

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП

к.ф.-м.н., доцент



В.А. Мещеряков

« 19 » января 2022 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА
ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ**

по основной образовательной программе подготовки специалиста
по специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»

Овчинников Андрей Сергеевич

Руководитель ВКР

канд. физ.-мат. наук, доцент

 Г.Е. Кулешов

« 18 » января 2022 г.

Автор работы
студент группы № 768



А.С. Овчинников

Томск-2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ООП
к.ф.-м.н., доцент



В.А. Мещеряков

« 25 » декабря 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на подготовку выпускной квалификационной работы (ВКР)
студенту 768 группы Овчинникову Андрею Сергеевичу

1. Тема НИР: Разработка системы дистанционного мониторинга влажности почв.

2. Срок сдачи студентом выполненной ВКР:

а) на кафедре 19.01.2022,

б) в ГЭК 01.02.2022.

3. Краткое содержание работы:

Уже сейчас назрела необходимость в эволюционных преобразованиях, обеспечивающих планомерное развитие всех отраслей промышленности, путем оптимизации внутренних и внешних технико-экономических процессов управления за счет внедрения цифровых технологий. Одно из приоритетных направлений в этой области – это технологии точного земледелия для минимизации потерь. В связи с этим перед данной работой поставлена задача разработка системы мониторинга и сбора информации с датчиков влажности почв.

4. Календарный график выполнения задания:

а) оформление литературного обзора	10.01.2022–13.01.2022
б) оформление материалов по изготовлению датчиков и системе сбора данных о влажности почв	13.01.2022–17.01.2022
в) оформление результатов и выводов по работе	17.01.2022–19.01.2022
г) техническое оформление ВКР в соответствии с требованиями	19.01.2022–21.01.2022

5. Дата выдачи задания « 25 » декабря 2021 г.

Руководитель НИР – кандидат физ.-
мат. наук, доцент кафедры
радиоэлектроники



Кулешов Г.Е.

Задание принял к исполнению



Овчинников А.С.

АННОТАЦИЯ

Отчет 57 с., 6 гл., 46 рис., 2 табл., 9 источников, 2 приложения.

ДАТЧИК ВЛАЖНОСТИ, МОДУЛЬ, БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ, РЕЗИСТИВНЫЕ ДАТЧИКИ, ЁМКОСТНЫЕ ДАТЧИКИ, ARDUINO, LORA, ВЛАЖНОСТЬ

Объектом исследований являются различные модули сбора и беспроводной передачи данных о влажности почвы, актуальность применения которых в настоящее время очень высока. Область их применения определяется изначальной постановкой задачи и установлением необходимых требований к системе, поскольку система пригодна к использованию как в пределах домашних посадок, так и в сельском хозяйстве, на большой территории. В связи с этим перед данной работой поставлена задача разработать и провести апробацию системы мониторинга и сбора данных о влажности почв.

В результате работы:

- а) Проведен обзор литературных источников.
- б) Изучены принципы работы различных датчиков влажности почв и управления ими.
- в) Проведено тестирование резистивного датчика на двух различных типах почвы.
- г) Проведено тестирование ёмкостного датчика на двух различных типах почвы.
- д) Изучены принципы работы модуля беспроводной передачи данных.
- е) Физически полностью собрана и подключена вся система.
- ж) Изготовлены собственные образцы резистивных и емкостных датчиков и проведена их апробация.
- з) Проведены анализ полученных результатов и оформление работы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Общие сведения о датчиках влажности почвы.....	5
1.1 Резистивные датчики	6
1.2 Ёмкостные датчики	7
1.3 Применение датчиков	9
2 Разработка датчиков влажности почв	11
2.1 Схема кондуктометрического датчика влажности почв.....	12
2.2 Изготовление резистивного датчика влажности почв.....	12
2.3 Изготовление ёмкостного датчика влажности почв	14
2.4 Тестирование резистивного датчика влажности почв.....	18
2.5 Тестирование ёмкостного датчика влажности.....	19
3 Модули беспроводной передачи данных.....	21
4 Общая структура системы	25
4.1 Алгоритм выполнения программы	26
4.2 Итоговый вид системы.....	30
5 Результаты проведенных исследований	35
6 Обеспечение безопасности труда.....	42
Заключение.....	45
Список использованных источников и литературы	46
Приложение А (справочное) Программная документация	47
Приложение Б (справочное) Программная документация.....	50

ВВЕДЕНИЕ

Во все времена люди старались улучшить и облегчить все процессы жизнедеятельности. Технологии точного земледелия в наше время являются основополагающими в сельскохозяйственной отрасли. Одним из немаловажных параметров для применения этих технологий является влажность. Прибор, которым измеряют уровень влажности, называется гигрометром или просто датчиком влажности. В повседневной жизни влажность так же выступает немаловажным параметром, и часто не только для самой обычной жизнедеятельности, но и для подбора условий применимости различной техники в различных отраслях сельского хозяйства (влажность почвы). Так же нельзя не заметить, что в настоящее время набирает обороты популярность научных разработок в области микроэлектроники для решения сельскохозяйственных задач.

Ввиду высоких темпов развития различных областей радиофизики и микроэлектроники, а также необходимости решения поставленных перед нами сельскохозяйственных задач, встала необходимость разработать и провести апробацию системы мониторинга и сбора информации с датчика влажности почвы.

Целью данной научно-исследовательской работы является разработка и апробация системы мониторинга и сбора данных о влажности почв.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- а) Обзор литературных источников и формирование структуры системы сбора информации с датчиков влажности почв;
- б) Изучение принципов работы различных датчиков влажности почв, модулей передачи данных и управления ими;
- в) Разработка системы сбора информации с датчиков влажности почв;
- г) Тестирование датчиков и разработанной системы для различных типов почв;
- д) Анализ полученных результатов и оформление работы.

1. Общие сведения о датчиках влажности почвы

Датчики влажности – приборы, предназначенные для измерения мгновенного значения влажности в измеряемой области. В основном они выглядят так, как показано на рисунке 1. Существуют различные виды датчиков, которые, в свою очередь, имеют различные характеристики и могут быть применимы в различных областях измерений. Датчики влажности являются важной составляющей современного земледелия. На их основе, например, возможно создание систем автоматического полива.



Рисунок 1 – Датчик влажности

В ходе работы было рассмотрено несколько источников по данной теме и рассмотрены аналоги аппаратной платформы, их механические размеры и электрические свойства. Затем были определены основные этапы разработки и исследования различных свойств, влияющих на результаты, а именно: степень солености почвы, вид грунта, степень погружения датчика в измеряемую область.

На первом этапе разработки прибора была поставлена задача создать алгоритм для управления процессом получения измерений, а также записи полученных данных на внешний носитель (в данном случае SD карта). Алгоритм составлялся на языке C++ и, по сути, представляет собой некий “сборник” из уже готовых

алгоритмов, местами измененный под необходимые нам условия. Подробнее данный алгоритм будет рассмотрен ниже.

1.1 Резистивные датчики

Такой датчик включает в себя два электрода, которые нанесены на подложку (как показано на рисунке 2), а поверх самих электродов нанесен слой материала, который отличается достаточно малым сопротивлением, однако, сильно меняющимся в зависимости от влажности. Подходящим материалом в данном устройстве может выступать оксид алюминия. Данный материал хорошо поглощает из внешней среды воду, при этом удельное сопротивление его заметно изменяется. В результате, общее сопротивление цепи измерения такого датчика будет значительно зависеть от влажности. Так, об уровне влажности станет свидетельствовать величина протекающего тока. Достоинство датчиков такого типа – малая их цена [1].

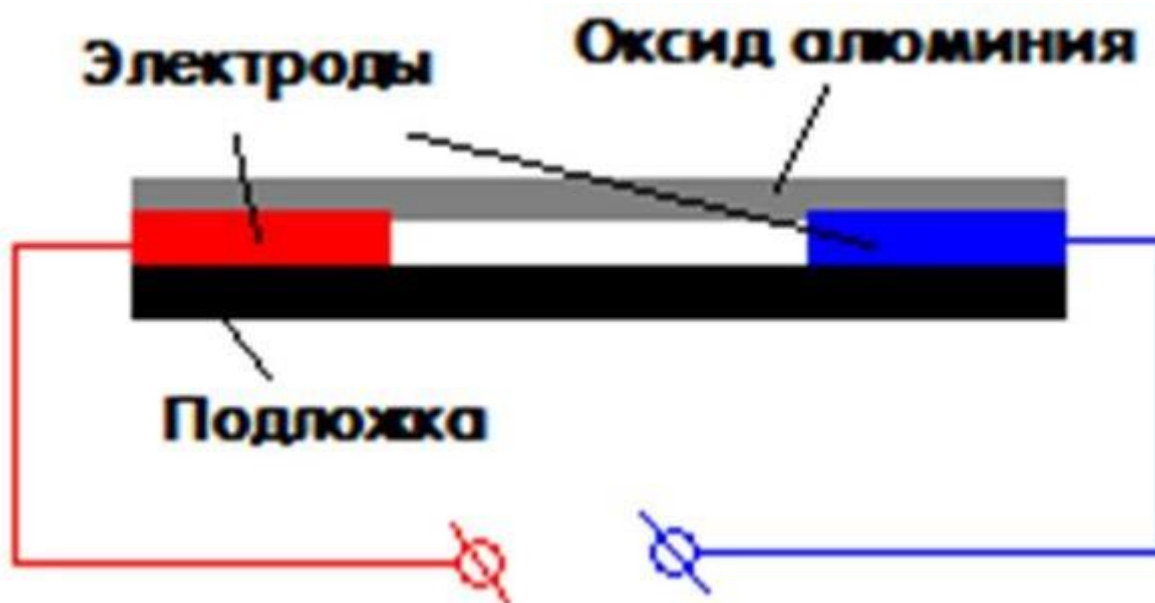


Рисунок 2 – Принципиальная схема резистивного датчика

Резистивные датчики производят измерение используя электрический ток, который проходя через электроды, погруженные в измеряемую область, изменяет свою величину, далее значение записывается на какой-либо носитель, будь то SD карта памяти или компьютер, на который данные попадают с использованием GSM или Wi-fi модуля. Так же самым простейшим из резистивных датчиков, и как

следствие, самым применяемым, является датчик FC-28 (показан на рисунке 3), подключаемый к платформе Arduino. Именно с помощью данной платформы производится управление датчиком, его калибровка и подключение к SD карте памяти или передающему GSM или Wi-fi модулю. Так же данный тип датчиков обладает большой инерционностью.

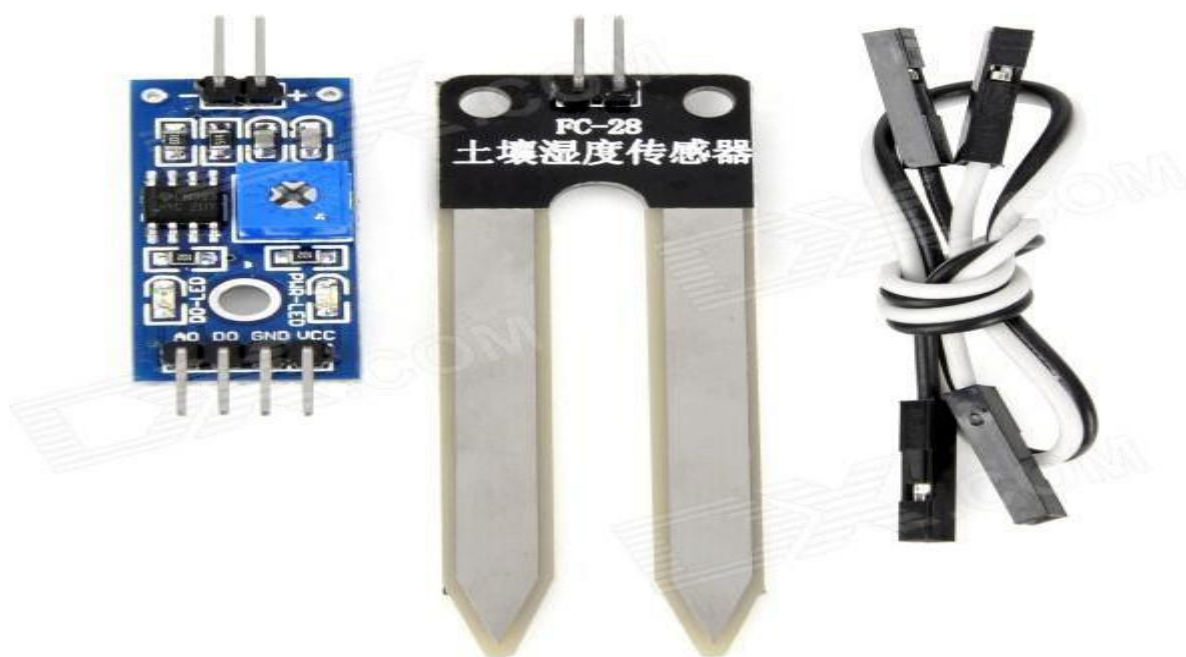


Рисунок 3 – Резистивный датчик влажности FC-28

1.2 Ёмкостные датчики

Ёмкостные датчики, в отличие от резистивных имеют значительно более высокие показатели износостойкости, в связи с тем, что через ёмкостные датчики не проходит электрический ток постоянно, т.к. определение степени влажности почвы происходит при помощи измерения ёмкости. Так же положительным моментом, располагающим к использованию ёмкостных датчиков, является то, что ёмкостные датчики охватывают большую площадь измеряемой области, чем резистивные [1].

Ёмкостные гигрометры (показан на рисунке 4), в самом простом случае, представляют собой конденсаторы с воздухом в качестве диэлектрика в зазоре.

Известно, что у воздуха диэлектрическая проницаемость непосредственно связана с влажностью, а изменения влажности диэлектрика приводят к изменениям в емкости воздушного конденсатора.

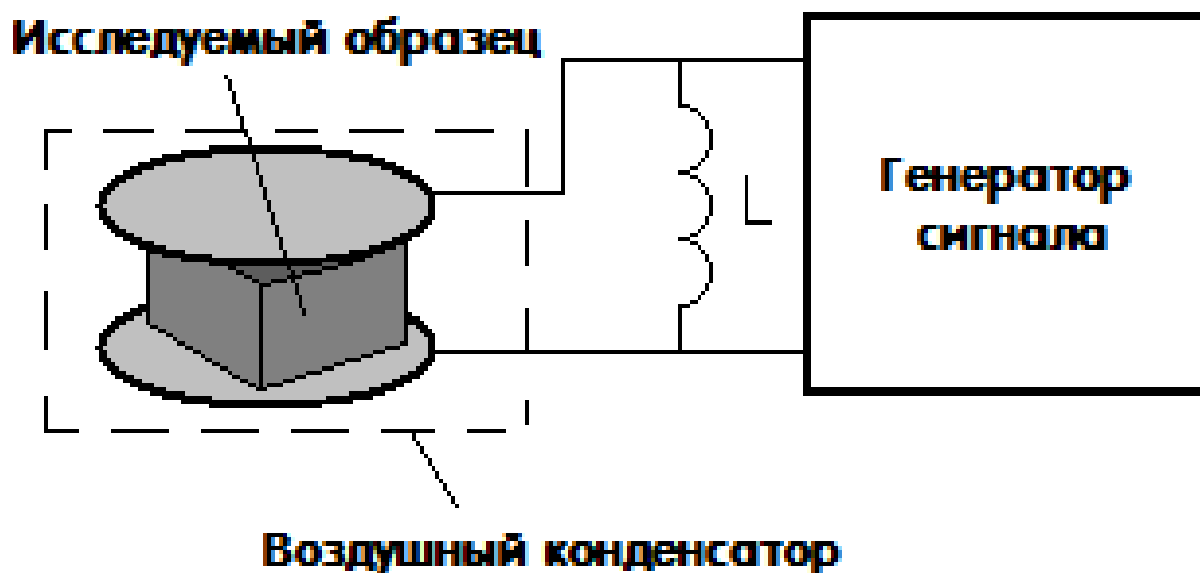


Рисунок 4 – Принципиальная схема ёмкостного датчика

Более сложный вариант емкостного датчика влажности в воздушном зазоре содержит диэлектрик, с диэлектрической проницаемостью, которая может сильно меняться под влиянием на него влажности. Данный подход делает качество датчика лучше, чем просто с воздухом между обкладками конденсатора. Такой вариант хорошо подходит для проведения измерений относительно содержания воды в твердых веществах. Исследуемый объект размещается между обкладками такого конденсатора, к примеру объектом может быть таблетка, а сам конденсатор присоединяется к колебательному контуру и к электронному генератору, при этом измеряется собственная частота полученного контура, и по измеренной частоте «вычисляется» емкость, полученная при внесении исследуемого образца.

Безусловно, данный метод обладает и некоторыми недостатками, например при влажности образца ниже 0.5 % он будет неточным, кроме того, измеряемый образец должен быть очищен от частиц, имеющих высокую диэлектрическую

проницаемость, к тому же важна и форма образца в процессе измерений, она не должна изменяться в ходе исследования [1].

Третий тип емкостного датчика влажности приведен на рисунке 5 – это ёмкостный тонкопленочный гигрометр. Он включает в себя подложку, на которую нанесены два гребенчатых электрода. Гребенчатые электроды играют в данном случае роль обкладок. С целью термокомпенсации в датчик дополнительно вводят еще и два термодатчика [1].

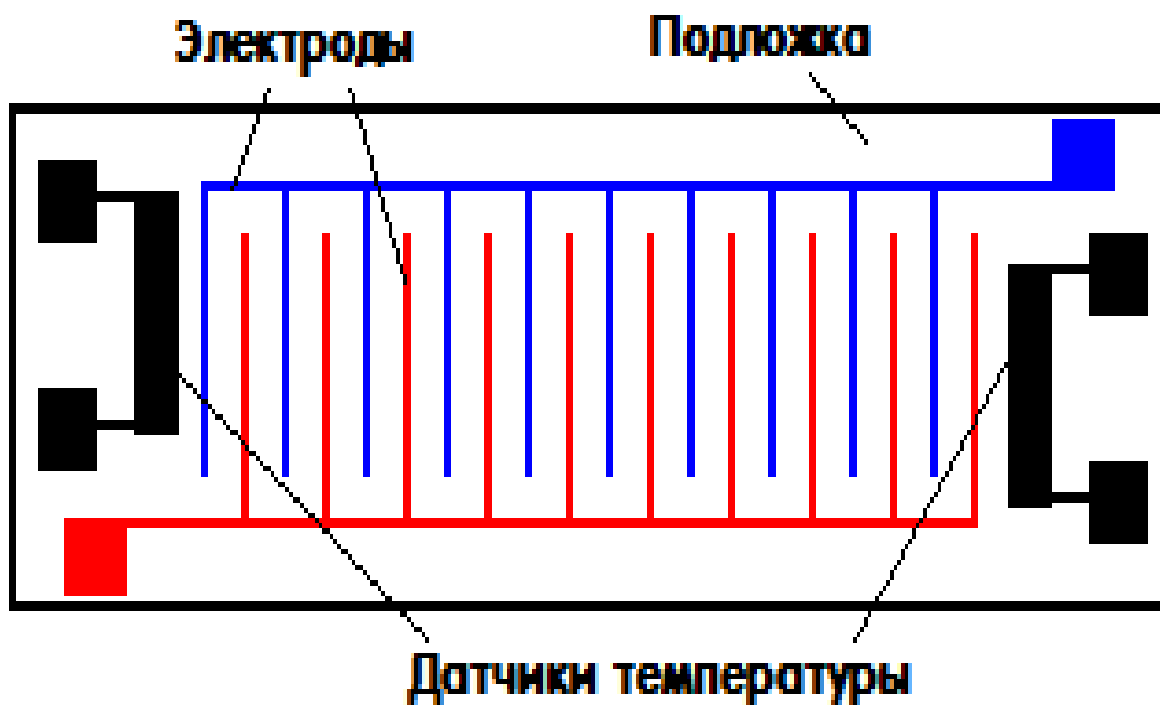


Рисунок 5 – Ёмкостный тонкопленочный гигрометр

1.3 Применение датчиков

Рассмотрим систему автоматического полива на основе применения ёмкостного датчика. Для начала, необходимо задуматься о приобретении программируемого контроллера. Если участок небольшой, то достаточно установить 3–4 датчика влажности для разных типов полива. Например, сад нуждается в меньшем поливе, малина любит влагу, а для бахчи достаточно воды из почвы, за исключением чрезмерно засушливых периодов.

На основании собственных наблюдений и измерений, проведенных при помощи датчиков влажности, можно приблизительно рассчитать экономичность и

эффективность подачи воды на участках. Процессоры позволяют вносить сезонные корректировки, могут использовать показания измерителей влажности, учитывают выпадение осадков, время года. Некоторые датчики влажности почвы оснащены интерфейсом RJ-45 для подключения к сети. Прошивка процессора позволяет настроить систему так, что она будет оповещать о необходимости полива через социальные сети или SMS-сообщением. Это удобно в тех случаях, когда невозможно подключить автоматизированную систему полива, например, для комнатных растений [2].

Для системы автоматизации полива удобно использовать контроллеры с аналоговыми и контактными входами, которые соединяют все датчики и передают их показания по единой шине к компьютеру, планшету или мобильному телефону. Управление исполнительными приборами происходит через WEB-интерфейс [2].

2. Разработка датчиков влажности почв

В виду низкой износостойкости датчика FC-28 возникла необходимость изготовить собственный датчик влажности, который будет менее подвержен воздействию коррозии. Щупы данного датчика легко подвергаются воздействию воды, солей и остальных примесей, находящихся в почве, а также других условий, вызывающих коррозию металла. Состояние датчика спустя 1 месяц его нахождения во влажной почве показано на рисунке 6.

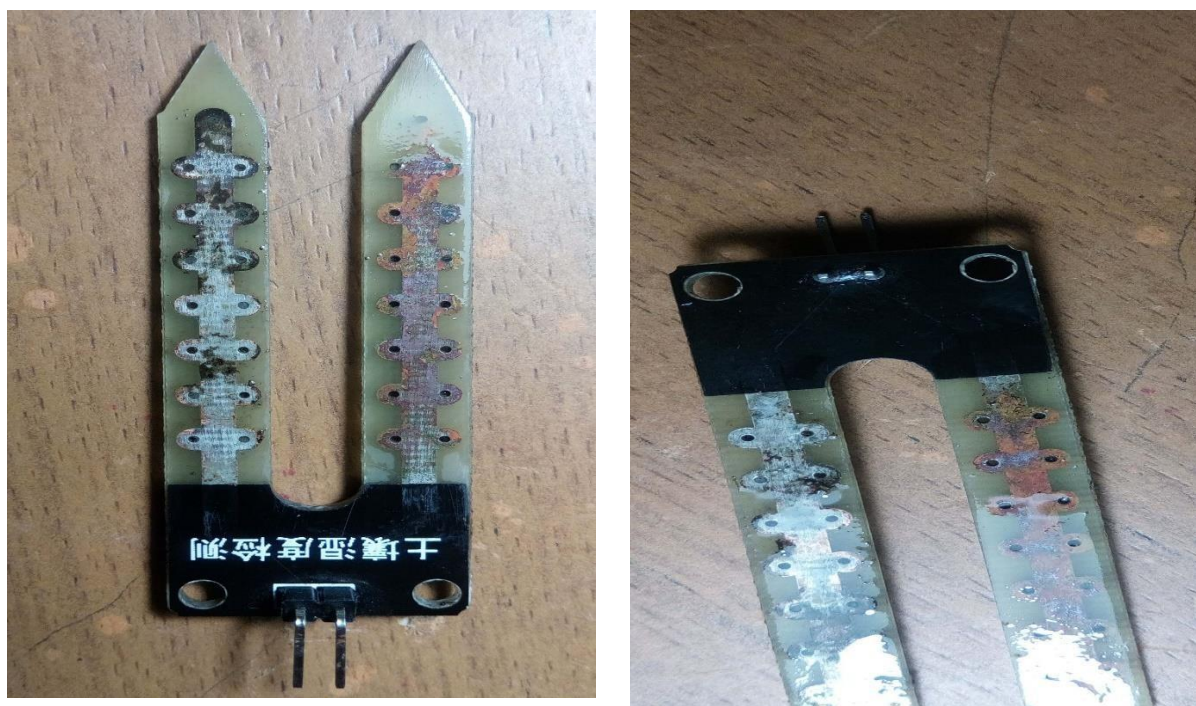


Рисунок 6 – Коррозия датчика влажности FC-28

Как можно видеть на рисунке 6, датчик практически приходит в негодность, поскольку контактные дорожки на щупах почти полностью съедены ржавчиной, и присутствуют наросты, что тоже накладывает свой отпечаток на правильность получаемых с датчика значений.

В связи с этим, было принято решение изготовить свой собственный датчик, который будет более стойким к воздействию окружающей среды.

Для простоты изготовления нового датчика был выбран простейший кондуктометрический тип сенсора.

2.1 Схема кондуктометрического датчика влажности почв

Для создания кондуктометрического датчика влажности почв была выбрана схема, представленная на рисунке 7. Она представляет собой элементарную схему делителя напряжения. Питание в данном случае осуществляется от макетной платы Arduino напряжением 5 В. С верхнего плеча делителя снимается информационный сигнал. В качестве него был выбран резистор с сопротивлением 10 кОм. Когда щупы опущены в землю между ними образуется сопротивление (на схеме отображено условно R_2), если почва сухая, то сопротивление бесконечно большое, а если влажная, то оно стремится к 0. Так как два сопротивления R_1 и R_2 образуют делитель напряжения, а средней точкой является выход (out a0), то от величины сопротивления R_2 зависит напряжение на выходе. К примеру, если сопротивление $R_2=10$ кОм, то напряжение будет 2,5В.

Нижним плечом делителя непосредственно является активная часть датчика влажности почвы, состоящая из двух близкорасположенных проводящих отрезков линии.

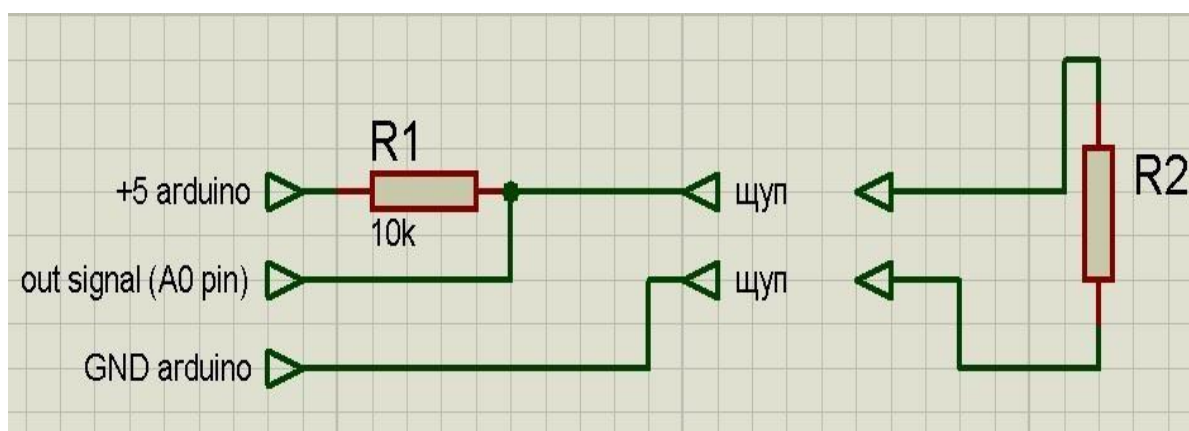


Рисунок 7 – Схема подключения датчика влажности [5]

2.2 Изготовление резистивного датчика влажности почв

Первый образец датчика был изготовлен из двух отрезков проволоки длиной 10 см, к которым припаяны провода и к + входу питания так же был врезан резистор с сопротивлением 10 кОм, как показано на рисунке 7.

Внешний вид первого варианта датчика показан на рисунке 8.

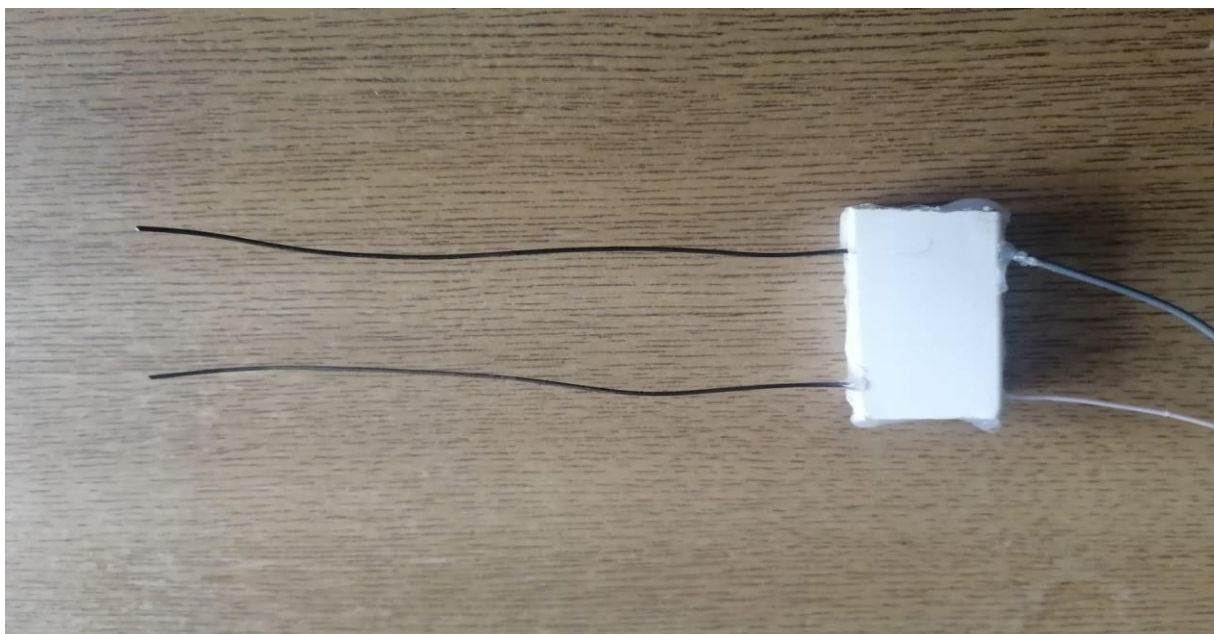


Рисунок 8 – Первый прототип датчика влажности

После проведения первых измерений оказалось, что одним из параметров, влияющих на правильность проводимых измерений, является расстояние между электродами, которые погружаются в измеряемую область.

После этого, было решено изготовить макет датчика с возможностью изменения расстояния между щупами и их четкой фиксацией. Расстояние между щупами изменялось в пределах от 1–5 сантиметров. Внешний вид системы изображен на рисунке 9.

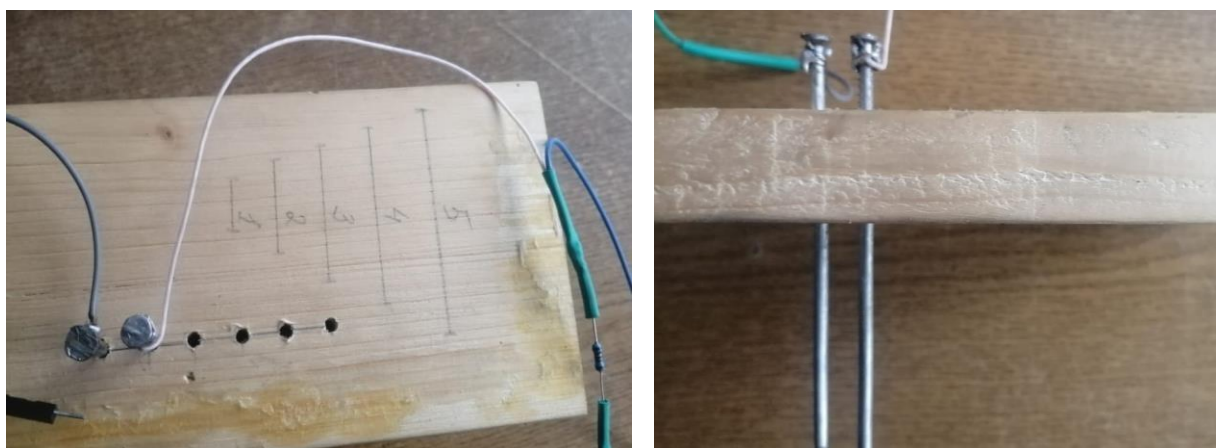


Рисунок 9 – Система для изменения расстояния между щупами

2.3 Изготовление ёмкостного датчика влажности почв

При постановке задачи было решено самостоятельно изготовить и протестировать резистивные и ёмкостные датчики, определить наиболее износостойкую и точную конфигурацию для проведения измерений. Датчики изготавливались подобными по форме и размеру электродам, датчикам, изготовленным на заводе в Китае для проектов на Arduino.

Для изготовления датчиков была применена технология травления печатных плат при помощи хлорного железа (FeCl_3). Сухое хлорное железо растворяется в воде до тех пор, пока не будет получен раствор золотисто-желтого цвета. Сам процесс травления занимает от 10 минут до целого часа. Продолжительность данного процесса зависит от концентрации хлорного железа и температуры раствора. По окончании травления датчик необходимо промыть большим количеством воды с мылом для нейтрализации остатков кислоты.

В процессе изготовления на куски текстолита был перенесен рисунок с расположением электродов путем нагревания листа бумаги с рисунком. Затем при помощи раствора хлорного железа были вытравлены лишние элементы проводящей подложки, как показано на рисунке 10.

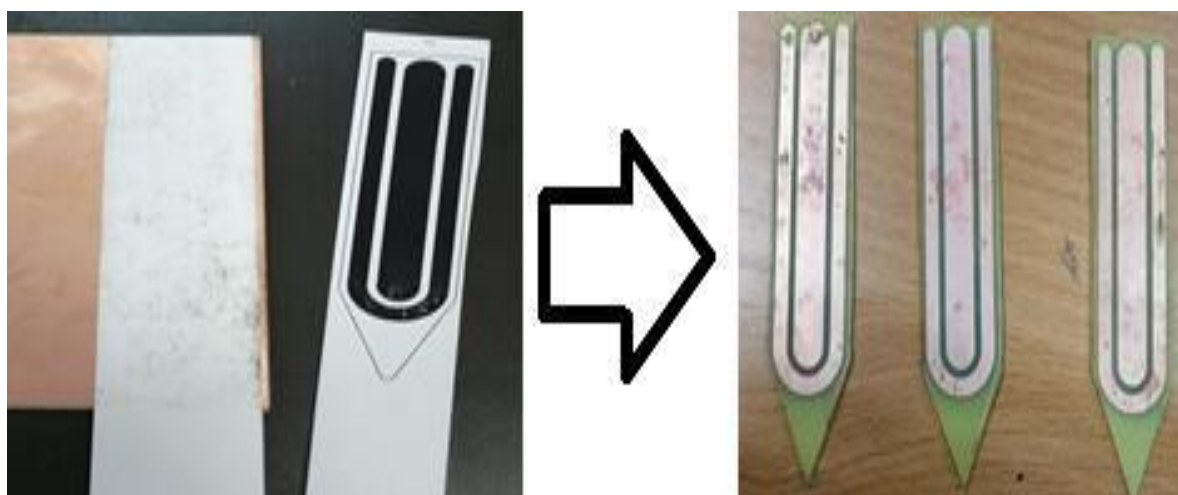


Рисунок 10 – Процесс изготовления ёмкостных датчиков

Было изготовлено 3 образца ёмкостных датчиков влажности почвы. Первый – обработан лаком марки “НЦ-62Б” (Рисунок 11). Лак нанесен на поверхность датчика специальной кистью.



Рисунок 11 – Образец №1, обработанный лаком марки “НЦ-62Б”

Второй датчик обработан термостойким лаком “KUDO” и изображен на рисунке 12. Лак нанесен путем распыления на обрабатываемую область при помощи специального баллона.

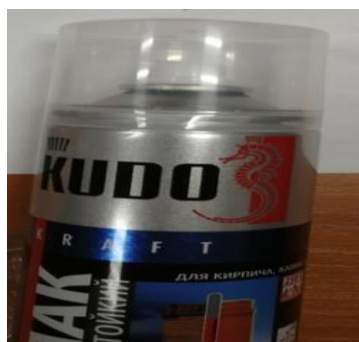


Рисунок 12 – Образец №2, обработанный лаком марки “KUDO”

Третий образец был оставлен без обработки (Рисунок 13).



Рисунок 13 – Образец №3 без дополнительной обработки поверхности

Далее, для датчиков была собрана схема обвязки, которая показана на рисунке 14. Данная схема включает в себя резистор $R2$ сопротивлением 10 кОм, на который с выхода $D9$ микроконтроллера подается ШИМ сигнал с частотой 4 МГц, который затем проходит через цепь $R2 - C3$, которая является фильтром нижних частот.

После чего сигнал с ФНЧ проходит через делитель напряжения с ёмкостью конденсатора 0,1 мкФ, и сопротивлением резистора 100 кОм, после которого снимается выходной сигнал.

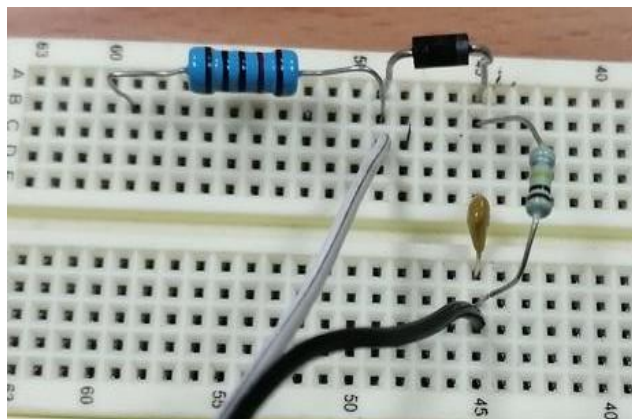
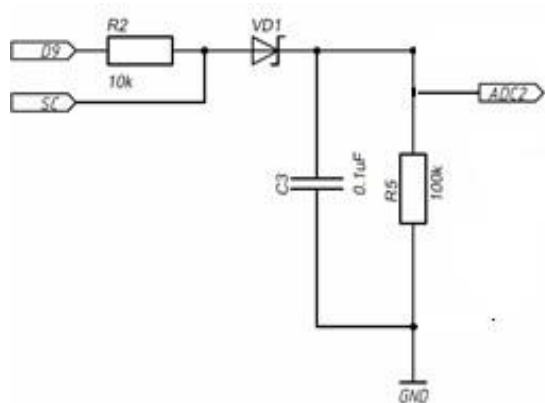


Рисунок 14 – Схема обвязки для ёмкостных датчиков

SC – это один из выходов самого ёмкостного датчика влажности, т.е. одна из подложек. Вторая подключена на заземление.

Выход, подписанный на схеме ADC2 – является выходной точкой, с которой и снимается итоговое значение напряжения в измеряемой среде.

После изготовления была проведена первичная калибровка датчиков, путем подбора частоты сигнала, который подается в датчик. Подбор частоты был организован при помощи специальной программы на Arduino, при работе которой подавались различные частоты и записывались показания датчика во влажной и сухой средах. В ходе калибровки экспериментальным путём было определено что наиболее пригодной для измерения (ввиду наибольшей разницы между значениями в сухой и влажной среде) является частота 4 МГц. Далее датчики были откалиброваны путем проведения измерений ёмкости в 4 точках измеряемого диапазона: 0, 30, 80, 100 % влажности. Затем, при помощи программы Origin был построен график изменения влажности. По общему виду была подобрана функция (из списка заранее заложенных в программе), которая наиболее точно описывает вид кривой, получающейся при построении графика с реальными показаниями датчика. Данное уравнение затем было заложено в программный код системы сбора информации с датчиков влажности почв, и при каждом измерении программа

проверяет, к какому диапазону 0–100 % принадлежит получившееся значение и выдает результат измерения влажности в процентах. Для выявления ошибок в полученных данных, которые выводятся в процентах, помимо них выводится реальная величина, получаемая с датчика, что позволяет “вручную” следить за правильностью калибровки датчиков.

Отдельным предметом изучения стала чувствительность датчиков при обработке двумя различными типами лаков. Для этого были проведены измерения в трех точках и получены значения ёмкости в трех различных средах: вода, почва и воздух.

Результаты данных измерений представлены на рисунках 15 и 16.

Датчик №	Вода	Почва 25% влажности	Воздух
1	602	688	730
2	570	691	730
3	475	646	733

Рисунок 15 – Результаты проведенных измерений ёмкостным датчиком

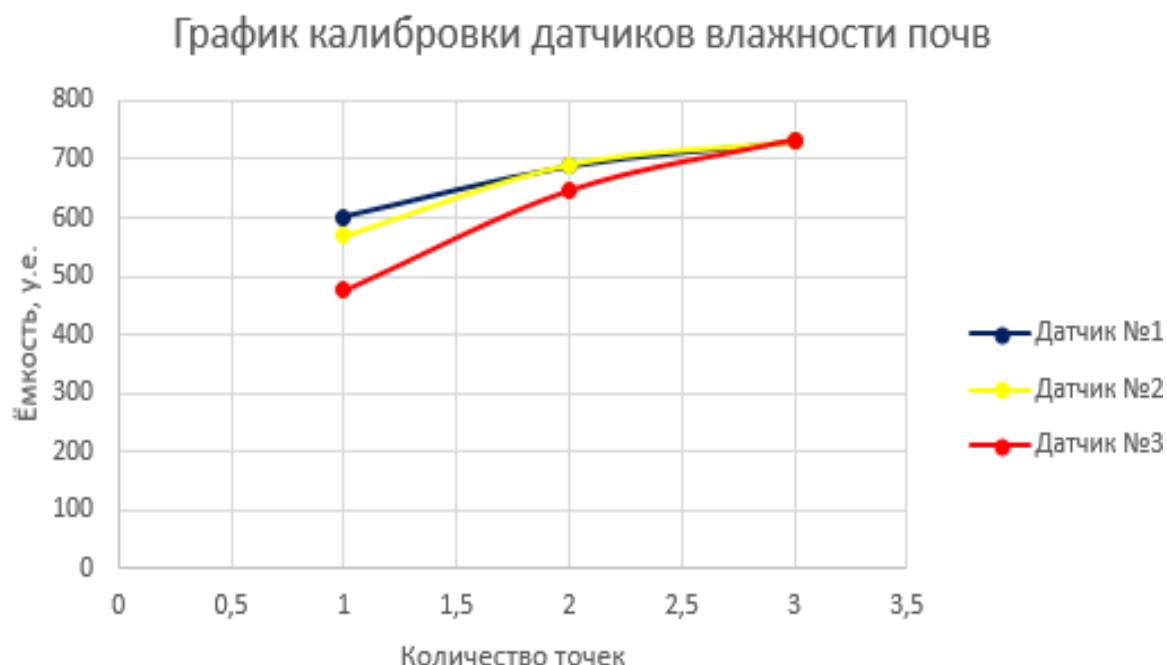


Рисунок 16 – График калибровки датчиков влажности почв

Как видно из графика, датчик, который ничем не обработан, в 2 раза более чувствительный, чем датчики с нанесением лака. При одинаковой толщине изготовленных датчиков наиболее чувствительным (из обработанных лаком) проявил себя образец №2. Разница в чувствительности между образцами №1 и №2 обусловлена различной диэлектрической проницаемостью лаков. Ввиду наибольшей чувствительности датчика №2, он является наиболее пригодным для использования, следовательно, наиболее пригодным способом обработки является напыление лака.

2.4 Тестирование резистивного датчика влажности почв

Для каждой позиции были проведены контрольные замеры. Все измерения проводились в одинаковых условиях, а в виде измеряемой области выступал стакан с водой. Результаты данных замеров показаны на рисунке 17.

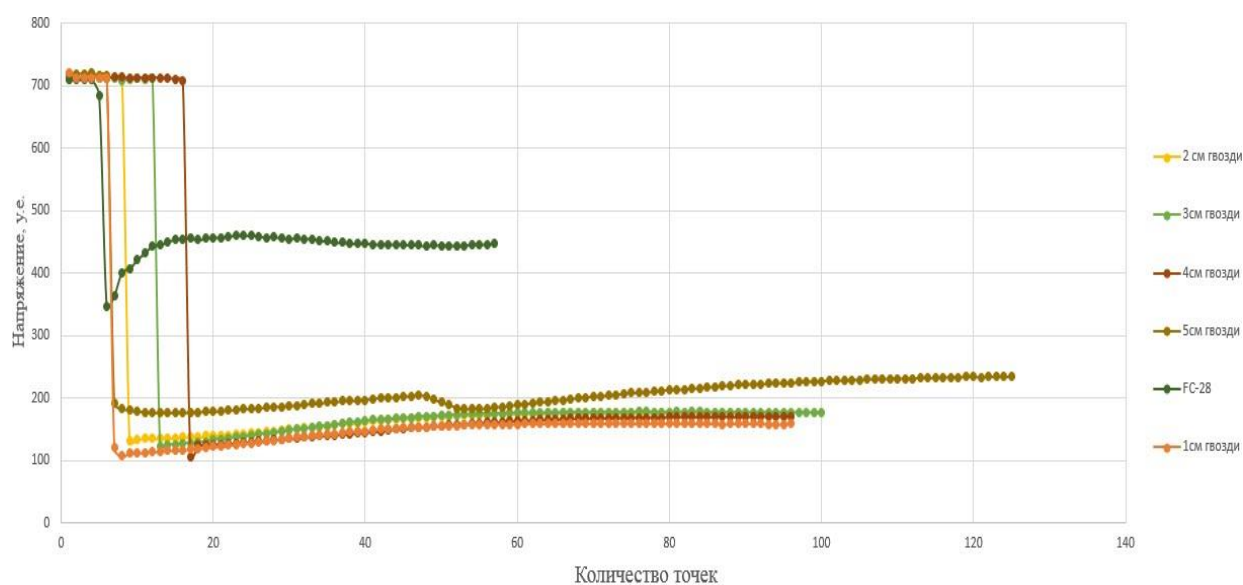


Рисунок 17 – Результаты проведенных измерений резистивным датчиком

Полученные значения с датчика в диапазоне от 100–720 условных единиц следует перевести в напряжение. Опорное напряжение на Arduino 5В. Т.к. АЦП 10 разрядное это 1024 единицы, $5В/1024 = 0,005мВ$ получаем значение напряжения на одну единицу и умножаем на количество полученных условных единиц. Соответственно, напряжение на датчике изменялось в диапазоне от 0,5В до 3,6В.

На графиках видны резкие скачки напряжения с 720 у.е. до 100 у.е., которые соответствуют моменту погружения датчика в стакан с водой. Затем, как видно из графиков, происходит небольшой рост параметров в течение минуты, и затем устанавливается действительное значение напряжения. Так же для сравнения на рисунке представлен график измерения при помощи датчика FC-28, напряжение на котором на порядок выше, чем напряжение на датчике ручного изготовления из никелированных гвоздей.

2.5 Тестирование ёмкостного датчика влажности

Изготовленные датчики были протестированы в течение 7 дней. Датчик был погружен в горшок с землей. Правильность полученных датчиком показаний контролировалась заводским влагомером. График изменения влажности представлен на рисунке 18.

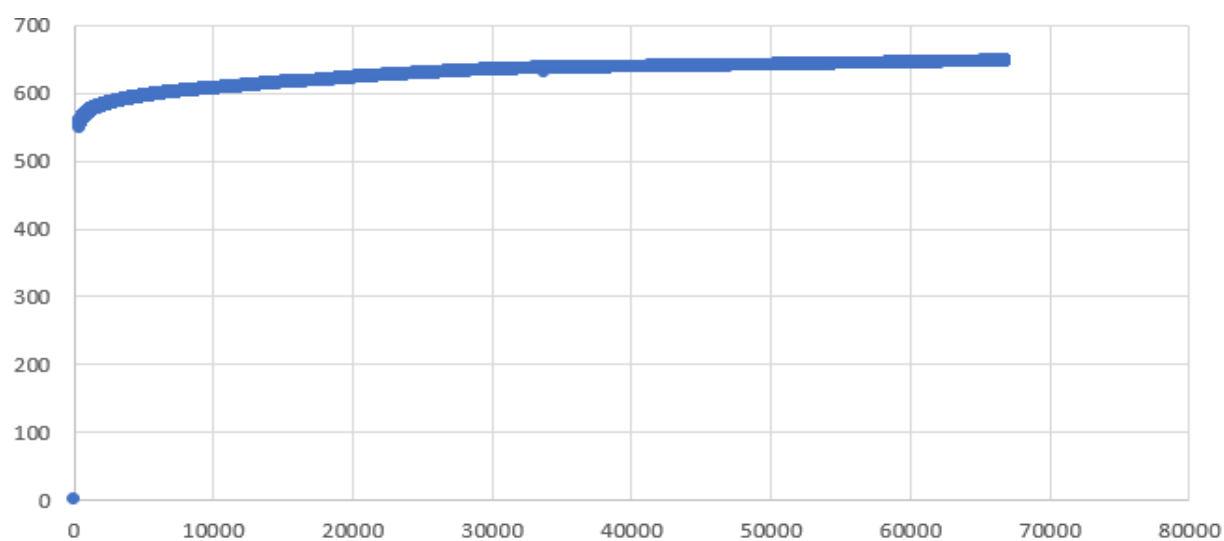


Рисунок 18 – Результаты проведенных измерений ёмкостным датчиком

На графике представлены результаты мониторинга влажности почвы в горшке с землей. Данное измерение проводилось при помощи датчика №2 с напылением лака. Начальной точкой измерения является значение ёмкости 547,35, что соответствует 80 % влажности почвы. За 7 дней значение ёмкости изменилось до величины 646,73, соответственно, влажность почвы по окончании эксперимента составляет 20 %.

Как видно на рисунке 19, датчик после недели нахождения во влажной почве и непрерывной работы не подвергся коррозионному воздействию, что говорит о положительном влиянии напыления лака на датчик.



Рисунок 19 – Внешний вид датчика после 7 дней непрерывной работы

3. Модули беспроводной передачи данных

В данный момент существует множество различных типов модулей для реализации механизма беспроводной передачи данных. У нас уже есть несколько беспроводных протоколов, таких как BLE, Wi-Fi, сотовая связь и т. д., но эти технологии не были идеальными, поскольку им необходимо было передавать информацию на большие расстояния без использования большого количества энергии. Это привело к появлению технологии LoRa, которая может выполнять передачу на очень большие расстояния с низким энергопотреблением [3].

В данной работе будет рассмотрен механизм передачи данных при помощи радио-модулей LoRa SX1278 v.1.0, которые изображены на рисунке 20.

Сам по себе, термин LoRa означает Long Range (длинное расстояние). Это беспроводная технология радиочастот, представленная компанией Semtech. Технология LoRa может использоваться для передачи двусторонней информации на большие расстояния без больших затрат энергии. Это свойство может использоваться удаленными датчиками, которые должны передавать свои данные, просто работая на одном заряде небольшой батареи. Сигналы LoRa при определенных условиях могут преодолевать расстояние 15–20 км и работать от батареи в течение многих лет [3].

Устройства стандарта LoRa представляют собой удобное и готовое решение для низкоскоростной передачи малых объемов данных на относительно большие (сотни метров-километры) расстояния. Устройства LoRa оптимизированы под низкое энергопотребление, что позволяет их использовать с питанием от батарей или аккумуляторов. К примеру, если фермер захочет выводить на домашний дисплей показания о степени влажности почвы, это будет практически идеальным применением для LoRa – малые объемы данных, большие расстояния и прямая видимость до объектов.

Модемы также могут использоваться в больших помещениях – ангары, заводы, там, где тянуть провод до датчиков сложно или дорого, а объемы данных невелики. Возможно использование и в домашних условиях, высокая чувствительность модулей позволит использовать даже короткие антенны в виде “зигзага” на печатной плате. В городе же, качество связи будет сильно зависеть от наличия радиовидимости между антеннами, высоты размещения антенн и т.д. [4].

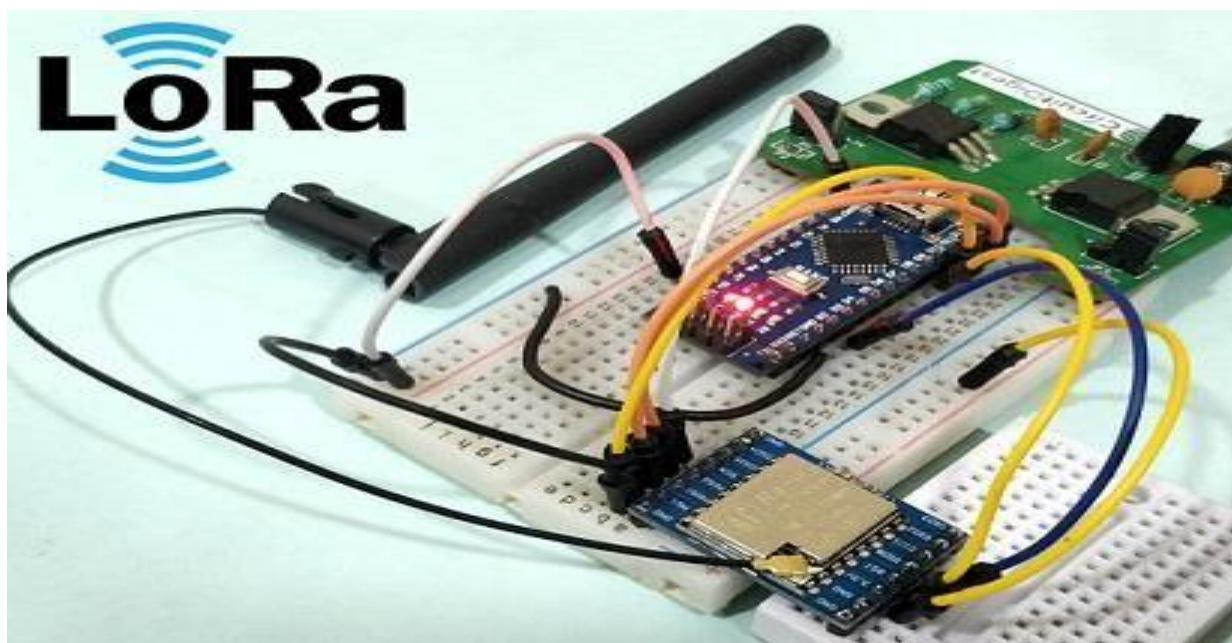


Рисунок 20 – Система беспроводной передачи данных на основе модуля LoRa [3]

LoRa имеет и свои недостатки. Для достижения большого расстояния с низким энергопотреблением, LoRa минимизирует пропускную способность сети. Максимальная пропускная способность для LoRa составляет около 5,5 кбит/с, это означает, что представляется возможным отправлять только небольшое количество данных через LoRa. Невозможно отправлять аудио или видео с помощью этой технологии, она отлично работает только для передачи меньшего количества информации, например, показаний датчиков [3]. Многие сравнивают LoRa с Wi-Fi или Bluetooth, но эти два протокола не стоят рядом с LoRa. Bluetooth используется для передачи информации между двумя устройствами Bluetooth, а Wi-Fi используется для передачи информации между точкой доступа (маршрутизатором) и станцией (мобильной точкой).

Но технология LoRa изначально не была изобретена для передачи данных между двумя модулями LoRa. Механизм передачи данных при помощи LoRa реализован следующим образом: сигнал от одного узла LoRa достигает другого узла через шлюз (Gateway) LoRa, как показано на рисунке 21. Затем эти шлюзы передают информацию в Интернет и, наконец, конечному пользователю через интерфейс приложения. Точно так же данные от пользователя достигнут узла через сетевой

сервер и шлюз. Узел LoRa обычно работает от батареи и состоит из радиомодуля и микропроцессора. Микропроцессор используется для считывания данных от датчика и отправки их в эфир через радиомодуль, который затем принимается шлюзом LoRa. Шлюз LoRa также имеет радиомодуль и микропроцессор, но обычно работает от сети переменного тока, так как им требуется больше энергии.

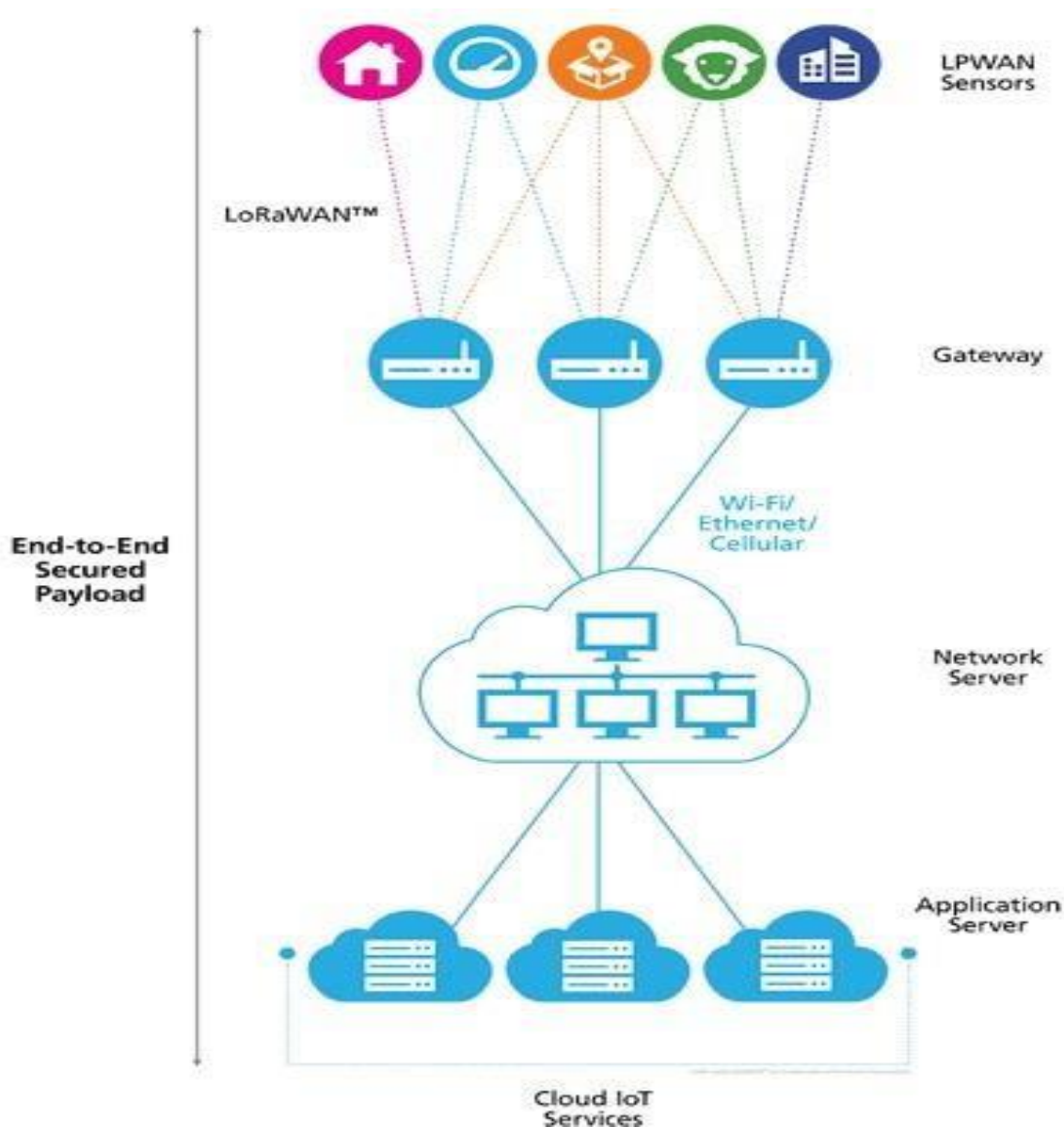


Рисунок 21 – Способ организации связи при помощи модулей LoRa [3]

Один шлюз LoRa может прослушивать несколько узлов LoRa, в то время как один узел LoRa также может отправлять информацию на несколько шлюзов, таким образом, информация от узла будет приниматься шлюзом без потери. Когда идентификатор информации отправляется от узла к шлюзу, он называется

восходящей линией связи, а когда он отправляется от шлюза к узлу, он называется нисходящей линией связи [3].

Используемый в данной работе модуль LoRa SX1278 имеет 16 контактов с 8 контактами на каждой стороне. Из этих 16 контактов шесть используются выводами GPIO в диапазоне от DIO0 до DIO5, а четыре для заземления. Схема подключения наглядно изображена на рисунке 22. Модуль работает при напряжении 3,3В и, следовательно, контакт 3,3В на LoRa подключен к контакту 3,3В на плате Arduino UNO. Затем мы подключаем вывод SPI на LoRa к выводам SPI на плате Arduino. Также необходимо было использовать соединительные провода, чтобы установить соединение между Arduino UNO и модулем LoRa. Вся установка может питаться от аккумулятора, чтобы сделать ее портативной [3].

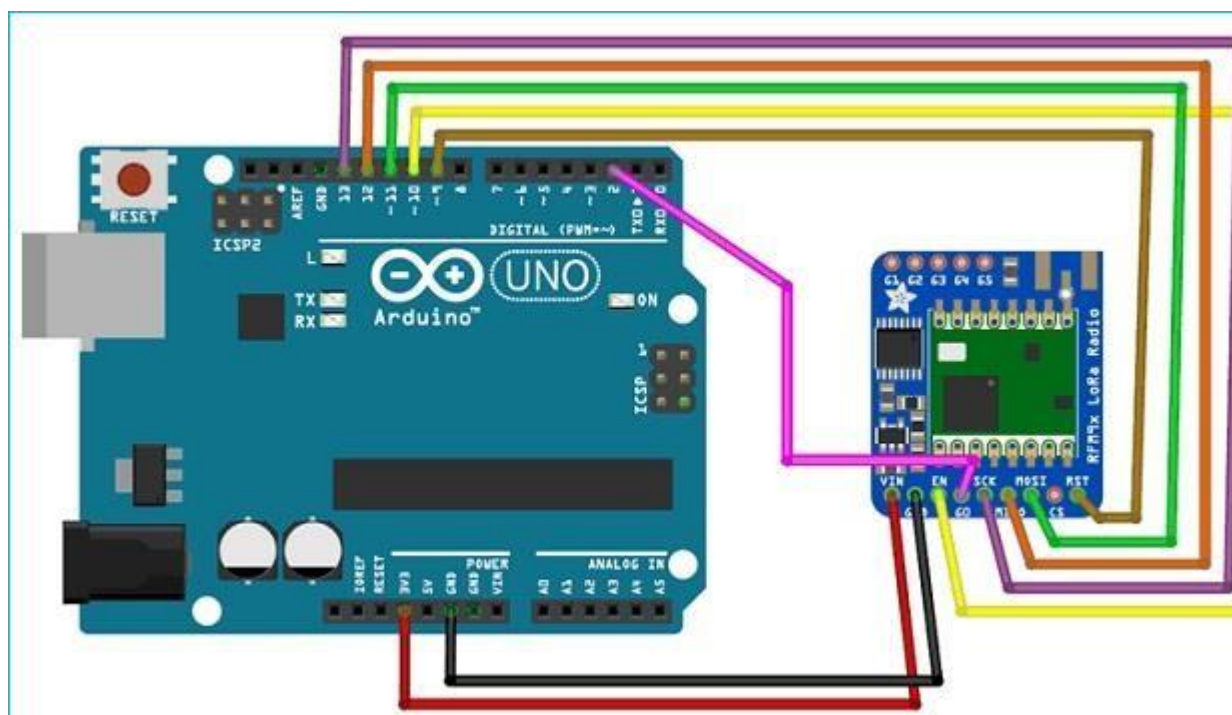


Рисунок 22 – Схема подключения модуля LoRa с Arduino UNO [3]

4. Общая структура системы

Система сбора информации с датчика влажности почвы состоит из 5 основных блоков: датчик влажности, блок обработки и преобразования информации (микроконтроллер AT Mega 328p на платформе Arduino), источник питания, приемо-передающий модуль, устройство вывода результатов, которые показаны на рисунке 23.



Рисунок 23 – Блок-схема устройства

Рассмотрим каждый из этих блоков подробнее.

а) Датчик влажности – любой из возможных датчиков влажности. Подключение возможно 2-мя способами – при помощи шины I2C, либо стандартно, проводами “мама-папа” к выводам Arduino +5V, GND, A0.

б) Arduino – платформа, включающая в себя блок обработки и преобразования информации - микроконтроллер AT Mega 328p на платформе Arduino. С его помощью происходит обработка всех операций, происходящих в системе, управление датчиком, режимами сна, модулем реального времени и т.д.

в) Источник питания – источником питания для данной системы могут являться компьютер, либо автономный источник питания (аккумуляторные батареи).

г) Приемо-передающий модуль – радио модуль LoRa SX1278, при помощи которого измеренные значения влажности передаются на приёмное устройство.

д) Устройство вывода результатов – в качестве устройства для вывода результатов используется обычный компьютерный монитор. Данные можно видеть как в формате таблицы Excel – с указанием даты, времени, значения напряжения, так

и в формате графика, который можно открыть на сайте, в случае совместной работы зонда с системой УСКД-365. Также имеется возможность отображения полученных данных в системе LabVIEW.

4.1 Алгоритм выполнения программы

Для выполнения поставленной задачи и корректной работы датчика влажности некоторые куски программного кода были заимствованы из открытых источников, некоторые же, были написаны собственноручно, а затем в них были внесены необходимые изменения.

Первая часть алгоритма показана на рисунке 24 и включает в себя работу с модулем SD карты памяти.



Рисунок 24 – Блок-схема работы программного кода устройства

Код программы состоит из нескольких блоков:

- а) Запуск программы, подключение библиотек.

В этом разделе работы программы происходит, собственно, сам запуск системы, подключение библиотек, необходимых для работы с навесным оборудованием и программной обработки некоторых стандартных функций микроконтроллера.

- б) Установка периода уходов в сон и пробуждений.

В данном пункте пользователь собственноручно устанавливает длительность “сна” микроконтроллера.

- в) Установка реального времени.

Пользователь устанавливает реальное время начала отсчета измерений.

- г) Проверка работоспособности SD модуля.

Микроконтроллер посылает сигнал на SD карту, если ответа не приходит, то выдается сообщение об ошибке инициализации карты. Если же карта готова к записи, выдается сообщение – инициализация успешна.

- д) Проверка наличия предыдущего файла с результатами.

Т.к. программа на данном этапе исследований самостоятельно не имеет возможности создавать файл с новым именем, она лишь проверяет, не остался ли файл с таким же именем, и если да, то стирает его, если нет, то просто записывается новый файл.

- е) Считывание показаний с датчика.

В данный момент микроконтроллер проверяет значение напряжения на датчике и отправляет его для записи на карту памяти.

- ж) Открытие файла для записи/запись.

В этот момент происходит открытие файла с заданным именем на карте памяти и запись в него значения, полученного с датчика, а также текущее время и дату.

- з) Закрытие файла.

Для того, чтобы во время ухода в сон не повредились данные на карте памяти из-за влияния малого питания, приходящего на SD модуль, файл программным образом закрывается и сохраняются записанные в нем значения.

- и) Уход в сон.

Микроконтроллер отключает всю периферию, оставляя только счетчик времени, чтобы вовремя “проснуться”.

к) Выход из режима сна.

Микроконтроллер, по истечении периода, который пользователь задавал в самом начале исполнения программы подает питание на всю периферию и после этого запускается цикл действий, описанный в пунктах 6–9.

Вторая часть алгоритма включает в себя работу с модулем LoRa SX1278. Само по себе, подключение и использование данного модуля не должно представлять сложностей, однако, с ним все же возникла проблема. Так как радио модуль и модуль SD карты памяти подключаются по одной шине, начинается конфликт на программном уровне. Конфликт заключается в том, что каждый из этих элементов в очереди обращения к нему микроконтроллера стоит как первый. Так, перед нами встала необходимость программным способом изменить эту настройку системы. Однако, сама по себе работоспособность модуля LoRa была проверена на отдельных платах Arduino. Проверка была произведена так: использовалось обычное подключения радио модуля к микроконтроллеру, как изображено на рисунке 25, были установлены приёмная и передающая стороны, налажен контакт между ними и передано короткое буквенное сообщение.

LoRa SX1278	Arduino UNO
3.3V	3.3V
Gnd	Gnd
En/Nss	D10
GO/DIO0	D2
SCK	D13
MISO	D12
MOSI	D11
RST	D9

Рисунок 25 – Подключение модуля LoRa SX1278

Алгоритм работы программы с использованием и радио модуля и модуля SD карты выглядит, как показано на рисунке 26.



Рисунок 26 – Общий алгоритм работы программы

а) Запуск программы, подключение библиотек.

В этом разделе работы программы происходит, собственно, сам запуск системы, подключение библиотек, необходимых для работы с навесным оборудованием и программной обработки некоторых стандартных функций микроконтроллера.

б) Установка периода уходов в сон и пробуждений.

В данном пункте пользователь собственноручно устанавливает длительность “сна” микроконтроллера.

в) Установка реального времени.

Пользователь устанавливает реальное время начала отсчета измерений.

г) Проверка работоспособности SD модуля.

Микроконтроллер посылает сигнал на SD карту, если ответа не приходит, то выдается сообщение об ошибке инициализации карты. Если же карта готова к записи, выдается сообщение – инициализация успешна.

д) Проверка работоспособности модуля LoRa.

Данный пункт программного кода включает в себя проверку работоспособности радио модуля, путем отправки короткого сообщения на приёмник и получения от него контрольной суммы (CRC). Затем выдается сообщение об удачном завершении проверки, либо неудачном. Если проверка неудачна, данные записываются в файл и цикл продолжается.

е) Установка очередности использования модулей SD и LoRa.

На данном этапе на первое место в очереди становится модуль LoRa, именно с его помощью микроконтроллер посылает результаты измерений на приёмник.

ж) Отправка пакета информации на приёмник.

з) Отключение модуля LoRa.

На данном этапе на первое место в очереди становится модуль SD карты памяти.

и) Включение модуля SD и запись в файл.

Происходит запись результатов измерений в файл, для верности сохранения данных, в виде подстраховки от сбоев в передаче данных при помощи радио модуля.

к) Уход в сон до следующего сигнала прерывания.

Микроконтроллер отключает всю периферию, оставляя только счетчик времени, чтобы вовремя “проснуться”.

4.2 Итоговый вид системы

Итоговый вид системы сбора, обработки и передачи данных с датчиков влажности почвы включает в себя два основных модуля: передающий и приёмный. Внутренняя часть передающего модуля изображена на рисунке 27 и включает в себя: источник питания (переносная батарея), микроконтроллер на базе Arduino Uno, макетную плату (для удобства сборки системы), модуль часов реального времени DS1302, модуль беспроводной передачи данных LoRa SX 1278, датчик влажности, модуль SD карты памяти.

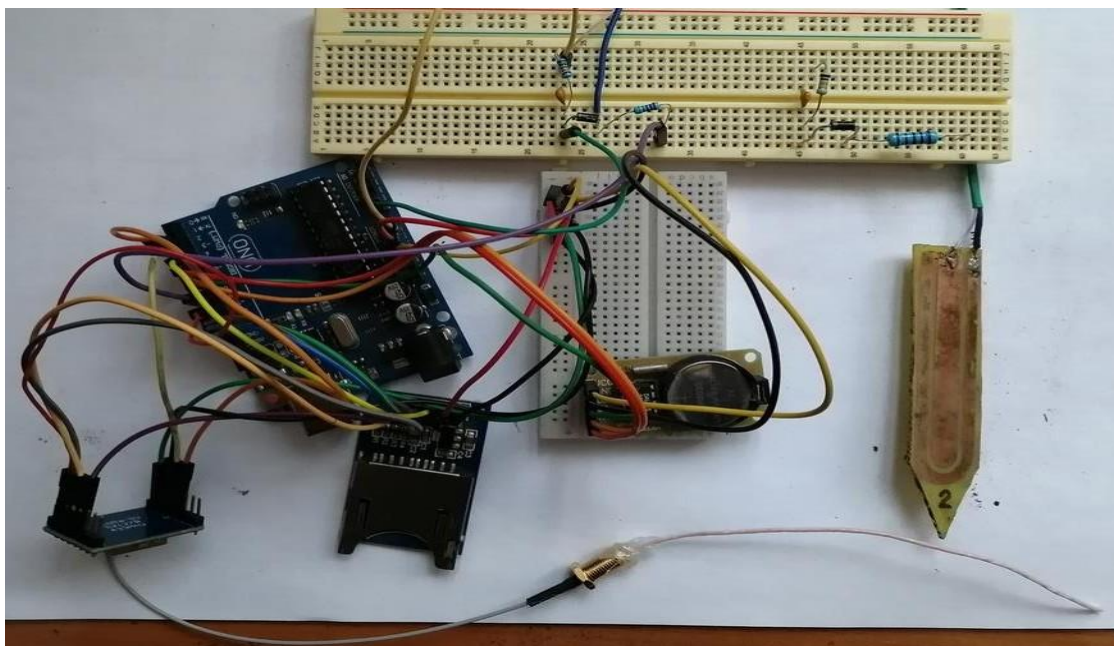


Рисунок 27 – Передатчик

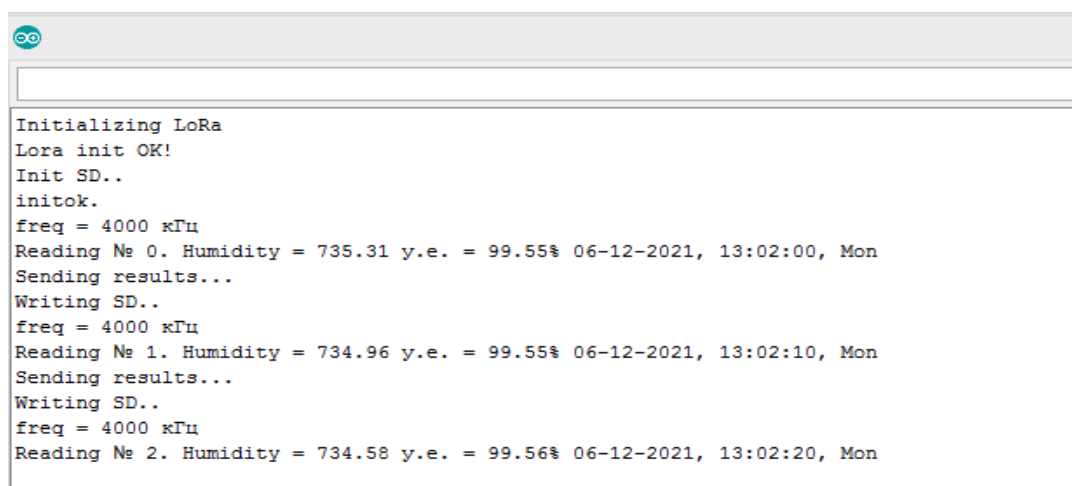
В конечном итоге некоторые из элементов, представленных выше, были собраны навесным монтажом, от макетной платы пришлось отказаться в угоду сохранения места внутри корпуса передающей части системы. На рисунке 28 изображен итоговый вид передатчика, при помощи которого проводятся измерения влажности почвы в Сибирском ботаническом саду НИ ТГУ. В данном варианте реализован алгоритм передачи данных на базовую станцию УСКД-365, с которой данные передаются на сайт “ускд.рф”.



Рисунок 28 – Корпус передатчика

На данном корпусе выведены разъемы для извлечения карты памяти, а также для подключения к микроконтроллеру для его питания и возможной перепрошивки микроконтроллера в случае возникновения неполадок.

На рисунке 29 изображено окно вывода результатов работы программы, так называемый Serial port. Он позволяет в режиме реального времени контролировать правильность работы программы, отслеживать полученные при измерении значения и контролировать исполнение процесса записи данных на карту памяти, а также отправку пакетов информации на приёмный модуль.



```
Initializing LoRa
Lora init OK!
Init SD..
initok.
freq = 4000 кГц
Reading № 0. Humidity = 735.31 y.e. = 99.55% 06-12-2021, 13:02:00, Mon
Sending results...
Writing SD..
freq = 4000 кГц
Reading № 1. Humidity = 734.96 y.e. = 99.55% 06-12-2021, 13:02:10, Mon
Sending results...
Writing SD..
freq = 4000 кГц
Reading № 2. Humidity = 734.58 y.e. = 99.56% 06-12-2021, 13:02:20, Mon
```

Рисунок 29 – Окно вывода (СОМ-порт) работы программы передатчика

Приёмная часть системы включает в себя: источник питания (компьютер), микроконтроллер на базе Arduino Uno, модуль беспроводной передачи данных LoRa SX 1278. Приемник изображен на рисунке 30.

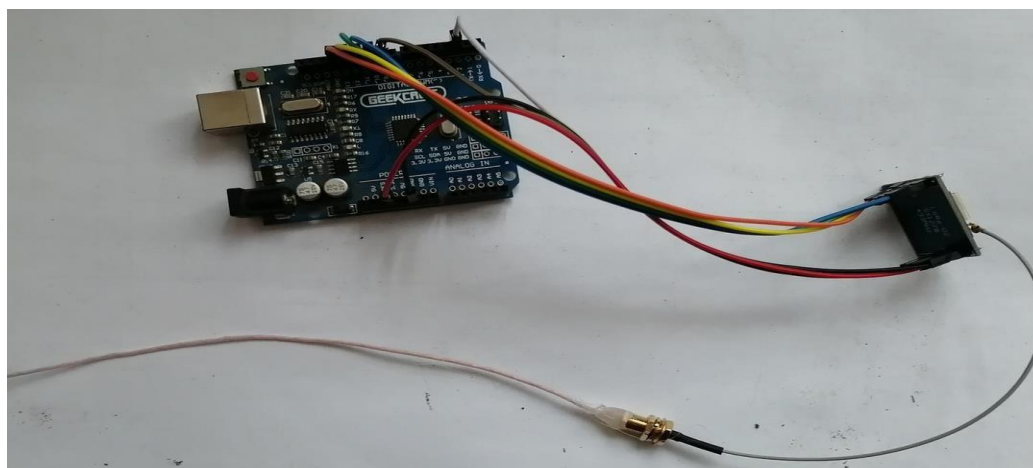


Рисунок 30 – Приёмник

На рисунке 31 изображено окно вывода результатов работы программы по приёму сообщения при помощи радио модуля на частоте 433МГц.

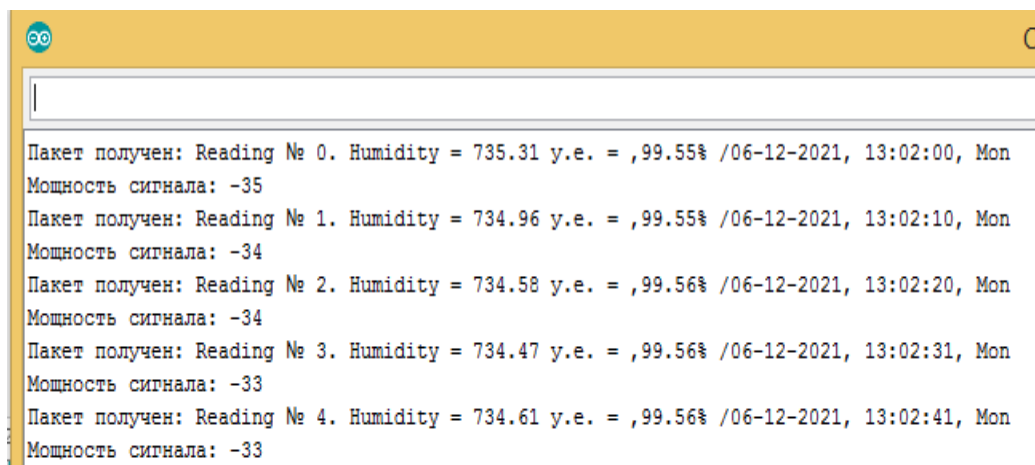


Рисунок 31 – Окно вывода результатов работы приёмника

В данной части системы компьютер играет роль устройства вывода результатов. В итоговом исполнении, вывод полученной информации может осуществляться двумя различными способами: при помощи программного интерфейса на основе LabVIEW, которая показана на рисунке 32.

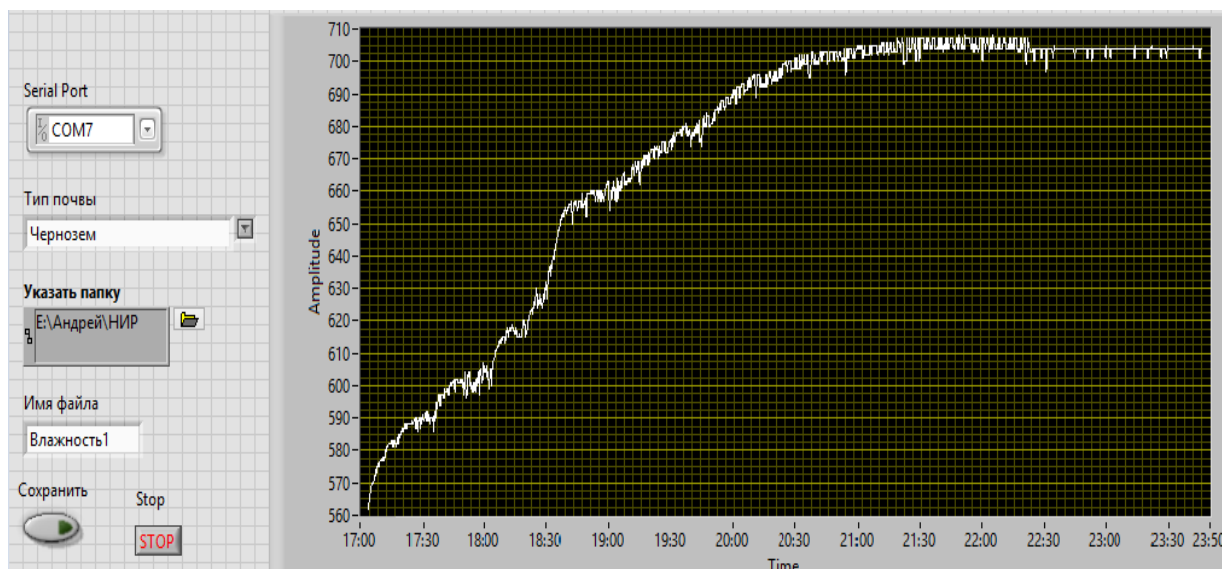


Рисунок 32 – Лицевая панель программы в LabVIEW

Вторым способом вывода информации является система вывода результатов измерений на сайт усكد.рф с базовой станции УСКД-365, данный вариант изображен на рисунке 33.

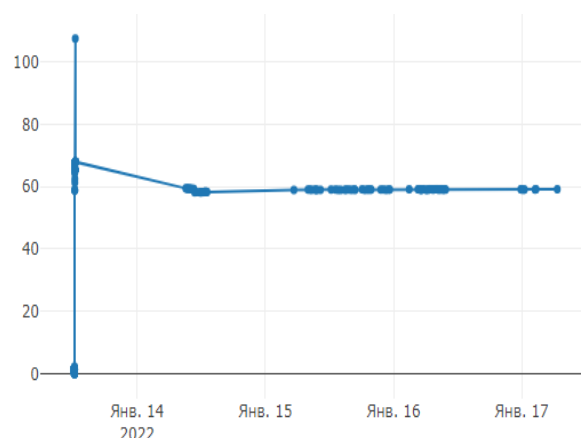
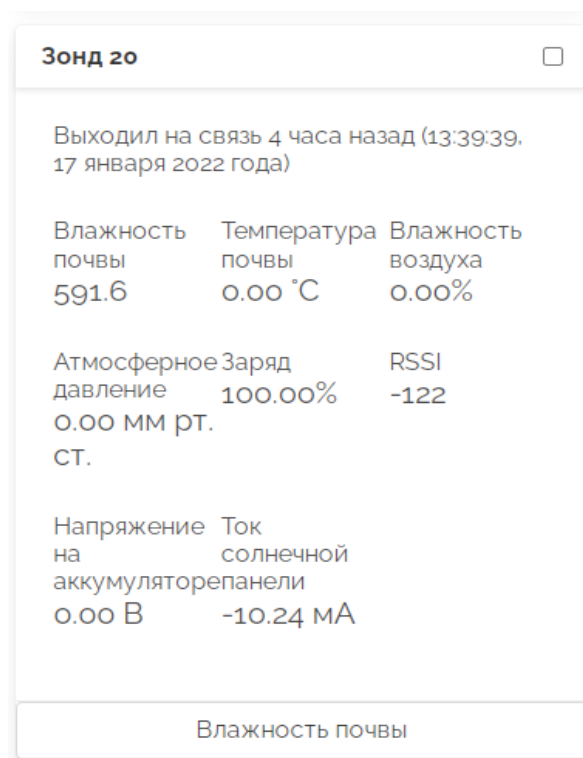


Рисунок 33 – Окна вывода информации с датчиков на сайте ускд.рф

В ходе проведения работ, был изготовлен итоговый вариант системы сбора и передачи информации с датчика влажности почвы с реализацией передачи полученных результатов по радиоканалу на базовую станцию проекта УСКД-365. Затем полученные результаты с базовой станции отправляются на сайт ускд.рф при помощи Wi-Fi.

5. Результаты проведенных исследований

Основной задачей, при проведении измерений, было определить влажность двух различных типов почвы, а затем сравнить данные, полученные с двух разных датчиков заводского изготовления – ёмкостного и резистивного. Для наглядности построены графики, на которых отражено изменение влажности почвы в течении периода измерения – 24 часа. На рисунках 34, 35 изображены изменения влажности чернозёма, значения получены с резистивного и ёмкостного датчиков влажности почвы.

На рисунке 34 значение $U = 670$ мВ соответствует абсолютно сухой почве, а значение $U = 260$ мВ соответствует моменту, когда в почву была долита вода в объеме около 50 мл.

На рисунке 35 значение $U = 575$ мВ соответствует абсолютно сухой почве, природа скачка до 675 мВ точно не определена, предполагается, что данный скачок обоснован реакцией датчика на резкое изменение влажности, затем $U = 260$ мВ соответствует моменту, когда было долито 50 мл воды.

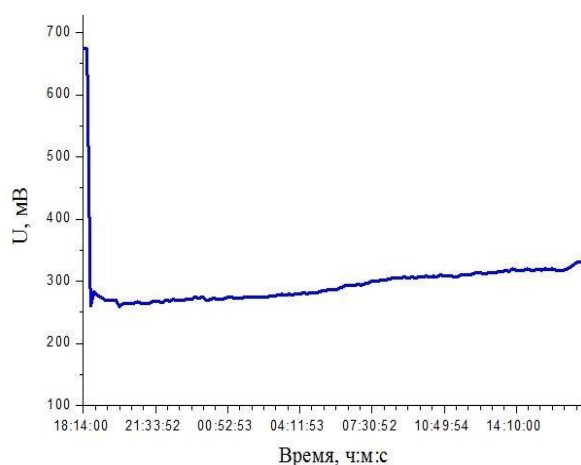


Рисунок 34 – График изменения влажности почвы в течении 24ч с датчика FC-28

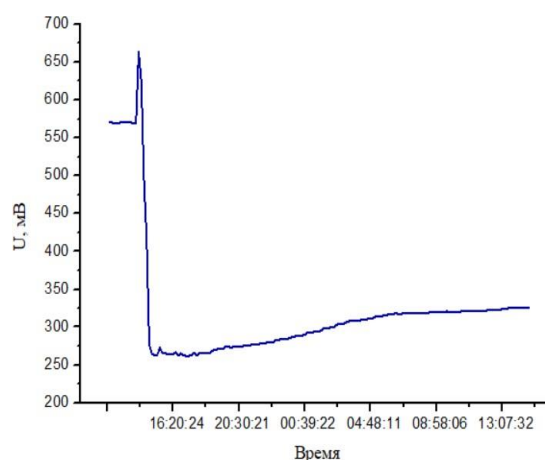


Рисунок 35 – График изменения влажности почвы в течении 24ч с ёмкостного датчика

На данных рисунках видно, что оба датчика показывают приблизительно одинаковое состояние влажности почвы, однако, ёмкостный датчик в данном случае наиболее точно отражает состояние почвы, поскольку процесс изменения влажности на рисунке 34 происходит более плавно.

На рисунке 36 значение $U = 250$ мВ соответствует абсолютной влажности, в этот момент датчик был опущен в стакан с водой, а значение $U = 675$ мВ соответствует абсолютно сухому песку. Значение $U = 375$ мВ соответствует моменту, когда в почву была долита вода в объеме около 50 мл.

На рисунке 37 значение $U = 560$ мВ соответствует абсолютно сухой почве, затем $U = 260$ мВ соответствует моменту, когда было долито 50 мл воды.

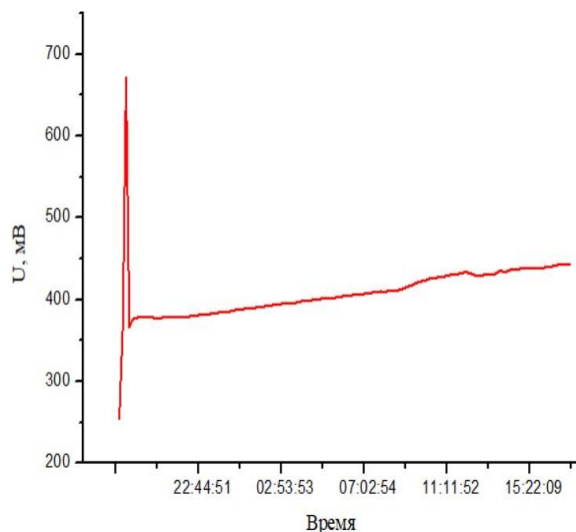


Рисунок 36 – График изменения влажности песка в течении 24ч с датчика FC-28

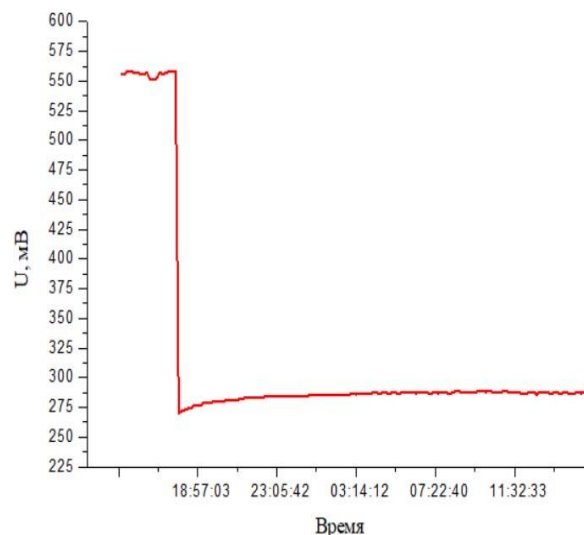


Рисунок 37 – График изменения влажности песка в течении 24ч с ёмкостного датчика

На данных рисунках так же видно, что оба датчика показывают приблизительно одинаковое состояние влажности почвы, однако, ёмкостный датчик и в этом случае наиболее точно отражает состояние почвы, поскольку процесс изменения влажности на рисунке 36 происходит более плавно. В связи с полученными результатами было принято решение отдать наибольший приоритет работе с ёмкостными датчиками влажности.

В ходе работы было изготовлено три образца датчика влажности почвы, которые были откалиброваны. Отдельным предметом изучения стала чувствительность датчиков при обработке двумя различными типами лаков. Для этого были проведены измерения в трех точках и получены значения ёмкости в трех различных средах: вода, почва и воздух. Результаты данных измерений представлены на рисунках 38 и 39.

Датчик №	Вода	Почва 25% влажности	Воздух
1	602	688	730
2	570	691	730
3	475	646	733

Рисунок 38 – Результаты проведенных измерений ёмкостным датчиком

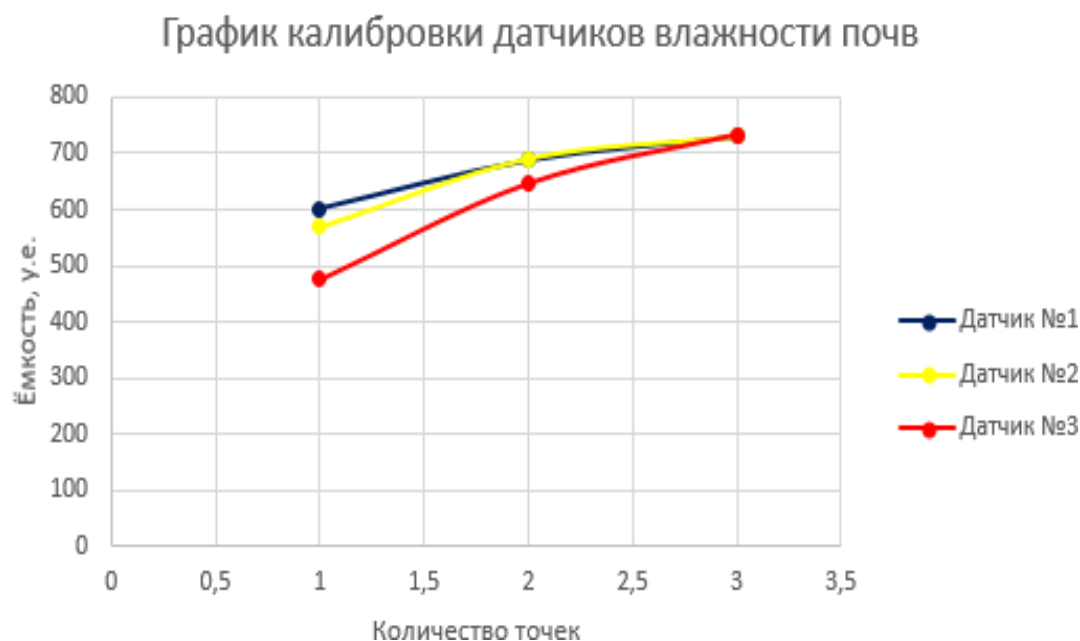


Рисунок 39 – График калибровки датчиков влажности почв

При одинаковой толщине изготовленных датчиков наиболее чувствительным (из обработанных лаком) проявил себя образец №2. Разница в чувствительности между образцами №1 и №2 обусловлена различной диэлектрической проницаемостью лаков. Ввиду наибольшей чувствительности датчика №2, он является наиболее пригодным для использования, следовательно, наиболее пригодным способом обработки является напыление лака.

Далее в ходе работы возникала проблема работоспособности модулей передачи данных, которая была устранена путем установки новых модулей и переработки программного кода.

Для упрощения работы пользователя с приемной частью системы была создана программа в системе LabVIEW, при помощи которой происходит сохранение принятых пакетов информации в файл на компьютере и отображение

результатов проводимых измерений в режиме реального времени на графике, который выведен на лицевую панель ВП, она показана на рисунке 40.

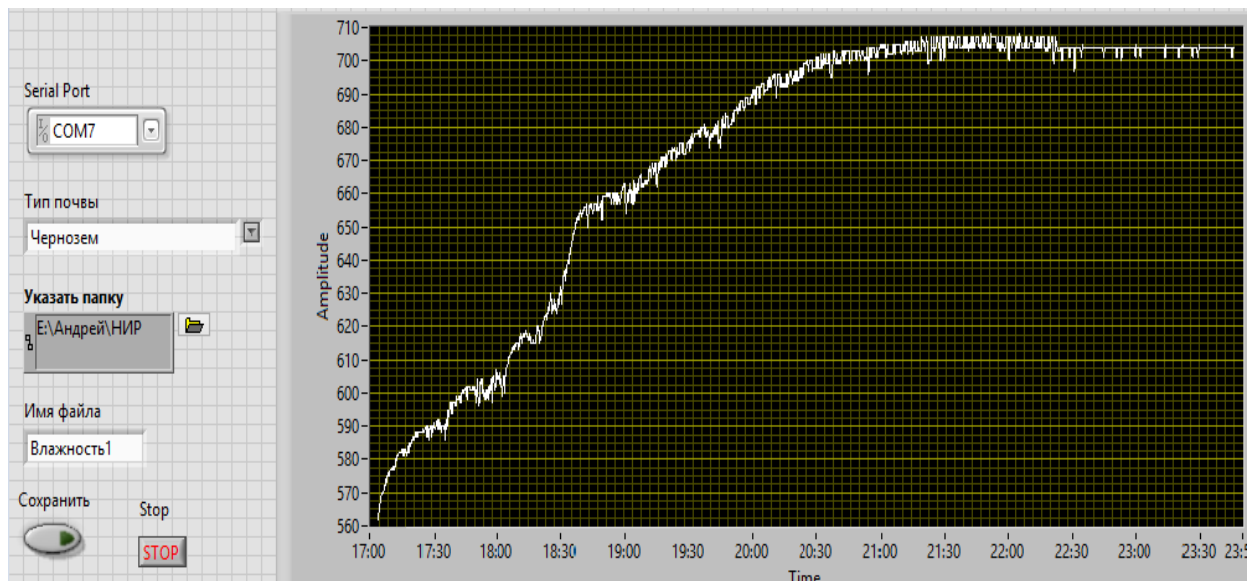


Рисунок 40 – Лицевая панель программы в LabVIEW

Работоспособность передающей части системы была проверена при помощи SDR приёмника. Как видно на рисунке 41, на заданной частоте 433 МГц происходит передача пакета информации.

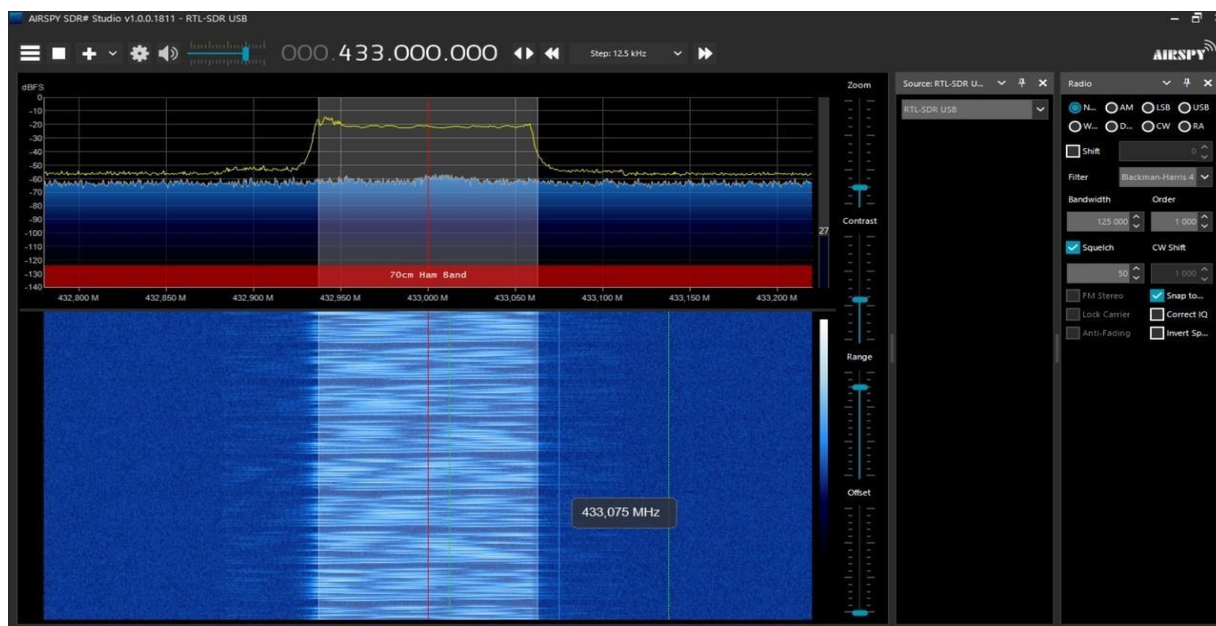


Рисунок 41 – Проверка передатчика при помощи SDR приёмника

Работоспособность приёмной части системы подтверждает прием пакетов информации с действительными значениями влажности, времени и контрольных номеров измерений, как изображено на рисунке 42.

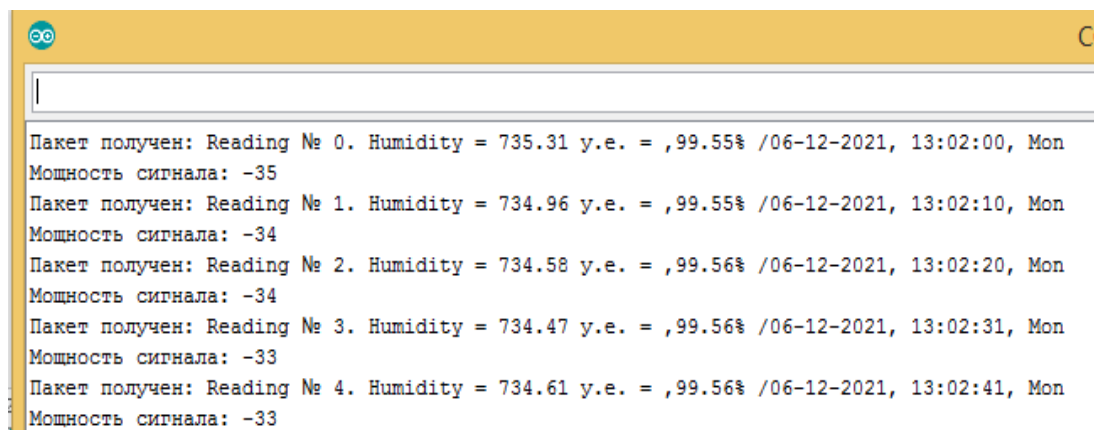


Рисунок 42 – Окно вывода принятой информации

Итоговым результатом выполненных работ является измерение и передача полученных данных в Сибирском ботаническом саду. Общий вид установки показан на рисунке 43.



Рисунок 43 – Передающая часть системы в ботаническом саду

Передатчик установлен на некотором удалении от базовой станции. В ходе проведения измерений, полученные данные сохраняются на карту памяти и передаются на базовую станцию проекта УСКД-365, которая в свою очередь передает эти данные на сайт ускд.рф. Данный вид вывода информации более удобен ввиду того, что для приема и обработки информации не требуется установки дополнительного ПО. Формат отображения полученных данных изображен на рисунке 44.

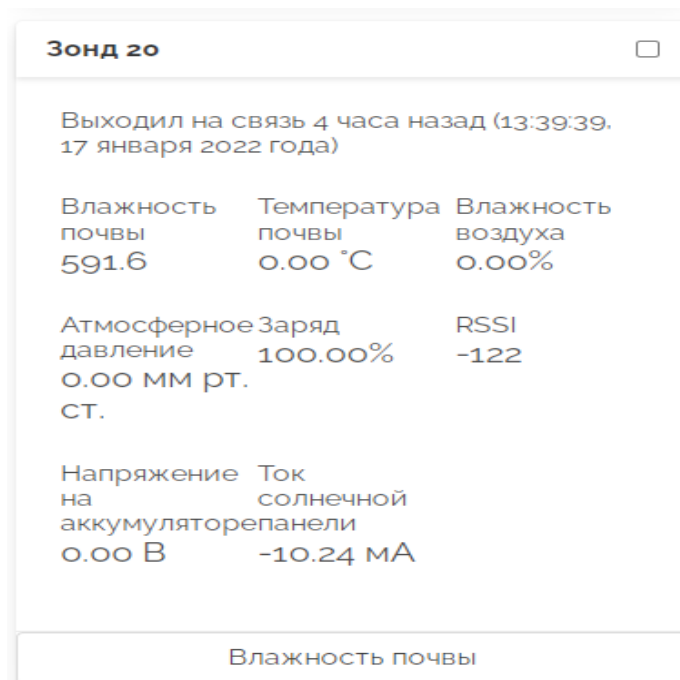


Рисунок 44 – Вкладка “зонд 20” на сайте ускд.рф

Так же на данном сайте есть возможность отображения графика изменения измеряемого параметра при нажатии на кнопку с обозначением измеряемого параметра. Вариант отображаемого графика изображен на рисунке 45.

В ходе проведения измерений в Сибирском ботаническом саду были получены значения влажности, отображенные на рисунке 46.

В ходе мониторинга влажности почвы на территории Сибирского ботанического сада было выявлено, что на исследуемой местности при помощи автоматической системы полива постоянно поддерживается влажность почвы 70–80%. Контроль за правильностью измерений проводился при помощи заводского влагомера, используемого постоянно на территории Сибирского ботанического сада.

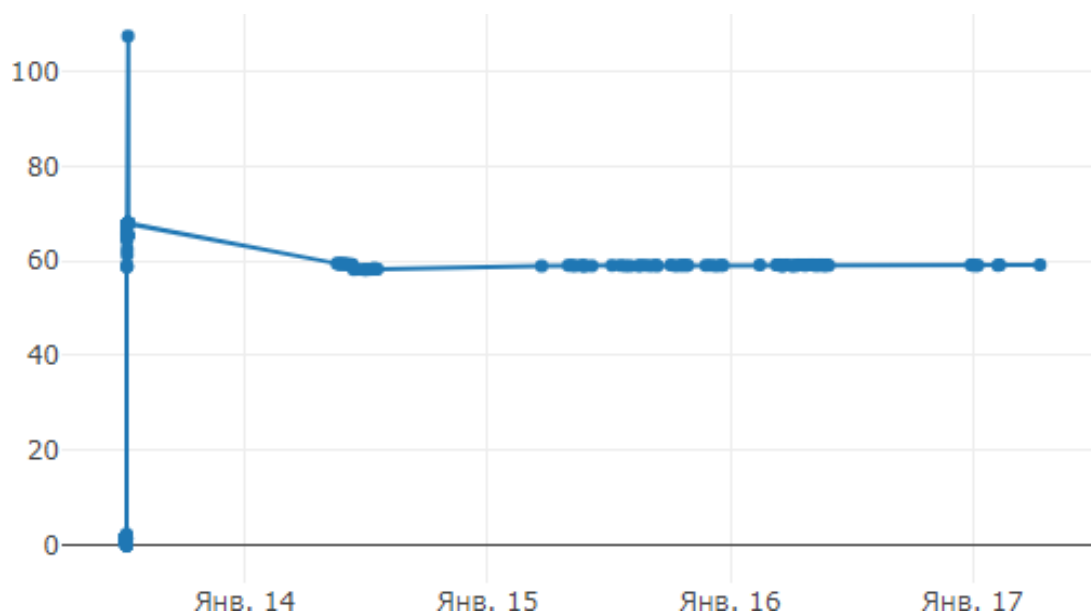


Рисунок 45 – Вариант графика влажности на сайте

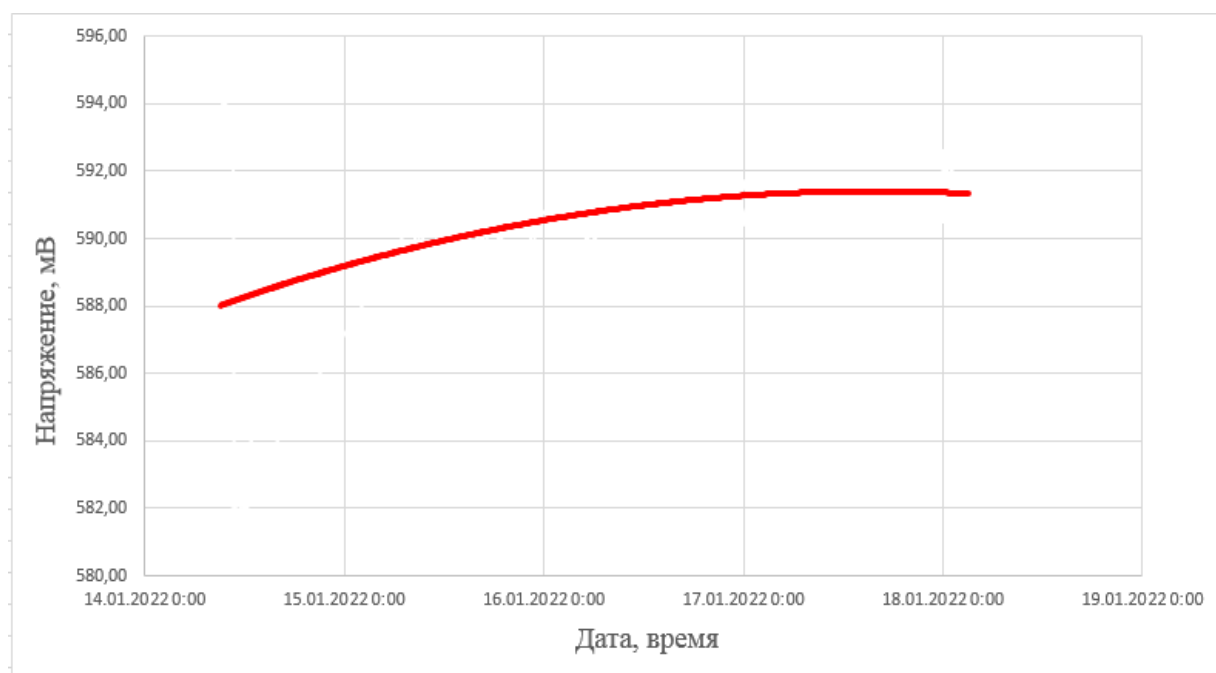


Рисунок 46 – Изменение влажности

6. Обеспечение безопасности труда

Согласно действующему законодательству Российской Федерации, для работников необходимо обеспечить определенные условия труда, которые будут соответствовать требованиям Трудового кодекса РФ в сфере сохранения жизни и здоровья, а также санитарно-эпидемиологическим нормам (СанПиН) [6].

Для того чтобы соблюсти указанные в Трудовом кодексе РФ нормы, необходимо проанализировать некоторые факторы, влияющие на эффективность деятельности работника. Одним из таковых является оценка рабочего места на степень его соответствия санитарно-эпидемиологическим нормам (СанПиН).

Написание данной дипломной работы проводилось в домашних условиях. Домашнее РМ располагается в комнате площадью 16 кв. м. В комнате одно окно, которое выходит на солнечную сторону, также имеется две потолочных лампы и настольная лампа, которая применялась в отдельных случаях. Рабочее место представляет собой стол, на котором располагаются ноутбук, проводная компьютерная мышь и настольная лампа, а также стул.

Согласно СанПиН 2.2.4.3359–16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» который является основным нормативно-правовым документом, который устанавливает санитарные требования к рабочему месту [7], необходимо оценить такие показатели, как:

- микроклимат рабочего места;
- качественные и количественные характеристики освещения;
- уровень шума и вибрации на рабочем месте;
- эргономичность рабочего места.

В таблице 1 приведены оптимальные условия микроклимата для холодного и теплого периодов. Категории работ разграничиваются на основе интенсивности энергозатрат организма в килокалориях в час (Вт).

Работа производится сидя и сопровождается некоторым физическим напряжением (до 120 килокалорий в час (до 139 Вт)), т.е. согласно Приложению 1 СанПиН 2.2.4.3359–16, данная работа относится к категории Ia. После определения категории, необходимо измерить и сравнить действующие значения приведенных параметров оценки РМ с табличными. В таблице 2 приведены результаты измерений условий микроклимата рабочего места. Температура воздуха была

измерена при помощи обычного комнатного термометра. Поверхности измерялись при помощи бесконтактного пирометра. Влажность воздуха была измерена при помощи часов, в которых есть встроенный гигрометр.

Таблица 1 – Оптимальные условия микроклимата

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Холодный	Ia (до 139)	22–24	21–25	60–40	0,1
	Iб (140–174)	21–23	20–24	60–40	0,1
	IIa (175–232)	19–21	18–22	60–40	0,1
	IIб (233–290)	17–19	16–20	60–40	0,1
	III (более 290)	16–18	15–19	60–40	0,1
Теплый	Ia (до 139)	23–25	22–26	60–40	0,1
	Iб (140–174)	22–24	21–25	60–40	0,1
	IIa (175–232)	20–22	19–23	60–40	0,1
	IIб (233–290)	19–21	18–22	60–40	0,1
	III (более 290)	18–20	17–21	60–40	0,1

В результате измерений было определено, что измеренные показатели соответствуют рамкам, указанным в таблице 1.

Также вредным фактором является шум, который может неблагоприятно воздействовать на организм человека, а также плохо влияет на работу и отдых. Исходя из требований СанПиН 2.2.2.542–96, уровень шума в помещении не должен превышать 65дБ [8].

Еще одним немаловажным параметром является освещенность рабочего места. Помещение, в котором работник проводит более 50% рабочего времени, должно иметь совместное освещение – присутствие как естественного освещения,

так и искусственного. Если освещение будет недостаточным, то оно может неблагоприятно воздействовать на зрение, психику и эмоциональное состояние человека, а также может привести к травматизму.

Таблица 2 – Измеренные условия микроклимата

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Измеренные условия микроклимата рабочего места					
Холодный	Ia	24	Стол: 24 Ноутбук: 25 Потолок: 22 Стены: 22 Пол: 20	48	0

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 значение освещенности рабочего места должно быть в интервале 300–500 лк [9].

В результате анализа и проведения измерения фактических показателей рабочего места можно сделать вывод, что рабочее место соответствует санитарно-гигиеническим правилам и нормам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы было сделано следующее:

- а) Проведён обзор литературных источников и сформирована структура системы.
- б) Изучены принципы работы различных датчиков влажности почв и управления ими.
- в) Проведено тестирование резистивного датчика на двух различных типах почвы.
- г) Проведено тестирование ёмкостного датчика на двух различных типах почвы.
- д) Изучены принципы работы модулей беспроводной передачи данных.
- е) Проведена апробация системы сбора и передачи данных с датчиков влажности почв в реальных условиях.
- ж) Проведены анализ полученных результатов и оформление работы.

Задачи данной научной работы выполнены в полном объеме. Решена проблема с организацией одновременной/последовательной работы радио модуля и модуля SD карты памяти. Так же оптимизирован программный код для упрощения работы микроконтроллера.

Проведена калибровка изготовленных датчиков влажности. Затем, после сборки финальной версии системы, проведена ее апробация в Сибирском ботаническом саду и были получены показатели влажности почвы за определенный период времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Портал об электрике – [Б. м.], 2009. – URL: <http://elektrik.info/main/automation/1083-datchiki-vlazhnosti-kak-ustroeny-i-rabotayut.html> (дата обращения: 8.10.2020).
2. Портал об устройстве умного дома – [Б. м.], – URL: <https://vashumnyidom.ru/komfort/uxod-za-rasteniyami-i-zhivotnymi/datchik-vlazhnosti-pochvy.html> (дата обращения: 10.10.2020).
3. Портал о цифровой электронике – [Б. м.], 2013. – URL: http://digitrode.ru/computing-devices/mcu_cpu/1863-arduino-i-lora-podklyuchaem-modul-sx1278-ra-02-k-arduino.html (дата обращения: 10.10.2020).
4. Портал о покупке компонентов в зарубежных магазинах – [Б. м.], – URL: <https://mysku.ru/blog/taobao/62489.html> (дата обращения: 1.11.2020).
5. Датчик влажности своими руками // Radio Blogs: Блог сообщество радиолюбителей. – [Б. м.], 2017. – URL: <https://radio-blogs.ru/blog/arduino/datchik-vlazhnosti-pochvy-svoimi-rukami> (дата обращения: 10.05.2021).
6. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ. Статья 209. Основные понятия. [Электронный ресурс.] – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/78f36e7afa535cf23e1e865a0f38cd3d230eef0/ (дата обращения: 14.01.2022);
7. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71362000/> (дата обращения: 14.01.2022);
8. СанПиН 2.2.2.542-96 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ. [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4294851/4294851476.pdf> (дата обращения: 14.01.2022);
9. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294817/4294817617.pdf> (дата обращения: 13.01.2022).

Приложение А
(справочное)
Программная документация

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет
Кафедра радиоэлектроники

**ПРОГРАММА ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРЕФЕРИЙНЫХ МОДУЛЕЙ
СИСТЕМЫ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ДАТЧИКА ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ**

СПЕЦИФИКАЦИЯ

РОФ.02068318.00001-01
Твердотельный накопитель

Листов 1

Руководитель ВКР
канд. физ.-мат. наук, доцент

Кулешов Г.Е. Кулешов

«18» января 2022 г.

Разработчик

А.С. Овчинников студент группы № 768
А.С. Овчинников

Томск – 2022

POΦ.02068318.00001-01

Приложение Б
(справочное)
Программная документация

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет
Кафедра радиоэлектроники


**ПРОГРАММА ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРЕФЕРИЙНЫХ МОДУЛЕЙ
СИСТЕМЫ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ДАТЧИКА ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ**

ТЕКСТ ПРОГРАММЫ

РОФ.02068318.00001-12-01
Твердотельный накопитель


Листов 7

Руководитель ВКР
канд. физ.-мат. наук, доцент

 Г.Е. Кулешов

«18» января 2022 г.

Разработчик
студент группы № 768

 А.С. Овчинников

Томск – 2022

АННОТАЦИЯ

В данном программном документе приведены тексты программ) предназначенных для работы датчиков и прочих модулей системы сбора и передачи данных с датчика влажности почв. Текст программы реализован в виде символической записи на исходном языке. Исходным языком данной разработки является C/C++.

Основной функцией программ является считывание необходимой информации из памяти модулей, а также передача команд управления модулям.

Оформление программного документа «Текст программы» произведено по требованиям ЕСПД (ГОСТ 19.101-77¹, ГОСТ 19.103-77², ГОСТ 19.104-78*³, ГОСТ 19.105-78*⁴, ГОСТ 19.106-78*⁵, ГОСТ 19.401-78⁶, ГОСТ 19.604-78*⁷).

¹ ГОСТ 19.101-77 ЕСПД. Виды программ и программных документов

² ГОСТ 19.103-77 ЕСПД. Обозначение программ и программных документов

³ ГОСТ 19.104-78* ЕСПД. Основные надписи

⁴ ГОСТ 19.105-78* ЕСПД. Общие требования к программным документам

⁵ ГОСТ 19.106-78* ЕСПД. Общие требования к программным документам, выполненным печатным способом

⁶ ГОСТ 19.401-78 ЕСПД. Текст программы. Требования к содержанию и оформлению

⁷ ГОСТ 19.604-78* ЕСПД. Правила внесения изменений в программные документы, выполненные печатным способом

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация	52
Содержание	53
Текст программы hum_soil.c	54

1. ТЕКСТ ПРОГРАММЫ HUM_SOIL.C

```

#include <SPI.h>
#include <GyverPWM.h>
#include <LoRa.h>
#include <SD.h>
#include <iarduino_RTC.h>
#include <Sleep_n0m1.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <avr/power.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <util/delay.h>
iarduino_RTC time (RTC_DS1302,5,7,6);//RST,CLK,DAT
//задать пины для Lora
#define ss 10
#define rst 3
#define dio0 2
#define SD_CS 4

File myFile;
Sleep sleep;
unsigned long sleepTime;
bool flag = false;
uint32_t freq = 4000; //частота в кГц
float hum;
float hum_approx;
union
{
    unsigned char x;
    signed short sgnsht;
} itob;
static uint8_t mydata[25];
uint8_t date;
uint8_t Month;
uint8_t Year;
uint8_t Hour;
uint8_t Min;
void setup() {
    sleepTime = 600000; // Максимальная длительность сна 49.7 дней
                        // 1с = 1000мс, 10с = 10.000мс, 1 мин = 60.000мс

```

```

// 10 мин = 600.000мс, 30 мин = 1.800.000мс, 1 час = 3.600.000 мс
time.begin(); // Включение счетчика времени ds1302
//time.settime(0,52,18,13,01,22,4); // 0 сек, 52 мин, 18 час, 13, января, 2022
года, четверг
Serial.begin(9600);
//pinMode (moisturePowerPin,OUTPUT);
LoRa.setPins(ss,rst,dio0);
Serial.println ("Initializing LoRa");
int counter = 0;
LoRa.begin(868E6);
LoRa.setSpreadingFactor(12);
LoRa.setTxPower(20);
LoRa.setSignalBandwidth(125E3);
if (counter==10){
//  readingID++;
Serial.println("Failed to init LoRa");
}
//LoRa.setSyncWord (0xF5);
Serial.println("Lora init OK!");
Serial.println("Init SD..");
pinMode(10, OUTPUT);
if (!SD.begin(4)) {
Serial.println("initerr!");
return;
}
if(SD.exists("dat.csv")) {
SD.remove("dat.csv");
}
Serial.println("initok.");
myFile = SD.open("dat.csv", FILE_WRITE);
if (myFile) {
myFile.print(String("Reading ID"));
myFile.print(";");
myFile.print(String("Humidity Y.E.));
myFile.print(";");
myFile.print(String("Humidity % "));
myFile.print(";");
myFile.println(String("DATE, TIME, DAY")); // Выводим время
myFile.close();
}
}

```



```

void loop (){
date = atoi(time.getTime("d"));
Month = atoi(time.getTime("m"));
Year = atoi(time.getTime("y"));
Hour = atoi(time.getTime("H"));
Min = atoi(time.getTime("i"));

//ИЗМЕРЕНИЯ
PWM_attach(9);
getReadings ();
PWM_default(9);
delay(1000);

//ОТПРАВКА
sendReadings ();
Serial.println("Sending results...");
//ЗАПИСЬ НА КАРТУ
writeReadings ();
delay(100);
sleep.pwrDownMode();
  sleep.sleepDelay(sleepTime);
}
void getReadings (){
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
  PWM_square_D9(freq*2000);
  Serial.println("freq = " + String(freq) + " kHz");
  hum = 0;
  for (uint16_t i = 0; i < 1000; i++) hum = hum + analogRead(A1);
  hum = hum / 1000;
  hum_approx = 100.03409 - 0.03409*exp((hum-656.5)/29.62039);
  if (hum_approx < 0) hum_approx = 0;
  // Serial.println("Number of reading " + String(readingID)+ "." + " Humidity " +
String(hum) + " = " + String(hum_approx) + "% " +String(Time));
}
void sendReadings () {
  mydata[0] = 0x7F;
  mydata[1] = 0x14;
  mydata[2] = 0x00;
  mydata[3] = 0x00;
  mydata[4] = 0x00;

```

```

    mydata[5] = date;
    mydata[6] = Month;
    mydata[7] = Year;
    mydata[8] = Hour;
    mydata[9] = Min;
    mydata[10] = 0x00;
    mydata[11] = 0x00;
    itob.sgnshrt = hum*10;
    mydata[12] = itob.sgnshrt;
    mydata[13] = itob.sgnshrt >> 8;
    for (uint8_t i = 14; i<=23; i++) mydata[i] = 0x00;
    mydata[24] = 0x64;
    for ( uint8_t i=0;i<=24; i++)
    { Serial.print(mydata[i], HEX);Serial.print(" ");}
    Serial.println();
    LoRa.beginPacket();
    LoRa.write(mydata, sizeof(mydata));
    LoRa.endPacket();
}
void writeReadings() {
    myFile = SD.open("dat.csv", FILE_WRITE);
    if (myFile) {
        //myFile.print(String(readingID));
        myFile.print(";");
        myFile.print(String(hum));
        myFile.print(";");
        myFile.print(String(hum_approx));
        myFile.print(";");
        myFile.println(String(time.gettime("d-m-Y, H:i:s, D")));
        myFile.close();
        Serial.println("Writing SD..");
        delay(100);
    } else {
        Serial.println("file error");
        myFile.close();
    }
}

```

Отчет о проверке на заимствования №1



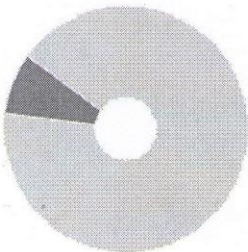
Автор: Овчинников Андрей
Проверяющий: Овчинников Андрей (ovthin@mail.ru / ID: 5145167)
Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - users.antiplagiat.ru

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 6
Начало загрузки: 18.01.2022 21:55:21
Длительность загрузки: 00:00:01
Имя исходного файла: Diplom_2021-2022_Ovchinnikov.pdf
Название документа: Diplom_2021-2022_Ovchinnikov
Размер текста: 56 кБ
Символов в тексте: 57265
Слов в тексте: 6941
Число предложений: 458

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Начало проверки: 18.01.2022 21:55:23
Длительность проверки: 00:00:06
Комментарии: не указано
Модули поиска: Интернет Free



ЗАИМСТВОВАНИЯ	САМОЦИТИРОВАНИЯ	ЦИТИРОВАНИЯ	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ
8,07%	0%	0%	91,93%

Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.
Самоцитирования — доля фрагментов текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа, по отношению к общему объему документа.
Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общеупотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.
Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.
Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.
Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которым шла проверка, по отношению к общему объему документа.
Заимствования, самоцитирования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.
Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в отчете	Доля в тексте	Источник	Актуален на	Модуль поиска	Блоков в отчете	Блоков в тексте
[01]	3,38%	3,94%	Датчики влажности - как устроены и работают http://elektrik.info	15 Июл 2018	Интернет Free	9	11
[02]	0,8%	3,58%	Сборник докладов конференции http://volpi.ru	23 Дек 2019	Интернет Free	4	19
[03]	1,69%	1,78%	https://esu.citis.ru/ikrbs/77DUVFUMKJCEAKGNL8FH9YXL https://esu.citis.ru	20 Мар 2018	Интернет Free	6	7

Еще источников: 7
Еще заимствований: 2,21%

Научный руководитель:
кандидат физ.-мат. наук, доцент
Кузешов Г.Е. Кузешов