

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (РГГМУ)

Кафедра экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

на тему Разработка цифровой аппаратуры для измерения влажности почвы

Исполнитель Ипатов Данил Олегович
Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
Чукин Владимир Владимирович
«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

доктор физико-математических наук, профессор
Кузнецов Анатолий Дмитриевич
«___» _____ 20___ г.

Содержание

| Введение | . 3 |
|---|----------------|
| 1 Методы и средства измерения влажности почвы | . 5 |
| 1.1 Контактные методы | . 5 |
| 1.1.1 Прямой метод определения влажности почвы | . 5 |
| 1.1.2 Косвенные методы определения влажности почвы | . 7 |
| 1.2 Дистанционные методы | . 8 |
| 1.2.1 Метод регистрации гамма-излучения почвы | . 8 |
| 1.2.2 Метод регистрации теплового электромагнитного излучения поч | 4- |
| вы | . 9 |
| 1.2.3 Метод регистрации деполяризации радиоволн при отражении | 1 |
| от поверхности почвы | . 12 |
| 2 Цифровые информационно-измерительные системы | . 16 |
| 2.1 Основные элементы микроконтроллеров | . 17 |
| 2.2 Принципы аналого-цифрового преобразования | . 19 |
| 2.3 Протоколы передачи цифровой информации | . 23 |
| 2.3.1 Передача данных по локальным шинам | . 24 |
| 2.3.2 Передача данных в компьютерных сетях | . 27 |
| 2.4 Технология передачи информации WiFi | . 30 |
| 3 Цифровая система измерения влажности почвы | . 33 |
| 3.1 Датчики влажности почвы | . 34 |
| 3.2 Микропроцессорный модуль Arduino Nano | . 35 |
| 3.3 Микроконтроллер ESP8266 | . 37 |
| 3.4 Алгоритм обработки данных измерений | . 38 |
| 3.4.1 Калибровка системы | . 39 |
| 4 Результаты измерений влажности почвы | . 41 |
| 4.1 Результаты корреляционного анализа данных контактных измере |) - |
| ний влажности почвы | . 41 |
| 4.2 Результаты сопоставления значений влажности почвы с призем | [- |
| ной относительной влажностью воздуха | . 42 |
| Список использованных источников | . 47 |
| | |

Введение

С тех времен, когда человек начал заниматься земледелием, было замечено что во влажной почве урожай больше и лучше, чем в сухой почве. Этот фактор дал толчок для поиска ответов на вопросы о влагосодержании почвы. В наше современное и продвинутое время до сих пор основным потребителем информации о влажности почвы является сельское хозяйство, где своевременное и точное определение влажности почвы позволяет уменьшить расходы водных ресурсов, в последствии уменьшая и предотвращая урон от неурожая в сельскохозяйственном производстве.

Целью данной работы является разработка цифровой системы для измерения влажности почвы. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Ознакомиться с методами измерения влажности почвы;
- Ознакомиться с цифровыми информационно-измерительными системами;
- Разобраться с микропроцессорным модулем Arduino Nano, датчиками влажности и микроконтроллером ESP8266;
 - Написать алгоритм для обработки данных измерений;
 - Проанализировать полученные данные измерений.

В первой главе рассматриваются различные методы и средства измерения влажности почвы, такие как контактные и дистанционные методы определения влажности почвы. Контактный метод измерения влажности почвы заключается в сравнении плотностей, масс, объемов и электрических проводимостей сухой почвы и влажной. Беспроводные методы определения влажности почвы основываются на регистрации физических и химических характеристиках исследуемой почвы, таких как регистрация гамма-излучения почвы, регистрация электромагнитного излучения почвы и регистрации деполяризации радиоволн при отражении от поверхности почвы.

Во второй главе описаны цифровые информационно-измерительные системы, основные элементы микроконтроллеров, принципы аналого-цифрового преобразования, протоколы передачи цифровой информации, передача данных по локальным шинам и в компьютерных сетях, а токже технология передачи информации WiFi.

В третьей главе представлена цифровая система измерений влажности почвы, кторая включает в себя описание датчиков и модулей используемых при контактном и при дистанционном измерении влажности почвы, конструкцию приемопередающей системы, алгоритмы обработки данных измерений.

В четвертой главе представлены результаты измерений влажности почвы. Полученные результаты влажности почвы сопоставляются с результатами приземной относитльной влажности воздуха, приводятся результаты калибровки прибора для определения влажности почвы.

1 Методы и средства измерения влажности почвы

Для определения влажности почвы существуют различные методы. Такое разнообразие объясняется тем, что человек и наука всегда стремились найти более точный, быстрый и простой способ определения требуемого параметра.

До появления современных приборов и технологий использовался контактный метод определения влажности почвы. После, когда новые технологии стали использоваться в метеорологии, а свойства земли и минералов содержащихся в ней позволили расширить диапазон измерений, появились дистанционные методы измерения влажности почвы [1].

1.1 Контактные методы

Контактные методы заключаются в непосредственном взаимодействии с почвой. Они разделяются на прямые методы и косвенные. Прямые методы основываются на извлечении воды из вещества и дальнейшем сравнении характеристик. В косвенных методах вычисляется величина, связанная с влажностью исследуемого материала. Косвенные методы требуют заранее проведенной калибровки с целью установления зависимости между параметрами влажности материала и измеряемой величиной. Все косвенные методы калибруются на основе данных, полученных прямым методом.

1.1.1 Прямой метод определения влажности почвы

В прямых методах производится разделение почвы на сухое вещество и влагу. Этот метод включает в себя измерение влагосодержания и влажности путем соотношения масс. Влагосодержанием называют абсолютную влажность, а под влажностью понимают относительную влажность. Полученная величина в обоих случаях является безразмерной.

Влагосодержание высчитывается следующим уравнением [2]:

$$V = \frac{M_{H_2O}}{M_{\text{CVX,IIOYB}}},\tag{1}$$

,где M_{H_2O} - масса воды, кг; $M_{
m cyx.почв}$ - масса сухой почвы, кг.

При необходимости выразить влагосодержание в процентах, формула принимает следующий вид:

$$V = \frac{M_{H_2O}}{M_{\text{сух.почв}}} 100\%$$
 (2)

Влагосодержание может принимать значения от 0% до бесконечности.

Влажность высчитывается следующим уравнением:

$$W = \frac{M_{H_2O}}{M_{\text{влажн.почв}}},\tag{3}$$

, где M_{H_2O} - масса воды, кг; $M_{\rm влажн.почв}$ - масса влажной почвы, кг.

Так же как и влагосодержание, влажность можно выразить в процентах:

$$W = \frac{M_{H_2O}}{M_{\text{влажн почв}}} 100\% \tag{4}$$

Влажность может принимать значения от 0 до 100%.

Наиболее популярным является термогравиметрический метод. Взвешивания производят на технических весах первого класса с точностью 0.01 г. Первым взвешивается исследуемый образец почвы массой примерно 5 г, просеянной через специальное сито с отверстиями 1 мм. Образец почвы помещается в специальный сушильный шкаф, где на протяжении 3 часов сушат почву при температуре 100-105 °C. По истечении нужного срока почву охлаждают и взвешивают, и снова помещают в сушильный шкаф, но уже на 2 часа. Такие измерения производятся до тех пор, пока масса высушенного образца почвы не будет отличаться от предыдущего значения, или отличие составляло бы не более 0.01 г.

Способ сушки можно ускорить, помещая образец почвы в сушильный шкаф при температуре 150-160 °C. При такой температуре влага будет удалятся значительно быстрее, но точность анализа будет ниже, так как при этой температуре процессы окисления и распада органического вещества будут происходить интенсивнее, чем при температуре 100-105 °C [1].

Вместо сушительного шкафа для сушки также используют теромизлучатели и электрические осветительные лампы.

Так же существуют и другие методы определения влажности почвы:

- экстракционные методы основаны на извлечении влаги из исследуемого образца почвы водопоглощающей жидкостью (диоксан, спирт) и определении ха-

рактеристик жидкого экстракта, зависящих от его влагосодержания: плотности, показателя преломления, температуры кипения или замерзания;

- пикнометрический метод: определение плотности объемным методом, с помощью помещения почвы в жидкости разного удельного веса или же дополнительное увлажнение до водоудерживающей способности. Данный метод является больше лабораторным и менее точным, чем термогравиметрический [1].

1.1.2 Косвенные методы определения влажности почвы

Косвенные методы - это методы, где используются физические характеристики почвы, зависящие от влажности или ее среды. В этих методах оценка влажности материала определяется по изменению различных его свойств. К ним относятся механические методы, основанные на измерении изменяющихся с влажностью механических характеристик твердых материалов. Такие методы требуют заранее проведенной калибровки прибора с целью установления зависимости между влажностью почвы и исследуемой физической величиной.

Примеры косвенных методов определения влажности:

- гигрометрические методы, основаны на взаимосвязи относительной влажности воздуха в поровом пространстве и влагосодержанием почвы, путем определения влажности с помощью температуры точки росы в поровом пространстве почвы; разности температур сухого и смоченного термометров; деформации водопоглощающих материалов, помещенных в почву и набухающих от содержания влажности. Преимущество данного метода пригоден при малых значений влагосодержания;
- в электрических методах рассматривается зависимость электрических свойств почвы от изменения влажности: электропроводность, диэлектрическая проницаемость, а также диэлектрическая проницаемость буферной промежуточной среды влагообменника, взаимодействующего с окружающей его почвой. Проблема использования этого метода заключается в том, что электрическое сопротивление земли зависит не только от ее влагосодержания, но и от химического состава, плотности, температуры почвенных растворов, плохого контакта между электродами и почвой, процесса градуировки;
- определение влажности во взятых образцах почвы по поглощению радиоизлучений заключается в следующем: между радиопередатчиком и приемником

размещают воду или влагосодержащий материал. Ослабление радиосигнала, воспринимаемого радиоприемником, напрямую зависит от толщины материала и его плотности, а так же влажности. Применительно к почве, метод имеет небольшие ограничения из-за ее большой неоднородности, этот фактор требует градуировки прибора на каждой почве при стандартном ее уплотнении. Искажения результатов может быть связано и с наличием различных металлических примесей.

1.2 Дистанционные методы

Дистанционные методы осуществляются съемкой или производством измерений на поверхности Земли без физического контакта с поверхностью, осуществляемая с помощью летательного аппарата или наземной платформы с находящимися на них системами регистрации электромагнитного или гравитационных полей и определенного диапазона радиоизлучений с выдачей информации в виде сигналов, графиков и кривых спектральной яркости. На территориях с разряженным и низким покровом растительности, влажность почвы достаточно отчетливо проявляется на снимках. Теоретические основы космических и аэрометодов исследования земной поверхности применительно к определению влажности верхнего слоя почвы рассмотрены во многих работах [3, 4, 5, 6], однако применение данных методов в сельском хозяйстве является технически сложным из-за дорогостоящего оборудования.

Одной из важнейших частей дистанционного зондирования является анализ изображений. Такой способ анализирования может выполняться визуально, с помощью компьютера, а ткаже целиком и полностью компьютером.

Существуют следующие средства и методы измерения влажности почвы дистанционным способом: метод регистрации гамма-излучения почвы, метод регистрации теплового электромагнитного излучения почвы и метод регистрации деполяризации радиоволн при отражении от поверхности почвы.

1.2.1 Метод регистрации гамма-излучения почвы

Данный метод основан на измерении степени ослабления гамма-излучения естественных радиоактивных элементов, таких как калий и продуктов распада урана и тория, повсеместно содержащихся в почве. Над земной поверхностью эти

элементы создают поле гамма-излучения с интенсивностью, которая зависит от радиоактивности почвы и количества влаги в ней. Выполнив измерения с сухой почвой, а после во влажной можно рассчитать количество воды в грунте [7].

Рассмотрим применение этого метода на опыте самолетной гамма-съемки влажности почв в агрометеорлогических исследованиях. Особенностью таких съемок является необходимость произведения измерений на очень коротких маршрутах, охватывающих отдельные сельскохозяйственные поля [8]. Для экспериментальных работ использовался самолет Ан-2 и поля с различными сельскохозяйственными культурами. Измерения проводились на высотах 20-25 м от поверхности Земли и длиной пути 500-900 м. Самолет был оборудован многоканальным амплитудным гамма-спектрометром и двумя разнонаправленными детекторами на монокристаллах NaI(Tl) размером 150х100 мм каждый. Первый детектор обеспечивал измерение гамма-квантов снизу (угол полураствора 75° - нижний детектор), второй - сверху (угол полураствора 25° - верхний детектор). Использование разнонаправленных детекторов позволяет исключать влияние фона помех непосредственно в процессе гамма-съемки. Самолетные измерения сопровождались контрольными наземными определениями влажности почв по термостатно-весовому способу, пробы для которого брались послойно до глубины 0.5 м.

Проведенные измерения показали, что точность измерения влажности почв в рассмотренном выше способе гамма-съемки существенно зависит от отклонения вертикального распределения радиоактивных элементов в толще почв от однородного [8].

1.2.2 Метод регистрации теплового электромагнитного излучения почвы

Тепловое (инфракрасное) излучение – является частью оптического излучения и располагается в спектре электромагнитных колебаний на протяженной области, примыкая с одной стороны к видимому (красному) излучению $\lambda=0.76$ мкм, а с другой – к электромагнитным колебаниям радиодиапазона $\lambda=1$ мм , как видно на рисунке 1.1.

Согласно современным представлениям любое нагретое тело испускает тепловые (инфракрасные) лучи, точно так же, как всякий святящийся объект испускает световые лучи. Все окружающее нас пространство пронизано инфракрасным излучением. Каждую взятую точку на поверхности нагретого тела можно пред-

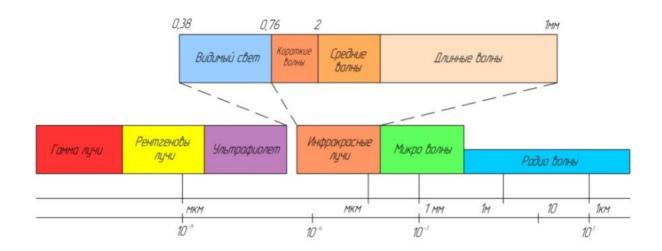


Рисунок 1.1 — Спектр электромагнитного излучения [1]

ставить как центр, из которого испускается инфракрасное излучение во всех направлениях и, к которому поступает инфракрасное излучение из окружающего пространства. Иными словами, любое тело постоянно излучает теплоту от окружающих его тел. Отношение между этими количествами теплоты определяет температуру тела.

В дневное время излучение поверхности земли состоит из рассеяного и отраженного солнечного света и собственного теплового излучения. Спектральная характеристика такого излучения имеет два максимума: первый при длине волны $\lambda=0.5$ мкм (солнечное излучение), второй - при длине волны $\lambda=10$ мкм (собственное излучение, которое соответствует температуре поверхности 280К). Минимум между этими двумя максимами приходится на длину волны 3,5 мкм.[1]

При $\lambda < 4$ мкм большая часть излучения обусловлена отраженной солнечной радиацией, интенсивность которой зависит от облачности, положения Солнца и коэффициента отражения земного покрова.

В диапазоне $\lambda=4-40$ мкм спектральная кривая излучения наземного фона очень близко совпадает с кривой излучения абсолютно черного тела с такой же температурой. Это излучение сильно поглощается и только в "окне пропускания" от 8 до 14 мкм уходит в мировое пространство без каких-либо задержек. [10]

Собственное излучение поверхности земли в видимом диапазоне спектра практически отсутствует, как видно из рисунка 1.2.

Экспериментально установлено, что отраженное и рассеяное солнечное излучение доминирует в диапазоне длин волн менее 3 мкм. В этом диапазоне, как

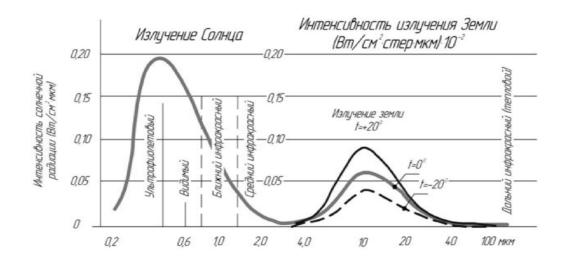


Рисунок 1.2 — Интенсивность излучения Солнца и Земли

правило, можно пренебречь собственным тепловым излучением фонов. В диапазоне длин волн более 4 мкм, наоборот, преобладает собственное тепловое излучение фонов и можно пренебречь отраженным солнечным излучением [10]. В этом диапазоне инфракрасного излучения очтетливо наблюдается ярко выраженный минимум яркости фоновых образований.

Для регистрации электромагнитного излучения используют пироэлектрические датчики. Пироэлектрический датчик – это приемник, использующийся для преобразования длинноволнового инфракрасного излучения (с длиной волны 3 – 20 мкм) в электрические сигналы. Существуют множество видов пироэлектрических датчиков. Самые простые имеют принцип термоконденсатора и могут только сформировать импульс при изменении температурной обстановки в поле зрения. Они не способны зафиксировать постоянную составляющую инфракрасного излучения, из-за чего используются восновном в охранных сигнализациях.

Рассмотрим принцип работы пироэлектрического датчика на примере датчика типа термобатареи MLX90614 с цифровым выходом [11]. Такие датчики имеют хороший угол обзора чувствительного элемента. Типичным углом обзора является ± 45 градусов, но встречаются датчики с обзором от ± 15 до ± 90 градусов. Пироэлектрические датчики оформляются в цилиндрический или прямоугольный металлический корпус с тремя или четырьмя медными лужеными проволочными выводами. На плоском торце корпуса, противоположном стороне выводов, расположено прямоугольное или круглое окошко, закрытое кварцевым или стеклянным

фильтром, пропускающим в основном инфракрасные лучи в диапазоне от 5.5 до 14 мкм.

Чувствительным элементом служит конденсатор - пластина из пироэлектрика с металлическими обкладками. Пироэлектрический эффект обусловлен как самими физическими свойствами пироэлектрика (кристалла), так и конструкцией датчика, в которой чередуются несколько слоев специальной керамики созданной на основе селенида свинца, с противоположными знакопеременными электрическими свойствами. На одну из обкладок нанесен слой вещества, который может поглощать электромагнитное инфракрасное излучение. В результате поглощения энергии температура пластины конденсатора увеличивается и между обкладками появляется напряжение строго определенной полярности. Будучи приложенным к участку затвор-исток встроенного полевого транзистора, напряжение вызывает изменение сопротивления его канала. Выходной сигнал снимают с внешнего разгрузочного резистора, который включен в цепь стока транзистора. Через некоторое время, независимо от того, продолжает действовать на датчик тепловое излучение или нет, конденсатор разряжается через сопротивление утечки, после чего выходной сигнал падает до нуля. Спектральная чувствительность датчика формируются за счет поглощающей способности материала, которым покрыты пластины пироэлектрика [12]. На рисунке 1.3 изображены различные спектральные характеристики пироэлектрических датчиков.

1.2.3 Метод регистрации деполяризации радиоволн при отражении от поверхности почвы

С точки зрения распространения радиоволн грунты представляют собой среду, обладающую сильным поглощением. Сильное взаимодействие радиоволн с грунтами используется в геофизических исследованиях для их зондирования. Экспериментально установлено, что в диапазоне частот от 20 Гц до 10 ГГц в грунтах возможно появление всех видов релаксационной поляризуемости [14].

Электрофизические свойства почвы в первом приближении могут быть описаны как свойства смеси по так называемой рефракционной модели, согласно которой

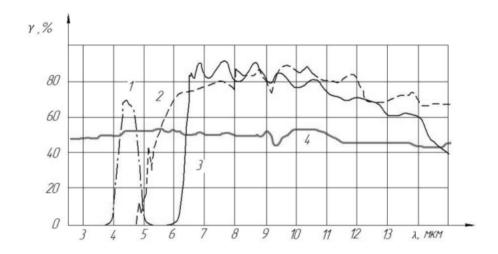


Рисунок 1.3 — Относительная спектральная чувствительность пироэлектрических датчиков: 1 - для обнаружения пламени; 2,3 - для фиксации движения человека; 4 - для использования в дистанционных измерителях температуры

$$n^* = \sum_{j} n_j^* v_j \tag{5}$$

где v_j - относительное объемное содержание j-й компоненты с показателем преломления n_j^* . В числе всех компонент наибольшее влияние на свойства грунтов оказывает объемное содержание воды v, т.е. влажность почвы. Эксперименты с почвами различной влажности позволили выявить три области наличия резонансного поглощения [13]. Первая из них, соответствующая релаксационному поглощению льда, наблюдается при отрицательных температурах почв и приходится на частоту порядка 1 кГц. Вторая область связана с релаксационным поглощением диполями связанной воды и приходится на диапазон около 100 кГц. Третий максимум поглощения электромагнитного поля, находящийся в диапазоне порядка 1 ГГц, определяется свойствами свободной воды в почве.

По мере увлажнения почвогрунтов состояние воды изменяется коренным образом. Сначала при ее малом количестве она находится только в химическом или механическом связанном состоянии, когда молекулы воды вступают в химические связи с молекулами грунтов или когда тонким слоем покрывают поверхности твердых компонент грунта и находятся под значительным влиянием сил поверхностного натяжения, это - так называемая связанная вода. Затем при увеличении

ее количества в почве вода начинает находится уже в свободном состоянии, в результате заметно изменяются электрофизические свойства грунта в целом.

На рисунке 1.4 приведены экспериментальные частотные зависимости электрофизических свойств обыкновенного чернозема при температуре $t=20^{\circ}\mathrm{C}$ для 5 различных влажностей: 1 - абсолютно сухого состояния (v=0%), 2 - состояния гигроскопической влаги (v=4.3%), 3 - максимальной гигроскопической влаги (v=9.1%), 4 - максимально молекулярной влагоемкости (v=13.5%), 5 - наибольшей влагоемкости (v=28.5%).

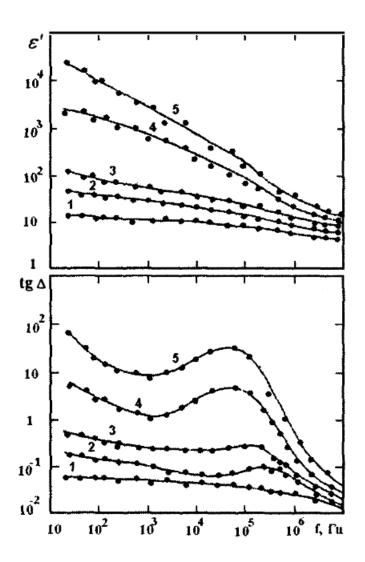


Рисунок 1.4 — Спектральная зависимость вещественной части диэлектрической проницаемости (ϵ') и тангенса угла потерь $(tg\Delta)$ обыкновенного чернозема при различной влажности v [7]

На рисунке 1.4 приведены значения комплексной диэлектрической проницаемости почвы в случае малого и большого содержания влаги. Видно, что при

накоплении воды диэлектрическая проницаемость увеличивается характерным образом [14].

В заключении первой главы можно сказать, что влажность является одним из важнейших показателей качества почвы при производстве продукции растениеводства. Содержание влаги в почве является ключевым фактором. Существуют приборы и методы для измерений влажности почвы в полевых условиях, основанные на физических свойствах почвы и влаги. Используемые методы имеют различную трудоемкость и погрешность. В связи с быстрым совершенствованием технологических процессов производства сельскохозяйственной продукции появляется необходимость в измерении влажности в режиме реального времени. Для осуществления оперативных измерений влажности почвы необходимо применять дистанционные методы [1].

2 Цифровые информационно-измерительные системы

Основной тенденцией развития измерений в автоматизированном производстве является переход от машинного контроля по адаптивным моделям, к применению более сложных и современных управляющих и информационно-измерительных систем.

В связи с этой тенденцией резко возрастает количество метрологических характеристик измерительных каналов, которые учитывают метрологические характеристики не только всех включенных в измерительный канал блоков, но и временные влияния каналов друг на друга [15].

Измерительные информационные технологии являются разновидностью информационных технологий и выделяются из этого обширного множества тем, что носят очевидный познавательный характер и используют специфические процедуры, присущие только им:

- получение исходной измерительной информации в результате взаимодействия первичных измерительных преобразователей (сенсоров) с объектом измерений;
- преобразование измерительной ифнормации с заданной и гарантированной точностью;
- сопоставление сигналов измерительной информации с размерами общепринятых едениц измерения, представление и оценка характеристик остаточной неопределенности значений измеряемых велечин [15].

Современные измерительные информационные технологии приобретают дополнительные свойства благодаря использованию аппаратных и программных средств искуственного интеллекта. Одной из важнейших задач развития измерительных информационных технологий является расширение номенклатуры измеряемых велечин.

Решение таких задач связано с усложнением структуры используемых для измерений средств, созданием комплексов взаимосвязанных средств измерений и тенических средств, необходимых для их функционирования. Современные объекты исследования можно характеризовать большим количеством требуемых параметров, изменяющихся с большой скоростью.

Развитие информационно-измерительных систем целесообразно рассматривать в двух аспектах: структурном и функциональном. Первый отражает интегрирование различных подсистем, масштабное использование средств вычислительной техники, что приводит к образованию систем с гибкой структурой. Второй аспект характеризует быстрый рост числа функций, выполняемых системой [15].

По организации алгоритма функционирования системы различают по следующим видам:

- с заданным заранее алгоритмом работы, правила функционирования которых не меняются, поэтому они используются только для исследования объектов, работающих в постоянном режиме;
- программируемые, алгоритм работы которых может меняться по заданной программе, составленной в соответствии с условиями функционирования объекта исследования;
- адаптивные, алгоритм работы которых, а в ряде случаев и структура, изменяются, приспосабливаясь к изменениям измеряемых велечин и условий работы объекта.

Информационно-измерительные системы делятся на:

- системы последовательного действия, где один датчик последовательно помещается в поле однородных физических велечин;
- системы параллельного действия, имеют множество датчиков, каждый из которых измеряет свою физическую велечину.

2.1 Основные элементы микроконтроллеров

Микроконтроллер это небольшая микросхема, на кристалле которой собран "микрокомпьютер". Основное назначение микроконтроллеров - это управление различными электронными устройствами. Они используются не только в персональных компьютерах, но и почти во всей бытовой технике, автомобилях, телевизорах. Можно сказать, что микроконтроллер это универсальный инструмент управления электронными устройствами, где алгоритм управления закладывается самостоятельно пользователем и может меняться в любое время в зависимости от задачи, в которой используется микроконтроллер.

В настоящее время существует большое множество различных платформ и семейств микроконтроллеров, однако применение, назначение и суть их функцио-

нирования почти всегда одинакова. Рассмотрим основные структурные элементы микроконтроллера, которые представлены на рисунке 2.1:

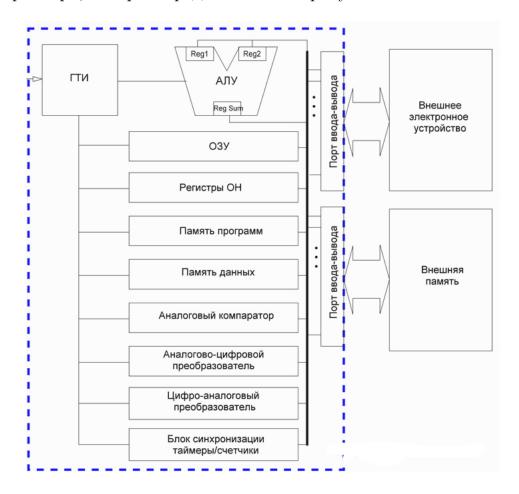


Рисунок 2.1 — Структурная схема микроконтроллера [15]

- арифметико-логическое устройство (АЛУ) предназначено для выполнения логических и арифметических операций, в совокупности с регистрами общего назначения это устройство выполняет функции процессора;
- оперативно-запоминающее устройство (O3У) предназначено для временного хранения данных при работе микроконтроллера;
- память программ выполнена в виде перепрограммируемого постоянного запоминающего устройства и предназначена для записи микропрограммы управления микроконтроллером, так называемая прошивка;
- память данных используется в некоторых микроконтроллерах в качестве памяти для хранения всех возможных констант, табличных значений функций и т.д.

Микроконтроллер может иметь в своем составе и другие вспомогательные элементы.

- аналоговый компаратор предназначен для сравнения двух аналоговых сигналов на его входах;
- таймер применяется в микроконтроллерах для установки различных интервалов времени и осуществления различных задержек в работе микроконтроллера;
- аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) необходим для ввода аналогового сигнала в микроконтроллер и его функция перевести аналоговый сигнал в цифровой;
- цифрово-аналоговый преобразователь (ЦАП) выполняет обратную функцию, то есть сигнал из цифрового преобразует в аналоговый вид.

Работа микроконтроллера синхронизируется тактовыми импульсами с генератора и управляется устройством управления микроконтроллера. Путем программирования микроконтроллера можно отключать или подключать составные устройства внутри самого микроконтроллера, задавая свои собственные алгоритмы работы этих устройств.

2.2 Принципы аналого-цифрового преобразования

Для преобразования любого аналогового сигнала (звука, изображения) в цифровую форму необходимо выполнить три основных операции:

- дискретизацию;
- квантование;
- кодирование.

Дискретизация - представление непрерывного аналогового сигнала последовательностью его значений (отсчетов). Эти отсчеты регестрируются в моменты времени, отделенные друг от друга интервалом, который называется интервалом дискретизации. Величину, обратную интервалу между отсчетами, называют частотой дискретизации. На рисунке 2.2 показаны исходный аналоговый сигнал и его дискретизированная версия. Предпологается, что сигналы являются телевизионными видеосигналами одной строки, одинаковыми для всего телевизионного растра.

Ступенчатая структура дискретизированного сигнала может быть сглажена с помощью фильтра нижних частот. Таким образом и осуществляется восстановление аналогового сигнала из дискретизированного. Но восстановление будет

Дискретивация

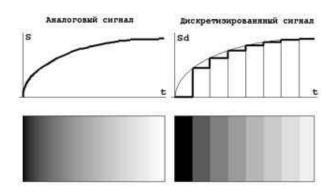


Рисунок 2.2 — Аналого-цифровой преобразование. Дискретизация [15]

точным только в том случае, если частота дискретизации как минимум в 2 раза превышает ширину полосы частот исходного аналогового сигнала. Дело в том, что в результате дискретизации в частотном спектре сигнала появляются дополнительные компоненты, располагающиеся вокруг гармоник частоты дискретизации в диапазоне, равном удвоенной ширине спектра исходного аналогового сигнала. Если максимальная частота в частотном спектре аналогового сигнала превышает половину частоты дискретизации, то дополнительные компоненты попадают в полосу частот исходного аналогового сигнала. В этом случае уже нельзя восстановить исходный сигнал без искажений. Это правило вытекает из теоремы Котельникова.

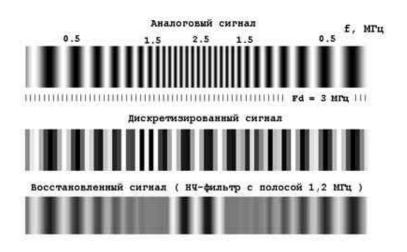


Рисунок 2.3 — Аналого-цифровой преобразование. Искажение
дискретизации [15]

Пример искажений дискретизации приведен на рисунке 2.3. Аналоговый сигнал содержит волну, частота которой сначала увеличивается от 0.5МГц до 2.5МГц, а затем уменьшается до 0.5МГц. Этот сигнал дискретизируется с часто-

той 3 МГц. На рисунке 2.3 последовательно приведены изображения: исходный аналоговый сигнал, дискретизированный сигнал, восстановленный после дискретизации аналоговый сигнал. Восстанавливающий фильтр нижних частот в данном примере имеет полосу пропускания 1.2МГц. Как видно, низкочастотные компоненты (меньше1МГц) восстанавливаются без искажений. Волна с частотой 1.5МГц исчезает и превращается в относительно ровное поле. Волна с частотой 2.5МГц после восстановления превратилась в волну с частотой 0.5МГц. Эти диаграммыкартинки иллюстрируют искажения, связанные с недостаточно высокой частотой пространственной дискретизации изображения.

Квантование - представляет собой замену величины отсчета сигнала ближайшим значением из набора фиксированных величин - уровней квантования. Другими словами, квантование - это округление величины отсчета. Уровни квантования разделяют весь диапазон возможного изменения значений сигнала на конечное число интервалов - шагов квантования. Расположение уровней квантования обусловлено шкалой квантования. Используются как равномерные, так и неравномерные шкалы. На рисунке 2.4 показаны исходный аналоговый сигнал и его квантованная версия, полученная с использованием равномерной шкалы квантования, а также соответствующие сигналам изображения [15].

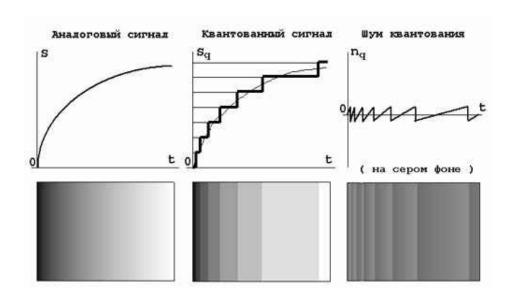


Рисунок 2.4 — Аналого-цифровой преобразование. Квантование [15]

Искажения сигнала, возникающие в процессе квантования, называют шумом квантования. При инструментальной оценке шума вычисляют разность между исходным сигналом и его квантованной копией, а в качестве объективных пока-

зателей шума принимают, например, среднеквадратичное значение этой разности. Временная диаграмма и изображение шума квантования также показаны на рисунке 2.4 (изображение шума квантования показано на сером фоне). В отличие от флуктуационных шумов шум квантования коррелирован с сигналом, поэтому шум квантования не может быть устранен последующей фильтрацией. Шум квантования убывает с увеличением числа уровней квантования.

Кодирование - квантованный сигнал, в отличие от исходного аналогового, может принимать только конечное число значений. Это позволяет представить его в пределах каждого интервала дискретизации числом, равным порядковому номеру уровня квантования. В свою очередь это число можно выразить комбинацией некоторых знаков или символов. Совокупность знаков (символов) и система правил, при помощи которых данные представляются в виде набора символов, называют кодом. Конечная последовательность кодовых символов называется кодовым словом. Квантованный сигнал можно преобразовать в последовательность кодовых слов. Эта операция и называется кодированием.

Каждое кодовое слово передается в пределах одного интервала дискретизации. Для кодирования сигналов звука и изображения широко применяют двоичный код. Если квантованный сигнал может принимать N значений, то число двоичных символов в каждом кодовом слове $n = \log 2N$. Один разряд, или символ слова, представленного в двоичном коде, называют битом. Обычно число уровней квантования равно целой степени числа 2, т.е. N = 2n.

Кодовые слова можно передавать в параллельной или последовательной формах, как показано на рисунке 2.5. Для передачи в параллельной форме надо использовать n линий связи (в примере, показанном на рисунке, n=4). Символы кодового слова одновременно передаются по линиям в пределах интервала дискретизации. Для передачи в последовательной форме интервал дискретизации надо разделить на n подинтервалов - тактов. В этом случае символы слова передаются последовательно по одной линии, причем на передачу одного символа слова отводится один такт. Каждый символ слова передается с помощью одного или нескольких дискретных сигналов - импульсов. Преобразование аналогового сигнала в последовательность кодовых слов поэтому часто называют импульсно-кодовой модуляцией.

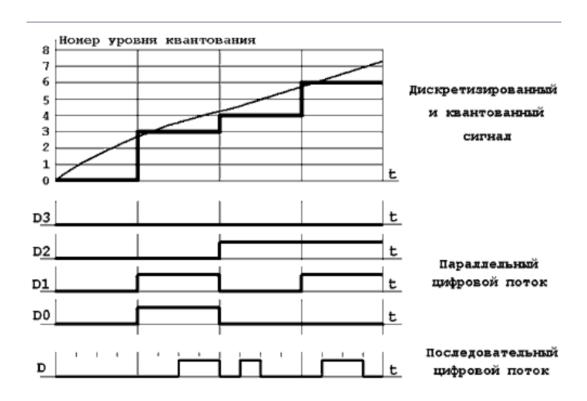


Рисунок 2.5 — Аналого-цифровой преобразование [15]

Операции, связанные с преобразованием аналогового сигнала в цифровую форму (дискретизация, квантование и кодирование), выполняются одним устройством - аналого-цифровым преобразователем. Сейчас аналого-цифровой преобразователь может быть просто интегральной микросхемой. Сейчас существуют технические возможности для реализации всех обработок сигналов звука, изображения, датчиков, в цифровой форме. Однако в качестве датчиков сигнала используются аналоговые устройства. Поэтому аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи являются неотъемлемой частью цифровых систем.

2.3 Протоколы передачи цифровой информации

Протоколы передачи данных это совокупность соглашений, который определяет обмен цифровыми данными между различными прораммами. Протоколы задают способы передачи сообщений и обработки ошибок в сети, а также позволяют разрабатывать стандарты, не привязанные к конкретной аппаратной платформе.

Сетевой протокол представляет собой набор правил, позволяющий выполнять соединение и обмен цифровыми данными между двумя и более включенными в сеть устройствами.

Разные протоколы часто описывают лишь различные стороны одного типа связи, а взятые вместе, они образуют стек протоколов. Названия "протокол" и "стек протоколов" также указывают на программное обеспечение, которым реализуется протокол [16].

Наиболее распространенной системой классификации сетевых протоколов является модель OSI (Open System Interconnection - взаимодействие открытых систем, BOC), в соответствии с которой протоколы разделяются на семь уровней по своему назначению - от физического (формирование и распознавание электрических или других сигналов) до прикладного (API для передачи информации приложениями).

Сетевые протоколы предписывают правила работы компьютерам, которые подключены к сети. Они строятся по многоуровнему принципу. Протокол определенного уровня задает одно из технических правил связи.

Модель OSI - это семиуровневая логическая модель работы сети [17]:

- на физическом уровне определяются физические (механические, электрические, оптические) характеристики линии связи;
- на канальном уровне определяются правила использования физического уровня узлами сети;
 - сетевой уровень отвечает за адресацию и доставку сообщений;
- транспортный уровень контролирует очередность прохождения компонентов сообщения;
- задача сеансового уровня координация связи между двумя прикладными программами, работающими на рабочих станциях;
- уровень представления служит для преобразования данных из внутреннего формата компьютера в формат передачи;
- прикладной уровень обеспечивает удобный интерфейс связи сетевых программ пользователя. Этот уровень является пограничным между прикладной программой и другими уровнями.

2.3.1 Передача данных по локальным шинам

Локальная шина (local bus) обеспечивает непосредственный доступ микропроцессора к периферийным устройствам, минуя системную шину. Шина работает с частотой, соответствующей частоте процессора. Передачей данных управляет не

центральный процессор, а плата расширения (мост), который высвобождает микропроцессор для выполнения других работ. Локальная шина обслуживает наиболее быстрые устройства: память, дисплей, дисковые накопители (обслуживание сравнительно медленных устройств - мышь, модем, принтер и др.- производится системной шиной типа ISA, EISA). Наибольшее распространение получили две локальные шины VL-Bus и PCI.

Шина VL-Bus является как бы продолжением процессорной шины. Стандарт шины VL 1.0 поддерживает 32-разрядный тракт данных. Стандарт 2.0 рассчитан на 64-битовую шину.

Известны два промышленных стандарта локальных шин: шина VL-bus (или VLB), предложенная ассоциацией VESA (Video Electronics Standards Association), и шина PCI (Peripheral Component Interconnect), разработанная фирмой Intel. Обе эти шины позволяют таким периферийным устройствам, как видеоадаптеры и контроллеры накопителей, работать с тактовой частотой до 66 МГц и выше.

Если VL-bus является, по сути, расширением шины процессора, то PCI по своей организации более тяготеет к системным шинам. В качестве устройств, подключаемых к VL-bus, выступают контроллеры накопителей, видеоадаптеры и сетевые платы. Конструктивно VL-bus выглядит как короткий соединитель типа МСА (112 контактов), установленный, например, рядом с разъемами расширения ISA или EISA. При этом 32 линии используются для передачи данных и 30 — для передачи адреса. Максимальная скорость передачи по шине VL-bus теоретически может составлять около 130 Мбайт/с. Стандарт VL-bus (версия 2) предусматривает использование 64-разрядной шины данных и увеличение количества разъемов расширения (предположительно, три разъема на 40 МГц и два на 50 МГц). Скорость передачи теоретически составляет 400 Мбайт/с. Количество подключаемых устройств обычно не превышает 2–3.

Шина PCI (взаимосвязь периферийных компонентов) занимает особое место в архитектуре ПК, являясь мостом между локальной шиной процессора и шиной ввода/вывода ISA/EISA и MCA (мост PCI связывает ЦП, память и шину PCI).

Спецификация шины PCI обладает несколькими преимуществами перед основной версией VL-bus. Так, использовать PCI можно вне зависимости от типа процессора. Именно поэтому данная шина может использоваться и в иных ком-

пьютерных платформах. К шине PCI могут подключаться до 10 устройств. В отличие от VL-bus, шина PCI работает на фиксированной тактовой частоте 33 МГц и предусматривает режим автоконфигурации адаптеров. В компьютерах на базе процессоров Pentium используется в основном шина PCI [17].

Наравне с вышеперчисленными шинами, большим спросом пользуется двух-проводная последовательная шина I^2C . При передаче данных по шине I^2C одно устройство является "ведущим", которое инициирует передачу данных и формирует сигналы синхронизации. Другое устройство "ведомое", которое может передачу данных только по команде "ведущего" устройства шины. Каждое устройство на шине I^2C имеет уникальный адрес. Когда "ведущий" ининциирует передачу данных, то сначала передается адрес устройства, к которому выполняется обращение. Остальные устройства проверяют переданный "ведущим" адрес устройства. "Ведомый" и "ведущий" шины всегда находятся в противоположном режиме работы.

При отсутствии передачи данных на шине I^2C , сигнал синхронизации (SCL) и данных (SDA) имеют высокий логический уровень за счет подтягивающих резисторов. Биты START и STOP формируются ведущим для определения начала и окончания передачи данных, соответственно. Бит START формируется переходом сигнала SDA из высокого уровня в низкий при высоком уровне сигнала SCL. Бит STOP формируется переходом SDA из низкого уровня в высокий при высоком уровне SCL. На рисунке 2.6 показано формирование битов START и STOP. "Ведущий" шины формирует биты START и STOP для указания начала и завершения передачи данных. При передаче данных сигнал SDA может изменяться только, когда SCL имеет низкий логический уровень [18].

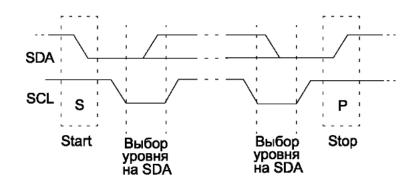


Рисунок 2.6 — Биты START и STOP [16]

Шины SPI и I^2C имеют свои преимущества. Шина SPI имеет простой протокол передачи на физическом уровне, что дает высокую надежность и быстродействие передачи; все линии являются однонаправленными, что упрощает решение задачи преобразования уровней; простота программной реализации протокола SPI. Преимущества шины I^2C в том, что шина остается двухпроводной, независимо от количества подключенной к ней микросхем; возможность многофункциональной работы, когда к шине подключено несколько "ведущих" микросхем; протокол I^2C является более стандартизованным, поэтому, пользователь I^2C -микросхем более защищен от проблем несовместимости выбранных компонентов.

2.3.2 Передача данных в компьютерных сетях

Для передачи данных в компьютерных сетях используют набор сетевых протоколов передачи данных TCP/IP. Протоколы TCP/IP соответствуют четырехуровневой модели, где каждый уровень соответствует одному или нескольким уровням модели OSI.

Протокол TCP/IP - это два протокола нижнего уровня, являющиеся основой связи в сети Интернет. Принцип работы заключается в следующем: протокол TCP (Transmission Control Protocol) разбивает передаваемую информацию на порции и нумерует все порции, с помощью протокола IP (Internet Protocol) все части передаются получателю, далее с помощью протокола TCP проверяется, все ли части получены, и при получении всех порций TCP располагает их в нужном порядке и собирает в единое целое [16].

Основные протоколы стека TCP/IP:

- 1) Прикладной уровень обеспечивает приложениям доступ к сервисам других уровней и определяют протоколы, по которым приложения могут обмениваться данными На этом уровне предусмотрено много протоколов и постоянно разрабатываются новые:
- Telnet протокол эмуляции терминала, используется для регистрации на удаленных компьютерах;
- FTP (File Transport Protocol) протокол передачи файлов со специального файлового сервера на компьютер пользователя. FTP дает возможность абоненту обмениваться двоичными и текстовыми файлами с любым компьютером

сети. Установив связь с удаленным компьютером, пользователь может скопировать файл с удаленного компьютера на свой или скопировать файл со своего компьютера на удаленный;

- HTTP (Hypertext Transfer Protocol) – протокол для работы с гипертекстовыми документами, образующими содержимое Web-страниц в World Wide Web;

Следующие протоколы упрощают управление сетями TCP/IP:

- SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) протокол, который задает набор правил для передачи почты. Сервер SMTP возвращает либо подтверждение о приеме, либо сообщение об ошибке, либо запрашивает дополнительную информацию;
- SNMP (Simple Network Management Protocol) протокол управления сетью;
 - RIP (Routing Information Protocol) протокол маршрутизации;
- POP (Post Office Protocol) стандартный протокол почтового соединения. Серверы POP обрабатывают входящую почту, этот протокол предназначен для обработки запросов на получение почты от клиентских почтовых программ;
- UUCP (Unix to Unix Cope Protocol) уже устаревший, но еще применяемый протокол передачи данных, в том числе для электронной почты. Этот протокол предполагает использование пакетного способа передачи информации, при котором сначала устанавливается соединение клиент-сервер и передается пакет данных, а затем автономно происходит его обработка, просмотри или подготовка писем;
- TELNET это протокол удаленного доступа. TELNET дает возможность абоненту работать на любой электронной вычислительной машине сети Интернет, как на своей собственной, то есть запускать программы, менять режим работы и т.д. На практике возможности лимитируются тем уровнем доступа, который задан администратором удаленной машины;
- DTN протокол дальней спутниковой связи, предназначенный для обеспечения сверхдальней космической связи.
- 2) Транспортный уровень предоставляет прикладному уровню сеансовые коммуникационные службы:
- TCP (Transmission Control Protocol) обеспечивает надежную, требующую логического соединения связь только между двумя компьютерами. Отвечает

за установление соединения, упорядочивание посылаемых пакетов и восстановление пакетов, потерянных в процессе передачи;

- UDP (User Datagram Protocol) обеспечивает ненадежную, не требующую логического соединения связь. Используется, когда объем данных невелик (например, данные могут уместиться в одном пакете), когда издержки установления ТСР соединения нежелательны, либо когда протоколы верхнего уровня или приложения гарантируют надежную доставку. UDP используется для передачи данных на несколько компьютеров с использованием многоадресной рассылки, например, многоадресная рассылка потокового мультимедиа при проведении видеоконференций в реальном времени.
 - 3) Межсетевой уровень:
- IP (Internet Protocol межсетевой протокол) маршрутизируемый протокол, отвечающий за IP-адресацию, маршрутизацию, фрагментацию и восстановление пакетов. В его задачу входит продвижение пакета между сетями от одного маршрутизатора до другого до тех пор, пока пакет не попадет в сеть назначения. В отличие от протоколов прикладного и транспортного уровней протокол IP разворачивается не только на хостах, но и на всех шлюзах (маршрутизаторах). Этот протокол работает без установления соединения, без гарантированной доставки;
- ARP (Address Resolution Protocol) обеспечивает преобразование адресов межсетевого уровня (IP-адресов) в адреса уровня сетевого интерфейса (MAC-адреса);
- ICMP (Internet Control Message Protocol) поддерживает диагностические функции и сообщает об ошибках в случае неудачной доставки IP-пакетов;
- IGMP (Internet Group Management Protocol) управляет членством компьютера (хоста) в группах. Хосты входящие в группу слушают трафик, направляемый на определенный адрес (адрес групповой рассылки) и принимают все пакеты, присылаемые на этот адрес.
 - 4) Уровень сетевых интерфейсов:

Уровень сетевых интерфейсов в стеке TCP/IP отвечает за организацию взаимодействия с технологиями сетей, входящими в составную сеть. Этот уровень в стеке TCP/IP не регламентируется. Он поддерживает все популярные технологии (Ethernet, TokenRing и т.д.). Обычно при появлении новой сетевой технологии она быстро включается в стек TCP/IP путем разработки соответствующей документации [19].

2.4 Технология передачи информации WiFi

Наиболее быстро развивающимся сегментом телекоммуникаций сегодня является беспроводная локальная сеть - WiFi. В последние годы виден все больший рост спроса на различные устройства, построенные на основе беспроводных технологий. Технология WiFi основана на стандартах беспроводных сетей.

Стандарт IEEE 802.11 является базовым стандартом для построения беспроводных локальных сетей (Wireless Local Network — WLAN). Стандарт IEEE 802.11 постоянно совершенствовался, и в настоящее время существует целое семейство, к которому относят спецификации IEEE 802.11 с буквенными индексами а, b, c, d, e, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, u, v, w. Однако только четыре из них (a, b, g и i) являются основными и пользуются наибольшей популярностью у производителей оборудования, остальные же (c-f, h-n) представляют собой дополнения, усовершенствования или исправления принятых спецификаций [19].

Первоначальная спецификация стандарта IEEE 802.11, принятая в 1997 году, устанавливала передачу данных на скорости 1 и 2 Мбит/с в нелицензируемом диапазоне частот 2.4 ГГц, а также способ управления доступом к физической среде (радиоканалу), который использует метод множественного доступа с опознаванием несущей и устранением коллизий (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA-CA). Метод CSMA-CA заключается в следующем. Для определения состояния канала (занят или свободен) используется алгоритм оценки уровня сигнала в канале, в соответствии с которым выполняется измерение мощности сигналов на входе приемника и качество сигнала. Если мощность принятых сигналов на входе приемника ниже порогового значения, то канал считается свободным, если же их мощность выше порогового значения, то канал считается занятым.

в 1999 году, IEEE принимает первое дополнение к спецификации стандарта IEEE 802.11 под названием IEEE 802.11b. Стандарт IEEE 802.11b является первым стандартом построения беспроводных локальных сетей, получившим масштабное распространение. Максимальная скорость передачи данных в нем составляет 11

 ${
m Mбит/c},$ а для управления доступом к радиоканалу используется тот же метод, что и в первоначальной спецификации стандарта IEEE $802.11-{
m CSMA-CA}.$

В случае ухудшения электромагнитной обстановки оборудование автоматически снижает скорость передачи в начале до 5.5 Мбит/с, затем до 2 Мбит/с, используя для этого метод адаптивного выбора скорости. Снижение скорости позволяет использовать менее избыточные и более простые методы кодирования, отчего передаваемые сигналы становятся менее подверженными искажению и затуханию вследствие интерференции. Благодаря методу адаптивного выбора скорости оборудование стандарта IEEE 802.11b может осуществлять обмен данными в различных электромагнитных обстановках.

Следующим стандартом, пополнившим семейство стандарта IEEE 802.11, является стандарт IEEE 802.11а, спецификация которого была принята IEEE в 1999 году. Основное отличие спецификации стандарта IEEE 802.11а от первоначальной спецификации стандарта IEEE 802.11 заключается в следующем:

- передача данных осуществляется в нелицензируемом диапазоне частот $5\Gamma\Gamma$ ц;
 - используется ортогональная частотная модуляция (OFDM);
 - максимальная скорость передачи данных составляет 54 Мбит/с.

Так же, как в стандарте 802.11b, в 802.11a реализован метод выбора адаптивной скорости (ARS), снижающий скорость передачи данных в следующей последовательности: 48, 36, 24, 18, 12, 9 и 6 Мбит/с. Передача информации осуществляется по одному из 12 каналов, выделенных в диапазоне 5 ГГц.

Использование диапазона 5 ГГц при разработке спецификации 802.11а обусловлено прежде всего тем, что данный диапазон менее загружен, чем диапазон 2.4 ГГц, а следовательно, передаваемые в нем сигналы менее подвержены влиянию интерференции.

В 2003 году была принята спецификация стандарта IEEE 802.11g, устанавливающая передачу данных в диапазоне 2.4 ГГц со скоростью 54 Мбит/с. Для управления доступом к радиоканалу используется тот же метод, что и в первоначальной спецификации стандарта IEEE 802.11 — CSMACA, а также ортогональная частотная модуляция (OFDM).

Оборудование стандарта IEEE 802.11g полностью совместимо с 802.11b, но из-за влияния интерференции, в большинстве случаев реальная скорость пере-

дачи данных 802.11g сопоставима со скоростью, обеспечиваемой оборудованием стандарта 802.11b.

WiFi-совместимое оборудование у большинства разработчиков ассоциируется прежде всего с организацией точек доступа для выхода в Интернет и с абонентским оборудованием. Следует отметить, что и индустрия встроенных систем не обощла своим вниманием стандарты IEEE 802.11a, b и g. Уже сейчас на этом сегменте рынка есть предложения, позволяющие сделать любое устройство Wi-Fiсовместимым. Речь идет о ОЕМ-модулях стандарта IEEE 802.11b, в состав которых входят: приемопередатчик, процессор обработки приложений и исполнения ПО. Таким образом, эти модули представляют собой полностью законченное решение, позволяющее существенно сократить время и стоимость реализации WiFiсовместимости разрабатываемого изделия. В основном ОЕМ-модули стандарта IEEE 802.11b интегрируются в изделия для удаленного мониторинга и управления через Интернет. Для подключения ОЕМ-модуля стандарта IEEE 802.11b к изделию используется последовательный интерфейс RS-232, а управление модулем выполняется АТ-командами. Максимальное расстояние между ОЕМ модулем стандарта IEEE 802.11b и точкой доступа при использовании специальной выносной антенны может составлять до 500 м. В помещения максимальное расстояние не превышает 100 м, а при наличии прямой видимости увеличивается до 300 м [19].

В заключении второй главы, можно выделить то, что все цифровые системы являются довольно сложными механизмами, но с их использованием предачи данных, измерение каких-либо параметров и наблюдение за ними стали намного удобноее и эффективнее. Чем больше развивается технологическая сторона любой из наук, тем быстрее и точнее можно определить значение той или другой величины и тем проще донести информацию до пользователей.

3 Цифровая система измерения влажности почвы

Цифровая система измерения влажности почвы - это система управления, где осуществляется квантование сигналов по времени и по уровню. Непрерывные сигналы, возникающие в аналоговой части системы, подвергаются преобразованию в анлого-цифровых преобразователях, откуда в цифровой форме поступают для обработки в цифровую вычислительную машину. Использование цифровых вычислительных машин позволяет значительно улучшить качество управления и оптимизировать наблюдение за влажностью почвы [21].

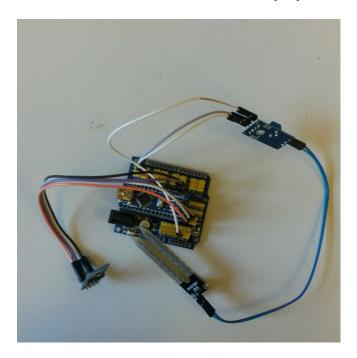


Рисунок 3.1 — Установка для измерения влажности почвы, собранная при проведении данной работы

Для контактного измерения влажности почвы в работе использовалась специально разработанная установка, смотреть рисунок 3.1. Подготовленная установка состоит из сенсора влажности почвы и WiFi модуля ESP8266, расположенных на микропроцессорном модуле Arduino Nano. Полученная система проста и удобна в использовании. Недостатком полученной системы можно считать необходимость довольно близкого расположения к точке доступа с выходом в Интернет для передачи данных измерения на удаленный сервер, схема собранной установки изображена на рисунке 3.2.

Для каждого датчика и модуля создана специальная программа (скетч), которая разрабатывается в специально для этого созданной среде разработки



Рисунок 3.2 — Схема установки измерения влажности почвы

Arduino IDE. На рисунке 3.3 изображено окно среды разработки Arduino IDE и текст одного из вариантов скетча используемых при работе с модулем ESP8266.

3.1 Датчики влажности почвы

Датчиков влажности почвы для контактных измерений большое множество, каждая фирма производитель использует различные материалы для создания своих приборов, что приводит к разнообразию в точности и стоимости прибора. Объединяет же все эти датчики то, что принцип получения нужной информации основан на изменении параметров почвы, которые зависят от содержания почвенной влаги. В работе использовался сенсор влажности почвы, принцип работы которого основан на изменении напряжения при изменении влажности почвы, рисунок 3.4

Датчики влажности производятся с учетом различного поглощения влаги разнообразными материалами, которые, так или иначе, приводят к изменению механических или электрических свойств. Наиболее часто используются датчики изменяющие свои электрические параметры при изменении влажности почвы.

```
sketch_may12b | Arduino 1.6.5
                                                                                                    ø
   sketch_may12b
  1 #include <SoftwareSerial.h>
  3 // Пишим передачу и получения сигналов с esp8266 на цифровые каналы
  4 SoftwareSerial esp(4,5);
  5 String writeAPIKey = "46VIPU0BBFL1GNAM";
  8 void setup() {
9 // Задаем скорость последовательного порта
10 Serial.begin(115200);
11 // Переключаем аналоговый контакт 2 на вход напряжения
12 <mark>pinMode(0,INPUT);</mark>
13 // Инициализация модуля esp
14 esp.begin(9600);
15 <mark>delay(2000);</mark>
16 //сбрасываем все навтройки esp
17 esp.println("AT+RST\r\n");
18 espdo(2000);
19 // Задаём есп режим станции
20 esp.println("AT+CWMODE=1");
21 espdo(2000);
22 // Устанавливаем параметры для подключения
23 esp.println("AT+CWJAP=\"IgorNikolaev\",\"3edc2wsx\"");
24 espdo(5000);
25 // Разрешаем ему лишь одно подключение
26 esp.println("AT+CIPMUX=0");
27 espdo (2000);
28 }
Впрузили.
Sketch uses 10 858 bytes (35%) of program storage space. Maximum is
30 720 bytes.
Global variables use 631 bytes (30%) of dynamic memory, leaving 1 417
bytes for local variables. Maximum is 2 048 bytes.
```

Рисунок 3.3 — Окно среды разработки Arduino IDE



Рисунок 3.4 — Сенсор влажности почвы

3.2 Микропроцессорный модуль Arduino Nano

Модуль Arduino Nano основан на микроконтроллере Atmel ATmega328. Микроконтроллер имеет 2 кБ памяти ОЗУ и 32 кБ флэш-памяти для хранения

скетча. Имея небольшой размер, он очень удобен в использовании в лабораторных установках. Связь с компьютером осуществляется посредством подключения платы через кабель Mini-B USB. Питание платы можно осуществлять с помощью данного кабеля или внешнего источника питания. Выбирается питание автоматически с самым высоким напряжением. Платформа содержит цифровых 14 входов/выходов, 6 аналоговых входов, кварцевый генератор на 16 МГц, разъем Mini-B USB, разъем ICSP и кнопку RESET, с помощью которой осуществялется перезагрузка. Каждый из цифровых выводов платы Arduino Nano может настраниваться как на вход так и на выход. Они работают с напряжением 5В. Дополнительно установлены 8 аналоговых входов, на каждом из которых используется разрешение 10 бит, позволяющее принимать значения от 0 до 1023. По стандарту они имеют диапазон значений до 5В, но его можно регулировать.





Рисунок 3.5 — Платформа Arduino Nano [20]

На плате Arduino Nano могут находиться несколько устройств, которые осуществляют связь с компьютером, микроконтроллерами или другими устройствами. Воспользовавшись библиотекой SoftwareSerial, которая используется в Arduino, можно создать последовательную отправку данных используя любой из цифровых выводов модуля Arduino Nano.

Плата Arduino Nano, рисунок 3.5 сконструирована так, что перед загрузкой скетча она автоматически перезагружается. Загрузка программного кода выполняется с помощью нажатия одной кнопки в текстовом редакторе среды программирования [20].

3.3 Микроконтроллер ESP8266

WiFi модуль имеет полноценный 32 битный микроконтроллер. При этом схема модуля представляет из себя минимальное количество деталей: чип ESP8266, flash память и кварц. ESP8266 имеет уже загруженную прошивку, которая образует WiFi-UART мост для подключения к другому микроконтроллеру, например к микропроцессорному модулю Arduino Nano. В этом режиме WiFi-UART моста модуль не подойдет для получения полноценного web-интерфейса, а только как простое управление с помощью TCP пакетов. Настройки для обмена данными производят с помощью AT команд, которые прописываются в скетче. На сегодняшний день имеется более 12 вариантов данных модулей: со способностью подключения внешней антенны, керамической антенны, с антенной из дорожек, в корпусе.

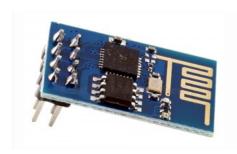


Рисунок 3.6 — WI-FI модуль ESP8266 (ESP-01) [20]

ESP-01, рисунок 3.6, является одним из самых популярных модулей. РСВ антенна способна обеспечивать дальность работы - до 400 м на открытой местности. Он имеет одноядерный процессор с частотой до 160 МГц. Напряжение питания можно использовать от 1.7 до 3.6 В. Поддерживает несколько режимов работы: точка доступа, клиент, и оба режима одновременно. В зависимости от режима работы, он потребляет ток до 215 мА. Количество flash-памяти изменяется от 512Кбайт до 4Мбайт. Установленная заводская прошивка не всегда подходит к некоторым поставленным задачам. Поэтому, для полноценной корректной работы модуля приходится прибегать к перепрошивке, которая позволит выполнить требуемую задачу. Прошивка осуществляется через любой переходник USB-UART или с помощью платы Arduino [22].

Технические характеристики микроконтроллера ESP8266:

- Процессор: одноядерный Tensilica L106 частотой до 160 МГц;
- Поддерживаемые стандарты WiFi: 802.11 b/g/n;

- Поддерживаемы типы шифрования: WEP, WPA, WPA2;
- Поддерживаемые режимы работы: Клиент(STA), Точка доступа(AP), Клиент+Точка доступа(STA+AP);
 - Напряжение питания 1.7 3.6 В;
 - Потребляемый ток: до 215мА в зависимости от режима работы;
- Количество GPIO: 16 (фактически до 11). Доступно на модулях: ESP-01 4, ESP-03 7(+1), включая UART;
 - Интерфейсы: 1 ADC, I2C, UART, SPI, PWM;
 - Внешняя flash-память может быть установлена от 512кб до 4мб;
 - RAM данных 80 кб, RAM инструкций 64 кб.

3.4 Алгоритм обработки данных измерений

Алгоритм обработки данных заключается в следующем, на микроконтроллер Arduino Nano, с датчика влажности почвы, поступает некоторое напряжение, изменчивое от стандартного. После чего, АЦП переводит значение в цифровую форму, которое может принимать значение от 0 до 1023. Это значение можно вывести на экран с помощью среды разработки Arduino, или отправить данные на облачный или обычный сервер. Передача совершается с помощью WiFi модуля ESP8266, который подключен к как-либо точке доступа с выходом в интернет. Данные попавшие на облачный сервер используются для построения графика в режиме реального времени, где по оси X откладывается время снимаемого значения, а по оси Y само значение, смотреть рисунок 3.7.



Рисунок 3.7 — Вид графика, сделанного на сайте thingspeak.com

3.4.1 Калибровка системы

Значения от 0 до 1023 нужно представить в виде влажности почвы, для этого производится калибровка системы. Калибровка для каждого типа почвы будет разной, это обуславливается тем что состав и плотность на разных участках и у разных почв отличается.

Рассмотрим калибровку для вычисления влажности почвы на примере песка. Для начала вычислим минимальное и максимальное возможное число. Для песка, который использовался в работе, минимальным числом стало - 272, максимальная влажность, проверялась на воде, которая использовалась в проведении опыта (для измерения влажности почвы на улице, целесообразнее использовать дождевую воду, значение немного изменится), а максимальным - 1023, влажность абсолютно сухого песка. Тем самым, мы обозначили, что при показании датчиком числа 1023 можно утверждать что почва полностью сухая, и если значение этого параметра будет уменьшаться, это будет свидетельствовать о том, что влажность увеличивается.

Для получения корректных значений измеренной влажности нужно найти зависимость между истинной влажностью почвы и показанием датчика.

Для проведения измерений использовался пластиковый стаканчик массой 3 г, высушенный песок массой 200 г и вода, которая добавлялась порционно по 5 миллилитров.

При проведении нескольких опытов, выяснили, что зависимость является экспоненциальной. Истинное значение влажности песка вычислялось по формуле (4). Для того, чтобы не пользоваться каждый раз выражением (4) найдем коэффициент, который будем использовать при определении влажности. Так как зависимость у нас является экспоненциальной, то выражение будет иметь следующий вид:

$$W(h) = Aexp(Bh), (6)$$

где W - влажность почвы $\frac{\mathrm{K}\Gamma}{\mathrm{K}\Gamma}$; h - значение полученное датчиком; A и B - поправочные коэффициенты (для каждого типа почвы свои).

где точками обозначены полученные данные влажности почвы, а линией показана аппроксимационная кривая.

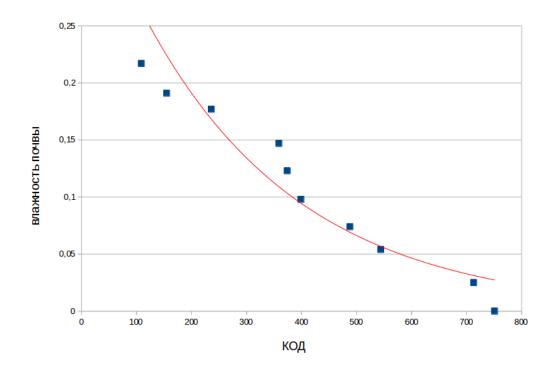


Рисунок $3.8 - \Gamma$ рафик полученных данных при измерении влажности почвы

Для определения связи двух наборов данных воспользуемся коэффициентом детерминации, который в данном случае равен R^2 =0.94. Чем больше значение коэффициента детерминации, тем более хорошая связь между полученными значениями и аппроксимационной кривой, и наоборот.

Влажность высчитывалась по формуле (4). Все полученные значения показаны в таблице 4.1.

Выражение (6) для вычисления влажности песка, который использовался в опыте будет следующим:

$$W(h) = 0.387exp[-0.0035(h - 272)]. (7)$$

Все полученные коэффициенты записываются в скетч программы, для более быстрого и удобного обрабатывания данных.

Полученные и уже обработанные данные так же можно вывести на экран монитора с помощью среды разработки Arduino, или же отправить на облачный сервер thingspeak.com.

В заключении главы можно сказать, что использование довольно точной и достаточно не дорогой системы измерения влажности почвы является разумным действием, а использование в таких измерениях облачные сервера является еще и удобным.

4 Результаты измерений влажности почвы

Эксперименты проводились разными способами. В одном случае бралось несколько стаканов, в которые помещался сухой песок, после чего в каждый из стаканов добавлялось определенное количество воды. После каждого добавления песок тщательно перемешивался, что бы влага распределилась равномерно по всему объему. Измерения снимались по нескольку раз, после чего, для получения корректного значения производилось осреднение. Во втором случае, брался один стакан, в который также помещался песок, с последующим порционным добавлением воды. После каждого добавления производилось перемешивание. Полученные данные первым и вторым способом получились практически одинаковыми, эти небольшие различия можно связать с погрешностью прибора, а так же с отличающимися ненамного друг от друга массами песка в первом способе.

Для проведения дальнейших измерений использовался второй способ, по причине того, что все измерения проводились с одним и тем же песком.

4.1 Результаты корреляционного анализа данных контактных измерений влажности почвы



Рисунок 4.1 — Изменение влажности почвы, с порционным добавлением воды, по времени

Данные которые представлены в таблице 4.1 отображены на рисунке 3.8.

На рисунке 4.1 отображено изменение влажности почвы, на облачном сервере thingspeak.com, после добавления 5 мл воды примерно через каждые 2 минуты, эти значения никак не связаны с таблицей 4.1.

Таблица 4.1 — Таблица полученных данных при измерении влажности почвы

| Количество добавленной воды, мл | Влажность почвы, $\frac{\kappa \Gamma}{\kappa \Gamma}$ | Значение с датчика |
|---------------------------------|--|--------------------|
| 0 | 0 | 751 |
| 5 | 0.025 | 713 |
| 10 | 0.054 | 544 |
| 15 | 0.074 | 488 |
| 20 | 0.098 | 399 |
| 25 | 0.123 | 374 |
| 30 | 0.147 | 359 |
| 35 | 0.177 | 236 |
| 40 | 0.191 | 155 |
| 45 | 0.217 | 109 |

4.2 Результаты сопоставления значений влажности почвы с приземной относительной влажностью воздуха

Измерения для сопоставления значений производились не в естественной среде, а в лабораторных условиях. Для определения влажности почвы использовалось собранное для этой цели устройство, влажность воздуха измерялась прибором DHT21, который так же можно подсоединить к микроконтроллеру Arduino Nano. Точность датчика DHT21 довольно хорошая, и является одним из лучших в семействе подобных датчиков.

Влажность почвы определялась так же, как и в предыдущей главе. Датчик влажности воздуха был размещен на высоте приблизительно 3 см от поверхности песка. Вода в песок добавлялась порционно по 5 мл, с последующим тщательным перемешиванием, через каждые 5 минут. График зависимости влажности воздуха от влажности почвы изображен на рисунке 4.2.

Зависимость влажности воздуха от влажности почвы получилась логарифмическая, следовательно получаем формулу:

$$f(W) = Dln(W) + G, (8)$$

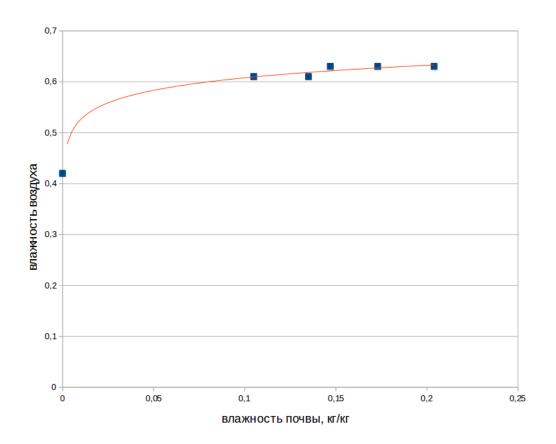


Рисунок $4.2-\Gamma$ рафик зависимости влажности воздуха от влажности почвы

где W - влажность почвы $\frac{\mathrm{K}\Gamma}{\mathrm{K}\Gamma};$ f - влажность воздуха, %; D и G - поправочные коэффициенты.

Выражение (8) для вычисления влажности песка, который использовался в опыте будет следующим:

$$f(W) - 42 = 3.545ln(W) + 27. (9)$$

$$f(W) = 3.545ln(W) + 69. (10)$$

На графике 4.2 видно, что чем больше в почве содержится влаги, тем интенсивнее происходит испарение, в следствии чего увеличивается влажность воздуха. Увеличение происходит небольшое, так как испарение влаги происходило с малой по площади поверхности равной $0,00229~{\rm M}^2,$ в огромное пространство .

Данные по которым строился график изображенный на рисунке 4.2, изображены в таблице 4.2.

Коэффициент детерминации R^2 =66, что является достаточно низким показателем. Такое значение коэффициента можно объяснить тем что измерения снимались не непрерывно, а через некоторые промежутки времени.

Таблица 4.2 — Таблица полученных данных при измерении влажности почвы и влажности воздуха

| Влажность почвы, $\frac{\kappa \Gamma}{\kappa \Gamma}$ | Влажность воздуха, % |
|--|----------------------|
| 0 | 42 |
| 0.105 | 61 |
| 0.135 | 61 |
| 0.147 | 63 |
| 0.173 | 63 |
| 0.204 | 63 |

Заключение

Существует большое количество методов и приборов для измерения влажности почвы, некоторые из них довольно простые, но трудоемкие, другие более сложные с использованием современных технологий. Все они так или иначе используются для выполнения поставленной задачи. Использование современной аппаратуры делает произведение измерений более удобным и быстрым, но для того что бы задействовать такую аппаратуру ее необходимо сперва откалибровать.

В ходе выполнения работы была собрана достаточно простая установка для измерения влажности почвы, с помощью которой получилось отправить данные на облачный сервер, что дает возможность удаленно следить за влажностью. Точность датчика после калибровки достаточно хорошая. Он вполне может использоваться в сельскохозяйственных работах, но с заменой сенсора влажности примерно через каждые три месяца, так как чувствительный элемент сенсора в течении долгого нахождения в почве окисляется, и полученные при измерениях данные будут отличаться от реальных значений влажности.

По окончании работы были успешно выполнены следующие задачи:

- разработано устройство для измерения влажности почвы;
- написана программа для работы с устройством;
- откалиброван датчик влажности почвы;
- проведены тестовые измерения влажности почвы;
- успешно переданы данные на облачный сервер thingspeak.com, с помощью которого были построены графики изменения влажности почвы по времени.

Собранный прибор, из-за простоты его сборки и удобстве использования, может применяться как в научных исследования и работах, так и в практических целях, будь то большой аграрный комплекс в сельском хозяйстве или индивидуальное использование в своих целях.

Дальнейшие разработки и модификации установки смогут предотвратить потерю большого количества сельскохозяйственной продукции или снизят такие потери до минимума.

Список использованных источников

- 1 Попов А.Н. Технология и техническое средство бесконтактного измерения влажности почвы на основе инфракрасного излучения [Текст] / Дисс. ... канд. техн. наук. Мичуринск, 2014. 212 с.
- 2 Берлинер М.А. Измерения влажности[Текст] / М.А. Берлинер. Л.: Энергия, 1973. 401 с.
- 3 Невзоров А.В. Техническая модернизация каналов лазерного зондирования сибирской лидарной станции [Текст] / Дисс. ... канд. техн. наук. Томск, 2005. 128 с.
- 4 Украинский П.А. Оценка земель сельскохозяйственного назначения по показателям плодородия для дистанционного мониторинга [Текст] / Дисс. ... канд. геогр. наук. - Белгород, 2011. - 178 с.
- 5 Ященко А.С. Суточная динамика радиояркостной температуры почв в процессах испарения и инфильтрации, замерзания и оттаивания [Текст] / А.С. Ященко. Омск, 2009.
- 6 Кривальцев С.В. Дистанционное зондирование деградированных почв [Текст] / С.В. Кривальцев. Омск, 2005.
- 7 Мурзин В.С. Астрофизика космических лучей. Учебное пособие для вузов [Текст] / Мурзин В.С.. Л.:Логос, 2007. 486 с.
- 8 Дмитриев А.В. Основы дистанционных методов измерения влагозапасов в снеге и влажности почв по гамма-излучению Земли [Текст] / А.В. Дмитриев, Ш.Д. Фридман. Л.:Гидрометиздат, 1979. 304 с.
- 9 Khvorostianov V.I. Thermodynamics, kinetics and microphysics of clouds [Text] / V.I. Khvorostianov, J.A. Curry. New York:Cambridge university press, 2014. 782 c.
- 10 Обиралов А.И. Фотограмметрия и дистанционное зондирование: Учеб. пособие [Текст] / А.И. Обиралов, А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова. М.:КолосС, 2006. 334 с.
- 11 Сайт фирмы "Платан"(Россия) [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.platan.ru/. - 23.05.2016

- 12 Попов А.Н. Эеспереминтальная установка для исследования инфракрасных сигналов почвы различной влажности [Текст] / А.Н.Попов, А.С.Гордеев.
 - Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий, 2013. №4. С.91 94.
- 13 Финкельштейн М.И. Применение радиолокационного подповерхностного зондирования [Текст] / Финкельштейн М.И., Кутев В.А., Золотарев В.П.. -Дфеуч ghj,tk М.:Недра, 1986
- 14 Яковлев О.И Распространение радиоволн [Текст] / Яковлев О.И., Якубов В.П., Урядов В.П., Павельев А.Г.. М.:ЛЕНАНД, 2009. 496 с.
- 15 Парахуда Р.Н. Информационно-измерительные системы: Письменные лекции [Текст] / Парахуда Р.Н., Литвинов Б.Я.. СПб.:СЗТУ, 2002. 74 с.
- 16 Жиганов Е.Д. Передача данных в компьютерных сетях : учебное пособие [Текст] / Жиганов Е.Д., Мощевикин А.П.. Петрозаводск.:ПетрГУ, 2007. 156 с.
- 17 Молчанов Б.М. Аппаратные средства ЭВМ. Компьютерные сети [Текст] / Молчанов Б.М.. М.: КомпьютерПРЕСС, 2002. 168 с.
- 18 Сайт фирмы "Рынок микроэлектроники" (Россия) [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.gaw.ru/. 25.05.2016
- 19 Сайт СервисCall (Россия) [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.servicecall.ru/. 25.05.2016
- 20 Сайт фирмы "Arduino"(Россия) [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.arduino.ru/. 31.05.2016
- 21 Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования, 3 изд. [Текст] / Бесекерский В.А., Попов Е.П.. - М.: 1975. - 236 с.
- 22 Сайт "Домашняя автоматизация" (Россия) [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.homes-smart.ru/. 31.05.2016