

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»

(наименование)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

(код и наименование направления подготовки)

Электроника и робототехника

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Система управления микроклиматом теплицы

Обучающийся Д.А. Болясников

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель канд. техн. наук, Е.С. Глибин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант канд. филол.наук, доцент О.А. Головач

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

## Аннотация

Объём 47 страниц, 22 рисунка, 1 таблицу, 26 источников.

Объектом исследования является образец системы управления микроклиматом теплицы.

Целью проекта является разработка рабочей и эффективной модели системы управления микроклиматом теплицы.

Задачами проекта являются анализ существующих решений на рынке, подбор комплектующих для реализации проекта, разработка электрической схемы соединений и написание программного обеспечения для корректной работы системы

В ходе выполнения работы был проведен анализ существующих решений по автоматизации управлением микроклимата, рассмотрены различные типы датчиков и исполнительных механизмов. Разработанная система включает в себя датчики температуры, влажности воздуха, освещенности и влажности почвы, а также исполнительные устройства: серводвигатель для управления вентиляцией, светодиодную ленту для дополнительного освещения и водяной насос для автоматического полива.

Для моделирования электрической схемы использовались программные пакеты КОМПАС 3D V22 и КОМПАС-Электрик V22. Для написание программного обеспечения использовалась интегрированная среда разработки Arduino IDE.

Областью применения разработанной системы может быть использована в различных областях, как в частном хозяйстве, облегчая уход за растениями и обеспечивая стабильный рост в домашних и любительских теплицах, так и в промышленных сельскохозяйственных предприятиях.

Результаты работы показали, что разработанная система способна эффективно поддерживать необходимые условия для роста растений, снижать затраты на ручной труд и повышать качество урожая. Работа подтверждает, что использование микроконтроллера Arduino позволяет создать надежную и доступную систему автоматизации для теплиц.

## **Abstract**

The object of the study is a sample greenhouse microclimate control system. The explanatory note has been completed. The aim of the project is to develop a functional and effective model of a greenhouse microclimate control system. The tasks of the project include analyzing existing solutions on the market, selecting components for project implementation, developing an electrical connection diagram, and writing software to ensure the correct operation of the system.

During the course of the work, an analysis of existing solutions for microclimate control automation was conducted, various types of sensors and actuators were considered. The developed system includes temperature, air humidity, light intensity, and soil moisture sensors, as well as actuators: a servomotor for ventilation control, an LED strip for additional lighting, and a water pump for automatic irrigation.

For modeling the electrical circuit and the case for the board, KOMPAS 3D V22 and KOMPAS-Electric V22 software packages were used. The software was written using the Arduino IDE integrated development environment.

The area of application for the developed system can be diverse. It can be used in private households to facilitate plant care and ensure stable growth in home and amateur greenhouses, as well as in industrial agricultural enterprises.

The results of the work demonstrated that the developed system is capable of effectively maintaining the necessary conditions for plant growth, reducing manual labor costs, and improving crop quality. The work confirms that the use of the Arduino microcontroller allows for the creation of a reliable and affordable automation system for greenhouses.

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Введение .....   | 5  |
| 1 Состояние вопроса .....  | 6  |
| 1.1 Формулировка актуальности, цели и задачи проекта .....                         | 6  |
| 1.2 Анализ исходных данных .....   | 6  |
| 1.3. Анализирование существующих решений .....                                     | 7  |
| 2.Проектный раздел .....   | 10 |
| 2.1 Проектирование структурной схемы .....   | 10 |
| 2.2. Подбор необходимых компонентов .....  | 12 |
| 2.2.1 Подбор необходимых датчиков и исполнительных механизмов .....                | 12 |
| 2.2.2. Способ индикации.....   | 29 |
| 3 Разработка программной части устройства .....                                    | 31 |
| 3.1 Разработка блок-схемы алгоритма .....  | 31 |
| 3.2 Разработка кода .....  | 32 |
| 4. Способы реализации системы .....  | 39 |
| 4.1 Проектирование печатной платы системы управления микроклиматом<br>теплицы..... | 39 |
| Заключение .....   | 43 |
| Список используемой литературы .....   | 45 |

## Введение

В условиях современного сельского хозяйства наблюдается стремительное развитие технологий, направленных на повышение эффективности и устойчивости производства. Одной из таких передовых технологий является использование теплиц для выращивания сельскохозяйственных культур. В этом контексте управление микроклиматом теплицы становится ключевым аспектом, обеспечивающим оптимальные условия для роста и развития растений. Система управления микроклиматом теплицы позволяет автоматизировать процессы контроля температуры, влажности, освещенности и уровня углекислого газа, что непосредственно влияет на урожайность и качество продукции.

Цель исследования. Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка эффективной системы управления микроклиматом теплицы. Достижение этой цели предполагает изучение современных подходов к автоматизации микроклиматических условий, анализ существующих систем управления и разработку собственной модели, которая учитывает специфику выбранной тепличной культуры и региональные особенности.

Как известно, внешняя среда, условия в которых находятся растения значительно влияют на качество и скорость их созревания. Такие внешние факторы, как температура, влажность и освещение напрямую сказывается на состоянии растения. От температуры зависит скорость и развития растения. При несоблюдении температурных условий рост растения может не только замедлиться, но и прекратиться вовсе. Влажность окружающей среды влияет на интенсивность транспирации, то есть образование органических веществ из неорганических. При условии недостаточной влажности, развитие растения сильно замедляется. Освещение играет ключевую роль в росте

растения. Именно от него зависит работоспособность такого процесса, как фотосинтез – процесс, при котором в клетках, содержащих хлорофилл, под действием энергии света образуются органические вещества из неорганических

## **1 Состояние вопроса**

### **1.1 Формулировка актуальности, цели и задачи проекта**

Сельское хозяйство является неотъемлемой частью в развитии экономики стран, а также играет важную роль в обеспечении продовольствием людей, населяющих планету. Система управления микроклиматом способна упростить работу по контролю за необходимыми условиями в теплице.

Целью работы: разработать рабочую и эффективную модель системы управления микроклиматом теплицы

Исходя из цели работы сформируем задачи.

Задача работы:

- Изучить теоретические основы создания микроклимата теплицы.
- Проанализировать и подобрать необходимые компоненты для реализации
- Разработка электрической схемы соединений
- Написание кода для реализации поставленной цели
- Проанализировать существующие системы управления микроклиматом теплицы.

### **1.2 Анализ исходных данных**

Система управления микроклиматом теплицы должна выполнять следующие задачи:

1. Полив растений исходя из количества влаги в почве

2.Поддержания необходимого температурного диапазона, для благоприятного роста растений

3. Проветривание теплицы

4. Освещение в зависимости от уровня освещенности снаружи

### 1.3. Анализирование существующих решений

На рынке существуют готовые комплекты системы автоматизации микроклиматом теплицы. Одной из них является комплект автоматизации «Умница» grow Рисунок 1.2



Рисунок 1.1 - система автоматизации "Умница"

Комплект автоматизации «УМНИЦА» grow предназначен для комплексного управления, регулирования, мониторинга через беспроводную локальную сеть, регистрация данных на карте памяти, поддержания заданного микроклимата и условий выращивания культурных растений. Область

применения: автоматизация вновь монтируемых или модернизация существующих теплиц: парников, теплиц, оранжерей, гроубоксов и т.п.

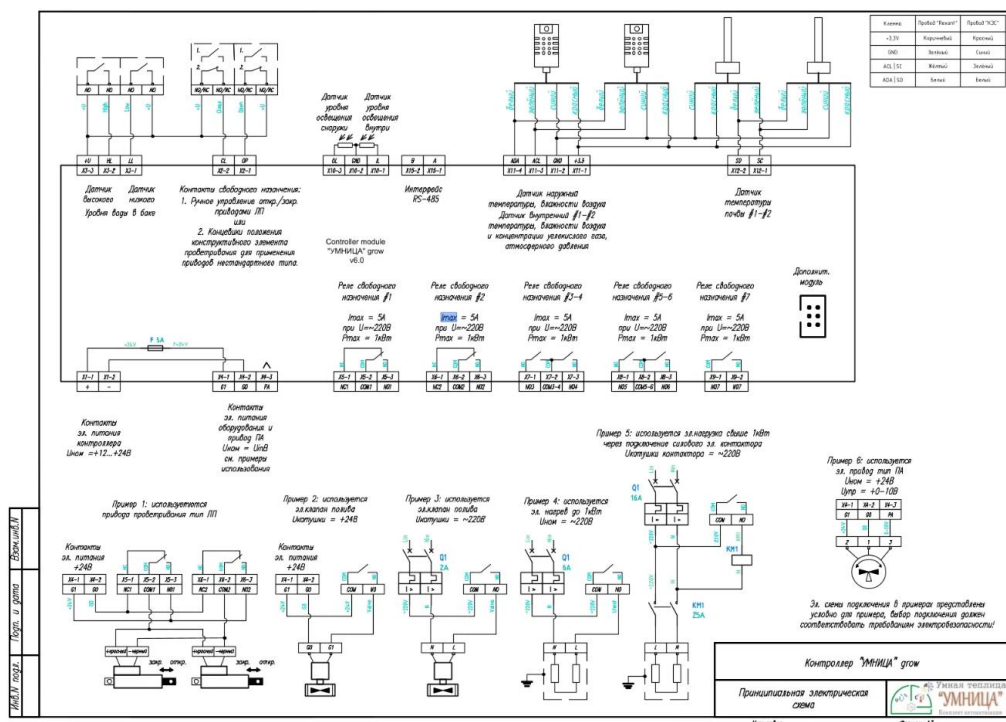


Рисунок 1.2 – Электрическая схема системы автоматизации «Умница»

В комплект данной системы входят различные датчики, такие как: Датчик температуры и влажности воздуха, датчики освещенности, датчик температуры почвы, концентрации CO<sub>2</sub> и преобразователь напряжение, необходимый для корректной работы оборудования (система полива, охлаждения, нагрева и т.д.)

### Характеристики системы автоматизации «Умница» grow

- размеры корпуса: 125x110x40мм(ВxШxГ);
- размеры корпуса с антенной: 165x145x40мм(ВxШxГ);
- способ установки: на DIN рейку или крепления на саморез;
- номинальное напряжение питания блока управления: +12...+24В;
- род тока: Род тока: постоянный (DC);
- степень защиты: IP20; Рабочая температура: -25...+65 град.;
- беспроводная связь: Wi-Fi: 802.11 b / g / n;
- проводная связь: интерфейс RS-485, протокол Modbus RTU;



- карта памяти: microSD;
- количество релейных выходов свободного назначения: 7 шт.;
- номинальный ток нагрузки релейных выходов: не более 5А;
- номинальное напряжение коммутации релейных выходов: не более 300В;
- коммутируемая мощность нагрузки: до 1кВт (свыше через контактор).

Как уже было озвучено ранее, данная система может быть установлено в большинство видов теплиц, парников, оранжерей и т.п. Плюсом данной модели является то, что управление всеми системами происходит по локальной сети, т.е. все показания с датчиков и управление системой происходит не внутри самой теплицы, а извне, с помощью смартфона. Главным ее недостатком служит сложность в ее установке. Цена данного комплекта составляет в районе 84000 рублей.

Также, на просторах рынка встречаются не только системы автоматизации, но и полностью готовые умные теплицы. Одной из них является модель «**Fibonacci AG-4**» Рисунок 1.4



Рисунок 1.3 – умная теплица Fibonacci AG-4

Это готовый вариант для выращивания урожая дома. Система является автономной, то есть практически не требует вмешательства человека в его работу. Данная система оснащена инновационной системой капельного полива, что обеспечивает не только контроль за уровнем подачи воды, но и уровнем минералов и питательных веществ. Также данная система оснащена системой освещения «Rainbow spectrum». Суть данной системы заключается в том, что используется освещение происходит за счет цветов только красного и синего спектра. Это позволяет создать наиболее благоприятные условия для роста растений. Система также позволяет выставить определенный уровень освещенности для каждого растения.

#### **Характеристики Fibonacci AG-4**

- 4 посадочных места;
- размеры – 1130 X 520 X 540 см;
- рассчитано на 1-2 человек;
- напряжение: 220 V;
- подвод воды не требуется.

Данную умную теплицу можно использовать в домашних условиях, отлично вписывается в интерьер. Плюсом данной модели является также то, что управление происходит через специальное приложение, устанавливаемое на смартфон. Цена данной модели варьируется от 145 тыс. руб до 200 тыс руб. в зависимости от комплектации.

## **2. Проектный раздел**

### **2.1 Проектирование структурной схемы**

Рассмотрев вышеописанные аналоги, можно перейти к выбору необходимых датчиков. Для обеспечения централизации и управления необходимо использовать компонент, который позволяет считывать и обрабатывать сигналы, реагируя на полученные данные от датчиков

соответствующим образом. Для этого отлично подойдет микроконтроллер

Для реализации данного проекта необходимо выбрать необходимые системы и подобрать под них комплектующие. Система управления макроклиматом теплицы должна включать в себя следующие системы:

- система контроля и регулировки температуры воздуха;
- система контроля влажности воздуха;
- автоматическая система полива;
- автоматическая система освещения.

Для системы автоматического полива почвы необходимо использовать: датчик, измеряющий уровень влажности почвы, позволяющий определять, когда необходим полив растений, устройство управления (в данном случае микроконтроллер), который считывает сигнал с датчика и решает, необходим ли полив на данный момент, а также исполнительный механизмы, который данный полив бы совершали.

Для автоматической системы освещенности требуются следующие элементы: датчик, отслеживающий уровень освещенности внутри теплицы, устройство управления, принимающее значения с датчика, и принимающего решение о необходимости осветить теплицу, и источник света.

Для системы контроля и регулировки температуры и воздуха необходимо использовать датчик, способный измерять значение температуры воздуха внутри теплицы, управляющее устройство, подающее сигнал на исполнительные механизмы.

Система управления влажностью воздуха должна включать в себя: датчик, отслеживающий значения влажности воздуха внутри теплицы,

управляющее устройство, считывающее значение с датчика и передающее на исполнительный механизм.

Все параметры должны отображаться и видны пользователю. Самый удобный вариант использования ЖК-дисплея.

Структурная схема изображена на рисунке 2.1.

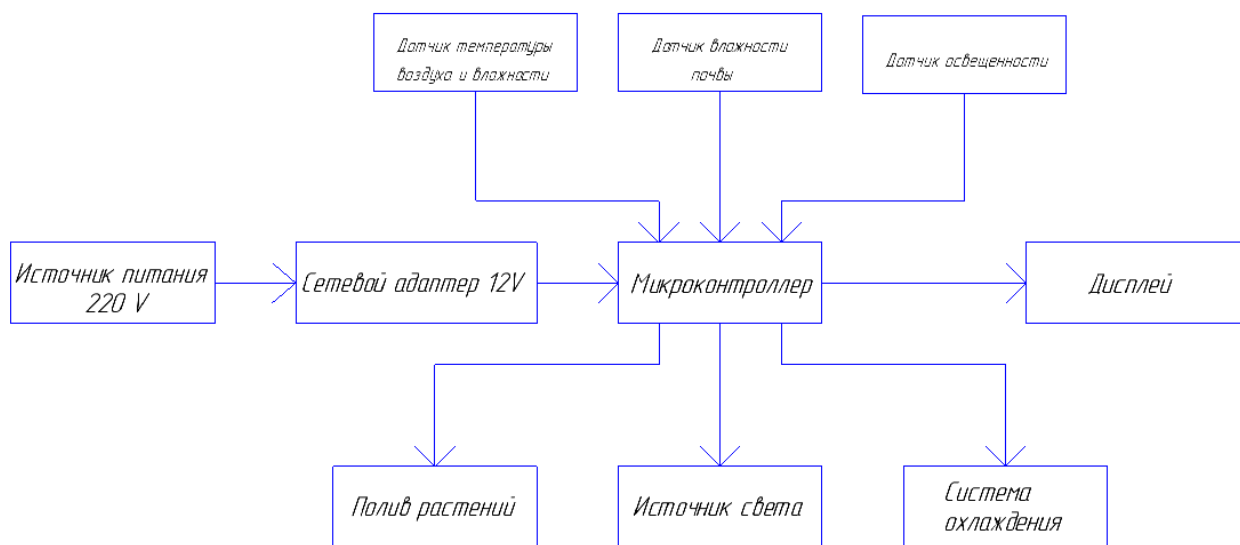


Рисунок 2.1 – Структурная схема системы управления микроклиматом теплицы.

## 2.2. Подбор необходимых компонентов

### 2.2.1 Подбор необходимых датчиков и исполнительных механизмов

Выбор микроконтроллера. В данной работе для выполнения поставленной задачи используется микроконтроллер Arduino UNO, которая базируется на основе Atmega328. Рисунок 2.2

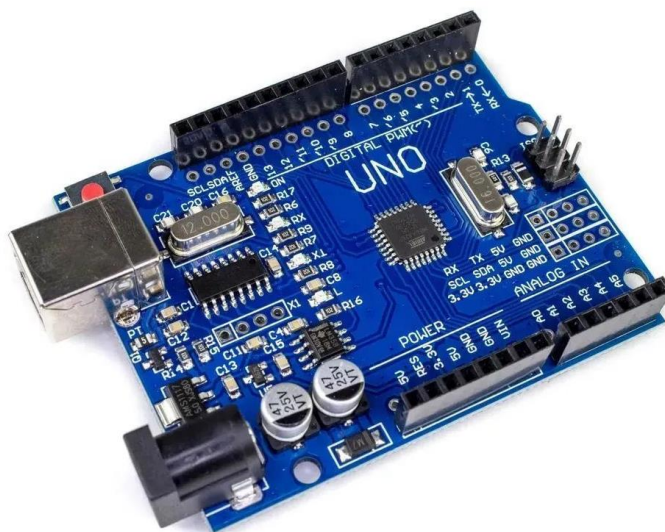


Рисунок 2.2 – микроконтроллерная плата Arduino UNO

Arduino - это одна из самых популярных плат для создания электронных устройств и проектов. Она представляет собой открытую платформу, которая позволяет разработчикам создавать различные устройства, такие как датчики, контроллеры, системы управления и т.д. Эта платформа отлично подходит для создания различных проектов разного масштаба. В их линейке имеются платы как для простых проектов, по типу Arduino Uno, так и для более сложных – Arduino Mega. Основными плюсами данной платформы являются:

- простота в использовании – Arduino имеет простой и понятный интерфейс, который может освоить начинающий разработчик и уже создавать на нем проекты;
- совместимость – платформа Arduino совместима со многими видами датчиков, различных механизмов, устройств и т.п., что делает ее универсальной для разработки различных проектов;
- гибкость – в плате Arduino имеется множество контактов и портов для подключения различных датчиков и исполнительных механизмов;

– простота в программировании – у Arduino есть собственная среда разработки под названием Arduino IDE, которая позволяет писать, компилировать и загружать программы на плату.

Также, основной причиной выбора данного микроконтроллера является его низкая цена. На просторах интернета можно найти платы Arduino Uno в диапазоне цен от 250 рублей до 1600. Цена аналогичных микроконтроллеров конкурентов составляет приблизительно такую же цену, но функционал и удобство остается за Arduino Uno.

Arduino предоставляет оптимальное сочетание простоты использования, доступности, гибкости и масштабируемости, что делает его идеальным выбором для создания системы автоматизации микроклиматом теплицы. Благодаря большому сообществу и множеству доступных ресурсов, разработка и внедрение такой системы становится доступной даже для начинающих инженеров и энтузиастов.

Основные характеристики микроконтроллера Arduino Uno:

- микроконтроллер: ATmega328;
- тактовая частота: 16 МГц;
- оперативная память: 2 Кб;
- энергонезависимая память: 32 Кб;
- цифровые входы/выходы: 14 (6 с ШИМ);
- аналоговые входы: 6.

Для корректной работы микроконтроллера Arduino Uno рекомендуется питание в районе 7-12 В. Но также важно учитывать и предельные значения питания для него – 6-20 В. При подаче на микроконтроллер больше рекомендуемого напряжения, микроконтроллер может перегреться, что приведет к выходу его из строя.

В случае подачи меньше напряжение микроконтроллер будет сбоить, что приведет к некорректной его работе или полному отключению.

Питание данный микроконтроллер может получать как через подключение USB к ПК, так и через внешний источник питания, такой как преобразователь напряжение (блок питания), или аккумуляторной батарее.

Как писалось выше, Arduino Uno имеет 14 цифровых выводов, каждый из которых может быть настроен на вход или выход. Для этого используются следующие функции:

- pinMode(),
- digitalWrite(),
- digitalRead().

Каждая функция имеет свое предназначение. Функция pinMode() устанавливает режим работы вывода как вход или выход. Записывается это как «pinMode(pin, Mode), где pin - номер входа или выхода, который необходимо установить, а Mode – состояние пина, может устанавливаться значение Input или Output, вход и выход соответственно.

Функция digitalWrite() отвечает за подачу значение HIGH или LOW на вывод. Запись производится следующим образом: «digitalWrite(pin, value)», где pin – номер вывода, а value – значение HIGH или LOW. Основным принцип работы данной функции заключается в следующем: при установленном значении HIGH на выводе с установленным режимом OUTPUT, подается напряжение в размере 5В, в значении LOW, питание равняется 0 В, то есть отсутствует. В другом же случае, при выводе в режиме INPUT, значение HIGH активирует внутренний нагрузочный резистор 20 кОм. При подаче значения LOW отключает данный резистор.

Последняя функция из списка `digitalRead()` считывает значения с вывода. Запись делается следующим образом: «`digitalRead(pin)`», где `pin` – номер вывода, который необходимо считать. На выходе функция выдает значения HIGH или LOW, в зависимости от состояния пина

Все цифровые выводы на микроконтроллере имеют напряжение 5 В и могут пропускать ток в диапазоне до 40 мА.

Некоторые цифровые выводы на микроконтроллере имеют особые функции.

Выводы 0,1(RX, TX) – последовательная шина для получения и передачи данных TTL. Благодаря данным портам имеется возможность передачи данных на ПК или другие устройства.

Выводы 2,3 используются для внешнего прерывания. Прерывания используются для задач, которые должны быть выполнены автоматически при наступлении какого-либо внешнего воздействия

Выводы 3,4,5,6,9,10 и 10 имеют встроенные ШИМ (Широтно-импульсная модуляция). Благодаря этому, цифровые сигналы могут быть использованы как аналоговые с помощью функции `analogWrite()`.

Выводы 10-13 необходимы для связи SPI. Благодаря этому к микроконтроллеру можно подключать такие периферийные устройства, как SD-карта, OLED экраны и другие.

Вывод 13 имеет встроенный светодиод, который загорается в случае высокого потенциала. Его можно использовать для отладки и индикации.

2.1.2 В первую очередь, для работы всей системы необходимо питание для нее. В данном случае, было решено использовать для питания обычный блок питания, или по другому сетевой адаптер 220/12 В, рисунок 2.3.





Рисунок 2.3 – Сетевой адаптер питания

Адаптер преобразует переменный ток, протекающий через обычную, домашнюю розетку, в постоянный и понижает напряжение стандартной электросети. Это необходимо по причине того, что микроконтроллеру Arduino Uno необходимо постоянное напряжение.

Для системы контроля и регулировки температуры воздуха необходимо подобрать необходимые датчики и исполнительные механизмы. Было решено использовать датчик DHT22, изображенный на рисунке 2.4

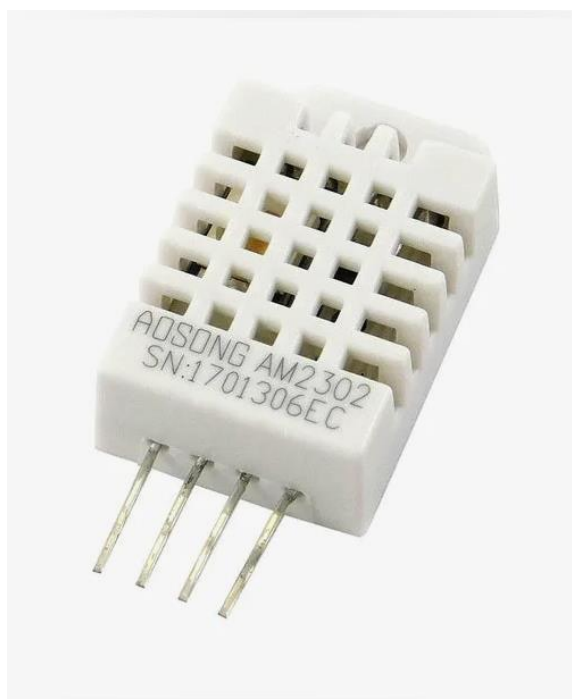


Рисунок 2.4 – Датчик температуры и влажности DHT22

Данный датчик является цифровым, что дает ему способность измерять не только температуру, но и относительную влажность воздуха. Тем самым, мы автоматически разработаем не только систему отвечающую за температуру внутри теплицы, но и за влажность. Для измерения в нем используется емкостной датчик влажности, что делает его лучше, чем схожая модель DHT11, так как показания более точны и имеют меньшую погрешность.

Таблица 2.1 Технические характеристики датчика DHT22

|                                |                           |
|--------------------------------|---------------------------|
| Напряжение питания             | 3.3 В – 5 В               |
| Выходной сигнал                | Цифровой                  |
| Чувствительный элемент         | Полимерный конденсатор    |
| Диапазон измерения влажности   | 0-100% ± 2%               |
| Диапазон измерения температуры | -40 - +80 °C ± 0,5 °C     |
| Габариты                       | 15.1 мм X 25.1мм X 7.7 мм |

DHT22 можно встретить в 2 видах, как отдельный датчик, показанный на рисунке 3.2, так и в виде модуля, представленный на рисунке 2.5



Рисунок 2.5 – Датчик DHT22 в виде модуля

В данной проектной работе будет использован именно второй вариант. Связано это с тем, что при использовании отдельного датчика необходимо ставить сглаживающий конденсатора на 100 нФ между выходом Vcc (плюс питания) и GND (минус питания), и подтягивающий резистор на 4,7-10 кОм между Vcc и SDA(информационный). Но даже во втором варианте надобности в конденсаторе пропадает и необходимо использовать только резистор на 10 кОм.

В данном проекте, датчик температуры и влажности необходим для отслеживания данных параметров. Но для контролирования их уровня необходимы дополнительные устройства.

Контролировать температуру в теплице можно различными способами, начиная от обычного проветривания, и заканчивая установкой специальных охлаждающих устройств, таких как кондиционер. В данном случае, в угоду стоимости на различное оборудование, было решено использовать сервопривод, для открытия форточки в теплице. Тем самым, самое обычное проветривание теплицы будет влиять и на

влажность воздуха и температуру внутри теплицы. Был выбран сервопривод SG90 от производителя Tower Pro, рисунок 2.6.



Рисунок 2.6 – сервопривод SG90

Характеристики SG90:

- диапазон вращения - 180°;
- напряжение питания – 4,8 В - 6 В;
- крутящий момент – 1.8 Кг.См при 4.8 В;
- скорость вращения – 60° за 0,12 сек при 4,8 В;
- габариты – 23 X 12,2 X 29 мм.

Данный сервопривод отлично подходит в данном проекте, так как микроконтроллер Arduino Uno может выдавать на выходе лишь 5 В, и не требуются использовать отдельные элементы для его подключения. Также, плюсом данной модели является его низкая стоимость, по сравнению с аналогами. Цена на рынке на данный сервопривод начинается от 250 и заканчивается в диапазоне 500 рублей. Цена аналогичных сервоприводов колеблется от 950 до 1500 рублей

Следующая система, которую мы разберем, будет автоматическая система подачи воды. Для ее реализации необходим датчик влажности почвы и оборудование для подачи воды в эту самую почву. В качестве датчика уровня влажности почвы был выбран всеми известный и распространённый датчик YL-38 в сборе с контактным щупом YL-69, рисунок 2.7

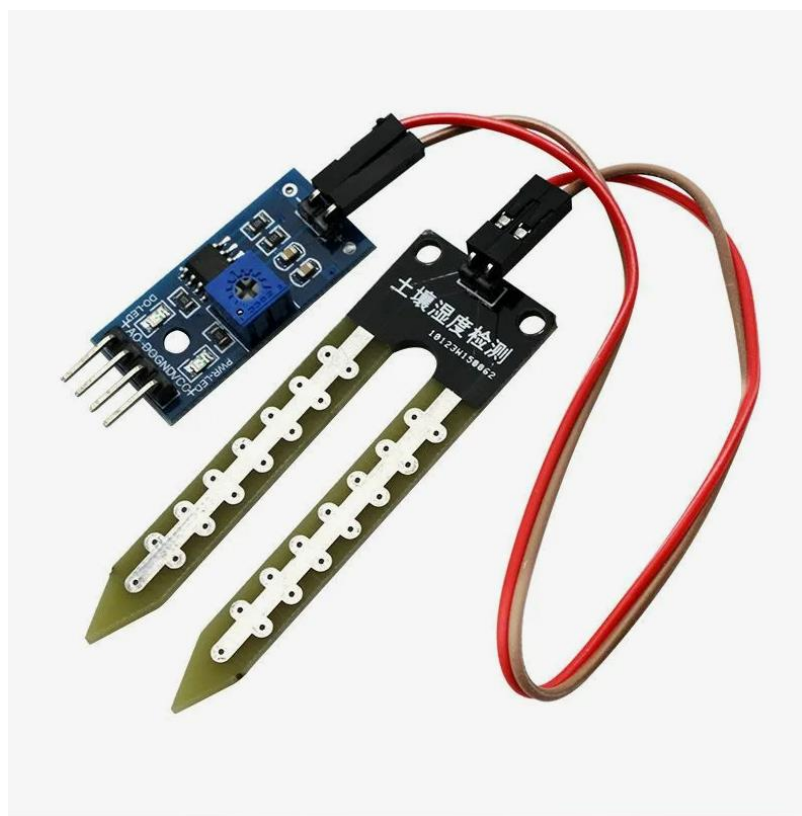


Рисунок 2.7 – датчик влажности почвы YL-38 с контактным щупом YL-69

Основные характеристики модуля:

- напряжение питания 3.3 – 5 В;
- ток потребления – 35 мА;
- размер датчик – 16 X 30 мм;
- размер щупа – 20 X 60 мм.

Данный датчик работает по принципу: если почва влажная, сопротивление меньше, за счет чего увеличивается ток, если почва сухая, сопротивление увеличивается, а ток на против, становится меньше. Датчик YL-38 соединяется с щупом YL-69 двумя проводами – питание и управление. А само подключение к микроконтроллеру происходит по 4 контактам: Vcc – питание датчика, GND – так называемая «земля», A0 – аналоговое значение и D0 – цифровой порт для передачи значений влажности почвы.

Сам полив почвы и растений было решено реализовать с помощью системы капельного полива. Воду для нее можно получать как из встроенного водопровода, оборудовав систему электромеханическим краном, а можно из специального отсека. Был выбран второй вариант в угоду общей стоимости системы и простоты в монтаже. Для этого варианта нам будет необходим насос, толкающий воду по трубкам, которые в последствии с помощью капельниц будут орошать землю. В данном проекте был использован погружной мини насос DC6V 120L-H, рисунок 2.8.



Рисунок 2.8 – Водяной насос DC6V 120L-H

Основные технические характеристики насоса:

- напряжение: 3-5 В;
- ток – 100-200 мА;
- поток – 1.2 – 1.6 литров;
- вес – 28 грамм.

Так как, исходя из вышеизложенных параметров, помпа потребляет достаточно большой ток, для его подключения понадобится использовать транзистор, а конкретнее полевой транзистор MOSFET или по-другому – МОП-транзистор. МОП-транзистор (металлооксидный полупроводниковый полевой транзистор) – это тип транзистора, который используется для управления электрическим током. Он имеет три вывода: затвор (Gate), сток (Drain) и исток (Source). В отличие от биполярных транзисторов, МОП-транзисторы управляются напряжением на затворе, а не током. МОП-транзисторы используются для:

1. Управления большими токами и напряжениями: Ардуино не может напрямую управлять мощными устройствами, такими как водяные помпы, из-за ограничений по току и напряжению. МОП-транзисторы позволяют использовать небольшой сигнал от Ардуино для управления большим током, необходимым для работы таких устройств.

2. Изоляции управляющей схемы от нагрузки: МОП-транзисторы обеспечивают изоляцию между микроконтроллером и мощной нагрузкой, что защищает микроконтроллер от возможных повреждений.

Для подключения MOSFET транзистора необходимо использовать токоограничивающий резистор на управляющий вывод на 100 Ом, чтобы защитить вывод от слишком большого тока, а также резистор на 10 кОм, чтобы он закрылся при отсутствии сигнала, схема подключения MOSFET транзистора представлена на рисунке 2.9

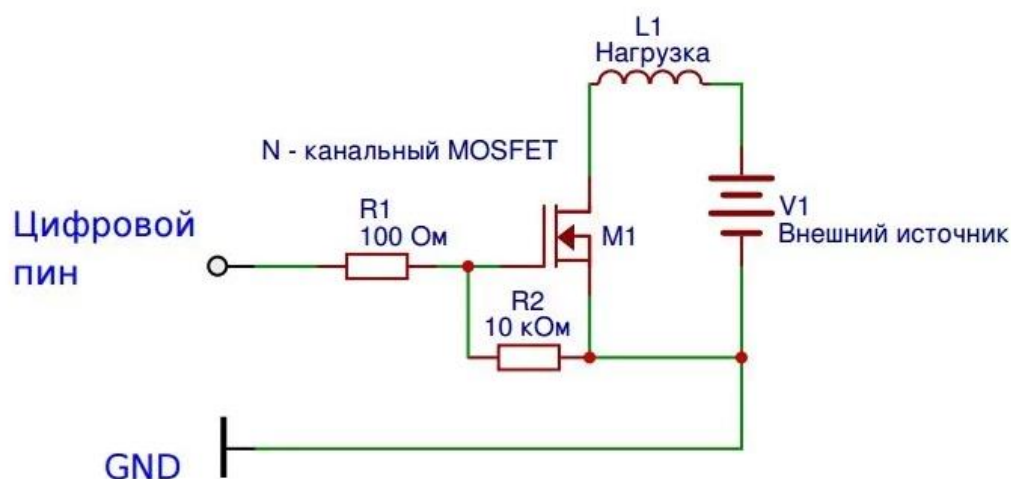


Рисунок 2.9 – Схема подключения MOSFET транзистора

Но можно избежать использование других элементов при использовании готового модуля. Выбор пал на модуль IRF520, изображенный на рисунке 2.10

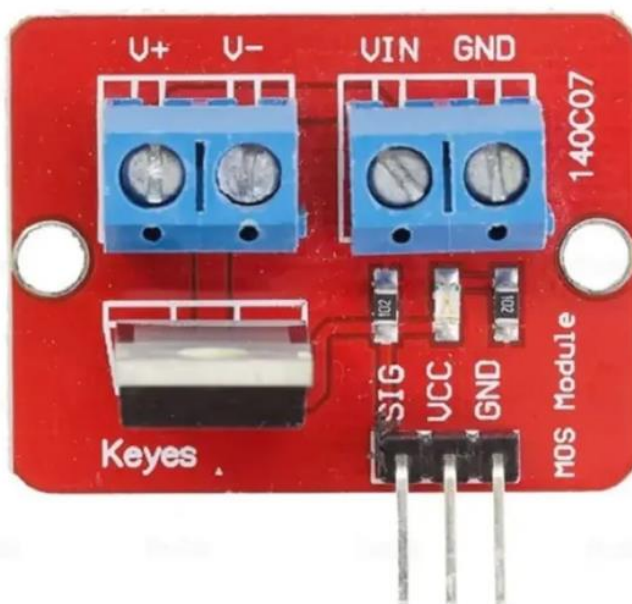


Рисунок 2.10 – Модуль транзистора

Основные характеристики транзистора IRF520:

- максимальное напряжение сток исток – 100 В;
- максимальный ток-исток при 25 С Iси макс – 9.2 А;



- максимальное напряжение затвор-исток -  $\pm 20$  В;
- максимальная мощность рассеивания – 60 Вт;
- крутизна характеристики – 2.7.

Помимо удобства подключения готового модуля, можно выделить следующие плюсы:

1. Защитные функции: Некоторые готовые модули MOSFET могут включать в себя защитные функции, такие как защита от перегрузки, перегрева и короткого замыкания. Это обеспечивает безопасную работу и защиту подключенных устройств и контроллеров.

2. Изоляция и развязка: Некоторые модули MOSFET могут включать в себя оптроны или другие устройства для изоляции управляющего сигнала от высоких напряжений и токов. Это защищает контроллер от электрических помех и перегрузок.

В таком случае схема подключения сводится к подключению питания и элемента на транзистор, а от него уже на необходимые пины на плате.

Сама вода в почву будет поступать через систему капельного полива с использованием трубок и капельниц. Система орошения почвы с помощью системы капельниц имеет ряд преимуществ, такие как:

- экономия воды: Капельный полив позволяет точно подавать воду к растениям, минимизируя потери воды в результате испарения и стекания почвенных вод в грунт;
- равномерное распределение воды: Капельницы обеспечивают равномерное распределение воды к корням растений, что способствует лучшему усвоению влаги и питательных веществ;

– минимизация риска заболеваний растений: Капельный полив минимизирует контакт воды с листвой и плодами растений, что уменьшает риск развития грибковых и бактериальных заболеваний. Это особенно важно в тепличных условиях, где влажность может быть повышенной и создавать благоприятные условия для развития патогенов;

– улучшение качества урожая: Благодаря точному распределению воды капельный полив способствует лучшему росту и развитию растений, что в конечном итоге может привести к увеличению урожайности и качества продукции.

Капельница изображена на рисунке 2.11.



Рисунок 2.11 – Капельница регулируемая

На рисунке 2.12 изображена схема соединений для данной системы.

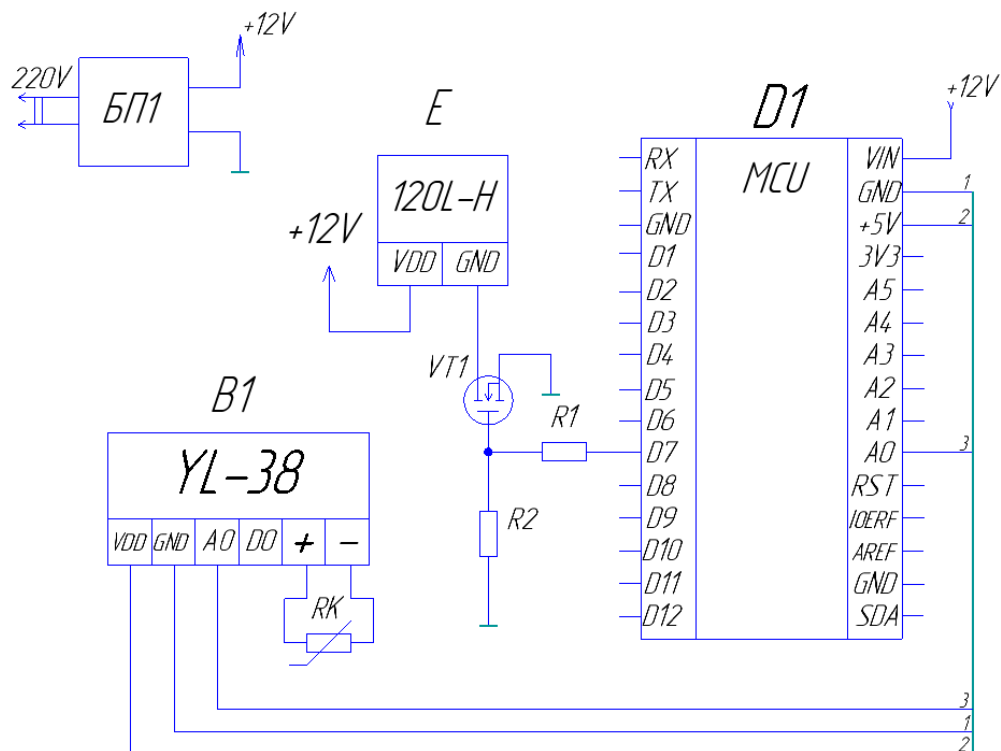


Рисунок 2.12 – Схема соединений автоматической системы полива теплицы

Следующая система, является автоматическая система освещения. Чтобы исключить влияние человека на теплицы и увеличить автономность системы, необходимо подобрать датчик освещенности, для отслеживания уровня света, падающего на растения. Для этого было решено использовать фоторезистор GL5528, рисунок 2.13.

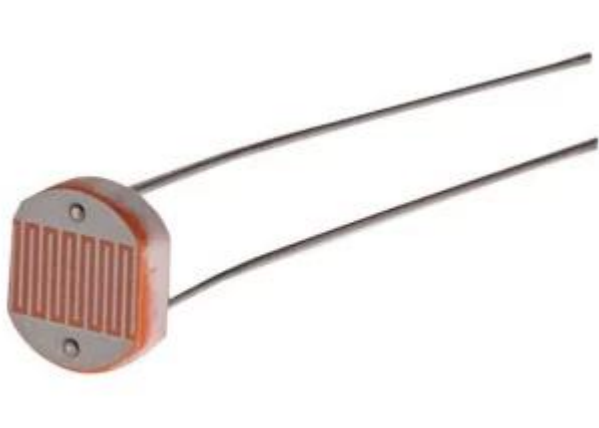


Рисунок 2.13 – фоторезистор GL5528

### Характеристики GL5528:

- размер: 5 x 4.3 x 2 мм;
- темновое сопротивление (0 люкс): 1.0 МОм;
- световое сопротивление (10 люкс): 10...20 кОм;
- гамма при 100...10 люкс: 0.6;
- максимальная потребляемая мощность: 100 мВт;
- максимальное напряжение при  $T=25^{\circ}\text{C}$ : 150В.

Основной принцип работы фоторезистора основан на изменении сопротивления материала под воздействием света.

Для подключения фоторезистора необходимо использовать вспомогательный резистор для получения делителя напряжения. Номинал вспомогательного резистора зависит от потребностей. В зависимости от сопротивления выдаваемого резистора можно настраивать чувствительность фоторезистора. В данном случае будем использовать резистор на 5 кОм.

В качестве исполнителя будет выступать фитолента. Фитоленты специально разработаны для обеспечения растений оптимальным спектром света, который они используют для фотосинтеза. Обычно это включает в себя красные, синие и иногда другие цвета светодиодов, которые эффективно стимулируют рост растений. Также можно отметить следующие плюсы использования фитоленты в данной работе: Светодиодные фитоленты потребляют меньше энергии по сравнению с традиционными источниками света, такими как галогенные лампы или натриевые лампы. Т.к. микроконтроллер Arduino Uno не может выдавать большие значения напряжения и тока на выходе, она отлично подойдет. Также фитоленты обычно генерируют меньше тепла, чем некоторые другие источники света, такие как галогенные лампы. В связи с этим,

работа фитоленты не будет, либо почти не будет влиять на работу датчика температуры. Также, для корректной работы системы, фоторезистор будет расположен так, что свет от фитоленты не попадала на него, во избежание постоянного повторения включения – отключения света, из-за попадания на фоторезистор лучей от фитоленты. Схема подключения автоматического освещения изображена на рисунке 2.14

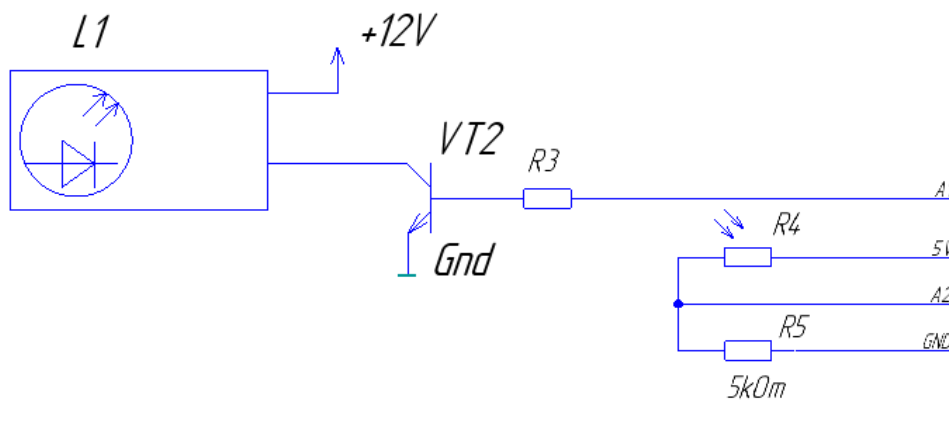


Рисунок 2.14 – Схема подключения фитоленты и фоторезистора GL5528

### 2.2.2. Способ индикации

Для отслеживания показателей теплицы, было решено использовать всеми известный и наиболее популярный дисплей LCD 1602, рисунок 2.15

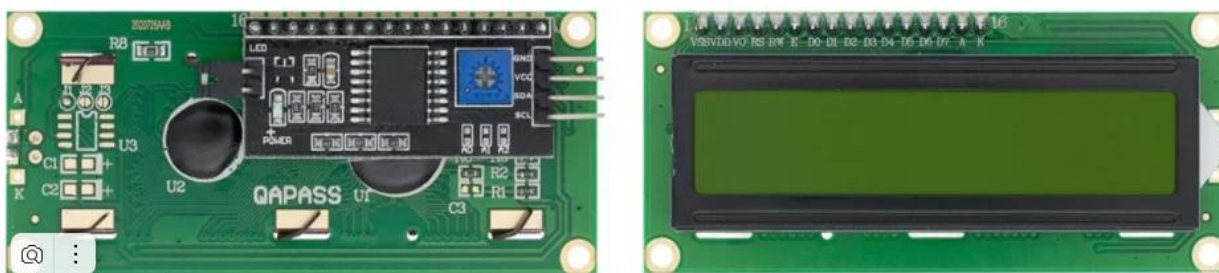


Рисунок 2.15 – Дисплей LCD 1602

LCD1602 – это популярный жидкокристаллический дисплей, который часто используется в различных проектах и системах с

микроконтроллерами, такими как Arduino. Дисплей имеет два ряда по 16 символов, что позволяет отображать до 32 символов одновременно. Он использует контроллер HD44780, который является стандартом для управления текстовыми LCD-дисплеями.

Для подключения дисплея необходимо использовать 6 цифровых пинов, но для более упрощенного подключения было решено использовать переходник на шину I2C, базирующийся на PCF8574. I2C адаптер позволяет использовать всего 4 пина для подключения (SDA, SCL, GND, VCC), что освобождает пины для других устройств. Переходник на шину представлен на рисунке 2.16

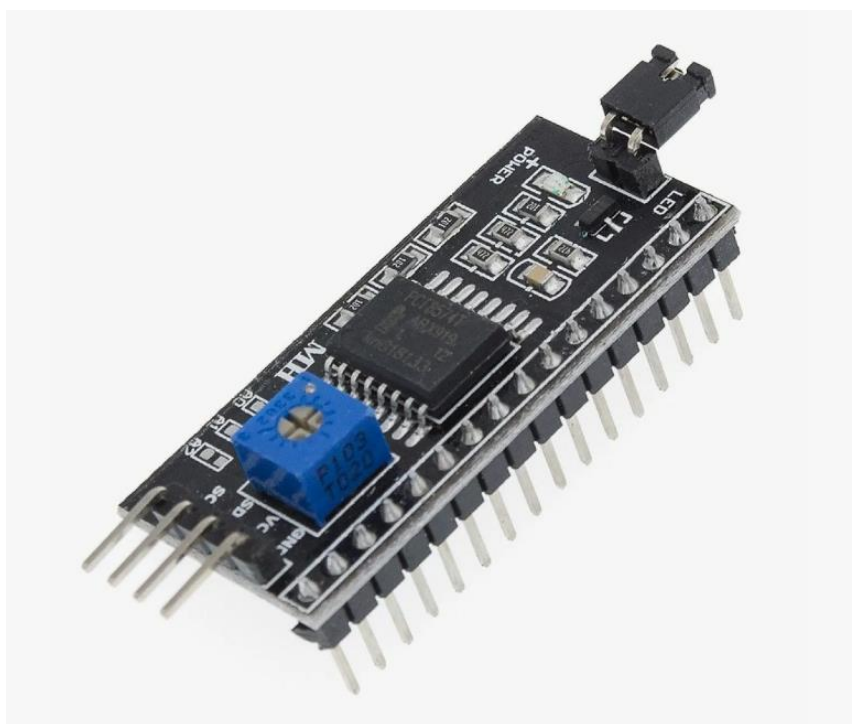


Рисунок 2.16 – переходник на шину I2C для дисплея LCD1602

Для программирования использовались библиотека LiquidCrystal\_I2C. На дисплее будут отображаться показатели датчиков в реальном времени. То есть поочередно будут выводиться значения температуры, влажности воздуха, и происходит ли поливка почвы, или нет.

## 3 Разработка программной части устройства

### 3.1 Разработка блок-схемы алгоритма

Для обеспечения эффективного управления микроклиматом теплицы необходимо разработать программную часть системы, которая выполняет сбор данных с датчиков, их обработку и принятие решений на основе заданных параметров. Программная реализация включает в себя алгоритмы контроля температуры, влажности, освещенности и влажности почвы, а также управления исполнительными устройствами, такими как окна, светодиодная лента и насос для полива.

Основной задачей программной части является обеспечение стабильного микроклимата внутри теплицы, что способствует оптимальным условиям для роста растений. В данной главе будет подробно рассмотрен алгоритм работы системы, который был реализован на микроконтроллере Arduino. Алгоритм включает следующие этапы:

- инициализация системы: Настройка всех подключенных устройств и датчиков.
- считывание данных с датчиков: Получение текущих значений температуры, влажности, освещенности и влажности почвы.
- обработка данных: Анализ полученных данных и принятие решений на основе установленных пороговых значений.
- управление исполнительными устройствами: Активизация соответствующих исполнительных устройств для поддержания оптимального микроклимата.

Для наглядного представления работы алгоритма была разработана блок-схема, которая иллюстрирует последовательность выполнения основных этапов и их взаимосвязь. Блок-схема позволяет лучше понять логику работы системы и служит основой для дальнейшей реализации программного кода.

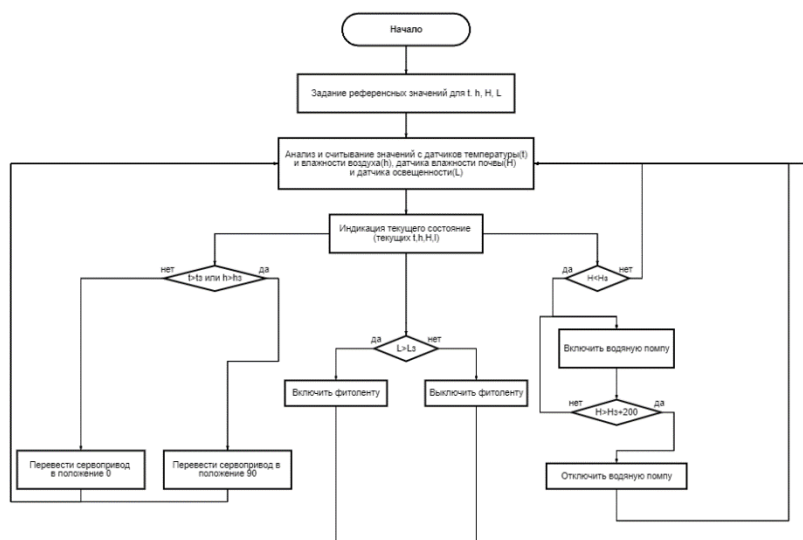


Рисунок 3.1 – Блок схема алгоритма системы управления микроклиматом теплицы.

### 3.2 Разработка кода

После детального рассмотрения алгоритма работы системы управления микроклиматом теплицы и его представления в виде блок-схемы, следующим шагом является реализация данного алгоритма на языке программирования. В данной работе использован микроконтроллер Arduino, который обеспечивает простоту и гибкость разработки программного обеспечения для управления различными датчиками и исполнительными устройствами.

Разработка программного обеспечения для Arduino осуществляется с использованием языка программирования, основанного на языке C++. Код для Arduino пишется в специальной интегрированной среде разработки (IDE) под названием Arduino IDE. Arduino IDE предоставляет удобный интерфейс для написания, компиляции и загрузки кода на



микроконтроллер. Она поддерживает множество встроенных библиотек, что облегчает работу с различными датчиками и модулями. Программирование на Arduino осуществляется с использованием упрощенной версии языка C++. Этот язык поддерживает основные конструкции, такие как циклы, условия, функции и работу с переменными. Основные функции, используемые в программах для Arduino, включают:

- `setup()`: функция, которая выполняется один раз при запуске микроконтроллера. В ней обычно производится инициализация всех необходимых настроек и устройств.
- `loop()`: функция, которая выполняется непрерывно в цикле после завершения `setup()`. Основная логика работы программы размещается в этой функции.

Arduino IDE поддерживает множество библиотек, которые значительно упрощают работу с различными датчиками и модулями. В данной работе были использованы такие библиотеки, как: для работы с датчиком температуры и влажности DHT22 используется библиотека DHT, для управления сервоприводом - библиотека Servo, для работы с LCD-дисплеем через интерфейс I2C используется библиотека LiquidCrystal\_I2C.

```
// Подключение библиотек
#include <Servo.h>
#include <DHT.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

В данном блоке происходит подключение необходимых библиотек, описанных выше.

```
// Пины для устройств
```

```

#define DHTPIN 3
#define DHTTYPE DHT22

Servo sg90;
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

int photoresistorInput = 6
;
int stripPin = A1;
int pochvaPin = A0;
int pumpPin = 8;

```

В данном разделе происходит подключение пинов и объявление переменных. «DHTPIN» в данном случае производит привязку датчика DHT22 к подключенному пину. DHTTYPE производит определения типа используемого датчика (в данном случае DHT22). Далее происходит Создание объектов для работы с сервоприводом (sg90), датчиком температуры и влажности (dht), и LCD-дисплеем (lcd). Далее идет объявление целочисленных переменных с помощью int, тем самым привязывая фоторезистор (photoresistorInput), светодиодную ленту (stripPin), датчик влажности почвы (pochvaPin), и насос (pumpPin).

```

void setup() {
  // Инициализация устройств
  sg90.attach(5);
  dht.begin();
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode(photoresistorInput, INPUT);
  pinMode(stripPin, OUTPUT);
  pinMode(pochvaPin, INPUT);

```

```

pinMode(pumpPin, OUTPUT);

// Настройка дисплея
lcd.backlight();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Greenhouse");
delay(2000);
}

```

В данном сегменте производится инициализация устройств и функции `setup()`. `Sg90.attach(5)` производит привязка сервопривода к пину 5. `Dht.begin()` - инициализация датчика DHT22. `lcd.begin(16, 2)` инициализирует ЖК-дисплей LCD1602 и устанавливает его размеры, указанные в скобках функции. Также, для устройств без собственных библиотек, производится установка режима работы пинов (`INPUT` для датчиков, `OUTPUT` для исполнительных устройств) и включение подсветки LCD и вывод приветственного сообщения "Greenhouse" на дисплей.

```

void loop() {
    // Считывание показаний сенсоров

```

Дальше описывается основной цикл работы в функции `loop()`. Функция `loop()` выполняется бесконечно, обеспечивая непрерывный мониторинг и управление системой.

```

float t = dht.readTemperature();
float h = dht.readHumidity();
if (isnan(h) || isnan(t)) {
    Serial.println("ERROR DHT!");
    return;
}
int light = analogRead(photoresistorInput);
int pochva = analogRead(pochvaPin);

```

В данном блоке происходит считывание информации с датчиков, подключенных к системе. Float – тип переменных с плавающей запятой, необходима для более точного значения полученных с датчиков. В нашем случае, такой тип данных присваивается переменным, которые считывают значения с датчика температуры и влажности почвы. If (isnan(h) || isnan(t)) проверяет значения полученные с датчика. Бывают случаи, что датчик дает сбой, при естественном износе, окислении контактов и множество различных случаев. Во избежание некорректной работы системы, происходит проверка, если на плату не поступают значения с датчика, на экран выводится надпись: «ERROR DHT!».

AnalogRead() используется для считывания значений с аналоговых портов. В сравнение с digitalRead(), которая выдает только значения HIGH или LOW, функция analogRead() выдает значения от 0 до 1023. В данном коде это необходимо для считывания показаний с датчиков освещенности и влажности почвы.

```
// Управление окном
if (t > 25 || h > 80)
{
  sg90.write(90); // Открыть окно
}
else
{
  sg90.write(0); // Закрыть окно
}
```

If - это условный оператор, который выполняет определенный блок кода, если указанное условие истинно. Здесь происходит управление сервоприводом, для проветривания теплицы. Проверяется условие, если температура воздуха больше 25 градусов по Цельсию или влажность воздуха больше 80%, сервопривод приводится в положение «90», то есть открытие

окна. Условия else необходимо при не выполнении условий, в «if». В данном случае, происходит закрытие окна, сервопривод переводится в положение «0».

```
// Управление светодиодной лентой
if (light < 300)
{
  digitalWrite(stripPin, HIGH); // Включить светодиодную ленту
}
else
{
  digitalWrite(stripPin, LOW); // Выключить светодиодную ленту
}
```

Описание работы светодиодной ленты. При условии показаний с фоторезистора менее 300, включается фитолента лента. Включения происходит за счет команды digitalWrite(). При значении HIGH на пин подается напряжение 5V и происходит включение устройства. LOW – напряжение на выходе отсутствует, устройство в свою очередь прекращает работу.

```
// Управление насосом полива
if (pochva < 300)
{
  digitalWrite(pumpPin, HIGH); // Включить насос
  while(analogRead(pochvaPin) < 500);
  delay(100);
  digitalWrite(pumpPin, LOW);
}
else
{
  digitalWrite(pumpPin, LOW); // Выключить насос
}
```

В данном случае, для реализации функций полива воды, для избежание постоянного переключения насоса во включение и отключение, было решено

использовать условие `while()`. `While` – логический оператор, повторяющий цикл до тех пор, пока значения внутри оператора не станут ложными. В данном случае полив воды начинается при значении с датчика влажности почвы менее 300 и продолжается до тех пор, пока это значение не будет больше 500. Так как цикл будет происходить до тех пор, пока система работает, было добавлено условие `else`. В случае, если при повторной проверке уровень влажности почвы будет более 300, водяной насос не будет начинать свою работу.

```
// Вывод данных на дисплей
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("T: ");
lcd.print(t);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("H: ");
lcd.print(h);
delay(5000);

lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
if (digitalRead(pumpPin) == HIGH){
  lcd.print("Poliv: ON");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Pochva: NE OK");
}
else {
  lcd.print("Poliv: OFF");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Pochva: OK");
}
delay(5000); // Задержка для отображения данных на дисплее
}
```

Последним на очереди остается вывод данных на ЖК-дисплей. Для начала необходимо очистить экран от всех записей, что на нем есть. Происходит это за счет команды «`lcd.clear()`». Далее, выводятся значения с датчика DHT22: температура и влажность. После отображение данных с датчика влажности, необходимо вывести на экран состояния почвы на экран. Для этого повторно вводится команда «`lcd.clear()`» и, в зависимости от условия, работает ли водяная на данный момент или нет, на экран выводятся значения. Если помпа работает, значит почва увлажнена и на экран выводится запись: «Полив: выключен, Почва – ОК». В противном случае на экране пишется: «Полив: включен, Почвы – НЕ ОК».

## **4. Способы реализации системы**

### **4.1 Проектирование печатной платы системы управления микроклиматом теплицы**

Сборка системы управления микроклимата теплицы на макетной плате, путем подключения отдельных элементов напрямую к Arduino Uno является удобным, но не компактным решением. Для уменьшения сложности монтажа системы, а также в целях уменьшение занимаемого размера системой, было решено разработать печатную плату. Печатная плата (PCB) является важным элементом, который обеспечивает электрическое соединение и механическую поддержку компонентов системы. Проектирование печатной платы включает в себя несколько этапов: выбор компонентов, разработка схемы соединений, размещение компонентов на плате и трассировка дорожек. Проектирование печатной платы осуществлялось с использованием приложения EasyEDA. Это приложение для проектирования электроники. EasyEDA позволяет создавать схемы соединений и проектировать печатные платы, обеспечивая удобные инструменты для трассировки, проверки и генерации необходимых файлов для производства. Приложение поддерживает работу с библиотеками компонентов и интеграцию с сервисами для заказа изготовленных плат. В

данном случае, если заказчик решит приобрести печатную плату, за место размещения системы на макетной плате, можно легко и просто сделать заказ на сайте.

На этапе выбора компонентов были определены основные элементы системы управления микроклиматом, такие как микроконтроллер Arduino Uno, датчики температуры и влажности (DHT22), фоторезистор, датчик влажности почвы, серводвигатель для управления вентиляцией, фитолента для дополнительного освещения и водяной насос для автоматического полива. Под них были выбраны разъемы для подключения элементов, так как сами элементы в большинстве своем находятся за пределами платы (внутри теплицы).

На основе выбранных компонентов была разработана схема соединений, которая отображает электрические связи между всеми элементами системы. Схема соединений была создана с использованием EasyEDA. В схеме предусмотрены разъемы для подключения удаленных элементов, что упрощает монтаж и обслуживание системы. Схема соединений представлена на рисунке 4.1



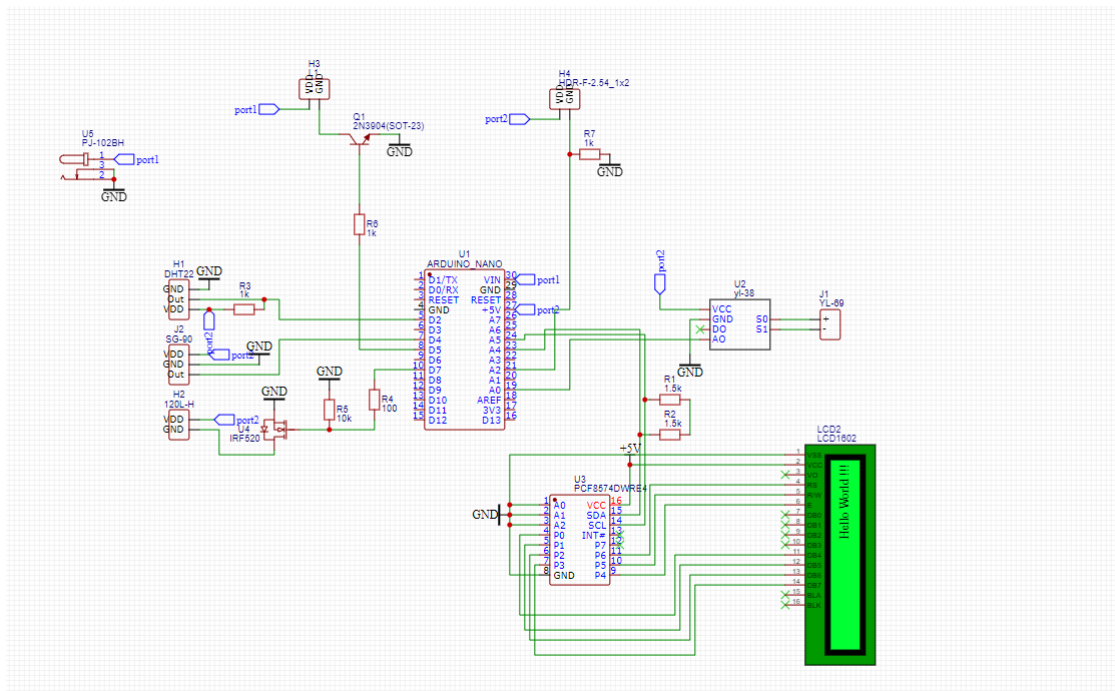


Рисунок 4.1 – Схема соединений, разработанная в программе EaseEDA

После разработки схемы соединений был выполнен этап размещения компонентов на печатной плате. Размещение компонентов выполнялось с учетом оптимального использования пространства, минимизации длины проводников и удобства монтажа. Важным аспектом на этом этапе является обеспечение достаточного зазора между компонентами для предотвращения коротких замыканий и обеспечения надежной работы системы.

Следующим этапом является трассировка дорожек на печатной плате. Трассировка дорожек представляет собой процесс соединения компонентов с помощью медных дорожек на печатной плате. Этот этап является ключевым для обеспечения электрической целостности и минимизации электромагнитных помех. Трассировка выполнялась с учетом требований по ширине дорожек для различных токов, а также правил расположения заземляющих и питающих проводников. Схема печатной платы изображена на рисунке 4.2

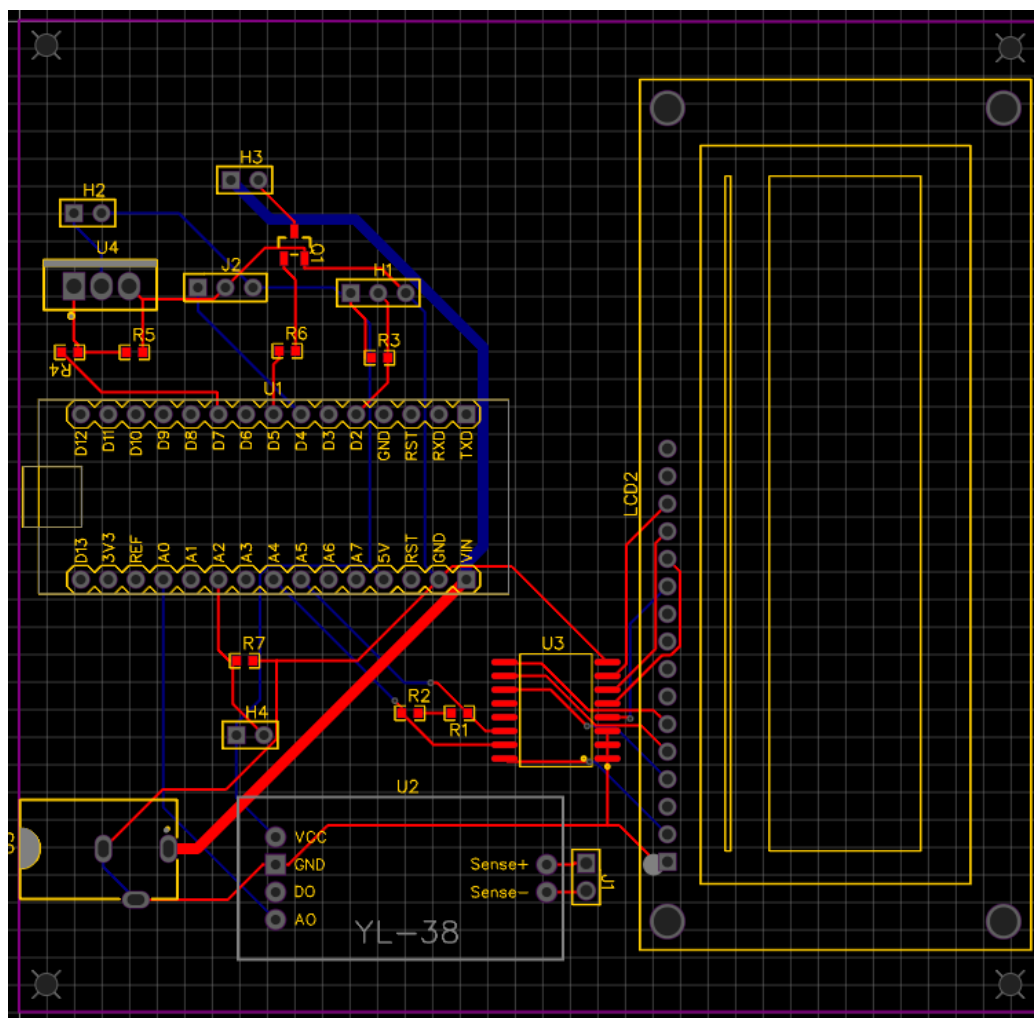


Рисунок 4.2 – Схема печатной платы.

Проектирование печатной платы является важным этапом в создании системы управления микроклиматом теплицы. Разработанная плата обеспечивает необходимую функциональность и удобство подключения внешних элементов. Это позволяет создать надежную и эффективную систему, способную поддерживать оптимальные условия для роста растений в теплице. Благодаря данному способу реализации системы, можно значительно сократить занимаемое пространство, а также облегчит монтаж системы в теплицу.

## Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была разработана и реализована система автоматизации микроклимата теплицы на базе микроконтроллера Arduino. Рассмотрены и проанализированы существующие решения для автоматизации микроклимата, включая использование различных датчиков и исполнительных механизмов. Система успешно интегрирована с датчиками температуры, влажности, освещенности и влажности почвы. На основе собранных данных автоматически управляются:

- открытие и закрытие вентиляционного окна при помощи серводвигателя.
- включение и выключение светодиодной ленты в зависимости от уровня освещенности.
- работа водяного насоса для полива растений в зависимости от влажности почвы.

Благодаря использованию LCD-дисплея с интерфейсом I2C, пользователю предоставляется удобный способ мониторинга текущих параметров микроклимата в режиме реального времени. Результаты работы демонстрируют, что автоматизация микроклимата теплицы с использованием доступных и недорогих компонентов на базе Arduino может значительно повысить эффективность выращивания растений, сократить затраты на ручной труд и улучшить качество урожая. Перспективы дальнейшего развития включают интеграцию системы с интернет-сервисами для удаленного мониторинга и управления, а также расширение функционала системы за счет добавления новых датчиков и модулей для более точного контроля микроклимата.

В заключение, разработанная система автоматизации микроклимата теплицы является надежным и экономически эффективным решением,

которое может быть рекомендовано для использования в частных и коммерческих теплицах.

## Список используемой литературы

1. Позднов М.В., Прядилов А.В. Оформление текста пояснительной записки // М.В. Позднов, А.В. Прядилов. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2020. 57 с. ил. (дата обращения 12.02.2024)
2. ГОСТ 2.701-2008. Единая система конструкторской документации. Электрические схемы. Общие требования к выполнению. // М.: Стандартинформ, 2008. 16 с. ил. (дата обращения 20.02.2024)
3. ГОСТ 2.104-2006. Единая система конструкторской документации. Основные надписи. // Москва: Стандартинформ, 2007. – 12 с. ил. (дата обращения 20.02.2024)
4. ГОСТ 7.32-2017. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. // Москва: Стандартинформ, 2018. – 40 с. (дата обращения 20.02.2024)
5. Демьян Бондарь. Автоматизация системы микроклимата теплицы [Электронный ресурс] // Образовательный портал «Справочник». — Дата последнего обновления статьи: 10.08.2023. — URL [https://spravochnick.ru/avtomatizaciya\\_tehnologicheskikh\\_processov/avtomatizaciya\\_sistemy\\_mikroklimate\\_teplicy/](https://spravochnick.ru/avtomatizaciya_tehnologicheskikh_processov/avtomatizaciya_sistemy_mikroklimate_teplicy/) (дата обращения: 01.03.2024).
6. Умная теплица «Умница». [Электронный ресурс] // URL <https://umnica.pro/grow.html> (дата обращения: 01.03.2024).
7. Компания по производству умных теплиц Fibonacci [Электронный ресурс] URL: <https://fibonacci.farm/technologies> (дата обращения: 01.03.2024).
7. Разновидности плат Arduino, а также про клоны, оригиналы и совместимость [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://robocraft.ru/arduino/1035> – (дата обращения: 01.03.2024).
8. Что такое Ардуино? [Электронный ресурс] // URL: <https://arduino.ru/About> – (дата обращения: 05.03.2024).

9. Распиновка Arduino UNO. Назначение и описание контактов [Электронный ресурс] // URL: <https://www.joyta.ru/10674-arduino-opisanie-vyvodov-na-primere-arduino-uno/#p4> (дата обращения: 05.03.2024).
10. Датчики температуры и влажности для Arduino и ESP [Электронный ресурс] // URL: <https://dzen.ru/a/ZFaoupiFFRtcvhSg> (дата обращения: 05.03.2024).
11. DHT22 [Электронный ресурс] URL: <https://www.datasheetcafe.com/dht22-datasheet-pdf/> (дата обращения: 05.03.2024).
12. Arduino и сервопривод [Электронный ресурс] // URL: <https://kit.alexgyver.ru/tutorials/servo/> (дата обращения: 05.03.2024).
13. Датчик влажности почвы [Электронный ресурс] // URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-datchiki/datchik-vlazhnosti-pochvy-arduino/> (дата обращения: 05.03.2024).
14. Как собрать систему капельного полива? [Электронный ресурс] статья // URL: <https://www.vseinstrumenti.ru/publication/kak-sobrat-sistemu-kapelnogo-poliva-1438/> (дата обращения: 05.03.2024).
15. Arduino и водяная помпа. [Электронный ресурс] // URL: <https://kit.alexgyver.ru/tutorials/pump/> (дата обращения: 12.03.2024).
16. IRF520 datasheet [Электронный ресурс] // URL: <https://static.chipdip.ru/lib/389/DOC044389751.pdf> (дата обращения: 12.03.2024).
17. Arduino и MOSFET транзистор [Электронный ресурс] // URL: <https://kit.alexgyver.ru/tutorials/mosfet-basics/> (дата обращения: 12.03.2024).
18. Подключение фоторезистора к ардуино и работа с датчиком освещенности [Электронный ресурс] // URL: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/photorezistor-arduino-datchik-sveta/#i-8> (дата обращения: 20.03.2024).

19. Подключение LCD 1602 по I2C интерфейсу [Электронный ресурс] // URL: <https://radiolaba.ru/microcotrollers/podklyuchenie-lcd-1602-po-i2c-interfeysu.html> (дата обращения: 22.03.2024).
20. Блок-схемы алгоритмов. ГОСТ. Примеры [Электронный ресурс] // URL: <https://pro-prof.com/archives/1462> (дата обращения: 25.03.2024).
21. Среда разработки Arduino [Электронный ресурс] // URL: [https://arduino.ru/Arduino\\_environment](https://arduino.ru/Arduino_environment) (дата обращения: 01.04.2024).
22. Basic knowledge about principles and techniques behind the Arduino ecosystem. [Электронный ресурс] // URL: <https://docs.arduino.cc/learn/>
23. Basics of Arduino Programming [Электронный ресурс] // URL: <https://diygeek-lk.medium.com/basics-of-arduino-programming-bd5d41e48068>
24. Greenhouse Climate Control – How to Improve Plant Growth [Электронный ресурс] // URL: <https://drygair.com/blog/greenhouse-climate-control/>
25. Arduino Coding Guide [Электронный ресурс] // URL: [https://manual.eg.poly.edu/index.php/Arduino\\_Coding\\_Guide](https://manual.eg.poly.edu/index.php/Arduino_Coding_Guide)
26. What is a MOSFET? It's Types, Working, Circuit, and Applications [Электронный ресурс] // URL: <https://www.electronicsforu.com/technology-trends/learn-electronics/mosfet-basics-working-applications>