

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

Институт энергетики и электротехники

(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»

(кафедра)

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Многоцелевая автономная компактная метеостанция специального назначения

Студент(ка)

Н.И. Мордвинов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

М.В. Позднов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультант

О.А. Парфенова

(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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МЕТОСТАНЦИЯ, МАГНИТНЫЙ АЗИМУТ, ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС, 3D-ПЕЧАТЬ

Объем: 49 страниц, 30 рисунков, 1 таблиц, 20 источника, 3 приложения и чертежи на 6 листах формата А1.

Название дипломного проекта - ***Многоцелевая автономная компактная метеостанция специального назначения.***

Объектом дипломного проекта является рабочий прототип изделия, разработанный по заданию, который может измерять температуру, влажность воздуха и атмосферное давление, а также обеспечивать измерения магнитного азимута и отображать их на экране изделия в виде графического интерфейса.

Дипломный проект может быть разделен на несколько логически связанных частей:

Состояние проблемы

Проектный раздел

Конструкторско-технологический раздел

Целью данного дипломного проекта является структурирование ранее полученных при обучении знаний таких как инжиниринг, прототипирование, проектирование электронных схем и печатных плат, 3д моделирование и программирование, изготовление изделий согласно заданию. Изделие состоит из корпуса, печатной платы, датчиков схемы зарядки аккумулятора, экрана с графическим интерфейсом и светодиодного фонаря.

Задачами дипломного проекта являются разработка структурно-принципиальной схемы, корпуса изделия, выбор его электронно-компонентной базы, разработка программного обеспечения, изготовление и прототипирование печатной платы и корпуса изделия, окончательная сборка прототипа.

Степень внедрения — прототип устройства по разработанной документации является опытным образцом.

Abstract

The title of the graduation project is *Multi-purpose Stand-alone Compact Weather Station for Special Purposes*.

The object of the graduation project is the working prototype of the product developed by the task, that can measure temperature, air humidity and atmospheric pressure, as well as provide measurements of the magnetic azimuth and display them on the product screen as a graphical interface.

The graduation project may be divided into several logically connected parts, which are as follows: state of the problem, project development part, design and technology part.

The purpose of this graduation project is the structuring of previously acquired knowledge such as engineering, prototyping, designing electronic circuits and printed circuit boards, 3D modeling and programming using modern development environments and automated design systems and making product according to the task. The product consists of a case, a printed circuit board, sensors for the battery charging circuit, a screen with a graphic interface and a LED lamp.

The problems of the graduation project are the development of structural and schematic diagram, body of the product, the choice of its electronic-component base, software development, making and prototyping of the PCB and the product case, as well as the final assembly of the prototype.

Перечень аббревиатур и сокращений

ВКР – Выпускная квалификационная работа

ЛУТ – Лазерно-утюжная технология

МК – Микроконтроллер

ПО – Программное обеспечение

САПР – Система автоматического проектирования

ШИМ – Широтно-импульсная модуляция

ARV - Семейство восьмибитных микроконтроллеров

FDM - Fused deposition modeling

LCD – liquid crystal display

OLED - Organic light-emitting diode

I2C - ИС, Inter-Integrated Circuit

IDE - Integrated Development Environment

Содержание

Введение.....	6
1. Состояние вопроса.....	7
1.1 Классификация метеостанций	7
1.2 Анализ рынка переносных цифровых метеостанций	9
2. Проектный раздел.....	14
2.1 Разработка изделия.....	14
2.2 Выбор электронной компонентой базы для текущего решения	15
2.2.1 Выбор источника питания.....	15
2.2.2 Выбор микроконтроллера	15
2.2.3 Выбор готовых решений на базе микроконтроллера ATmega328P	16
2.2.4 Выбор средств взаимодействия с изделием	18
2.2.5 Выбор датчиков.....	21
2.3 Принципы работы изделия.....	22
2.4 Разработка и расчет электрической схемы изделия	24
2.5 Разработка печатной платы изделия.....	25
2.6 Разработка корпуса прототипа изделия	27
2.5 Разработка ПО изделия	29
3. Конструкторско-технологический раздел.....	40
3.1 Изготовление печатной платы прототипа изделия.....	40
3.2 Изготовление корпуса прототипа изделия	43
3.3 Финальная сборка прототипа.....	45
Заключение	48
Список используемой литературы	49

Введение

В повседневной жизни человека всё чаще и чаще встречаются устройства способные измерять климатические условия, в которых он находится или работает -метеостанции. Для это, к примеру несколько десятков лет назад использовались ртутные или спиртовые термометры, anerойдные и ртутные барометры, психометры.

В современном же мире все эти громоздкие измерительные механизмы успели заменить датчики очень малого размера, а для анализа данных, получаемых с них, используются микропроцессоры. В связи с этим возник интерес к данной теме и в последующем идея разработать подобное устройство.

Было решено проанализировать текущий рынок метеостанций, при этом выбрав направление домашних и переносных метеостанций как наиболее вероятное перспективное.

Целью данной ВКР является выявление недостатков у текущих аналогов на рынке метеостанций, подбор решений для их устранения, разработка, проектирование и конструирование изделия, обладающего преимуществами по сравнению с текущими аналога

1 Состояние вопроса

Существует больше количество разных моделей метеостанций, которые можно найти на текущий момент в продаже. На сегодняшний день наиболее популярными стали домашние метеостанции – они измеряют микроклимат в помещении – их в разнообразных видах можно встретить во многих зданиях современного города – ярким примером могут служить настенные часы с встроенным датчиком температуры, которые несут не только свою непосредственную функцию – отображение текущего времени, но и функцию отображения температуры воздуха в помещении.

1.1 Классификация метеостанций

В целом все современные метеостанции, представленные на рынке, делятся по нескольким признакам:

- по используемому типу датчиков
- по их назначению
- по их конструкции

По первому признаку метеостанции можно разделить на три основных класса:

- с аналоговыми датчиками
- с цифровыми датчиками
- скомбинированными датчиками

К первому классу относятся метеостанции измерения, на которых производятся с помощью аналоговых датчиков таких как: термометр, барометр, анеморумбометр, плювиометр, психометр. Все эти измерительные устройства основаны на механических принципах благодаря которым и возможно производить измерения. Метеостанции данного класса не нуждаются в источнике питания, однако, довольно громоздки и зачастую довольно хрупки.

Ко второму классу относятся метеостанции использующие для измерения цифровые датчики такие как гигрометр с биоморфным элементом, термопара, электронный барограф. Данные измерительные

устройства работают от электричества и преобразовывают снимаемые ими показания в некоторый электрический сигнал. Метеостанциям данного класса необходим некоторый источник питания, однако, они могут иметь довольно малые габариты и вести более точный учёт данных, а также последующую их обработку.

К третьему классу относятся метеостанции, имеющие по некоторым причинам, как и аналоговые так и цифровые датчики.

В данной ВКР будет рассмотрено проектирование метеостанции второго класса.

Если классифицировать метеостанции по их назначению, то можно выделить, то можно выделить четыре класса:

- домашние метеостанции
- дорожные и полевые метеостанции
- промышленные метеостанции
- метеостанции специального назначения

К первому классу относятся метеостанции, которые предназначены для бытового использования, в том числе для дома. Такие метеостанции предоставляют данные о микроклимате в помещении и в некоторых случаях также погодных условиях на улице.

Ко второму классу относятся метеостанции сообщающие условия климата, к примеру на обочинах дорог (обледенения, боковой ветер) и в полях (влажность воздуха, температура, влажность почвы)

К третьему классу относятся метеостанции, измеряющие микроклимат в цехах, на производствах и в рабочих помещениях, где это необходимо.

К четвёртому классу относятся все прочие метеостанции, не вошедшие в предыдущие классы – к примеру метеостанции гидрометцентра России или метеостанции, имеющие дополнительный функционал не относящийся к стандартному.

При классификации метеостанций по их конструкции их можно разбить на два класса:

- стационарные
- переносные

Стационарные же метеостанции в свою очередь можно разбить на две группы:

- монолитные
- с выносными датчиками

Стационарные метеостанции монолитной конструкции представляют из себя цельное устройство зачастую с двигающимися частями. Данные метеостанции измеряют показатели той окружающей среды в которой они находятся.

Метеостанции с выносными же датчиками могут измерять как показатели среды, в которой они находятся, так и показатели некоторой удалённой среды, за счёт датчиков, вынесенных за пределы основного корпуса и соединённые проводным или беспроводным путём с основным устройством. Примером может служить датчик установленный перед холодильной камерой на некотором предприятии который измерять показатели среды внутри камеры и перед ней.

В данной ВКР будет рассмотрены только переносные метеостанции как наиболее перспективное направление.

1.2 Анализ рынка переносных цифровых метеостанций

RST 02559 рисунок 1



Рисунок 1 – фотография метеостанции **RST 02559**

Технические характеристики:

Метеостанция цифровая:

Диапазон измерений температуры от -20°C до $+60^{\circ}\text{C}$

Диапазон измерений атмосферного давления от 676 мм рт.ст. до 812 мм рт. ст.

Тип питания 1 батарейка CR2032

Размеры: 163x78x27 мм

Kestrel 5000 рисунок 2



Рисунок 2 – фотография метеостанции **Kestrel 5000**

Технические характеристики:

Диапазон температуры от -29°C до $+70^{\circ}\text{C}$, температурное разрешение $0,1^{\circ}\text{C}$

Диапазон измерений влажности от 10% до 90%

Диапазон измерения атмосферного давления от 700 до 1100 Мбар

Тип питания 1 батарейка AA

Размеры 127x45x28 мм

Вес: 102 грамм

Skywatch Geos N11 рисунок 3



Рисунок 3 – фотография метеостанции **Skywatch Geos N11**

Технические характеристики:

Диапазон скорости ветра от 1 до 42 м.сек

Диапазон температуры -40°C до +85°C

Диапазон измерений влажности 0.1 до 100%rH

Диапазон измерения атмосферного давления 10 до 1100hPa

Диапазон измерения высоты -1000 до 21535м

Питание прибора : 4 X 3V литиевые батареи CR2032

Из этих данных видно, что большинство приборов данного класса питаются от одноразовых источников питания, что в последующем сказывается на конечной стоимости эксплуатации устройства. Следует заменить одноразовый источник питания, а перезаряжаемую аккумуляторную батарею. Так же для удобства использования рекомендуется встроить схему зарядки этой аккумуляторной батареи в устройство.

Для успешной конкуренции с продукцией других производителей необходимо обеспечить диапазон измерений:

Температуры воздуха: -30 до +50 °С

Диапазон измерений влажности 10 до 100%

Диапазон измерения атмосферного давления 680 мм рт.ст. до 800 мм

Так же в корпусе изделия необходимо разместить экран для удобного снятия показаний и аккумуляторную батарею.

Кроме этого, необходимо разместить датчик, который сможет определять азимут магнитный и светодиодный фонарь чтобы повысить количество функций у устройства для увеличения конкурентоспособности изделия.

2 Проектный раздел

2.1 Разработка изделия

Согласно требованиям к изделию была составлена первичная структурная схема рисунок 4



Рисунок 4 - первичная структурная схема

По данной схеме видно, что следующим этапом будет подбор компонентов для реализации работы изделия.

В данной схеме система управления является ключевым звеном, которое будет производить обработку данных поступающих с датчиков с средств ввода, после чего обрабатывать по некоторым алгоритмам и передавать её на средства вывода. Система управления и прочие устройства для реализации функций автономности изделия должны питаться от аккумуляторной батареи, уровень заряда которой так же должен обрабатываться устройством. Сама же аккумуляторная батарея должна заряжаться от специальной схемы, которая будет реализовывать верный режим заряда, во время зарядки батареи схема будет питаться от внешнего блока питания постоянного тока с напряжением 5 В.

В качестве схемы управления предполагается выбрать микроконтроллер, который позволял бы оперативно обрабатывать информацию, поступающую с датчиков и устройств ввода, как и цифровую так и аналоговую.

В качестве датчика, который измерят азимут магнитный предполагается использовать магнитометр и после путём косвенного измерения вычислять азимут магнитный.

В качестве датчиков, измеряющих температуру, влажность и давление воздуха лучше всего использовать специальный датчик, который мог бы совмещать в себе все эти датчики или хотя бы два для экономии ресурсов.

В качестве средств ввода предполагается использовать кнопки тактовые нажатия которых будут обрабатываться микроконтроллером.

В качестве средства вывода для данного изделия предполагается использовать LCD дисплей т.к. плотность информации, которую необходимо выдавать пользователю довольно велика.

2.2 Выбор электронной компонентой базы для текущего решения

2.2.1 Выбор источника питания

Для питания изделия с условием его автономности в корпусе необходимо разместить аккумуляторную батарею. Для этого было решено использовать Li-ion аккумулятор. Данный тип аккумуляторов выпускается практически во всех форм факторах, имеет высокую ёмкость и малый объём батареи по сравнению к пример с свинцово кислотным аккумулятором. Так же в данном типе батарей зачастую встроена специальная плата, которая может ограничивать ток, но чаще все защищает Li-ion аккумулятор от перезаряда и переразряда, а диапазон рабочих напряжений лежит в 3.2 – 4.2 В (зависит от производителя, ёмкости и наличия встроенного контроллера).

2.2.2 Выбор микроконтроллера

В процессе обучения мы успели поработать с несколькими микроконтроллерами, но выбор пал именно на решения базирующиеся на восьмибитных AVR микроконтроллерах ATmega от компании Atmel, т.к. именно они получил широкое распространение по всему миру и в сети интернет присутствует много сообществ, пособий и инструкций по работе с

ними. Наиболее привлекательными по-своему функционалу и габаритам, энергопотреблению были признаны ATmega328P (рисунок 5).



Рисунок 5 - фотография микроконтроллера ATmega328P-AU

2.2.3 Выбор готовых решений на базе микроконтроллера ATmega328P

Выбор стоял между модулями Arduino Nano (рисунок 6 и рисунок 7) и Arduino Pro Mini (рисунок 8) в которых как раз-таки используется ранее выбранный микроконтроллер.

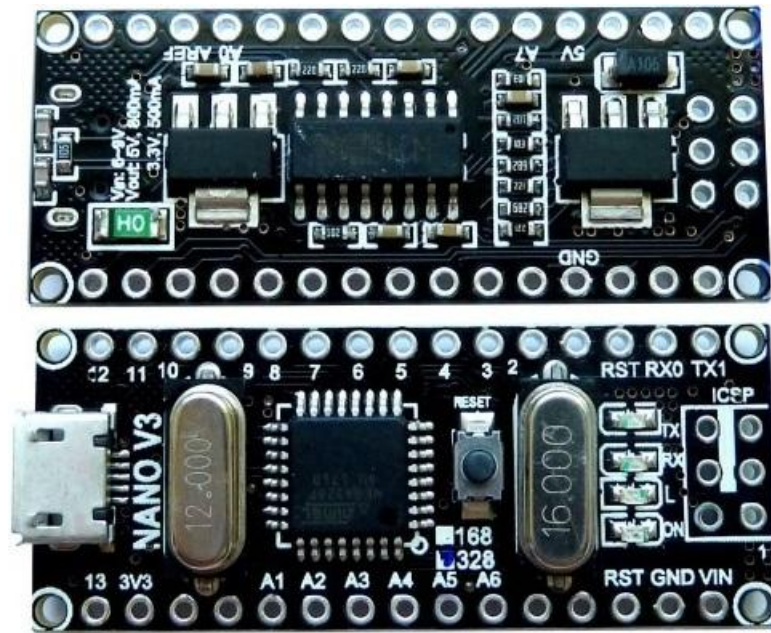


Рисунок 6 - фотография Arduino Nano v3 от RobotDyn



Рисунок 7 - фотография оригинальной Arduino Nano v2.2



Рисунок 8 - фотография Arduino Pro Mini

Arduino Nano имеет в большинстве случаев (в зависимости от серии и модификации) имеет стабилизатор питания на 5.0 В, встроенный программатор с разъёмом USB Micro (рисунок 6) или USB Mini (рисунок 8). Диапазон её предельных входных напряжений это 6-20 В, а диапазон рекомендуемого входного напряжения 7-12 В. Она имеет 14 цифровых входов/выходов (6 из которых могут использоваться как ШИМ) и 8 аналоговых входов. Габаритные размеры печатной платы Pro Mini составляют 18,5x4,2 мм [1].

Arduino Pro Mini имеет один стабилизатор на 3.3 В или на 5.0 В (в зависимости от модели), диапазон её входных напряжений составляет 3.35-12 В (модель 3.3 В) или 5-12 В (модель 5 В). Она имеет 14 цифровых входов/выходов (6 из которых могут использоваться как ШИМ) и 6 аналоговых входов. Габаритные размеры печатной платы Pro Mini составляют 18x33 мм. [2]

Таким образом была выбрана Arduino Pro Mini, т.к. данное решение имеет приблизительно схожий функционал Arduino Nano, однако имеет меньшие габаритные размеры и меньшую стоимость.

2.2.4 Выбор средств взаимодействия с изделием

Для комфортной работы не в зависимости от наличия рядом ПК готовое изделие должно иметь устройства ввода и вывода.

Для ввода информации было решено использовать 3 тактовые кнопки K2-1107ST-A4SW-06 (рисунок 9) с условными обозначениями: «Принять», «+» и «-» т.к. предыдущий мой опыт разработки показал что для простых изделий хватает 2 – 3 кнопок в связи с тем что обработку события нажатия кнопки можно сделать достаточно продвинутой и кроме прямого отсчёта количества нажатий кнопки можно реализовать куда более сложные алгоритмы.



Рисунок 9 - фотография тактовой кнопки K2-1107ST-A4SW-06 с сайта (lsc.com)

Для вывода информации было решено использовать LCD дисплей. Наиболее подходящими были признаны LCD OLED дисплеи, работающие на I2C за наличие подсветки. высокое разрешение выдаваемого изображения в малых габаритах.

Наименьшими габаритами и имеющими подходящие характеристики были модули дисплеев 128x32 (рисунок 10) пикселя и 128x64 (рисунок 11) пикселя.

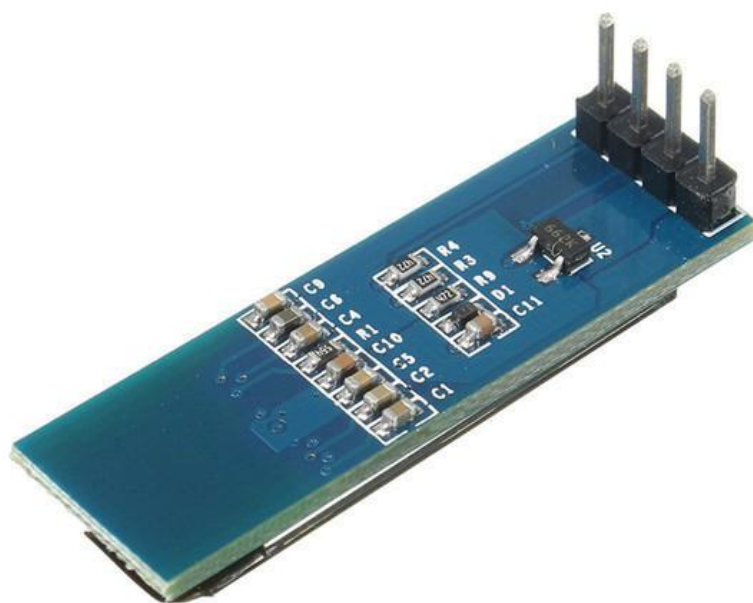


Рисунок 10 - фотография модуля дисплея 128x32

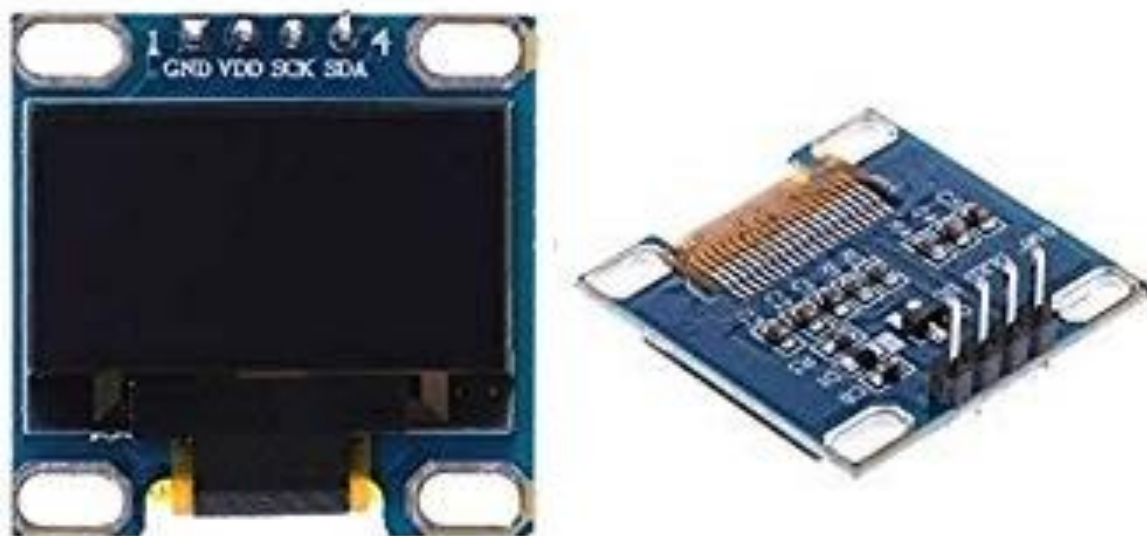


Рисунок 11 - фотография модуля дисплея 128x64

Было решено использовать модуль дисплея с разрешением 128x64 пикселей для большей информативности графического интерфейса изделия.

2.2.5 Выбор датчиков

Для измерения температуры, влажности и давления воздуха было решено использовать универсальный датчик BME280 [3] рисунок 12 т.к. данный датчик предоставляет довольно точные измерения в больших диапазонах значений таблица 1.

Группа показателей	Показатель	Диапазон
• Рабочий диапазон:	Температура	от -40 до + 85 °С
	Влажность	от 0 до 100%
	Давление	300-1100 гПа
• Точность:	Температура	+1 °С
	Влажность	+3%
	Давление	+1 Па

Таблица 1 – технические характеристики измерений BME280

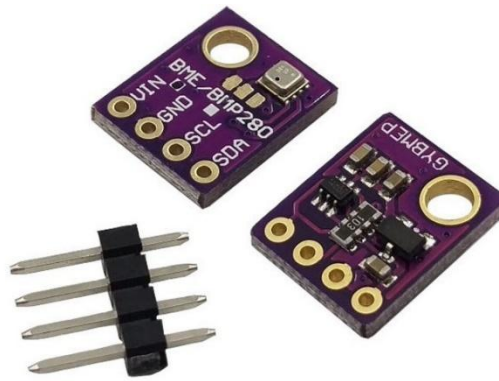


Рисунок 12 - фотография модуля датчика BME280

Для измерения азимута магнитного был решено использовать 3х осевой датчик магнитного поля HMC5883L [4] рисунок 13 из-за его относительно малых габаритных размеров.



Рисунок 13 - фотография модуля датчика HMC5883L

Для зарядки аккумуляторной батареи было решено использовать микросхему TP4056 [4] т.к. она может обеспечивать широкий диапазон выходных токов, а сама микросхема нуждается в очень малом количестве компонентов обвязки

2.3 Принципы работы изделия

После выбора всех компонентов изделия была составлена полная структурная схема устройства рисунок 14

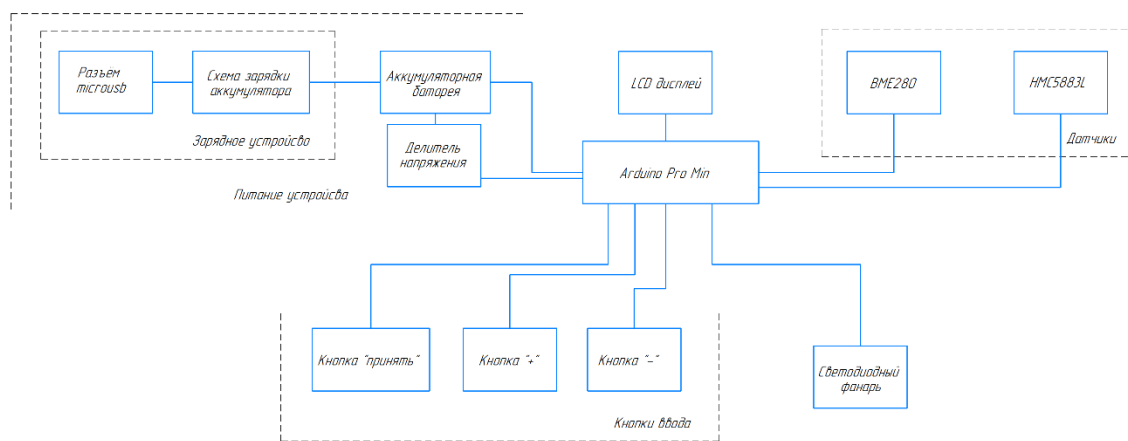


Рисунок 14 - полная структурная схема устройства

Из данной структурной схемы видно, что питание устройства обеспечивается аккумулятором [5], который в свою очередь будет заряжаться от специальной схемы зарядки аккумулятора. Сам аккумулятор будет питать устройство всё время его работы. Напряжение на аккумуляторе будет определяться делителем напряжения, данные с которого будут считываться аналоговым входом микроконтроллера Arduino Pro Mini.

Данные с кнопок будут поступать на цифровые входы микроконтроллера и обрабатываться согласно программе.

Датчики будут подключаться через шину I2C [6], которая на данной конкретной плате находится на аналоговых входах A4 и A5 и питаться от выхода VCC на плате микроконтроллера.

После обработки данных микроконтроллером они будут выводиться на LCD дисплей в виде некоторого графического интерфейса.

LED светодиод который используется в качестве фонаря подключается напрямую к цифровому выводу микроконтроллера [7] который может производить ШИМ. Это необходимо для достижения энергоэффективной – в результате ток, проходящий через светодиод, соответственно его яркость можно регулировать с помощью подачи некоторого ШИМ [8] сигнала с необходимым коэффициентом заполнения.

2.4 Разработка и расчет электрической схемы изделия

Согласно структурной схеме устройства была разработана принципиальная схема рисунок 15,

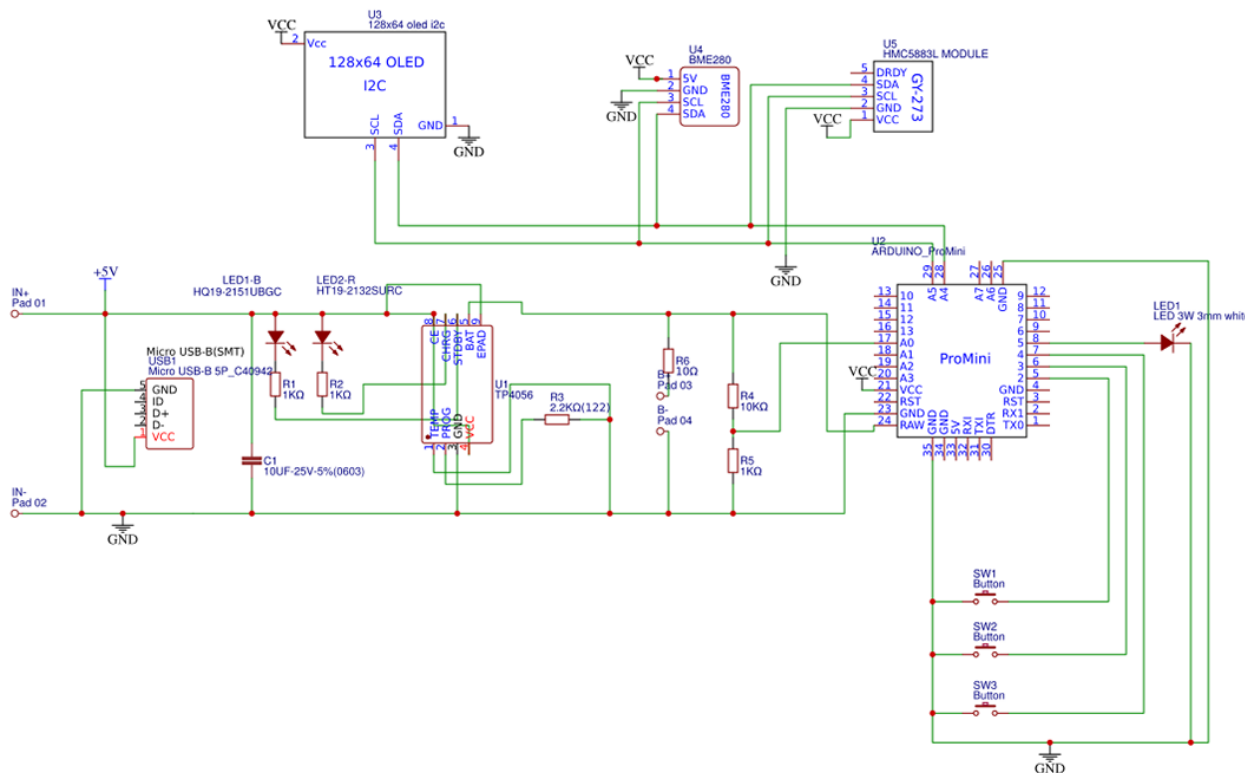


Рисунок 15 - скриншот схемы электрической принципиальной из EasyEDA

а для упрощения её разработки была использована САПР электронных устройств EasyEDA (easyeda.com). Данная САПР имеет множество преимуществ – она бесплатна, это веб приложение (доступ к нему можно получить из любой точки мира), она довольно проста в освоении и в тоже время включает в себя огромную библиотеку элементов (в том числе и пользовательские элементы).

Данная САПР так же включает в себя и готовые схемы для стандартных компонентов. Схема электрическая необходимая для работы TP4056 была взята из официальной документации [5] на данную микросхему рисунок 16, но с незначительными изменениями.

TYPICAL APPLICATIONS

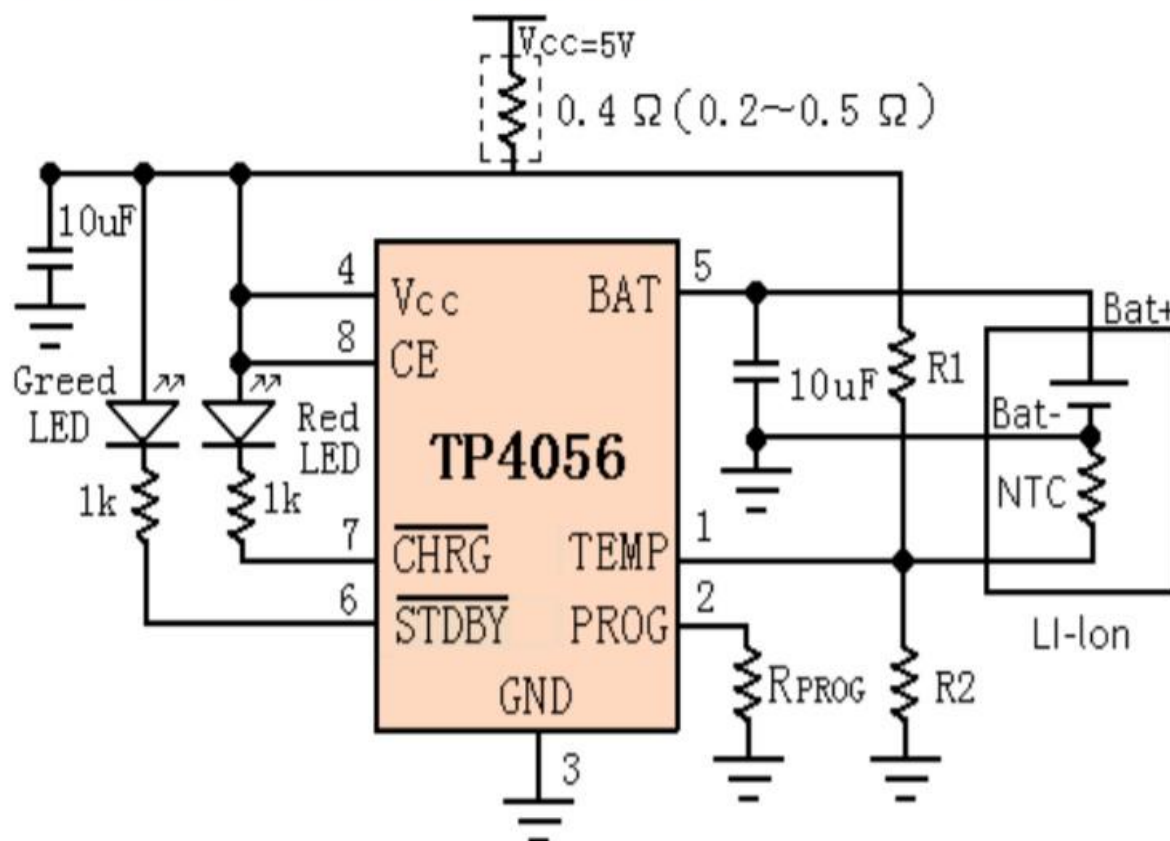


Рисунок 16 - Скриншот из официальной документации на микросхему TP4056

R1, R2, C1 взяты согласно рисунок 16

Rprog было решено взять 2.2 кОм что соответствует току зарядки приблизительно 540 мА согласно официальной документации. [9] На схеме, изображённой на рисунке 15 данный резистор назван R3.

R4 и R5 вместе составляют делитель напряжения необходимый для определения напряжения на аккумуляторе и рассчитаны согласно [10,11]

R6 необходим для токоограничения и проведения отладочных работ

2.5 Разработка печатной платы изделия

Как ранее было упомянуто проектирование электрической принципиальной схемы устройства велось в САПР EasyEDA [12]. Данная система умеет строить дорожки и разводить печатную плату автоматически по уже готовой электрической схеме, которая была составлена ранее. Таким

образом мне оставалось только поправить некоторые параметры, разместить полигоны изображающие площадки печатных элементов и запустить автоматическую трассировку [13], результат работы изображён на рисунке 17.

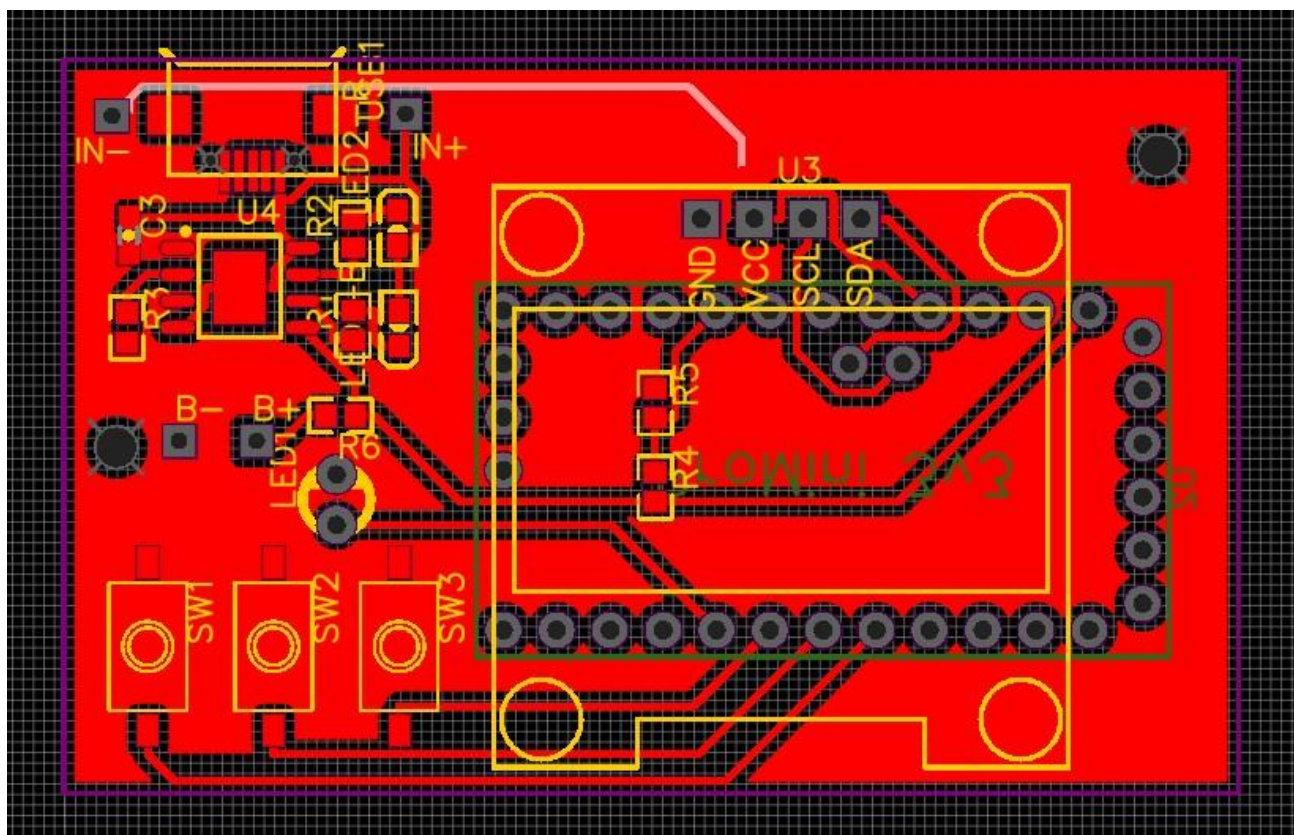


Рисунок 17 - Скриншот печатной платы с сайта EasyEDA

Как видно из рисунка 17 разводка платы производилась со сплошным сложным полигоном, который является общей шиной GND, что позволило упростить разводку. Так же данный метод позволяет ускорить травление меди с поверхности стеклотекстолита, т.к. площадь медных площадок, которые необходимо вытравить становится значительно меньше. В тоже время данный метод так же позволяет более эффективно распределять и рассеивать тепло с поверхности платы.

Так же EasyEDA как САПР соответствует самым современным стандартам и как можно видеть из рисунка 17 она автоматически генерирует слой шелкографии и после завершения работ на печатной платной работу

можно экспортировать в Gerber файл, который уже долгое время является единым стандартом на ранке производства печатных плат.

2.6 Разработка корпуса прототипа изделия

Корпус прототипа изделия было решено разрабатывать в Fusion360 – многофункциональная САПР предоставляющая возможности быстрого 3D моделирования, рендеринга, черчения. Данное ПО является платным, однако компания Autodesk предоставляет студенческие лицензии бесплатно.

Для создания корпуса были смоделированы основные детали изделия по габаритным размерам которые были сняты с помощью цифрового штангенциркуля. Детали были смоделированы схематично и основной упор шёл на крепёжные отверстия, габаритные размеры печатных плат и нависающих деталей. Результаты моделирования, прошедшие процедуру рендеринга, можно увидеть на рисунке 18

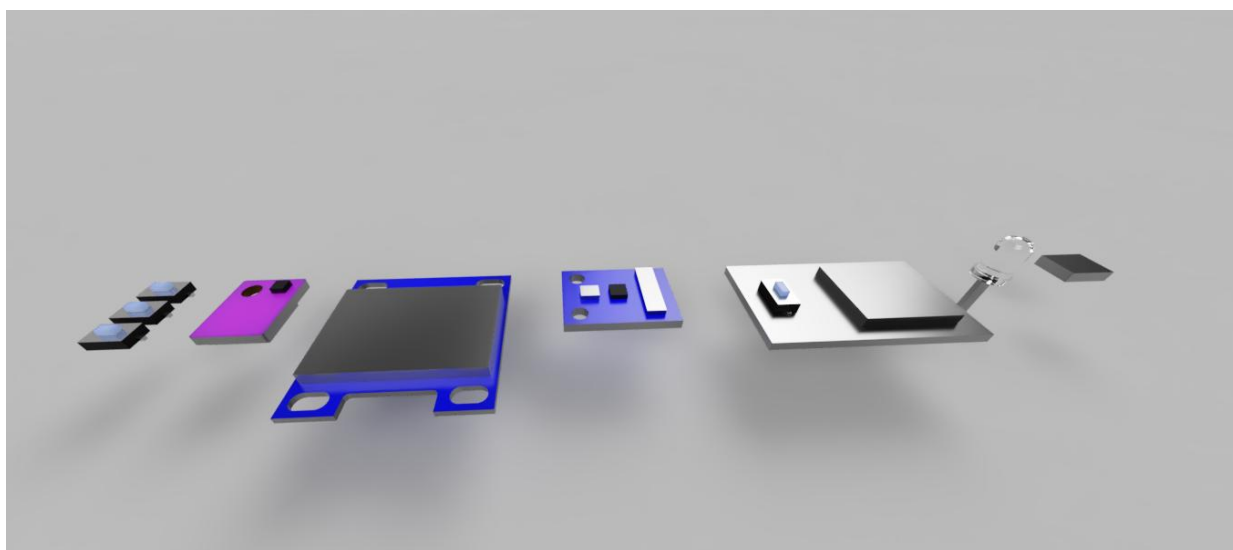


Рисунок 18 - Скриншот программы Fusion360

После того как были смоделированы детали также была смоделирована печатная плата и на ней размещена деталь, изображающая Arduino Pro Min, разъём micro USB, тактовые кнопки. Светодиод было решено закрепить не в самой плате, а вывести в корпус.

В результате компоновки деталей и продумывания их расположения получилась следующая конфигурация, изображённая на рисунке 19

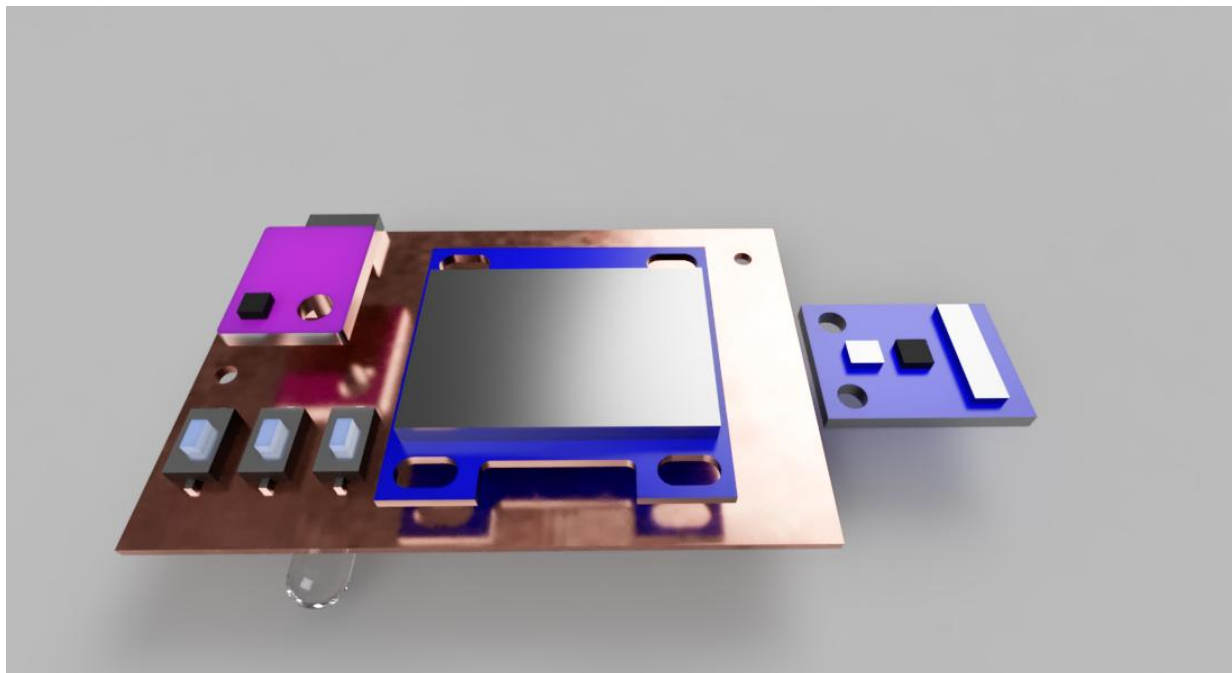


Рисунок 19 - Скриншот программы Fusion360, рендер конфигурации деталей

Из рисунка 19 видно что справа на отдалении ото всех деталей размещён датчик HMC5883L. Такое его положение выбрано не случайно – данный магнитометр довольно чувствителен [14,15] поэтому в корпусе его необходимо размещать дальше всего ото всех деталей чтобы минимизировать погрешность измерений.

Так же на рисунке 19 видно, что светодиод – фонарь был размещён под главной печатной платой слева, а многофункциональный датчик BME280 был размещён на лицевой стороне будущего корпуса изделия, там же где и экран, однако данный датчик в отличии от экрана и кнопок будет располагаться как бы вне корпуса для произведения измерений окружающей среды.

За BME280 виден край детали, изображающей разъем micro USB, он также согласно расчётам специально немного вынесен вперёд за габариты печатной платы для того, чтобы соответствующий штекер вставлялся проще.

После того как была определена внутренняя конфигурация прототипа устройства была начата разработка корпуса вокруг деталей.

В процессе разработки было изготовлено более 5 прототипов, которые после того, как были проверены на совместимость с реальными размерами модулей датчиков, печатной платы и прочих деталей были так или иначе модифицированы в Fusion360. После некоторого количества подобных итераций удалось добиться подходящего результата, он представлен на рисунке 20

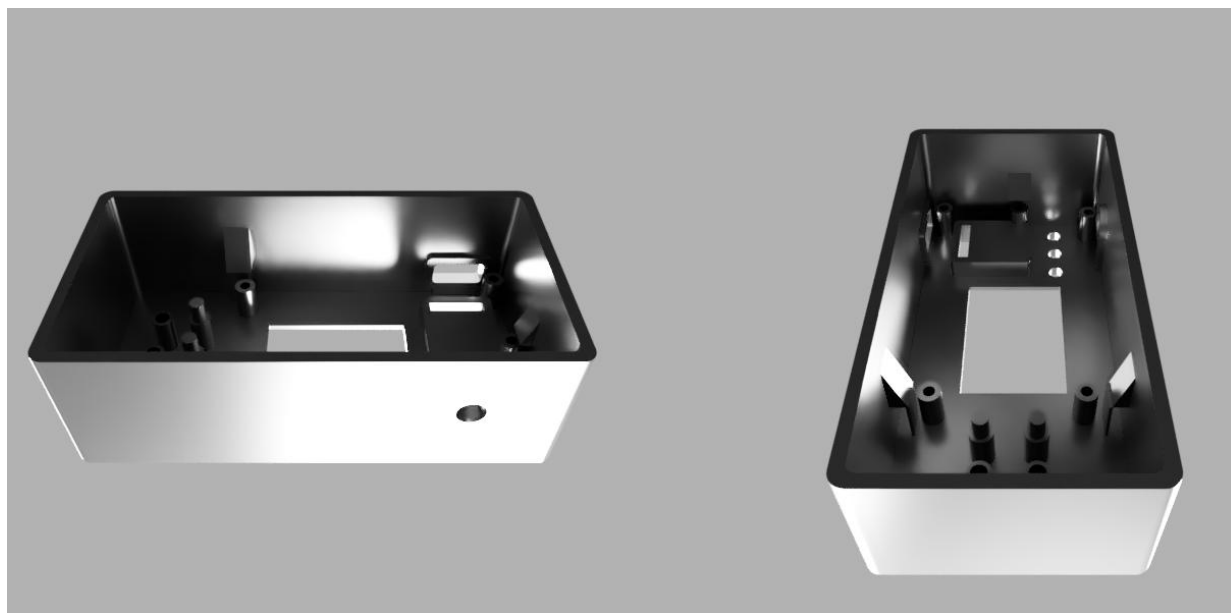


Рисунок 20 - Скриншот программы Fusion360, рендер передней части корпуса притопа изделия, виды снизу, с двух ракурсов

2.5 Разработка ПО изделия

Разработка ПО для микроконтроллера — это неотъемлемая часть работы, благодаря которой можно добиться конечного результата и получить прототип рабочего изделия. Разработка ПО велась на языке C++ который является стандартным для платформ Arduino и AVR микроконтроллерам (в дальнейшем конечно при программировании самого микроконтроллера он транслируется в ассемблерный код).

C++ является достаточно низкоуровневым и поэтому мощным, объектно-ориентированным языком программирования. На его платформе

достаточно просто реализовывать сложные решения, которые в тоже время будут очень легковесны по размеру кода.

Для работы с Arduino Pro Mini, написания для неё кода и программирования её же было решено использовать в качестве ПО для разработки современную IDE Atom, в которую в качестве модуля для работы с C++ и AVR микроконтроллерами был установлен модуль Platform IO. Данная связка обладает всеми возможностями стандартной Arduino IDE, однако превосходит её по многим дополнительным функциям. К примеру, в Atom встроен система контроля версий Git, которая в свою очередь связывается с веб сервисом Git Hub что позволяет вести разработку более эффективно иметь доступ к коду из любой точки мира. Таким методом разработки пользуются крупные компании. Так же пожалуй ключевой функцией Platform IO является возможность искать (рисунок 21) и загружать сторонние библиотеки кода буквально одним нажатием.

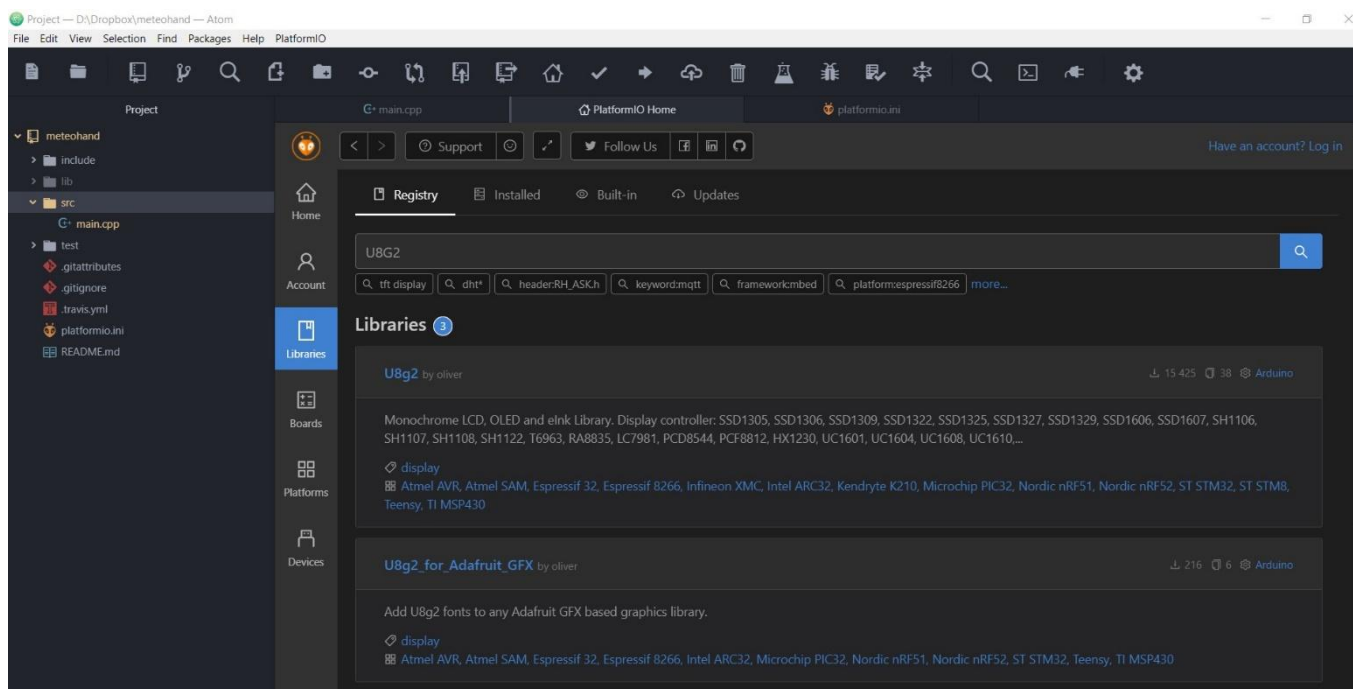


Рисунок 21 - Скриншот программы Atom, с открытым деревом проекта и вкладкой с поиском библиотек по поисковому запросу «U8G2»

Таким образом к проекту можно быстро подключить любую библиотеку. Количество библиотек здесь гораздо больше чем в Arduino IDE, так же можно быстро подключать библиотеки с Git Hub. После загрузки библиотеки её необходимо добавить в специальный файл platformio.ini необходимый для объявления зависимостей и настроек платформы, который виден на рисунке 21 в древе проекта. Добавить необходимую библиотеку в данный файл просто – нужно лишь добавить её название в строчку lib_deps, пример:

```
lib_deps = U8g2
```

Чтобы добавить библиотеку с Git Hub нужно просто указать ссылку на её репозиторий следующей строкой, пример:

```
lib_deps =  
U8g2  
https://github.com/keepworking/Mecha\_QMC5883L
```

Чтобы сообщить среде разработки что работа и компиляция проекта будет производиться для Arduino Pro Mini достаточно просто добавить в тот же файл

```
[env:pro16MHzatmega328]
```

```
platform = atmelavr  
board = pro16MHzatmega328
```

После этих действий досочно просто добавить ссылки на заголовочные файлы необходимых библиотек в начале основного, когда, пример:

```
#include <U8g2lib.h>  
#include <BME280I2C.h>  
#include <MechaQMC5883.h>
```

Таким образом для работы с датчиками и LCD дисплеем были использованы специальные библиотеки, которые предлагали готовое и сформулированное решение для коммуникации по шине I2C, считывания

показаний, вывода информации на экран и много другого, что упростило и ускорило процесс разработки.

Список используемых библиотек:

Arduino.h – стандартная библиотека Arduino

U8g2lib.h – библиотека позволяющая работать с экранами по шине I2C

avr/sleep.h - стандартная библиотека Arduino необходимая для работы функций «сна» и разных режимов энергопотребления

BME280I2C.h – библиотека для работы с датчиком BME280 по шине I2C

EnvironmentCalculations.h – сопутствующая BME280I2C.h библиотека, необходима для вычислений в зависимости от окружающей среды

MechaQMC5883.h – библиотека необходима для работы с датчиком HMC5883L

Разработка программного, когда велась в несколько этапов т.к. необходимый функционал очень объёмен. Было решено что необходимо писать код последовательно под каждый модуль.

Прежде всего был написан код для работы LCD дисплея, т.к. он является средством вывода информации и во многих случаях гораздо удобнее серийного порта. Для работы с экраном библиотека U8g2 была выбрана не случайно – несмотря на то что она довольно требовательна к устройству она совмещает в себе огромное количество функций и готовых решений для отрисовки графического интерфейса.

К примеру, чтобы вывести на экране рамку по краям нужно всего лишь вызвать метод класса u8g2, drawFrame с соответствующими параметрами

```
u8g2.drawFrame(0, 0, 128, 64);
```

Где 0, 0 – это координаты начальной точки на экране, откуда будет происходить отрисовка рамки, а 128, 64 это ширина и высота самой рамки.

Остальные методы данной библиотеки работают по аналогии, отличаются названиями и порой количеством входных параметров.

Так, к примеру чтобы отрисовать на экране слово HELP начиная с 10 пикселя по оси Y и с 5 пикселя по оси X необходимо написать в коде программы следующую строчку:

```
u8g2.drawStr(5,10,"HELP");
```

Так же в данной библиотеке присутствуют символьные шрифты, которые позволяют выводить специальные собранные заранее символы на экран. Однако с данной возможностью нужно работать осторожно т.к. каждый такой символьный шрифт занимает приличный объём в памяти AVR которая рассчитана под программу – то есть объём бизнес логики, которую можно реализовать довольно сильно сокращается.

Таким образом создавать понятные и сложные графические интерфейсы стало гораздо проще благодаря данной библиотеке.

После этого была реализована часть кода необходимая для снятия данных с датчика, обработки этих показаний и вывода на экран. Библиотека BME280I2C.h предоставила простые и понятные методы для работы с датчиком BME280, к примеру для того, чтобы считать давление, температуру и влажность воздуха необходимо объявить три соответствующие переменные типа float и вызвать метод read(), экземпляра класса BME280I2C [16], передав в качестве параметров эти самые переменные, пример кода:

```
bme.read(pres, temp, hum);
```

Так же был реализован вывод данных на LCD дисплей, для большей наглядности были для каждого показателя были подобраны иконки из специальных шрифтов рисунок 22.

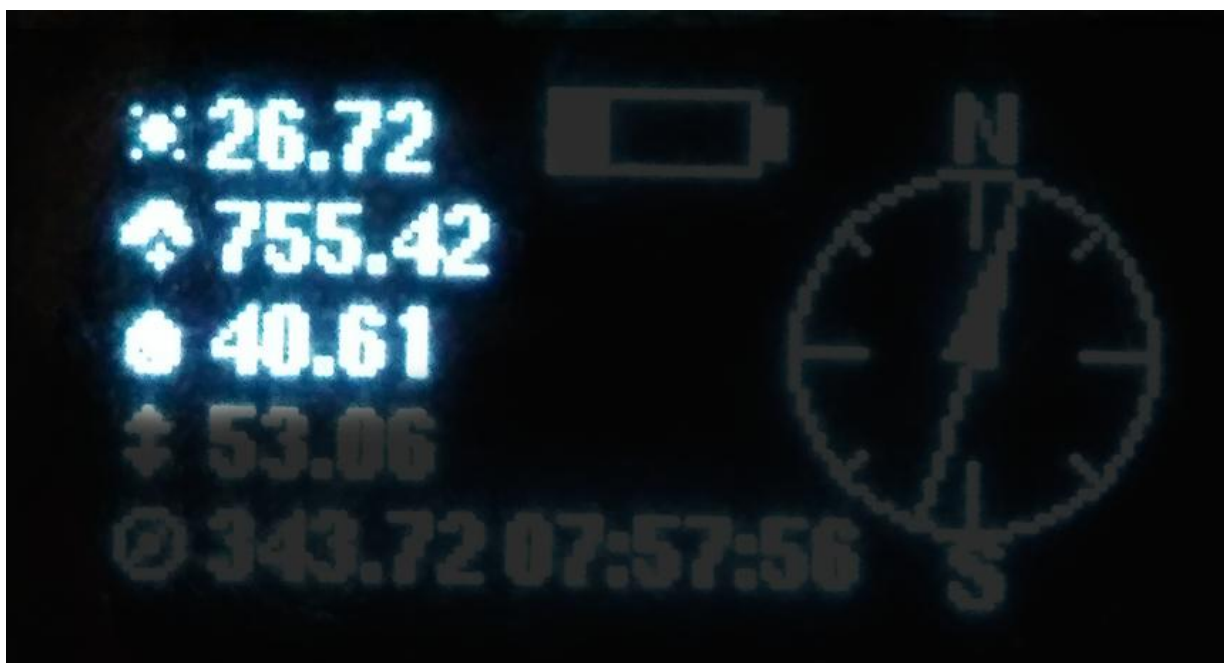


Рисунок 22 - Фотография графического интерфейса устройства, где отненены все элементы кроме показаний температуры, давления и влажности (сверху вниз)

Следующим этапом разработки программы была снятие и обработка данных с магнитометра HMC5883L [17], для этого и была использована библиотека MechaQMC5883.h. Данная библиотека так же позволяет по полученным данным вычислять азимут магнитный, а так же в процессе калибровки находить поправки для более точного вычисления азимута. После так же, как и с предыдущим датчиком был, был реализован вывод данных на графический интерфейс экрана подобным образом, однако для большей наглядности было решено так же разместить на экране графический элемент изображающий компас с движущейся стрелкой, указывающий строго на север рисунок 23.



Рисунок 23 - Фотография графического интерфейса устройства, где отненены все элементы кроме показаний магнитометра

Следующей не менее важной задачей было снятие показаний с делителя напряжения для получения данных о текущем напряжении на аккумуляторе. Было решено создать несколько макросов чтобы описать стандартные состояния напряжения аккумулятора:

```
#define lowBattery 3.7  
#define lowCriticalBattery 3.4  
#define overchargedBattery 4.35  
#define maxCharchedBattery 4.25
```

Все они являются некоторыми точками отсчёта, так, к примеру аккумулятор считается заряженным от `lowBattery` до `maxCharchedBattery`, в тоже время аккумулятор будет считаться разряженным до тех пор, пока напряжение на нём не упадёт до `lowCriticalBattery`, после чего аккумулятор считается критически разряженным.

Для каждого состояния аккумулятора есть своё специфическое графическое изображение, которое символизирует это состояние. Так, к примеру, когда напряжение на аккумуляторе находится в стандартном рабочем

диапазоне (между lowBattery и maxChargedBattery) иконка аккумулятора равномерно заполняется как шкала в зависимости от напряжения рисунок 24.



Рисунок 24 - Фотография графического интерфейса устройства, где отненены все элементы кроме показаний напряжения на аккумуляторе

Также как видно из рисунка 24 слева от иконки аккумулятора выводится текущее актуальное напряжение на аккумуляторе.

После этих действий был написан простой алгоритм работы цифровых часов, которые работают за счёт внутреннего счётчика микроконтроллера. Так же эти часы вы водятся на экране в виде цифровых часов с тремя единицами времени.

Далее был реализован алгоритм работы с кнопками необходимый для переключения режимов устройства и манипуляций, производимых в меню.

Для этого было написан целый класс со своими методами, который позволяет обрабатывать события нажатия кнопки, узнавать текущее состояние кнопки, время последнего нажатия, длительность последнего нажатия, количество нажатий, произведённых с определённым интервалом. Всё это стало возможно благодаря специальному методу этого класса, который

считывает состояние кнопки во время прерывания. Само прерывание объявляется в блоке SetUp как:

```
OCR0A = 0xAF;  
TIMSK0 |= _BV(OCIE0A);
```

выполняется около одного раза в секунду и вызывается оно таймером TIMSK0.

Во время этого прерывания у каждого экземпляра класса Button необходимо вызвать метод readState() чтобы обновить состояние кнопок вне зависимости от основного потока.

После этого был простой этап внедрения светодиодного фонаря в код. Сам светодиод подключён в цифровой пин 5 который в коде объявлен переменным ledPin:

```
#define ledPin 5
```

Данный пин имеет функцию ШИМ, а на англ. PWM, данная функция позволяет регулировать ток протекающий через светодиод путём подачи на него ШИМ сигнала с определённым коэффициентом заполнения. Для работы данного модуля был разработан специальный класс FlashLight в котором реализованы методы для работы с ШИМ включения и выключения светодиода и пр.

Следующим этапом необходимо было реализовать взаимодействие с устройством через интерфейс трёх кнопок как средств ввода и LCD дисплея как средства вывода информации.

Благодаря классу Buttons стало возможным легко обрабатывать разнообразные события, созываемые кнопками.

К примеру, двукратное нажатие кнопки «принять» переключает режим длительного измерения если не включён режим отображения меню (данных режимах будет рассказано позднее).

Существующие комбинации клавиш для работы с устройством:

2 х кратное быстрое нажатие на кнопку «Принять» - вкл/выкл режим длительного измерения для магнитометра

3 х кратное быстрое нажатие на кнопку «Принять» - переход в режим отображения меню

4 х кратное быстрое нажатие на кнопку «Принять» - вкл/выкл режим длительного измерения для магнитометра ВМЕ280

2 х кратное быстрое нажатие на кнопку «-» - вкл/выкл светодиодный фанарь

2 х кратное быстрое нажатие на кнопку «+» - вкл/выкл режим отображения графически отрисованного компаса

Зажать кнопки «+» и «-» на секунду – переход в режим калибровки компаса

Устройство режима отображения меню:

Входа в режим отображения меню пользователю предоставляется возможность работать с ним с помощью кнопок. «+» и «-» переключают пункты меню соответственно пролистывая список вперёд и назад. С помощью кнопки «Принять» можно перейти на уровень ниже выбрав некоторый пункт меню.

Весь режим меню предоставляет из себя многоуровневый список:

1. Time

1.1 h

1.2 m

1.3 s

1.4 Exit

2. Compass

2.1 Calibrate

2.2 Exit

3. Flshlight

3.1 Edit

3.2 Exit

4. Shutdown

5. Exit

После этого шёл этап оптимизации. Необходимо было снизить энергопотребление. Так, к примеру для этого было введено два новых макросы:

```
#define powerSaveTime 25000
```

```
#define timeBeforeFreezeScreen 10000
```

`powerSaveTime` – это время после которого с момента последнего нажатия кнопки выключиться экран.

`timeBeforeFreezeScreen` – это время после которого с момента последнего нажатия кнопки выключиться чтение данных с датчиков

Так же в устройстве был реализован режим повышенного энергосбережения [18]– нечто подобное выключению питания. В данном режиме микропроцессор практически прекращает свою работу, прерывает выполнение основного кода программы выключает многие функции.

3 Конструкторско-технологический раздел

3.1 Изготовление печатной платы прототипа изделия

Печатную плату устройство было решено изготавливать, используя ЛУТ. Данная технология позволяет изготавливать печатные платы сравнительно неплохого качества для домашних условий [19].

Прежде всего был подготовлен участок стеклотекстолита необходимого размера согласно чертежу печатной платы. Необходимо использовать стеклотекстолит с медным покрытием лишь с одной стороны. Это покрытие необходимо обработать наждачной бумагой разной зернистости для достижения шероховатости приблизительно Ra 0.4 – Ra 0.1. В лучшем случае с последующей полировкой для достижения минимально возможной шероховатости. После чего поверхность необходимо протереть и обезжирить. Данный этап важен для получения чёткого и ровного оттиска тонера на медной поверхности.

В качестве материала печатного листа была использована страница из глянцевого журнала приклеена на короткие отрезки скотча на белый лист формата А4. Глянцевая бумага как нельзя лучше подходит для ЛУТ т.к. обеспечивает наилучшее прилегание тонера к медному покрытию на стеклотекстолите за счёт своей гладкости. Глянцевая бумага из обычного журнала была взята не случайно – обычная глянцевая бумага для печати имеет слишком большую толщину в результате чего застревает в системе подачи бумаги лазерного принтера. Журнальные же издания в свою очередь наоборот – в целях экономии используют очень тонкую глянцевую бумагу. Печать на ней производится струйным методом поэтому это не мешает изготовлению оттиска на медной поверхности стеклотекстолита. Т.к. в большинстве случаев глянцевые журналы имеют формат меньше, чем А4 – стандартный для большинства лазерных принтеров чтобы во время печати изображение было чётким необходимо закрепить вырезанную из журнала страницу скотчем на листе формата А4, а печатаемое изображение размещать на листе перед

печатью соответственно положению закреплённой глянцевой странице на листе.

Экспериментальным путём было выверено что для текущей конфигурации имеющегося утюга и принтера необходимо в течении 35 секунд активно с приличным усилием производить обратно поступательные движения нагретой поверхностью утюга по поверхности стеклотекстолита, на которую приложено напечатанное изображение. Предварительно изображение можно закрепить скотчем со стороны обратной той по которой будет происходить прямой нагрев.

После остывания стеклотекстолита его необходимо опустить в горячую ванночку с водой чтобы от запёкшегося тонера отошёл слой бумаги. После того как бумага станет отходить лёгкими поглаживающими движениями необходимо отслоить остатки бумаги. После удаления всей бумаги стеклотекстолит протереть и высушить насухо. Произвести визуальный осмотр получившегося оттиска рисунок 25 на предмет дефектов. Если таковых не обнаружено приступить к следующему этапу.

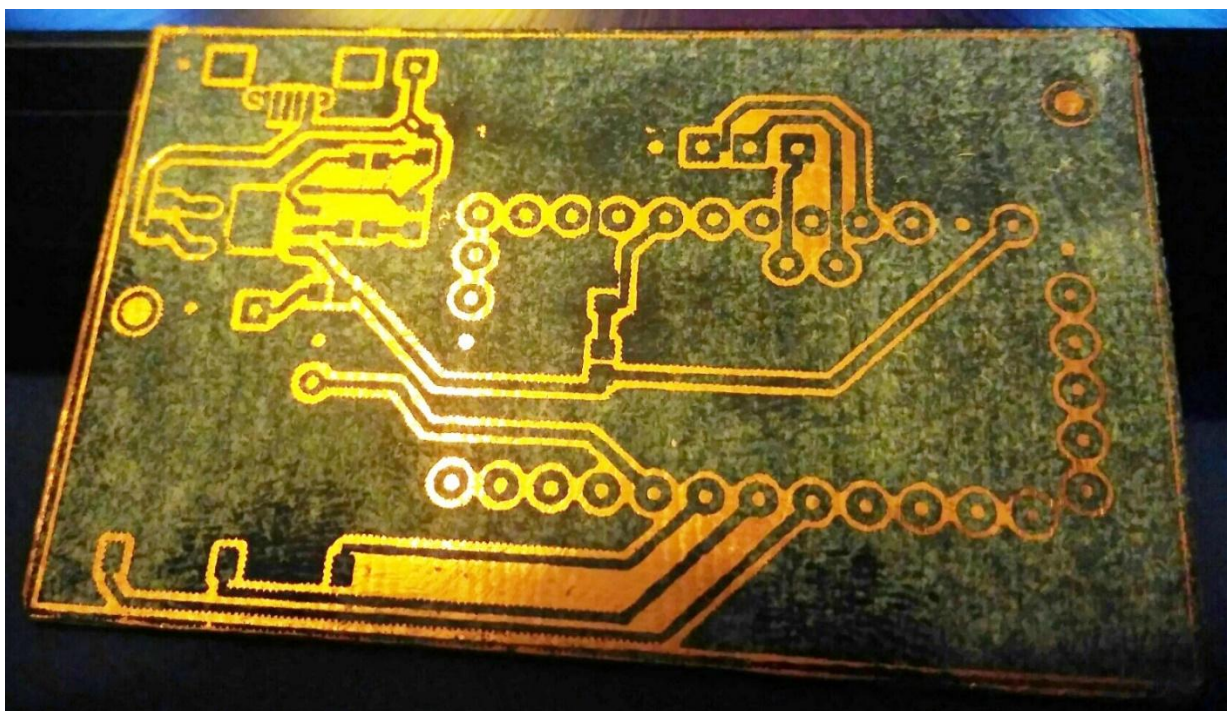


Рисунок 25 - Фотография печатной платы прототипа изделия до травления

Для травления печатной платы был использован относительно безопасный раствор перекиси водорода лимонной кислоты и соли. Соль является катализатором в процессе травления меди раствором перекиси водорода и лимонной кислоты, её необходимо не более 1 чайной ложки. Остальные компоненты подбираются экспериментальным путём и их количество зависит от ряда параметров. При получении устойчивой реакции окисления меди в растворе с образованием пузырьков газа на поверхности необходимо внимательно следить за процессом травления и как только будет заметно что все непокрытые тонером медные участки были вытравлены следует вынуть стеклотекстолит и произвести осмотр поверхности на наличие участков, где все же могло остаться медное покрытие. При условии отсутствия непротравленных участков процесс травления необходимо закончить смыть остатки раствора водой, высушив плату насухо, после чего удалив тонер с поверхности путём протирания хлопчатобумажным тампоном, промоченным в ацетоне. Полученную таким образом печатную плату можно наблюдать на рисунке 26

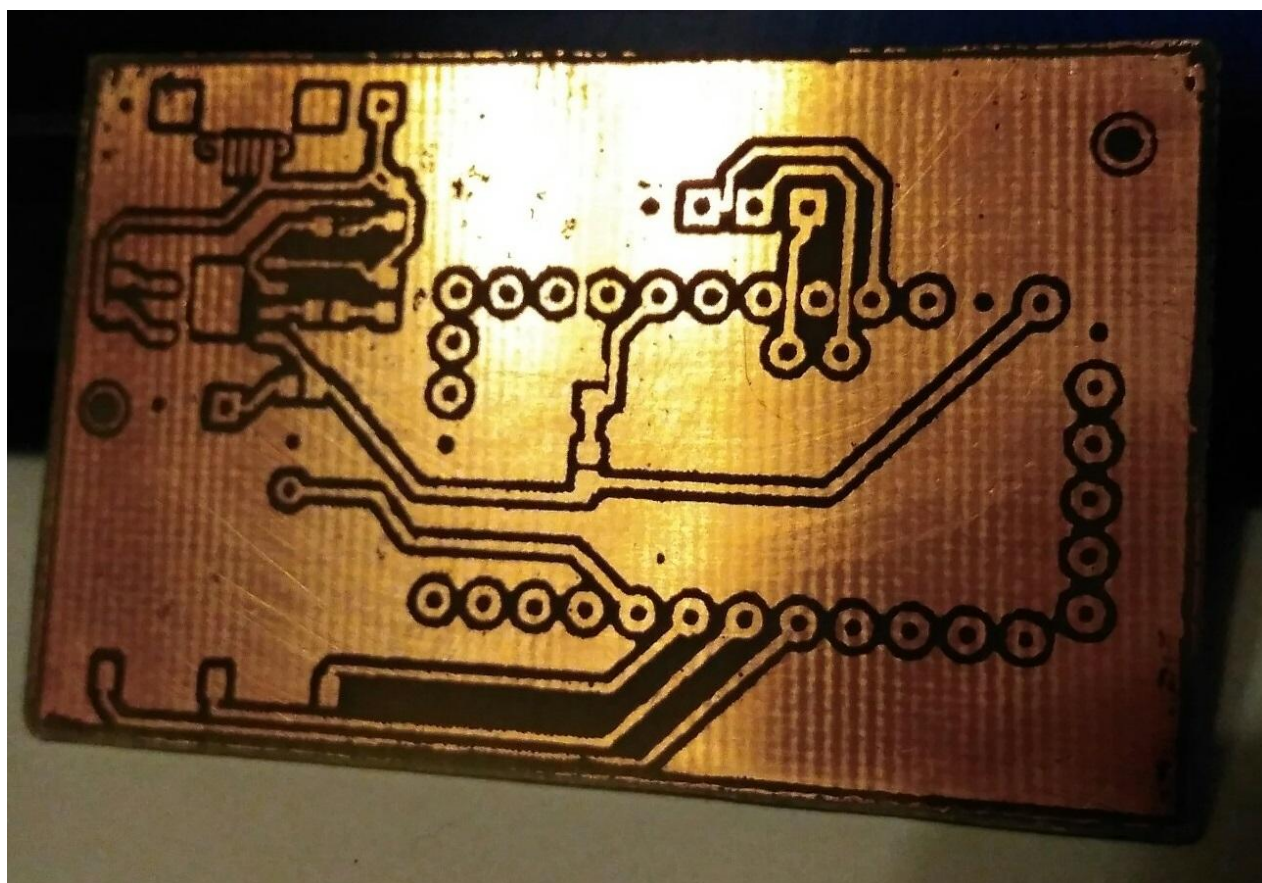


Рисунок 26 - Фотография печатной платы прототипа изделия после травления

После предыдущих этапов в плате были просверлены соответствующие отверстия. Сама плата была обработана флюсом ЛТИ-120 и залужена припоем Kaina В-1 диаметр 0.6. После чего была произведена установка SMD компонентов с помощью термофена и пинцета, а далее были установлены компоненты навесного монтажа с помощью паяльного инструмента.

3.2 Изготовление корпуса прототипа изделия

Для изготовления корпуса прототипа изделия было решено использовать технологию 3D печати FDM т.к. она позволяет быстро изготавливать прототипы, а сама технология не слишком затратна. Печать производилась на принтере собственной сборки. В качестве материала печати был использован полупрозрачный бесцветный филамент и филамент зелёного цвета. Сплайсинг (нарезка модели на слои) производилась с помощью бесплатного ПО Slic3r Prusa Edition с заранее подготовленными и выверенными настройками под данный принтер и тип филамента. Позиционирование и контроль печати

производился с помощью бесплатного ПО Repetier Host которая предоставляет понятный графический интерфейс и быстрый доступ к функциям вышеупомянутого слайсера рисунок 27.

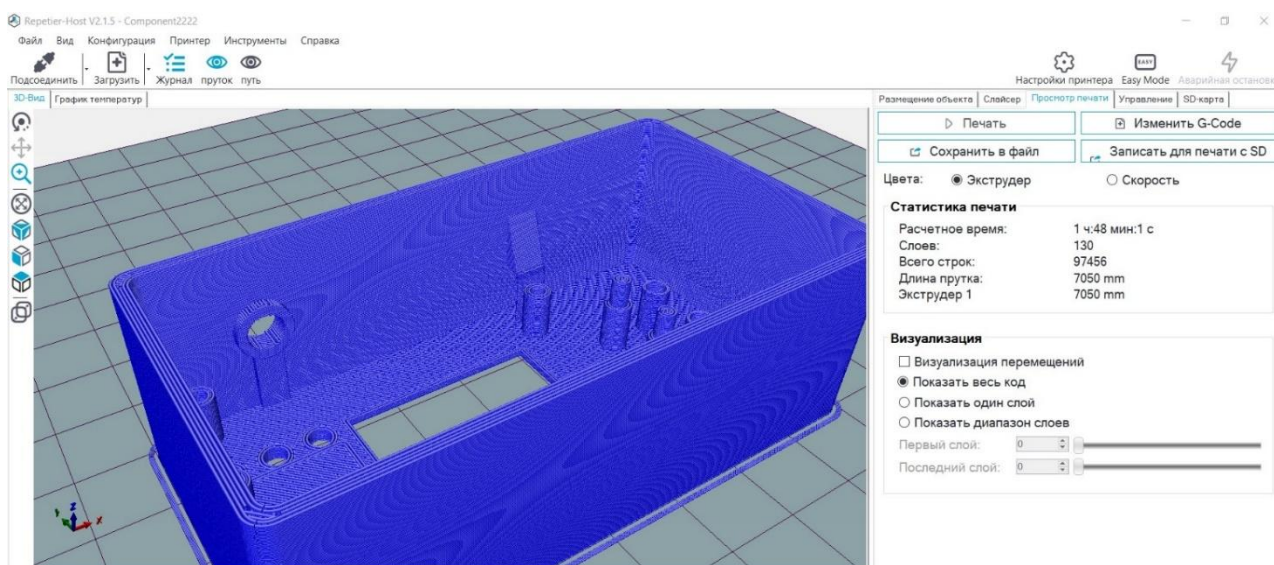


Рисунок 27 - Скриншот программы Repetier Host

На рисунке 27 видно, в окне просмотра 3D вида изображена модель составленная по G-коду получившемуся после сплайсинга, так же справа видно предполагаемого время печати, длинна требуемого отрезка филамента для печати.

Печать производилась слоем в 0.2 мм, PLA пластиком, с поддержками нависающих частей и подогреваемым столом до температуры 55 градусов. Температура экструдера варьировалась – для лучшей адгезии к плоскости стола первый слой был напечатан при температуре 223 градуса, печать дальнейших слоёв производилась при температуре 215

После этого были распечатаны толкатели кнопок рисунок 28 и задняя крышка устройства рисунок 29

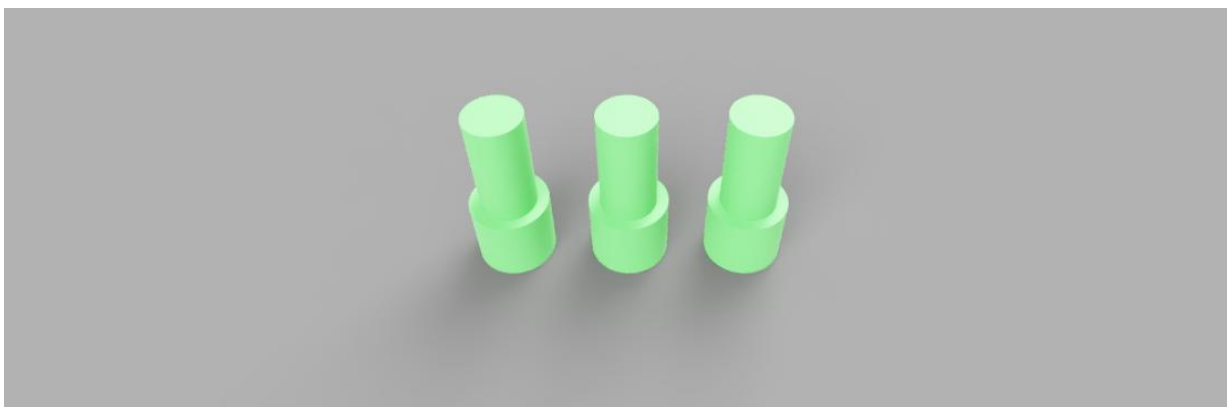


Рисунок 28 - Скриншот программы Fusion360, рендер толкателей кнопок

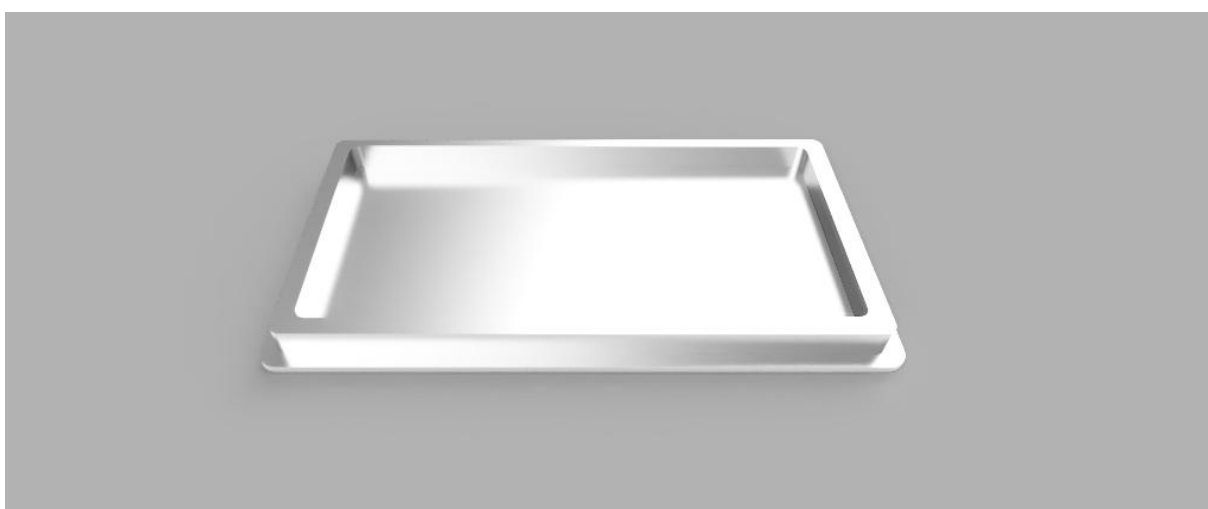


Рисунок 29 - Скриншот программы Fusion360, рендер задней крышки корпуса притопа изделия

3.3 Финальная сборка прототипа

Для конечной сборки прототипа устройства необходимо зарыть переднее отверстие для экрана плёнкой или затемнённым пластиком прикрепив его клеем или путем вплавления в корпус устройства (что и было сделано). После чего необходимо вставить толкатели кнопок в отверстия в корпусе.

Печатная плата вставляется с усилием в корпус и за счёт упругой деформации проходит клиноподобные выступы на внутренних боковых поверхностях корпуса как бы вставляясь в пазы, где достаточно плотно

фиксируется. Дополнительно плату можно фиксировать саморезами из диамегнетика которые вкручиваются в соответствующие отверстия на плате или нитями филамента 3d принтера, предварительно нагрев их до температуры размягчения.

Далее припаивается и вставляется модуль НМС5883L на специальные стойки в корпусе. Светодиодный фонарь вставляется в своё специальное отверстие, при необходимости отверстие можно предварительно нагреть термофеном чтобы размягчить пластик.

Отдельным этапом идёт установка датчика ВМЕ280 т.к. его провода необходимо предварительно продеть сквозь прорезь в передней части устройства и только потом приступать к их пайке. Далее датчик так же сажается на штифт – в своё посадочное место.

В данном конкретном прототипе устройства вместо прямого соединения аккумулятора и главной печатной платы использован клеммник KLS2-126-500-02P-4C расположенный на задней стороне печатной платы устройства для обеспечения быстроразъёмного соединения аккумулятора в целях отладки работы. В последующих же версиях данное соединение должно выполняться навесным монтажом и припаиваться к специально разведённым площадкам.

Аккумулятор же выбран по внутренним габаритам устройства. Целом площадь предоставляема под аккумулятор получилось 71 мм в длину, 34 в ширину и 8 мм в ширину. Под данные габариты подходит множество литий ионных аккумуляторов. Конкретно в данном прототипе был использован АВ463446ВU от фирмы Samsung на 800 мАч. В данном аккумуляторе встроена плата защиты от переразряда что удовлетворят условию, поставленному для аккумулятора устройства [20].

Аккумулятор уплотнён в корпусе устройства чёрным поролоном для того, чтобы избежать его перемещения.

В результате готовый прототип устройства приобрёл вид, представленный на рисунке 30

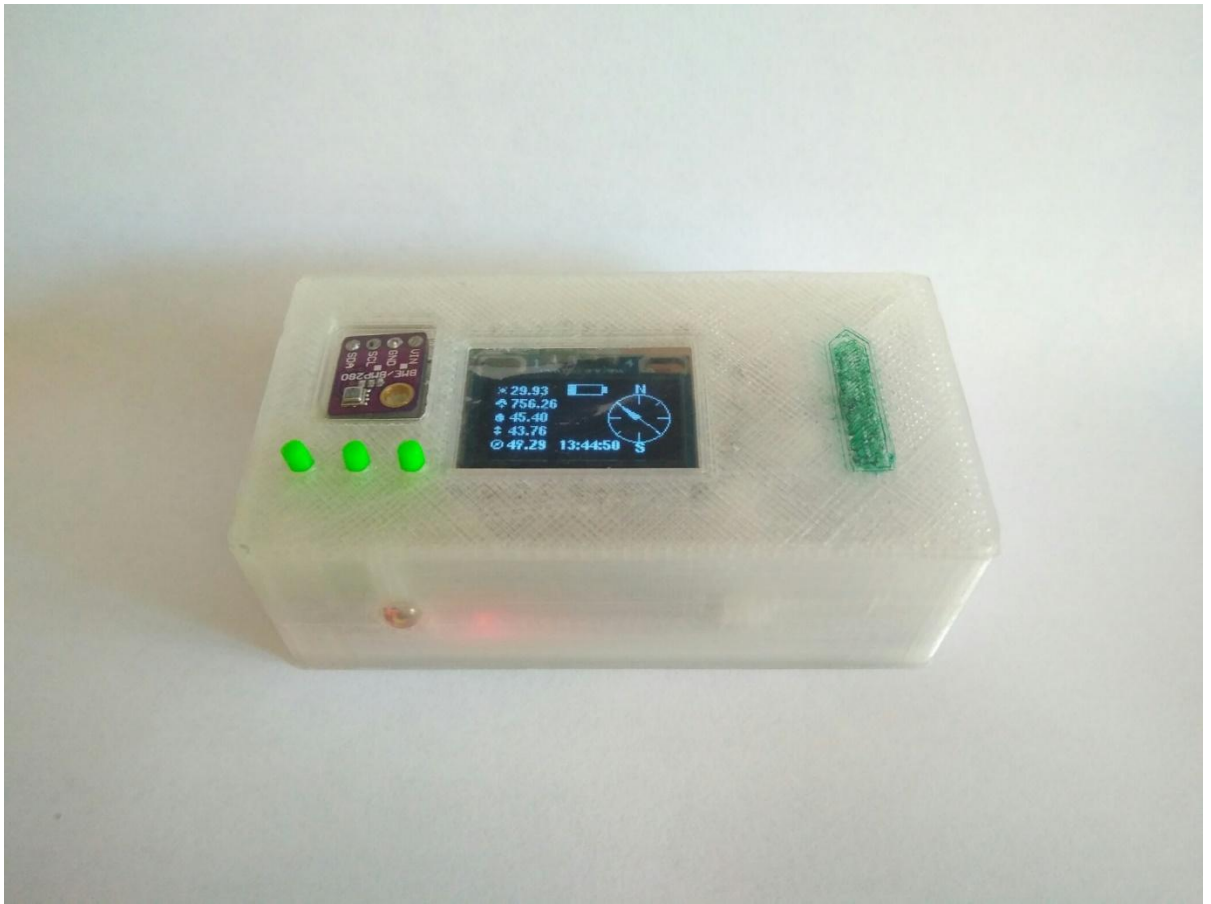


Рисунок 30 – Вид готового прототипа устройства

Заключение

В ходе данной ВКР были структурированы данные о текущих решениях в сфере автономных компактных метеостанций, выявлены их особенности и недостатки. Была реализована идея усовершенствования текущих решений, были разработаны структурная схема, выбраны компоненты электронной базы, разработана электрическая принципиальная схема, печатная плата и корпус прототипа устройства.

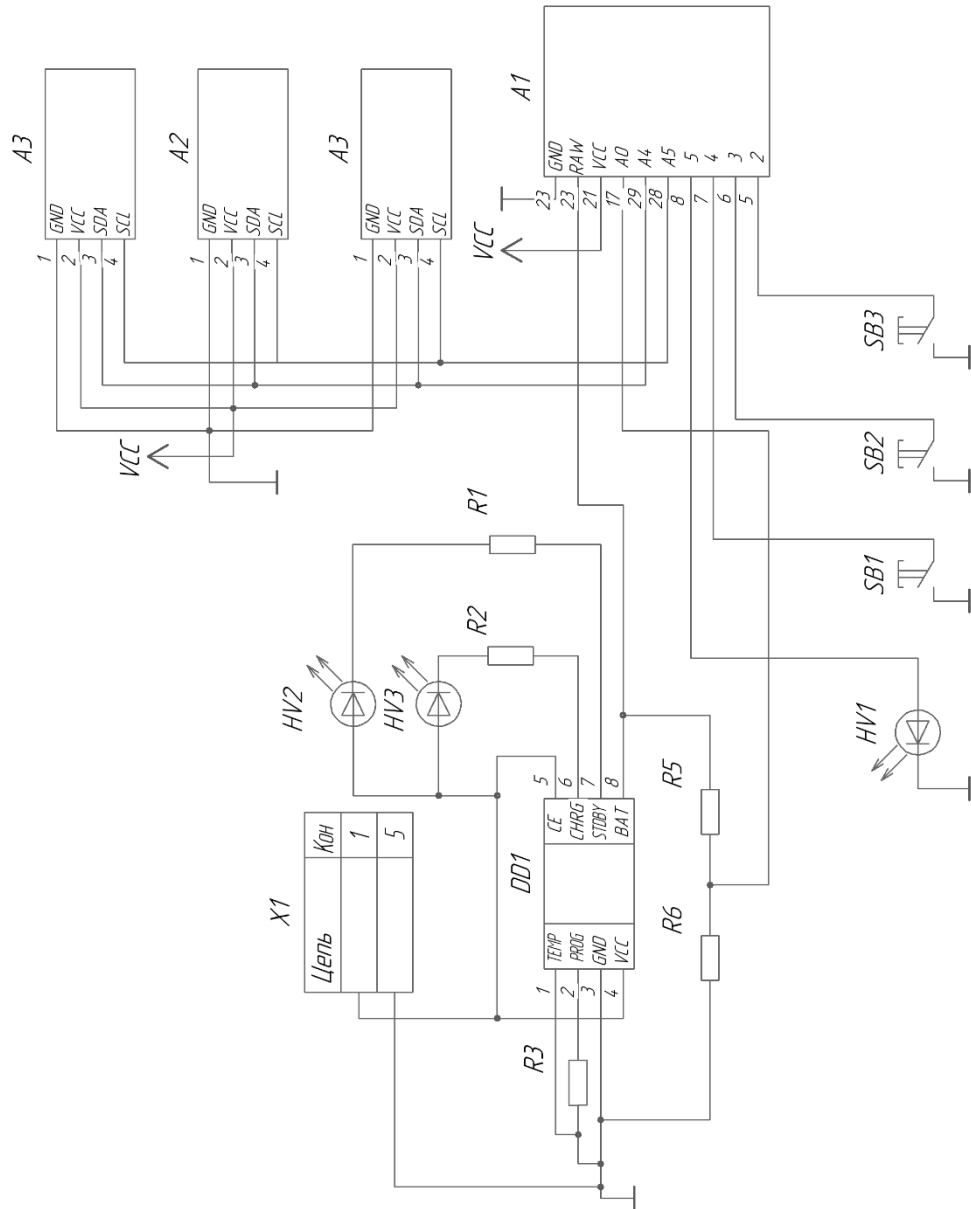
В результате данной работы был создан рабочий прототип устройства, отлажена его работа и взаимодействие с пользователем.

Список используемой литературы

- 1 Arduino Nano - Boards & Modules - Arduino [Электронный ресурс]
URL: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano> (Дата обращения: 01.03.2019)
- 2 Arduino Pro Mini - Boards & Modules - Arduino [Электронный ресурс]
URL: <https://store.arduino.cc/arduino-pro-mini> (Дата обращения: 05.03.2019)
- 3 BME280 Documentation. [Электронный ресурс]: документация. – режим доступа: URL: <https://buildmedia.readthedocs.org/media/pdf/bme280/latest/bme280.pdf> (Дата обращения: 09.01.2019)
- 4 Compass Module 3-Axis HMC5883L. [Электронный ресурс]: документация. – режим доступа: URL: <http://www.microbot-ed.com/29133-CompassModuleHMC5883L-v1.0.pdf> (Дата обращения: 09.01.2019)
- 5 TP4056. [Электронный ресурс]: документация. – режим доступа: URL: <https://static.chipdip.ru/lib/977/DOC002977110.pdf> (Дата обращения: 08.01.2019)
- 6 П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин Электротехника и электроника. — М.: ДМК Пресс, 2011. — 416 с.: ил
- 7 Баскаков С.И. Лекции по теории цепей Учебное пособие. Изд 4-е. — М.КомКнига, 2005. — 280 с.
- 8 Eggleston, Dennis L. (Dennis Lee), 1953- Basic Electronics for Scientists and Engineers / by Dennis L. Eggleston.
- 9 Jian Lee Hubei University of Education, Lecture Notes in Electrical Engineering 2011 Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- 10 Коломейцева, М. Б. Основы импульсной и цифровой техники : учеб. пособие для СПО / М. Б. Коломейцева, В. М. Беседин, Т. В. Ягодкина. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 124 с. — (Серия : Профессиональное образование).

- 11 Березовский, П.П. Основы радиотехники и связи : учебное пособие / П.П. Березовский. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017.– 212 с.
- 12 EasyEDA Tutorial [Электронный ресурс] URL: <https://docs.easyeda.com/en/FAQ/Editor/index.html> (Дата обращения: 10.03.2019)
- 13 Байлов В.В., Плаксиенко В.С. Эксплуатация и сервис радиоэлектронных систем: Учебное пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. 90 с.
- 14 Ott, Henry W., 1936- Electromagnetic compatibility engineering / Henry W. Ott. – Rev. ed
- 15 Electronics, power electronics, optoelectronics, microwaves, electromagnetics, and radar / edited by Richard C. Dorf.
- 16 Метеостанция (Arduino pro mini, ВМЕ280, LCD1602) / Хабр [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/post/406693/> (Дата обращения: 10.03.2019)
- 17 Магнитометр HMC5883L - калибровка и использование в Arduino [Электронный ресурс] URL: <http://www.count-zero.ru/2016/hmc5883l/> (Дата обращения: 15.03.2019)
- 18 Ардуино. Энергосбережение. [Электронный ресурс] URL: <http://inet-deal.mpa.ru/articles/arduino-003.html> (Дата обращения: 19.03.2019)
- 19 Травление печатных плат - чистое и безопасное. Рецепт с лимонной кислотой и перекисью водорода » Журнал практической электроники Датагор (Datagor Practical Electronics Magazine) [Электронный ресурс] URL: <https://datagor.ru/practice/diy-tech/2647-travlenie-pechatnyh-plat-recept-s-limonnoy-kislotoy-i-perekisyu-vodoroda.html> (Дата обращения: 15.03.2019)
- 20 Петров В.П. Регулировка, диагностика и мониторинг работоспособности смонтированных узлов, блоков и приборов радиоэлектронной аппаратуры, аппаратуры проводной связи, элементов узлов импульсной и вычислительной техники: учебник. – М.: Академия, 2017 256 с.,ил.

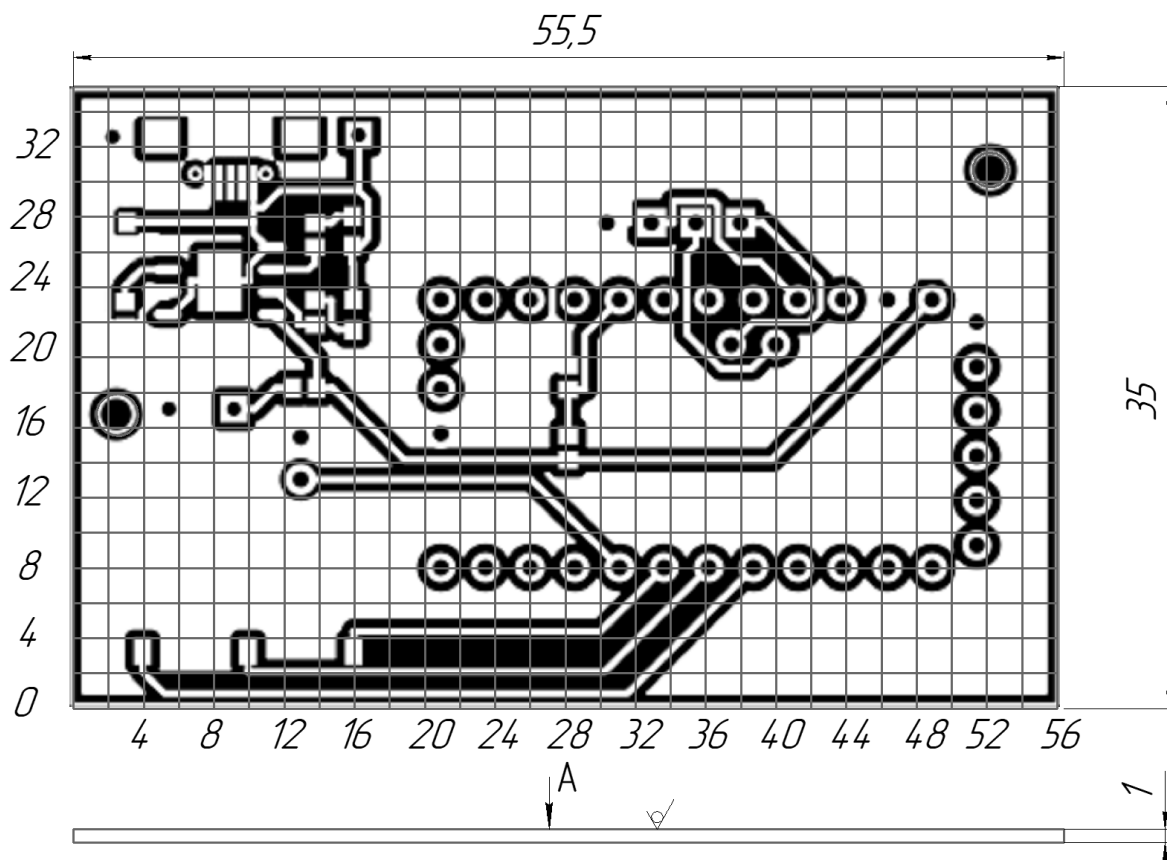
Приложение А



Обознач	Наименование	Кол	Примечание
A1	Подуль батареи	1	
A2	Arduino Pro Mini (ATmega328P)	1	
A3	Модульный датчик BMP280	1	
A4	Модульный датчик HMC5883L	1	
A5	Подъем Вольта (L2934, L2937, HITE mobile 28364, L2937)	1	
A6	Кнопка тактильная SP-1 (12x18x3mm)	1	
A7	Резисторы постоянные 300 (300Ω)	2	
A8	1 кΩ	1	
A9	2,2 кΩ	1	
A10	10 кΩ	1	
A11	12 кΩ	1	
A12	10 Ом	1	
A13	Светодиоды	1	
A14	LED 3мм 5мм (белый)	1	
A15	HTP-2150 (BIC 5W0 (самый))	1	
A16	HTP-2150 (BIC 5W0 (самый))	1	
A17	HTP-2150 (BIC 5W0 (самый))	1	
A18	Микроплата TP4056	1	
A19	Кнопка тактильная K2-10251-AK5V-06	3	
A20	Разъем Micro USB-B SP-14094.2	1	

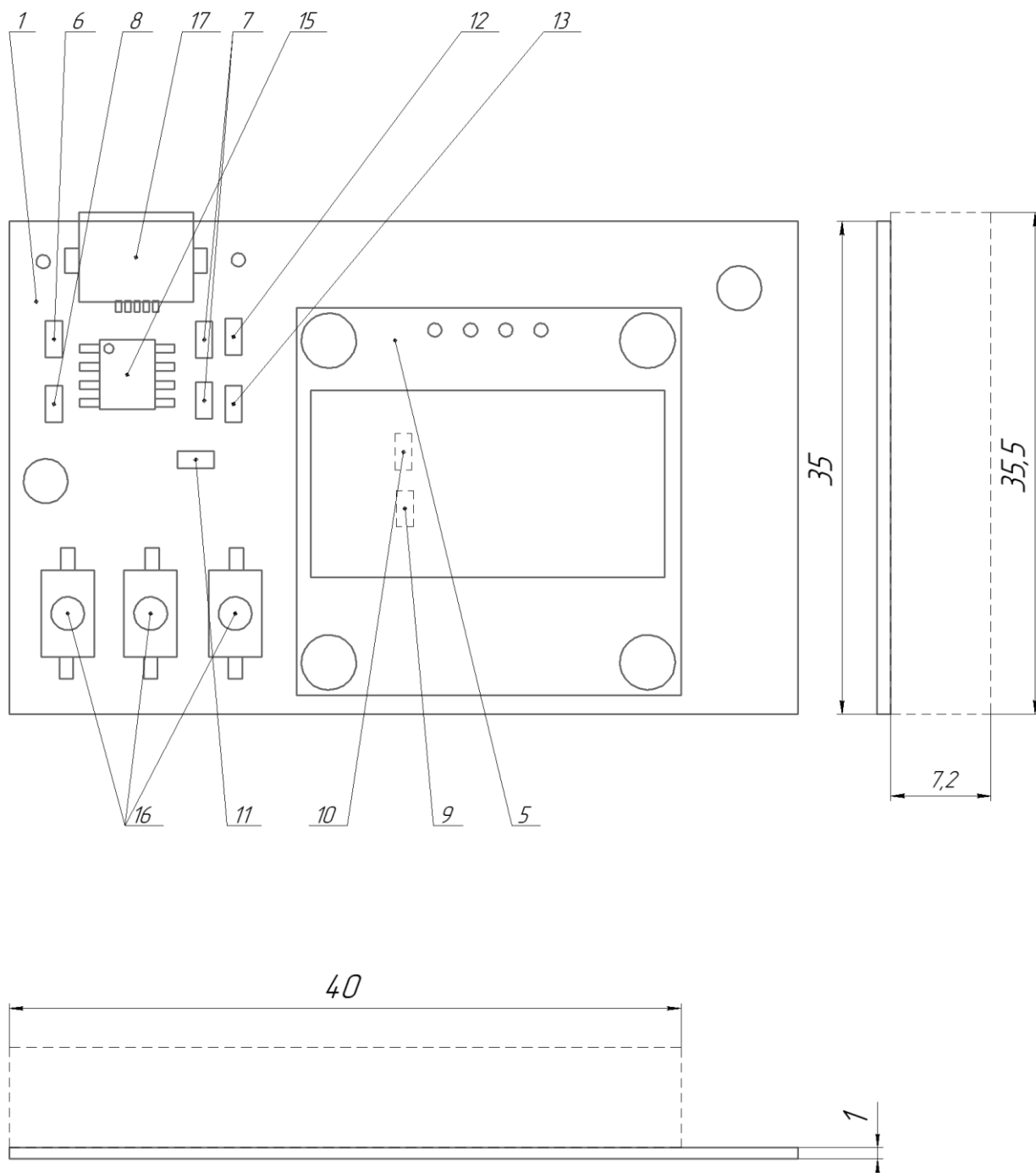
Приложение Б

$\sqrt{Ra\ 0,4\ (\sqrt{1})}$



1. Плату изготовить комбинированным способом согласно прилагаемому Gerber файлу
2. Шаг координатной сетки 2 мм
3. Конфигурацию проводников выдержать согласно Gerber файлу
4. Проводники выполнить шириной $0,4 \pm 0,05$ мм согласно Gerber файлу
5. Расстояние между проводниками, контактными площадками в узких местах не менее 0,2 мм
6. Изображение печатной платы выполнено с инверсией цветов

Приложение В



Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<u>Документация</u>						
A1			19-110304.157.10.02 33	Схема электрическая принципиальная		
A2			19-110304.157.10.03 34	Плата печатная		
A2			19-110304.157.10.04 35	Печатный узел		
<u>Детали</u>						
Справ. №		1	19-110304.00.00.03 34	Плата	1	
		<u>Модульные платы</u>				
Подп. и дата		2		Arduino Pro Mini (Atmega328p)	1	A1
		3		Многофункциональный датчик BME280	1	A2
Инв. № дубл.		4		Магнитометр датчик HMC5883L	1	A3
		5		Модуль дисплея 0128x64 OLED WHITE module 128X64 LCD	1	A4
Взам. инв. №		6		Конденсатор керамический SMD 0.1 мкФ 25В 5%(0603)	1	C1
		<u>Резисторы постоянные SMD 5%(0603)</u>				
Подп. и дата		7		1 кОм	2	R1,R2
		8		2.2 кОм	1	R3
Инв. № подл.		9		10 кОм	1	R4
		10		1.2 кОм	1	R5
Подп. и дата		11		10 Ом	1	R6
		<u>Светодиоды</u>				
Инв. № подл.		12		LED 3W 3мм (белый)	1	HV1
		13		HQ19-2151UBGC SMD (синий)	1	HV2
Подп. и дата		14		HT19-2132SURC SMD (красный)	1	HV3
		19-110304.157.10.05				
Изм. / лист		№ докум.		Подп.	Дата	
Разраб.		Мордвинов				
Проб.		Позднов				
Н.контр.						
Утв.						
					Лит.	Лист
					1	2
ТГУ ЭЛД-1501						

Копировал

Формат A4

