

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Высшая школа электроники и компьютерных наук  
Кафедра «Информационно-измерительная техника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. Кафедрой ИНИТ

\_\_\_\_\_ /А.Л.Шестаков/

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017г.

**РАЗРАБОТКА ОКОНЕЧНОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ  
СТАНДАРТА LoRaWAN**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
ЮУрГУ – 12.03.01.2017.059.ВКР

Руководитель, ст. преподаватель

\_\_\_\_\_ / С.В. Пашнин /

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017г.

Автор,

студент группы КЭ-435

\_\_\_\_\_ / Д.А. Абдуллин /

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017г.

Нормоконтролер, доцент

\_\_\_\_\_ / Лысова А.А.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017г.

## АННОТАЦИЯ

Абдуллин Д.А. Разработка оконечного устройства на основе стандарта LoRaWAN. – Челябинск: ЮУрГУ, КЭ; 2017, 70 с., 25 ил., библиогр. список – 22 наим., 2 прил.

В настоящее время существуют разнообразные беспроводные сетевые технологии, применяемые для «интернета вещей».

Разработанное оконечное устройство на стандарте LoRaWAN имеет преимущества перед другими беспроводными технологиями, основное из которых заключается в возможности двунаправленной передачи данных на большие расстояния.

Оконечное устройство представляет собой датчик, подключенный к контроллеру, передающий параметры объекта и управляющий исполнительными устройствами.

					ЮУрГУ –12.03.01.2017.059.ВКР			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Абдуллин Д.А.			Разработка оконечного устройства на основе стандарта LoRaWAN	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Пашнин С.В.					5	70
Н. контр.		Лысова А.А.				ЮУрГУ Кафедра ИНИТ		
Утв.		Шестаков А.Л.						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8	8
1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	10	10
1.1 Анализ технического задания.....	10	
1.2 Обзор аналогов.....	11	
1.2.1 Wi-Fi .....	11	
1.2.2 ZigBee .....	12	
1.2.3 Z-Wawe .....	13	
1.2.4 GSM .....	15	
1.3 Описание оборудования.....	16	
1.3.1 Отладочные платы семейства Arduino.....	18	
1.3.2 Отладочная плата Arduino Uno (версия R3).....	20	
1.3.3 Сравнительная характеристика Arduino Uno, Raspberry PI и BeagleBone .....	27	
1.3.4 Программирование Arduino.....	32	
1.3.5 Среда программирования Arduino IDE. Язык Arduino .....	33	
1.3.6 Модуль Bluetooth HC06 для Arduino .....	36	
1.3.7 Цифровой датчик температуры DS18B20.....	38	
1.4 Описание беспроводной сети LoRaWAN.....	39	
2. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ.....	47	47
2.1 Принцип работы устройства измерения температуры .....	47	
2.2 Пример работы устройства измерения температуры.....	54	
2.3 Расчет основных метрологических характеристик.....	56	
3. КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ.....	64	64

ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	67
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ПЛАТЫ.....	69
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПРОГРАММА С КОММЕНТАРИЯМИ .....	69

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и перспективность применения беспроводных технологий с обратной связью на основе LoRaWAN высока. Она разработана в 2015 г. и используется в программах «умный дом», «умный офис» и «умный город», так как без оконечных устройств эти программы не имеют смысла. За рубежом это очень развито и используется практически везде. В России данная технология реализована в инновационном городе – Иннополис. Они применяются для измерения, отображения и передачи данных. Оконечное устройство на основе LoRaWAN идеально подходит для решения данной проблемы. Существующие беспроводные технологии связаны с большими затратами на оборудование, передачу данных, оплату трафика и ограниченным расстоянием. Для решения поставленных проблем был разработан стандарт LoRaWAN.

### Преимущества LoRaWAN:

- поддержка протокола для энергосберегающих WAN-сетей;
- возможность передавать информацию на большие расстояния;
- долгий срок жизни аккумулятора;
- не требует больших инфраструктурных вложений;
- мобильность в радиусе действия;
- безопасность (128 кодирование);
- фактически бесплатный трафик;
- относительная простота (рассчитан на неподготовленного пользователя).

Цель выпускной квалификационной работы: разработать оконечное устройство со стандартом LoRaWAN на примере датчика температуры с возможностью ее регулирования исполнительными устройствами.

Для достижения выше поставленной цели нужно решить следующие задачи:

1. Анализ существующих беспроводных сетей.
2. Изучение преимуществ беспроводной сети LoRaWAN.

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

3. Исследование приборов, применяемых при построении беспроводных сетей.
4. Изучение топологии способов построения систем с помощью беспроводной сети LoRaWAN.
5. Разработать конструкцию оконечного устройства и печатную плату.

					ЮУрГУ –12.03.01.2017.059.ВКР	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

# 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Создание беспроводной связи сопровождается выбором оптимального стандарта передачи данных, имеющего ряд преимуществ перед другими. Чтобы выполнить этот выбор необходимо тщательно провести анализ технического задания.

## 1.1 Анализ технического задания

В соответствии с техническим заданием требуется спроектировать и соединить 100 оконечных устройств с датчиками температуры в теплицы. Мониторинг теплиц необходимо осуществлять удаленно, а также обеспечить высокую помехоустойчивость в условиях плотной городской застройки и исключить потерю пересылаемых данных. Для удовлетворения данных условий наиболее подходящим является применение беспроводной технологии передачи данных LoRaWAN.

В качестве основы прототипа оконечного устройства выбираем микроконтроллер Arduino UNO R3, который обладает относительно небольшой стоимостью и достаточно удобен при проектировании различных типов устройств. Роль коммуникационного узла будет выполнять модуль Bluetooth HC06 для Arduino. Самым простым элементом, по которому можно определить температуру является термистор, так как он изменяет значение своего сопротивления в зависимости от температуры окружающей его среды. Для данной разработки был выбран термистор B2-100-3950-1 с номиналом 100кОм. Он является NTC (Negative temperature coefficient) термистором, то есть термистором с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления.

Для предотвращения поломки электронных частей оконечного устройства от воздействий нежелательных факторов внешней среды необходимо спроектировать защитный корпус.

									Лист
									10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

## 1.2 Обзор аналогов

Как уже было сказано ранее, на сегодняшний день кроме выбранного стандарта связи LoRaWAN существуют и другие подобные технологии беспроводной связи, что предоставляет широкий спектр возможных вариантов реализации. Однако, не все аналогичные технологии могут быть реализованы в качестве протокола передачи данных ввиду определенных особенностей и недостатков. Рассмотрим и проанализируем некоторые из существующих протоколов передачи данных.

### **Обзор аналогов беспроводных технологий.**

#### *1.2.1 Wi-Fi*

Wi-Fi – сеть с высокой скоростью для приборов с большим зарядом, и в Internet of Things он применим в очень редко. Обычно, в бытовой технике, которой необходимо уметь не только включаться в Machine – to – Machine взаимодействие, а также предоставлять сеть напрямую для компьютера или другого устройства диспетчеризации – в этом случае Wi-Fi имеет смысл как интерфейс, в компьютере и другом устройстве диспетчеризации уже присутствующий.

При этом для систем безопасности и подобных устройств «настоящего массового Internet of Things» Wi-Fi – это поддержка, существование которой обусловлено прошлым. Высокая пропускная способность здесь не нужна, дальность стабильной работы Wi-Fi низкая, энергопотребление – высокое, первоначальная настройка сети не автоматизирована, и, наконец – если вы в своём доме на каждую IoT поставите по Wi-Fi, при первом включении ваш домашний роутер не выдержит напора клиентов. Архитектура сети Wi-Fi представлена на рисунке 1.

									Лист
									11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					



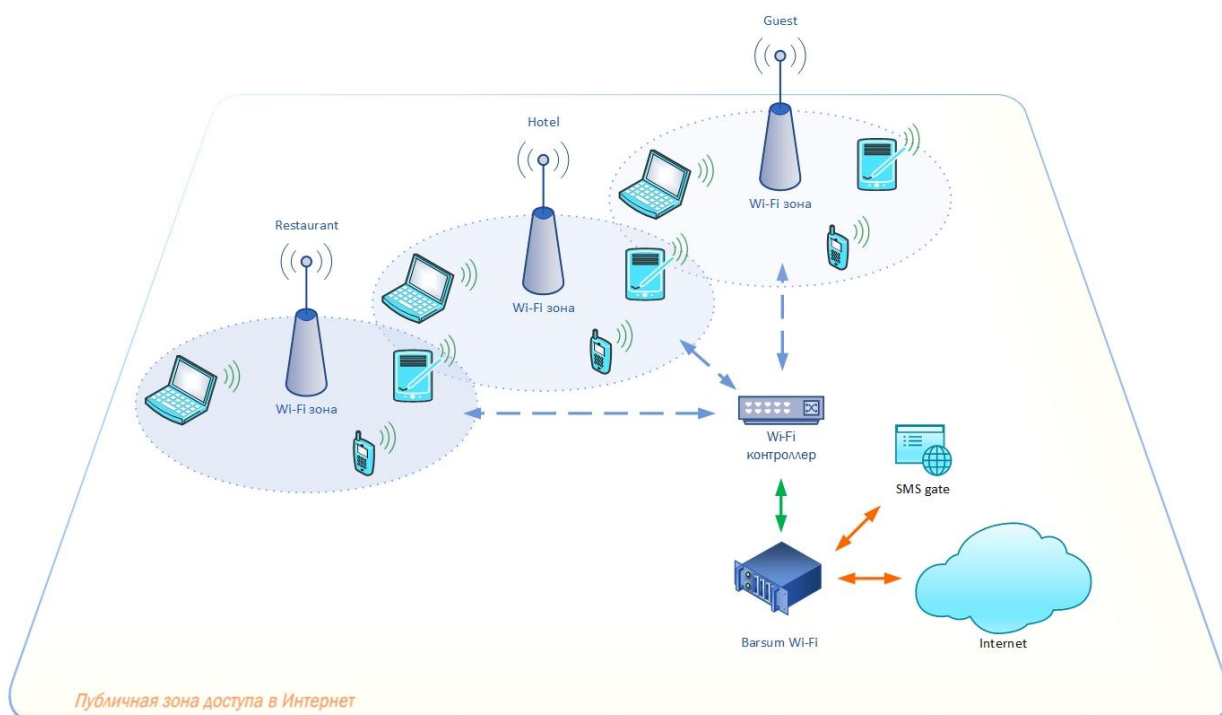


Рисунок 1 – Архитектура сети Wi-Fi

Вообще данный стандарт обеспечивает отсутствие централизованного сетевого концентратора, который вместе с этим является еще и сетевым шлюзом в окружающий мир в доступные, как людям, так и всем Internet of Things сети. Но достоинство это, не считая указанного выше случая, иллюзорное – если в доме счёт оконечным устройствам идёт не на единицы на несколько сотен, причём многие из них просты, пользователю необходимо делать единое управление ими, более того – независимое от единственных мобильных устройств, имеющихся у конкретных членов семьи. В общем случае не хотите, чтобы свет в ванной комнате, например, перестал работать потому, что ребёнок унёс из дома планшет. То есть – сетевой концентратор всё равно нужен, а будет это прибитый к стенке планшет со специальным программным обеспечением или тот же планшет, только ещё и с радио модулем ZigBee, Z-Wave, LoWPAN – вопрос не сильно принципиальный.

### 1.2.2 ZigBee

Одно из самых известных LAN – сеть, широко применяемая в гаджетах «умного дома» потому, что имеет два важных свойства: -во-первых, ZigBee не

							Лист
							12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		ЮУрГУ –12.03.01.2017.059.ВКР	

является патентованным лицензируемым протоколом, во-вторых, в протоколе ZigBee работа описывается даже до уровня приложений.

Данный стандарт позволяет работать и в 868/915 МГц, и в 2450 МГц, в виде MAC-уровня в нём используется 802.15.4. Топология сетей – ячеистая, скорость до 250 кбит/с. Размер сети возможен даже при более сотни устройств, максимальное число участков между маршрутизаторами от роутера до конечного устройства – 10 в ZigBee обычном и 30 в ZigBee PRO. Архитектура сети ZigBee представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Архитектура сети ZigBee

Делать оконечные устройства на основе стандарта ZigBee реально на почти всех платформах, одной из самых интересных являются микроконтроллеры TI серии CC-начиная со старых моделей с процессорным ядром 8051 и заканчивая новейшими CC1310, CC2630 и CC2650 с ARM Cortex M3; CC1310 покрывает диапазоны до 1 ГГц, CC26xx-2450 МГц. Для своих контроллеров TI даёт бесплатный стек ZigBee, готовый к применению. Для других контроллеров

									Лист
									13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

необходимо искать другие решения, и очень часто они будут оказываться платными. В целом, данный стандарт является хорошим выбором для домашней автоматизации-помимо доступности, он, благодаря включению в стандарт уровня приложений, теоретически обеспечивает совместимость вашей разработки с другими ZigBee-устройствами. Практически, однако, не всё так просто: как минимум, пользователь столкнётся с нестандартными расширениями и просто непривычной реализацией сторонних устройств, а как максимум – с целенаправленным огораживанием. При этом, с другой стороны, если совместимость пользователя не волнует, то достоинства ZigBee могут превратиться в его же ограничения.

Вообще, совместимость со сторонней продукцией – это вещь, о которой применительно к «умному дому» много говорят, но при этом значит она удивительно мало. Дело в том, что и весь рынок «умных домов» по настоящее время мал потому что не удивительно, если дешёвым устройством в нём считается стоящее \$50-70.

### 1.2.3 Z-Wave

По своим возможностям схожее с ZigBee, но полностью закрытое решение для построения ячеистых сетей. Работает в диапазонах 868/915 МГц, платформа – только чипы Sigma Designs или Mitsumi, других вариантов нет. Дорогая технология, кроме того, чипы обладают невысокой производительностью – они построены на ядрах 8051, поэтому, если вам нужно что-то большее, придётся подключать внешний процессор. Архитектура сети Z-Wave представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Архитектура сети Z-Wave

К минусам можно добавить то, что максимальная скорость данного стандарта в его последней версии – 100 кбит/с, максимальное число устройств – 232, участков между маршрутизаторами от роутера – всего 4, так что необходимо быть аккуратным с попыткой построения длинных сетей, дальность для субгигагерцовых устройств тоже не сильно большая – 150 метров прямой видимости.

С другой стороны, закрытость Z-Wave гарантирует хорошую совместимость устройств разных производителей.

#### 1.2.4 GSM

Стандарт GSM предусматривает работу передатчиков в двух диапазонах частот. Полоса частот 890-915 МГц используется для передачи сообщений с подвижной станции на базовую, а полоса 935-960 МГц – для передачи сообщений с базовой станции абоненту. Разнос частот между соседними каналами связи составляет 200 кГц, таким образом, в отведенной для приема или передачи полосе размещается 124 канала связи. В этом стандарте используется многостанционный доступ с временным разделением каналов (Time Division Multiple Access, TDMA), что позволяет на одной несущей частоте разместить восемь речевых каналов одновременно. В качестве речепреобразующего устройства используется речевой кодек с регулярным

импульсным возбуждением и скоростью преобразования речи 13 Кбит/с. Для защиты от ошибок, возникающих в радиоканалах, применяется блочное и сверточное кодирование с перемежением. Повышение эффективности кодирования и перемежения при малой скорости перемещения подвижных частот достигается медленным переключением рабочих частот в процессе сеанса связи (со скоростью 217 скачков в минуту). Возможности GSM представлены на рисунке 4.



Рисунок 4 – Возможности GSM

Что касается услуг, то здесь разработчики стандарта с самого начала стремились обеспечить совместимость сетей GSM и ISDN (Integrated Service Digital Network) по набору предлагаемых услуг. Помимо привычной телефонной связи пользователю GSM предоставляются разнообразные услуги передачи данных. Абоненты GSM могут осуществлять обмен информацией с абонентами ISDN, обычных телефонных сетей, сетей с коммутацией пакетов и сетей связи с коммутацией каналов, используя различные методы и протоколы

доступа, например, X.25. Возможна передача факсимильных сообщений, реализуемых при использовании соответствующего адаптера для факс-аппарата. Уникальной возможностью GSM, которой не было в старых аналоговых системах, является двунаправленная передача коротких сообщений SMS (Short Message Service) – до 160 байт, передаваемых в режиме с промежуточным хранением данных.

В "цифре" удалось реализовать дополнительные возможности, которые недоступны в аналоговых стандартах предыдущего поколения. В основном это относится к качеству звучания голоса собеседника (качество передачи и кодирования речи), аутентификации абонента и автоматическому роумингу. Кроме того, это:

- использование SIM-карт для обеспечения доступа к каналу и услугам связи;
- шифрование передаваемых сообщений;
- закрытый от прослушивания радиointерфейс;
- аутентификация абонента и идентификация абонентского оборудования по криптографическим алгоритмам;
- использование служб коротких сообщений, передаваемых по каналам сигнализации;
- автоматический роуминг абонентов различных сетей GSM в национальном и международном масштабе;
- межсетевой роуминг абонентов GSM с абонентами сетей стандартов DCS1800, PCS1900, DECT, а также со спутниковой системой персональной радиосвязи Globalstar;
- сегодня стандарт GSM активно развивается, и уже сейчас пользователю может быть представлена услуга высокоскоростной пакетной передачи данных (GPRS или EDGE) или доступа к Интернет.

									Лист
									17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ –12.03.01.2017.059.ВКР				

## 1.3 Описание оборудования

### 1.3.1 Отладочные платы семейства Arduino

Семейство Arduino включает в себя широкий ряд различных отладочных плат, на которых установлены различные микроконтроллеры. Большая часть микроконтроллеров относится к семейству AVR, но также есть плата, реализованная на основе микроконтроллера ARM. Отладочные платы Arduino просты в использовании и не имеют встроенных дисплеев, кнопок (за исключением кнопки перезагрузки) или датчиков. Вместо этого они имеют широкую базу подключаемых внешне датчиков, дисплеев, плат расширения и различных модулей связи. В таблице 1 приведены основные характеристики ряда плат Arduino, в таблице 2 – характеристики каналов связи платы с компьютером и внешними компонентами.

Таблица 1 – Технические характеристики отладочных плат Arduino

Название	Процессор	Напряжение рабочее/входное	Скорость процессора	Аналоговые выходы (In/Out)	Цифровое выходы (IO/PWM)
Uno	ATmega328	5В/7-12В	16 МГц	6/0	14/06
Due	AT91SAM3X8E	3.3В/7-12В	84 МГц	12/02	54/12
Leonardo	ATmega32u4	5В/7-12В	16 МГц	12/0	20\06
Mega 2560	ATmega2560	5В/7-12В	16 МГц	16/0	54/15
Micro	ATmega32u4	5В/7-12В	16 МГц	12/0	20/07
Mini	ATmega328	5В/7-9В	16 МГц	8/0	14/06
Nano	ATmega168	5В/7-9В	16 МГц	8/0	14/06
	ATmega328				
Ethernet	ATmega328	5В/7-12В	16 МГц	6/0	14/04
Esplora	ATmega32u4	5В/7-12В	16 МГц	—	—

Таблица 2 – Характеристики памяти и связи отладочных плат Arduino

Название	EEPROM [Кбайт]	SRAM [Кбайт]	Flash [Кбайт]	USB	UART
Uno	1	2	32	Regular	1
Due	—	96	512	2 Micro	4
Leonardo	1	02/05	32	Micro	1
Mega 2560	4	8	256	Regular	4
Micro	1	02/05	32	Micro	1
Mini	1	2	32	—	—
Nano	0.512	1	16	Mini-B	1
	1	2	32		

Данные в таблицах 1 и 2 взяты с официального сайта разработчиков семейства плат [1] и из технических документаций микроконтроллеров [2-8]

Понятия и аббревиатуры, используемые в таблицах 1 и 2:

- Flash-память (flash) – энергонезависимая память, допускающая многократную перезапись своего содержимого;
- Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (EEPROM) – электрически стираемая перепрограммируемая энергонезависимая память (один из видов flash-памяти);
- Pulse-Width Modulation (PWM) – широтно-импульсная модуляция (ШИМ) – управление средним значением напряжения на нагрузке путём изменения скважности импульсов;
- Static Random Access Memory (SRAM) – статическая память с произвольным доступом, энергозависимый тип памяти;
- Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) – универсальный асинхронный приемопередатчик.



Отладочная плата Arduino Uno является базовой платой семейства Arduino, она имеет средний размер (максимально допустимые параметры: 6,9 см в длину и 5,4 см в ширину), а модельный ряд включает в себя платы размерами от 3 см до 15 см. Данная отладочная плата имеет стандартное выходное напряжение – 5В и удобный диапазон напряжения питания от 7В до 12В. Arduino Uno имеет 6 аналоговых выводов и 14 цифровых, что является достаточным количеством для проектирования различных устройств, а при необходимости в большем числе выводов к ней можно подключить плату расширения (shield). Соотношение размеров с количеством выводов у данной платы наиболее удобно для работы, т.к. можно подключить достаточно большое число элементов и при этом уместить все устройство в небольшом корпусе. К компьютеру данная плата подключается по стандартному USB кабелю. Объем flash-памяти у Arduino Uno составляет 32 Кбайт, что является стандартным для всего ряда плат Arduino.

Для решения поставленной задачи будет использована рассмотренная отладочная плата и дальнейшее рассмотрение будет построено только для Arduino Uno.

### 1.3.2 Отладочная плата Arduino Uno (версия R3)

Arduino Uno (Рисунки 5, 6) – это отладочная плата на основе микроконтроллера ATmega328, который относится к семейству микроконтроллеров AVR.

									Лист
									20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

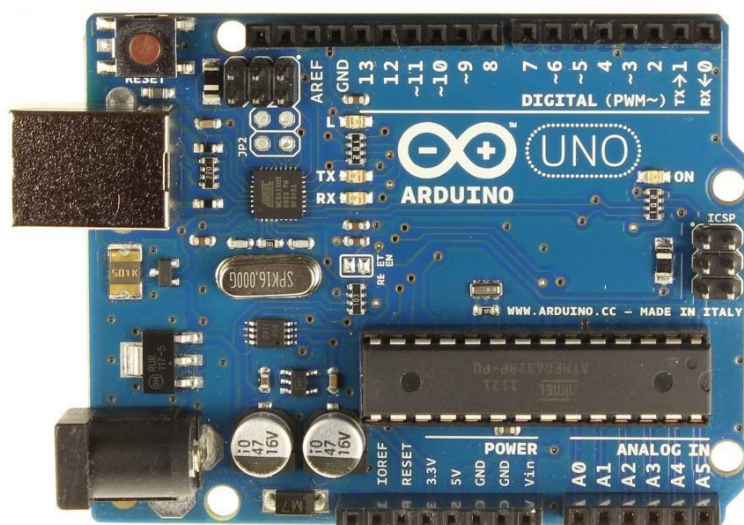


Рисунок 5 – Отладочная плата Arduino Uno (лицевая сторона)

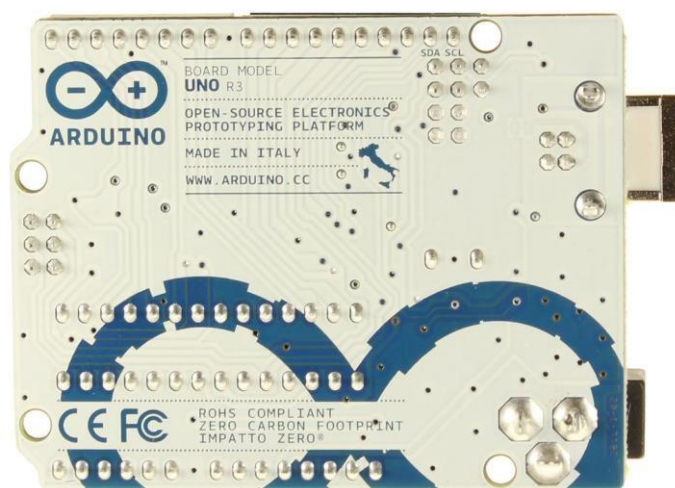


Рисунок 6 – Отладочная плата Arduino Uno (обратная сторона)

Принципиальная схема платы приведена в приложении А. В состав платы входит: 14 цифровых выводов (6 из них могут использоваться в качестве ШИМ-выходов), 6 аналоговых входов, кварцевый резонатор на 16 МГц, разъем USB, разъем питания, разъем для внутрисхемного программирования (ICSP) и кнопка сброса. Максимальный выходной ток вывода 5В равен 40мА, а для вывода 3,3В – 50мА.

Arduino Uno может быть запитан от USB либо от внешнего источника питания - тип источника выбирается автоматически. В качестве внешнего источника питания может использоваться сетевой AC/DC-адаптер или аккумулятор/батарея. Штекер адаптера (диаметр – 2.1мм) необходимо вставить в соответствующий разъем питания на плате. В случае питания от аккумулятора/батареи, ее провода необходимо подсоединить к выводам Gnd и Vin разъема POWER.

Напряжение внешнего источника питания может быть в пределах от 6 до 20 В. Однако, уменьшение напряжения питания ниже 7В приводит к уменьшению напряжения на выводе 5V, что может стать причиной нестабильной работы устройства. Использование напряжения больше 12В может приводить к перегреву стабилизатора напряжения и выходу платы из строя. С учетом этого, рекомендуется использовать источник питания с напряжением в диапазоне от 7 до 12В.

Выводы питания, расположенные на плате:

- VIN – напряжение, поступающее в Arduino непосредственно от внешнего источника питания. Через этот вывод можно подавать внешнее питание, так и потреблять ток, когда устройство запитано от внешнего адаптера;
- 5V – на вывод поступает напряжение 5В от стабилизатора напряжения платы, вне зависимости от типа питания устройства. Запитывать устройство через выводы 5V или 3V3 не рекомендуется, поскольку в этом случае не используется стабилизатор напряжения, что может привести к выходу платы из строя;
- 3V3 – 3.3В, поступающие от стабилизатора напряжения на плате;
- GND – земля;
- IOREF – Этот вывод предоставляет платам расширения информацию о рабочем напряжении микроконтроллера Arduino. В зависимости от напряжения, считанного с вывода IOREF, плата расширения может

									Лист
									22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

переключиться на соответствующий источник питания либо задействовать преобразователи уровней, что позволит ей работать как с 5В, так и с 3.3В-устройствами.

Объем флеш-памяти ATmega328 составляет 32Кбайт (из которых 0.5 Кбайт используются загрузчиком). Микроконтроллер также имеет 2 Кбайт памяти SRAM и 1 Кбайт EEPROM (из которой можно считывать или записывать информацию).

С использованием функций pinMode(), digitalWrite() и digitalRead() в программе каждый из 14 цифровых выводов может работать в качестве входа или выхода. Уровень напряжения на выводах ограничен 5В. Максимальный ток, который может отдавать или потреблять один вывод, составляет 40 мА.

Некоторые выводы Arduino могут выполнять дополнительные функции:

Последовательный интерфейс: выводы 0 (RX) и 1 (TX). Используются для получения (RX) и передачи (TX) данных по последовательному интерфейсу. Эти выводы соединены с соответствующими выводами микросхемы ATmega8U2, выполняющей роль преобразователя USB-UART.

Внешние прерывания: выводы 2 и 3. Могут служить источниками прерываний, возникающих при фронте, спаде или при низком уровне сигнала на этих выводах. Для получения дополнительной информации см. функцию attachInterrupt().

ШИМ. ШИМ-выводами являются выводы с номерами 3, 5, 6, 9, 10 и

С помощью функции analogWrite() могут выводить 8-битные аналоговые значения в виде ШИМ-сигнала.

Интерфейс SPI: выводы 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Данные выводы могут осуществлять связь по интерфейсу SPI.

Светодиод: 13. Встроенный светодиод, подсоединенный к выводу 13. При отправке значения HIGH светодиод включается, при отправке LOW - выключается.

									Лист
									23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

В Arduino Uno есть 6 аналоговых входов (A0-A5), каждый из которых может представить аналоговое напряжение в виде 10-битного числа (1024 различных значения). По умолчанию, измерение напряжения осуществляется относительно диапазона от 0 до 5 В. Тем не менее, верхнюю границу этого диапазона можно изменить, используя вывод Analog Reference (AREF) и функцию `analogReference()`. Некоторые из аналоговых входов имеют дополнительные функции:

Two Wire Interface (TWI, I2C): вывод A4 или Serial Data и вывод A5 или Serial Clock. С использованием библиотеки `Wire` эти выводы могут осуществлять связь по данному интерфейсу.

Помимо перечисленных на плате существует еще несколько выводов:

- AREF – опорное напряжение для аналоговых входов. Может задействоваться функцией `analogReference()`;
- Reset – формирование низкого уровня (LOW) на этом выводе приведет к перезагрузке микроконтроллера. Обычно этот вывод служит для функционирования кнопки сброса на платах расширения

Arduino Uno предоставляет ряд возможностей для осуществления связи с компьютером, отладочными платами Arduino или другими микроконтроллерами. В ATmega328 имеется приемопередатчик UART, позволяющий осуществлять последовательную связь посредством цифровых выводов 0 (RX) и 1 (TX). Микроконтроллер ATmega16U2 на плате обеспечивает связь приемопередатчика с USB-портом компьютера, и при подключении к компьютеру позволяет Arduino определяться как виртуальный COM (communications) – порт. Прошивка микросхемы 16U2 использует стандартные драйвера USB- COM, поэтому установка внешних драйверов не требуется. На платформе Windows необходим только соответствующий .inf-файл. В пакет программного обеспечения Arduino входит специальная программа, позволяющая считывать и отправлять на плату простые текстовые данные. При передаче данных через микросхему-преобразователь USB-UART

									Лист
									24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

во время USB- соединения с компьютером, на плате будут мигать светодиоды RX и TX. (При последовательной передаче данных посредством выводов 0 и 1, без использования USB-преобразователя, данные светодиоды не задействуются).

Библиотека SoftwareSerial позволяет реализовать последовательную связь на любых цифровых выводах Arduino Uno.

В микроконтроллере ATmega328 также реализована поддержка последовательных интерфейсов I2C (TWI) и Serial Peripheral Interface (SPI). В программное обеспечение Arduino входит библиотека Wire, позволяющая упростить работу с шиной I2C. Для работы с интерфейсом SPI используется библиотека SPI.

Arduino Uno программируется с помощью программного обеспечения Arduino Integrated Development Environment (IDE). Это программное обеспечение является интегрированной средой разработки. Написание кода программы осуществляется на языке Arduino, который является упрощенным языком C.

ATmega328 в Arduino Uno выпускается с прошитым загрузчиком, позволяющим загружать в микроконтроллер новые программы без необходимости использования внешнего программатора.

Тем не менее, микроконтроллер можно прошить и через разъем для внутрисхемного программирования ICSP (In-Circuit Serial Programming), не обращая внимания на загрузчик.

Исходный код прошивки микроконтроллера ATmega16U2 (или 8U2 на платах версии R1 и R2) находится в свободном доступе. Прошивка ATmega16U2/8U2 включает в себя DFU-загрузчик (Device Firmware Update – обновление программного обеспечения устройства), позволяющий обновлять прошивку микроконтроллера. Для активации режима DFU необходимо:

На платах версии R1: замкнуть переключатель на обратной стороне платы (возле изображения Италии), после чего сбросить 8U2. Но на плате версии R3,

									Лист
									25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

которая рассматривается. Для упрощения перехода в режим DFU присутствует резистор, подтягивающий к земле линию HWB микроконтроллера 16U2.

После перехода в DFU-режим для загрузки новой прошивки можно использовать программное обеспечение Atmel's FLIP (для Windows) или DFU programmer (для Mac OS X и Linux). Альтернативный вариант – прошить микроконтроллер через разъем для внутрисхемного программирования с помощью внешнего программатора, однако в этом случае DFU – загрузчик затрется.

Чтобы каждый раз перед загрузкой программы не требовалось нажимать кнопку сброса, Arduino Uno спроектирована таким образом, который позволяет осуществлять его сброс программно с подключенного компьютера. Один из выводов ATmega16U2, участвующий в управлении потоком данных (Data Terminal Ready – DTR), соединен с выводом RESET микроконтроллера ATmega328 через конденсатор номиналом 100 нФ. Когда на линии DTR появляется ноль, вывод RESET также переходит в низкий уровень на время, достаточное для перезагрузки микроконтроллера. Данная особенность используется для того, чтобы можно было прошивать микроконтроллер всего одним нажатием кнопки в среде программирования Arduino. Такая архитектура позволяет уменьшить таймаут загрузчика, поскольку процесс прошивки всегда синхронизирован со спадом сигнала на линии DTR.

Однако эта система может приводить и к другим последствиям. При подключении Uno к компьютерам, работающим на Mac OS X или Linux, его микроконтроллер будет сбрасываться при каждом соединении программного обеспечения с платой. После сброса на Arduino Uno активизируется загрузчик на время около полсекунды. Несмотря на то, что загрузчик запрограммирован игнорировать посторонние данные (т.е. все данные, не касающиеся процесса прошивки новой программы), он может перехватить несколько первых байт данных из посылки, отправляемой плате сразу после установки соединения. Соответственно, если в программе, работающей на Arduino, предусмотрено

						ЮУрГУ –12.03.01.2017.059.ВКР	Лист 26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

получение от компьютера каких-либо настроек или других данных при первом запуске, следует убедиться, что программное обеспечение, с которым взаимодействует Arduino, отправляет данные через секунду после установки соединения.

На плате Uno существует дорожка (отмеченная как "RESET-EN"), разомкнув которую, можно отключить автоматический сброс микроконтроллера. Для повторного восстановления функции автоматического сброса необходимо спаять между собой выводы, расположенные по краям этой дорожки. Автоматический сброс также можно выключить, подключить резистор номиналом 110 Ом между выводом RESET и 5В.

В Arduino Uno есть восстанавливаемые предохранители, защищающие USB-порт компьютера от коротких замыканий и перегрузок. Несмотря на то, что большинство компьютеров имеют собственную защиту, такие предохранители обеспечивают дополнительный уровень защиты. Если от USB-порта потребляется ток более 500 мА, предохранитель автоматически разорвет соединение до короткого замыкания или перегрузки.

Максимальная длина и ширина платы Arduino Uno составляет 6.9 см и 5.4 см соответственно, с учетом разъема USB и разъема питания, выступающих за пределы платы. Четыре крепежных отверстия позволяют прикреплять плату к поверхности или корпусу. Расстояние между цифровыми выводами 7 и 8 не кратно традиционным 2.54 мм и составляет 4 мм.

В соответствии с техническим руководством [8] для микроконтроллера ATmega328 опорное напряжение составляет  $1.1 \pm 0.1$  В. Это достаточно большой допуск.

### 1.3.3 Сравнительная характеристика Arduino Uno, Raspberry PI и BeagleBone

Помимо Arduino существуют также и другие платы, поэтому после выбора Arduino Uno рассматриваются близкие ей по характеристикам платы других производителей. Сравнение проводится для:

									Лист
									27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					



- базовой отладочной платы семейства Arduino: Arduino Uno R3 [1];
- платы Raspberry Pi (model B) –одноплатный компьютер (Рисунок.7) [9];
- платформы BeagleBone – мощный Linux-компьютер компактных размеров (см. Рисунок 7) [10].

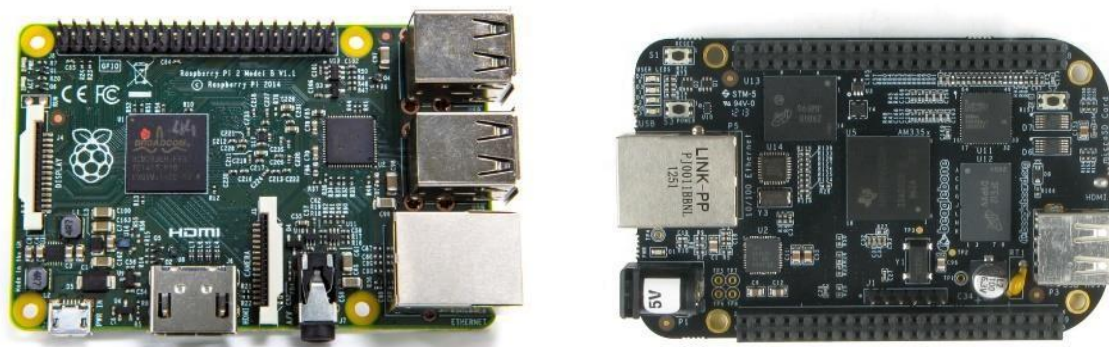


Рисунок 7 – Rapsberry PI (model B) и BeagleBone

Выбраны именно эти платы, т.к. они являются максимально близкими по возможностям решения однотипных задач, например, таких, как проекты для умного дома.

В таблице 3 представлены краткие характеристики выбранных плат.

Таблица 3 – Технические характеристики Arduino Uno, Rapsberry PI и BeagleBone

Платформа	Arduino Uno	Raspberry PI	BeagleBone
Ориентировочная цена	12\$	47\$	47\$
Габаритные размеры	7.5 × 5.3 см	8.5 × 5.4 см	8.6 × 5.3 см
Микроконтроллер	ATmega328	ARM11	ARM Cortex-A8
Тактовая частота	16 МГц	700 МГц	700 МГц
ОЗУ	2 Кбайт	256 Мбайт	256 Мбайт
Flash-память	32 Кбайт	SD карта	4 Гбайт (SD карта)

EEPROM	1 Кбайт	-	-
Напряжение питания	7 – 12 В	5 В	5 В
Минимальное энергопотребление	42 мА (0.3 Вт)	700 мА (3.5 Вт)	170 мА (0.85 Вт)

Окончание таблицы 3

Платформа	Arduino Uno	Raspberry PI	BeagleBone
Аналоговые входы	6 (10-битный АЦП)	-	7 (12-битный АЦП)
Каналы ШИМ	6	-	8
Инструменты разработки	Arduino IDE, Scratch	IDLE, Scratch, Squeak/Linux	Phyton, Scratch, Squeak, Cloud9/Linux
Порт Ethernet	-	10/100	10/100
Интерфейс USB Master	-	2 USB 2.0	USB 2.0

Arduino является самым бюджетной вариантом, к примеру, Arduino Uno на сегодняшний день стоит всего 12\$, а другие платы данного семейства стоят от 5\$ до 40\$ в зависимости от функционала и размеров конкретной платы, а стоимость датчиков, сенсоров и других внешних устройств не превышает 13\$. К тому же для работы с Raspberry PI необходимо отдельно приобрести SD-карту, что увеличивает стоимость на 5-10\$.

Разработка приложений на всех рассматриваемых платах возможна с помощью визуального блочного языка Scratch [11] (Рисунок 8).

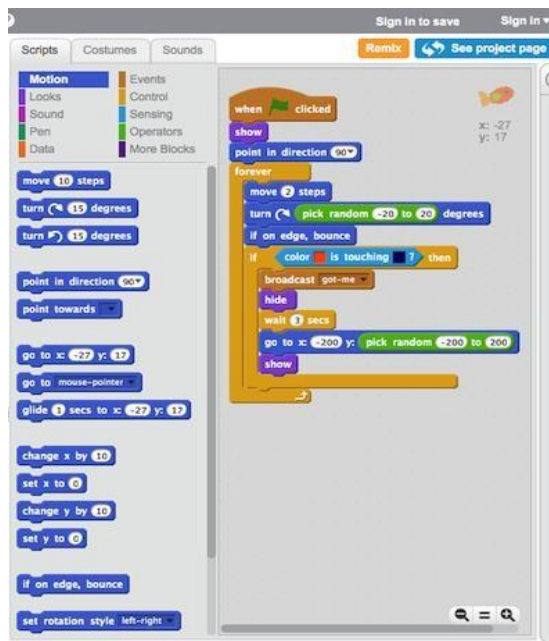


Рисунок 8 – Скриншот работы на языке Scratch

Он рассчитан в первую очередь на обучение программированию, а не решению задач, в связи с чем профессионалы обычно им не пользуются, несмотря на то, что с его помощью можно решать сложные технические задачи.

На Arduino код программы пишется в среде Arduino IDE (Рисунок 9), которая основывается на компиляторе языка C.

```

p04_ColorMixingLamp | Arduino 1.0.6
Файл Правка Скетч Сервис Справка

p04_ColorMixingLamp

int greenSensorValue = 0; // variable to hold the value from the green sensor
int blueSensorValue = 0; // variable to hold the value from the blue sensor

void setup() {
  // initialize serial communications at 9600 bps:
  Serial.begin(9600);

  // set the digital pins as outputs
  pinMode(greenLEDPin, OUTPUT);
  pinMode(redLEDPin, OUTPUT);
  pinMode(blueLEDPin, OUTPUT);
}

void loop() {
  // Read the sensors first:

  // read the value from the red-filtered photoresistor:
  redSensorValue = analogRead(redSensorPin);
  // give the ADC a moment to settle
  delay(5);
  // read the value from the green-filtered photoresistor:
  greenSensorValue = analogRead(greenSensorPin);
  // give the ADC a moment to settle
  delay(5);
  // read the value from the blue-filtered photoresistor:
  blueSensorValue = analogRead(blueSensorPin);

  // print out the values to the serial monitor
  <
  
```

Рисунок 9 – Скриншот работы в среде Arduino IDE

Arduino IDE – это удобный редактор, в котором есть только необходимая разработчику информация.

Основным отличием Raspberry Pi и BeagleBone является операционная система Linux, под управлением которой они работают. Именно это программное обеспечение делает платы полноценными компьютерами, которые способны выполнять несколько программ одновременно и могут программироваться на различных языках. Linux знаком далеко не всем тем, кто только начинает работать с микроконтроллерами и отладочными платами, поэтому для новичка наилучшим вариантом является Arduino. К тому же, сообщество Arduino – это множество пользователей, огромное количество учебных материалов, готовых решений и проектов, которые можно использовать в своих разработках.

Arduino Uno – малогабаритная плата, что делает ее более удобной для использования в небольших по размеру проектах. Стоит заметить, что при установке SD-карты Raspberry Pi превышает приведенные в таблице 3 размеры, что делает ее еще более непрактичной в небольших устройствах.

Для разработки приложений, требующих подключения к сети Интернет более практичны BeagleBone и Raspberry Pi. Оба устройства имеют порты Ethernet и USB (причем у Raspberry их 2). Посредством USB можно подключать модули беспроводной передачи данных и реализовать функции беспроводной передачи данных и подключение к сети Интернет.

На платформе Arduino также можно реализовать приложения с поддержкой обмена данными по Ethernet с помощью плат расширения (Shield), но сетевая функциональность таких приложений будет очень ограничена, также можно подключить Wi-Fi модуль для беспроводной передачи данных. Таким образом, если по содержанию задания нет необходимости в высокой сетевой функциональности, то Arduino спокойно позволяет справиться с задачей обмена данными по Ethernet.

									Лист
									31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

В платформе BeagleBone совмещены гибкость Arduino, производительность процессора платы Raspberry Pi и ОС Linux (и на самом деле, производительность выше, чем у Raspberry Pi, что было установлено тестовыми испытаниями). Имея достаточное количество входов/выходов, BeagleBone обеспечивает простое подключение к сети и даже позволяет реализовать web- сервер.

Arduino – это функциональная и гибкая платформа разработки встраиваемых приложений с огромными возможностями для взаимодействия с внешним миром. Она прекрасно подойдет для изучения микроконтроллеров и может служить основой для различных проектов.

### *1.3.4 Программирование Arduino*

Как и любой другой микроконтроллер ATmega328, установленный на Arduino Uno подлежит программированию для выполнения заданной задачи. Наиболее распространенными языками программирования для Arduino являются визуально-блочный язык Scratch и язык Arduino, имеющий свою интегрированную среду разработки Arduino IDE и созданный той же организацией, что и сами отладочные платы семейства Arduino.

Язык Scratch позволяет управлять датчиками освещенности, температуры, управлять несколькими объектами, создать счетчик нажатий, все это показано Денисом Копосовым [12]. Scratch позволяет с легкостью освоить азы программирования и алгоритмизации, создавать простые программы управления датчиками, сделать робота с вращающейся камерой, датчиком расстояния и пультом дистанционного управления.

Разработка программ для опроса аналоговых датчиков, управления сервоприводами, создания мелодий, а также создание компьютерных приложений в среде Arduino IDE подробно рассмотрены Джереми Блумом [13]. Блум показывает, что с помощью программирования различных плат семейства Arduino и использования множества датчиков можно собственноручно собрать систему умного дома. Помимо умного дома на

									Лист
									32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Arduino с программированием в Arduino IDE можно создавать различных роботов: транспортера, робота, которые ездят по линии, робота, который объезжает препятствия, не заезжает за линию и многих других.

Появляется необходимость выбора языка программирования для устройства измерения температуры.

### 1.3.5 Среда программирования Arduino IDE. Язык Arduino

Среда разработки Arduino состоит из текстового редактора кода программы, области сообщений (вывод ошибок), окна вывода текста, панели инструментов и строки меню (Рисунок 10), для загрузки программ и связи среда разработки подключается к отладочной плате Arduino.

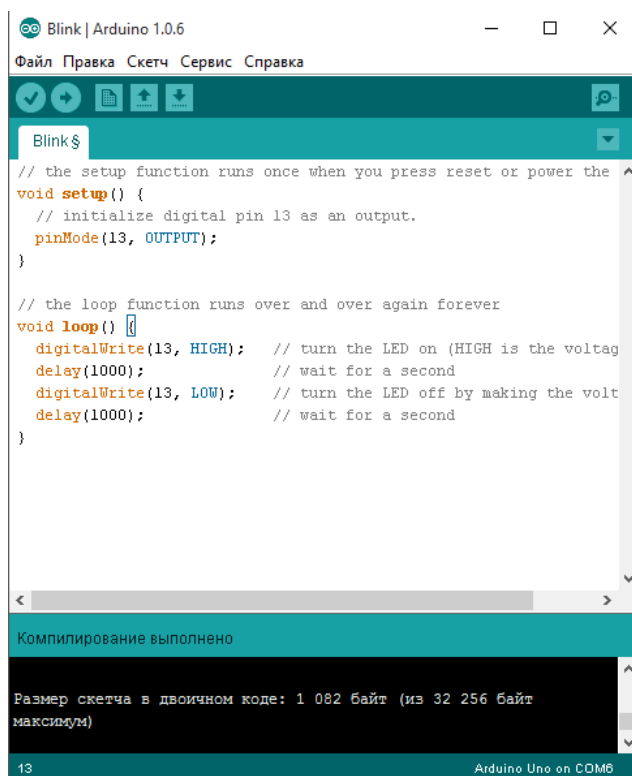


Рисунок 10 – Среда разработки Arduino IDE

Arduino IDE создана производителем плат семейства Arduino, поэтому в ней сразу можно выбрать, под какую именно плату пишется программа, не требуется дополнительных утилит или настроек. Компилятор позволяет выбрать порт подключения платы, скомпилировать и загрузить скетч (программу) в микроконтроллер, установленный на плате. В свободном

доступе есть большое количество учебных материалов, примеров скетчей с пошаговыми комментариями. Также существует много различных библиотек, позволяющих работать с различными датчиками, модулями и платами расширения. Это значительно упрощает процесс создания скетча и уменьшает его размер, а соответственно увеличивает быстродействие. Драйвера для плат, как и сама среда разработки, созданы одной компанией, и работают не только на различных версиях операционной системы Windows, но и на Linux и Mac OS, и имеют полную совместимость с ними. Связь стационарного компьютера или ноутбука с отладочной платой осуществляется посредством кабеля USB, который идет в комплекте с платой, никаких дополнительных кабелей или шин не требуется. Микроконтроллер Arduino выпускается с прошитым загрузчиком, позволяющим загружать в микроконтроллер новые программы без необходимости использования внешнего программатора.

Язык программирования устройств Arduino основан на C/C++, что делает его простым в освоении и максимально удобным для программирования устройств, основанных на микроконтроллерах. [14-15]

Язык Arduino – это:

а) операторы:

- управляющие операторы (операторы условия «if» «if...else», циклов «for», «while», «do...while» и др.);
- синтаксис (знаки препинания «{}», объявление комментариев «//»
- «/\* \*/», операторы включения библиотек «#include»);
- арифметические операторы;
- операторы сравнения («==» - равно, «!=» - не равно и др.);
- логические операторы («&&» - И, «||» - ИЛИ, «!» - НЕ);
- указатели доступа (указатели - «\*», ссылки - «&»);
- битовые операторы («&» - побитовое И, «~» - побитовое НЕ, «<<» - побитовые сдвиг влево и др.);

									Лист
									34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

- составные операторы («++» - инкремент, «--» - декремент, «+=» - составное сложение и др.);

б) данные:

- константы (целочисленные, с плавающей точкой, зарезервированные - «HIGH», «INPUT», «true»);
- типы данных (логические «boolean», символьные «char», целочисленные «int», «long», «short», вещественные «float», массивы и др.);
- преобразование типов данных («char()», «byte()», «float()» и др.);
- область видимости переменной и спецификаторы («static», «volatile», «const»);
- вспомогательная функция, возвращающая количество байт, занимаемых типом переменной/массивом («sizeof()»);

в) функции:

- цифровой ввод/вывод («pinMode()», «digitalWrite()», «digitalRead()»);
- аналоговый ввод/вывод («analogRead()», «analogWrite()»);
- расширенный ввод/вывод («tone()», «shiftIn()» и др.);
- время (возвращение прошедшего времени со старта программы «millis()», «micros()», приостановка выполнения программы «delay()»);
- математические вычисления («min()», «abs()», «sqrt()» и др.);
- тригонометрия («sin()», «cos()», «tan()»);
- случайные числа («random()»);
- биты и байты (извлечение младшего/старшего байта переменной «lowByte()», «highByte()», установка значения бита «bitSet()», очистка бита «bitClear()» и др.);
- внешние прерывания («attachInterrupt()»);
- прерывания («interrupts()»);



г) библиотеки (EEPROM, SD, SPI, SoftwareSerial, библиотеки для подключаемых модулей и др.).

Очевидно, что язык Arduino является полноценным языком программирования с удобным синтаксисом и большим числом библиотек для работы с дополнительными датчиками и модулями. Отсутствие аналогов библиотек в визуально-блочном языке сужает возможности управления различными датчиками с помощью Scratch. Язык Scratch работает не со всеми платами семейства Arduino, он рассчитан на работу только с тремя из них, а в Arduino IDE можно сразу же выбрать тип платы, с которой ведется работа из полного списка модельного ряда.

### 1.3.6 Модуль Bluetooth HC06 для Arduino

После изучения свойств и принципов работы с отладочной платой Arduino Uno, встает вопрос о выборе элементной базы для реализации разрабатываемого устройства. Для обеспечения связи со смартфоном был выбран модуль Bluetooth HC06 для Arduino (Рисунок 11), он имеет дальность связи 30 метров (при прямой видимости), что более чем достаточно при изначальном требовании в 15 метров.



Рисунок 11 – Модуль Bluetooth HC06 для Arduino

Номинальное напряжение питания модуля лежит в диапазоне от 3.3В до 6В, что удобно, так как напряжение, которое выдает Arduino Uno, – это 5В (два вывода) и 3.3В (один вывод).

Самым простым элементом, по которому можно определить температуру является термистор, так как он изменяет значение своего сопротивления в зависимости от температуры окружающей его среды. Для данной разработки был выбран термистор В2-100-3950-1 с номиналом 100кОм. Он является NTC (Negative temperature coefficient) термистором, то есть термистором с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления. Диапазон рабочих температур от -50 °С до +260 °С. В соответствии с номиналом термистора выбран резистор из магазина резисторов такого же номинала (100кОм).

Для работы любого электронного устройства необходим источник питания. Им может служить компьютер, адаптер, подключенный к сети с напряжением 220В или переносной источник питания (портативное зарядное устройство), 4 батарейки АА, подключенные через специальный блок.

Любое устройство перед непосредственной сборкой и пайкой необходимо проверить, для чего требуется создать макет. Для этого использовалась безопасная макетная плата SB420. Ее основой является пластиковый корпус с 420 контактными разъемами для установки деталей, на верхней плоскости. В отверстиях расположены контактные разъемы для установки деталей. Разъемы допускают установку контактов и проводов диаметром до 0,7 мм, расстояние между ними – стандартное 2,54 мм, что позволяет устанавливать транзисторы и микросхемы в DIP-корпусах (Dual In-line Package). Для соединения макетной и отладочной плат используются соединительные провода типа «папа-папа». После создания макета производится пайка устройства с использованием двусторонней макетной платы для пайки.

На рисунке 12 приведена схема подключения всех элементов к плате.

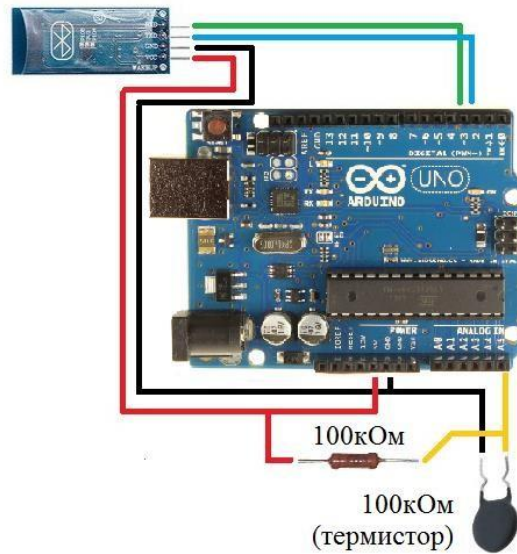


Рисунок 12 – Схема подключения элементов в реализации устройства измерения температуры с передачей данных по Bluetooth на смартфон

### 1.3.7 Цифровой датчик температуры DS18B20

DS18B20 это цифровой измеритель температуры, с разрешением преобразования 9 – 12 разрядов и функцией тревожного сигнала контроля за температурой, изображен на рисунке 13.

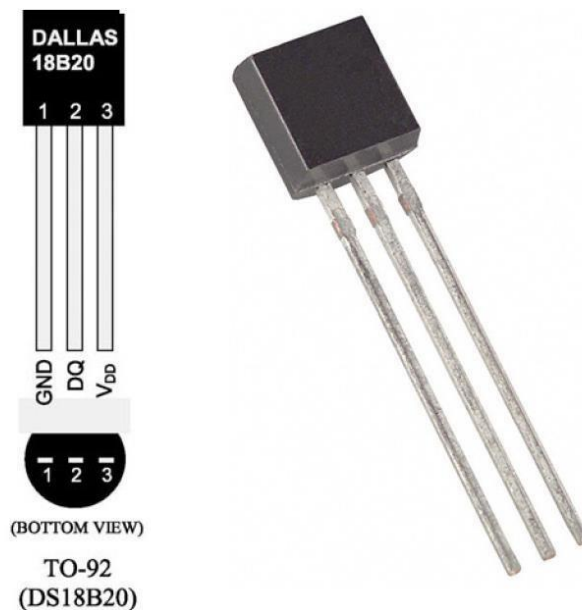


Рисунок 13 – Цифровой датчик температуры DS18B20

Параметры контроля могут быть заданы пользователем и сохранены в энергонезависимой памяти датчика.

DS18B20 обменивается данными с микроконтроллером по однопроводной линии связи, используя протокол интерфейса 1-Wire.

Питание датчик может получать непосредственно от линии данных, без использования внешнего источника. В этом режиме питание датчика происходит от энергии, запасенной на паразитной емкости.

Диапазон измерения температуры составляет от  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для диапазона от  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$  погрешность не превышает  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

У каждой микросхемы DS18B20 есть уникальный серийный код длиной 64 разряда, который позволяет нескольким датчикам подключаться на одну общую линию связи. Т.е. через один порт микроконтроллера можно обмениваться данными с несколькими датчиками, распределенными на значительном расстоянии. Режим крайне удобен для использования в системах экологического контроля, мониторинга температуры в зданиях, узлах оборудования.

#### Особенности DS18B20:

1. Для однопроводного интерфейса 1-Wire достаточно одного порта связи с контроллером.
2. Каждое устройство имеет уникальный серийный код длиной 64 разряда.
3. Возможность подключения нескольких датчиков через одну линию связи.
4. Нет необходимости во внешних компонентах.
5. Возможность получать питание непосредственно от линии связи.
6. Напряжение питания в пределах 3,0 В ... 5,5 В.
7. Диапазон измерения температуры  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ...  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
8. Погрешность не превышает  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  в диапазоне  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ...  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
9. Разрешение преобразования 9 ... 12 бит. Задается пользователем.

						ЮУрГУ –12.03.01.2017.059.ВКР	Лист 39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

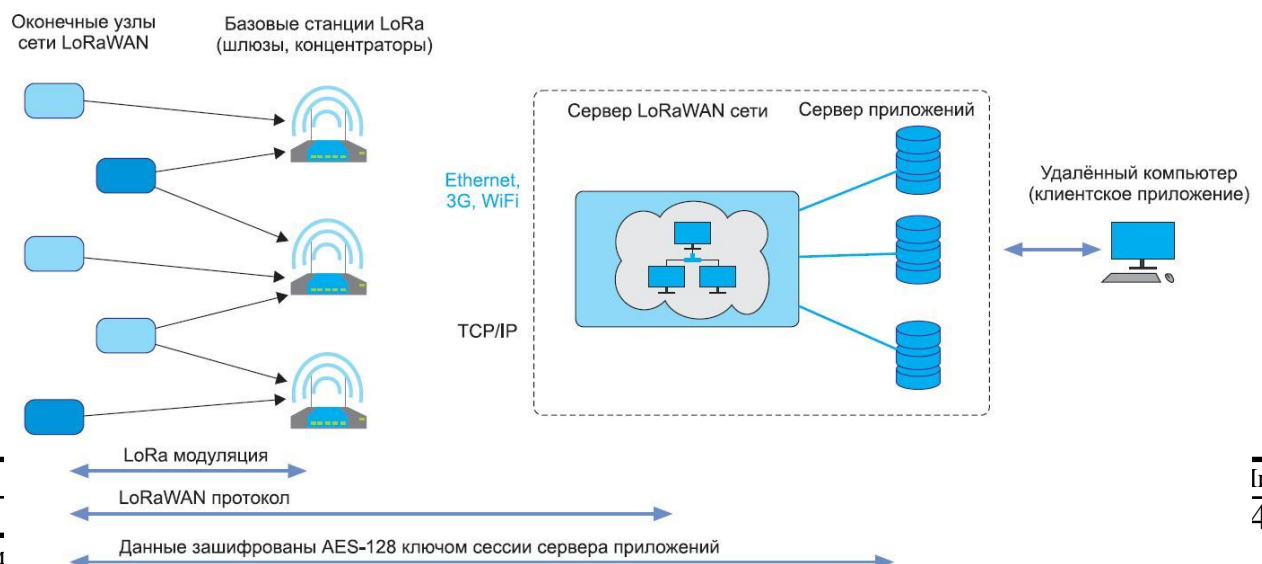
10. Время измерения, не превышает 750 м/с, при максимально возможном разрешении 12 бит.
11. Возможность программирования параметров тревожного сигнала.
12. Тревожный сигнал передает данные об адресе датчика, у которого температуры вышла за заданные пределы.
13. Совместимость программного обеспечения с DS1822.
14. Крайне широкие области применения.

#### 1.4 Описание беспроводной сети LoRaWAN

Для общего ознакомления и усвоения основных принципов работы сетей LoRaWAN важно раскрыть основные понятия и элементы её функционирования. Важно понимать назначение узлов в сети и структуру их работы.

Оконечные устройства LoRa (конечные узлы, end-node) являются элементами LoRaWAN сети системы LoRa, где они выполняют такие функции, как измерение или управление и контроль. Они располагаются удаленно и имеют, как правило, батарейное питание. Используя сетевой протокол LoRaWAN, эти конечные точки (end-node) могут быть настроены для связи с шлюзом LoRa (концентратором или базовой станцией).

Данные в LoRaWAN сети могут передаваться в обе стороны, как от конечных точек (end-node) к серверу, так и обратно (рис 1). Точки (end-node) передают данные не постоянно, а включают передачу лишь на некоторый промежуток времени (как правило на 1-5 секунд), по окончании которого



открывается два временных окна для приема данных. Остальное время трансиверы конечных узлов (end-node) находятся либо в неактивном состоянии (sleep), либо в состоянии приема, в зависимости от класса устройства (А, В или С), типовая архитектура сети LoRaWAN представлена на рисунке 14.

Рисунок 14 – Типовая архитектура сети LoRaWAN

Различают конечные устройства классов А, В и С.

### **Класс А**

Узел (end-node) передает данные на шлюз короткими посылками по заданному графику. Инициатором обмена выступает сам конечный узел. Точка (end-node), как правило, не требует получения подтверждения своего сообщения приложением (сообщение без квитирования), однако протокол предусматривает и сообщения, на которые сервер приложений формирует специальный ответ, “квитанцию”, а сетевой сервер выбирает лучший маршрут (шлюз) для отправки подтверждения (АСК от англ. acknowledgment – подтверждение) в момент открытия узлом окна приема (сообщение с квитированием). Узел (end-node) переходит в режим приема (открывает окно приема) сразу после отправки данных на некоторое непродолжительное время, в остальное, более продолжительное время, находится в режиме энергосбережения или сна (sleep). Сервер накапливает для точек сообщения и пересылает их сразу, как точка выходит на связь. Этот класс конечных узлов наиболее экономичен в потреблении энергии и наиболее распространен на практике.

### **Класс В**

Узел (end-node) включает приемник по графику, заданному сервером. Сервер отправляет сообщения узлу (end-node) согласно расписанию. Инициатором обмена может быть и сервер LoRaWAN сети. Устройства (end-node) этого класса синхронизируют внутреннее время с временем сети с помощью маяков (от англ. beacon), которые регулярно получает от шлюза.

									Лист
									41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Узлы (end-node) этого класса обладают относительно низкой временной задержкой в обмене данными и открывают более широкое временное окно приема, по сравнению с классом В. Точки (end-node) класса В также обладают всеми возможностями устройств (end-node) класса А.

### **Класс С**

У точек (end-node) этого класса окно приема открыто постоянно и закрывается только на период кратковременной передачи данных. Сервер может инициировать обмен в любое время, и передать сообщения узлу сразу, по мере их появления. Этот класс устройств (end-node) потребляет наибольшее количество энергии (по сравнению с классами А и В), поэтому обычно не использует батарейное питание, но получает данные от сервера LoRaWAN сети с наименьшими задержками (lowest latency). Устройства класса С (end-node) обладают всеми возможностями устройств класса А и В.

LoRa – сокращение от Long Range, то есть, в отличие от предыдущих вариантов, это – сеть масштаба района или города, а не квартиры или офиса. Топология сети – звезда (теоретически можно сделать, конечно, и ячеистую, но это не считается стандартным применением), дальность – от нескольких километров в плотной городской застройке до 30 – 50 км прямой видимости. Диапазон – 868/915 МГц. Скорость – до 37,5 кбит/с, падает с увеличением расстояния между приёмником и передатчиком. Количество устройств – до 5 тыс. штук/км<sup>2</sup>, но тут есть нюанс, о котором ниже.

Сети LoRa предназначены для существенно более других задач, нежели перечисленные ранее-для сбора данных с большого количества датчиков, рассредоточенных по значительной площади или для управления объектами с теми же свойствами. Например, на LoRa можно сделать управление городским освещением или централизованный сбор данных со счётчиков электроэнергии.

LoRa – проприетарная технология, для её реализации требуется аппаратный модем, присутствующий в выпускаемых компанией Semtech чипах. Своих мозгов эти чипы не имеют, они управляются по SPI от внешнего контроллера,

									Лист
									42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

впрочем, в типичных для LoRa применениях это не играет никакой роли, так как гонки за габаритами модуля в них нет.

Помимо собственно технологии LoRa, Semtech также разрабатывает решение LoRaWAN – сетевой стек для сетей LoRa. Но здесь кроется тот самый нюанс.

Хотя любой чип LoRa объединяет в себе приёмник и передатчик, из-за топологии «звезда» максимальный размер сети оказывается ограничен ровно одним – пропускной способностью канала центрального приёмника, который должен успевать проводить радиообмен со всеми подключёнными к нему устройствами. Поэтому для использования в центральном модуле Semtech выпускает чип SX1301 – и, увы, его не только нельзя купить на свободном рынке, но к нему нет даже открытой документации. SX1301 обладает двумя RF-фронтендами и целой тележкой модемов внутри, поэтому может обслуживать те самые 5 тыс. устройств на квадратный километр – но для сторонних разработчиков он доступен только в виде готовых модулей по цене от \$180 и выше.

Впрочем, если такая плотность сети вам не нужна, то на обычных абонентских чипах (например, SX1272) также можно сделать центральный модуль «звезды». На десятки конечных устройств при не слишком интенсивном радиообмене его хватит с лихвой.

В некоторых случаях очень интересным выглядит также использование гетерогенных сетей-LoRa для обеспечения покрытия большой территории с ячеистыми «кустами» вокруг каждого LoRa-приёмника для обеспечения высокой плотности покрытия в данной точке.

Важно отметить, что узлы сети не имеют в своем программном обеспечении функции дешифровки данных, их ПО позволяет только зашифровать данные перед отправкой, обратная расшифровка для них недоступна, расшифровка этой информации является прерогативой сервера сети (Network Server) и сервера приложений (AppServer).

									Лист
									43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					



Сервер сети (Network Server) производит расшифровку верхнего, сетевого слоя, для получения сведений, необходимых для проверки целостности данных и их дальнейшей транспортировки, при этом сами полезные данные (payload) остаются зашифрованными ключом сессии приложения AppSKey и недоступны для расшифровки на всех элементах сетевой инфраструктуры, кроме получателя – сервера приложений (AppServer).

Сервер приложений (AppServer) производит расшифровку пакета на нижнем, прикладном слое – расшифровка для извлечения полезной нагрузки из пакета данных и передача этих данных в пользовательское приложение.

Несанкционированное извлечение из устройства и компрометация ключей NwkSKey, AppSKey или AppKey является бессмысленным, т.к. эти ключи уникальны и предназначены только для одного конкретного устройства и не предоставляет злоумышленникам шансов скомпрометировать ключи других узлов.

На конечном узле (end-node) полезные данные (payload), полученные, например, от подключенного сенсора, шифруются ключом сессии приложения AppSKey (прикладной слой), а полученный результат шифруется ключом сетевой сессии NwkSKey (сетевой слой) и упаковывается в пакет, содержащий адрес отправителя DevAddr, для передачи по радиоканалу на шлюзы, имеющие радиопокрытие в точке установки узла.

Все шлюзы принимают пакет от узла и с помощью встроенного программного обеспечения (packet forwarder), передают данные в свой TCP/IP интерфейс (обычно это VPN туннель, организованный по протоколу IPsec) серверу сети (Network Server). Шлюзы пересылают пакеты в неизменном виде и абсолютно прозрачны с точки зрения обмена между узлами (end-node) и сервером сети (Network Server).

Пакет, зашифрованный на узле, ключом сетевой сессии NwkSKey и принятый от оконечного устройства сервером, проходит валидацию путем расчета и проверки кода целостности сообщения (от англ. MIC — message

									Лист
									44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

integrity code) и дешифруется (сетевой слой). Сервер сети не имеет доступа к полезной нагрузке (payload) пакета, потому что полезные данные в сообщении все еще зашифрованы с помощью AppSKey – ключа сессии приложения (прикладной слой шифрования).

На основании таблицы маршрутизации, в которой каждому адресу узла (DevAddr) соответствует конкретное приложение, сервер направляет пакет данных, прошедший идентификацию, на сервер приложений (App Server) сервис-провайдера.

Приложение на сервере сервис-провайдера дешифрует полученный пакет, зашифрованный в конечном узле с помощью ключа AppSKey и извлекает из пакета полезную нагрузку (payload), которую обрабатывает, накапливает и преобразовывает в данные для предоставления к ним доступа конечным пользователям.

В сети LoRaWAN одного оператора может быть много серверов приложений (App Server), сетевой сервер (Network Server) пересылает данные каждому из них в соответствии с заданными маршрутами. Например, в одной сети могут параллельно работать и торговые автоматы, отправляющие данные о своем состоянии в вендинговую компанию и счетчики коммунальных услуг с LoRa радиоканалом (вода, электроэнергия и пр.), передающие данные в управляющие компании.

Передача данных к пользователю от сервера приложений, обеспечение конфиденциальности и целостности данных, протоколом LoRaWAN не регламентируется и происходит с использованием традиционных технологий, реализованных в приложении сервис-провайдера.

LoRaWAN протокол регламентирует скорость радиообмена от 300 бит/с до 50 килобит в секунду, скорость падает с увеличением расстояния между приёмником и передатчиком. Фактически, в существующих устройствах, скорость может не превышать 11 килобит в секунду, что вполне достаточно для решаемых данной технологией задач.

									Лист
									45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Для Европы (и России, в том числе) доступен один GFSK канал (от англ. Gaussian Frequency-Shift Keying – модуляция в виде частотной манипуляции, при которой используется фильтр Гаусса для сглаживания) передачи информации с потоком данных до 50 кбит/с. В Северной Америке, из-за ограничений, накладываемых FCC (Federal Communications Commission – Федеральная Комиссия Электросвязи США), минимальная скорость передачи данных составляет 0,9 кбит/с.

**Вывод по разделу 1:** при анализе технического задания были рассмотрены аналогичные беспроводные сети, был сделан вывод, что наиболее подходящим стандартом является протокол LoRaWAN. Проанализировав существующие оборудования, были выбраны оптимальные устройства для измерения температуры.

									Лист
									46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

## 1. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

### 1.1 Принцип работы устройства измерения температуры

Данное устройство реализовано по принципу делителя напряжения: резистор и термистор образуют делитель, на плату подается с него напряжение, затем с помощью АЦП преобразуется в код. С помощью этого кода программно рассчитывается сопротивление термистора, которое затем используется при расчете текущего значения температуры по формуле Стейнхарта-Харта. [17] Используется именно эта формула, а не обычная экспоненциальная зависимость, т.к. используемый термистор относится к NTC, а для них наилучшей является именно выбранная формула, с помощью которой можно рассчитать текущую температуру, зная сопротивление термистора в данный момент времени. Формула Стейнхарта-Харта представляет собой зависимость сопротивления термистора от температуры окружающей среды:

$$\frac{1}{T} = a + b \cdot \ln(R) + c \cdot \ln^3(R) \quad (1)$$

где  $T$  – текущая температура;

$R$  – сопротивление термистора;

$a$ ,  $b$ ,  $c$  – коэффициенты из технической документации к конкретной модели NTC термистора, либо рассчитанные экспериментально по выборкам значений.

Так как компания-производитель выбранного термистора не предоставляет в технической документации значения этих коэффициентов, то их нужно рассчитать.

Для расчета коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$  необходимо снять зависимость сопротивления от температуры в заданном диапазоне измерений с шагом 5-10°C. Измерения проводились с использованием цифрового датчика

									Лист
									47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

температуры DS18B20 (рис.15) [18], для которого погрешность измерений по технической документации составляет 0.5 °С.

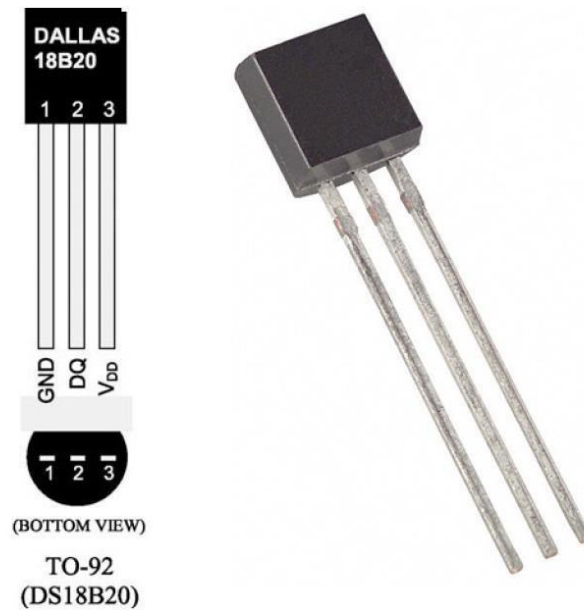


Рисунок 15 – Цифровой датчик температуры DS18B20

На рисунке 16 представлена схема подключения датчика к отладочной плате.

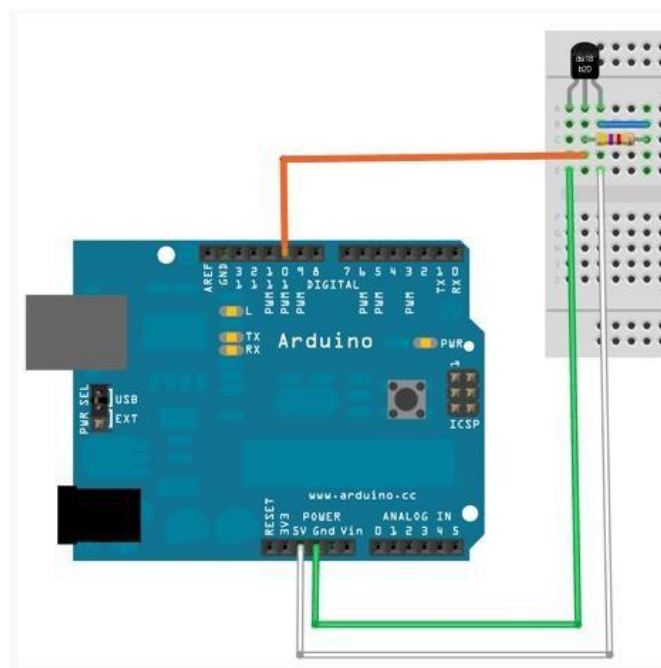


Рисунок 16 – Схема подключения датчика температуры DS18B20 к Arduino Uno

Измерения для температур ниже 15°C проводились на улице, для температур выше 20°C – с помощью нагревающегося стола и экструдеров 3D-принтера.

Полученный ряд значений приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Измерения температуры с помощью цифрового датчика DS18B20

Температура, С°	Абсолютная температура, К	Сопротивление, кОм
100	373.15	4.84
95	368.15	5.99
90	363.15	7.23
85	358.15	6.35
80	353.15	7.62
75	348.15	9.15
70	343.15	11
65	338.15	13.6
60	333.15	16.9
55	328.15	21.1
50	323.15	26.7
45	318.15	33.5
40	313.15	43.1
35	308.15	56.7
30	303.15	72.9
25	298.15	99.1
20	293.15	111.8
15	288.15	146
10	283.15	191.8

5	278.15	239
0	273.15	320

Используется шкала Кельвина, так как формула Стейнхарта-Харта была разработана для расчетов именно в этой шкале, поэтому рассчитанное значение температуры необходимо будет переводить в привычную шкалу Цельсия.

По измеренным значениям с помощью аппроксимации строится теоретическая кривая Стейнхарта-Харта, показанная на рисунке 17, где также отмечены и измеренные значения.

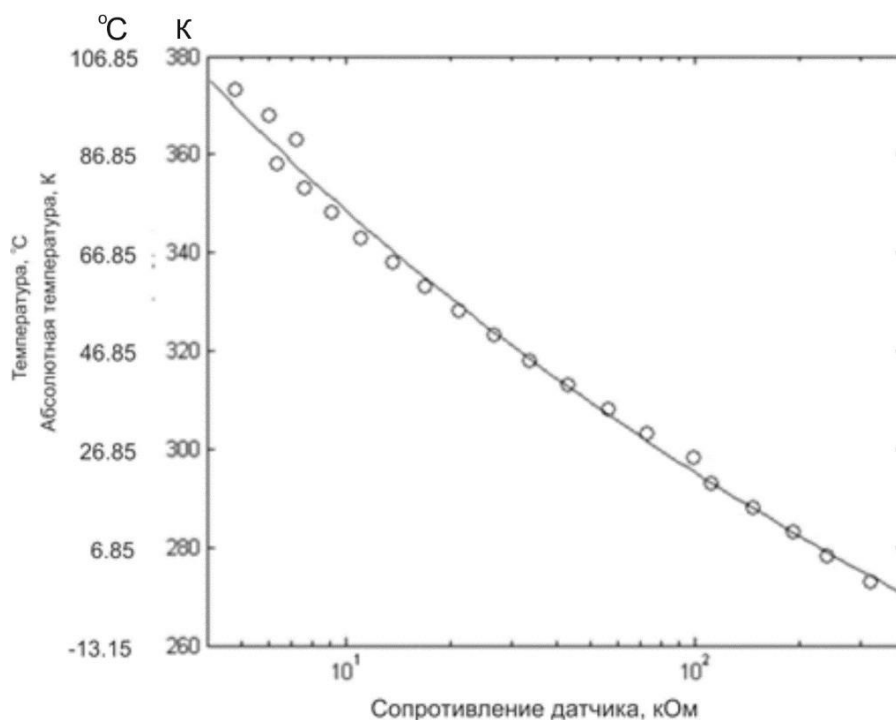


Рисунок 17 – Зависимость температуры термистора от его сопротивления

На рисунке 18 показан разброс экспериментальных точек относительно теоретической кривой, по нему видно, что при температуре окружающей среды выше 358K (85°C) точность измерений снижается, поэтому не рекомендуется использовать данное устройство при таких температурах.



Рисунок 18 – Отклонение экспериментальных точек от теоретической кривой



По графику кривой Стейнхарта-Харта, полученной по экспериментальным точкам, определяются коэффициенты  $a$ ,  $b$  и  $c$ , которые необходимы для расчета температуры. На рисунке 18 показан разброс экспериментальных точек относительно теоретической кривой, по нему видно, что при температуре окружающей среды выше 358.15K (85°C) точность измерений снижается, поэтому не рекомендуется использовать данное устройство при таких температурах.

На рисунке 17 за основную температурную шкалу взята шкала Кельвина, так как расчет по формуле Стейнхарта-Харта ведется с использованием значений температура по этой шкале. На рисунке 18 значения соответствуют и шкале Кельвина, и шкале Цельсия, потому что это не значения температуры, а ее отклонение от теоретической кривой. За счет того, что шаг в обоих шкалах равен, то не имеет значения, какие ставить обозначения, они будут верны для обоих шкал.

Для выбранного термистора (модель: В2-100-3950-1) коэффициенты равны:

$$a = 2.35 \cdot 10^{-3};$$

$$b = 2.25 \cdot 10^{-4};$$

$$c = 6.34 \cdot 10^{-9}.$$

При известных коэффициентах можно создавать код программы, так как никаких других данных для него не требуется. Программа с комментариями приведена в приложении Б, блок-схема программы показана на рисунке 19.



Рисунок 19 – Блок-схема программы [19]

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Алгоритм программы:

Производится настройка приложения Remote XY, предназначенного для отображения данных на смартфоне.

С аналогового вывода отладочной платы А5 производится чтение значения.

С использованием значения из п.2 рассчитывается сопротивление термистора в данный момент времени

Задаются коэффициенты  $a$ ,  $b$ ,  $c$  формулы Стейнхарта-Харта (коэффициенты являются константами)

По формуле Стейнхарта-Харта рассчитывается значение температуры окружающей среды в Кельвинах

Значение температуры переводится в градусы Цельсия

Значение температуры преобразуется из числа в строку и отправляется в приложение на смартфон

Производится задержка в 1с

Возврат к п.2 (повтор пп. 2-8)

## 1.2 Пример работы устройства измерения температуры

Получать визуальные данные можно как на смартфоне, так и на компьютере, в том случае, если устройство подсоединено шиной USB напрямую к нему. Данные выводятся в монитор порта (рис.20), который можно открыть в Arduino IDE (это предусмотрено в строке меню), и на смартфон в приложение Remote XY (рис.21), предназначенное для связи или управления Arduino по Bluetooth.

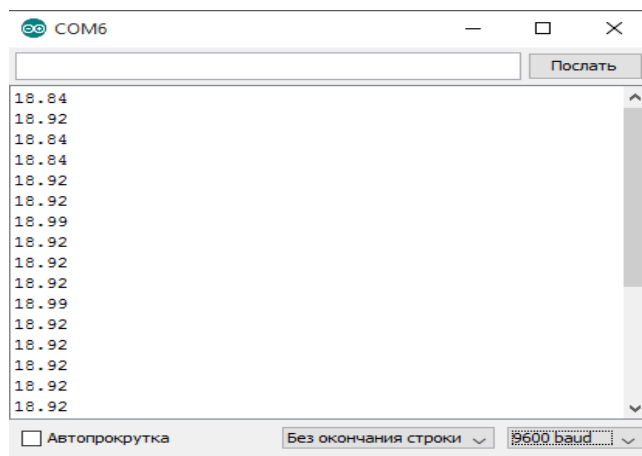


Рисунок 20 – Монитор порта



Рисунок 21 – Скриншот экрана смартфона

Данные выводятся с частотой в 1 секунду, как это задано в программе. Для разработчика удобным является то, что в мониторе порта (элемент интерфейса Arduino IDE) выводятся все значения, рассчитанные за период работы устройства, так есть возможность увидеть разброс значений и промахи. На смартфоне выводится лишь последнее рассчитанное значение.

По рисункам 20 и 21 видно, что связь Bluetooth работает исправно, так как данные, получаемые на компьютере и на смартфоне совпадают.

Сравнение показаний разработанного устройства и образцового для определения характеристик устройства была проведена серия измерений температуры образцовым прибором и разработанным устройством измерения температуры в одинаковых условиях. В качестве образцового прибора использовался электронный термометр (рис. 22) с погрешностью измерений, равной 0.5°C согласно документации данного термометра



Рисунок 22 – Электронный термометр

Поверяемым устройством является разработанное в данное работе устройство. Измерения проводились в диапазоне температур от  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $50^{\circ}\text{C}$  с шагом  $5^{\circ}\text{C}$ . Результаты измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты измерений, полученные разработанным устройством

№	Показания поверяемого устройства $t$ , $^{\circ}\text{C}$	Показания образцового прибора, $^{\circ}\text{C}$	
		При увеличении $t_0$ ув	При уменьшении $t_0$ ум
1	-15.1	-14.7	-14.9
2	-9.9	-10.0	-10.3
3	-5.1	-4.8	-5.2
4	0.1	0	0
5	4.8	5.1	5
6	10	10.2	10.1
7	15.5	15.1	14.9
8	19.7	19.7	20
9	25.3	24.8	25.2
10	30.4	30.1	30.3
11	34.5	35	35.1
12	40.2	40.2	39.8
13	45	45.3	44.9
14	50.3	50.1	50.1

### 1.3 Расчет основных метрологических характеристик

К основным метрологическим характеристикам относятся: [20]

- абсолютная погрешность;
- относительная погрешность;
- приведенная погрешность;
- вариация.

Абсолютная погрешность рассчитывается, как разность между показаниями поверяемого устройства и образцового. Таким образом:

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

$$\Delta t_{ув} = t - t_{0ув},$$

$$\Delta t_{ум} = t - t_{0ум},$$

(3)

где в соответствии с таблицей 2,  $t$  – показание поверяемого устройства;

$t_{0ув}$  – показание образцового прибора при увеличении показаний;

$t_{0ум}$  – показание образцового прибора при уменьшении показаний.

В таблице 3 приведены взятые по модулю рассчитанные значения абсолютной погрешности для всех измерений.

Таблица 3 – Результаты расчета абсолютной погрешности

№	Показания поверяемого устройства $t$ , °C	Показания образцового прибора, °C		Абсолютная погрешность, °C	
		При увеличении $t_{0ув}$	При уменьшении $t_{0ум}$	При увеличении $\Delta t_{ув}$	При уменьшении $\Delta t_{ум}$
1	-15.1	-14.7	-14.9	0.4	0.2
2	-9.9	-10.0	-10.3	0.1	0.4
3	-5.1	-4.8	-5.2	0.3	0.1
4	0.1	0	0	0.1	0.1
5	4.8	5.1	5	0.3	0.2
6	10	10.2	10.1	0.2	0.1
7	15.5	15.1	14.9	0.4	0.6
8	19.7	19.7	20	0	0.3

## Окончание таблицы 3

№	Показания поверяемого устройства t, °С	Показания образцового прибора, °С		Абсолютная погрешность, °С	
		При ув. t <sub>0</sub> ув	При ум. t <sub>0</sub> ум	При ув. Δt <sub>ув</sub>	При ум. Δt <sub>ум</sub>
9	25.3	24.8	25.2	0.5	0.1
10	30.4	30.1	30.3	0.3	0.1
11	34.5	35	35.1	0.5	0.6
12	40.2	40.2	39.8	0	0.4
13	45	45.3	44.9	0.3	0.1
14	50.3	50.1	50.1	0.2	0.2

В отличие от абсолютной погрешности, которая измеряется в единицах измеряемой величины, относительная погрешность измеряется в процентах и рассчитывается по следующей формуле:

$$\delta = 100 \cdot \frac{\Delta t}{t} \quad (4)$$

Для расчета относительной погрешности выбирается из каждой пары значений абсолютной погрешности максимальное по модулю.

Таблица 4 – Результаты расчета относительной погрешности

№	Показания поверяемого устройства t, °С	Показания образцового прибора, °С		Погрешность		Относительная δ,
		При увеличении t <sub>0</sub>	При уменьшении t <sub>0</sub>	Абсолютная, °С		
				При увеличении Δt <sub>ув</sub>	При уменьшении	
1	-15.1	-14.7	-14.9	0.4	0.2	2.6
2	-9.9	-10.0	-10.3	0.1	0.4	4.0
3	-5.1	-4.8	-5.2	0.3	0.1	5.9
4	0.1	0	0	0.1	0.1	-
5	4.8	5.1	5	0.3	0.2	6.2

## Окончание таблицы 4

№	Показания поверяемого устройства $t, ^\circ\text{C}$	Показания образцового		Погрешность		
		При увеличении и $t_{0ув}$	При уменьшении и $t_{0ум}$	Абсолютная, $^\circ\text{C}$		Относительная $\delta$ , %
				При увеличении $\Delta t_{ув}$	При уменьшении	
6	10	10.2	10.1	0.2	0.1	2.0
7	15.5	15.1	14.9	0.4	0.6	3.9
8	19.7	19.7	20	0	0.3	1.5
9	25.3	24.8	25.2	0.5	0.1	2.0
10	30.4	30.1	30.3	0.3	0.1	1.0
11	34.5	35	35.1	0.5	0.6	1.7
12	40.2	40.2	39.8	0	0.4	1.0
13	45	45.3	44.9	0.3	0.1	0.7
14	50.3	50.1	50.1	0.2	0.2	0.4

Приведенная погрешность имеет схожую расчетную формулу с относительной погрешностью, только в ней вместо показания поверяемого прибора  $t$  используется нормирующее значение поверяемого прибора на выбранном диапазоне измерений  $t_N$ :

$$\gamma = 100 \cdot \frac{\Delta t}{t_N} \quad (5)$$

Так как ноль находится внутри диапазона измерений, то нормирующее значение будет равно сумме модулей верхнего и нижнего пределов измерений. Соответственно:

$$t_N = |-45| + |85| = 130^\circ\text{C} \quad (6)$$

Рассчитанные значения приведенной погрешности приведены в таблице 5.



Таблица 5 – Результаты расчета приведенной погрешности

№	Показания поверяемого устройства $t$ , °С	Показания образцового прибора, °С		Погрешность			
		При увеличении $t_{0ув}$	При уменьшении $t_0$	Абсолютная, °С		Относительная $\delta$ , %	Приведенная $\gamma$ , %
				При увеличении $\Delta t_{ув}$	При уменьшении		
1	-15.1	-14.7	-14.9	0.4	0.2	2.6	0.08
2	-9.9	-10.0	-10.3	0.1	0.4	4.0	0.23
3	-5.1	-4.8	-5.2	0.3	0.1	5.9	0.15
4	0.1	0	0	0.1	0.1	-	0.5
5	4.8	5.1	5	0.3	0.2	6.2	0.23
6	10	10.2	10.1	0.2	0.1	2.0	0.4
7	15.5	15.1	14.9	0.4	0.6	3.9	0.23
8	19.7	19.7	20	0	0.3	1.5	0.5
9	25.3	24.8	25.2	0.5	0.1	2.0	0.3
10	30.4	30.1	30.3	0.3	0.1	1.0	0.23
11	34.5	35	35.1	0.5	0.6	1.7	0.15
12	40.2	40.2	39.8	0	0.4	1.0	0.3
13	45	45.3	44.9	0.3	0.1	0.7	0.3
14	50.3	50.1	50.1	0.2	0.2	0.4	0.23

Последней метрологической характеристикой, рассчитываемой для данного устройства является вариация, которая определяется, как «абсолютное значение разности действительных значений измеряемой величины при одном и том же показании прибора, полученном при плавном подходе указателя сначала со стороны меньших, а затем со стороны больших значений» [20]. Вариация рассчитывается по следующей формуле:

$$H = \frac{100 \cdot |t_{0ув} - t_0|}{t_N} \quad (7)$$

Результаты всех расчетов данного раздела, в том числе и расчет вариации, приведены в таблице 6.

№	Показания поверяемого устройства t, °С	Показания образцового прибора, °С		Погрешность				
				Абсолютная, °С		Относительная $\delta$ , %	Приведенная $\gamma$ , %	Вариация Н, %
		При увеличении $t_{ув}$	При уменьшении $t_{ум}$	При увеличении $\Delta t_{ув}$	При уменьшении $\Delta t_{ум}$			
1	-15.1	-14.7	-14.9	0,4	0.2	2.6	0.08	0.15
2	-9.9	-10.0	-10.3	0.1	0.4	4.0	0.23	0.08
3	-5.1	-4.8	-5.2	0.3	0.1	5.9	0.15	0.08
4	0.1	0	0	0.1	0.1	-	0.5	0.15
5	4.8	5.1	5	0.3	0.2	6.2	0.23	0.23
6	10	10.2	10.1	0.2	0.1	2.0	0.4	0.3
7	15.5	15.1	14.9	0.4	0.6	3.9	0.23	0.15
8	19.7	19.7	20	0	0.3	1.5	0.5	0.08
9	25.3	24.8	25.2	0.5	0.1	2.0	0.3	0.3
10	30.4	30.1	30.3	0.3	0.1	1.0	0.23	0.3
11	34.5	35	35.1	0.5	0.6	1.7	0.15	0
12	40.2	40.2	39.8	0	0.4	1.0	0.3	0.15
13	45	45.3	44.9	0.3	0.1	0.7	0.3	0.23
14	50.3	50.1	50.1	0.2	0.2	0.4	0.23	0.3

таты расчета основных метрологических характеристик

Устройство может использоваться для измерения температур от -45 °С до 85 °С, так как при температуре меньше нижней границы этого диапазона микроконтроллер ATmega328, установленный на отладочной плате Arduino Uno, не будет работать, а выше 85°С температура измеряется с абсолютной погрешностью  $\Delta t=1.6$  °С, поэтому диапазон ограничивается значением 85 °С

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ –12.03.01.2017.059.ВКР	Лист

Максимальная абсолютная погрешность измерения температуры в выбранном диапазоне равна 0.6 °С, соответственно, результат измерений будет равен:

$$T = t \pm 0.6^{\circ}\text{C}, \quad (8)$$

								Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ –12.03.01.2017.059.ВКР			

где  $T$  – значение температуры в данный момент времени,  $t$  – значение температуры, показываемое устройством в данный момент времени.

В таблице 9 приведены значения основных метрологических характеристик разработанного устройства измерения температуры. Максимальные значения данных характеристик:

- относительная погрешность:  $\delta=6.2\%$  при  $T=5^{\circ}\text{C}$ ;
- приведенная погрешность:  $\gamma=0.5\%$  при  $T=20^{\circ}\text{C}$ ;
- вариация:  $H=0.23\%$  при  $T=5^{\circ}\text{C}$  и  $T=45^{\circ}\text{C}$ ;

**Вывод по разделу 2:** при выполнении расчетной была рассчитана относительная погрешность, которая составила  $6.2\%$  при  $T=5^{\circ}\text{C}$ , приведенная погрешность, которая составила  $0.5\%$  при  $T=20^{\circ}\text{C}$  и вариация, которая составила  $0.23\%$  при  $T=5^{\circ}\text{C}$  и  $T=45^{\circ}\text{C}$ .

									Лист
									63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ –12.03.01.2017.059.ВКР				

## 2. КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

Модель корпуса (рис.23) разработана в графическом векторном редакторе CorelDRAW X7. [16]

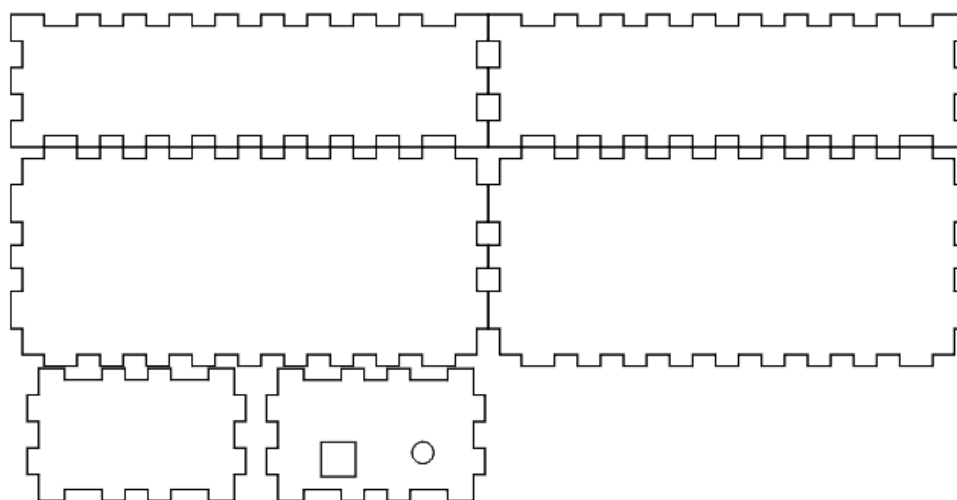
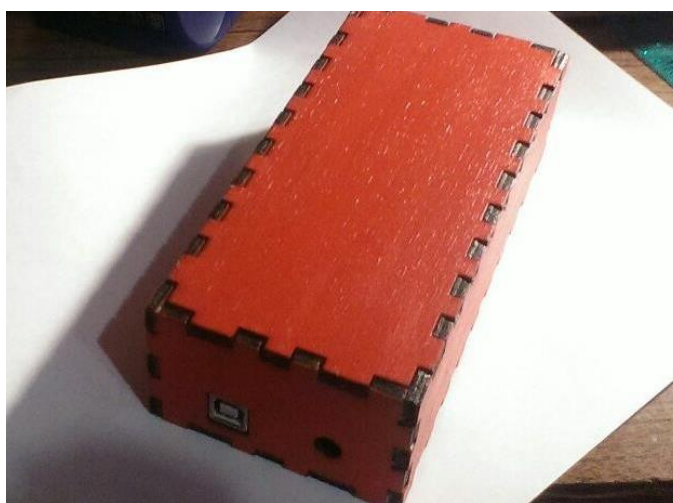


Рисунок 23 – Эскиз корпуса для устройства измерения температуры

Далее этот файл с помощью приложения CorelLASER 2013.02 направляется на лазерный гравер с числовым программным управлением Raylogic 304 mini. Корпус (рис.24) выполнен из березовой полированной фанеры толщиной 4мм, покрыт двумя слоями водоотталкивающей акриловой краски и двумя слоями водоотталкивающего прозрачного матового акрилового лака, его размеры:



длина – 17см, ширина – 7 см, высота – 4.5см.

Рисунок 24 – Корпус для устройства измерения температуры

						ЮУрГУ –12.03.01.2017.059.ВКР	Лист 64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

На рисунке 24 представлен корпус, имеющий два отверстия. Они предназначены для подключения питания и/или подсоединения устройства к компьютеру для перепрограммирования.

В отладочной плате Arduino Uno и в макетной плате есть отверстия для крепления, по размеру они соответствуют болтам М3. Так как корпус выполнен из дерева, то закрепление устройства не вызывает затруднений. На рисунке 25 показано полностью собранное и закрепленное в корпусе устройство.

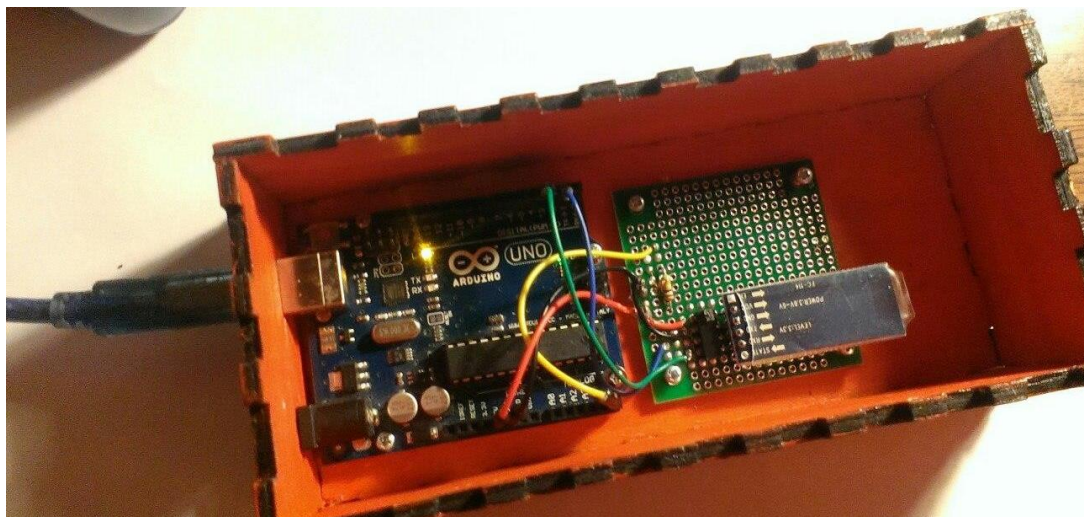


Рисунок 25 – Устройство измерения температуры в корпусе

Итогом общей сборки является устройство измерения температуры в деревянном водонепроницаемом корпусе, что показано на рисунках 24 и 25. Устройство закреплено в корпусе, защищено от пыли, влаги и других физических воздействий. В данной сборке устройство готово к тестированию и использованию.

**Вывод по разделу 3:** при выполнении конструкторской части был разработан корпус для датчика температуры. Модель разработана в CorelDRAW X7. После чего на лазерном гравере. Корпус изготовлен из березовой фанеры.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом работы стало устройство измерения температуры на основе отладочной платы Arduino Uno с передачей данных на смартфон по Bluetooth. Устройство соответствует всем предъявленным требованиям, имеет рабочий диапазон температур от  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  и является полностью работоспособным. Данный диапазон подходит для измерения уличной температуры практически в любом месте, за исключением зимы в Алтайском крае и Якутии, так как там температура бывает ниже  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Значение температуры без каких-либо сбоев и помех передается по связи Bluetooth на смартфон в приложение связи с Arduino «Remote XY». Дальность связи достигает 30 м при прямой видимости.

Были изучены различные отладочные платы семейства Arduino и сделан выбор: разработка велась на плате Arduino Uno (версия R3). Далее была подобрана элементная база с учетом предлагаемого принципа работы устройства и выбранной отладочной платы, в нее вошли термистор, резистор, модуль связи Bluetooth HC06, двусторонняя макетная плата для пайки и соединительные провода.

В ходе работы над устройством был собран макет, затем устройство было спаяно и установлено в заранее изготовленный корпус. Корпус сделан таким образом, что защищает устройство от попадания влаги и пыли, но позволяет подключать его к компьютеру для настройки без разборки корпуса.

Собранное устройство измерения температуры было запрограммировано в среде Arduino IDE.

Для разработанного устройства был произведен расчет основных метрологических характеристик: абсолютной погрешности, относительной погрешности, приведенной погрешности и вариации.

									Лист
									66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Arduino Home. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.arduino.cc/> (дата обращения: 20.11.2015).
2. Datasheet AT91SAM ARM-based Flash MCU SAM3X SAM3A Series, Atmel 2012.
3. Datasheet ATmega16U4/ATmega32U4 8-bit Microcontroller with 16/32K bytes of ISP Flash and USB Controller, Atmel 2015.
4. Datasheet Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V 8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64KB In-System Programmable Flash, Atmel 2014.
5. Datasheet 8-bit Atmel Microcontroller with 4/8/16K Bytes In-System Programmable Flash ATmega48/V ATmega88/V ATmega168/V, Atmel 2015.
6. Datasheet Atmel 8-bit AVR Microcontroller with 2/4/8K Bytes In-System Programmable Flash ATtiny25/V / ATtiny45/V / ATtiny85/V, Atmel 2013.
7. Datasheet Atmel SAM D21E / SAM D21G / SAM D21J SMART ARM-Based Microcontroller, Atmel 2014.
8. Datasheet Atmega48a/PA/88A/PA/168A/PA/328/P Atmel 8-bit Atmel Microcontroller with 4/8/16/32KB In-System Programmable Flash, Atmel 2015.
9. BeagleBoard Home. [Электронный ресурс]. URL: <http://beagleboard.org/> (дата обращения: 10.02.2016).
10. Общедоступное программирование в Scratch. [Электронный ресурс]. URL: <http://scratch.uvk6.info/> (дата обращения: 15.02.2016).
11. Копосов, Д.Г. Микроконтроллеры. Основа цифровых устройств/Д.Г. Копосов. – М.: Амперка, 2015. – 218 с.
12. Блум, Д. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства/ Д. Блум. – СПб: БВХ-Петербург, 2015. – 336 с.
13. Соммер, У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino/ У. Соммер – СПб: БВХ-Петербург, 2012. – 256 с.
14. Массимо, Б. Arduino для начинающих волшебников/ Б. Массимо. – М.: Изд-во АСТ, 2012. – 128 с.

											Лист
											67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							



15. Комолова, Н.В. Самоучитель CorelDRAW X7/ Н.В. Комолова, Е.С. Яковлева. – СПб: БВХ- Петербург, 2015. – 285 с.

16. Application Note #4 Thermistor Calibration and the Steinhart-Hart Equation. – ILX Lightwave, 2006. 12 с.

17. Datasheet DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer, Maxim Integrated, 2008.

18. ГОСТ 19.701-90. ЕСПД. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения. М.: Стандартинформ 2010.

19. Метрология, стандартизация и сертификация: методические указания к лабораторным работам / под ред. Б.Я. Авдеева. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008 г.

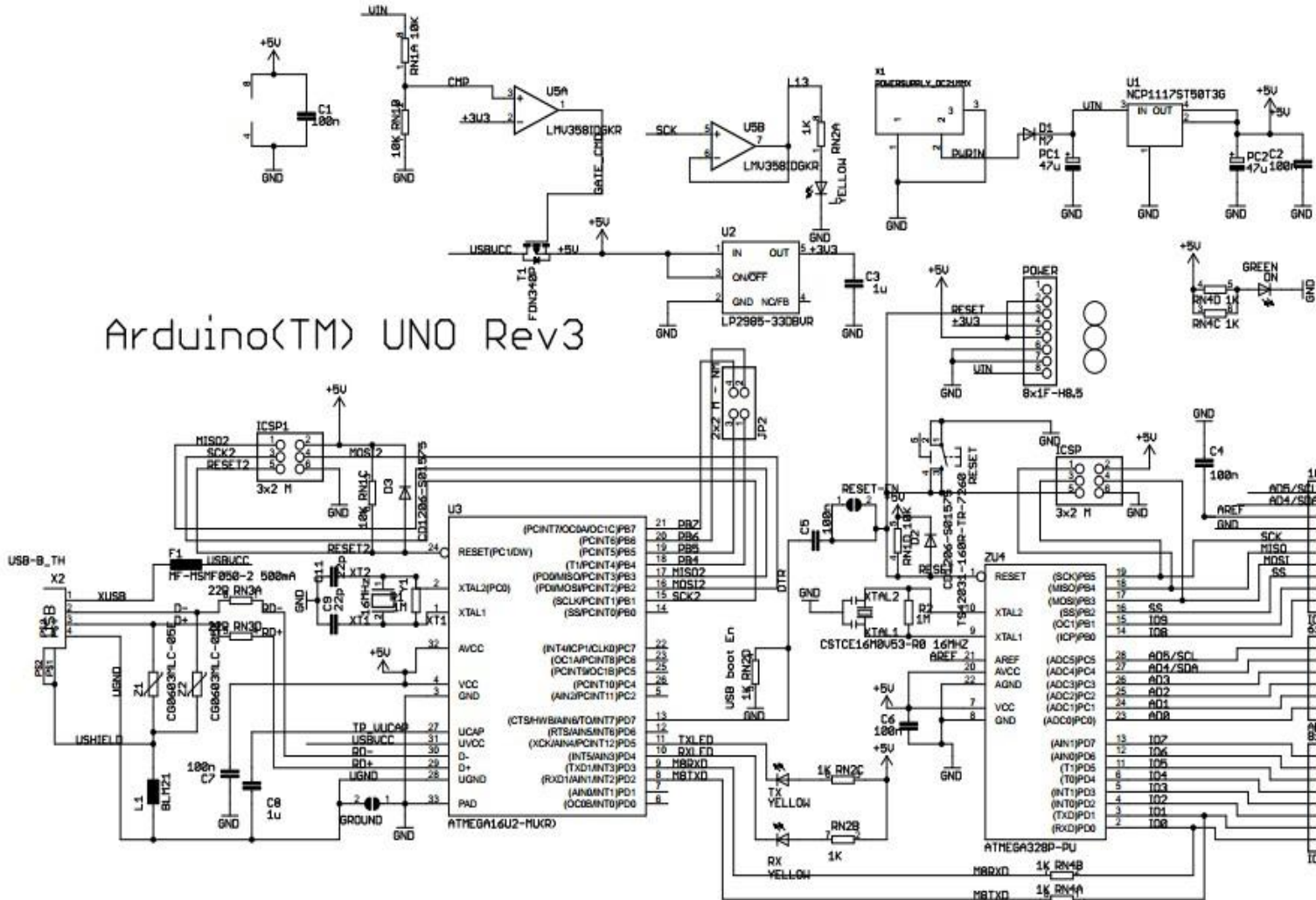
20. Стожаров, А. Н. Медицинская экология/ А.Н. Стожаров. – Минск: Выш. шк. 2008. – 368 с.

21. Баранов, Н.Н., Климовский И.И. Экологические проблемы сотовой связи в России / Н.Н. Баранов. – СПб: БВХ- Петербург, 2014. – 263 с.

22. Корчагин, В.А. Электромагнитная совместимость беспроводных устройств малого радиуса действия /В.А. Корчагин/ Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2010, вып. №1 Т.6. – 10 с

									Лист
									68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ –12.03.01.2017.059.ВКР				

# Arduino(TM) UNO Rev3



## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Принципиальная схема платы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ –12.03.01.2017.059.ВКР	Лист 69
------	------	----------	---------	------	------------------------------	------------

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Программа с комментариями

```
/*          определение          режима
соединения и подключение библиотеки
RemoteXY (приложение для телефона) */
#define REMOTEXY_MODE SOFTWARESERIAL

#include <SoftwareSerial.h>

#include <RemoteXY.h>

/* настройки соединения */

#define REMOTEXY_SERIAL_RX 2

#define REMOTEXY_SERIAL_TX 3

#define REMOTEXY_SERIAL_SPEED 9600

/* конфигурация интерфейса
*/ unsigned char
RemoteXY_CONF[] =
    {0,11,27,0,1,5,67,0,24,23,54,16,2,11,129,0,23,12,39,9,0,84,10
1,1
    09,112,44,32,194,176,67,0 };

/* структура определяет все переменные вашего интерфейса
управления */
struct {

    /* output variable */

    char text_1[11]; //строка оканчивающаяся нулем UNICODE

    /* other variable */

    unsigned char connect_flag; // =1 если есть соединение

} RemoteXY;

//настр
ойка void
setup()
```

									Лист
									70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

## Окончание приложения Б

```
{
    RemoteXY_Init(
    );
    Serial.begin(9600
    );
}

//тело
программы void
loop()
{
    RemoteXY_Handle
r (); float r, V;
    V=(analogRead(A5)); //чтение значение с вывода
A5 r=-10*V/(V-1024); //расчет сопротивления
термистора
    //задание коэффициентов формулы Стейнхарта-
Харта float A=0.00235, B=0.000225,
C=0.00000000634;
    double temp;

    temp = 1 / (A + B * (log(r)) + C * (log(r)) * (log(r)) *
(log(r))); //расчет температуры по формуле Стейнхарта-Харта
/*перевод температуры в градусы
Цельсия*/ temp = temp - 273.15;
    /*перевод значения температуры в строку и отправка ее в
приложение на телефон*/
    dtostrf(temp, 0, 1, RemoteXY.text_1);

    /* отправка значения АЦП в монитор
порта*/ Serial.println(temp);
    //задержка 1
секунда
    delay(1000);
}
```

									Лист
									71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ –12.03.01.2017.059.ВКР				