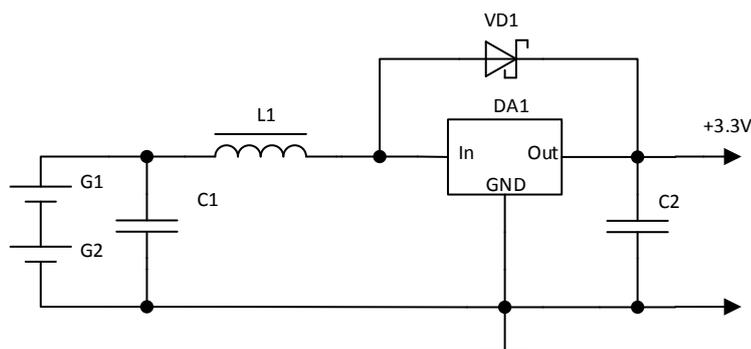


Рисунок 4.15. – Схема стабилизатора напряжения +3.3В

Как видно из схемы, из внешних элементов необходимы следующие: диод Шотки VD1, фильтровый конденсатор C2, дроссель L1.

Для расчета параметров элементов примем:

- напряжение двух аккумуляторов 2,4В,
- напряжение на выходе схемы 3.3 В,
- суммарный ток потребления нагрузки 100мА.

Будем использовать преобразователь VL8530-301, стабилизирующий напряжение на выходе со значением 3.3В.

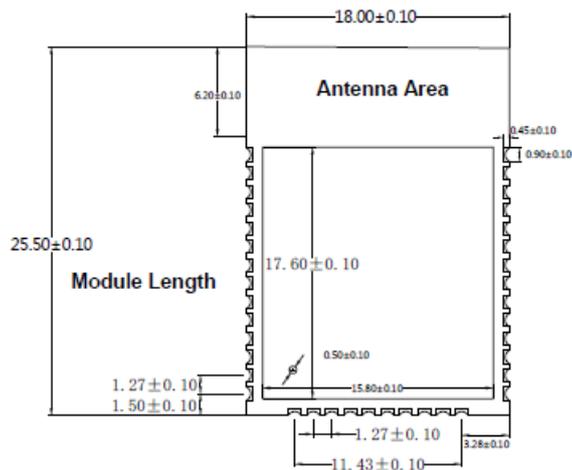
Для упрощения конструкции нашего устройства выберем законченный модуль, содержащий собственно микросхему ESP32, необходимые элементы обвязки и кварцевый резонатор. При этом антенна для беспроводных сетей

уже расположена на поверхности печатной платы и изготовлена методом травления из медной фольги на стеклотекстолите. Этим условиям удовлетворяет модуль ESP32-WROOM-D. Внешний вид такого модуля показан на рисунке 4.16.

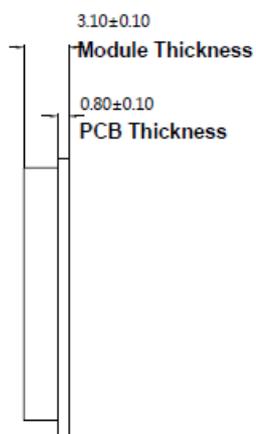


Рисунок 4.16. – Внешний вид модуля ESP32-WROOM-32D

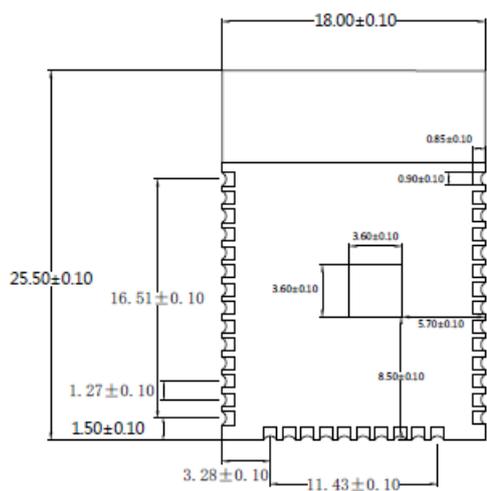
Размеры модуля взяты из документации изготовителя [ESP32-WROOM-32D & SP32-WROOM-32U Datasheet. Version 1.8 Espressif Systems Copyright © 2019. <https://www.espressif.com/en/products/hardware/modules>] и приведены на рисунке 4.17.



a)



б)



в)

Рисунок 4.17. – Физические размеры модуля ESP32-WROOM-32D

Схема электрическая принципиальная всей системы в сборе показана на рисунке 4.16.

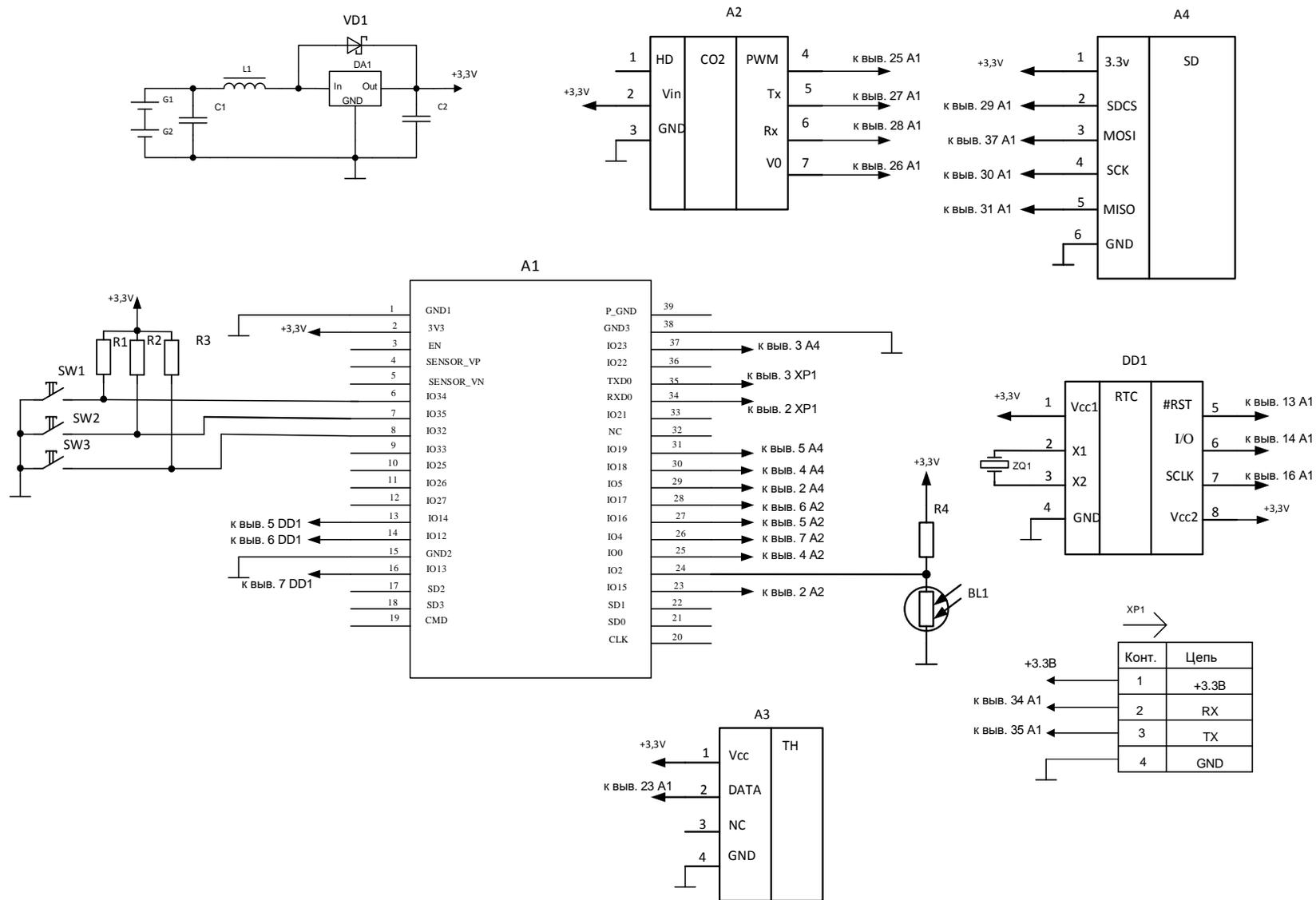


Рисунок 4.16. – Схема электрическая принципиальная системы мониторинга параметров окружающей среды.

5. Разработка конструкции печатной платы модуля сбора

5.1. Конструкция устройства

Все модули и элементы, входящие в состав системы мониторинга параметров окружающей среды разместим на одной печатной плате и стеклотекстолита фольгированного. Модули и датчики будем впаивать на плату. Датчик влажности и температуры DHT22 имеет 4 вывода с монтажом в отверстия. У датчика CO2 MH-Z19b имеются отверстия для монтажа в них проводов, или контактных штырей. Разместим этот датчик также методом пайки на поверхности основной печатной платы. Поскольку разработка конструкции корпуса не входит в задание на выпускную квалификационную работу, а датчик освещенности размещают на поверхности корпуса со специально предусмотренным отверстием, предусмотрим для этого датчика площадку под пайку соединительных проводов. Для установки аккумуляторов будем считать, что используются специальные посадочные места - контейнеры, от клемм которых идут провода к основной плате и присоединяемые методом пайки.

Модуль ESP32-WROOM-32D расположим на поверхности основной платы и закрепим методом пайки.

Кнопки для управления устройством расположим на поверхности печатной платы.

5.2. Разработка печатной платы устройства

Печатную плату будем изготавливать из стеклотекстолита фольгированного двухстороннего толщиной 1,5 мм СФ-2-35-1,5. Его параметры представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1. – Параметры стеклотекстолита СФ-2-35-1,5

Марка	Электрические параметры фольгированного стеклотекстолита			
	Толщина изоляции d, мм	Толщина фольги h, мкм	Максимальная плотность тока J, А/мм ²	Удельное сопротивление изолятора ρ, Ом/м
СФ-2-35-1.5	1,5	35	4	$1,2 \cdot 10^9$

Все элементы схемы являются информационными и линии связи модулей и элементов схемы можно отнести к информационным, поэтому при разводке печатной платы установим преобладающую ширину проводников равной 0,2 мм, а расстояние между дорожками – 0,2 мм. Дорожки от точек присоединения аккумуляторов к остальной схеме и питающие проводники к модулю ESP32-WROOM-32D сделаем равными по ширине 1 мм.

В монтажных и переходных отверстиях будем делать металлизацию. Контактные площадки для переходных отверстий будет равен 1 мм.

Разведение проводников печатной платы проведем в программном пакете Altium Designer с учетом приведенных выше параметров проводников и переходных отверстий.

Результаты трассировки показаны на рисунке 5.1. и 5.2. для вида сверху и вида снизу на печатную плату.

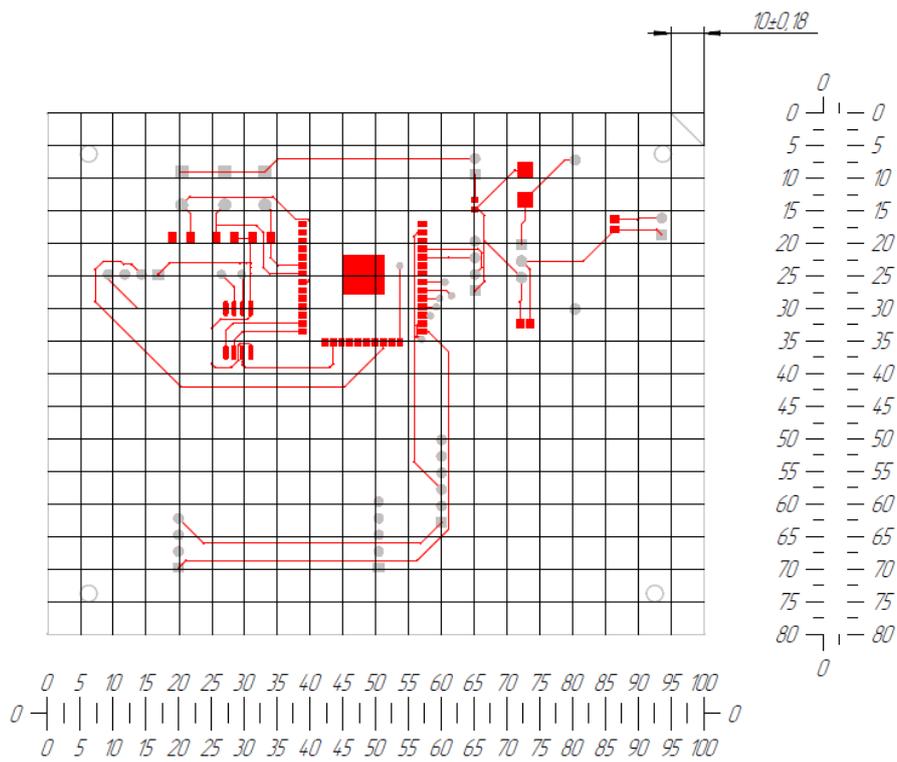


Рисунок 5.1. – Вид на печатную плату системы мониторинга параметров сверху.

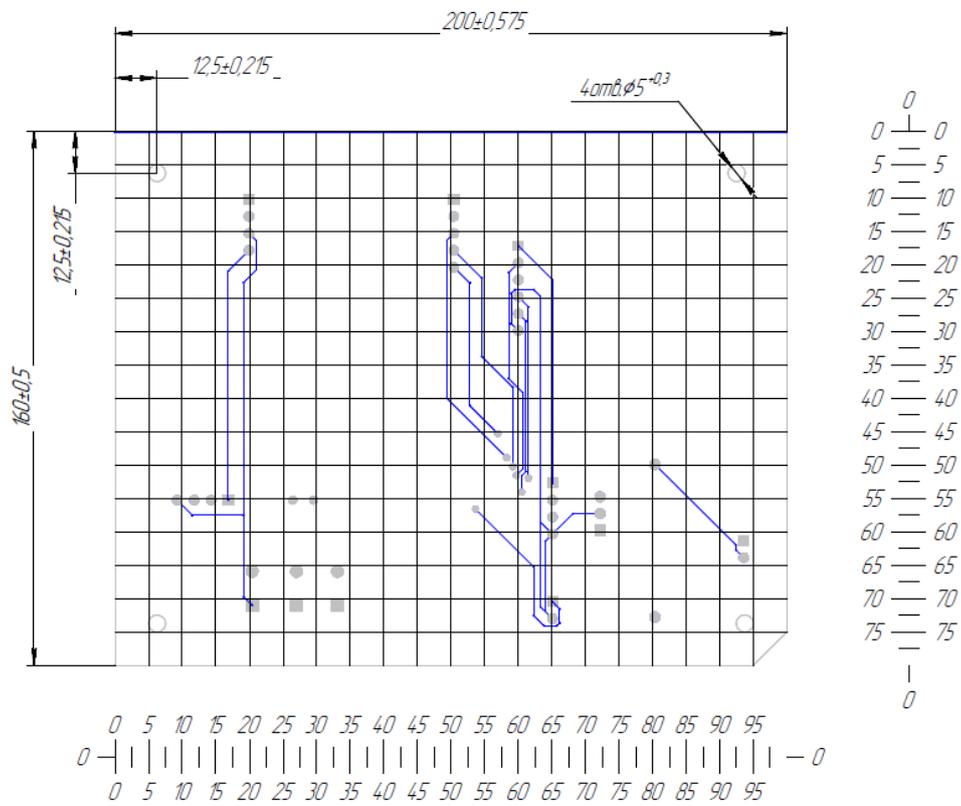


Рисунок 5.2. – Вид на печатную плату системы мониторинга параметров снизу.

5.3. Изготовление печатной платы

Печатная плата системы мониторинга будет проводиться химическим способом вытравливанием формы проводников с помощью хлорного железа. Металлизацию отверстий производят электрохимическим способом, осаждая медь. Для химической изоляции участков медной фольги на поверхности стеклотекстолита, которые необходимо оставить в качестве токопроводящих дорожек на эти участки наносят материал, стойкий к хлорному железу.

После завершения процесса травления и промывки печатной платы осуществляют высверливание отверстий (монтажных и переходных). Затем методом лужения на дорожки наносится припой и плата, кроме мест пайки, покрывается лаком, после чего на лак наносится текстово-графическая шелкография, обозначающая места установки элементов и их позиционный обозначения на схеме электрической принципиальной.

Расположение модулей и элементов на печатной плате показано на рисунке 5.3.

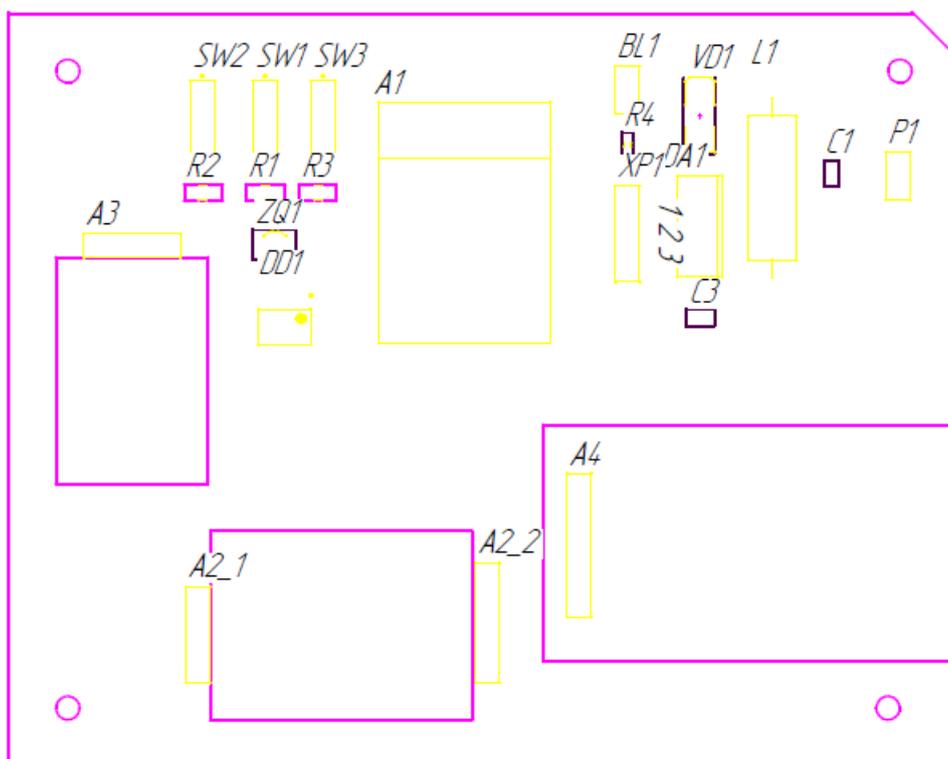


Рисунок 5.3. – Расположение элементов на печатной плате.

6. Экономическая часть

В разделе «Экономическая часть» проведем расчет средств, необходимых на приобретение комплектующих и материалов для системы мониторинга параметров окружающей среды. Сюда будем включать собственно элементы, а также материалы: стеклотекстолит фольгированный и хлорное железо. При этом они продаются некоторым фиксированным минимальным количеством товара, стоимость которого фиксирована.

Расход материалов и количество комплектующих, а также результирующие затраты сведем в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 - Затраты на материалы для изготовления системы регистрации параметров окружающей среды.

Материал	Марка	ГОСТ, ТУ	Ед. изм.	Норма расхода шт.	Цена за единицу (руб.)	Затраты (руб.)
Флюс	Спиртовой раствор сосновой канифоли	19113-84	шт.	1	25	25
Припой	ПОС60	48-0220-57-93	шт.	1	80	80
Стеклотекстолит 2х-сторонний	СФ-2-35-1,5	10316-78	шт.	1	32	32
Хлорное железо	FeCl ₃	6-00-05763458-129-91	шт.	1	68	68
Итого						205

Стоимость узлов и элементов свели в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 - Стоимость покупных узлов и элементов.

Наименование изделия	Марка, размер	Количество, шт.	Цена за единицу (руб.)	Затраты (руб.)
Микросхемы	DS1302	1	110	110
	BL8530	1	8	8
Диоды	STPS2L60	1	18	18
Модули	ESP32-WROOM-32D	1	480	480
	MH-Z19b	1	2500	2500
	Модуль microSD карты	1	90	90
Дроссель	6000-101K-RC, RF СНОКЕ, 100UH, 1.4A, 10%, 3.7MHZ	1	150	150
Резисторы	1206DRF 072R	4	0,5	2
Конденсаторы	K50-35 - 50мкФ - 25В ±20%	2	20	40
	Y5V - 0.1мкФ - 50В -+80- 20%	2	2	4
Датчик AM2302		1	120	120
Фоторезистор	N5AC501085	1	240	240
Провода	SG6301, 3м	3м	0,9р/м	2,7
Итого:				3764,7

С учетом транспортно-заготовительных расходов стоимость покупных изделий:

$$C_{\text{покуп}} = \sum_{i=1}^n S_{\text{покуп}} \cdot (1 + K_{\text{тз}}),$$

где $K_{\text{тз}}$ – коэффициент транспортно-заготовительных расходов; $K_{\text{тз}} = 0,04$

$S_{\text{покуп}}$ – стоимость покупных комплектующих изделий, руб.

$S_{\text{покуп}} = 3764,7 \cdot (1 + 0,04) = 3779,2$ руб.

Суммарные затраты на узлы, элементы и материалы сведены в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 - Результаты расчета затрат на материалы и комплектующие

Наименование статей затрат	Абсолютная величина затрат, руб.
Затраты на основные материалы	205
Затраты на комплектующие	3779,2
Итого:	3984,2

В результате определили, что затраты на приобретение материалов, узлов и элементов для изготовления печатного узла системы мониторинга параметров окружающей среды в количестве одного экземпляра равняются 3984,2 рублей.

7. Безопасность и экологичность работы

Идентификация опасных и вредных производственных факторов.

При выполнении монтажных, сборочных и наладочных работ на выполняющих работы людей воздействует ряд вредных и опасные производственных факторов. Среди них считают повышенную запыленность и загазованность рабочих зон; высокий и опасный уровень напряжения в электрических сетях; электромагнитные излучения, а также статическую нагрузку тело человека.

При пайке работник может дышать испарениями флюсов, пары припоев, содержащие свинец, окись углерода и другие элементы. Конкретный состав испаряющихся веществ определяется видом флюсов и припоев. Как правило, немалое количество припоев является токсичным. Воздействие этих веществ на организм человека, зачастую является причиной острых и хронических профессиональных заболеваний и отравлений.

Кроме этого, при монтаже электронных схем, производственные работники подвергаются воздействию таких факторов, как поражение электрическим током и статическим электричеством, поражение химическими веществами, при нарушении герметизации приборов содержащих опасные вещества. Не исключена возможность травм при работе со специнструментом, например, ожогов раскаленным припоем или паяльником, порезов и уколов об острые части элементов схем. Кроме этого, на организм человека действуют вредные вещества, содержащиеся в дыме, который возникает при монтаже элементов.

Таблица 7.1 – Перечень опасных и вредных факторов производства

№ п/п	Наименование опасного и вредного производственного фактора	Виды работ, оборудование, технологические операции при которых встречается данный производственный фактор
1	поражение химическими веществами	Пайка (аэрозоль флюс и припой), травление печатных плат (раствор)

		хлорного железа) нарушение герметизации приборов (электролитические конденсаторы)
2	поражение электрическим током и статическим электричеством	Изготовление электронных схем. электрооборудование (неисправности, повышенные значения напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека)
3	ожоги	Пайка (ожоги раскаленным припоем и паяльником)
4	порезы и уколы	Изготовление печатных плат, монтаж элементов (острые части элементов схем)

Заключение.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы разработана схема электрическая системы мониторинга параметров окружающей среды в помещении. Предложено словесное и графическое представление алгоритма работы системы. Проработаны основные моменты взаимодействия модуля ESP32-WROOM-32D, содержащего всю необходимую аппаратную часть для организации взаимодействия в сетях WiFi и по протоколу Bluetooth с датчиками, входящими в состав системы (датчик CO₂, влажности, температуры и освещенности).

Определена стоимость комплектующих узлов и элементов системы

Список используемой литературы:

1. http://www.meteomaster.ru/products/catalog/meteostantsii/Elektronnaya_tsifrovaya_meteostantsiya_Atomic_W839007-B/ // интернет ресурс производителя измерительных приборов
2. Шпак Ю.А. Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров.- К.: «МК-Пресс», 2006. – 400 с.
3. П. Хоровиц, У. Хилл Искусство схемотехники, 2011. – 593 с.
4. Ю.Н. Андреев, А.И. Антоян, Д.М. Иванов и др.; Под ред. И.И. Четверткова Резисторы(справочник) – М. Энергоиздат, 1981.- 352 с.
5. www.gaw.ru // интернет ресурс, посвященный электронике и микроконтроллерам
6. www.radiokot.ru // интернет ресурс, посвященный электронике и микроконтроллерам
7. <http://slovari.yandex.ru/dict/bse>
8. www.cxem.net // интернет ресурс, посвященный электронике и микроконтроллерам
9. www.atmel.com // интернет ресурс производителя электронных компонентов
10. Масленников М.Ю., Соболев Е.А. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база. Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1993. - 298 с
11. В. П. Берзан, М. Ю. Геликман. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки. - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 656 с.: ил.
12. И. Н. Сидоров, В. В. Мукосеев, А. А. Христинин. Малогабаритные трансформаторы и дроссели. – М.: Радио и связь, 1985. – 416 с., ил.
13. www.chipdip.ru - Интернет-сервер электронных компонентов и приборов. Интернет-магазин, описание, техническая документация на электронные компоненты.

14. www.platan.ru – Интернет-сервер электронных компонентов и измерительной техники. Интернет-магазин, электронные компоненты, техническая информация.
15. www.chipinfo.ru – Интернет-сервер поиска электронных компонентов и радиодеталей.
16. BL 8530. PFM STEP-UP DC/DC CONVERTER WITH HIGH EFFICIENCY AND LOW NOISE. Shanghai belling co.ltd // www.belling.com.cn
17. 8-bit AVR Microcontrollers ATmega328/P DATASHEET SUMMARY. Atmel-42735B-328/P_Datasheet_Summary-11/2016 // http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Summary.pdf
18. STPS2L60. Power Schottky rectifier. Doc ID 9173 Rev 6.// www.st.com
19. Radial Lead RF Chokes. REV. 06/07 // www.bourns.com
20. <https://www.espressif.com> // // интернет ресурс производителя микросхем ESP32 и модулей на их основе
21. ESP32-WROOM-32D & ESP32-WROOM-32U Datasheet. Version 1.8 Espressif Systems Copyright © 2019. 22p. // <https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp-wroom-32/overview>
22. Intelligent Infrared CO2 Module (Model: MH Z19 B User's Manual (Version: 1.0) Valid from: 2016 .0 1 21// Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd