

**Министерство науки и образования Российской Федерации**  
**Российский государственный метеорологический университет**

Факультет :Метеорологический

Направление:05.03.05 Прикладная гидрометеорология

Профиль: Гидрометеорологические информационно-измерительные системы

Кафедра экспериментальной физики атмосферы

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
**Беспроводное микропроцессорное устройство для мониторинга**  
**параметров микроклимата**

Выполнил: студент группы ПМ-Б14-1-2

Жилинская Анастасия Александровна

Руководитель: доцент каф. ЭФА

Чукин Владимир Владимирович

Допущен к защите

Протокол № \_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2012г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Кузнецов А.Д.

Санкт – Петербург

2018

## Содержание:

	Стр.
Введение	3
Глава 1. Микроклимат	5
1.1 Факторы формирования микроклимата	8
Глава 2. Микроклимат и сельское хозяйство	11
2.1 Агроклиматические параметры	13
2.2 Агроклиматическое районирование	20
2.3 Неблагоприятные и опасные явления погоды	21
Глава 3.Практическая часть	25
3.1 Программная составляющая датчика	25
3.1.1 Операционная система Ubuntu	25
3.1.2 Платформа Arduino	27
3.2 Технические характеристики	28
3.2.1 Датчик влажности почвы	31
3.2.2 Датчик температуры и влажности воздуха	32
3.2.3 Микроконтроллер	33
3.3 Лабораторные исследования	34
3.3.1 Первое исследование	34
3.3.2 Калибровка датчика влажности почвы	36
Заключение	38
Список используемых источников	40
Приложение 1- Программа для датчика	43

## Введение

Небольшие территории часто характеризуются постоянными, типичными климатическими условиями. Но в границах малых по площади участков местности в слое воздуха ниже стандартного уровня измерений, фиксируются достаточно сильные различия метеорологического режима, обусловленные свойствами подстилающей поверхности. В таком случае можно сказать о микроклимате ограниченных участков. Он оказывает большое влияние на развитие растительного покрова и жизнь всех живых организмов. Так именно с микроклиматом тесно связана среда обитания, источники питания, а так же здоровье. Так же микроклиматологический режим имеет большое значение для целого ряда практических задач, на пример для изучения опасных и неблагоприятных явлений.

Из всех отраслей, у сельскохозяйственного производства самая сильная взаимосвязь с климатическими условиями. Оно взаимодействует со сложной системой природных условий, основная часть которых, зависит от метеорологических факторов являющихся наиболее непостоянными. Влияние этих факторов на объекты и процессы роста с/х культур, в особенности на этапе формированияплодовитости растений, обуславливает количество урожая, качество конечной продукции, ее себестоимость.

Сельское хозяйство тесно связано с метеорологическими факторами, в том числе с агроклиматическими условиями. Эти условия непосредственно влияют на рост и развитие растений, формирование урожая.

С помощью внедрения новых более урожайных сортов, защитой их от болезней и вредителей, улучшением земель и повышением их плодородия связь сельского хозяйства с климатом и погодой не ослабевает, а напротив, усиливается. Одна из причин этого состоит в том, что с повышением культуры земледелия для создания значительной органической массы растениям необходимо использовать большее количество света, тепла, влаги и элементов питания. Таким образом, рост сельского хозяйства предполагает

все более полный, точный и дифференцированный учет природно-климатических условий каждого природного региона. С бурным развитием технологий в наше время происходит их активное внедрение в работу сельского хозяйства и климатические факторы всё менее влияют на замкнутые с/х системы. Так как появляется возможность поддерживать оптимальные климатические параметры в замкнутой системе. С помощью внедрения IoT (англ. Internet of Things - интернет вещей) технологий, на примере микропроцессорного устройства для сбора информации о различных метеорологических параметрах, в частности климатических величин.

Целью данной бакалаврской работы является разработка концепции устройства для мониторинга параметров микроклимата для малых фермерских хозяйств.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. провести обзор литературных источников по тематике влияния параметров микроклимата на произрастание сельскохозяйственных культур;
2. сформулировать требования к устройству мониторинга параметров микроклимата;
3. создать программные средства сбора данных;
4. провести лабораторные эксперименты и проанализировать полученные результаты.

## 1. Микроклимат

Термин «микроклимат» воспринимается как синоним «климата приземного слоя». Микроклимат или «климат ограниченной территории», формируется под влиянием различий рельефа земной поверхности, растительности, состояния почвы, наличия и близости лесов, водоемов и других особенностей подстилающей поверхности. Взаимодействие сильно отличающихся друг от друга поверхностей с прилегающим к ним воздухом получается достаточно различным, чтобы можно было сказать о различных метеорологических режимах над участками поверхности на относительно малых расстояниях. Микроклиматов в региональном смысле может существовать столько, сколько существует в природе естественных комбинаций из различных элементов структур подстилающей поверхности. Для микроклиматических зон характерно относительно однородное внутреннее строение образующих их деятельных поверхностей и значительное отличие от строения соседних деятельных поверхностей. Все вместе они образуют сложную текстуру поверхности, подстилающей определенный макроклиматический район.

Микроклимат определяется большой пространственной неоднородностью метеорологического режима и четкой связью с суточной периодичностью в притоке солнечной радиации. Он может зависеть как от структуры ландшафта, так и от воздействия факторов климатообразования, типичных для данного района.

Так же можно встретить понятие «мезоклимат» - промежуточный масштаб между климатом и микроклиматом. Но так как отсутствуют точные количественные критерии, которые могли бы разделить понятия «микроклимата» и «мезоклимата», то большинство исследователей обобщают оба этих понятия в «микроклимат».

Проведенные исследования продемонстрировали, что разницу между микро- и мезоклиматом можно увидеть, рассматривая площадь неоднородностей

поверхности. К макромасштабным (климатическим) неоднородностям можно отнести моря, горы, океаны. К мезомасштабным же неоднородностям относятся холмы, озёра, реки, лесные массивы, города. Мезоклиматические особенности сформировываются под влиянием как макро-, так и мезомасштабных неоднородностей большой площади. Микроклиматические различия возникают лишь под воздействием мезомасштабных неоднородностей(Таблица 1)

Большинство микроклиматов в сельской местности образуется под влиянием топографии подстилающей поверхности или вида и структуры растительности. В городах же формируется «городской климат», который считается микроклиматическим. Таким образом, микроклиматология включает в себя практически все возможные масштабы, к которым можно отнести как город, так и отдельно стоящее дерево.

Таблица 1. Критерии разделения масштабов мезо- и макроклимата (по Е.Н.Романовой ) [12]

Неоднородности подстилающей поверхности		Масштаб возмущений	
Тип	Размеры	Горизонтальный, км	Вертикальный, м
1. Мезоклимат			
Горный рельеф	Система гор	До 100	До 1000
Холмистый рельеф	Массивы более 100 км		
Реки	Ширина более 1 км		
Озера, моря, океан	Площадь зеркала более 50-100 км <sup>2</sup>		
Почвенно-растительный покров	Массивы площадью более 100 км <sup>2</sup>		
Большой город	Районы города		
2. Микроклимат			
Горный рельеф	Отдельные участки	До 10	До 100-200
Холмистый рельеф	Отдельные холмы		
Реки	Ширина менее 1 км		
Озера, пруды	Площадь зеркала менее 50 км <sup>2</sup>		
Почвенно-растительный покров	Массивы площадью менее 100 км <sup>2</sup>		
Город, поселок	Улицы, здания		

## 1.1. Факторы формирования микроклимата

Поскольку для формирования микроклимата большое значение имеет энергетический режим и режим увлажнения подстилающей поверхности, в микроклиматических исследованиях при рассмотрении основных процессов энергообмена используются уравнения баланса тепла и влаги деятельной поверхности. Тепло, получаемое поверхностью в виде радиационного баланса, в значительной степени зависит от свойств и структуры подстилающей поверхности и верхних слоев почвы, а также от значения альбедо. В различных ландшафтных зонах альбедо может изменяться в достаточно широком диапазоне: свежеснеговый покров имеет альбедо до 90 %; альбедо лесов зависит от видового состава и времени года (темнохвойные леса имеют альбедо 6-18%, лиственные - 16-27%). Осенью альбедо лиственных лесов увеличивается до 33-38 %. Альбедо темных лесов колеблется от 5 до 15 %, светлых - от 20 до 45 %. Отражательные свойства почвы, покрытой растительностью, складываются из альбедо растительности и самой почвы.

Альбедо воды мало и в среднем составляет 5-7%. Но утром и вечером, при малых значениях высоты солнца, альбедо воды достигает 75-80 %. При наличии растительности на берегах рек, озер, водохранилищ растение использует дополнительное тепло за счет большого альбедо в утренние и вечерние часы, что способствует более интенсивному развитию растительности на берегах водоемов.

В результате поглощения радиации деятельной поверхностью происходит ее нагревание. При этом часть тепла тратится на излучение, на нагревание воздуха, на испарение, а часть путем теплопроводности передается в более глубокие слои почвы. Соотношение между составляющими теплового баланса имеет большое значение в формировании микроклиматических особенностей отдельных участков. Для сухих поверхностей в среднем почти все получаемое тепло тратится на турбулентный теплообмен почва - воздух.

Для увлажненных поверхностей основным будет процесс испарения, вследствие чего снижается температура поверхности почвы и уменьшается турбулентный теплообмен.

Создание микроклиматов в приземном слое воздуха тесно связано с явлениями турбулентного перемешивания в атмосфере в вертикальном и горизонтальном направлениях, так как только при малом развитии перемешивания местные особенности климата могут сохраниться на некотором расстоянии от подстилающей поверхности. Турбулентные движения возникают вследствие:

1) завихрений, образующихся за счет трения при обтекании воздушным потоком земной поверхности, за счет сопротивления ее неровностей, а также за счет внутреннего межслойного трения самого воздуха, обусловленного различием скоростей по высоте. Образовавшиеся при этом у земной поверхности вихри могут диффундировать в более высокие слои атмосферы, пока окончательно не разрушатся (динамическая турбулентность)

2) нарушения устойчивости и возникновения восходящих токов при сверхadiaбатических градиентах температуры (термическая турбулентность).

Над однородной по горизонтали подстилающей поверхностью образование термической турбулентности затруднено даже при очень сильном ее нагревании. В этом случае, равновесие не может нарушаться ни при каких градиентах. Но так как поверхность практически никогда не бывает однородна то происходит нарушение равновесия в некоторых местах над нагретой поверхностью.

В приземном слое имеют место резкие колебания значений метеорологических величин, которые в большинстве случаев носят случайный характер и являются следствием неупорядоченных движений в атмосфере. Вихреобразование, возникающее у земной поверхности, зависит от нескольких параметров, характеризующих энергию вихрей и их масштабы. Наличие вихрей определяет пульсации в полях скоростей и

направлений ветрового потока. Пульсации характеризуют энергию вихрей. Для каждой высоты над землей имеется свой характерный масштаб вихрей, определяющий размер переноса. Этот масштаб вихрей растет с удалением от земной поверхности, поскольку наличие подстилающей поверхности ограничивает их размеры.

При своем перемещении турбулентные вихри переносят водяной пар, атмосферные примеси и другие физические свойства воздуха (теплосодержание, количество движения). Если концентрация примесей изменяется в пространстве, то под влиянием турбулентного перемешивания начинается процесс выравнивания концентрации.

Едва ли существует другая отрасль деятельности человека, которая связана с метеорологическими условиями так же сильно, как сельское хозяйство. При этом если распространение сельскохозяйственных культур на планете и видов сельскохозяйственной продукции в значительной степени определяется климатом, то урожайность культур и продуктивность сельскохозяйственного производства в огромной степени зависят от сложившихся в данный год условий погоды.

Поэтому в своей работе, в большей степени, я рассматриваю взаимосвязь микроклимата и сельского хозяйства.

## Глава 2. Микроклимат и сельское хозяйство.

Агроклиматология-это наука, изучающая взаимосвязи климатических и гидрологических условий с деятельностью сельского хозяйства (с/х).то есть предметом изучения данной науки применительно запросов с/х. Закономерности связей растений с метеорологическими характеристиками носят пространственно-временной характер

Исследование климатических ресурсов применительно к с/х производству (пр-ву) является сложной задачей, так как все компоненты, входящие в нее (живые объекты и климат), изменяются за небольшой отрезок времени. Агроклиматология имеет дело со сложной связанной динамикой сельскохозяйственных объектов и климатических условий. Климат любой местности определяется большим числом критериев. При решении различных вопросов агроклиматологии важно знать, какие факторы являются главными для жизни растений, а какие — второстепенными. Так же при рассмотрении агроклиматических ресурсов нельзя останавливаться только на сравнение отдельных частей регионов и государств. Важно учитывать и временные характеристики агроклиматической зоны — обеспеченность влагой, теплом и освещённостью, повторяемость, вероятность. Для описания влияния погоды и климата на с/х используют такие понятия, как агрометеорологические условия, метеорологические величины, метеорологические условия, агроклиматическое районирование, климат.

Под агрометеорологическими условиями понимают режим погоды, определяемый сезонными перепадами метеорологических и гидрологических составляющих, влияющих на с/х. К ним можно отнести: температуру воздуха и почвы, влажность воздуха и почвы, солнечную радиацию, осадки, снежный покров и др. При исследовании агрометеорологических условий основное внимание уделяется выявлением временных закономерностей.

Агроклиматическими условиями называется многолетний режим агрометеорологических условий. При изучении агроклиматических ресурсов основное внимание обращается на пространственные закономерности.

Метеорологическими величинами называют различные характеристики состояния воздуха и некоторых атмосферных процессов. Значения метеорологических величин за определенный период времени характеризуют метеорологические условия (условия погоды).

Многолетний режим погоды в данной местности, обусловленный ее географическим положением называют климатом.

Метеорологические и гидрометеорологические величины, определяющие состояние и продуктивность сельскохозяйственных культур, называют агрометеорологическими факторами. Их сочетания в определенный период времени называют агрометеорологическими условиями существования объектов с/х.

Агроклиматическое районирование - это деление территории на регионы по признаку сходства и различия их агроклиматических условий. Оно дает научное обоснование размещения сельскохозяйственных культур и способов их выращивания в различных климатических зонах и основывается на дифференцированной оценке значения факторов климата, для жизни растений и законе не заменимости факторов, определяющих их жизнедеятельность.

Основные агроклиматические ресурсы того или иного района определяются тепло-и влагообеспеченностью. Агроклиматические показатели тепло- и влагообеспеченности разрабатываются на основе метеорологических и агрометеорологических исследований. Обработка этих данных заключается в получении средних многолетних и вероятностных (вероятность и обеспеченность) параметров. Средние многолетние характеристики позволяют в обобщенной и краткой форме представить агроклиматические различия территории, обусловленные ее географическими особенностями (широтой, высотой, рельефом,

удаленностью морей и наличием внутренних водоемов). Кроме того, средние многолетние величины позволяют установить основные особенности сезонного режима, годового и суточного хода агроклиматических показателей.

## 2.1 Агроклиматические параметры.

Одной из важнейших задач агроклиматологии является определение агроклиматических параметров, которые характеризуют требования различных сельскохозяйственных растений к климатическим и погодным условиям. Эти показатели существенно изменяются не только в зависимости от типа культуры, но и от ее сортовых особенностей.

В качестве агроклиматических показателей потребности растений в тепле за период вегетации используют суммы активных и эффективных температур, а также суммы биологических температур.

Все виды сумм температур, характеризующие потребность растений в тепле, легко сопоставлять с термическими ресурсами территории, которые выражают обычно в суммах активных температур.

Количественно выраженные связи между факторами климата, с одной стороны, и развитием, ростом, зимостойкостью и формированием урожая, с другой стороны, называют агроклиматическими показателями. Сопоставление этих показателей с ресурсами климата дает возможность определить, насколько климатические условия данного района благоприятны (или неблагоприятны) для производства конкретных с/х продуктов..

Ю. И. Чирков [17] отмечает, что показатели должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) быть интегральными
- 2) иметь биологический и физический смысл
- 3) быть относительно простыми в употреблении

4)обеспечивать возможность проводить количественные расчеты преимущественно на основе массовых данных наблюдений.

Интегральность показателей состоит в том, что они должны быть результатом совместного действия нескольких или многих климатических, биологических и других элементов.

Показатели можно подразделить на основные, дополнительные и региональные. Все они в свою очередь делятся на четыре основные группы, характеризующие:

- 1)тепло- и светообеспеченность
- 2)влагообеспеченность
- 3)условия перезимовки
- 4) общую оценку комплекса всех условий

Основными интеграционными показателями термических ресурсов территории и потребностей растений в тепле являются суммы активных и эффективных температур.

Под термическими ресурсами территории понимают то количество тепла, которым располагает данная территория в силу своего географического положения. Потребность в тепле есть количество тепла необходимое данному фитоценозу для оптимального роста и развития в период вегетации. Активной называют среднюю суточную температуру воздуха после ее перехода через биологический нуль развития данной культуры. Следовательно, для получения сумм активных температур за какой-либо период надо сложить все средние суточные температуры этого периода. Эффективная температура представляет собой разность между средней суточной температурой среды и биологическим нулем данной культуры. Таким образом, разница между суммами активных температур и эффективных температур заключается лишь в способе обработки: при подсчете сумм активных температур используют всю величину средней суточной температуры, а при определении сумм эффективных температур из

каждой средней суточной температуры расчетного периода вычисляют величину биологического нуля.

Термические ресурсы территории обычно оценивают суммой активных температур воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$ , так как при средней суточной температуре воздуха  $10^{\circ}\text{C}$  и выше активно вегетирует большинство растений. Термические ресурсы территории изменяются в зависимости от широты места, высоты места над уровнем моря и ряда других факторов. С продвижением на север и увеличением высоты места термические ресурсы уменьшаются[19].

Сравнивая термические ресурсы территории и потребность культур в тепле (в сопоставимых единицах), вычисляют такую важную агроклиматическую характеристику, как обеспеченность растений теплом. Этот расчет производится с помощью интегральных кривых обеспеченности.

В последнее время предложена методика более точного определения потребности растений в тепле через сумму эффективных температур. Исследованиями показано, что величина биологического нуля в процессе развития растения не остается постоянной, она меняется на каждом качественно новом этапе развития. Не остается постоянным и верхний оптимум температуры, ограничивающий так называемые «балластные» уровни тепла. Если суммы эффективных температур определять с учетом динамики оптимальных температурных границ развития фитоценозов, то потребность растений в тепле будет вычислена гораздо более точно.

Перспективным является также выражение характеристик термических ресурсов и потребности растений в тепле в энергетических единицах.

Для характеристики термических ресурсов почвы применяют суммы температур выше  $0, 5, 10, 15^{\circ}\text{C}$  на разных глубинах ( $3, 10, 20, 25\text{см}$ ), а также сумму отрицательных температур (ниже  $0, -5, -10, -15^{\circ}\text{C}$ ); используемый иногда коэффициент прогреваемости почв представляет собой отношение сумм температур почвы выше  $10^{\circ}\text{C}$  к сумме температур воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$ .

Для характеристики увлажнения используются различные показатели, делящиеся на прямые и косвенные.

Влага является одним из незаменимых факторов жизни растений. Они используют в основном влагу, содержащуюся в почве [18]. Влажность почвы зависит от многих причин и непрерывно меняется. В одном и том же районе при одинаковом количестве атмосферных осадков влажность почвы различных сельскохозяйственных угодий различна. Различие определяется тем, что расход почвенной влаги осуществляется путем испарения с поверхности почвы и транспирации растений. Испарение и транспирация в свою очередь зависят от характера и состояния поверхности почвы, погоды, вида культуры, фазы ее развития, состояния наземной массы и корневой системы и т.д.

Для оценки влагообеспеченности растений необходимо знать их потребность во влаге и влагосодержание почвы. Важными функциями воды являются ее участие в фотосинтезе растений, перенос элементов питания, обеспечение терморегуляции. Для оценки влагообеспеченности растений необходимо учитывать физические условия среды, в которой обитают растения, физиологические процессы, в них происходящие, особенности почв.

Сложность данной проблемы и важность для практики привели к проявлению многочисленных методов и способов решения.

Ю. И. Чирков отмечает [17], что для сельского хозяйства основное значение имеет только та часть почвенной влаги, которая обеспечивает формирование урожая культурных растений, т.е. превышает влажность устойчивого заведания – предел увлажнения почвы, при котором появляются необратимые признаки увядания растений, растения не восстанавливаются, прекращается прирост и формирование урожая. И таким образом оценку условий водоснабжения сельскохозяйственных культур, произрастающих на разных почвах, можно производить только по запасам продуктивной влаги.

Исследования Л. А. Разумовой и С. А. Вериго [4] положили начало изучению закономерностей формирования почвенной влаги на территории нашей страны. Ими выделены четыре агрогидрологические зоны.

Степень соответствия потребности растений в почвенной влаге для формирования высоких урожаев запасам продуктивной влаги в почве называют влагообеспеченностью растений [18]. С начала сороковых годов в Гидрометслужбе начали разрабатывать количественные показатели влагообеспеченности растений (С. А. Вериго, А. А. Разумова и др.).[4] К настоящему времени имеется множество работ, посвященных этой проблеме.

В результате обработки массовых материалов наблюдений агрометеорологических станций была установлена прямая связь между запасами продуктивной влаги, состоянием растений и урожайностью.

В своей работе А. А. Роде [11] пишет, что влага для растений необходима, во-первых, как источник вещества для органического синтеза, во-вторых, как среда, обеспечивающая возможность осуществления различного рода биохимических реакций и наконец, вода поддерживает непрерывность транспирации, с которой связано поступление в растение питательных веществ, и ряд других физиологических важных явлений. На транспирацию растения расходуют в среднем свыше 95% всего количества воды, поглощаемой ими.

Запасы продуктивной влаги формируются в результате совокупного длительного взаимодействия погоды, почвы и культуры. Каждая часть вегетационного периода в силу свойственного ему сочетания метеорологических условий, состояния растений и почвы имеет свои характерные особенности динамики запасов продуктивной влаги [4].

Таким образом, характер зависимости изменений запасов продуктивной влаги от метеорологических условий очень сложен. Он различен для разных культур, непостоянен в течение периода их вегетации и отличается в различных почвенно-климатических зонах.

Физиологические процессы в растительных организмах (дыхание, фотосинтез, передвижение воды и питательных веществ и т.д.) протекают только при определенных температурах, при этом оптимальные и крайние значения температур для разных растений и в различные периоды их жизни различны. Таким образом, температура воздуха в жизни растений имеет большое значение. Некоторые растения растут, цветут и плодоносят при температуре ниже 0°C, а некоторые не только не вегетируют, но даже гибнут при 10-15°C. Наступление соответствующих фаз развития у различных сельскохозяйственных культур происходит неодновременно.

В агрометеорологии суммы температур получили широкое применение как показатели, условно - характеризующие количество тепла в данной местности за определенный период.

Для выражения потребностей растений в тепле применяются также суммы эффективных температур. Это суммы средних суточных температур, отсчитанных от биологического минимума, при котором развиваются растения данной культуры. Исследованиями Ю. И. Чиркова [17] установлена некоторая изменчивость сумм эффективных температур в зависимости от уровня температуры воздуха. Обнаружено, что при возрастании средних суточных температур до 18-20°C и дальнейшим их увеличением суммы эффективных температур также начинают возрастать. Это объясняется тем, что скорость развития растений возрастает пропорционально повышению температуры среды лишь в пределах от биологического минимума температуры до средней суточной температуры 18-20°C (для многих культур умеренного пояса), а при дальнейшем повышении температуры развитие растений уже не ускоряется, оно может даже замедлиться. Температура, которая не ускоряет развитие растений, получила название балластной, как отмечает Ю. А. Чирков.[17]

Таким образом, значение учета термических условий в сельскохозяйственном производстве очень велико. В растительных организмах фотосинтез, дыхание, транспирация, усвоение питательных

веществ почвы и другие физиологические процессы осуществляются лишь в определенном диапазоне температур. Существуют температурные пределы жизнедеятельности растений - биологический минимум и биологический максимум. Между ними находится зона оптимальных температур, при которых развитие растений и формирование урожая протекает наиболее интенсивно.

Данные о температурном режиме нужны также для расчета сроков сева и уборки, для прогнозирования урожая.

Рядом авторов предложены косвенные методы выявления потребности в воде и оценки их влагообеспеченности [15].

Р. Э. Давид (1934) считал возможным использовать дефицит влажности воздуха в качестве мерила транспирации культурных растений, что в дальнейшем получило признание и начало развитие у иных исследователей.

По методу А. М. Алпатьева[3] потребность растений во влаге выражается суммой среднесуточных дефицитов влажности воздуха (в мм) за вегетационный период, умноженной на коэффициент 0.65.

С. А. Вериге[4] отмечает, что описанные методы определения потребности растений во влаге и их влагообеспеченности приближительны, так как нет уверенности, что при установлении соотношения фактических суммарных расходов воды и испаряемости растения в течении всего периода вегетации действительно находились в оптимальных условиях водоснабжения. Это особенно относится к определению влагообеспеченности в засушливых районах.

В связи с вышеизложенным, разработан метод оценки влагообеспеченности на основе количественных показателей, определенных по результатам сопряженных наблюдений над влажностью почвы, состоянием посевов, процессом формирования и величиной урожаев основных сельскохозяйственных культур.

Так, в своей работе В.Э. Ницис [8] предложил косвенный метод расчета непрерывной продолжительности температурно-влажностного комплекса. В

ней решается задача расчета средней непрерывной продолжительности и количество пересечений (или выбросов) заданной градации температурно-влажностного комплекса по некоторым известным характеристикам температуры и относительной влажности, каждой в отдельности. Для решения этой задачи используется вероятностная модель, заимствованная из теории массового обслуживания [1].

Для характеристики теплообеспеченности и оценки ее мезо- и микроклиматической изменчивости разработаны рекомендации по использованию комплекса показателей, который, наряду со значениями средней температуры почвы, содержит даты перехода средней суточной температуры почвы через заданные пределы, продолжительность периодов и сумму средних суточных температур почвы выше указанных значений.

## 2.2 Агроклиматическое районирование.

Наиболее совершенной формой учета климата является агроклиматическое районирование, представляющее систему подразделений территории, различающихся между собой климатическими условиями развития, роста, перезимовки растений и особенностями сельскохозяйственного производства - специализацией, характером агротехнических и технических мероприятий и др. [10].

В агрометеорологии были проведены широкие исследования по разработке методики и самого агроклиматического районирования разных масштабов (Г. Т. Селянинов, 1993, 1995, 1961; П. И. Колосков, 1947, 1958; С. А. Сапожникова, 1958; Ф. Ф. Давитая, 1938, и др.) [16]

Д. И. Шашко [18] обращает внимание на то, что агроклиматическое районирование должно строиться на познаниях климата как ресурса и условия сельскохозяйственного производства и удовлетворять следующим требованиям: отображать тип сельскохозяйственного производства в связи с режимом и сочетанием элементов климата в данной местности;

предусматривать возможность возделывания и возможный урожай определенных видов и сортов сельскохозяйственных культур: быть увязанным с комплексным природным и общеклиматическим районированием; отвечать потребностям в производственной оценке климата как общесоюзных, так и республиканских, районных организаций и хозяйств.

Указанным требованиям отвечает агроклиматическое районирование, которым предусматривается выделение таксометрических единиц, относящихся к трем качественно различным ступеням. Первую ступень составляют макроклиматические образования: агроклиматические пояса и подпояса; агроклиматические области и подобласти; агроклиматические зоны; провинции и секторы. Вторую ступень составляют мезоклиматические образования: агроклиматические округа и районы. Третью ступень составляют микроклиматические образования - агроклиматические типы местоположения [19].

Ю. И. Чирков [17] делит агроклиматическое районирование на общее и частное. Общее районирование характеризует распределение по территории основных элементов климата, количественно выражающих степень благоприятности климата для сельского хозяйства в целом. Частное (специализированное) проводят в целях характеристики условий произрастания отдельных культур, их сортов и гибридов и т.п. Большая роль в развитии агроклиматологии принадлежит ленинградской школе ученых во главе с Г.Т. Селяниновым и его учениками (А. М. Алпатьевым, И. А. Гольцберг, Ф. Ф. Давитая и др.) [16] были детально разработаны принципы и методы агроклиматического районирования, заложены основы микроклиматологии и районирования отдельных культур, влагооборота культурных растений; исследованы засухи, заморозки и др.

### 2.3 Неблагоприятные и опасные явления погоды

Неблагоприятные для сельского хозяйства явления климата и погоды – это понятия биоклиматические, так как они рассматриваются по реакции растений на погоду и характеризуются сопряженными агрометеорологическими и биологическими показателями, отмечает А.М. Шульгин [19].

Условия погоды в ряде случаев могут быть неблагоприятными для культурных растений. Не редко они могут нанести большой ущерб сельскохозяйственному производству. В таких случаях их относят к опасным метеорологическим явлениям. Основные из них в теплый период – заморозки, засухи, суховеи, пыльные бури, град, сильные ливни [17].

Заморозками называются кратковременные понижения температуры приземного слоя воздуха и поверхностных слоев почвы ниже 0 °С во время теплого периода года. Заморозки могут подразделяться по происхождению на несколько типов: адвективные, радиационные и смешанные (адвективно-радиационные). По степени устойчивости к заморозкам все полевые культуры делят на пять групп.

Подвергшиеся воздействию заморозка растения после оттаивания могут восстановить жизнеспособность. Для них опасно утреннее облучение прямыми солнечными лучами, так как при быстром нагревании растения не успевают восстановить тургор и задержать потерю влаги, образовавшийся от таяния льда в клетках замерзшего растения. В этом случае, поврежденные заморозком растения погибают от высыхания. В целях предохранения растения от гибели после заморозков целесообразно затенять от солнца или поливать холодной воды.

Засуха является одним из наиболее опасных для сельского хозяйства метеорологических явлений, периодически она наносит огромный ущерб ему. Засуха – это продолжительный период времени с отсутствием выпадения осадков. Может происходить весной (наиболее опасны для ранних

зерновых культур), летом(вредоносны как для ранних, так и для поздних зерновых, а так же другим однолетним культурам и плодовым растениям). Во время засухи преобладают высокие температуры с низкой относительной влажностью воздуха. Так как осадков выпадает очень мало или они вообще отсутствуют, почва пересыхает [11].

При засухе нередко возникает другое явление – суховеи. Суховеи могут наблюдаться в любое время теплого периода года и продолжаться от нескольких часов до 5-7 дней и более. Вредоносное влияние суховеев находится в зависимости от динамики условий погоды в течение вегетации. Например, кратковременные суховеи на фоне хорошего увлажнения почвы не приносят большого вреда.

Пыльные бури – одно из наиболее опасных для сельского хозяйства метеорологических явлений. Они возникают под влиянием как природных, так и антропогенных факторов и нередко связаны с формами земледелия, не соответствующими данной климатической зоне.

Возникновение и развитие пыльных бурь обусловлено сильным ветром (8 – 10 м/с и более), иссушенностью и распыленностью верхнего слоя почвы, отсутствием или слабым развитием растительного покрова, наличием обширных открытых пространств.

Град представляет собой плотные льдинки прозрачного или матово-белого цвета, которые выпадают при грозе и ливневых осадках. Растениям град наносит механические повреждения. Особенно он опасен, когда сопровождается сильным ветром и ливнем. В первые, периоды развития растений, до образования органов плодоношения, град является менее опасным.

Под ливнем подразумевается кратковременный интенсивный дождь, при котором за минуту выпадает более 1 мм осадков. Ливень может причинить механические повреждения растениям, смыть верхние слои почвы и удобрения.

Россия огромная страна с большим разнообразием климатических зон малопригодных, или вовсе непригодных для ведения сельского хозяйства, на пример Чукотский автономный округ, где произрастание сельскохозяйственных культур практически невозможно. Или же, кратковременные неблагоприятные явления, о которых говорилось ранее, негативно влияющие на сельскохозяйственную деятельность.

Поэтому, в данных районах имеет смысл переместить сельское хозяйство в помещения, на пример теплицы, с регулируемым микроклиматом. Данный опыт уже осуществляется. На пример ОАО «Авангард» был сконструирован круглогодичный мобильный фитотехкомплекс.[29]

## Глава 3. Практическая часть

В своей работе я рассматриваю простой в создании и бюджетный вариант мониторинга некоторых параметров микроклимата, таких как температура и влажность воздуха, и влажность почвы, для обычного пользователя.

Но стоит учитывать, что всем датчикам свойственны некоторые погрешности в измерениях, а бюджетным особенно. В данной главе будет рассматриваться как сам датчик и программное обеспечение к нему, так и выявление его недостатков.

### 3.1 Программная составляющая датчика

Для оптимальной работы датчика была составлена программа в операционной системе Ubuntu на платформе Arduino. Она заключается в циклической последовательности принятия сигналов от датчиков и в последующем преобразовании импульсов в цифровой сигнал, подающий на микроконтроллер.

#### 3.1.1 Операционная система Ubuntu

Программирование микроконтроллера в датчике, используемого в моей работе, происходит в операционной системе Ubuntu, одном из дистрибутивов Linux и основанном в духе Debian.

Данная операционная система была выбрана мной из-за своих, несомненно, положительных качеств таких как:

- Регулярные и предсказуемые релизы

Новая версия Ubuntu выпускается каждые полгода. Она содержит последнюю стабильную версию ядра основных приложений и поддерживается обновлениями безопасности в течение 9 месяцев.

- Бесплатность

Ubuntu - это свободное программное обеспечение и оно является бесплатным. В отличие от других коммерческих дистрибутивов из мира Linux (Xandros, Mandriva, SuSE, RedHat) команда разработчиков Ubuntu считает, что свободное ПО должно быть свободно от лишних затрат на лицензирование.

- Быстрая и простая установка

Ubuntu можно установить несколькими способами на компьютер. Существует две редакции установочного диска.

Первая - LiveCD, т.е. Ubuntu загружается со сменного носителя и не требует для своей работы установки на жёсткий диск, с графическим установщиком на большом количестве языков. Установка с помощью этого способа является очень простой, благодаря родному языку и понятным диалоговым окнам.

Вторая редакция диска представляет собой Alternate установщик. Так выглядела установка в первых версиях Ubuntu. На данный момент эта редакция диска используется в тех случаях, когда невозможна установка с LiveCD. В Alternate версии установщик не графический, а текстовый. В нём до сих пор есть несколько мест, где вы должны знать, что вы делаете, но значения по умолчанию подойдут для большинства пользователей.

Разработчики Ubuntu сделали комплект установочных дисков, состоящий всего лишь из одного CD, всё остальное доступно по сети в случае необходимости.

На компьютере средней конфигурации базовая установка Ubuntu производится менее чем за полчаса.

- При выходе новой версии не обязательно переустанавливать всю систему, достаточно обновить ее с текущей версии на следующую.

### 3.1.2 Платформа Arduino

Для того чтобы запрограммировать микроконтроллер использую платформу Arduino.

Arduino - это удобная платформа быстрой разработки электронных устройств для людей с разным уровнем подготовки. Данная платформа достаточно популярна во всем мире благодаря удобству и простоте языка программирования. Устройства программируются через USB без использования программаторов.

Arduino позволяет ПК выйти за границы виртуального мира в реальный мир и взаимодействовать с ним. Устройства на базе Arduino могут получать информацию об окружающей среде через данные, полученные с разнообразных датчиков, а также могут управлять различными исполнительными устройствами.

Микроконтроллер на плате программируется с помощью языка Arduino и среды разработки Arduino. Устройства, основанные на Arduino, могут работать самостоятельно, или взаимодействовать с программным обеспечением на ПК. Программное обеспечение можно найти в свободном доступе для бесплатного скачивания. Исходные чертежи схем (файлы CAD) являются общедоступными, пользователи могут использовать их по своему усмотрению.

Так же Arduino имеет ряд преимуществ перед другими устройствами:

- *Низкая стоимость.* Данные платы имеют относительно низкую цену, если сравнивать с иными платформами. Самая дешевая версия модуля Arduino может быть собрана вручную.

- *Кроссплатформенность.* Программное обеспечение Arduino работает под ОС Windows и Linux. Большинство же микроконтроллеров ограничивается только Windows.
- *Простая и понятная среда программирования.* Среда Arduino подходит как для начинающих пользователей, так и для опытных.
- Программное обеспечение с возможностью расширения и открытым исходным текстом, т.е. ПО Arduino выпускается как инструмент, который может быть дополнен опытными пользователями. Язык может дополняться библиотеками C++.
- Аппаратные средства с возможностью расширения и открытыми принципиальными схемами. Микроконтроллеры ATMEGA8 и ATMEGA168 являются основой Arduino. Схемы модулей выпускаются с лицензией CreativeCommons, а значит, опытные инженеры имеют возможность создания собственных версий модулей, расширяя и дополняя их. Даже обычные пользователи могут разработать опытные образцы с целью экономии средств и понимания работы.

Программу для датчика можно найти в приложение 1.

### 3.2 Технические характеристики

Датчик Hicrow состоит из единой платы, на которой размещено:

- 1) Микроконтроллер ESP-WROOM-32. Это модуль, который содержит как «мозги», так и память программ. Имеет ножки ввода/вывода как цифровые, так и аналоговые. Три UART порта (универсальный асинхронный передатчик, использующийся для передачи данных через последовательный порт компьютера). А также беспроводные коммуникации wi-fi и bluetooth.
- 2) Микросхема CP2104 конвертор uart – usb.

- 3) Микросхема tp5410 контроллер зарядки и одновременно step-up преобразователь, что бы напряжение литиевого аккумулятора поднять до требуемых 5В питания.
- 4) Микросхема tl555c – таймер, на котором сделан генератор измерителя влажности почвы.
- 5) Микросхема DHT11 – измеритель влажности и температуры воздуха.
- 6) Измерительный конденсатор, выполненный на печатной плате.
- 7) Две кнопки Boot для программирования и EN (сброс).
- 8) Отсек для батареи 18650
- 9) Разъем USB

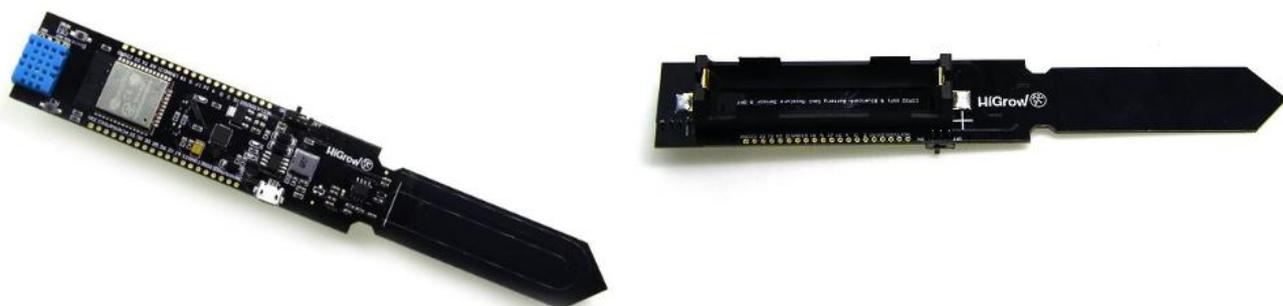


Рисунок 1 Датчик HIGrow

### 3.2.1 Датчик влажности почвы

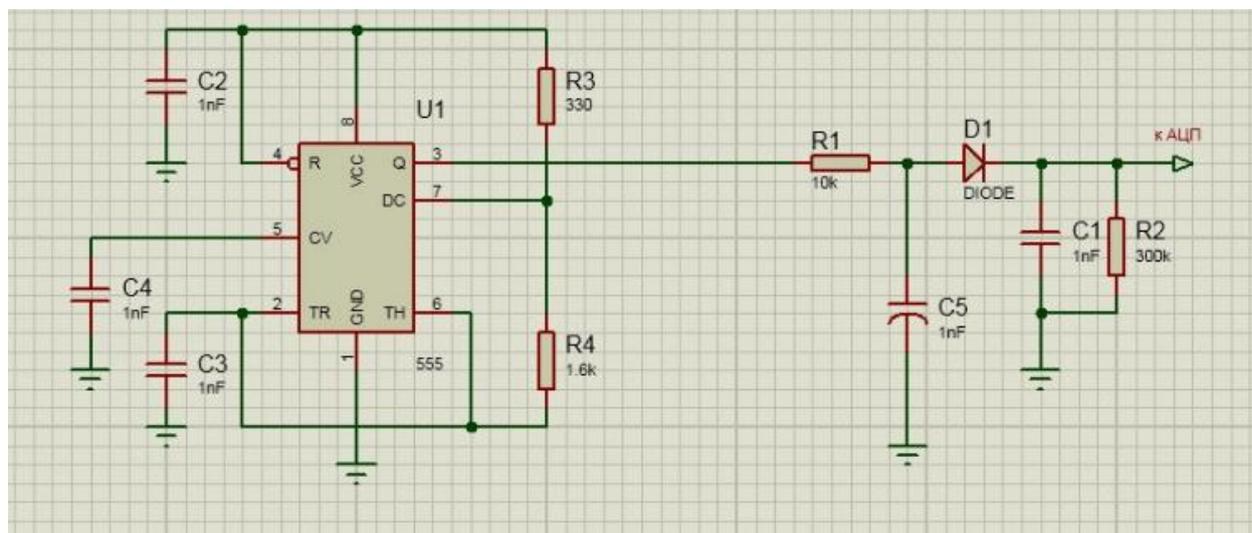


Рисунок 2 Схема датчика влажности почвы

Датчик влажности почвы Hicrow ESP32 rev1 использует принцип емкостного зондирования для обнаружения влаги почвы или её отсутствие. Также в этот датчик встроен датчик температуры и влажности воздуха (DHT11). Полученные данные в виде цифрового сигнала поступают на микроконтроллер (ESP-WROOM-32) для обработки и отправки его потребителю через беспроводную связь (Wi-Fi или Bluetooth) на ПК.

Этот аналоговый емкостный датчик влажности почвы измеряет уровни влажности почвы при помощи емкостного зондирования, вместо резистивного зондирования, как и другие типы датчика влаги.

Генератор на 555 таймере. Частота 500 кГц, делитель на конденсаторе C5 (печатный) и резисторе R1. Далее детектор на диоде и к АЦП.

Технические характеристики:

Рабочее напряжение: DC 3.3-5.5 В

Выходное напряжение: DC 0-3.0 В

Интерфейс: pH2.0-3 P.

### 3.2.2 Датчик температуры и влажности воздуха

Температура и влажности воздуха измеряется встроенным сенсором DHT11.

DHT11 — это цифровой датчик влажности и температуры, состоящий из термистора и ёмкостного датчика влажности. Датчик содержит в себе АЦП для преобразования аналоговых значений температуры и влажности. Этот датчик не обладает высоким быстродействием и точностью, но зато прост, недорог и отлично подходит для обучения и контроля влажности в помещении

В ёмкостном датчике имеется стеклянная подложка, на которой между двумя металлическими слоями напылён увлажнённый полимер, высокочувствительный к влажности воздуха. При поглощении влаги диэлектрическая постоянная, и, следовательно, ёмкость тонкоплёночного конденсатора изменяются в зависимости от относительной влажности воздуха. Измеряющий сигнал прямо пропорционален относительной влажности воздуха и не зависит от атмосферного давления.

Достоинства:

- Не требует технического обслуживания в течение длительного периода, устойчиво работает при температурах ниже 0°C.
- Работа датчика не зависит от атмосферного давления.
- Универсален в применении.

Недостатки:

- Ограниченная стабильность при долговременной эксплуатации.
- Чувствителен к влажным и к некоторым материалам, поддающимся коррозии, но так как он изготовлен из коррозионного материала, то этот недостаток уменьшает свою значимость.

Технические характеристики датчика DHT11

- Питание: DC 3,5 – 5,5 В;
- Ток питания:  
в режиме измерения 0.3mA;

в режиме ожидания  $60\mu\text{A}$ .

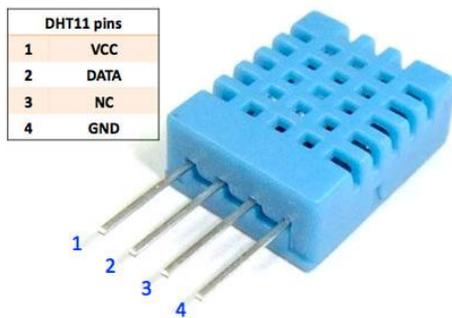
- Интервал влажности  $20\text{--}80 \pm 5 \%$ ;
- Интервал температуры  $0\text{--}50 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2^\circ$ ;
- Частота опроса не более одного раза в 1 сек. (не более 1 Гц);

#### Плюсы датчика

- Сочетает в себе два датчика: датчик температуры и датчик влажности
- Недорогое решение для получения температуры и влажности
- Прост в использовании
- Прост в подключении

#### Минусы датчика

- Большая погрешность измерений
- Температуру ниже  $0^\circ\text{C}$  не измеряет
- Долгое время отклика (раз в две секунды)



- 1 – VCC (питание 3–5 В);
- 2 – DATA (вывод данных);
- 3 – не используется;
- 4 – GND (земля).

Рисунок 3 Датчик DHT11

### 3.2.3 Микроконтроллер

«Мозгами» датчика является микроконтроллер ESP-WROOM-32. Это миниатюрный высокопроизводительный совмещённый Wi-Fi + BT + BLE модуль от компании Espressif, разработанный для широкого спектра применений, начиная от маломощных сетевых датчиков до самых сложных приложений. ESP-WROOM-32 выполнен на базе популярного двудядерного чипсета ESP32, с регулируемой частотой от 80 МГц до 240 МГц, возможностью индивидуального управления и питания.

Wi-Fi-модуль разработан для носимой электроники и приложений интернета вещей, выполнен в миниатюрном корпусе 25,5 мм x 18 мм, имеет на борту Flash память, кварц 40 МГц и PCB антенну, обеспечивающую превосходные RF характеристики.

Одной из особенностей модуля является сверхнизкое потребление и гибкий выбор «спящих» режимов, позволяющих получить цифры до 20мкА (deepsleepmode).

Отличительные особенности:

- Поддержка двух режимов Bluetooth: «classic» и BLE
- Скорость Wi-Fi: 802.11 b/g/n до 150 Мбит/с
- поддержка режимов Wi-Fi: клиент, точка доступа, Sniffer, Wi-Fi Direct.
- Минимальная чувствительность -98 dBm
- Широкий диапазон рабочих температур: -40°C...+125°C
- Энергопотребление до 20мкА (deepsleepmode).
- Обновление ПО по воздуху



Рисунок 4ESP-WROOM-32 (Wi-Fi-модуль)

### 3.3 Лабораторные исследования

В работе проводилось два лабораторных исследования. Первое на предмет различия влажности почвы при комнатных условиях в зависимости от вида почвы, которая подвергается исследованию. Во втором исследовании осуществлялась получение калибровочной кривой для датчика влажности почвы.

#### 3.3.1 Первое исследование

Имеются пластиковые емкости, наполненные высушенным песком, обыкновенной землей и торфом, а также водой. Внешний вид образцов представлен на рисунке 5.

Поочередно датчик влажности почвы помещался в образцы с 1 по 4 и осуществлялись измерения цифрового кода, пропорционального влажности почвы. Результаты измерений представлены в таблице 2.



Рисунок 5 Исходные образцы

Образец	Температура воздуха, °С	Влажность воздуха, %	Влажность почвы(АЦП)
Песок	18	40	3025
Торф	18	40	3039
Земля	21	36	3051
Вода	27	23	1424

Таблица 2 Результаты измерения влажности образцов почвы

Из данных видно, что в зависимости от вида почвы её влажность меняется, хоть и не очень сильно. Это связано с тем, что у разных видов почв разная проницаемость. Можно также сказать, что из-за разных составов у датчика будет разный срок службы.

### 3.3.2 Калибровка датчика влажности почвы

Имеется пластиковая емкость с сухой землей. Масса земли в емкости 2900 г. В землю помещается датчик влажности почвы. После этого в емкость начинает добавляться вода мелкими порциями, примерно по 2% от веса почвы. Результаты проведенных измерений представлены в таблице 3 и на рисунке 6.

Результаты измерения можно увидеть в таблице 3 и на рисунке 6.

Увлажнённость, %	Увлажнённость, г/кг	Ёмкостной датчик
0	0,00	2805
2	0,02	2925
4	0,04	2625
6	0,06	2175
8	0,07	1950
10	0,09	1614
12	0,11	1433
14	0,12	1283
16	0,14	1110
18	0,15	1005
20	0,17	705
22	0,18	705
24	0,19	707
26	0,21	650
28	0,22	570
30	0,23	548
32	0,24	510

Таблица 3 Результаты калибровочных измерений

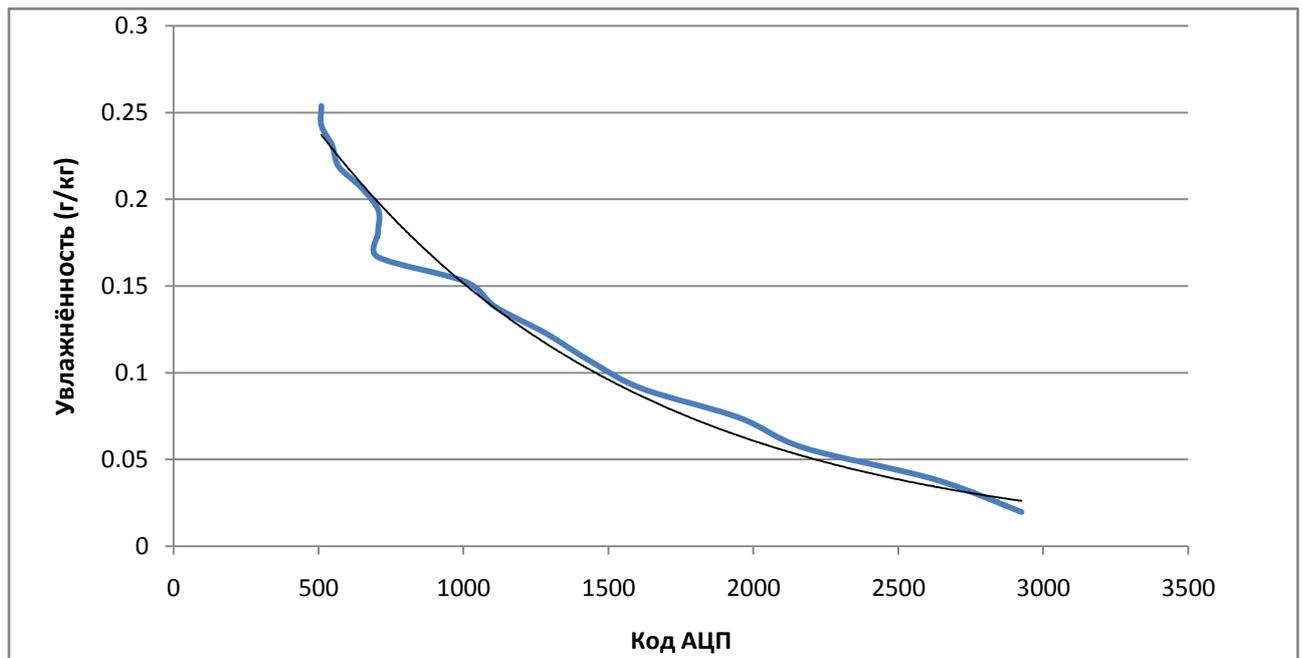


Рисунок 6 Калибровочная кривая датчика влажности почвы

Из данных рисунка 6 хорошо видно, результаты аппроксимации не сильно отличаются от данных, полученных датчиком. При этом достоверность аппроксимации составляет 0,9781. Полученная калибровочная кривая имеет вид:

$$y = 0,3777e^{-9E-04x}$$

## Заключение

В ходе выполнения исследований в рамках выпускной квалификационной работы получены следующие результаты:

1. проведен обзор литературных источников по микроклимату и влиянию параметров микроклимата на произрастание сельскохозяйственных культур;
2. сформулированы требования к устройству мониторинга параметров микроклимата при выращивании сельскохозяйственных культур. Наиболее важными параметрами являются температура воздуха, влажность воздуха, влажность почвы;
3. разработано программное обеспечение для осуществления сбора данных с датчиков устройства мониторинга параметров микроклимата;
4. выявлено, что датчики температуры и влажности воздуха передают данные измерений в цифровом виде с учетом калибровочных данных, заложенных на заводе-изготовителе. Однако, датчик влажности почвы позволяет получать данные в единицах кода АЦП, которые требуют перевода в единицы влажности почвы;
5. осуществлена калибровка датчика влажности почвы. Полученная аппроксимация с достаточно высокой точностью описывает данные измерений ( $R^2=0,9781$ ).

Как уже упоминалось ранее, технический прогресс не стоит на месте. Появляются всё более современные технологии, которые внедряются во все сферы жизни человека. Так что, не удивительно, что IoT-технологии также используются в метеорологии для мониторинга параметров микроклимата. Это позволяет лучше предсказывать погоду и быстрее реагировать на опасные явления и предпринимать меры по защите.

Данные технологии значительно упрощают сельскохозяйственную деятельность в замкнутых пространствах, практически сведя роль человека, в

уходе за растениями, к нулю, так как данный процесс в замкнутых помещениях может быть полностью автоматизирован.

## Список используемых источников:

- 1 Агрометеорология. / Под редакцией Кулик М.С. – Л.: Гидрометеоиздат,1978. – 126 с.
- 2 Алисов Б.П. Курс климатологии. Часть 1,2 / Алисов Б.П., Дроздов О.А., Рубинштейн Е.С. – Л.:Гидрометеоиздат,1952. – 487 с.
- 3 Алпатьев А.М. Влагооборот культурных растений. - Л.:Гидрометеоиздат, 1954.-323 с.
- 4 Вериго С.А. Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве /С.А. Вериго, А.А. Разумова - Л.: Гидрометеоиздат, 1963. – 288 с.
- 5 Максимов С.А. Погода и сельское хозяйство. – Л.: Гидрометеоиздат. 1965. – 203 с.
- 6 Методические указания по обобщению результатов микроклиматических исследований для целей сельского хозяйства. - Л.: Гидрометеоиздат ,1982. – 60 с.
- 7 Микроклимат СССР:/Под редакцией Гольцберг И. А.. - Л.: Гидрометеоиздат, 1967. – 285 с.
- 8 Ницис В.Э. Косвенный метод расчета непрерывной продолжительности температурно-влажностного комплекса //Труды ГГО-1980-вып.440//
- 9 Оке Т.Р. Климаты пограничного слоя. - Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 358 с.

- 10 Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – 664 с.
- 11 Романова Е.Н. Методы использования систематизированной климатической и микроклиматической информации при развитии и совершенствовании градостроительных концепций /Е.Н. Романова, Е.О.Гобарова, Е.Л. Жильцова – СПб: Гидрометеоиздат,2000. 160 с.
- 12 Романова Е.Н Методы мезо- и микроклиматического районирования для целей оптимизации размещений сельскохозяйственных культур с применением технологии автоматизированного расчета / Е.Н.Романова, Е.О. Гобарова, Е.Л. Жильцова – СПб: Гидрометеоиздат, 2003. – 104 с.
- 13 Романова Е. Н. Микроклиматология и её значение для сельского хозяйства / Романова Е. Н., Мосолова Г.И., Берсенева И. А. - Л.: Гидрометеоиздат, 1983 – 244 с.
- 14 Руднев Г.В. Агрометеорология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 344 с.
- 15 Руководство по изучению микроклимата для сельскохозяйственного производства. - Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 152 с.
- 16 Синицина Н. И. Агроклиматология / Н.И. Синицина, И.А. Гольцберг, Э.А. Струнников– Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 343 с.
- 17 Чирков Ю.И. Агрометеорология.- Л: Гидрометеоиздат, 1979.-320 с.
- 18 Шашко Д.И. Агроклиматическое районирование в СССР. – М.:Колос,1967. – 336 с.
- 19 Шульгин А.М. Агрометеорология и агроклиматология. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1978, 200 с.

- 20 Ubuntu. – Режим доступа: URL: <http://ubuntu.ru/>
- 21 Arduino. – Режим доступа: URL: <http://arduino.ru/>
- 22 Евромобайл. – Режим доступа:  
URL: [https://www.euromobile.ru/produkcija/wi-fi\\_moduli/esp-wroom-32-wi-fi-modul/](https://www.euromobile.ru/produkcija/wi-fi_moduli/esp-wroom-32-wi-fi-modul/)
- 23 Maker. – Режим доступа: URL: <http://makerplus.ru/wiki/datchik-vlazhnosti-i-temperature-dht11>
- 24 Eppela. – Режим доступа: URL: <https://www.eppela.com/it/projects/15854-higrow-piattaforma-per-monitorare-le-tue-piante>
- 25 Lilygo. – Режим доступа:  
URL: [http://www.lilygo.cn/down\\_view.aspx?TypeId=11&Id=80&Fid=t14:11:14](http://www.lilygo.cn/down_view.aspx?TypeId=11&Id=80&Fid=t14:11:14)
- 26 Амперка. – Режим доступа: URL: <http://amperka.ru/product/temperature-humidity-sensor-dht11>
- 27 Random nerd tutorials. – Режим доступа: URL: <http://randomnerdtutorials.com>
- 28 ОАО «Авангард». Круглогодичный мобильный фитотехкомплекс. – Режим доступа: URL: <http://ru.avangard.org/products.html?itemid=122>

## Приложение 1

Программа для датчика.

```
#include<WiFi.h>
#include "DHT.h"

#defineDHTTYPE DHT11

const char* ssid = ""; //wifi id
const char* password = ""; //парольотwifi

WiFiServer server(80);

const int DHTPin = 22;
DHT dht(DHTPin, DHTTYPE);
static char celsiusTemp[7];
static char fahrenheitTemp[7];
static char humidityTemp[7];

char linebuf[80];
int charcount = 0;

void setup() {
  dht.begin();

  Serial.begin(115200);
  while (!Serial) {
    ;
  }
  Serial.println();
  Serial.println();
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);

  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {

    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  Serial.println("IP address: ");
```

```

Serial.println(WiFi.localIP());

server.begin();
}

void loop() {
WiFiClient client = server.available();
if (client) {
Serial.println("New client");
memset(linebuf, 0, sizeof(linebuf));
charcount = 0;
booleancurrentLineIsBlank = true;
while (client.connected()) {
if (client.available()) {
char c = client.read();
Serial.write(c);
linebuf[charcount] = c;
if (charcount<sizeof(linebuf) - 1) charcount++;
if (c == '\n' &&currentLineIsBlank) {

float h = dht.readHumidity();
float t = dht.readTemperature();
float f = dht.readTemperature(true);

if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {
Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
strcpy(celsiusTemp, "Failed");
strcpy(fahrenheitTemp, "Failed");
strcpy(humidityTemp, "Failed");
}
else {

float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false);
dtostrf(hic, 6, 2, celsiusTemp);
float hif = dht.computeHeatIndex(f, h);
dtostrf(hif, 6, 2, fahrenheitTemp);
dtostrf(h, 6, 2, humidityTemp);

Serial.print("Humidity: ");
Serial.print(h);
Serial.print(" %\t Temperature: ");
Serial.print(t);
Serial.print(" *C ");
Serial.print(f);
Serial.print(" *F\t Heat index: ");

```

```

Serial.print(hic);
Serial.print(" *C ");
Serial.print(hif);
Serial.print(" *F");
Serial.print("Humidity: ");
Serial.print(h);
Serial.print(" %\t Temperature: ");
Serial.print(t);
Serial.print(" *C ");
Serial.print(f);
Serial.print(" *F\t Heat index: ");
Serial.print(hic);
Serial.print(" *C ");
Serial.print(hif);
Serial.println(" *F");
    }
client.println("HTTP/1.1 200 OK");
client.println("Content-Type: text/html");
client.println("Connection: close"); // the connection will be closed after
completion of the response
client.println();
client.println("<!DOCTYPE HTML><html><head><meta name=\"viewport\"
content=\"width=device-width, initial-scale=1\">");
client.println("<meta http-equiv=\"refresh\" content=\"30\"></head>");
client.println("<body><div style=\"font-size: 3.5rem;\"><p>ESP32 -
DHT</p><p>");
if (atoi(celsiusTemp) >= 25) {
client.println("<div style=\"color: #930000;\">");
    }
else if (atoi(celsiusTemp) < 25 &&atoi(celsiusTemp) >= 5) {
client.println("<div style=\"color: #006601;\">");
    }
else if (atoi(celsiusTemp) < 5) {
client.println("<div style=\"color: #009191;\">");
    }
client.println(celsiusTemp);
client.println(" *C</p><p>");
client.println(fahrenheitTemp);
client.println(" *F</p></div><p>");
client.println(humidityTemp);
client.println("%</p><p>");
client.println(analogRead(32));
client.println("</p></div>");
client.println("</body></html>");
break;

```

```
    }  
    if (c == '\n') {  
        currentLineIsBlank = true;  
        memset(linebuf, 0, sizeof(linebuf));  
        charcount = 0;  
        } else if (c != '\r') {  
            currentLineIsBlank = false;  
        }  
    }  
    }  
    }  
    delay(1);  
  
    client.stop();  
    Serial.println("client disconnected");  
    }  
    }
```