

Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
Ростовской области  
«Таганрогский колледж морского приборостроения»

---

Распределенная система сбора и обработки  
метеоданных с web- интерфейсом

---

# Курсовой проект

Пояснительная записка  
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ

---

Руководитель  
*Малыхина О.В.*

Консультант  
по экономике  
*Рябинская Т.С.*

Студент П-316

*Бубличенко Н.С.*



4.2	Расчет капитальных затрат на проектирование и изготовление системы сбора метеоданных	55
	Заключение	61
	Список использованных источников	62

Инв. № подл.	Подпись и дата				Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ			Лист
								3

## Введение

Люди во все времена стремились если не властвовать над силами природы, то, по крайней мере, предугадывать их действия – например, заблаговременно предсказывать погоду.

Первые сведения о наблюдении и изучении явлений погоды относятся к эпохе древних государств Китая, Индии, Египта, Греции и Рима. В 17 веке были изобретены первые метеорологические приборы – термометр и барометр [1], что позволило начать постоянные инструментальные наблюдения за погодой в Европе. А в России первые систематические приборные наблюдения за погодой были организованы при Петре I [1].

В настоящее время на нашей планете имеется огромное количество стационарных метеостанций, которые измеряют состояние атмосферы у поверхности Земли, регистрируют температуру, давление и осадки. Метеорология активно развивается, и её достижениями сегодня можно легко пользоваться в повседневной жизни. А это зачастую бывает просто необходимо.

В самом деле, планировать отпуск или, например, составлять программу праздника на открытом воздухе гораздо разумней с учётом будущих погодных условий. Впрочем, даже рядовая деловая встреча может оказаться гораздо продуктивней, если по пути на неё вас не застанет врасплох внезапно хлынувший дождь, способный свести на нет все старания по созданию правильного имиджа.

От таких неожиданностей сегодня нам помогают застраховаться передовые технологии. Данный курсовой проект посвящен разработке распределенной системы сбора метео данных с web- интерфейсом, позволяющей пользователю оперативно и удобно получать всю необходимую информацию.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата						Лист 4
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ					

## 1 Общая часть

### 1.1 Назначение и область применения системы сбора метеоданных

В данном курсовом проекте представлен способ построения системы сбора метеоданных окружающей среды для беспроводной сети гигагерцного диапазона со сверхнизким потреблением энергии и возможностью питания выносного блока от возобновляемого источника энергии (солнечного света) и длительной работой от резервной батареи.

Основные характеристики системы:

- сбор текущих данных: температуры, влажности и давления в месте установки измерительных блоков;
- просмотр текущих данных и выведение статистики через web-интерфейс;
- сохранение базы данных на внешнем носителе;
- непрерывный режим работы выносного измерительного блока с питанием от солнечной энергии;
- передача данных между базовым и измерительными блоками по радиоканалу на частоте 2,4ГГц.

Возможные применения:

- датчики контроля параметров окружающей среды;
- Интернет вещей (IoT);
- датчики систем вентиляции и кондиционирования;
- домашние метеостанции;
- автоматизированные системы управления инженерным оборудованием зданий.

Инв. № подл.	Подпись и дата				Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
					питанием от солнечной энергии;					
					– передача данных между базовым и измерительными блоками по радиоканалу на частоте 2,4ГГц.					
					Возможные применения:					
					– датчики контроля параметров окружающей среды;					
					– Интернет вещей (IoT);					
					– датчики систем вентиляции и кондиционирования;					
					– домашние метеостанции;					
					– автоматизированные системы управления инженерным оборудованием зданий.					
					</					

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата



Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата

полностью локализовано на русский язык и предлагает пройти настройку в понятном пошаговом режиме. После настройки станции приложение начнет отображать данные, которые фиксирует Weather Station. Внешний вид веб-интерфейса на мобильных устройствах представлен на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Внешний вид веб- интерфейса на мобильных устройствах

Внешний модуль передает данные о температуре воздуха и его влажности. Он также показывает и ощущаемую температуру. При касании любого из показателей открываются дополнительные данные. Это минимальная и максимальная температура, которая зафиксирована за сутки и измерена от полуночи до полуночи. Стрелки рядом с этими показателями указывают на тенденцию изменения температуры. Еще один интересный показатель — точка росы — температура, до которой должен охладиться воздух, чтобы достичь насыщения. В момент насыщения водяной пар начнет конденсироваться в воду. Чем выше точка росы, тем влажнее воздух.

Внутренний модуль фиксирует данные в помещении: температуру воздуха, уровень CO<sub>2</sub>, уровень шума. Несмотря на то, что данные об атмосферном давлении отображаются в разделе “за бортом”, датчик давления установлен именно во внутренний модуль. Главный показатель — температура воздуха. Здесь также есть данные о самой высокой и низкой

Инв.№ подл.	Подпись и дата				Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p>Внешний модуль передает данные о температуре воздуха и его влажности. Он также показывает и ощущаемую температуру. При касании любого из показателей открываются дополнительные данные. Это минимальная и максимальная температура, которая зафиксирована за сутки и измерена от полуночи до полуночи. Стрелки рядом с этими показателями указывают на тенденцию изменения температуры. Еще один интересный показатель — точка росы — температура, до которой должен охладиться воздух, чтобы достичь насыщения. В момент насыщения водяной пар начнет конденсироваться в воду. Чем выше точка росы, тем влажнее воздух.</p> <p>Внутренний модуль фиксирует данные в помещении: температуру воздуха, уровень CO<sub>2</sub>, уровень шума. Несмотря на то, что данные об атмосферном давлении отображаются в разделе “за бортом”, датчик давления установлен именно во внутренний модуль. Главный показатель — температура воздуха. Здесь также есть данные о самой высокой и низкой</p>		
	Изм	Лист	№ докум.	Подпись				Дата		
					ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ					Лист
										7

температуре с тенденцией ее изменения. Netatmo, кстати, подсказывают, что существует температура комфорта в помещении зимой и летом. Зимой она составляет от 20 до 24°C, а летом от 23 до 26°C. Причем зависит температура комфорта от влажности: чем ниже влажность, тем выше температура комфорта и наоборот. За измерение влажности отвечает датчик гигрометр. Низкий уровень влажности может вызывать раздражение слизистой носа и горла, поэтому важно сохранять уровень влажности в пределах от 30 до 70%. Это комфортный уровень влажности для помещения [2].

### 1.2.2 Метеостанция Buro H127G

Внешний вид метеостанции Buro H127G представлен на рисунке 1.3



Рисунок 1.3 – Внешний вид метеостанции Buro H127G

Характеристики метеостанции представлены в таблице 1.1 [3]

Таблица 1.1

Параметр	Значение
Основные характеристики	
Измерение температуры	уличной, комнатной
Измерение влажности	на улице, в помещении
Отображение атмосферного давления	нет
Определение направления ветра	нет
Определение скорости ветра	нет
Диапазон показателей температур	от -50 °C до +70 °C
Диапазон показателей влажности	от 20 до 95 %

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ				Лист
				8



Особенности выносного датчика	
Тип выносного датчика	беспроводной
Модель выносного датчика	Buro H999G
Максимальное число датчиков	3
Число датчиков в комплекте	1
Радиус приема сигнала датчика	80 м
Индикация	
Подсветка дисплея	нет
Отображение информации	цифры и символы
Проекция изображения	нет
Звуковая индикация	нет
Индикация уровня заряда	есть
Подключение и питание	
Тип электропитания	от батареек
Вид и количество элементов питания базы	2хААА
Вид и количество элементов питания датчика	2хААА
Интерфейс USB	нет
Ширина	
Высота	200 мм
Толщина	120 мм
Вес	27 мм

### 1.3 Разработка и описание структурной схемы системы сбора данных

Исходя из требований задания и учитывая возможную область применения разрабатываемого устройства, представленную в разделе 1.1, произведена разработка схемы электрической структурной. Схема электрическая структурная представлена на рисунке 1.4.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p>ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ</p>					Лист
										9
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



На структурной схеме можно выделить базовый и измерительные блоки (внутренние и внешние). Базовый блок и измерительный блок объединены в беспроводную сеть посредством маршрутизатора.

Основными функциональными узлами базового блока являются:

– сетевой микроконтроллер, реализующий функции:

а) приема, обработки, управления данными от измерительных блоков;

б) веб-сервера, обеспечивающего подключение сетевых устройств по веб - интерфейсу;

– накопитель данных, обеспечивающей хранение БД (базы данных);

– часы реального времени DS3132;

– блок питания.

Основными функциональными узлами внутреннего измерительного блока являются:

– сетевой микроконтроллер, реализующий функцию приема, обработки и отправки данных от подключенных к нему цифровых и аналоговых датчиков. В разрабатываемом курсовом проекте производится прием текущего значения: температуры и давления в месте установки;

– цифровой датчик температуры и давления с низким энергопотреблением;

– блока питания.

Основными функциональными узлами внешнего измерительного блока являются:

– сетевой микроконтроллер, реализующий функцию приема, обработки и отправки данных от подключенных к нему цифровых и аналоговых датчиков. В разрабатываемом курсовом проекте производится прием текущего значения: температуры, давления и давления в месте установки;

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата						Лист 11
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ					

– цифровой датчик температуры, влажности и давления с низким энергопотреблением;

цифровой датчик, обеспечивающий измерение температуры, влажности и давления;

– микромощный контроллер управления зарядом аккумуляторной батареи;

– преобразователь напряжения;

– солнечная батарея. Солнечная батарея преобразует энергию солнечного света в электрическую энергию, а устройство управления зарядом аккумуляторной батареи осуществляет накопление энергии солнечного света в аккумуляторную батарею.

При включении устройства DHCP сервер на маршрутизаторе производит раздачу IP адресов клиентам. Далее клиенты, размещенные на МК ESP8266 измерительных блоков, рассылают широкоформатный запрос всем устройствам сети с целью поиска ID сервера.

Сервер, получив запрос от клиентов, делает им рассылку со своим ID (IP-адресом), клиенты фиксируют ID сервера, для дальнейшей рассылки данных.

Данные, отправляемые на сервер, поступают в UDP стек, обрабатываются для дальнейшего отображения в приложении и фиксируются в БД на SD карте.

Питание внутренних измерительных блоков, базового блока и маршрутизатора, осуществляется от сетевых источников питания. Питание выносного измерительного блока производится от аккумулятора, зарядку которого обеспечивает солнечная батарея.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата						
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ					Лист
										12

## 1.4 Выбор элементной базы

### 1.4.1 Обоснование выбора элементной базы

Основными функциональными узлами датчика являются следующие устройства:

- ESP8266— малопотребляющий МК беспроводной сети;
- BMP280 — цифровой датчик температуры и давления;
- BME280 — цифровой датчик температуры, влажности и давления;
- DS3132 – часы реального времени;
- LM2596 – регулятор напряжения;
- солнечная батарея;
- литиевая батарея 18650.
- блок питания на 5В.

### 1.4.2 Модуль ESP - 12E

ESP - 12E это 22-выводный модуль, на базе ESP8266соответствующий требованиям FCC (с металлическим экраном), с PCB-антенной и 4 МБ flash-памяти.

Внешний вид модуля представлен на рисунках 1.5.



Рисунок 1.5 – Внешний вид модуля

Инв.№ подл.	Подпись и дата		Взам. инв.№		Инв. № дубл.		Подпись и дата					
Изм		Лист	№ докум.		Подпись		Дата					
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ								Лист				
								13				

1.4.2 Модуль ESP - 12E

ESP - 12E это 22-выводный модуль, на базе ESP8266соответствующий требованиям FCC (с металлическим экраном), с PCB-антенной и 4 МБ flash-памяти.

Внешний вид модуля представлен на рисунках 1.5.

A photograph of an ESP8266MOD module. It is a small, black, rectangular module with gold-colored pins along the bottom edge. On the left side, there is a silver-colored PCB antenna. The module has a white label with the following text: 'MODEL ESP8266MOD', 'VENDOR AI-THINKER', 'ISM 2.4GHz', 'PA +25dBm', and '802.11b/g/n'. There is also a 'Wi-Fi' logo and an 'FCC' logo on the label.

Рисунок 1.5 – Внешний вид модуля

Обозначение выводов модуля представлено на рисунках 1.6.

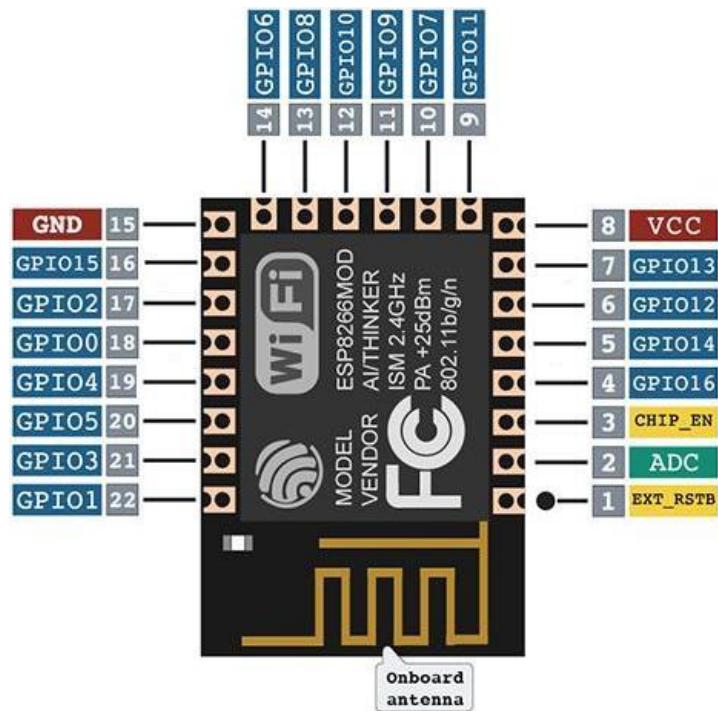


Рисунок 1.6 – Обозначение выводов модуля

Ключевые особенности:

- на базе микросхемы ESP8266;
- 4 МБ встроенной памяти flash;
- последовательный интерфейс UART: 2 вывода (Rx и Tx);
- интерфейс SPI;
- готовность к FCC-сертификации (металлический экран);
- 17 выводов GPIO, вывод Chip enable, вывод АЦП, вывод Reset;
- встроенная PCB-антенна 3dBi;
- радиоблок 2.4 ГГц соответствует 802.11 b/g/n;
- поддерживаются режимы WiFi Direct (P2P), soft-AP (точка доступа);

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ				Лист
				14



управления питанием модуля с внешнего микроконтроллера, вывод Reset для экстренной перезагрузки модуля, 17 GPIO (включая выводы интерфейса SPI) и 1 вывод АЦП. В модуле ESP-12E предусмотрена встроенная антенна типа РСВ (дорожка на плате) с коэффициентом усиления 3dBi.

#### Характеристики

- Wi-Fi:
  - 1) готовность к сертификации: FCC/CE/TELEC/SRRC;
  - 2) протоколы: 802.11 b/g/n/e/i;
  - 3) диапазон частот: 2.4ГГц ~ 2.5ГГц (2400МГц ~ 2483.5МГц);
- мощность передатчика:
  - 1) 802.11 b: +20 дБм;
  - 2) 802.11 g: +17 дБм;
  - 3) 802.11 n: +14 дБм;
- чувствительность приемника
  - 1) 802.11 b: -91 дБм (11 Мбит/с);
  - 2) 802.11 g: -75 дБм (54 Мбит/с);
  - 3) 802.11 n: -72 дБм (MCS7);
- варианты антенны: РСВ-антенна (дорожка на плате);
- корпус модуля выполнен в соответствии с требованиями стандарта FCC (FCC - сертификация модуля не проводилась);
- аппаратное обеспечение:
  - 1) процессорное ядро: Tensilica L106 32 разряда;
  - 2) периферийные интерфейсы: UART и SPI;
  - 3) диапазон напряжений питания от 2.5В до 3.6В;
  - 4) потребление тока: среднее значение: 80 мА;
  - 5) рабочий диапазон температур: -40°C ~ 125°C;
  - 6) диапазон температур при хранении: -40°C ~ 125°C;

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ					Лист 16
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ

- |      |
|------|
| Лист |
| 17   |

ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ

Лист
17

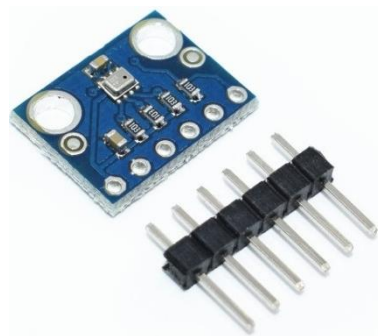


Рисунок 1.7 – Внешний вид датчика BME280

Технические характеристики датчика BME280:

- напряжение питания: от 1,71 В до 3,6 В;
- макс скорость I2C интерфейса: 3.4 МГц;
- потребляемый ток: 2.7 мкА при частоте отсчетов в 1 Гц;
- интерфейс: I2C, SPI (4 Провода), SPI (3 Провода);
- калибровка: заводская;
- уровень шума: до 0.2 Па (1.7 см) и 0.01 температуры
- диапазон измеряемого давления: от 300 hPa до 1100 hPa (9000 м до - 500 м)
- размер: 2.5 мм x 2.0 мм x 0.95 мм.

#### 1.4.4 Цифровой датчик BME280

Модуль высокоточного датчика атмосферного давления, температуры и влажности BME280 - очередного датчика в линейке датчиков от Bosh. Управление возможно как по I2C интерфейсу, так и по SPI [5].

Благодаря высокой точности и большим диапазонам измерения необходимых показателей, BME280 является идеальным решением для создания метеостанций.

Внешний вид датчика представлен на рисунке 1.8.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<div>ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ</div>					Лист
										18
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

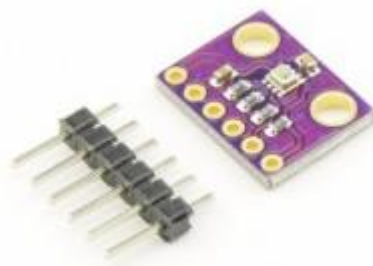


Рисунок 1.8 – Внешний вид датчика

#### Характеристики:

- рабочее напряжение: 3.3 В;
- диапазон давления: от 300 до 1100hPa;
- диапазон температур: от минус 40 до плюс 85 °С;
- диапазон влажности: от 0 до 100 %;
- среднее энергопотребление: во время измерений 2.74 нА, в спящем режиме: 0.1 нА;
- среднее время измерения: 5.5 мс;
- точность измерения: давление - 0.01 hPa ( < 10 см), температура - 0.01° С;
- температурный коэффициент смещения:  $\pm 0.12$  hPa (средний), эквивалент 1 метра.

#### 1.4.5 Регулятор LM2596

Регуляторы серии LM2596 это монолитные интегральные схемы, которые обеспечивают все активные функции понижающего импульсного стабилизатора, поддерживающие 3А в линии нагрузки. Эти устройства доступны в версиях с фиксированными выходными напряжениями 3,3 В, 5В, 12В, и изменяемым выходным напряжением.

Требуют минимальное количество внешних компонентов, просты в использовании и включают в себя частотную компенсацию с фиксированной частотой кварцевого генератора [6].

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p>0.01° С;</p> <p>– температурный коэффициент смещения: ± 0.12 hPa (средний), эквивалент 1 метра.</p> <p>1.4.5 Регулятор LM2596</p> <p>Регуляторы серии LM2596 это монолитные интегральные схемы, которые обеспечивают все активные функции понижающего импульсного стабилизатора, поддерживающие 3А в линии нагрузки. Эти устройства доступны в версиях с фиксированными выходными напряжениями 3,3 В, 5В, 12В, и изменяемым выходным напряжением.</p> <p>Требуют минимальное количество внешних компонентов, просты в использовании и включают в себя частотную компенсацию с фиксированной частотой кварцевого генератора [6].</p>
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ					Лист
					19

Микросхемы серии LM2596 работают на частоте 150 кГц, позволяя использовать компоненты фильтра меньшего размера. Микросхемы доступны в стандартном исполнении в корпусах ТО-220 и ТО-263 для поверхностного для монтажа. Они обеспечивают гарантированный допуск  $\pm 4\%$  на выходное напряжение в пределах указанного входного напряжения и выходной нагрузки. Ток потребления в режиме ожидания 80 мкА .

Защита схемы дает возможность двукратного снижение предельного тока для выходного ключа, и полное отключение в случае перегрева.

#### 1.4.6 Солнечная батарея

В качестве источника солнечной энергии в данном проекте выбрана высокоэффективная солнечная батарея IXYS. Данная солнечная батарея чувствительна к широкому диапазону длин волн электромагнитного излучения, что позволяет использовать ее при достаточном уровне освещенности как внутри помещений, так и снаружи.

#### 1.4.7 Литиевая батарея

В схеме в качестве резервной батареи использован широко распространенный малогабаритный литиевый элемент 18650. Выходное напряжение 18650 имеет практически идеальную характеристику, оставаясь почти постоянным вплоть до глубокого разряда батареи.

#### 1.4.8 Часы реального времени

Модуль DS3231 (RTC, ZS-042) — представляет собой недорогую плату с чрезвычайно точными часами реального времени (RTC), с температурной

инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата	освещенности как внутри помещений, так и снаружи.				
					1.4.7 Литиевая батарея				
					В схеме в качестве резервной батареи использован широко распространенный малогабаритный литиевый элемент 18650. Выходное напряжение 18650 имеет практически идеальную характеристику, оставаясь почти постоянным вплоть до глубокого разряда батареи.				
					1.4.8 Часы реального времени				
					Модуль DS3231 (RTC, ZS-042) — представляет собой недорогую плату с чрезвычайно точными часами реального времени (RTC), с температурной				

компенсацией кварцевого генератора и кристалла. Модуль включает в себя литиевую батарею, которая поддерживает бесперебойную работу, даже при отключении источник питания. Интегрированный генератор улучшить точность устройства и позволил уменьшить количество компонентов. [7] Внешний вид модуля DS3231 представлен на рисунке 1.9.



Рисунок 1.9 – Внешний вид модуля DS3231

- Технические параметры:
- напряжение питания: 3.3В и 5В;
  - чип памяти: AT24C32 (32 Кб);
  - точность: ± 0.432 сек в день;
  - частота кварца:32.768 кГц;
  - поддерживаемый протокол: I2C;
  - габариты: 38мм x 22мм x 15мм.

1.5 Разработка и описание схемы электрической принципиальной

Схема электрическая принципиальная системы сбора метеоданных представлена на рисунках 1.10 -1.12.

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<ul style="list-style-type: none"><li>– точность: ± 0.432 сек в день;</li><li>– частота кварца:32.768 кГц;</li><li>– поддерживаемый протокол: I2C;</li><li>– габариты: 38мм x 22мм x 15мм.</li></ul> <p>1.5 Разработка и описание схемы электрической принципиальной</p> <p>Схема электрическая принципиальная системы сбора метеоданных представлена на рисунках 1.10 -1.12.</p>
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ					Лист 21

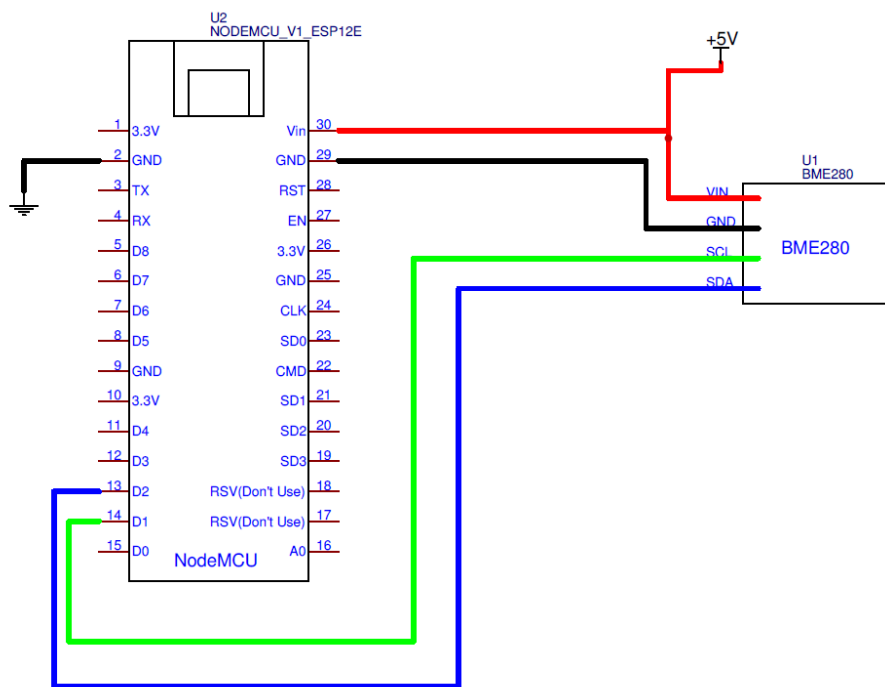


Рисунок 1.10 – Схема электрическая принципиальная внутреннего измерительного блока

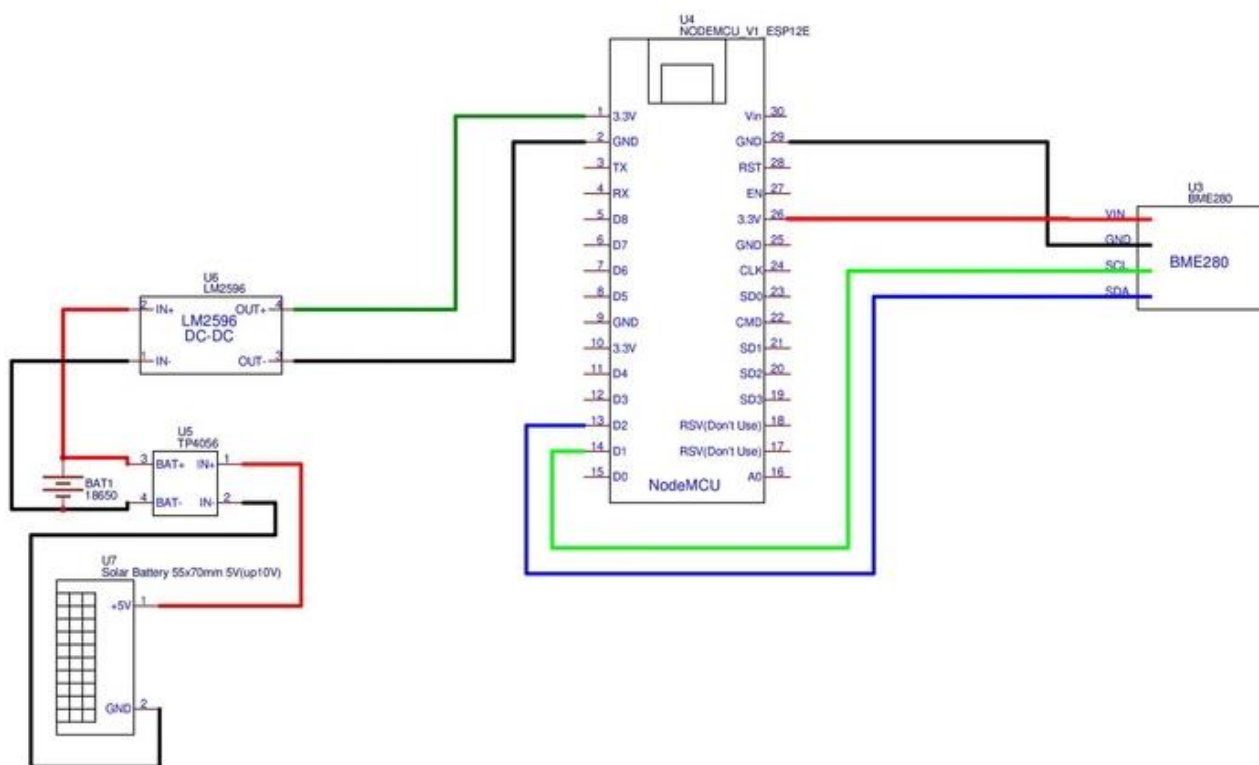


Рисунок 1.11 – Схема электрическая принципиальная выносного измерительного блока

Инв.№ подл.	Подпись и дата				Взам. инв.№	Подпись и дата				Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<div> </div>						Лист			
					<div> <p>Рисунок 1.11 – Схема электрическая принципиальная выносного измерительного блока</p> </div>						<div> <p>ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ</p> <p>22</p> </div>			

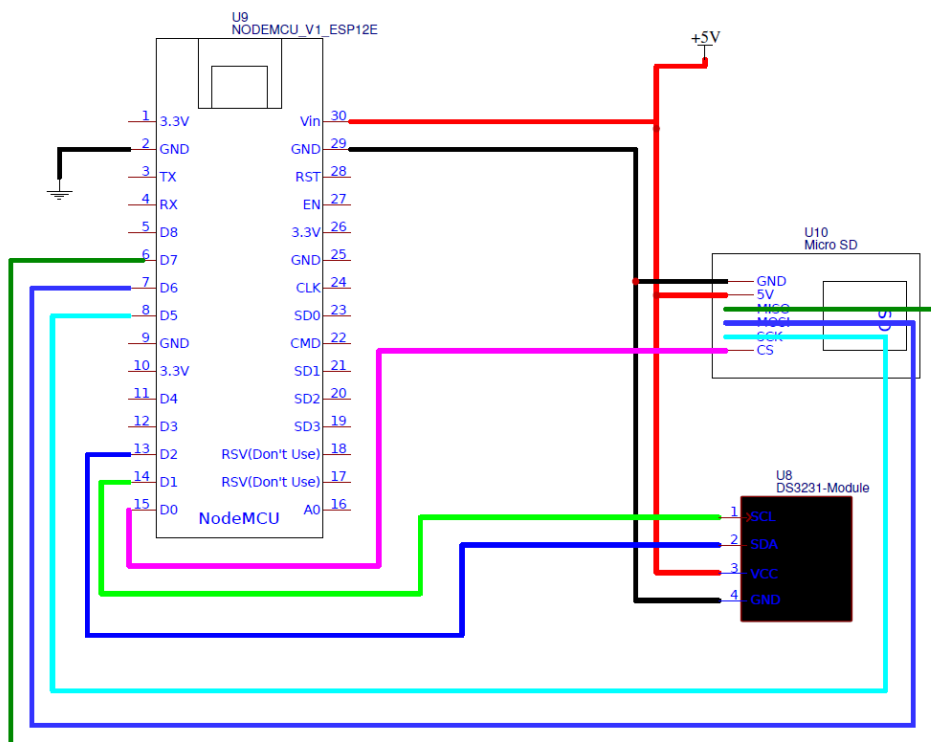


Рисунок 1.12 – Схема электрическая принципиальная внутреннего базового блока

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ				
Копировал				
Формат А4				
				Лист
				23

## 1.6 Расчёт дальности работы беспроводного канала связи

Устойчивая приёма-передача радиосигнала для одинаково настроенных трансиверов существенно зависит от окружающей среды. Энергетический бюджет радиоканала, позиционирование антенн и их расстояния от поверхности Земли — важнейшие параметры для обеспечения максимально возможной дальности связи. В общем случае заданное расстояние никогда не может быть определено или гарантировано для любого типа радиосвязи, пока среда распространения радиоволн не определена [8].

При проектировании системы, основанной на радиоканале, максимальное расстояние между передатчиком и приемником является одним из самых важных параметров, который будет в максимальной степени влиять на процесс проектирования и монтаж системы. В процессе разработки радиосистемы разработчик, как правило, оптимизирует все остальные параметры для того, чтобы добиться максимальной дальности связи. Это позволяет избежать повышения выходной мощности, применения ретрансляторов или усилителей. При разработке системы радиосвязи необходимо всегда стремиться обеспечить максимальное расстояние. Если дальность связи получается слишком большой, имеет смысл уменьшить выходную мощность и, как следствие, потребление тока.

Передача радиосигнала через бетонные и кирпичные стены в городской среде с радиочастотными ( $R_F$ ) шумами на дистанции нескольких сотен метров может быть такой же трудной, как и обеспечение связи в прямой видимости (LOS) на дистанции в несколько километров.

Выбор оптимальной частоты для системы в диапазоне ISM, равном от 0,169 до 2,4 ГГц, не всегда очевиден. Характеристики антенны и ее местоположение, законодательные ограничения по максимальной выходной мощности, нежелательные источники помех, рабочая частота, конфигурация

Инв. № подл.	Подпись и дата		Инв. № дубл.		Подпись и дата	
	Взам. инв. №		Инв. №		Взам. инв. №	
	Подпись и дата		Инв. №		Подпись и дата	
	Инв. № подл.		Инв. №		Подпись и дата	
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ	
					Лист	
					24	



радио и затухание в среде распространения — все это определяет максимальное расстояние между приемником (Rx) и передатчиком (Tx). При разработке данного проекта выбран микроконтроллер ESP8266 обеспечивающий беспроводную передачу данных на частоте 2,4ГГц.

Примеры реалистических прогнозов расстояния рассматриваются на базе двухлучевой модели распространения радиоволн и по формуле Фрииса. Данная модель также может учитывать типичные строительные материалы зданий.

Максимальное расстояние распространяющиеся в пределах прямой видимости волны  $LOS_{max}$  зависит от искривления Земли ( $R_{земли}$  радиус земли равен 6365 км) и высот антенны передатчика (H1) и приемника (H2) определяется по формуле (1.1):

$$LOS_{MAX} = \frac{(\sqrt{2 \times h1 \times R_{земли}} + \sqrt{2 \times h2 \times R_{земли}})}{1000}, \quad (1.1)$$

где  $LOS_{max}$  – максимальное расстояние, км;

$R_{земли}$  – радиус земли равен 6365 км;

$h1$  – высота антенны передатчика, м;

$h2$  – высота антенны приемника, м;

При расположении антенн на высоте 1м максимальное расстояние равно:

$$LOS_{MAX} = \frac{(\sqrt{2 \times 1 \times 6365000} + \sqrt{2 \times 1 \times 6365000})}{1000} = 7,136 \text{ (км)}$$

При расположении антенн на высоте 5м максимальное расстояние равно:

$$LOS_{MAX} = \frac{(\sqrt{2 \times 5 \times 6365000} + \sqrt{2 \times 5 \times 6365000})}{1000} = 15,956 \text{ (км)}$$

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<div style="text-align: center;"> <p>ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ</p> </div>	Лист				
						25				
						Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Максимальное расстояние при различном расположении антенн представлено в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Расстояние прямой видимости с приемником на уровне земли

Высота антенны H1, м	Высота антенны H2, м	LOS <sub>max</sub> , км
0	0	0
1	0	3,568
1	1	7,136
1,2	1,2	7,817
5	5	15,956

Бюджет радиоканала грубо равен разности в дБ между выходной мощностью передатчика в дБм и пределом чувствительности радио в -дБм.

Фактический бюджет канала дополнительно учитывает усиление антенны передатчика и приемника, как показано в формуле (1.2):

$$\text{Бюджет канала} = \text{Выходная мощность TX (дБм)} + \text{Коэффициент усиления антенны TX (дБи)} - \text{Чувствительность RX (-дБм)} + \text{Коэффициент усиления антенны RX (дБи)} \quad (1.2)$$

$$\text{Бюджет канала} = P_T + G_T + P_R + G_R \quad (1.3)$$

где  $P_R$  — мощность, полученная от приемной антенны, дБм;

$P_T$  — мощность, подаваемая на передающую антенну, дБм;

$G_R$  — коэффициент усиления приемной антенны, дБи;

$G_T$  — коэффициент усиления передающей антенны, дБи.

Для идеальной дипольной антенны коэффициент усиления антенны (дБи) составляет 2,1 дБ.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата						Лист 26
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ					

В цифровых радиосистемах чувствительность часто определяется как уровень входного сигнала, при котором частота появления ошибок в приемнике превысит 1%. Частота появления ошибок может быть вычислена на основе частоты появления ошибок пакета (PER) или частоты появления ошибок битов (BER).

Связь достигается за счет передачи энергии сигнала от точки расположения передатчика до местоположения приемника. Энергия полученного сигнала должна быть достаточной, чтобы отличить требуемый сигнал от всегда присутствующего шума. Это требование определяется как необходимое отношение «сигнал-шум» (S/N). В спецификациях приемника иногда задается отношение S/N, при котором обеспечивается нормальный прием сигнала, однако чаще чувствительность определяется как абсолютный уровень в дБм (отрицательная величина).

Расстояние в радиосвязи в общем случае вычисляется по уравнению Фрииса (1.4):

$$P_R = P_T \times \frac{G_T \times G_R \times \lambda^2}{(4 \times \pi)^2 \times d^2}, \quad (1.4)$$

где  $P_R$  — мощность, полученная от приемной антенны;

$P_T$  — мощность, подаваемая на передающую антенну 0,04Вт;

$G_R$  — коэффициент усиления приемной антенны ;

$G_T$  — коэффициент усиления передающей антенны;

$d$  — расстояние, м;

$c$  — скорость света в вакууме равна  $299,972458 \times 10^6$  м/с;

$\lambda$  — длина волны; определяемая по формуле (1.5);

$f$  — частота, Гц.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ				
					Лист 27				

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (2.5)$$

Исходные данные для расчета:

- $P_T$  — мощность, подаваемая на передающую антенну 0,04Вт;
- $G_R$  — коэффициент усиления приемной антенны, 1 ;
- $G_T$  — коэффициент усиления передающей антенны, 1 ;
- $f$  — рабочая частота, 2,4 ГГц.

Длина волны, рассчитанная по формуле (1.5)

$$\lambda = \frac{299,972458 \times 10^6}{2400 \times 10^6} = 0,125 \text{ (м)}$$

Расчет мощности приёмной антенны на различных расстояниях от излучающей производится по формуле (1.4)

$$P_R(1) = 0,04 \times \frac{1 \times 1 \times 0,125^2}{(4 \times 3,14)^2 \times 1^2} = 3,9 \times 10^{-6} \text{ (Вт)} = -24,026 \text{ (дБм)}$$

$$P_R(5) = 0,04 \times \frac{1 \times 1 \times 0,125^2}{(4 \times 3,14)^2 \times 5^2} = 1,583 \times 10^{-7} \text{ (Вт)} = -38,006 \text{ (дБм)}$$

$$P_R(20) = 0,04 \times \frac{1 \times 1 \times 0,125^2}{(4 \times 3,14)^2 \times 20^2} = 9,893 \times 10^{-9} \text{ (Вт)} = -50,047 \text{ (дБм)}$$

$$P_R(40) = 0,04 \times \frac{1 \times 1 \times 0,125^2}{(4 \times 3,14)^2 \times 40^2} = 2,473 \times 10^{-9} \text{ (Вт)} = -56,067 \text{ (дБм)}$$

Формула (1.4) описывает уровень сигнала в приемнике ( $P_R$ ) относительно выходной мощности передатчика ( $P_T$ ), расстояния ( $d$ ), частоты ( $f$ ) и коэффициентов усиления антенн ( $G_T$  и  $G_R$ ).

Согласно формуле Фрииса (1.4), теоретическая дальность связи равна расстоянию, на котором канал работает на уровне сигнала, равном уровню чувствительности приемника.

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата	$P_R(1) = 0,04 \times \frac{1 \times 1 \times 0,125^2}{(4 \times 3,14)^2 \times 1^2} = 3,9 \times 10^{-6} \text{ (Вт)} = -24,026 \text{ (дБм)}$ $P_R(5) = 0,04 \times \frac{1 \times 1 \times 0,125^2}{(4 \times 3,14)^2 \times 5^2} = 1,583 \times 10^{-7} \text{ (Вт)} = -38,006 \text{ (дБм)}$ $P_R(20) = 0,04 \times \frac{1 \times 1 \times 0,125^2}{(4 \times 3,14)^2 \times 20^2} = 9,893 \times 10^{-9} \text{ (Вт)} = -50,047 \text{ (дБм)}$ $P_R(40) = 0,04 \times \frac{1 \times 1 \times 0,125^2}{(4 \times 3,14)^2 \times 40^2} = 2,473 \times 10^{-9} \text{ (Вт)} = -56,067 \text{ (дБм)}$ <p>Формула (1.4) описывает уровень сигнала в приемнике (<math>P_R</math>) относительно выходной мощности передатчика (<math>P_T</math>), расстояния (<math>d</math>), частоты (<math>f</math>) и коэффициентов усиления антенн (<math>G_T</math> и <math>G_R</math>).</p> <p>Согласно формуле Фрииса (1.4), теоретическая дальность связи равна расстоянию, на котором канал работает на уровне сигнала, равном уровню чувствительности приемника.</p>	
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ	Лист
						28

Чувствительность микроконтроллера ESP8266 при передаче данных на различных скоростях представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Чувствительность приемника ESP8266

Тип модуляции	Практический уровень чувствительности, дБм
ССК ,1 Mbps	-98
ССК ,11 Mbps	-91
1/2BPSK, 6 Mbps	-93
3/4QAM, 54 Mbps	-75

График дальности радиосвязи по формуле Фрииса при различных типах модуляции и скоростях представлен на рисунке 1.13.

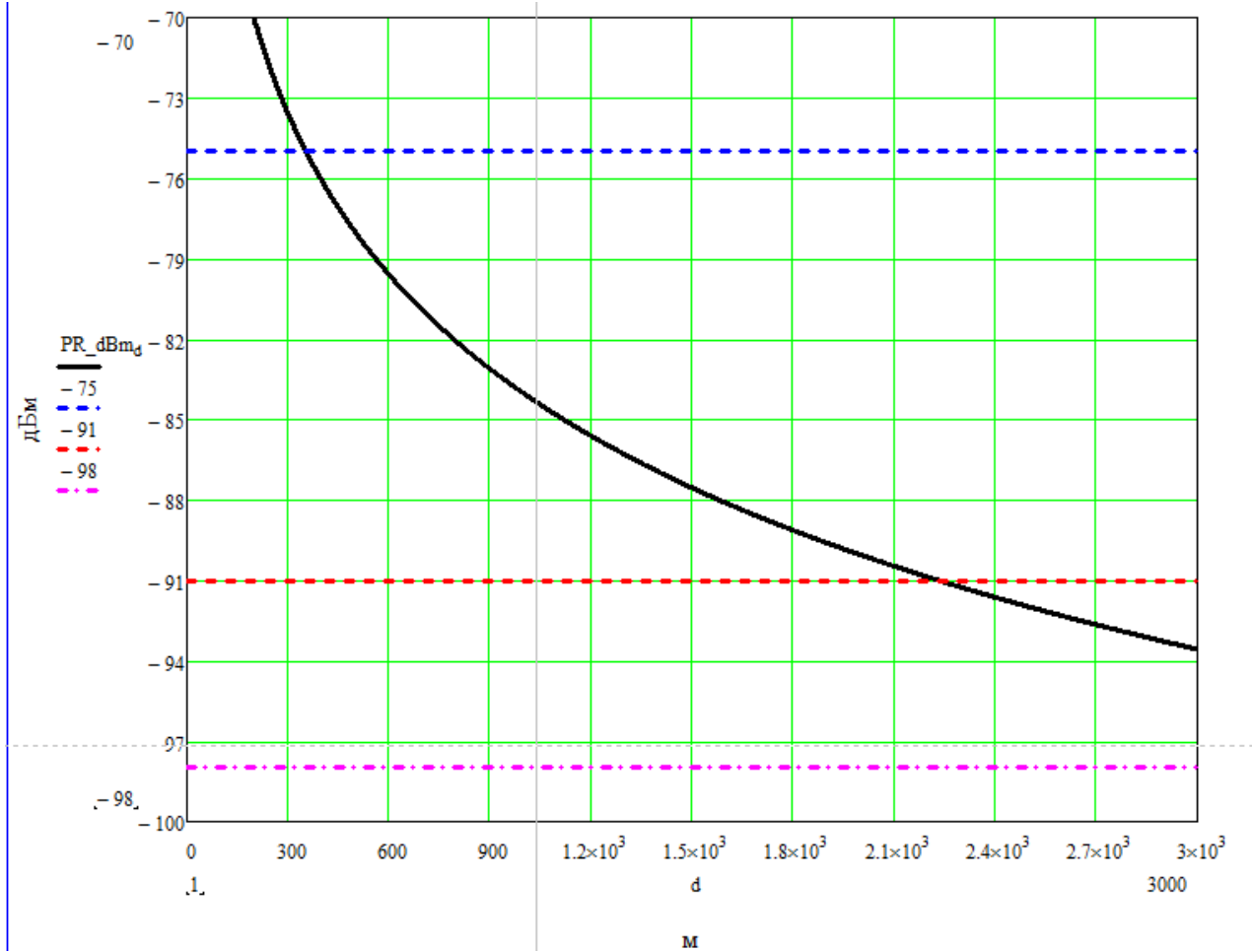


Рисунок 1.13 – График дальности радиосвязи по формуле Фрииса при различных скоростях

Исходя из графика дальности, представленного на рисунке 1.13, максимальная дальность связи:

- при (ССК ,1 Mbps) - составляет более 3км;
- при (ССК ,11 Mbps) - составляет 2,2 км;
- при (3/4QAM, 54 Mbps) - составляет около 400 м.

В типичном радиоканале волны от передатчика отражаются и перекрываются всеми объектами, облучаемыми антенной передатчика. Часто среда включает несколько подвижных объектов, которые еще более усложняют расчет. Большинство измерений расстояния выполняется на больших открытых пространствах без каких-либо преград, движущихся объектов или мешающих радиоисточников. Это делается для того, чтобы добиться единообразных повторяемых измерений. Формула (1.4) требует прямой видимости между антеннами приемника и передатчика. Носимое оборудование обычно работает у поверхности земли. Это подразумевает, что для вычисления расстояния, которое бы было ближе к реальности, нужно учитывать также влияние Земли.

На рисунке 1.14 показана ситуация с бесконечной абсолютно плоской поверхностью Земли и при отсутствии иных объектов, затрудняющих прохождение сигнала. Полная полученная энергия может быть при этом смоделирована как векторная сумма непосредственно переданной волны и волны, отраженной от Земли.

Инв. № подл.	Подпись и дата				ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ	Лист
	Взам. инв. №					
	Инв. № дубл.					30
	Подпись и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

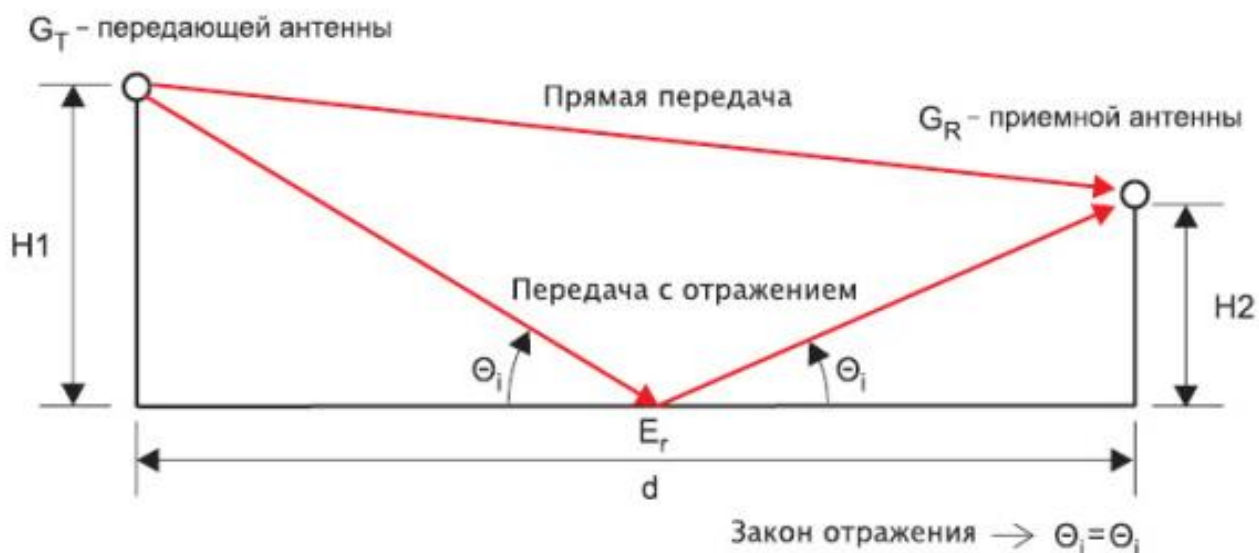


Рисунок 1.14 – Передача с отражением от Земли

Эти две волны складываются с положительным или отрицательным эффектом в зависимости от различия их фазы в приемнике. Величина и фаза непосредственно переданной волны меняются в зависимости от пути распространения сигнала. Величина отраженной волны зависит от общего расстояния, на которое она распространяется, и коэффициента отражения  $\gamma$ , описывающего волны до и после отражения.

Всякий раз, когда падающий радиосигнал попадает на границу между различными диэлектрическими средами, часть энергии отражается, в то время как оставшаяся энергия передается через границу сред. Отраженная часть зависит от поляризации сигнала, угла падения и различных диэлектрических постоянных ( $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$  и  $\sigma$ ). Предполагаем, что оба вещества имеют равные проводимости  $\mu_r = 1$  и что один диэлектрик — это свободное пространство, тогда формулы (1.6) и (1.7) будут задавать коэффициенты отражения Френеля для вертикально и горизонтально поляризованных сигналов:

$$\gamma_v = \frac{(\epsilon_r - j \times 60 \times \sigma \times \lambda) \times \sin \theta_i - \sqrt{\epsilon_r - j \times 60 \times \sigma \times \lambda - \cos^2 \theta_i}}{(\epsilon_r - j \times 60 \times \sigma \times \lambda) \times \sin \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - j \times 60 \times \sigma \times \lambda - \cos^2 \theta_i}}, \quad (1.6)$$

Инв. № подл.	Подпись и дата				Взам. инв. №	Инв. № дубл.				Подпись и дата														
Изм					Лист					№ докум.					Подпись					Дата				
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ																				Лист				
																				31				

расстояния, на которое она распространяется, и коэффициента отражения  $\gamma$ , описывающего волны до и после отражения.

Всякий раз, когда падающий радиосигнал попадает на границу между различными диэлектрическими средами, часть энергии отражается, в то время как оставшаяся энергия передается через границу сред. Отраженная часть зависит от поляризации сигнала, угла падения и различных диэлектрических постоянных ( $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$  и  $\sigma$ ). Предполагаем, что оба вещества имеют равные проводимости  $\mu_r = 1$  и что один диэлектрик — это свободное пространство, тогда формулы (1.6) и (1.7) будут задавать коэффициенты отражения Френеля для вертикально и горизонтально поляризованных сигналов:

$$\gamma_v = \frac{(\epsilon_r - j \times 60 \times \sigma \times \lambda) \times \sin \theta_i - \sqrt{\epsilon_r - j \times 60 \times \sigma \times \lambda - \cos^2 \theta_i}}{(\epsilon_r - j \times 60 \times \sigma \times \lambda) \times \sin \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - j \times 60 \times \sigma \times \lambda - \cos^2 \theta_i}}, \quad (1.6)$$

$$\gamma_h = \frac{\sin \theta_i - \sqrt{\epsilon_r - j \times 60 \times \sigma \times \lambda - \cos^2 \theta_i}}{\sin \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - j \times 60 \times \sigma \times \lambda - \cos^2 \theta_i}}, \quad (1.7)$$

где  $\epsilon_r$  – относительная диэлектрическая постоянная земли. Для типичных условий земли (почва) обычно используется  $\epsilon_r$  равным 18. Для воды, как правило, используется  $\epsilon_r$  равным 88 и для песка  $\epsilon_r$  равным 2,5.

$\theta$  – угол падения/отражения волны, определяемый по формуле (1.8);

$$\theta = \arctan\left(\frac{h_1 + h_2}{d}\right), \quad (1.8)$$

где  $d$  – расстояние между антеннами, м;

$h_1$  – высота антенны передатчика;

$h_2$  – высота антенны приемника;

Расчет угла  $\theta$  при различных расстояниях приемной антенны от излучающей производится по формуле (1.8) (высота приемной и излучающей антенны 1,2 м)

$$\theta(50) = \arctan\left(\frac{1,2 + 1,2}{50}\right) = 0,048 \text{ (рад)}$$

$$\theta(100) = \arctan\left(\frac{1,2 + 1,2}{100}\right) = 0,024 \text{ (рад)}$$

$$\theta(250) = \arctan\left(\frac{1,2 + 1,2}{250}\right) = 9,6 \times 10^{-3} \text{ (рад)}$$

$$\theta(500) = \arctan\left(\frac{1,2 + 1,2}{250}\right) = 4,8 \times 10^{-3} \text{ (рад)}$$

Расстояние, пройденное прямой волной  $D_{\text{WAVE}}$  определяется по формуле (1.9)

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ				Лист
				32



$$D_{\text{WAVE}} = \sqrt{(|h_1 - h_2|)^2 + d^2}, \quad (1.9)$$

Расстояние, пройденное прямой волной  $D_{\text{WAVE}}$  при различных расстояниях приемной антенны от излучающей производится по формуле (2.9) (высота приемной и излучающей антенны 1,2 м)

$$D_{\text{WAVE}}(50) = \sqrt{(|1,2 - 1,2|)^2 + 50^2} = 50 \text{ (м)}$$

Расстояние, пройденное отраженной волной  $R_{\text{WAVE}}$  определяется по формуле (1.10)

$$R_{\text{WAVE}} = \sqrt{(h_1 + h_2)^2 + d^2}, \quad (1.10)$$

Расстояние, пройденное отраженной волной  $R_{\text{WAVE}}$  при различных расстояниях приемной антенны от излучающей производится по формуле (1.10) (высота приемной и излучающей антенны 1,2 м)

$$R_{\text{WAVE}}(50) = \sqrt{(1,2 + 1,2)^2 + 50^2} = 50,058 \text{ (м)}$$

$$R_{\text{WAVE}}(100) = \sqrt{(1,2 + 1,2)^2 + 100^2} = 100,029 \text{ (м)}$$

$$R_{\text{WAVE}}(500) = \sqrt{(1,2 + 1,2)^2 + 500^2} = 500,06 \text{ (м)}$$

Разница между расстоянием, пройденным прямой и отраженной волной определяется по формуле (1.11)

$$L_{\text{DIFF}} = R_{\text{WAVE}} - D_{\text{WAVE}}, \quad (1.11)$$

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<div style="text-align: center;"> <p>ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ</p> </div>	Лист				
						33				
						Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

В упрощенном виде коэффициент  $\gamma$  ( пренебрегая мнимой частью ) определяется по формулам (1.12) и (1.13)

$$\gamma_v = \frac{\epsilon_r \times \sin \theta_i - \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}}{\epsilon_r \times \sin \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}}, \quad (1.12)$$

$$\gamma_h = \frac{\sin \theta_i - \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}}{\sin \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}}, \quad (1.13)$$

Для типичных условий земли (почва) обычно используется относительная диэлектрическая постоянная земли  $\epsilon_r$  равная 18.

$$\gamma_v(50) = \frac{18 \times \sin(0,048) - \sqrt{18 - \cos^2(0,048)}}{18 \times \sin(0,048) + \sqrt{18 - \cos^2(0,048)}} = -0,654$$

$$\gamma_v(100) = \frac{18 \times \sin(0,024) - \sqrt{18 - \cos^2(0,024)}}{18 \times \sin(0,024) + \sqrt{18 - \cos^2(0,024)}} = -0,81$$

График зависимости коэффициента  $\gamma_v$  для вертикально поляризованного сигнала представлен на рисунке 1.15.

Инв. № подл.	Подпись и дата				ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ	Лист
	Взам. инв. №					
	Инв. № дубл.					34
	Подпись и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

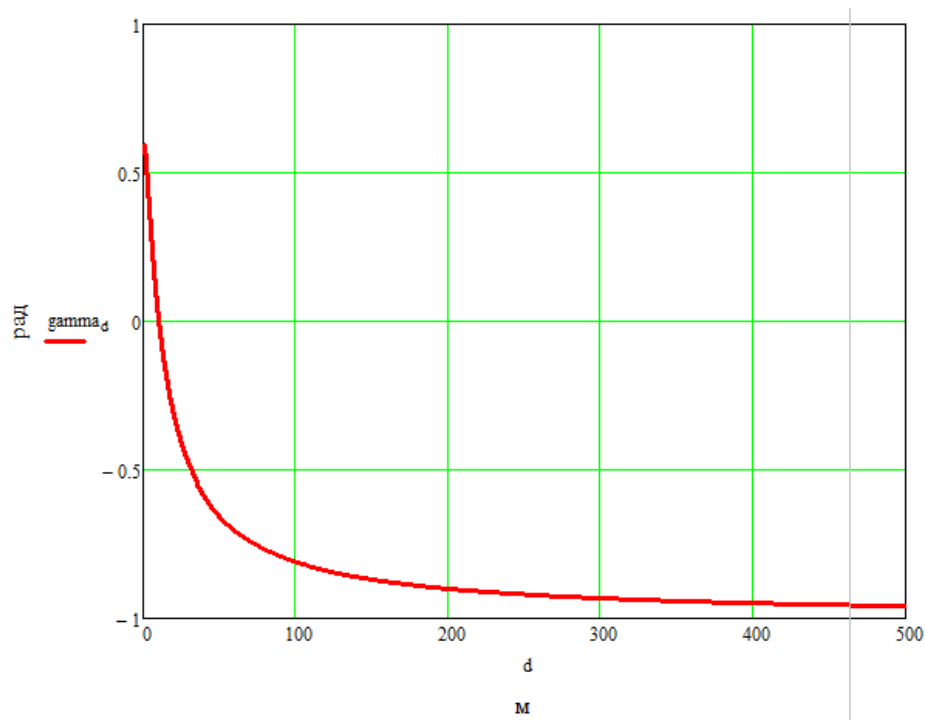


Рисунок 1.15 – График зависимости коэффициента  $\gamma_v$  для вертикально поляризованного сигнала

$$\gamma_h(50) = \frac{\sin(0,048) - \sqrt{18 - \cos^2(0,048)}}{\sin(0,048) + \sqrt{18 - \cos^2(0,048)}} = -0,977$$

$$\gamma_h(100) = \frac{\sin(0,024) - \sqrt{18 - \cos^2(0,024)}}{\sin(0,024) + \sqrt{18 - \cos^2(0,024)}} = -0,988$$

График зависимости коэффициента  $\gamma_h$  для горизонтально поляризованного сигнала представлен на рисунке 1.16

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ				
Копировал				Лист
Формат А4				35

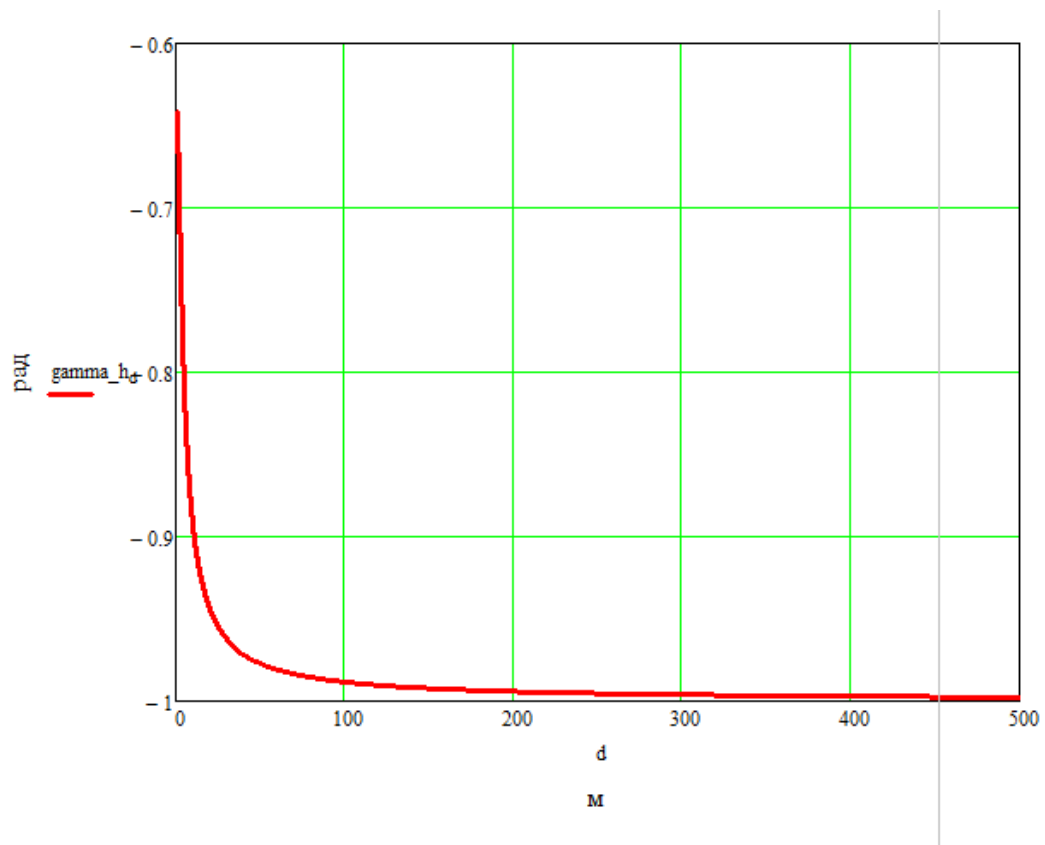


Рисунок 1.16 – График зависимости коэффициента  $\gamma_v$  для горизонтально поляризованного сигнала

Влияние фазовой составляющей определяется по формуле (1.14)

$$\cos\_phase\_diff = \cos\left(L_{DIFF} \times \frac{2 \times \pi}{\lambda}\right) \times \text{sign}(\gamma), \quad (1.14)$$

Для вертикально поляризованного сигнала влияние фазовой составляющей определяется по формуле (2.14)

$$\cos\_phase\_diff_v(100) = \cos\left(0,029 \times \frac{2 \times \pi}{0,125}\right) \times \text{sign}(-0.81) = -0,123$$

Для горизонтально поляризованного сигнала влияние фазовой составляющей определяется по формуле (1.14)

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	горизонтально поляризованного сигнала	
					Влияние фазовой составляющей определяется по формуле (1.14)	
					$\cos\_phase\_diff = \cos\left(L_{DIFF} \times \frac{2 \times \pi}{\lambda}\right) \times \text{sign}(\gamma), \quad (1.14)$	
					Для вертикально поляризованного сигнала влияние фазовой составляющей определяется по формуле (2.14)	
					$\cos\_phase\_diff_v(100) = \cos\left(0,029 \times \frac{2 \times \pi}{0,125}\right) \times \text{sign}(-0.81) = -0,123$	
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Для горизонтально поляризованного сигнала влияние фазовой составляющей определяется по формуле (1.14)	
					ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ	Лист
						36

$$\cos\_phase\_diff_H(100) = \cos\left(0,029 \times \frac{2 \times \pi}{0,125}\right) \times \text{sign}(-0.988) = -0,123$$

Мощность, создаваемая отраженной волной, определяется по формуле (1.15)

$$P_{DIRECT} = P_T \times \frac{G_T \times G_R \times \lambda^2}{(4 \times \pi)^2 \times D_{WAVE}^2}, \quad (1.15)$$

$$P_{DIRECT}(100) = 10^{-2} \times \frac{1 \times 1 \times 0,125^2}{(4 \times \pi)^2 \times 100^2} = 3,957 \times 10^{-10} \text{ (Вт)},$$

Мощность, создаваемая прямой волной, определяется по формуле (1.16)

$$P_{REFLECTED} = P_T \times \frac{G_T \times G_R \times \lambda^2}{(4 \times \pi)^2 \times R_{WAVE}^2} \times |\gamma|, \quad (1.16)$$

$$P_{REFLECTED\_H}(100) = 10^{-2} \times \frac{1 \times 1 \times 0,125^2}{(4 \times \pi)^2 \times 100,029^2} \times |-0,988| = 3,909 \times 10^{-10} \text{ (Вт)},$$

$$P_{REFLECTED\_V}(100) = 10^{-2} \times \frac{1 \times 1 \times 0,345^2}{(4 \times \pi)^2 \times 100,029^2} \times |-0,81| = 3,205 \times 10^{-10} \text{ (Вт)},$$

Мощность, создаваемая прямой и отраженной волнами определяется по формуле (1.17)

$$P_{TOTAL\_RECEIVED} = P_{DIRECT} + P_{REFLECTED} \times \cos\_phase\_diff, \quad (1.17)$$

Мощность, создаваемая прямой и отраженной волнами в дБм определяется по формуле (2.18)

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата						
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ					Лист
										37

$$P_{TOTAL\_RECEIVED\_dBm} = 10 \times \log(P_{TOTAL\_RECEIVED} \times 10^3), \quad (2.18)$$

При расчете сделано упрощение - передающая и приемная антенны предполагаются идеальными изотропными с  $G = 0$  дБ.

График дальности радиосвязи по формуле Фрииса, с учетом влияния диэлектрической составляющей и угла падения для вертикально поляризованного сигнала при скорости передачи 100кбит/с представлен на рисунке 1.17.

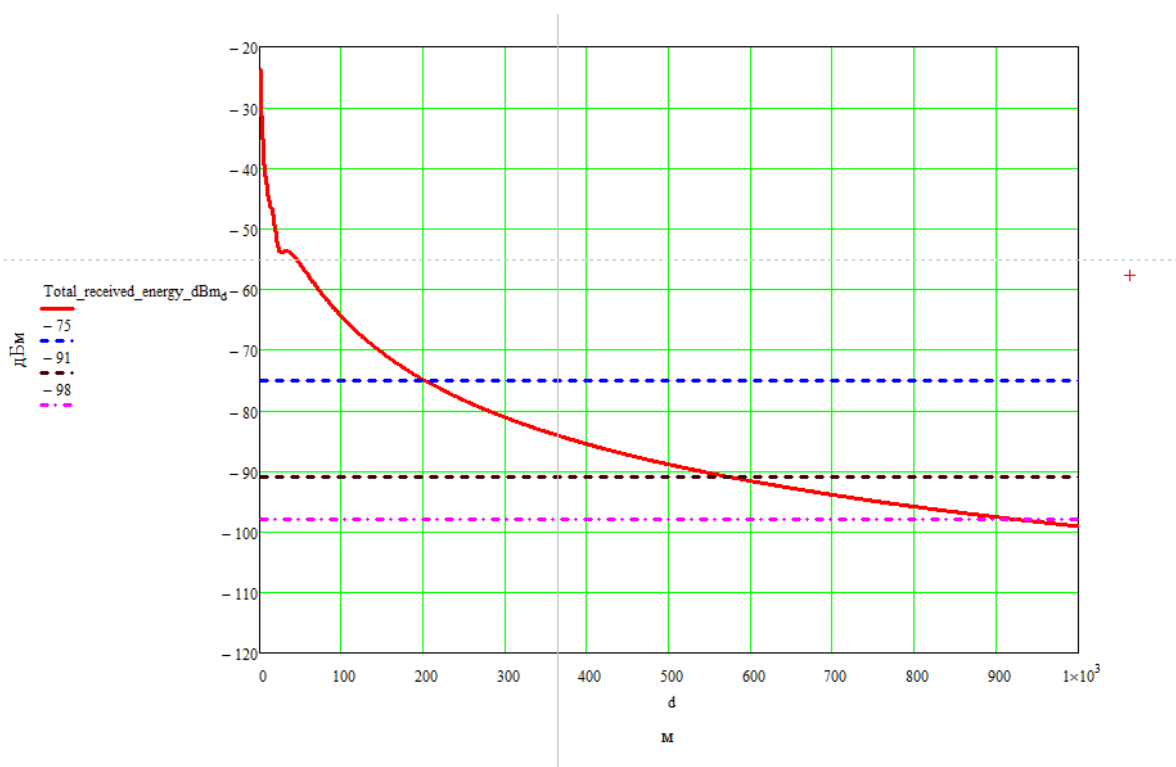
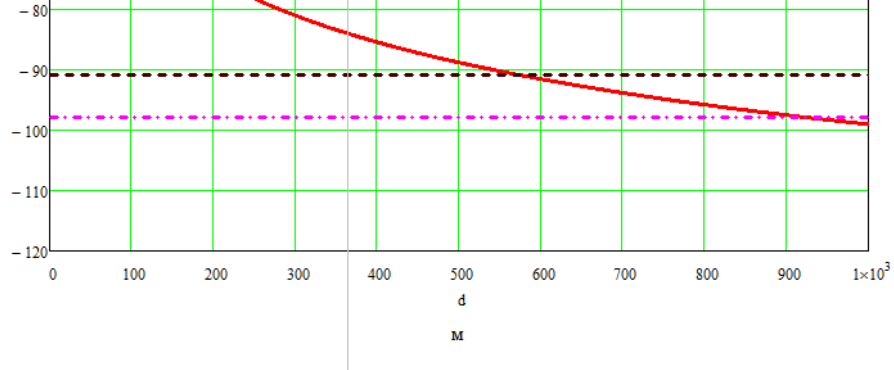


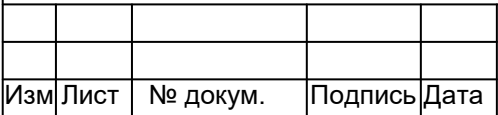
Рисунок 1.17 – График дальности радиосвязи по формуле Фрииса для вертикально поляризованного сигнала с учетом влияния земли

Исходя из графика дальности, представленного на рисунке 1.17, максимальная дальность связи:

- при (ССК ,1 Mbps) - составляет около 900м;
- при (ССК ,11 Mbps) - составляет 550м;
- при (3/4QAM, 54 Mbps) - составляет около 200 м.

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата		
<p>Рисунок 1.17 – График дальности радиосвязи по формуле Фрииса для вертикально поляризованного сигнала с учетом влияния земли</p>						
<p>Исходя из графика дальности, представленного на рисунке 1.17, максимальная дальность связи:</p>						
<ul style="list-style-type: none"><li>– при (ССК ,1 Mbps) - составляет около 900м;</li><li>– при (ССК ,11 Mbps) - составляет 550м;</li><li>– при (3/4QAM, 54 Mbps) - составляет около 200 м.</li></ul>						
Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ	Лист
						38
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата



ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ

Лист
39

Таблица 1.4– Типичное ослабление для различных строительных материалов

Строительный материал	Ослабление, дБ, на частоте 2,4 ГГц
Прямая видимость	0
Кирпич, 7"	7,5
Бетон, 8"	32
Гипсокартон, 1/2"	0,6
Стекло, 1/2"	3,4
Железобетон, 4"	31
Дерево, 3"	4,7

Как видно из этой таблицы 1.4, при прохождении сигнала через препятствия он значительно ослабляется, данные особенности необходимо учитывать при расстановке точек доступа Wi-Fi ( измерительных блоков, базового блока и маршрутизатора).

### 1.7 Выбор программно-аппаратных средств разработки

При разработке системы сбора данных в качестве языков программирования были выбраны JavaScript и адаптированный под Arduino C++.

Для упрощения и ускорения разработки были использованы библиотеки Arduino IDE ( ESP8266WiFi, WiFiClient, WiFiUdp, Wire, SPI, SD, RtcDS3231, DNSServer, ESP8266WebServer, WiFiManager и библиотеки веб - разработки ( jquery, highcharts).

Разработка скейтча проводилась в среде Arduino IDE, разработка веб страницы производилась в Brackets.

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p>ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ</p>					Лист
										40
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



## 2 Специальная часть

### 2.1 Разработка архитектуры системы

Архитектуру распределенной системы сбора метеоданных с web-интерфейсом можно представить в виде многоуровневой модели представленной на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Архитектура распределенной системы сбора метеоданных с web-интерфейсом

В архитектуре распределенной системы сбора метеоданных можно выделить следующие уровни:

- 1) уровень сервера, на котором производится:
  - сбор данных от клиентов и синхронизация их по времени получения;
  - сохранение данных в БД на внешнем носителе;
  - реализация web-сервера, для доступа по web-интерфейсу;
- 2) уровень маршрутизация, реализует:
  - раздачу IP-адресов клиентам сети;

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата							
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ					Лист	
										41	

- маршрутизацию между клиентами сети;
- 3) уровень сбор данных, реализует:
  - проверку статуса готовности измерительных приборов;
  - прием и предварительную обработку данных от измерительных приборов;
- 4) уровень Приборов, в нем представлены все приборы, используемые в процессе сбора исходных метеорологических данных.

Принцип взаимодействия между уровнями системы поясняет диаграмма последовательностей, представленная на рисунке 2.2.

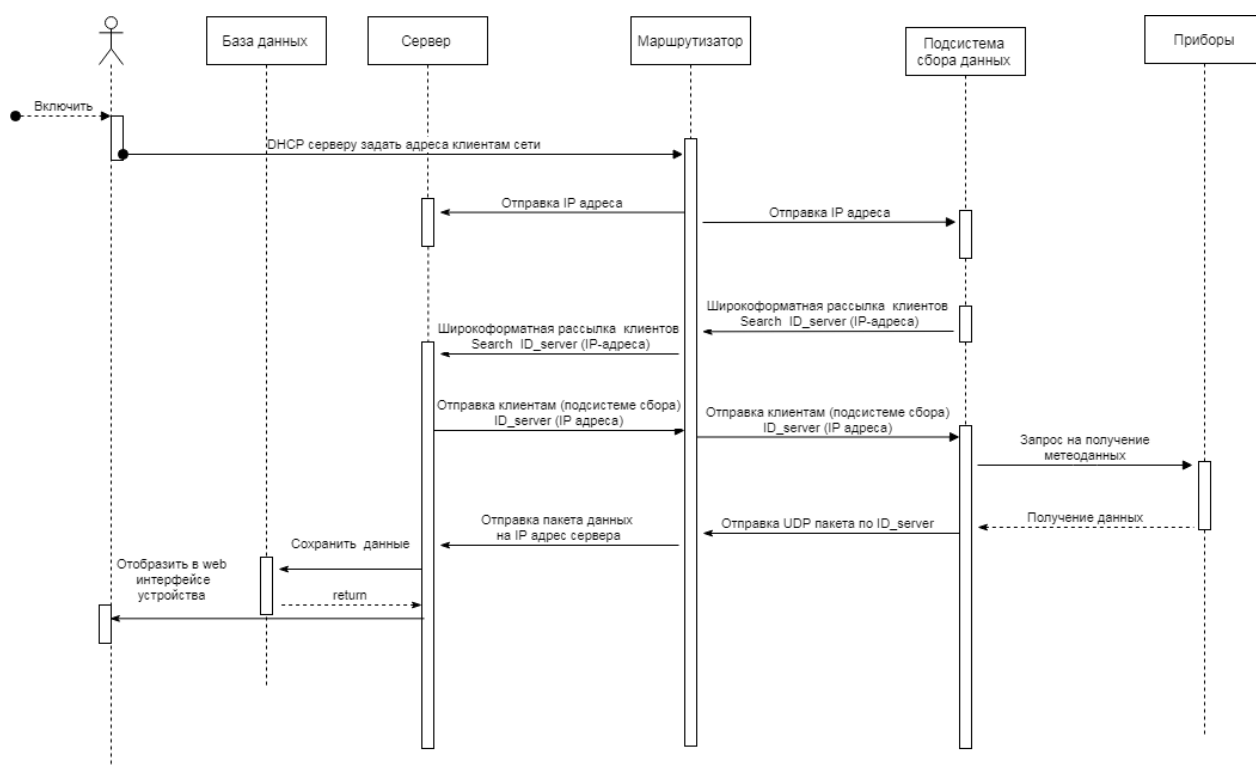


Рисунок 2.2 – Диаграмма последовательностей

Диаграмма компонентов системы представлена на рисунке  
представлена на рисунке 2.3

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ				
Копировал				
Формат А4				
				Лист
				42

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата

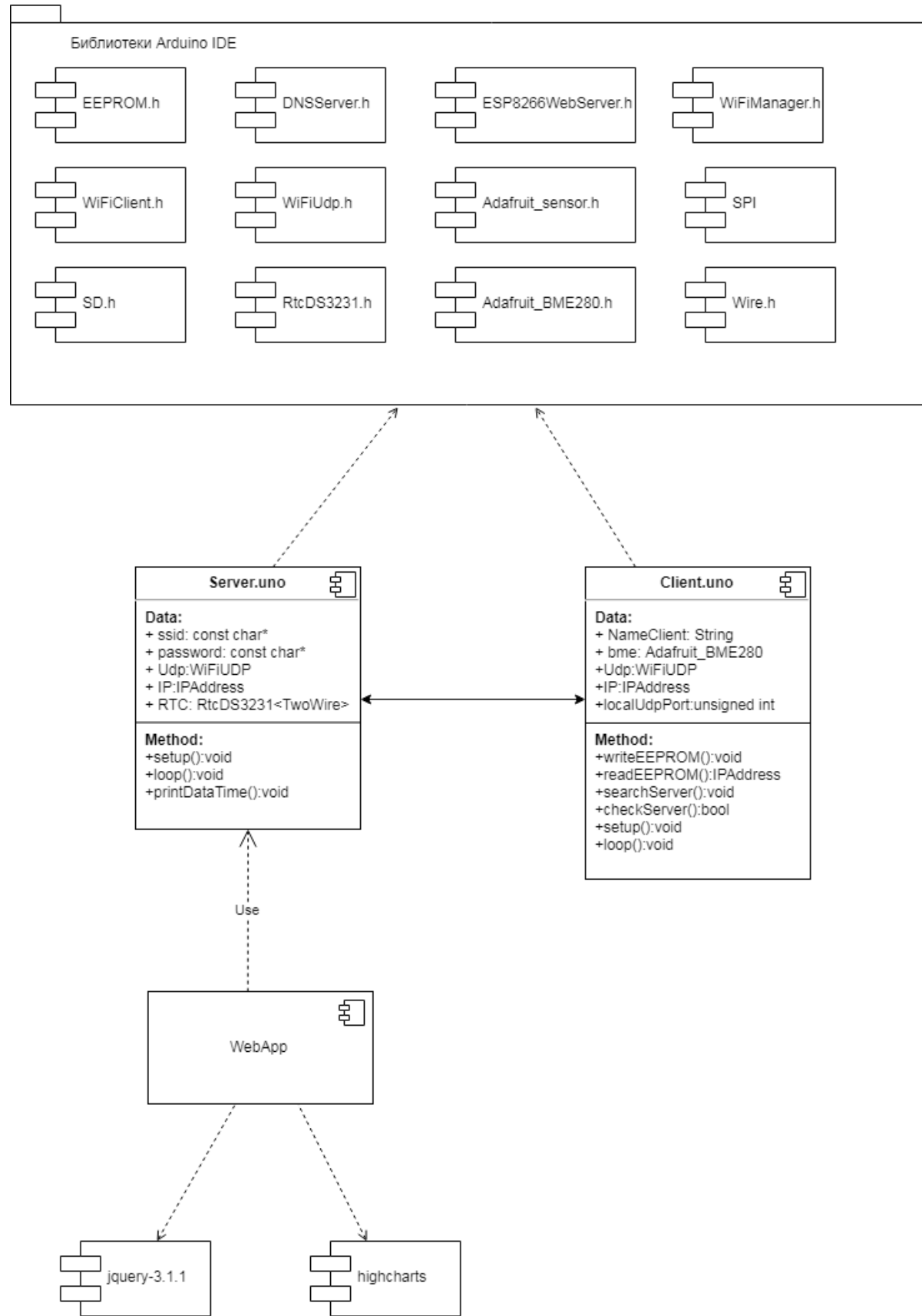


Рисунок 2.3 – Диаграмма компонентов

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

В компоненте «Server.uno», реализован: прием и обработка данных от клиентов (измерительных блоков), синхронизация данных со временем, сохранение их в базе данных на носителе, реализация веб-сервера.

Компонент содержит следующие основные методы:

– setup() – в нем производится инициализация периферии и начальные настройки сети;

– loop() – бесконечный цикл, в котором производится: прием и обработка данных от клиентов и запись в заранее заданном формате в базу данных на флеш-диске.

В компоненте «Client.uno», реализован: прием и обработка данных цифровых датчиков, передача данных по UDP протоколу компоненту Server.

Компонент содержит следующие основные методы:

– setup() – в нем производится инициализация периферии и начальные настройки сети;

– loop() – бесконечный цикл, в котором производится: прием и обработка данных от цифровых датчиков и передача их серверу.

При реализации компонентов «Server.uno» и «Client.uno» использованы стандартные библиотеки Arduino IDE.

Компонент WebApp обеспечивает отображение метеоданных в пользовательском интерфейсе, при его реализации использованы библиотеки: jquery и highcharts.

## 2.2 Разработка алгоритмов работы

Встроенное программное обеспечение предназначено для режима непрерывной передачи, при котором пакеты данных передаются через заданные промежутки времени. Алгоритм работы клиентской части показан на рисунке 2.4

Инв. № подл.	Подпись и дата				Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата															
<p>– loop() – бесконечный цикл, в котором производится: прием и обработка данных от цифровых датчиков и передача их серверу.</p> <p>При реализации компонентов «Server.uno» и «Client.uno» использованы стандартные библиотеки Arduino IDE.</p> <p>Компонент WebApp обеспечивает отображение метеоданных в пользовательском интерфейсе, при его реализации использованы библиотеки: jquery и highcharts.</p> <h3>2.2 Разработка алгоритмов работы</h3> <p>Встроенное программное обеспечение предназначено для режима непрерывной передачи, при котором пакеты данных передаются через заданные промежутки времени. Алгоритм работы клиентской части показан на рисунке 2.4</p>																						
Изм					Лист					№ докум.		Подпись		Дата		ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ					Лист	
																					44	

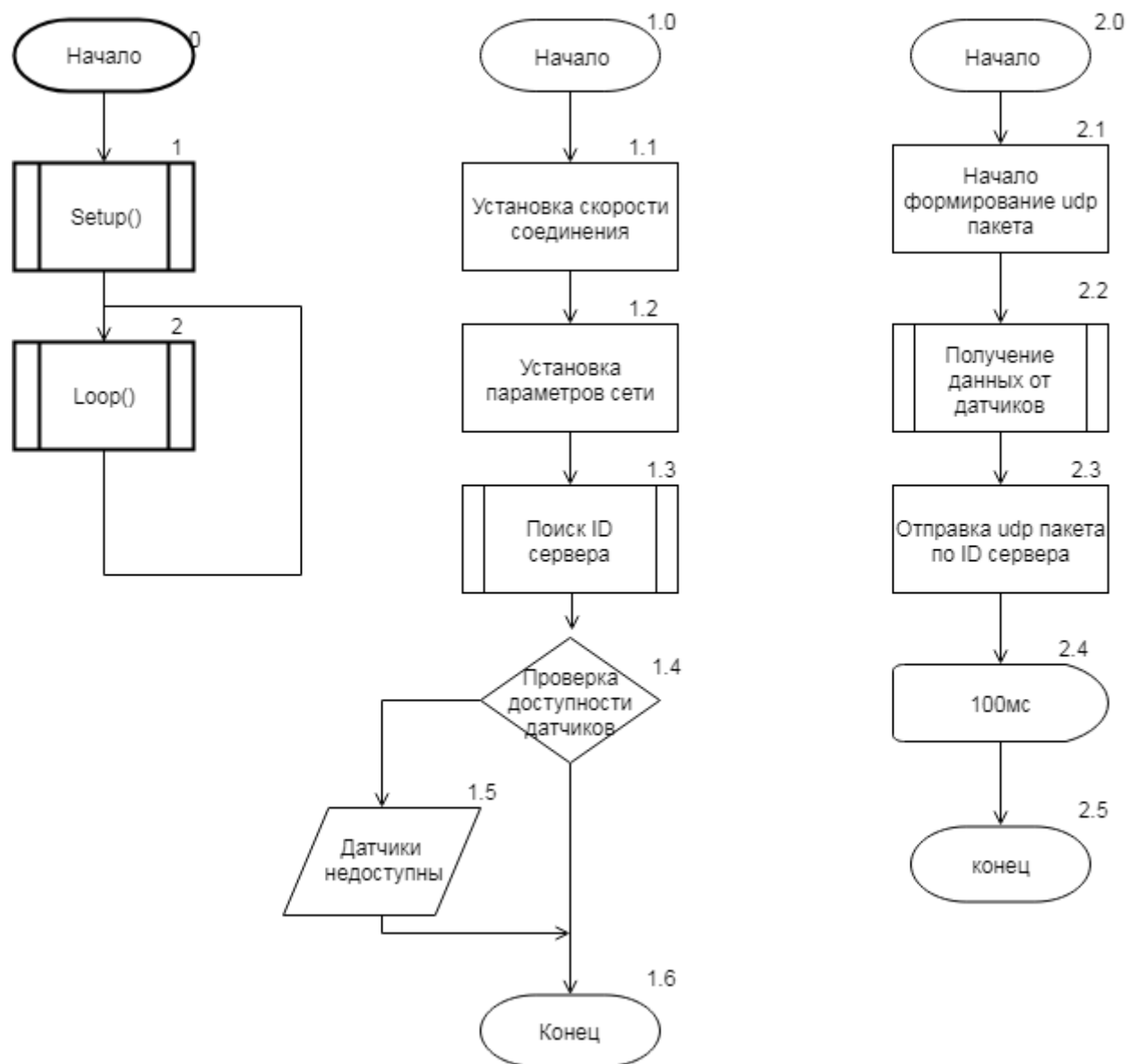


Рисунок 2.4 – Алгоритм работы клиентской части

Алгоритм работы серверной части представлен на рисунке 2.5

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ

Копировал
Формат А4

Лист	45
------	----

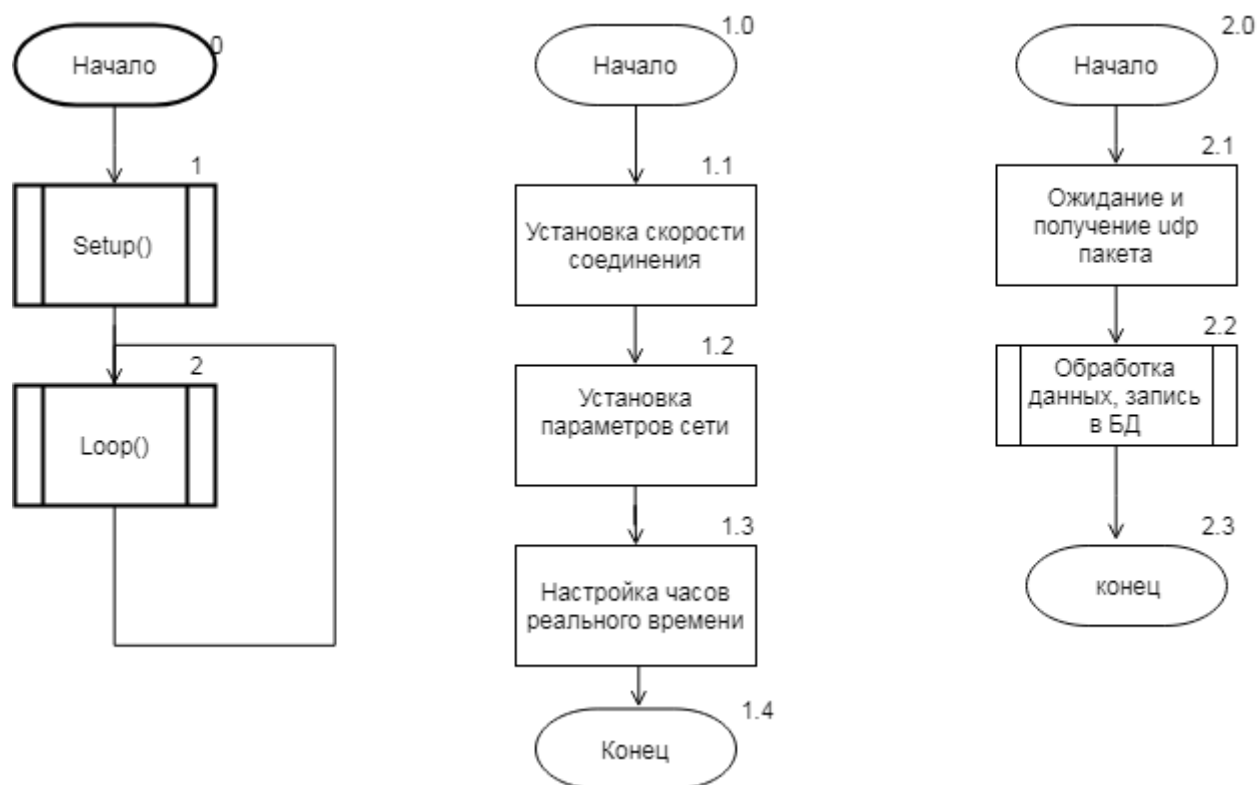


Рисунок 2.5 – Алгоритм работы серверной части

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ				Лист
Копировал				46
Формат А4				

Подпись и дата

## ЛНВ. № дубл.

Взам. инв. №

**Подпись и дата**

ИНВ.№ подл.

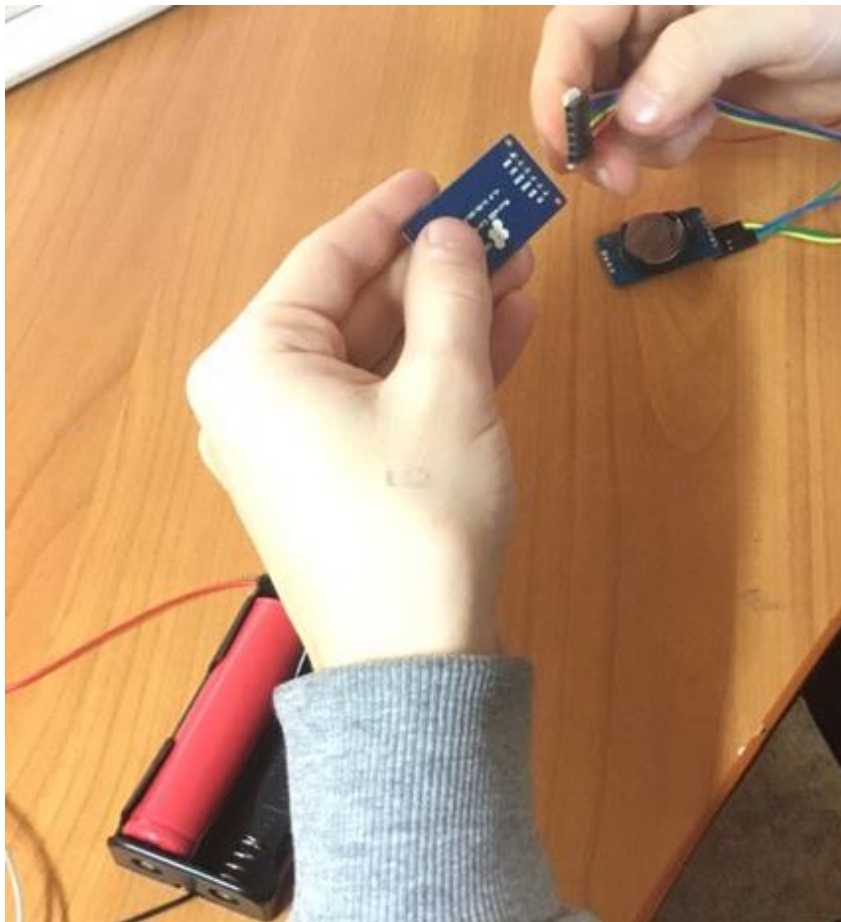


Рисунок 3.1 – Процесс подключения провода к модулю SD карты ( этап1)

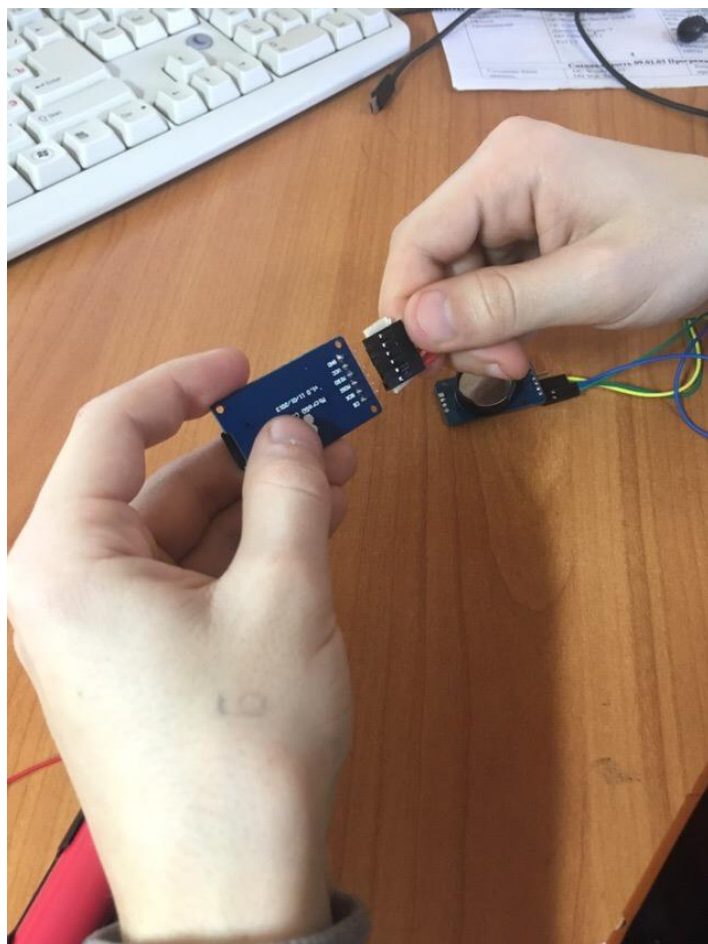


Рисунок 3.2 – Процесс подключения провода к модулю SD карты ( этап2)

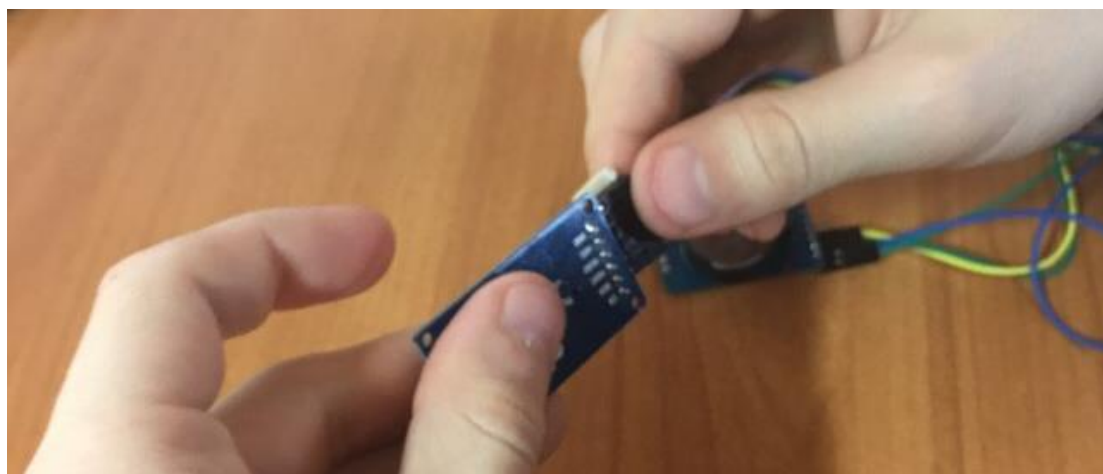


Рисунок 3.3 – Процесс подключения провода к модулю SD карты ( этап3)

Процесс подключения провода к модулю часов реального времени представлено на рисунке 3.4.

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ				Лист
Копировал				48
Формат А4				



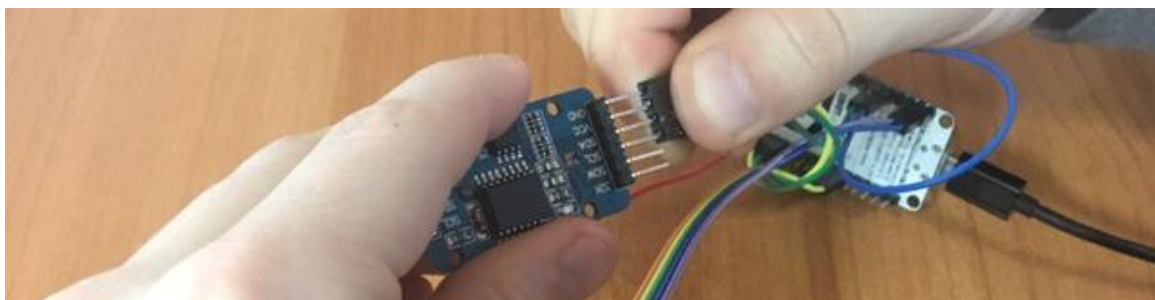


Рисунок 3.4 – Процесс подключения провода к модулю часов реального времени

Процесс подключения модуля часов и модуля SD карты к ESP8266 представлено на рисунке 3.5.

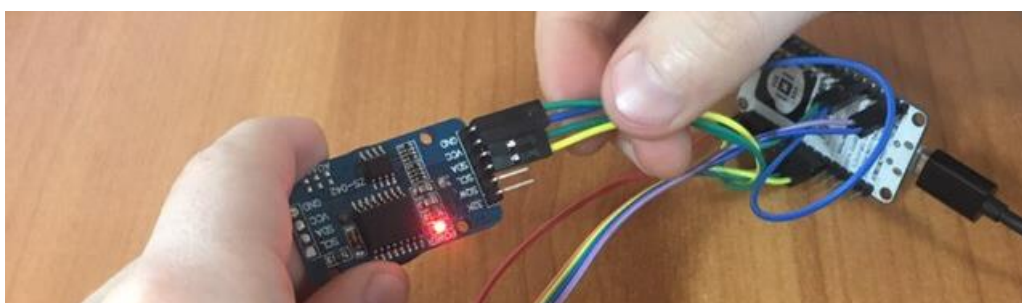


Рисунок 3.5 – Процесс подключения модуля часов и модуля SD карты к ESP8266

Процесс сборки измерительного блока представлен на рисунках 3.5 – 3.5.

Процесс подключения датчика BME280 к ESP8266 показан на рисунках 3.5 - 3.8.

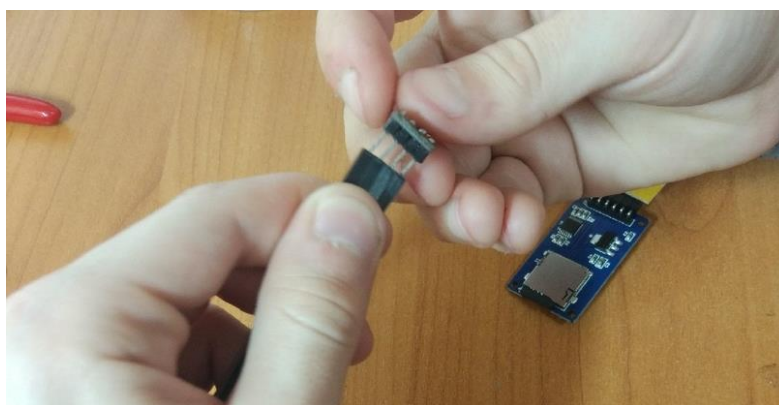


Рисунок 3.5 – Подключение датчика к соединителю

Инв.№ подл.	Подпись и дата		Взам. инв.№		Инв. № дубл.		Подпись и дата				
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ				Лист		
									49		

к ESP8266

Процесс сборки измерительного блока представлен на рисунках 3.5 – 3.5.

Процесс подключения датчика BME280 к ESP8266 показан на рисунках 3.5 - 3.8.



Рисунок 3.5 – Подключение датчика к соединителю



Рисунок 3.6 – Подключение датчика к соединителю

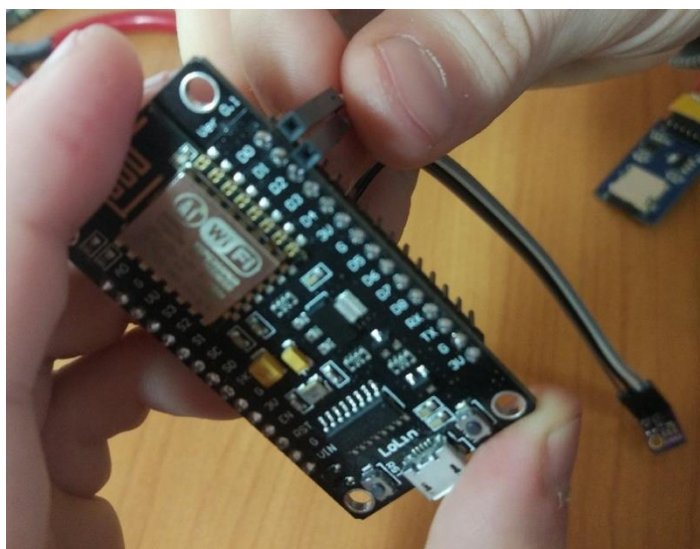


Рисунок 3.7 – Подключение провода линии i2c от BME280 к ESP8266

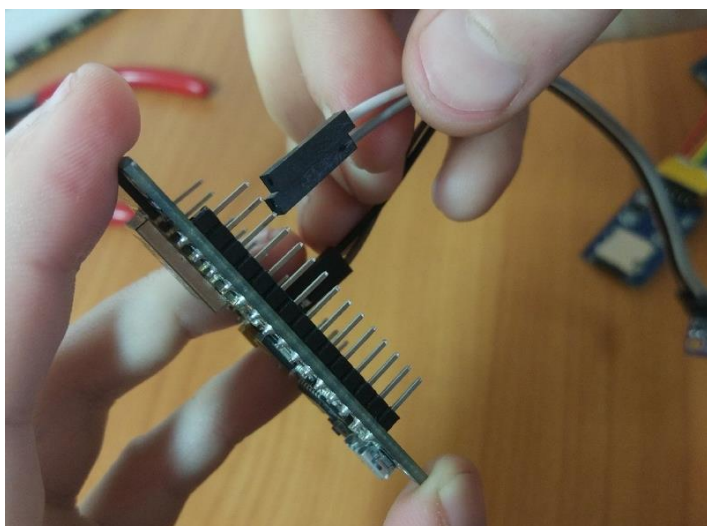


Рисунок 3.8 – Подключение провода линии i2c от BME280 к ESP8266

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ				Лист
Копировал				50
Формат А4				

Схема питания подключается стандартным образом. Наибольший интерес вызывает схема автономного питания от солнечной панели внешнего измерительного блока, его процесс сборки представлен на рисунках 3.9-3.16.

Процесс сборки системы автономного питания представлен на рисунках 3.9 – 3.10.

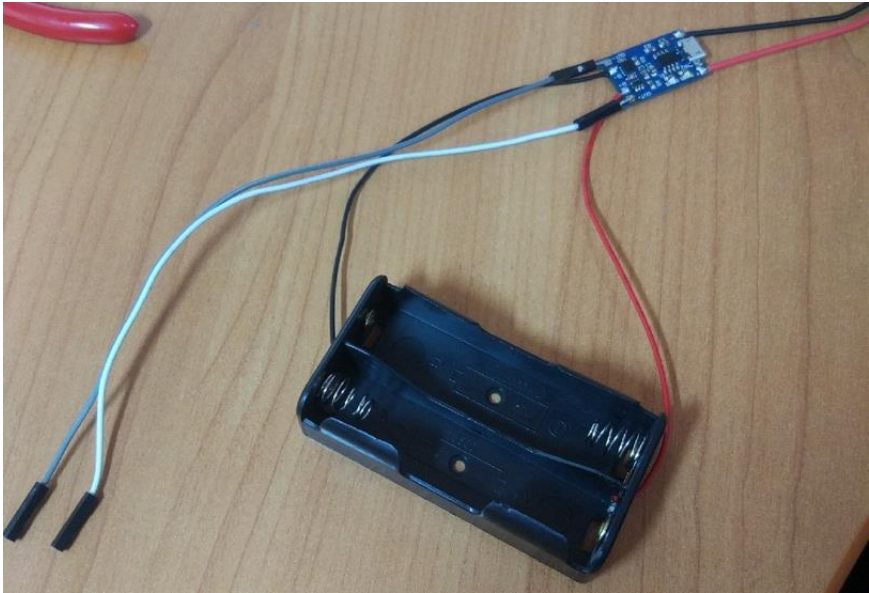


Рисунок 3.9 – Подключение заранее спаянной системы питания

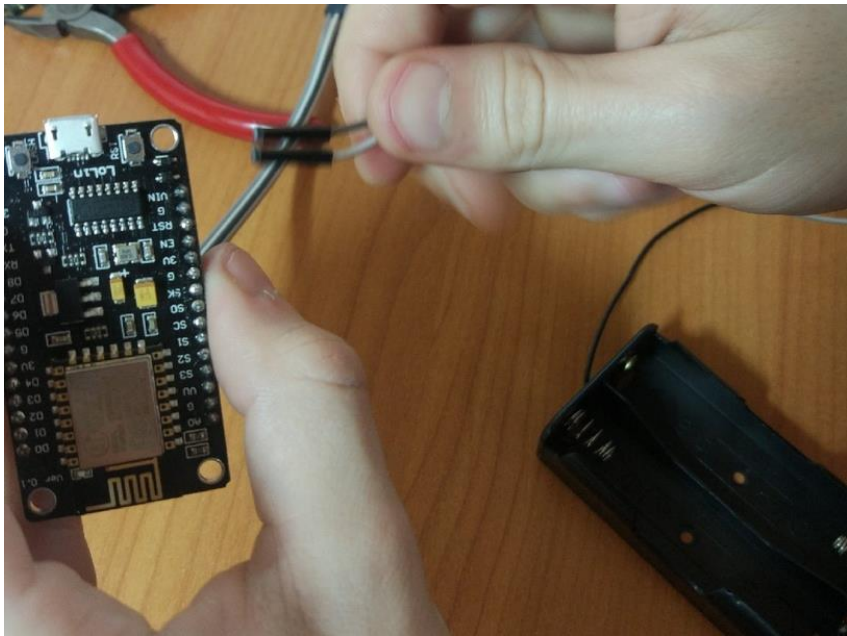


Рисунок 3.10 – Подключение питания к микросхеме ESP8266

Инв.№ подл.	Подпись и дата		Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ
Копировал					Лист
Формат А4					51

Рисунок 3.9 – Подключение заранее спаянной системы питания



Рисунок 3.10 – Подключение питания к микросхеме ESP8266



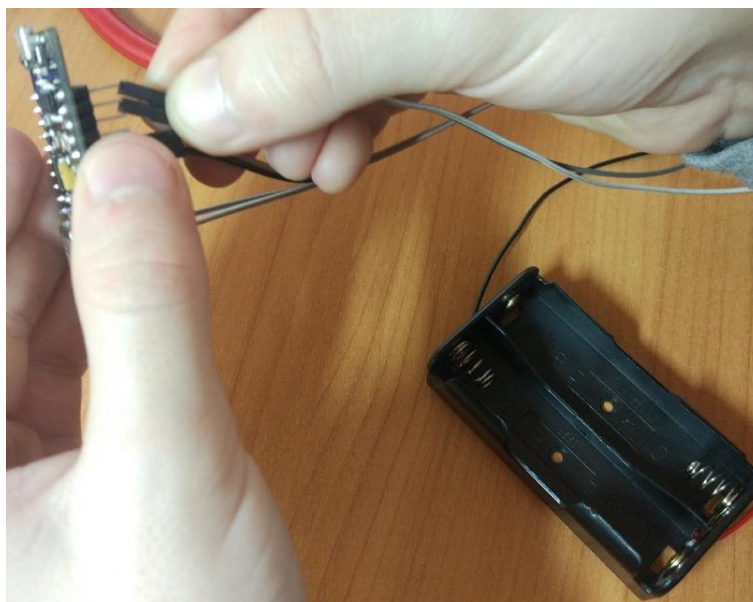


Рисунок 3.11 – Подключение питания к микросхеме ESP8266

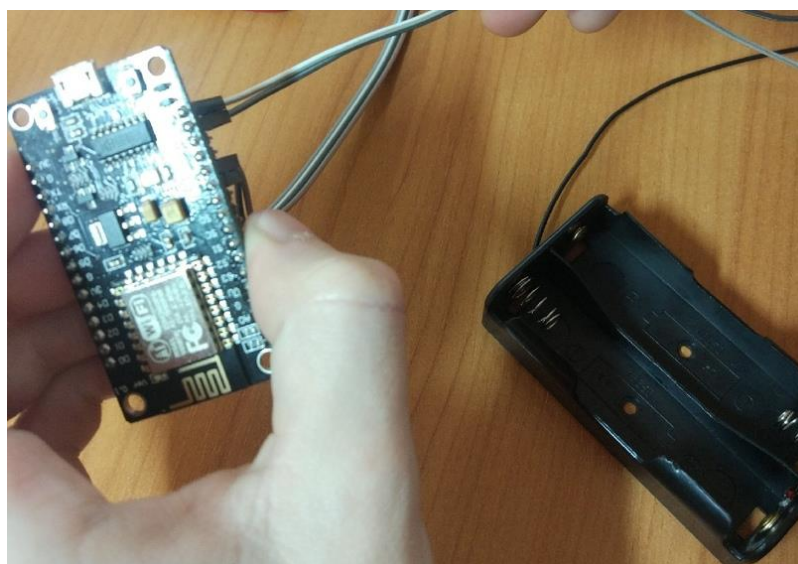


Рисунок 3.12 – Подключение питания к микросхеме ESP8266

Процесс установки аккумуляторной батареи в слот представлен на рисунке 3.13

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ				
Копировал				Лист
Формат А4				52



Рисунок 3.12 – Процесс установки аккумуляторной батареи в слот

Процесс подключения солнечной батареи к схеме питания представлен на рисунках 3.13-3.15.

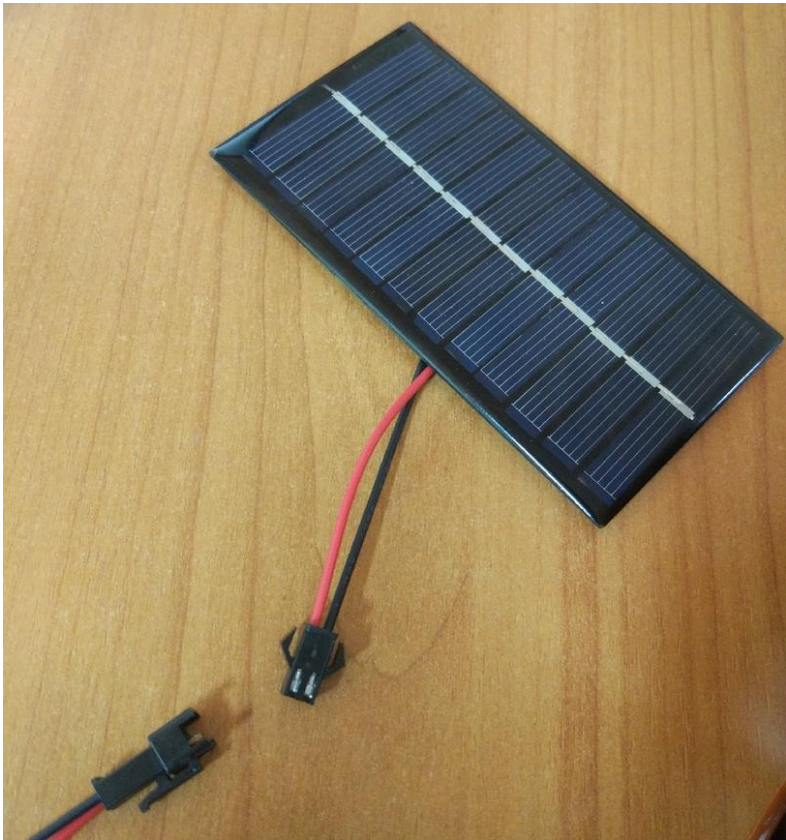


Рисунок 3.13 – Процесс подключения солнечной батареи к схеме питания

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ				Лист
				53



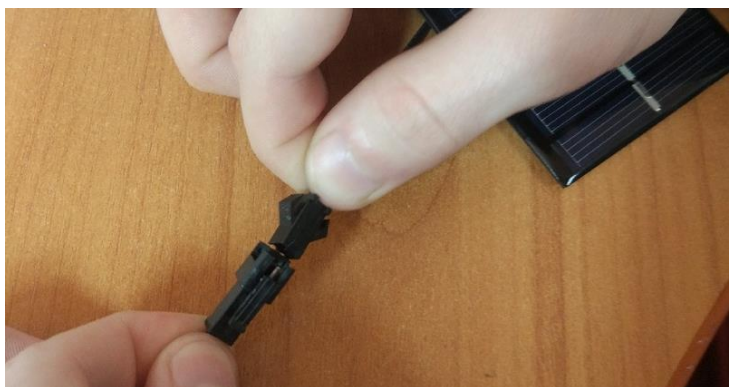


Рисунок 3.14 – Процесс подключения солнечной батареи к схеме питания

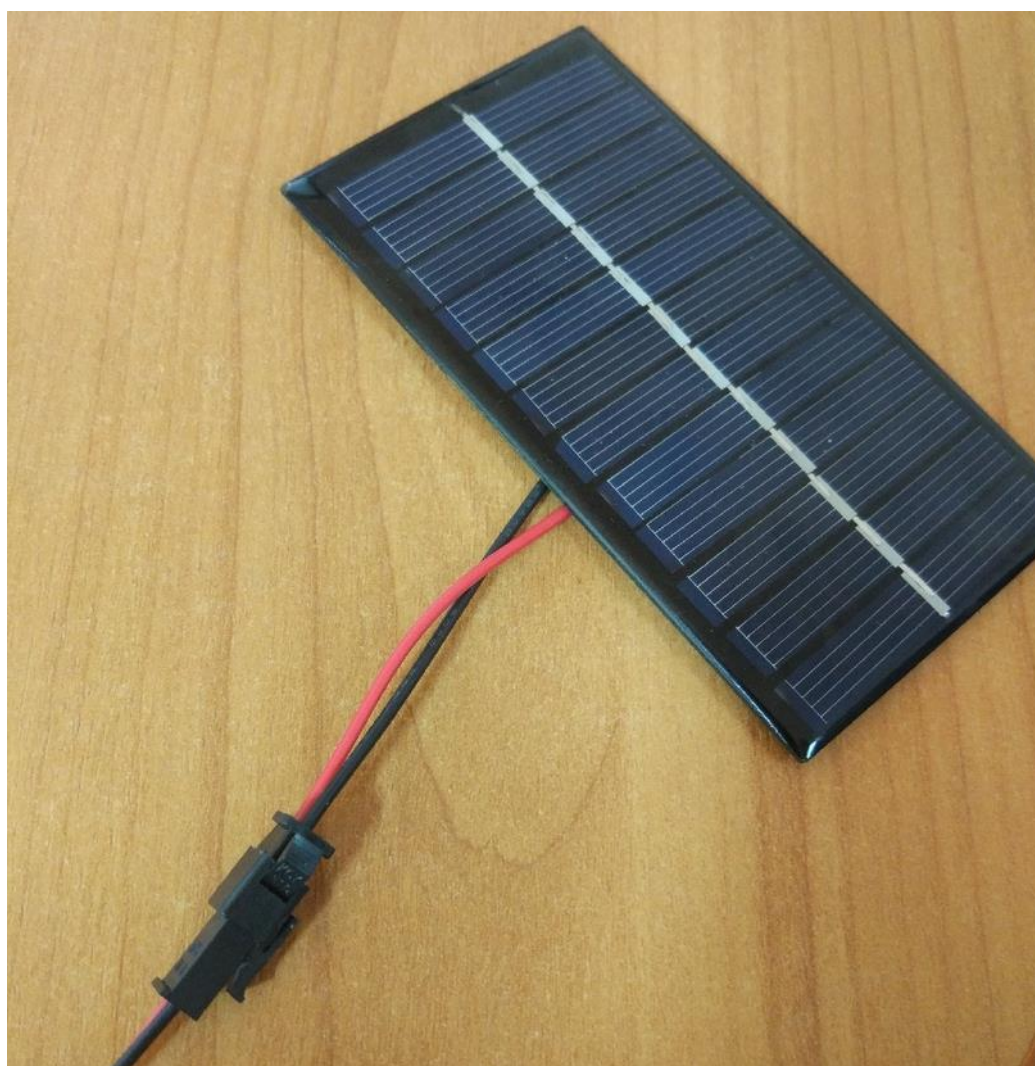


Рисунок 3.15 – Процесс подключения солнечной батареи к схеме питания

Проверка работоспособности солнечной батареи от источника света приведена на рисунке 3.16.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ				Лист
				54

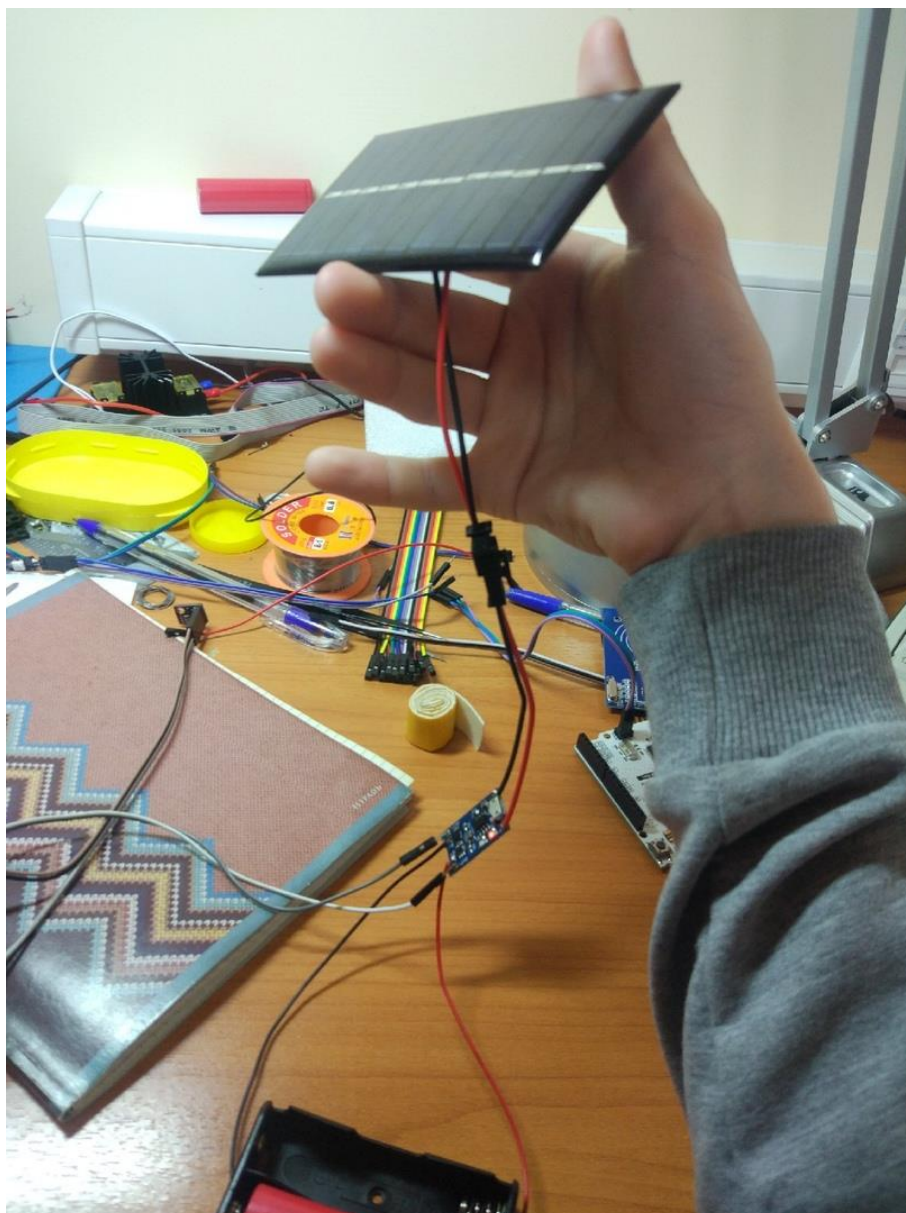


Рисунок 3.16 – Проверка работоспособности солнечной батареи от источника света

После проведения монтажа блоков, произведена заливка скейча в микроконтроллеры. Проверка работы системы в целом, с учетом web-интерфейса представлена в видео ( приложение к курсовому проекту).

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ				Лист
				55

## 4 Технико-экономическое обоснование разработки

### 4.1 Маркетинговые исследования рынка устройств

Курсовой проект посвящен разработке системы сбора метеоданных. Система предназначена для передачи информации с удаленного объекта по радиоканалу на аналогичное устройство и дальнейшей трансляции по последовательному интерфейсу в ПК или иное сетевое устройство. Устройство может быть применено в различных распределенных системах в случаях, когда необходимо производить сбор метеоданных и когда прокладка кабеля от объекта до места сбора данных не возможна, экономически не выгодна, либо когда требуется максимально скоростное развертывание телеметрической сети. Разработка выполнена с использованием импортной элементной базы.

Далее проведем расчет основных экономических показателей разработанной системы .

### 4.2 Расчет капитальных затрат на проектирование и изготовление системы сбора метеоданных

Капитальные затраты рассчитываются по формуле (4.1)

$$K = K_{\text{тпп}} + K_{\text{об}} + K_{\text{м}}, \quad (4.1)$$

где  $K$  – капитальные затраты, руб.;

$K_{\text{тпп}}$  – затраты на техническую подготовку производства, руб.;

$K_{\text{об}}$  – затраты на оборудование, руб.;

$K_{\text{м}}$  – затраты на монтаж, руб.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ					Лист 56
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



В связи с тем, что планируется производство устройства для собственных нужд организации, затраты на этапе проектирования полностью входят в капитальные затраты.

Техническая подготовка производства – это совокупность работ по проектированию и внедрению устройства. Техническая подготовка производства включает в себя этапы по предварительной подготовке к разработке темы, проектированию, составлению отчета о проделанной работе. Реализация перечисленных этапов требует определенных затрат времени и материальных средств. Затраты на техническую подготовку производства рассчитаны в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Затраты на техническую подготовку производства

Этап	Содержание выполняемых работ	Исполнитель	Трудоёмкость, час	ЧТС, руб	Стоимость, руб
1	Подготовка исходных данных для разработки	Инженер	4	100	400
2	Разработка структурной и функциональной схемы устройства	Инженер	4	100	400
3	Проведение расчетов функциональных блоков и выбор элементной базы, написание скейча	Инженер	16	100	1600
4	Разработка принципиальной схемы устройства	Инженер	4	100	400
5	Разработка технологической документации	Инженер	16	100	1600
	Итого:				4400

Затраты на техническую подготовку  $K_{\text{тпп}}$  составят 4400 рублей.

Затраты на оборудование представляют собой стоимость разрабатываемой системы сбора данных.

Для расчета стоимости устройства необходимо найти стоимости полуфабрикатов и комплектующих, которая рассчитывается по формуле (4.2)

$$П = \sum(Ц_{ед} \times Н), \quad (4.2)$$

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата						
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ					Лист
										57

где П– стоимость полуфабрикатов и комплектующих;

$C_{ед}$ – цена за единицу, руб.;

Н – количество по чертежу, шт.

Расчет выполнен и представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Расчет стоимости полуфабрикатов и комплектующих

Наименование	Тип	Ед. изм.	Кол-во изделий	Цена за единицу	Сумма, руб.
Микроконтроллер	ESP8266	шт.	3	150	450
Часы реального времени	DS3132	шт.	1	70	70
Датчик	BMP280	шт.	1	50	50
Датчик	BME280	шт.	1	150	150
Солнечная батарея		шт.	1	100	100
Регулятор напряжения	LM2596	шт.	1	70	70
Литиевая батарея	18650	шт.	1	150	150
Блок питания на 5В		шт.	2	150	300
SD карта		шт.	1	300	300
Итого					1640

Расценки по данным сайта efind.ru и <http://ru.aliexpress.com/>

Так же необходимо рассчитать основную заработную плату производственных рабочих по формуле (4.3)

$$\sum PC = ЧТС \times t_{шт-}, \quad (4.3)$$

где  $\sum PC$  – суммарная сдельная расценка на операциях технологического процесса, руб.;

ЧТС – средняя часовая тарифная ставка, руб.;

$t_{шт-к}$  – норма штучно-калькуляционного времени, час.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ				
					Лист 58				

Таблица 4.3 – Операции сборки

Операции	Тарифная ставка за 1 час, руб.	Трудоемкость, час	Расценка на одно изделия, руб.
Подготовка элементов	100	0,15	15
Сборка аппаратной части	100	1	100
Заливка скейча	100	0,15	15
Тестирование и настройка	100	2	200
Корректировка	100	1	100
Итого			430

Таблица 4.5 – Расчет себестоимости

Наименование статей затрат	Обоснование	Сумма (руб.)
1. Основные и вспомогательные материалы	Исходные данные(соединители)	50
2. Полуфабрикаты и комплектующие	$\sum_1^n Ц_{ед} * H$	1640
3. Транспортные расходы	5% от суммы статей 1 и 2	84,5
4. Основная заработная плата	$\sum PC = ЧТС \times t_{шт-к}$	430
5. Дополнительная заработная плата	20% от статьи 4	86
6. Отчисления на социальные нужды	30% от суммы статей 4 и 5	154,8
Итого	Сумма 1-6	2445,3

Последним этапом является расчет затрат на монтаж. Затраты на монтаж составляют 10 процентов от себестоимости оборудования и равны:

$$K_m = 0,10 \times 2445,3 = 244,5 \text{ (руб.)}$$

Используя формулу (4.2) и полученные данные рассчитаем капитальные затраты, связанные с внедрением системы сбора данных:

$$K = 4400 + 2445,3 + 244,5 = 7089,8 \text{ (руб.)}$$

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
-----	------	----------	---------	------

ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ

Лист

59

Стоимость проектирования, разработки и изготовления распределенной системы сбора и обработки метеоданных с web- интерфейсом составит 7089,8 рублей. Столь высокая стоимость обусловлена высокими первоначальными затратами на проектирование, однако она гораздо ниже аналогов (стоимость аналогов превосходит 10000 рублей). Несомненными достоинствами системы является:

- разработка с использованием свободного ПО;
- быстрая функциональная расширяемость за счет подключения различных цифровых датчиков и увеличение измерительных блоков;
- разработка распространяется под открытым исходным кодом и доступна для большего числа разработчиков.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<div style="text-align: center;"> <p>ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ</p> </div>					Лист
										60
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

## Заключение

В процессе работы над курсовым проектом произведена разработка распределенной системы сбора метеоданных с web-интерфейсом, произведена разработка макета устройства.

Следующими этапами развития данной системы являются:

- увеличение функциональности, за счет увеличения числа подключаемых цифровых датчиков;
- детальная проработка пользовательского интерфейса, с реализацией доступа через интернет;
- разработка выносного носимого модуля для контроля радиационной обстановки;
- разработка и изготовление корпусов, с учетом климатических особенностей.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата						
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ					Лист
										61

## Список использованных источников

1) Н. Новоселова Климат Земли [Электронный ресурс] [2019] Режим доступа:

[http://www.green-forums.info/greenlib/general/Novosielova%20N.%20S\\_/Klimat%20Ziemli.%20Nauchno-populiarnyi%20\(359\)/Klimat%20Ziemli.%20Nauchno-populiar%20-%20Novosielova%20N.%20S\\_.pdf](http://www.green-forums.info/greenlib/general/Novosielova%20N.%20S_/Klimat%20Ziemli.%20Nauchno-populiarnyi%20(359)/Klimat%20Ziemli.%20Nauchno-populiar%20-%20Novosielova%20N.%20S_.pdf)

2) Обзор погодной станции Netatmo Weather Station [Электронный ресурс] [2019] Режим доступа: <https://theroco.com/2016/12/08/netatmo-weather-station-review/>

3) Обзор электронных погодных станций Buro H209G и H127G [Электронный ресурс] [2019] Режим доступа:

<http://technomode.ru/gadgets/appliance/2017/11/02/obzor-elektronnyx-pogodnyx-stancij-buro-h209g-i-h127g/>

4) Ультран. Электронные компоненты [Электронный ресурс] [2019] Режим доступа: <http://ultran.ru/esp-12e>

5) Датчики давления Arduino bmp280, bmp180, bme280 [Электронный ресурс] [2019] Режим доступа: <https://arduino-master.ru/datchiki-arduino/datchiki-atmosfernogo-davleniya-bmp280-bmp180-bme280/>

6) Техническая документация к электронным компонентам на русском языке bme280 [Электронный ресурс] [2019] Режим доступа: <https://rudatasheet.ru/datasheets/dc-dc-lm2596/>

7) Обзор часов реального времени DS3231 (RTC) [Электронный ресурс] [2019] Режим доступа: <http://robotchip.ru/obzor-chasov-realnogo-vremeni-ds3231/>

8) Energy Harvesting Ambient Light and Environment Sensor Node for Sub1GHz Networks Reference Design. <http://www.ti.com/tool/TIDA00488>

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата						Лист 62
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТКМП.МДК.01.02.04.001ПЗ					