

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире технологические инновации играют ключевую роль в различных отраслях, включая сельское хозяйство. С развитием технологий, таких как беспроводная связь и системы автоматизации, возможности сельскохозяйственного производства значительно расширились. Одним из важных направлений в этой области является использование программно-аппаратных комплексов для управления теплицами. Дипломный проект посвящен разработке комплекса с использованием беспроводной технологии для управления функциональными устройствами в теплице.

Сельское хозяйство является важным сектором экономики многих стран, и эффективность его функционирования напрямую влияет на продовольственную безопасность и благосостояние населения. В этом контексте важно обеспечить оптимальные условия для роста и развития растений в теплицах, чтобы повысить урожайность и качество продукции. Традиционные методы управления зачастую ограничены в своих возможностях и требуют значительных затрат времени и ресурсов. Поэтому разработка программно-аппаратного комплекса для автоматизации процессов управления теплицами является актуальной задачей.

В данном дипломном проекте программно-аппаратный комплекс будет представлен в виде платы микроконтроллера, интегрированной с набором датчиков для сбора данных о микроклимате, с блоком управления положением окон, дверей и блоком управления подачи воды. Прошивку контроллера планируется запрограммировать для автоматизации процессов управления теплицей, включая регулирование температуры, влажности и других параметров окружающей среды. Этот подход обеспечит надежную и гибкую систему управления, способную адаптироваться к различным условиям и потребностям растений.

Проветривание и полив являются двумя важными аспектами поддержания оптимальных условий в теплице. Недостаточное проветривание может привести к скоплению вредных газов или избыточной влажности, что способствует развитию болезней растений и появлению плесени. Недостаточное или избыточное поливание также может негативно сказаться на здоровье растений: сухость почвы приводит к остановке роста и засыханию растений, а избыточная влажность может вызвать гниение корней. Игнорирование этих аспектов может привести к снижению урожайности и качества продукции. В рамках дальнейшей разработки проекта будут выбраны соответствующие устройства для проветривания и полива, которые позволят эффективно поддерживать необходимые условия в теплице, а также будут интегрированы в систему управления для автоматизации этих процессов и предотвращения возможных негативных последствий.

Для обеспечения беспроводного управления и мониторинга теплицей в проекте будет предусмотрено использование технологии Wi-Fi. Для этого необходимо будет выбрать соответствующий Wi-Fi модуль, который обеспечит надежное соединение и передачу данных между теплицей и

удаленным управляющим устройством. Выбор модуля будет основан на его характеристиках, таких как дальность передачи, скорость передачи данных, а также совместимость с основной системой управления теплицей. Внедрение беспроводной технологии Wi-Fi позволит оперативно контролировать и регулировать микроклимат в теплице на расстоянии, что значительно повысит эффективность и удобство управления процессами выращивания растений.

Целью данного дипломного проекта является разработка и реализация программно-аппаратного комплекса для управления теплицей на основе беспроводной технологии Wi-Fi. Главной задачей является создание аппаратного блока системы, который позволит автоматизировать процессы контроля и регулирования микроклимата в теплице, обеспечивая оптимальные условия для роста и развития растений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проектирование контроллера теплицы, представленного в виде платы микроконтроллера и набора датчиков для сбора данных;
- разработка программного обеспечения для обработки информации и обеспечения взаимодействия между компонентами;
- реализация удаленного мониторинга и управления теплицей через API;
- тестирование функционала беспроводного управления и совместимости с подключенными устройствами.

# 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

## 1.1 Обзор аналогов

Процесс разработки программно-аппаратного комплекса для управления теплицей на основе беспроводной технологии Wi-Fi начинается с обзора существующих систем. Оценка уже существующих решений на рынке поможет выявить их достоинства и недостатки, а также определить тенденции и потенциал для улучшения. В рамках данного обзора рассматриваются аналогичные программно-аппаратные комплексы, разработанные для управления микроклиматом в теплицах. Особое внимание уделяется функциональности, надежности, удобству использования и интеграции с беспроводными технологиями. Анализ существующих аналогов позволит сформулировать требования к разрабатываемому комплексу и выделить ключевые характеристики, которые необходимо учесть при его проектировании и реализации.

### 1.1.1 Контроллер теплицы TECH-UC1002

DM-TECH TECH-UC1002 представляет собой компактный контроллер, разработанный специально для автоматизации управления в теплицах [1]. Он обеспечивает полный контроль над важными параметрами, такими как температура, влажность, освещение и вентиляция, необходимыми для обеспечения оптимальных условий для роста растений. На рисунке 1.1 представлен внешний вид данного контроллера.



Рисунок 1.1 – Контроллер теплицы TECH-UC1002

С помощью TECH-UC1002 можно программно регулировать температуру и использовать функции термостатов и регуляторов. Кроме того, можно получать данные с датчиков на мобильный телефон через мессенджер и визуализировать их с помощью программного обеспечения, которое

позволяет создавать схему теплицы и отображать графики показаний датчиков. Модульная конструкция контроллера позволяет легко добавлять необходимые датчики и устройства. К TECH-UC1002 можно подключить до 20 датчиков и исполнительных устройств, что обеспечивает точное контролирование условий внутри теплицы. Контроллер также может автоматически управлять освещением в соответствии с расписанием или данными с датчиков, что обеспечивает оптимальные условия для роста растений.

Основные характеристики данного устройства [1] представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристики TECH-UC1002

Характеристика	Значение
Название бренда	EN&EUHP
Номер модели	TECH-UC1002
Происхождение	Россия
Совместимость	Android
Спецификации	Российская / европейская (EU)
Мощность	3 Вт
Реле	Relay 1 nc 1 A 220 В
Wi-Fi	2,4 ГГц
Степень защиты	IP65 защита от пыли и брызг
Стоимость	125 \$

К достоинствам TECH-UC1002 можно отнести:

1. Компактный размер и модульная конструкция, обеспечивающие легкость интеграции с различными устройствами и датчиками.
2. Возможность полного контроля над температурой, влажностью, освещением и вентиляцией в теплице, что способствует созданию оптимальных условий для роста растений.
3. Программируемая регулировка температуры и использование функций термостатов и регуляторов, что обеспечивает гибкость в управлении климатом.
4. Возможность получения данных с датчиков на мобильный телефон через мессенджер и их визуализация с помощью приложения, что обеспечивает удобство мониторинга.
5. Автоматическое управление освещением в соответствии с расписанием или данными с датчиков, что позволяет поддерживать оптимальные условия для роста растений.

К недостаткам TECH-UC1002 можно отнести:

1. Необходимость дополнительных затрат на приобретение и подключение датчиков и устройств для полноценного функционирования.
2. Ограниченное количество подключаемых датчиков и исполнительных устройств (до 20), что может ограничить возможности

расширения функционала в случае больших теплиц или высоких требований к мониторингу и управлению.

3. Высокая стоимость устройства, составляющая 125 долларов, что может быть недоступно для пользователей с ограниченным бюджетом или нецелесообразно для небольших проектов.

### 1.1.2 Комплект автоматизации «УМНИЦА grow»

Комплект автоматизации под названием «УМНИЦА grow» разработан для обеспечения комплексного управления, регулирования и мониторинга условий выращивания растений через беспроводную локальную сеть [2]. Он также осуществляет сохранение данных на карте памяти и поддерживает заданный микроклимат в теплице или других местах выращивания культурных растений. Этот комплект может быть использован для автоматизации как новых, так и уже существующих тепличных сооружений, включая парники, оранжереи, биогеотарии, гроубоксы и другие подобные конструкции. На рисунке 1.2 представлен внешний вид данного контроллера.

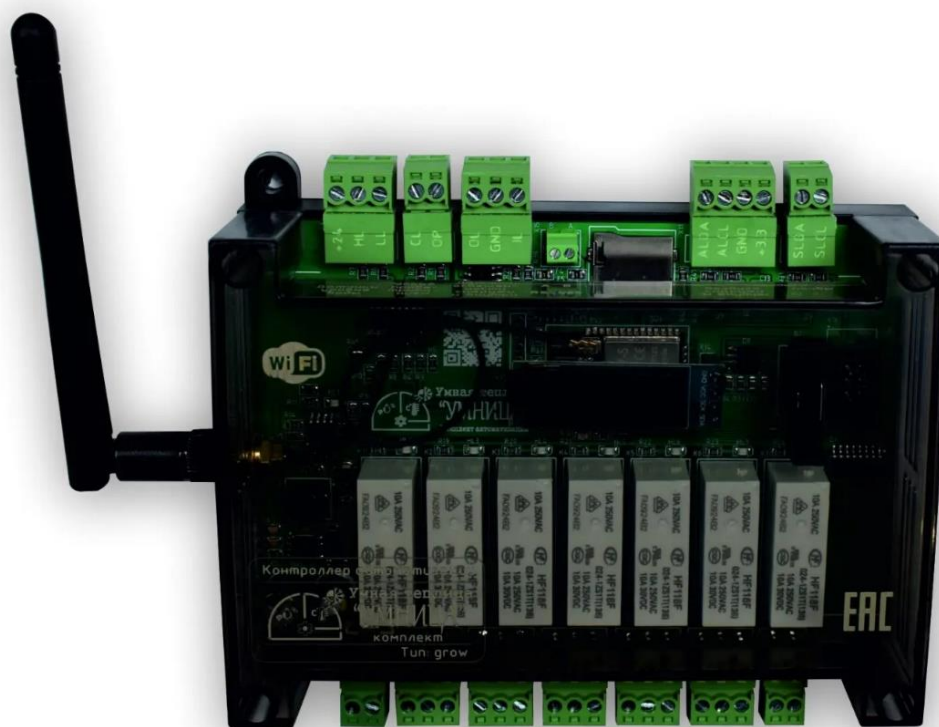


Рисунок 1.2 – Комплект автоматизации «УМНИЦА grow»

К достоинствам комплекта автоматизации «УМНИЦА grow» можно отнести:

- локализованное меню с русскоязычным интерфейсом и простым в использовании руководством пользователя;
- широкий выбор поддерживаемых датчиков для измерения температуры, влажности, освещенности и уровня воды;

- возможность управления различными исполнительными устройствами в теплице, включая клапаны полива, приводы проветривания и вентиляции, насосы для подпитки, а также устройства нагрева и освещения;
  - интеграция с модулем отправки SMS-сообщений для удаленного информирования пользователя;
  - возможность сохранения информации на SD-карту, включая записи с показаниями датчиков, отчеты о работе устройств и информацию об ошибках.
- Основные характеристики данного устройства [2] представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Характеристики комплекта автоматизации «УМНИЦА grow»

Характеристика	Значение
Габаритные размеры	140 × 160 × 43 мм
Материал	Пластик
Напряжение питания	24 В
Потребляемая мощность	1 Вт
Диагональ LCD дисплея	128 × 32
Типоразмер элемента питания	CR2032
Количество релейных выходов	7 шт.
Типоразмер SD карты	microSD
Беспроводная связь	Wi-Fi: 802.11 b / g / n
Проводная связь	интерфейс RS-485, протокол Modbus RTU
Диапазон рабочих температур	-25...+50 °C
Степень защиты	IP20
Стоимость	170 \$

Особенности и функциональные возможности:

1. Подключение к домашней Wi-Fi сети или создание собственной точки доступа.
2. Управление через веб-браузер на ПК или мобильном устройстве через Wi-Fi.
3. Наличие дисплея на контроллере для отображения информации без подключения к Wi-Fi.
4. Запись системных сообщений и ошибок на MicroSD карту памяти.
5. Регистрация данных микроклимата и показаний датчиков на MicroSD карту каждый час с возможностью просмотра через Wi-Fi.
6. Возможность построения графиков.
7. Управление оборудованием по Wi-Fi в ручном режиме.
8. Отправка SMS уведомлений о системных сообщениях и показателях микроклимата.
9. Возможность подключения к SCADA программам или центральным пультам управления.
10. Гибкие настройки для создания оптимальных условий

микроклимата.

11. Система оповещения о низких и высоких значениях параметров (температура, влажность, уровень CO<sub>2</sub>, атмосферное давление).

12. Измерение температуры почвы в двух точках.

13. Определение уровня освещенности снаружи и внутри помещения.

14. Измерение концентрации CO<sub>2</sub> и атмосферного давления.

15. Ручное управление открытием/закрытием проветривания или контроль через концевые выключатели.

16. Контроль уровня воды в резервуаре системы орошения.

17. Управление проветриванием и поливом по заданным параметрам микроклимата.

18. Управление системой полива по расписанию в различное время для четырех каналов.

19. Выбор продолжительности полива в зависимости от температуры почвы.

20. Управление универсальными таймерами для активации различных функций.

21. Контроль фитоосвещения по датчику освещенности с поддержкой заданного светового дня.

22. Управление вентилятором проветривания по различным сценариям микроклимата.

23. Регулировка скорости вентилятора.

24. Управление генератором CO<sub>2</sub> по заданной концентрации.

25. Управление охладителем воздуха по заданным температурным параметрам.

26. Управление увлажнителем воздуха по заданным параметрам влажности.

К недостаткам данного комплекта можно отнести:

1. Отсутствие автоматического обновления программного обеспечения, что может привести к устареванию и невозможности использования новых функций и исправлений.

2. Ограниченное количество релейных выходов свободного назначения может ограничить возможности подключения дополнительного оборудования.

3. Ограничения по рабочей температуре (-25...+50 градусов Цельсия) могут создавать проблемы в экстремальных климатических условиях.

4. Требуется дополнительное оборудование или протокол для проводной связи по интерфейсу RS-485, что может повлечь за собой дополнительные расходы и сложности в настройке.

5. Необходимость установки на DIN-рейку или крепления на саморез может затруднить интеграцию в уже существующие системы или требовать дополнительных монтажных работ.

6. Стоимость устройства, равная 170 долларам, может быть препятствием для пользователей с ограниченным бюджетом или оказаться непрактичной для небольших проектов.

### 1.1.3 Контроллер теплицы «ТЕРРАФОРМ»

Контроллер ТЕРРАФОРМ представлен в виде электронного устройства, размещенного в пластиковом корпусе, способном крепиться на DIN рейку [3]. Корпус выполнен в светло-сером цвете из прочного и жаростойкого ABS пластика.

Устройство непрерывно собирает информацию от датчиков и, следуя программе, управляет выходными реле. Регулярно выводит данные с датчиков на ЖК-дисплей и передает их на сервер для взаимодействия с мобильными приложениями пользователей. Мониторинг показаний датчиков, состояние реле и их управление доступны через мобильное приложение и посредством SMS. Алгоритм управления реле настраивается через меню, доступное с помощью четырех кнопок на передней панели контроллера, а также частично через мобильное приложение. На рисунке 1.3 представлен внешний вид данного контроллера.



Рисунок 1.3 – Контроллер теплицы «ТЕРРАФОРМ»

Система включает в себя контроллер с встроенными реле и комплектом датчиков микроклимата. Пользователь устанавливает желаемые значения для различных параметров, таких как температура воздуха и почвы, влажность воздуха и почвы, уровень освещенности, содержание CO<sub>2</sub>, pH, а также направление и скорость ветра. В зависимости от данных датчиков и заданных параметров, контроллер через реле управляет устройствами, регулирующими микроклимат в теплице, такими как насосы, клапаны, приводы форточек, вентиляторы, осветительные лампы, обогреватели и другое оборудование.

Мобильное приложение позволяет пользователю удаленно мониторить данные датчиков в теплице, управлять поливом, вентиляцией, подогревом и другими процессами, настраивать параметры датчиков и регулировать продолжительность и периодичность работы устройств. Также приложение отправляет аварийные оповещения в случае превышения установленных пределов. Часть функционала доступна через SMS-сообщения с мобильного телефона.

Контроллер ТЕРРАФОРМ используется в качестве основы для автоматизации систем в теплицах, зимних садах, грибных фермах,



аквариумах, террариумах, пчелиных ульях, а также в жилых, офисных и других помещениях.

Основные функции включают:

- автоматическое регулирование микроклимата на основе данных датчиков, времени и установленных таймеров;
- визуализацию текущих данных датчиков и навигацию по меню на экране контроллера;
- дистанционное управление данными датчиками, состоянием реле и управляемыми устройствами через мобильное приложение для Android, iOS, компьютера или посредством SMS;
- автоматическое оповещение о выходе показаний датчиков за установленные пределы через приложение и по SMS.

Основные характеристики данного устройства [4] представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Характеристики контроллера теплицы «ТЕРРАФОРМ»

Характеристика	Значение
1	2
Габаритные размеры	212 × 90 × 58 мм
Масса без датчиков	0,5 кг
Число входов датчиков температуры-влажности воздуха	4
Число входов датчиков влажности почвы	6
Число входов универсальных датчиков температуры	16
Число входов датчиков освещенности	2
Число входов датчиков CO <sub>2</sub>	6
Число входов датчиков pH	1
Число входов датчиков минерализации ЕС	1
Число входов датчиков дождя	6
Число входов датчиков скорости ветра	1
Число входов датчиков направления ветра	1
Число выходов управления исполнительными устройствами	8 (до 16 с модулем расширения реле)
Нагрузочные характеристики реле	до 220 В, до 5 А (1 кВт) больше – через контактор
Напряжение изоляции реле	1,5 кВ
Диапазоны частот передатчика GSM/GPRS	850 / 900 / 1800 / 1900 МГц

Продолжение таблицы 1.3

1	2
Напряжение питания	220 В
Максимальная потребляемая мощность	10 Вт
Средства отображения	текстовый ЖК-дисплей, 2 строки × 16 символов
Рабочая температура	0...+50 °С
Стоимость	270 \$

К недостаткам контроллера теплицы «ТЕРРАФОРМ» можно отнести:

1. Ограниченное количество входов для датчиков различных параметров микроклимата (например, только 4 входа для датчиков температуры-влажности воздуха).
2. Недостаток расширяемости: число входов универсальных датчиков температуры ограничено (16) и может оказаться недостаточным для некоторых проектов.
3. Отсутствие поддержки более широкого диапазона частот передатчика GSM/GPRS, что может ограничить возможности связи в некоторых регионах.
4. Ограниченные возможности отображения на текстовом ЖК-дисплее, что может затруднить мониторинг данных при большом объеме информации.
5. Ограниченная максимальная потребляемая мощность (10 Вт), что может привести к ограничениям в подключении дополнительного оборудования или расширении функциональности.

## 1.2 Состав разрабатываемого устройства

Как упоминалось ранее, разрабатываемый контроллер теплиц на основе беспроводной технологии представляет собой инновационное устройство, созданное для эффективного управления микроклиматом в тепличных условиях. Это устройство не только контролирует и регулирует параметры окружающей среды, но и обеспечивает удаленный мониторинг и управление с помощью беспроводных технологий связи.

Для выполнения данных функций в состав такого контроллера входят:

1. Микроконтроллер, с помощью которого выполняется обработка данных от датчиков микроклимата, управление исполнительными устройствами и взаимодействие с другими компонентами системы.
3. Модуль беспроводной связи, обеспечивающий передачу данных между контроллером и мобильным приложением, сервером или другими устройствами удаленного управления.
4. Датчики микроклимата, включающие в себя датчики температуры, влажности воздуха и почвы, освещенности, дождя, уровня воды.
5. Реле управления, предназначенные для управления различными исполнительными устройствами в теплице, такими как насосы, клапаны, приводы форточек, лампы освещения.

6. Блоки питания или иные источники питания, обеспечивающие работу устройства в автономном режиме.

7. Другие устройства контроля и управления, которые могут включать в себя средства отображения информации (например, ЖК-дисплей).

### 1.3 Обзор плат микроконтроллеров

Управление системой контроля микроклимата в теплице и сбором данных осуществляется при помощи микроконтроллера. Микроконтроллер представляет собой микроэлектронное устройство, способное программно обрабатывать информацию, передавать данные другим устройствам для их обработки и управлять функциональными устройствами в соответствии с полученными данными. Рынок микроконтроллеров предлагает широкий выбор моделей от различных производителей, включая современные 32-битные, а также 16-битные и 8-битные варианты. Каждое семейство микроконтроллеров может включать различные модели с разной скоростью работы центрального процессора (ЦПУ) и объемом памяти.

Для проведения сравнительного анализа была выбрана плата микроконтроллера Nano V3.0 (CH340) [5] на микроконтроллере ATmega328P и ее аналоги. Результаты данного сравнения представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Сравнение плат микроконтроллеров

Характеристика	Nano V3.0 (CH340)	Arduino Pro Mini	Arduino Uno Rev3
1	2	3	4
Микроконтроллер	ATmega328P	ATmega328P	ATmega328P
Тактовая частота	16 МГц	16 МГц	16 МГц
Флеш-память	32 КБ (2 КБ отведено под загрузчик)	32 КБ (2 КБ отведено под загрузчик)	32 КБ (0,5 КБ отведено под загрузчик)
ОЗУ-память	2 КБ	2 КБ	2 КБ
EEPROM-память	1 КБ	1 КБ	1 КБ
Рабочее напряжение	5 В	5 В	5 В
Входное напряжение, VIN	7 – 12 В	5 – 12 В	7 – 12 В
Входное напряжение максимальное, VIN	6 – 20 В	3,35 – 20 В	6 – 20 В
Цифровые входы/выходы	19	14	14
Выходы ШИМ	6	6	6

Продолжение таблицы 1.4

1	2	3	4
Аналоговые входы, АЦП	8	6	6
Максимальный постоянный ток входа/выхода	40 мА	40 мА	20 мА
Максимальный постоянный ток выхода 3.3В	30 мА	50 мА	50 мА
Размеры	45 × 18 мм	33 × 18 мм	68,6 × 53,4 мм
Вес модуля	6 г	5 г	25 г

Модуль Arduino Nano является весьма популярным среди широкого круга разработчиков, как начинающих, так и опытных, которые работают с Arduino-совместимыми платами. Он включает в себя микроконтроллер ATmega328P, который работает при стандартном напряжении 5 вольт, а также имеет кварцевый резонатор с частотой 16 мегагерц.

На рисунке 1.4 представлен внешний вид данной платы [5].

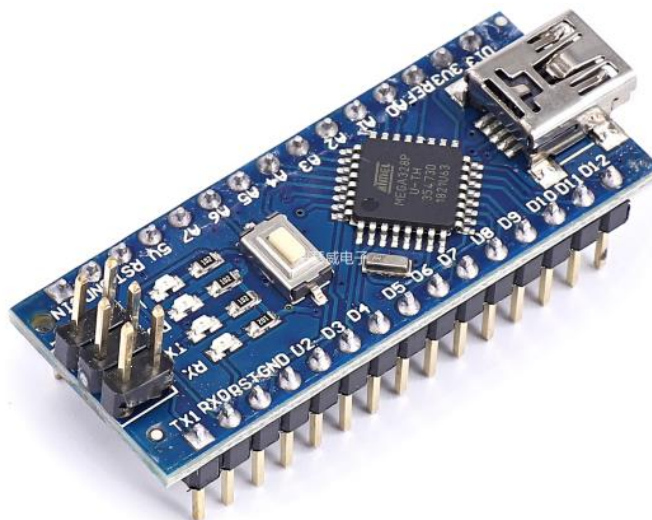


Рисунок 1.4 – Микроконтроллер Nano V3.0

Arduino Nano обладает почти всеми возможностями своего старшего аналога – Arduino Uno Rev3, однако он компактен и имеет 30 выводов. Размеры существенно уменьшены благодаря двухстороннему монтажу компонентов.

В комплекте идут разъемы-ножки с шириной шага 2,54 мм, которые не припаяны, что позволяет пользователю самостоятельно устанавливать их или использовать сторонние коннекторы. Arduino Nano предоставляет возможность подключения дополнительных модулей через различные интерфейсы, такие как датчики, сенсоры, экраны и моторы.

На рисунке 1.5 представлена схема распиновки данной платы [6].

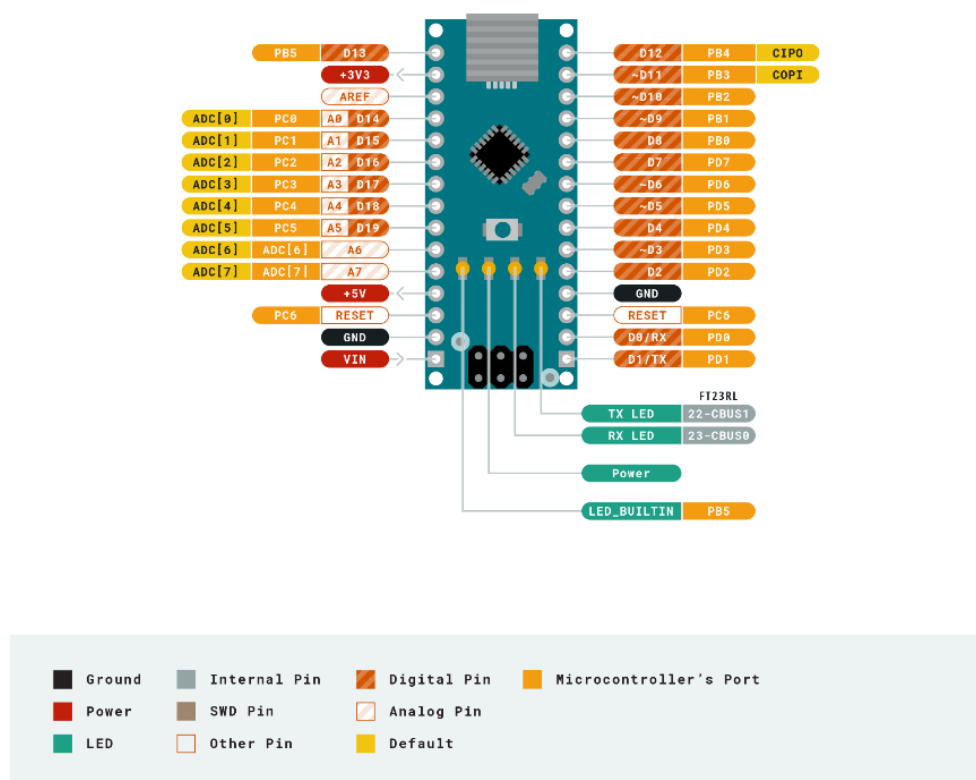


Рисунок 1.5 – Схема распиновки микроконтроллера Nano V3.0

Недостатком является отсутствие самовосстанавливающегося предохранителя, который отключает питание от USB-порта при перегрузке. Однако большинство современных компьютеров имеют встроенную защиту USB-порта, обеспечивая безопасность при использовании.

Благодаря своим компактным размерам, Arduino Nano идеально подходит для создания небольших проектов, легко помещается в корпуса и удобен в использовании.

Arduino Pro Mini [7] может получать питание либо через кабель FTDI или коммутационную плату, подключаемую к шестиконтактному разъему, либо через регулируемое напряжение питания 3,3 В или 5 В (в зависимости от модели), подаваемое на вывод Vcc. На плате имеется встроенный регулятор напряжения, который позволяет принимать напряжение до 12 В постоянного тока. При подключении нерегулируемого питания на плату необходимо убедиться, что контакт «RAW» используется для этой цели, а не контакт VCC.

Контакты питания следующие:

1. RAW: для подачи необработанного напряжения на плату.
2. VCC: регулируемое напряжение питания 3,3 или 5 В.
3. Земля: заземляющие штыри.

Микроконтроллер ATmega328P оснащен 32 КБ флэш-памяти для хранения кода (из которых 0,5 КБ занимает загрузчик), 2 КБ SRAM и 1 КБ EEPROM, которые могут быть использованы для чтения и записи с помощью библиотеки EEPROM.

На рисунке 1.6 представлен внешний вид данной платы [7].

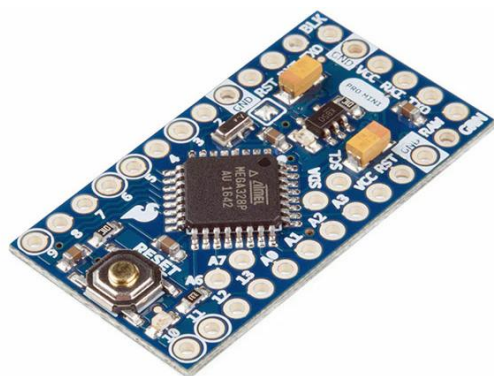


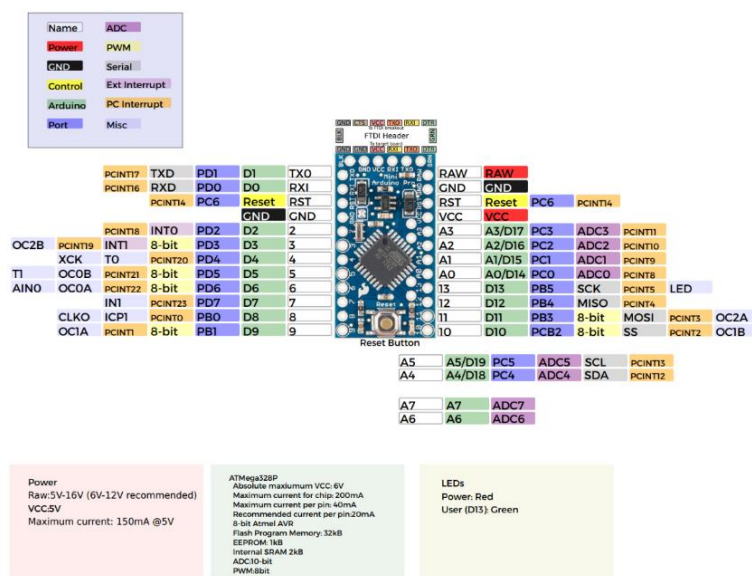
Рисунок 1.6 – Микроконтроллер Arduino Pro Mini

Каждый из 14 цифровых контактов Pro Mini может быть настроен на ввод или вывод работая при напряжении 3,3 или 5 вольт (в зависимости от модели). Каждый вывод может выдерживать или поставлять до 40 мА тока и имеет внутренний подтягивающий резистор на 20-50 кОм (по умолчанию отключен). Некоторые выводы имеют специализированные функции:

1. Последовательный порт: 0 (RX) и 1 (TX).
2. Внешние прерывания: 2 и 3.
3. ШИМ: 3, 5, 6, 9, 10 и 11.
4. SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).
5. Светодиод: 13.

Arduino Pro Mini также обладает 8 аналоговыми входами, каждый из которых предоставляет разрешение 10 бит (1024 различных значений). Некоторые выводы также имеют специализированные функции, такие как поддержка связи I2C (SDA и SCL).

На рисунке 1.7 представлена схема распиновки данной платы [8].





Arduino Pro Mini имеет возможности для связи с компьютером или другими устройствами через последовательную связь UART TTL, а также поддерживает интерфейсы I2C (TWI) и SPI.

Программирование контроллера Arduino Uno Rev3 [9] осуществляется из интегрированной среды разработки Arduino (IDE) с использованием резидентного загрузчика по протоколу STK500, что исключает необходимость в аппаратном программаторе. Контроллер также может быть запрограммирован через разъем для внутрисхемного программатора ICSP, обходя загрузчик. Кроме того, исходный код программы-загрузчика доступен для свободного использования.

Одно из отличий Arduino UNO Rev3 от предыдущих версий заключается в использовании микроконтроллера ATmega16U2 вместо моста USB-UART FTDI для подключения к компьютеру. Это позволяет плате автоматически выбирать источник питания – USB порт или внешний источник. Внешний источник питания может быть сетевым адаптером или батареей, подключаемыми к соответствующим разъемам.

На рисунке 1.8 представлен внешний вид данной платы [9].

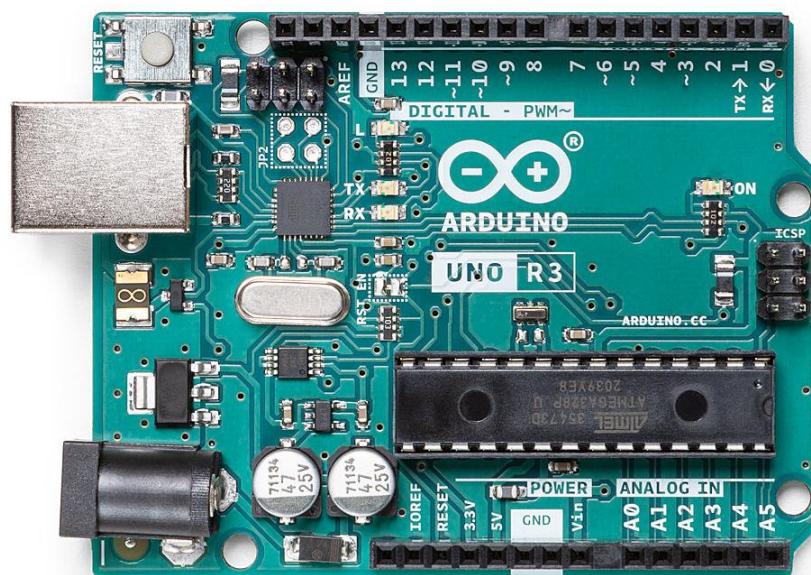


Рисунок 1.8 – Микроконтроллер Arduino UNO Rev3

Рекомендуемый диапазон напряжения питания для платы Arduino UNO составляет 7-12 В, хотя допустимое напряжение варьируется от 6 до 20 В. Каждый из 14 цифровых выводов может быть использован как вход или выход с уровнем напряжения 5 В, с максимальным током на выводе до 40 мА. Для удобства программирования, внутренний подтягивающий резистор может быть программно отключен.

Некоторые выводы Arduino UNO выполняют специализированные функции, такие как последовательный интерфейс, внешние прерывания, ШИМ и интерфейс SPI. Также на плате присутствуют аналоговые входы и дополнительные выводы для AREF и RESET.

Специализированные функции, доступные на различных выводах:

1. Serial: 0 (RX) и 1 (TX). Используются для приема (RX) и передачи (TX) серийных данных TTL. Эти выводы подключены к соответствующим выводам микросхемы ATmega8U2 USB-to-TTL Serial.

2. Внешние прерывания: 2 и 3. Эти выводы могут быть настроены на генерацию прерывания при низком уровне, нарастающем или спадающем фронте или изменении уровня.

3. ШИМ: 3, 5, 6, 9, 10 и 11. Предоставляют 8-битный ШИМ-сигнал с помощью функции `analogWrite()`.

4. SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Эти выводы поддерживают обмен данными по шине SPI с использованием библиотеки SPI.

5. LED: 13. Есть встроенный светодиод, управляемый цифровым выводом 13. Когда вывод установлен в HIGH, светодиод включен, когда вывод установлен в LOW, светодиод выключен.

6. TWI: выводы A4 или SDA и A5 или SCL. Поддерживают обмен данными по протоколу TWI с использованием библиотеки Wire.

Для обмена данными с компьютером или другими микроконтроллерами, Arduino UNO обладает коммуникационными интерфейсами UART, I2C и SPI. Аппаратная функция сброса позволяет автоматически инициировать сброс микроконтроллера при подключении к компьютеру, хотя такая функция может быть отключена при необходимости.

На рисунке 1.9 представлена схема распиновки данной платы [10].

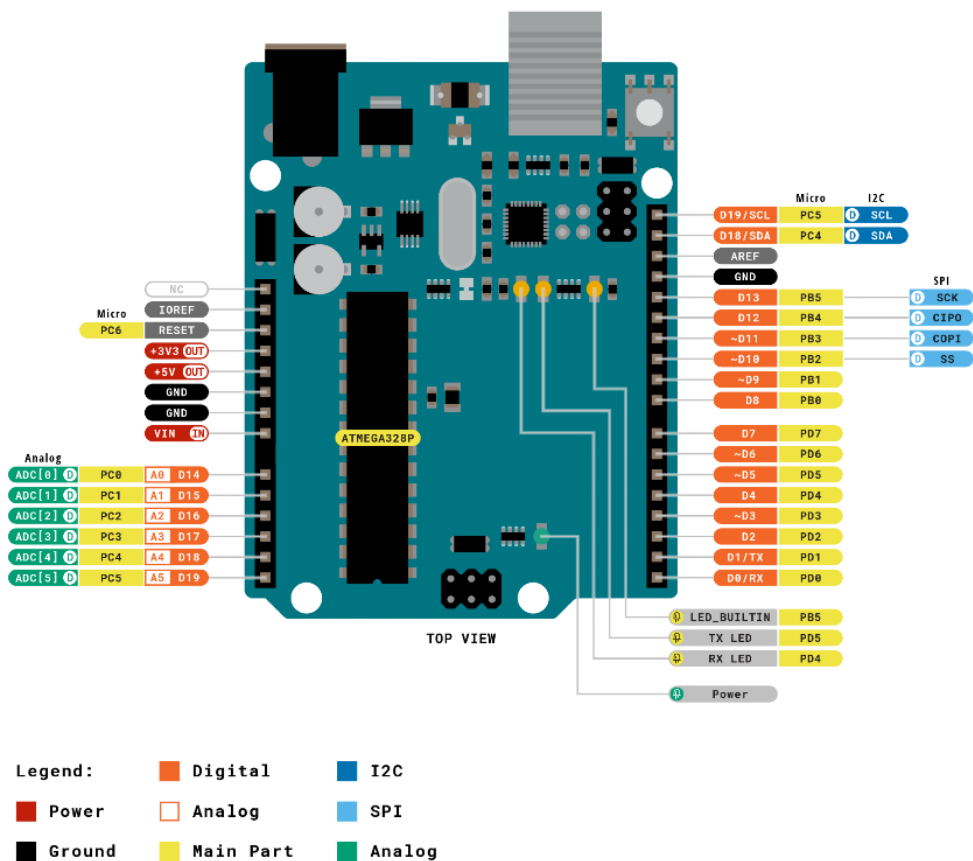


Рисунок 1.9 – Схема распиновки микроконтроллера Arduino UNO Rev3



### **1.3.1 Подведение итогов**

Учитывая вышеуказанные факторы, был выбран Nano V3.0 с чипом SN340. Данный микроконтроллер был выбран из-за своего компактного размера, доступности компонентов и низкой цены. Эти факторы делают его идеальным выбором, обеспечивая удобство в использовании и экономичность без ущерба функциональности.

### **1.4 Обзор сред проектирования**

Среды проектирования печатных плат (PCB) – это программные инструменты, предназначенные для создания электрических схем, размещения компонентов и трассировки маршрутов на печатной плате. Они позволяют инженерам и дизайнерам эффективно разрабатывать и визуализировать сложные электронные устройства перед тем, как приступить к физическому производству.

Эти среды играют важную роль в проектировании PCB, предоставляя широкий набор инструментов и функций, таких как редакторы схем, автоматическая трассировка, анализ сигналов, проверка правил проектирования и многое другое. Они помогают ускорить процесс разработки, сократить затраты на производство и улучшить качество конечного продукта.

Выбор подходящей среды проектирования PCB зависит от ряда факторов, включая уровень сложности проекта, требования к функциональности, бюджет, опыт пользователя и предпочтения. Некоторые из основных критериев выбора включают в себя:

1. **Функциональность.** Необходимо убедиться, что выбранная среда проектирования предоставляет необходимые инструменты для реализации конкретных требований проекта.

2. **Легкость использования.** Важно, чтобы интерфейс программы был интуитивно понятным и удобным для работы, особенно для новичков.

3. **Совместимость.** Программное обеспечение должно быть совместимо с используемым оборудованием и другими программными средствами.

4. **Цена.** Стоимость лицензии и дополнительных услуг должна быть доступной и соответствовать бюджету проекта.

#### **1.4.1 KiCad**

KiCad – это бесплатный и открытый программный комплекс автоматизации проектирования электроники (EDA). В его состав входят редактор схем, симулятор интегральных схем, разметка печатных плат (PCB), трехмерная визуализация и экспорт данных в различные форматы. KiCad также включает в себя библиотеку компонентов высокого качества, включающую тысячи символов, корпусов и трехмерных моделей. KiCad имеет минимальные системные требования и работает под управлением Linux, Windows и macOS.

На рисунке 1.10 представлен внешний вид интерфейса программы KiCad [11].

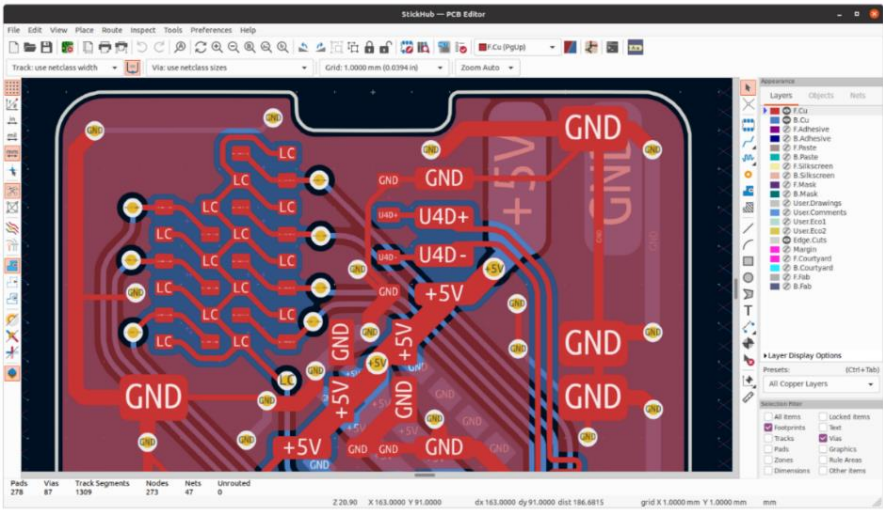


Рисунок 1.10 – Пример интерфейса KiCad

KiCad состоит из нескольких различных компонентов программного обеспечения, часть из которых интегрированы вместе для облегчения рабочего процесса проектирования печатных плат, а часть является автономными. В ранних версиях KiCad было очень мало взаимодействия между компонентами программного обеспечения. Например, редактор схем (исторически называемый Eeschema) и редактор печатных плат (исторически называемый PcbNew) были отдельными приложениями, которые не имели прямой связи между собой, и для создания печатной платы на основе схемы пользователи должны были создать файл списка связей в Eeschema, а затем прочитать этот файл списка в PcbNew. В современных версиях KiCad редактор схем и редактор печатных плат интегрированы в менеджер проектов KiCad, и использование файлов списка связей больше не требуется. Многие учебники по-прежнему описывают старый рабочий процесс KiCad с отдельными приложениями и файлами списка связей, поэтому обязательно проверяйте используемую версию при просмотре учебных пособий и другой документации.

Основные компоненты KiCad [12] обычно запускаются с помощью кнопок запуска в окне менеджера проектов KiCad. Данные компоненты представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Компоненты KiCad

Название компонента	Описание
1	2
Schematic Editor	Создание и редактирование схем; моделирование схем с помощью SPICE; создание файлов списка материалов (BOM)

Продолжение таблицы 1.5

1	2
Symbol Editor	Создание и редактирование символов схем и управление библиотеками символов
PCB Editor	Создание и редактирование печатных плат; экспорт 2D и 3D файлов; создание файлов выходных данных для производства
Footprint Editor	Создание и редактирование компонентов печатной платы и управление библиотеками компонентов
GerbView	Просмотрщик файлов Gerber и сверлов
Bitmap2Component	Преобразование растровых изображений в символы или компоненты печатной платы
PCB Calculator	Калькулятор для компонентов, ширины дорожек, электрического промежутка и цветовых кодов.
Page Layout Editor	Создание и редактирование файлов рабочего листа

К достоинствам KiCad можно отнести:

1. Бесплатное и открытое программное обеспечение.
2. Имеет широкий функционал, включающий создание схем, проектирование печатных плат, симуляцию, 3D-отображение и экспорт в различные форматы.
3. Поддерживает кроссплатформенность, работает на операционных системах Linux, Windows и macOS.
4. Имеет обширную библиотеку символов, корпусов и моделей компонентов.
5. Активное сообщество пользователей, что облегчает поиск информации, обмен опытом и получение поддержки.
6. Регулярные обновления и улучшения, включая новые функции и исправление ошибок.

К недостаткам KiCad можно отнести:

1. Интерфейс может показаться не интуитивным и сложным для новичков из-за большого количества функций и настроек.
2. Некоторые функции, такие как 3D-отображение и симуляция, могут работать не так плавно и быстро.
3. Возможны проблемы с совместимостью с некоторыми форматами файлов, особенно при импорте и экспорте проектов из других CAD-систем.

4. Нет встроенной поддержки облачного хранилища для совместной работы над проектами.

### 1.4.2 CometCAD

Комплексная среда автоматизированного проектирования, предназначенная для создания принципиальных схем и разводки печатных плат.

Программа CometCAD [13] обладает ограниченным набором инструментов и предназначена в основном для начинающих разработчиков печатных плат. Ее функционал включает в себя модуль «Circuit Editor» для создания многостраничных схем, модуль «Layout Editor» для разработки макетов плат с возможностью ручной трассировки и модуль «Symbol Editor» для создания или редактирования радиокомпонентов. Переключение между этими редакторами осуществляется через меню. Однако в программе отсутствуют симулятор электрических схем, автоматический трассировщик и функции оптимизации размещения компонентов или размеров платы.

На рисунке 1.11 представлен внешний вид интерфейса программы CometCAD [14].

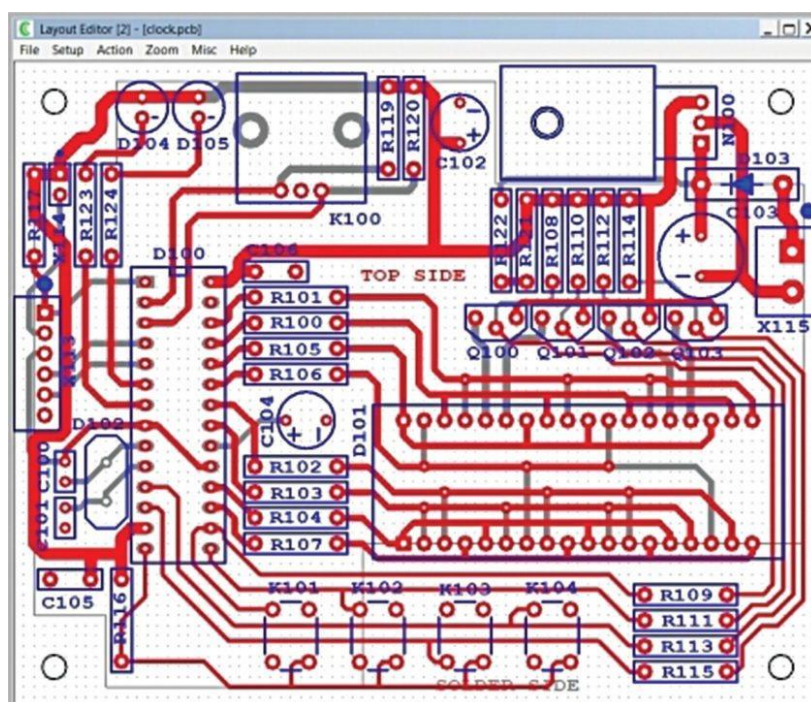


Рисунок 1.11 – Пример интерфейса CometCAD

Редактируемая библиотека содержит лишь наиболее распространенные компоненты. Файл с именем default.lib открывается автоматически при запуске программы и сохраняется при выходе из CometCAD. Редактор схем позволяет работать с листами количеством до 100 штук, каждый из которых может иметь максимальный размер  $2 \times 2$  метра. При передаче принципиальной схемы в редактор печатных плат необходимо соблюдать определенные

требования, включая уникальные названия для всех элементов. Кроме того, в РСВ-редактор передается список соединений (netlist), а также предоставляется возможность создания спецификации компонентов.

Модуль для разработки печатных плат (PCB) в CometCAD позволяет работать с двумя слоями на каждой стороне платы. Разрешение составляет один микрон, а максимальные размеры печатных плат достигают 510 на 510 миллиметров, с возможностью размещения до 1000 посадочных мест. Присутствует функция проверки, которая выявляет ошибки и замечания, сохраняя их в файле errors.txt.

CometCAD обеспечивает широкий набор стандартных функций рисования, размещения и редактирования компонентов. Включая возможность вращения на 90 градусов, масштабирования, изменения размеров сетки и области работы, а также настройку фона, шрифтов текстовых надписей и толщины линий. Среди других функций программы – создание прямоугольных панелей для множества печатных плат и определение границ плат с помощью многоугольников. CometCAD позволяет экспортировать результаты работы в популярные форматы для сверлильных станков gerber или excellon. Кроме того, все выходные файлы могут быть распечатаны или сохранены.

Из-за ограниченных возможностей, данная программа вероятно не подойдет для профессиональных разработчиков. Также следует отметить наличие ошибок в программном коде и неудобное управление.

К достоинствам CometCAD можно отнести:

1. Предоставляет простую и понятную среду для создания принципиальных схем и разводки печатных плат.
2. Имеет интуитивно понятный интерфейс, что делает ее привлекательной для начинающих разработчиков.
3. Предоставляет широкий набор стандартных функций рисования, размещения и редактирования компонентов.
4. Поддерживает экспорт результатов работы в популярные форматы для сверлильных станков gerber или excellon.
5. Имеет модуль для разработки печатных плат, который позволяет работать с двумя слоями на каждой стороне платы.

К недостаткам CometCAD можно отнести:

1. Ограниченный набор инструментов и функций, что делает ее менее привлекательной для профессиональных разработчиков.
2. Наличие ошибок в программном коде и неудобное управление.
3. Отсутствие симулятора электрических схем, автоматического трассировщика и функций оптимизации размещения компонентов или размеров платы.
4. Редактируемая библиотека содержит лишь наиболее распространенные компоненты, что может быть недостаточно для некоторых проектов.
5. Требуется соблюдения определенных требований при передаче принципиальной схемы в редактор печатных плат.

### 1.4.3 EasyEDA

EasyEDA [15] – удобное веб-приложение для автоматизации проектирования электроники, предназначенное для инженеров, преподавателей, студентов, мейкеров и энтузиастов. Программа EasyEDA обладает всеми необходимыми функциями, чтобы быстро и легко превратить идею в готовый проект.

На рисунке 1.12 представлен внешний вид интерфейса программы EasyEDA [15].

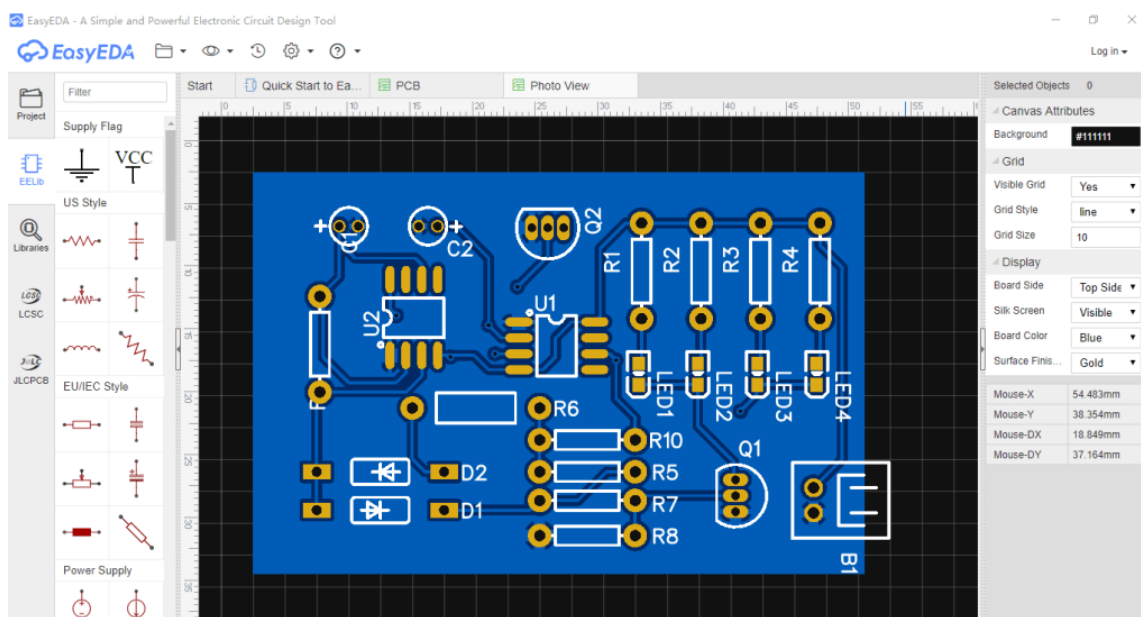


Рисунок 1.12 – Пример интерфейса EasyEDA

Суть EasyEDA заключается в использовании облачного сервиса, который осуществляет все вычисления на мощных серверах в Китае. Это означает, что скорость выполнения задач не зависит от характеристик компьютера, а определяется лишь скоростью интернет-соединения. Несмотря на наличие десктопного клиента, который может немного упростить и ускорить работу, все операции все еще выполняются через облачный сервис.

Платформа EasyEDA обеспечивает широкий спектр функциональности [16], включая редактирование принципиальных схем, разработку печатных плат, автоматическую трассировку печатных плат, просмотр печатных плат в 3D, создание файлов для производства (например, Gerber), возможность моделирования принципиальных электрических схем, экспорт в формат BOM (Bill of Materials) и многое другое.

К достоинствам EasyEDA можно отнести:

1. Простой и мощный редактор. EasyEDA предоставляет простые и удобные инструменты для создания схем и макетов печатных плат. Редактор доступен прямо в веб-браузере без необходимости установки дополнительного программного обеспечения.

2. Реальное время совместной работы. EasyEDA позволяет совместно



работать над проектом с другими пользователями в реальном времени, обеспечивая удобство командной работы.

3. Широкие возможности экспорта и импорта. EasyEDA поддерживает экспорт и импорт проектов в различные форматы, включая Gerber, Altium Designer, Eagle и KiCAD, что обеспечивает совместимость с другими популярными программами для проектирования электроники.

4. Богатая библиотека компонентов. EasyEDA предоставляет доступ к более чем миллиону общедоступных библиотек символов и компонентов, что значительно упрощает процесс проектирования.

К недостаткам EasyEDA можно отнести:

1. Ограниченные возможности бесплатной версии. Некоторые расширенные функции могут быть доступны только в платных версиях EasyEDA.

2. Ограниченный набор инструментов для анализа и симуляции. EasyEDA может быть не слишком подходящим выбором для профессиональных разработчиков, которым требуются расширенные возможности анализа и симуляции.

3. Необходимость подключения к интернету. EasyEDA требует постоянного подключения к интернету для работы, что может быть неудобно в некоторых ситуациях.

## **1.5 Обзор сред моделирования**

В мире электронного проектирования среды моделирования и принципиальные схемы играют важную роль, обеспечивая инженерам инструменты для создания и анализа сложных электронных устройств.

Принципиальные схемы представляют собой графическое изображение электрической схемы устройства, которое отражает его функциональную структуру и взаимосвязь компонентов. Они служат основой для разработки и анализа конструкции, помогая инженерам понять работу системы, выявить потенциальные проблемы и оптимизировать ее производительность. Принципиальные схемы создаются с использованием специализированных программных инструментов и состоят из символов, представляющих электронные компоненты, и линий, обозначающих электрические соединения между ними. Важно отметить, что они не учитывают конкретное физическое расположение компонентов на печатной плате, а сконцентрированы на логике и функциональности устройства.

Среды моделирования, в свою очередь, предоставляют инженерам возможность создавать виртуальные прототипы и анализировать поведение электронных систем до их физической реализации. Они включают в себя такие инструменты, как редакторы схем, симуляторы электрических схем, автотрассировщики печатных плат и многое другое. С помощью сред моделирования инженеры могут проверить работоспособность и надежность своих конструкций, а также оптимизировать их производительность до начала производства.

### 1.5.1 AutoCAD Electrical

AutoCAD Electrical [17] объединяет в себе основные функции программного обеспечения AutoCAD, дополняя их уникальными инструментами, предназначенными для автоматизации процессов создания схем, компоновки чертежей, генерации отчетов и других задач. Приложение предоставляет возможность работать как над целыми проектами, так и над индивидуальными компонентами, такими как двигатели, клеммы, реле, провода, жгуты, кабели, а также программируемые логические контроллеры. AutoCAD Electrical поддерживает разнообразные типы проектов, включая принципиальные схемы, схемы автоматизации, чертежи компоновок, схемы соединений, монтажные планы и различные отчеты. Модуль «Диспетчер проектов» обеспечивает гармоничную работу рабочих групп на всех этапах проекта, обеспечивая доступ к единой цифровой модели.

Программа соответствует международным стандартам оформления чертежей и содержит обширные библиотеки компонентов и условных обозначений, включая более 2000 элементов электрических схем, соответствующих стандартам ГОСТ, IEC, JIS, JIC, GB, AUS. Пользователи также могут создавать собственные графические образы и добавлять их в библиотеку. В базах данных каталога содержится более 370 тысяч наименований изделий от известных производителей, а также их компоновочные образы и каталожные данные.

На рисунке 1.13 представлен внешний вид интерфейса программы EasyEDA [17].

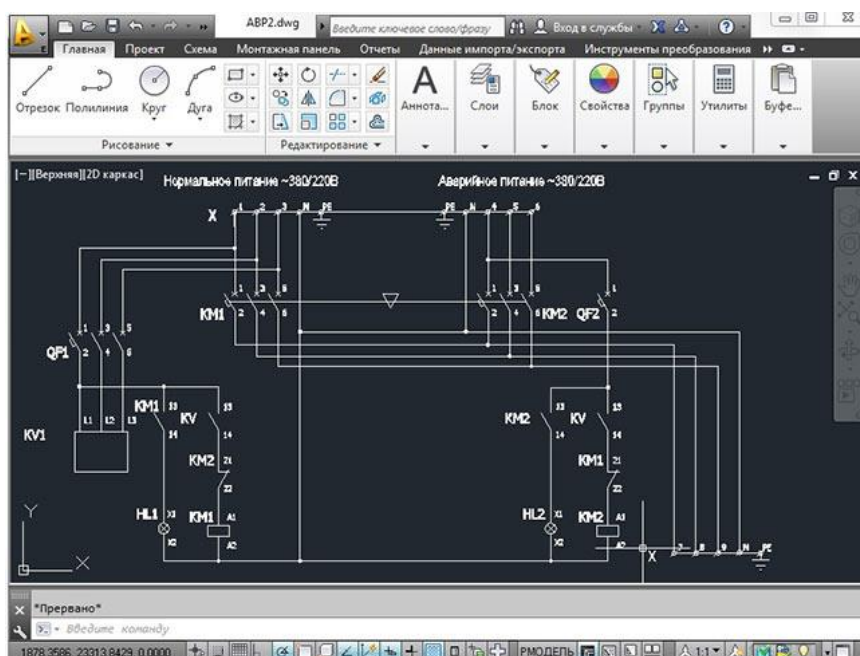


Рисунок 1.13 – Пример интерфейса AutoCAD Electrical

Каждому элементу в схеме автоматически присваивается свой уникальный идентификатор. Части компонентов с одинаковыми



идентификаторами, но на разных листах, рассматриваются программой как один объект. Любые изменения, внесенные в одну часть компонента, автоматически распространяются на все другие. Для проводов в проекте можно указывать различные характеристики, такие как цвет, марку, сечение, номера и функции жил кабелей и т.д. Для соединения цепей, находящихся на разных листах или частях листа, используются специальные ссылки. В программе AutoCAD Electrical имеются инструменты для работы с схемами, содержащими жгутовые соединения, контакторы и реле, а также программируемые логические контроллеры. Информация о клеммах проекта доступна в «Редакторе клеммных колодок».

AutoCAD Electrical непрерывно контролирует все операции в режиме реального времени и предупреждает об ошибках при необходимости. Программа отслеживает уникальные группы объектов для компонентов, дублирование идентификаторов, некорректные контакты, отсутствие или повторение номеров и др.

На основе данных отдельных чертежей или всего проекта генерируются различные отчеты, такие как таблицы соединений, списки компонентов и проводов, таблицы сигналов ПЛК и др. Пользователи могут создавать и настраивать пользовательские отчеты и сохранять их в различных форматах файлов. Для создания трехмерной модели изделия имеется возможность использования программы Autodesk Inventor.

AutoCAD Electrical является коммерческим программным обеспечением, стоимость лицензии которого составляет приблизительно 5000 долларов. Пользователи могут загрузить бесплатную 30-дневную демонстрационную версию программы, и установка происходит автоматически.

К достоинствам AutoCAD Electrical можно отнести:

1. **Обширные возможности.** AutoCAD Electrical предлагает широкий спектр инструментов для создания схем, компоновки чертежей и генерации отчетов, что обеспечивает полный цикл работы над проектами.

2. **Международные стандарты.** Программа соответствует международным стандартам оформления чертежей и содержит обширные библиотеки компонентов и условных обозначений.

3. **Удобство работы.** Автоматическое присвоение уникальных идентификаторов каждому элементу, а также возможность изменения данных элементов с автоматическим обновлением на всех листах проекта значительно упрощают процесс работы.

К недостаткам AutoCAD Electrical можно отнести:

1. **Высокая стоимость.** AutoCAD Electrical является коммерческим программным обеспечением с высокой стоимостью лицензии, что может быть недоступно для многих пользователей с ограниченным бюджетом.

2. **Необходимость обучения.** Использование всех возможностей программы требует определенного времени на обучение, что может быть недоступно для пользователей без достаточного опыта в работе с подобными программами.



3. Возможность проведения различных видов анализа схем, что позволяет оценить их работоспособность и производительность.

4. Богатая библиотека компонентов и моделей, включающая стандартные компоненты и элементы от Linear Technology Corporation.

К недостаткам LTspice можно отнести:

1. Ограниченный набор библиотек элементов, что может потребовать расширения пользовательских возможностей.

2. Не всегда интуитивный интерфейс, требующий времени для освоения и понимания всех функциональных возможностей.

3. Требовательность к ресурсам компьютера, особенно при работе с большими и сложными схемами.

### 1.5.3 EasyEDA

В онлайн сервисе EasyEDA [15] предоставлен полный комплекс инструментов для проектирования электронных устройств: от редактора электрических схем до spice-симулятора и редактора печатных плат.

EasyEDA идеально подходит для создания электроники различной сложности и предназначен для широкого круга пользователей – от инженеров до студентов и радиолюбителей.

На рисунке 1.15 представлен внешний вид интерфейса программы EasyEDA [15].

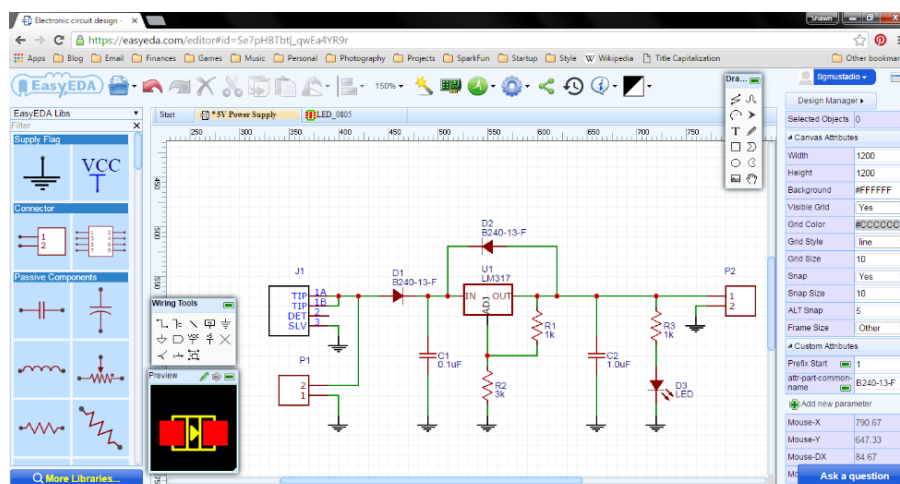


Рисунок 1.15 – Пример интерфейса EasyEDA

Этот веб-сервис позволяет импортировать файлы из популярных САПР, таких как LTSpice, Eagle, Kicad и Altium Designer. Редактор электрических схем обеспечивает возможность создания новых проектов с использованием разнообразных инструментов и библиотек. Здесь можно редактировать как отдельные компоненты, так и создавать иерархические схемы и SPICE-модели.

Spice-симулятор включает разнообразные анализы для аналоговых, цифровых и смешанных цепей, а его гибкие настройки позволяют получить

полный контроль над отображением результатов. Редактор печатных плат обеспечивает создание макетов на основе схем, с инструментами для размещения компонентов, прокладки дорожек и проверки правил дизайна. EasyEDA также поддерживает экспорт в различные форматы для дальнейшей обработки и производства печатных плат.

## 1.6 Обзор сред разработки

Область разработки программного обеспечения на сегодняшний день является чрезвычайно разнообразной и динамичной. Среды разработки (IDE) играют ключевую роль в процессе создания программного кода для широкого спектра приложений – от мобильных приложений и веб-сайтов до встраиваемых систем и микроконтроллеров. В данном обзоре будут рассмотрены некоторые из основных сред разработки, которые используются для написания программного кода для микроконтроллеров Arduino, популярной платформы для разработки электронных устройств.

### 1.6.1 Arduino IDE

Arduino IDE [20] – это среда разработки, предназначенная для создания и редактирования программного кода для плат, на базе таких микроконтроллеров как: ATmega328, ATmega32U4, ATmega2560, AT91SAM3X8E, SAMD21, ESP8266, Intel x86, ATtiny85, STM32 и других.

На рисунке 1.16 представлен внешний вид интерфейса программы Arduino IDE.



Рисунок 1.16 – Пример интерфейса Arduino IDE

Приложение Arduino IDE завоевало популярность среди многих пользователей благодаря своей простоте, удобству и богатому набору готовых библиотек и поддерживаемых микроконтроллеров, список которых постоянно растет.

С помощью Arduino IDE создают скетчи как для простых мигалок, таймеров и переключателей нагрузок, так и для систем умного дома, станков с ЧПУ и квадрокоптеров.

В программировании используется упрощенная версия языка C++, что обеспечивает легкость и простоту в освоении для начинающих программистов электронщиков.

### 1.6.2 PlatformIO

PlatformIO [21] – это интегрированная среда разработки (IDE) и экосистема для разработки встраиваемых систем, включая микроконтроллеры Arduino, ESP8266, ESP32, STM32 и многие другие. Эта платформа предоставляет разработчикам удобные инструменты для написания, отладки и загрузки кода на различные микроконтроллеры, а также управления зависимостями проекта, установкой библиотек и многое другое.

Одной из главных особенностей PlatformIO является его мультиплатформенность. Он поддерживает работу на различных операционных системах, включая Windows, macOS и Linux, что делает его доступным для широкого круга разработчиков. Кроме того, PlatformIO интегрируется с такими популярными средами разработки, как Visual Studio Code, Atom и Eclipse, что обеспечивает удобный и привычный интерфейс для работы.

На рисунке 1.17 представлен внешний вид интерфейса программы PlatformIO.

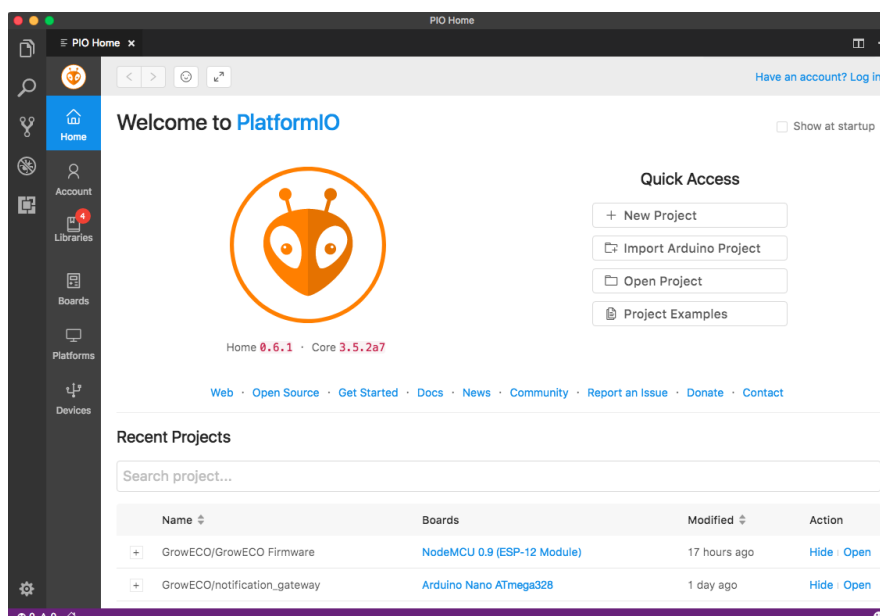


Рисунок 1.17 – Пример интерфейса PlatformIO

Среда разработки PlatformIO обладает богатым функционалом. Она предоставляет интуитивно понятный пользовательский интерфейс, который включает в себя редактор кода с подсветкой синтаксиса, автодополнением и

другими удобными функциями. Кроме того, PlatformIO поддерживает интегрированный менеджер библиотек, который позволяет легко управлять зависимостями проекта и устанавливать необходимые библиотеки из официального репозитория или из пользовательских источников.

Еще одним важным аспектом PlatformIO является его интеграция с системами контроля версий, такими как Git. Это позволяет разработчикам легко отслеживать изменения в своих проектах, создавать резервные копии и сотрудничать над кодом с другими участниками команды.

PlatformIO также обладает мощными возможностями по отладке кода. Он поддерживает различные отладочные интерфейсы и позволяет проводить отладку как на уровне аппаратуры, так и на уровне программного кода, что делает процесс разработки более эффективным и продуктивным.

Кроме того, PlatformIO предоставляет широкий набор инструментов для автоматизации процесса сборки, тестирования и развертывания проектов, что позволяет разработчикам сосредоточиться на написании качественного кода и создании инновационных устройств.

## **1.7 Подведение итогов**

Исходя из представленной информации, в контексте дипломного проекта предполагается использовать:

- Nano V3.0 (CH340) в качестве платы микроконтроллера;
- язык программирования C для написания основного кода программы;
- платформу EasyEDA для моделирования схем и проектирования печатной платы;
- среду разработки Arduino IDE для написания и отладки кода.

## **2 СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

Изучив предметную область данного дипломного проекта, были выявлены основные требования, которые необходимо учесть при его реализации. Для упрощения процесса разработки было решено разбить систему на отдельные структурные блоки.

### **2.1 Описание основных аппаратных блоков устройства**

В результате разделения комплекса для управления теплицей были определены следующие аппаратные блоки:

- блок контроллера теплицы;
- блок беспроводной связи;
- блок управления контроллером;
- блок отображения информации;
- блок регулировки вентиляции;
- блок управления доступом в теплицу;
- блок реле;
- блок системы орошения;
- блок искусственного освещения;
- блок определения уровня воды;
- блок определения интенсивности освещения;
- блок определения влажности почвы;
- блок определения температуры и влажности воздуха;
- блок идентификации дождя;
- блок питания.

На чертеже ГУИР.400201.005 Э1 представлена структурная схема, наглядно демонстрирующая блоки и взаимосвязи между ними.

#### **2.1.1 Блок контроллера теплицы**

Блок контроллера теплицы – это основной блок разрабатываемого комплекса, отвечающий за управление всей системой, и выполняет следующий ряд задач:

1. Получение, обработка и передача данных, поступающих с блока беспроводной связи.
2. Получение и обработка данных.
3. Передача управляющих сигналов на блок реле.
4. Передача обработанных данных на блок отображения информации.
5. Передача управляющих сигналов на блок управления доступом в теплицу.
6. Передача управляющих сигналов на блок регулировки вентиляции.
7. Сбор и обработка данных, поступающих с блока определения влажности почвы.
8. Сбор и обработка данных, поступающих с блока определения

температуры и влажности воздуха.

9. Сбор и обработка данных, поступающих с блока идентификации дождя.

10. Сбор и обработка данных, поступающих с блока определения интенсивности освещенности.

11. Сбор и обработка данных, поступающих с блока определения уровня воды.

Таким образом, блок контроллера теплицы выполняет последовательный сбор данных с датчиков микроклимата, обрабатывает их и отправляет управляющие сигналы на конечные устройства в зависимости от полученных показаний.

### **2.1.2 Блок беспроводной связи**

Блок беспроводной связи тесно связан с блоком контроллера теплицы, обеспечивая передачу данных и команд между ними. При поступлении запросов от клиентских устройств через интерфейс беспроводной связи, этот блок принимает команды и данные, а затем передает их на обработку блоку контроллера теплицы.

Задачей блока беспроводной связи является эффективная передача информации от клиентов к контроллеру теплицы и наоборот. Это позволяет пользователям отправлять команды на управление различными аспектами тепличной системы, такими как включение/выключение устройств, регулировка параметров микроклимата и другие операции, которые должны быть выполнены контроллером.

Таким образом, благодаря блоку беспроводной связи, пользователи могут взаимодействовать с системой управления теплицей удаленно, отправляя команды и получая обратную связь о состоянии системы, что делает процесс управления более гибким и удобным.

### **2.1.3 Блок управления контроллером**

Блок управления контроллером теплицы является важным компонентом системы, тесно интегрированным с блоком контроллера теплицы. Этот модуль обеспечивает интерфейс для пользователя, позволяя ему взаимодействовать с устройством и управлять различными функциями с помощью меню.

Центральным элементом блока управления контроллером является энкодер, который представляет собой специальное устройство ввода, позволяющее пользователю прокручивать и выбирать пункты меню. При вращении энкодера пользователь может переключаться между различными опциями на экране, а нажатие на него позволяет подтверждать выбор или вводить данные.

Функциональность блока управления контроллером включает в себя:

1. Навигацию по меню: пользователь может перемещаться по различным пунктам меню, выбирая необходимые опции.



2. Выбор параметров: энкодер позволяет пользователю выбирать и настраивать различные параметры системы, такие как температурные пороги, режимы освещения и другие.

3. Подтверждение действий: нажатие на кнопку энкодера подтверждает выбор пользователя или вводит измененные параметры в систему.

4. Взаимодействие с дисплеем: блок управления контроллером обеспечивает визуальное отображение меню и выбранных опций на LCD дисплее, что делает процесс управления более интуитивно понятным.

Таким образом, блок управления контроллером предоставляет пользователю удобный и эффективный способ взаимодействия с системой управления теплицей, обеспечивая простоту использования и гибкость в настройке различных параметров.

### **2.1.4 Блок отображения информации**

Блок отображения информации играет ключевую роль в системе управления теплицей, взаимодействуя с блоком контроллера теплицы и предоставляя пользователю информацию о состоянии системы. Этот блок ответственен за визуализацию данных, полученных от датчиков микроклимата, а также отображение состояния конечных устройств, таких как сервоприводы, водяную помпу и другие.

Функциональность блока отображения информации включает в себя:

1. Отображение показаний датчиков: благодаря связи с блоком контроллера теплицы, этот блок отображает текущие значения температуры, влажности воздуха и почвы, уровня воды и других параметров, измеряемых датчиками.

2. Представление состояния устройств: блок отображения информации также показывает пользователю состояние конечных устройств, таких как реле, электроприводы и сервоприводы, указывая, включены они или выключены, отображая текущий режим работы.

3. Визуализация меню: блок отображения информации предоставляет пользователю доступ к меню управления, позволяя просматривать и выбирать различные опции и параметры системы.

4. Интерактивность: благодаря LCD дисплею и кнопкам управления, блок отображения информации обеспечивает возможность взаимодействия с системой управления теплицей, позволяя пользователю просматривать данные и настраивать параметры непосредственно на устройстве.

Таким образом, блок отображения информации предоставляет пользователю удобный и интуитивно понятный интерфейс для мониторинга и управления всеми аспектами процесса выращивания растений.

### **2.1.5 Блок регулировки вентиляции**

Блок регулировки вентиляции играет важную роль в обеспечении оптимальных условий в теплице, контролируя приток и отток воздуха. Этот

блок тесно взаимодействует с блоком контроллера теплицы и состоит из сервоприводов, которые отвечают за открытие и закрытие заслонок для вентиляции.

Функциональность блока регулировки вентиляции включает следующее:

1. Управление заслонками: благодаря сервоприводам, этот блок контролирует положение заслонок, регулируя приток и отток воздуха в теплице.

2. Автоматическое регулирование: блок регулировки вентиляции интегрирован в систему автоматического управления, чтобы реагировать на изменения в микроклимате и подстраивать работу заслонок в соответствии с заданными параметрами.

3. Ручное управление: при необходимости пользователь может также вручную регулировать положение заслонок через интерфейс блока контроллера теплицы или через блок беспроводной связи с помощью предоставленного API.

Таким образом, блок регулировки вентиляции обеспечивает эффективное управление воздушным режимом в теплице.

### **2.1.6 Блок управления доступом в теплицу**

Блок управления доступом в теплицу играет ключевую роль в обеспечении безопасности и контроля доступа к тепличным помещениям. Этот блок тесно связан с блоком контроллера теплицы и включает в себя электропривод и драйвер, которые отвечают за открытие и закрытие двери в теплице.

Основные функции блока управления доступом включают:

1. Открытие и закрытие двери: благодаря электроприводу и соответствующему драйверу, этот блок способен управлять механизмом открытия и закрытия двери в теплице.

2. Управление доступом: блок управления доступом интегрирован в систему контроля доступа, позволяя автоматически управлять доступом в теплицу в зависимости от различных параметров, таких как время суток, температура и влажность воздуха.

3. Ручное управление: помимо автоматического режима, пользователь может также вручную управлять открытием и закрытием двери через интерфейс блока контроллера теплицы.

Таким образом, блок управления доступом в теплицу обеспечивает эффективное управление доступом к тепличным помещениям, повышая безопасность.

### **2.1.7 Блок реле**

Блок реле является важной частью программно-аппаратного комплекса для управления теплицей и обеспечивает управление различными конечными

устройствами, такими как LED лента в блоке освещения и водяная помпа в блоке орошения. Этот блок тесно связан с блоком контроллера теплицы, от которого поступают управляющие сигналы на включение и выключение этих конечных устройств.

Основные функции блока реле включают:

1. Управление освещением: блок реле контролирует включение и выключение LED ленты в блоке освещения в зависимости от полученных команд от контроллера теплицы. Это позволяет автоматизировать процесс управления освещением в теплице и оптимизировать его использование.

2. Управление орошением: блок реле также управляет включением и выключением водяной помпы в блоке орошения на основе команд от контроллера теплицы. Это позволяет автоматически поддерживать оптимальный уровень влажности почвы в теплице и обеспечивать регулярное орошение растений.

Таким образом, блок реле играет важную роль в управлении основными функциями теплицы, обеспечивая автоматическое управление освещением и орошением в соответствии с установленными параметрами и потребностями растений.

### **2.1.8 Блок системы орошения**

Блок системы орошения обеспечивает оптимальный уровень влажности почвы в теплице. Он состоит из водяной помпы, которая отвечает за подачу воды на почву для орошения растений. Этот блок тесно связан с блоком реле, который управляет включением или выключением водяной помпы в зависимости от команд, поступающих от блока контроллера теплицы.

Блок системы орошения получает команды от блока реле и включает или выключает водяную помпу в соответствии с установленными параметрами и расписанием орошения. Такая автоматизация позволяет оптимизировать использование воды и обеспечить регулярное орошение растений без необходимости постоянного контроля.

Важной функцией блока системы орошения является также контроль за уровнем влажности почвы. При достижении определенного уровня влажности система орошения может автоматически отключаться, чтобы избежать переувлажнения почвы, что может привести к гниению корней и другим проблемам.

Таким образом, блок системы орошения обеспечивает эффективное управление процессом орошения в теплице, обеспечивая растения необходимым уровнем влажности почвы для их здоровья и роста.

### **2.1.9 Блок искусственного освещения**

Блок искусственного освещения играет важную роль в обеспечении необходимого уровня освещенности для растений в теплице. Он состоит из LED ленты, которая используется для создания искусственного света,

необходимого для фотосинтеза и здорового роста растений. Этот блок тесно связан с блоком реле, который управляет включением или выключением LED ленты в соответствии с командами, поступающими от блока контроллера теплицы.

Основные функции блока искусственного освещения включают:

1. Поддержание оптимального уровня освещенности: LED лента используется для обеспечения растений необходимым количеством света для фотосинтеза. Она может включаться на определенные временные промежутки или по запросу с помощью блока контроллера теплицы.

2. Энергосбережение: блок реле, управляющий LED лентой, может эффективно контролировать использование энергии, включая и выключая освещение в соответствии с расписанием или условиями окружающей среды. Это помогает сократить энергопотребление и снизить затраты на электроэнергию.

Таким образом, блок искусственного освещения обеспечивает надлежащее освещение для растений в теплице, создавая оптимальные условия для их роста и развития вне зависимости от времени суток и погодных условий.

### **2.1.10 Блок определения уровня воды**

Блок определения уровня воды играет ключевую роль в обеспечении оптимального уровня воды в резервуаре теплицы. Этот блок состоит из датчика уровня воды, который устанавливается в резервуаре для хранения воды.

Основная функция датчика уровня воды – непрерывный мониторинг уровня воды в резервуаре. Как только уровень воды достигает определенного значения, датчик передает соответствующий сигнал блоку контроллера теплицы. Блок контроллера теплицы, в свою очередь, анализирует этот сигнал и принимает решение о включении или выключении водяной помпы для орошения растений в зависимости от текущего уровня воды.

Важно отметить, что блок определения уровня воды обеспечивает эффективное использование водных ресурсов и предотвращает переливы или недостаток воды в системе орошения. Это помогает поддерживать оптимальные условия для роста растений и предотвращает возможные повреждения, связанные с недостаточным или избыточным орошением.

Таким образом, блок определения уровня воды играет важную роль в автоматизации процесса орошения растений в теплице, обеспечивая точное и эффективное управление уровнем воды.

### **2.1.11 Блок определения интенсивности освещения**

Блок определения интенсивности освещения поддерживает оптимальные условия освещения для растений в теплице. Этот блок состоит из датчика интенсивности освещения, который устанавливается внутри

теплицы и непрерывно мониторит уровень освещенности в окружающей среде.

Датчик интенсивности освещения регистрирует количество света, падающего на поверхность, и преобразует это значение в электрический сигнал. Полученный сигнал передается блоку контроллера теплицы, который анализирует данные и принимает решение о необходимости включения или выключения искусственного освещения в теплице.

Основная функция блока определения интенсивности освещения заключается в поддержании оптимального уровня освещенности для растений в зависимости от времени суток и погодных условий. При недостаточном естественном освещении, активируется искусственное освещение, обеспечивая растениям необходимое количество света для фотосинтеза и здорового роста. В то же время, при достаточной интенсивности естественного света, искусственное освещение автоматически отключается, что помогает экономить электроэнергию и оптимизировать ресурсы.

Таким образом, блок определения интенсивности освещения обеспечивает необходимое освещение в соответствии с их биологическими потребностями и внешними условиями окружающей среды.

### **2.1.12 Блок определения влажности почвы**

Блок определения влажности почвы поддерживает оптимальный уровень влажности для растений в теплице. Этот блок состоит из датчика влажности почвы, который устанавливается в грунте рядом с корнями растений и постоянно мониторит уровень влажности в почве.

Датчик влажности почвы измеряет влагосодержание в грунте и преобразует полученные данные в электрический сигнал. Этот сигнал передается блоку контроллера теплицы, который анализирует информацию и принимает решение о необходимости включения или выключения водяной помпы для подачи дополнительной влаги в почву.

Основная функция блока определения влажности почвы заключается в поддержании оптимального уровня влажности для растений. При слишком сухой почве, активируется водяная помпа, которая увлажняет грунт, обеспечивая растениям достаточное количество воды для нормального роста и развития. В случае, если уровень влажности в почве достигает оптимальных значений или превышает их, водяная помпа автоматически отключается, что помогает предотвратить переувлажнение и повреждение корневой системы растений.

Таким образом, блок определения влажности почвы играет важную роль в обеспечении здоровья и процветания растений в теплице.

### **2.1.13 Блок определения температуры и влажности воздуха**

Блок определения температуры и влажности воздуха является ключевым компонентом системы контроля климата в теплице. Он включает в себя

высокоточный датчик, способный измерять температуру и влажность воздуха внутри теплицы.

Этот блок тесно взаимодействует с контроллером теплицы, предоставляя ему актуальные данные о текущих климатических условиях в помещении. Данные о температуре и влажности, собранные датчиком, передаются контроллеру для анализа.

На основании этих данных контроллер принимает решения о регулировке условий внутри теплицы. Например, если температура становится слишком высокой, контроллер автоматически открывает заслонки и двери для проветривания помещения.

Таким образом, блок определения температуры и влажности воздуха играет решающую роль в обеспечении комфортных условий для роста и развития растений в тепличном помещении, обеспечивая им необходимую теплоту и влажность.

#### **2.1.14 Блок идентификации дождя**

Блок идентификации дождя играет важную роль в системе управления теплицей, обеспечивая защиту растений от нежелательных воздействий погодных условий. Этот блок включает в себя специализированный датчик дождя, который непрерывно мониторит окружающую среду на предмет наличия осадков.

Сигналы, полученные от датчика дождя, передаются блоку контроллера теплицы. Используя эти данные, контроллер принимает решения о дальнейших действиях в зависимости от текущих погодных условий. Например, если датчик обнаруживает дождь, контроллер автоматически закрывает двери и заслонки теплицы, чтобы защитить растения от избыточной влажности и холода.

Благодаря такой автоматизации система управления теплицей обеспечивает надежную защиту растений от дождевых осадков, предотвращая негативные последствия избыточной влажности и холода для их здоровья и роста. Это позволяет создать оптимальные условия внутри теплицы, поддерживая благоприятную среду для культивирования растений и повышая эффективность производства.

#### **2.1.15 Блок питания**

Блок питания обеспечивает необходимое электропитание для всех компонентов системы. В данной системе применяются три блока питания: два на 5 В и один на 12 В.

Первый блок питания на 5 В используется для обеспечения энергией микроконтроллера, который является центральным узлом управления всей системой. Этот блок обеспечивает стабильное напряжение, необходимое для работы микроконтроллера и его периферийных устройств.

Второй блок питания также предоставляет напряжение 5 В и

используется для питания реле, драйвера и сервоприводов.

Третий блок питания на 12 В предназначен для электропривода, водяной помпы и LED ленты. Этот блок обеспечивает более высокое напряжение, необходимое для работы устройств, требующих большей мощности, таких как электроприводы для управления вентиляцией, водяная помпа для орошения растений и LED лента для искусственного освещения.

Таким образом, блок питания играет ключевую роль в обеспечении энергии для всех компонентов системы, обеспечивая их надежную работу и функциональность.

## **2.2 Описание основных программных блоков устройства**

В результате разделения комплекса для управления теплицей были определены следующие программные блоки:

- блок API и обработки команд;
- блок взаимодействия с веб-интерфейсом;
- блок обновления выходов по данным сенсоров;
- блок считывания данных с сенсоров;
- блок обработки ошибок и логирования;
- блок управления выходами;
- блок работы с временем и часами реального времени;
- блок вспомогательных функций;
- блок настроек и инициализации.

На чертеже ГУИР.400201.005 С1 представлена структурная схема, наглядно демонстрирующая блоки и взаимосвязи между ними.

### **2.2.1 Блок API и обработки команд**

Блок API и обработки команд отвечает за взаимодействие с веб-интерфейсом пользователя и обработку полученных команд. Его основная задача – принимать HTTP-запросы от веб-интерфейса, разбирать их и выполнять соответствующие действия в системе.

При получении запроса блок разбирает его и определяет тип команды (например, управление состоянием выходных устройств, запрос настройки и т. д.). Затем блок взаимодействует с другими блоками системы, передавая им полученные команды или запрашивая необходимые данные для выполнения действий.

После обработки команды блок генерирует ответ, который отправляется обратно веб-интерфейсу, содержащий информацию о выполненной операции или текущем состоянии системы.

Блок API и обработки команд тесно связан с блоком взаимодействия с веб-интерфейсом, через который он получает команды от пользователя, а также с блоком управления выходами, чтобы изменить состояние выходных устройств в соответствии с полученными командами.

## **2.2.2 Блок взаимодействия с веб-интерфейсом**

Блок взаимодействия с веб-интерфейсом – это посредник между пользовательским интерфейсом и основной логикой системы. Его задача – принимать запросы от веб-интерфейса и передавать их на обработку соответствующим частям программы. Он анализирует запросы, определяет необходимые действия и направляет их в соответствующие блоки для выполнения.

После выполнения запроса блок взаимодействия с веб-интерфейсом получает результаты и возвращает их обратно в веб-интерфейс в удобном формате, например, через HTTP-ответы. Этот блок также отвечает за обновление пользовательского интерфейса, отображая текущее состояние системы и реагируя на действия пользователя.

Он тесно взаимодействует с блоком API и обработки команд для передачи команд и получения результатов и с блоком управления выходами для обновления состояния интерфейса в соответствии с текущим состоянием системы.

## **2.2.3 Блок обновления выходов по данным сенсоров**

Блок обновления выходов по данным сенсоров отвечает за мониторинг данных, получаемых от различных датчиков, и обновление состояния выходных устройств в соответствии с этими данными. Его основная задача – обеспечить реакцию системы на изменения окружающей среды и выполнить соответствующие действия для поддержания заданных условий.

Этот блок периодически считывает данные с различных сенсоров, таких как температурные датчики, датчики влажности, датчики освещенности и т. д. Полученные данные анализируются и сравниваются с установленными пороговыми значениями или другими условиями.

После анализа данных блок обновления выходов принимает решение о необходимости изменения состояния выходных устройств, таких как приводы, насосы, освещение и другие. Он взаимодействует с блоком управления выходами, чтобы передать команды на изменение состояния выходных устройств.

Этот блок также связан с блоком считывания данных с сенсоров для получения актуальных данных, блоком работы с временем и часами реального времени, а также с блоком обработки ошибок и логирования для регистрации событий и ошибок в процессе работы.

## **2.2.4 Блок считывания данных с сенсоров**

Блок считывания данных с сенсоров отвечает за получение данных с различных датчиков, установленных в системе. Его основная задача состоит в том, чтобы периодически считывать значения сенсоров, таких как температурные датчики, датчики влажности, датчики освещенности и другие.



При запуске системы или по истечении определенного времени блок считывания данных инициирует процесс считывания значений с сенсоров. После получения данных блок передает их для дальнейшей обработки блоку обновления выходов.

Блок считывания данных тесно связан с блоком обновления выходов, поскольку передает полученные данные для анализа и принятия решений о необходимых действиях для поддержания заданных условий в системе. Также он взаимодействует с блоком работы с временем и часами реального времени.

### **2.2.5 Блок обработки ошибок и логирования**

Блок обработки ошибок и логирования отвечает за отслеживание и обработку ошибок, а также за регистрацию различных событий в системе. Его основная задача состоит в том, чтобы обнаруживать ошибки, возникающие в процессе работы системы, и предпринимать соответствующие действия для их устранения или обработки.

В этом блоке происходит анализ различных условий и событий, которые могут указывать на возникновение проблем в системе. Это может быть отсутствие связи с сенсорами, некорректные значения, превышение пороговых значений и другие. При обнаружении ошибок блок обработки ошибок принимает меры по их устранению или уведомляет другие компоненты системы о возникшей проблеме.

Кроме того, блок обработки ошибок и логирования отвечает за ведение журнала событий, в котором регистрируются различные действия и события в системе. Это позволяет в дальнейшем анализировать работу системы, выявлять проблемы и оптимизировать ее функционирование.

Блок обработки ошибок и логирования тесно связан с другими блоками, такими как блок управления выходами, блок обновления выходов по данным сенсоров. Он получает информацию о возможных проблемах от других компонентов системы и предпринимает соответствующие действия для их обработки. Также взаимодействует с блоком веб-интерфейса для отображения сообщений об ошибках пользователю.

Таким образом, блок обработки ошибок и логирования обеспечивает стабильную и безопасную работу управления теплицей.

### **2.2.6 Блок управления выходами**

Блок управления выходами отвечает за активацию и деактивацию различных устройств в системе, таких как сервоприводы, водяные помпы, освещение и другие. Он получает данные о текущем состоянии окружающей среды от блока считывания данных с сенсоров и основываясь на них, а также на заданных пользователем настройках, принимает решения о необходимости изменения состояния выходов.

Например, если температура в помещении превышает заданный порог, блок управления выходами активирует сервоприводы для открытия

вентиляции. Если уровень влажности почвы опускается ниже определенного уровня, блок включает водяную помпу для полива растений.

Этот блок также ответственен за проверку наличия ошибок и проблем в системе. В случае возникновения ошибок, например, недоступности какого-либо из устройств или некорректных данных с сенсоров, он может принимать соответствующие меры, например, отключать неисправное устройство или уведомлять пользователя о проблеме через блок обработки ошибок и логирования.

Данный блок также связан с блоком взаимодействия с веб-интерфейсом и блоком обновления выходов по данным сенсоров.

### **2.2.7 Блок работы с временем и часами реального времени**

Блок работы с временем и часами реального времени отвечает за отслеживание текущего времени и управление временными параметрами в системе. Его задачи включают в себя получение текущего времени от внешнего источника, обновление внутренних часов и календаря системы, а также предоставление временных данных другим компонентам системы по запросу.

Он использует внешние часы реального времени для получения точного времени и даты, а затем синхронизирует внутренние часы системы с этими данными. Благодаря этому система может выполнять определенные задачи в определенное время, например, включать и выключать устройства по расписанию.

Этот блок также связан с другими компонентами системы, такими как блок обновления выходов по данным сенсоров, блок считывания данных с сенсоров и блок обработки ошибок и логирования. Например, он может определять, когда необходимо запускать определенные процессы, и передавать соответствующие команды блоку управления выходами для выполнения этих задач.

Таким образом, блок работы с временем и часами реального времени является неотъемлемой частью системы управления теплицей, обеспечивая точную синхронизацию времени и эффективное выполнение задач в соответствии с расписанием, что способствует оптимальному функционированию системы и обеспечивает здоровье и рост растений.

### **2.2.8 Блок настроек и инициализации**

Блок настроек и инициализации отвечает за установку начальных параметров системы и их последующую загрузку и сохранение. Он играет важную роль в обеспечении правильной работы всей системы, предоставляя возможность пользователю настраивать различные параметры и конфигурации в соответствии с требованиями и предпочтениями.

В этом блоке происходит инициализация различных аппаратных и программных компонентов системы, таких как дисплей, датчики, механизмы

управления, а также загрузка сохраненных пользовательских настроек из памяти и их применение.

Основные задачи блока включают в себя инициализацию параметров времени, установку портов ввода/вывода для взаимодействия с периферийными устройствами, загрузку настроек из памяти (например, EEPROM) при запуске системы, а также сохранение новых настроек, внесенных пользователем, для последующего использования.

Блок настроек и инициализации тесно связан с другими блоками системы, такими как блоки взаимодействия с веб-интерфейсом, обновления выходов по данным сенсоров и работы с временем. Параметры, установленные в блоке настроек и инициализации, используются в блоках взаимодействия с веб-интерфейсом для отображения пользовательских настроек или в блоке обновления выходов по данным сенсоров для корректного управления выходами в соответствии с предпочтениями пользователя.

Таким образом, блок настроек и инициализации обеспечивает основу для правильной работы всей системы, предоставляя необходимые средства для управления и конфигурирования системы в соответствии с требованиями пользователей и условиями окружающей среды.

### **3 ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

В данном разделе будет проведено подробное описание функциональной составляющей программно-аппаратного комплекса для управления теплицей на основе беспроводной технологии. Будут рассмотрены основные блоки системы, их функциональное назначение и взаимосвязи. Особое внимание уделено протоколам связи, используемым в системе, таким как UART, I2C, PWM и Wi-Fi. Для каждого протокола представлено описание его назначения, принципа работы, характеристики и преимущества использования в данном контексте. Кроме того, будут рассмотрены другие важные аспекты функционального проектирования, такие как алгоритмы управления, обработки данных и взаимодействия между компонентами системы. В конце раздела будет представлено обобщенное описание функциональной архитектуры системы, подчеркивающее важность каждого блока и их роли в обеспечении работы программно-аппаратного комплекса для управления теплицей.

#### **3.1 Протоколы и интерфейсы**

В данном подразделе будет рассмотрено использование различных протоколов связи и интерфейсов, необходимых для взаимодействия между различными компонентами программно-аппаратного комплекса управления теплицей. Подробно описаны основные протоколы связи, такие как UART, I2C, PWM и Wi-Fi, используемые для передачи данных между микроконтроллерами, сенсорами, исполнительными устройствами и другими периферийными устройствами. Каждый протокол будет рассмотрен с точки зрения его назначения, особенностей работы, преимуществ и ограничений. Также будут описаны интерфейсы взаимодействия между программными и аппаратными компонентами системы, включая методы обмена данными, форматы сообщений и процедуры их обработки. Особое внимание будет уделено выбору наиболее подходящих протоколов и интерфейсов для обеспечения эффективной и надежной работы системы управления теплицей.

##### **3.1.1 Интерфейс UART**

Универсальный асинхронный приемопередатчик (UART) [22] – один из наиболее распространенных интерфейсов для передачи данных между электронными устройствами. Почти все микроконтроллеры включают в себя встроенный модуль UART, включая плату Arduino, основанную на микроконтроллере ATmega328.

UART применяется во множестве сценариев, включая следующие:

- подключение Arduino к персональному компьютеру через UART с последующим использованием USB-UART моста;
- работа с Bluetooth и другими радиомодулями, которые также часто используют UART;

– соединение двух контроллеров между собой через UART.

Передача данных через интерфейс UART происходит по двум проводам, где каждое устройство, участвующее в обмене информацией, подключается к противоположным концам этих проводов.

На рисунке 3.1 представлено подключение к интерфейсу UART [22].

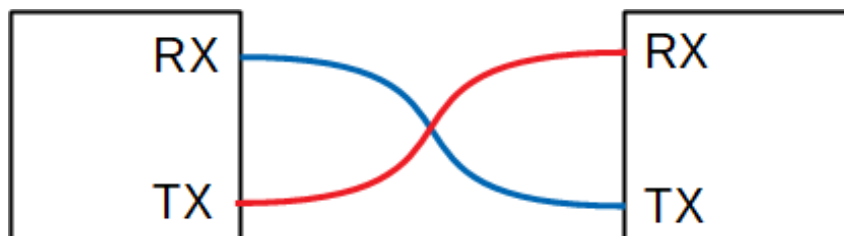


Рисунок 3.1 – Подключение к UART

Интерфейс UART, где RX обозначает «приемник» (от англ. «receiver»), а TX – «передатчик» (от англ. «transceiver»), представляет собой стандартный способ передачи данных между устройствами. UART может работать в двух режимах: полудуплексном, где возможен только прием или только передача, и полнодуплексном, в котором линии приема и передачи отделены друг от друга.

Микроконтроллер ATmega328 оснащен встроенным UART-модулем, который связан с контактами D0 и D1. Контакт D0 предназначен для приема данных (RX), а D1 – для их передачи (TX).

Протокол UART описывает передачу данных в последовательном формате, где каждый бит отправляется в заданные временные интервалы. Скорость передачи данных измеряется в бодах, указывая количество бит, передаваемых в секунду. Кроме самих данных, интерфейс UART включает в себя стартовый и стоповый биты, что увеличивает количество передаваемых битов до 10 для каждого передаваемого байта. Отклонение временных интервалов передачи битов должно быть минимальным, рекомендуемое производителями микроконтроллеров значение не должно превышать 1,5%.

На рисунке 3.2 представлен формат передаваемого байта по UART [23].

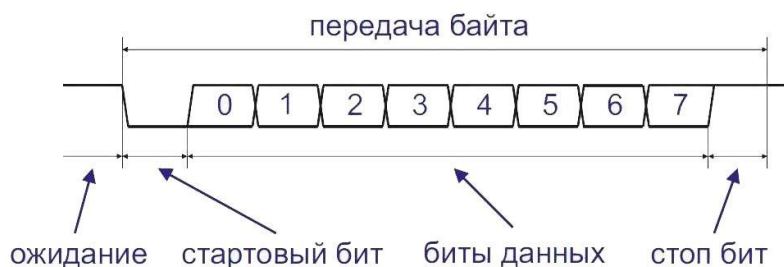


Рисунок 3.2 – Формат передаваемого байта по UART

Существуют различные вариации протокола UART с разным количеством битов данных, битов синхронизации и опциональными битами

контроля четности. Однако наиболее распространенный формат использует 10 бит для передачи каждого байта информации. Важно помнить следующее:

- в неактивном режиме выход UART находится в высоком состоянии;
- передача байта начинается с отправки стартового бита, который имеет низкий уровень сигнала;
- передача байта завершается отправкой стопового бита, который имеет высокий уровень сигнала;
- данные передаются по порядку от младшего бита к старшему;
- для передачи одного байта необходимо 10 битов, включая стартовый, стоповый и 8 бит данных;
- время передачи одного байта зависит от скорости передачи и общего количества битов (10).

В таблице 3.1 представлены скорости, которые обычно применяются для интерфейса UART [24].

Таблица 3.1 – Скорости передачи интерфейса UART

Скорость передачи, бод	Время передачи одного бита, мкс	Время передачи байта, мкс
4800	208	2083
9600	104	1042
19200	52	521
38400	26	260
57600	17	174
115200	8,7	87

Для управления обменом данными через UART в Arduino используется встроенный класс `Serial`. Важно понимать различия в форматах передаваемых данных.

Встроенный класс `Serial` не требует поиска и подключения дополнительной библиотеки. Для использования UART достаточно в методе `setup()` разрешить работу порта и установить скорость передачи данных, как показано ниже:

```
void setup() {  
    Serial.begin(9600);  
}
```

В классе `Serial` данные могут передаваться в двух основных форматах: как бинарный код и как ASCII символы. Например, монитор последовательного порта в Arduino IDE принимает данные в формате ASCII текста.

Таким образом, основные характеристики протокола UART были рассмотрены в подробностях, включая формат передаваемых данных, структуру байта, временные характеристики передачи, а также использование UART в Arduino.

### 3.1.2 Интерфейс I2C

Интерфейс I2C [26], также известный как ЦС, представляет собой распространенный и широко используемый метод последовательной передачи данных. Он работает в полудуплексном режиме и использует два провода для связи. Этот интерфейс был разработан компанией Philips более 30 лет назад и с тех пор стал популярным благодаря скорости передачи данных, которая обычно достигает 100 кбит/с, а в некоторых современных микросхемах может достигать 400 кбит/с. Он также привлекателен своей доступностью и простотой реализации. Важно отметить, что основное предназначение этого интерфейса – передача данных между контроллером и периферийными устройствами внутри одного устройства, что делает его идеальным для внутренних связей в электронных системах.

Для передачи данных используются лишь две линии:

1. SDA – для передачи данных.
2. SCL – для синхронизации передачи.

Отличается от UART более высокой скоростью надежной передачи данных и стабильной передачей на высокой скорости. Благодаря своей архитектуре, I2C позволяет подключать до 127 устройств к одной шине, состоящей из двух проводов SDA (данные) и SCL (такты импульсы), без использования дополнительного оборудования, за исключением двух подтягивающих резисторов.

На рисунке 3.3 представлено подключение устройств к I2C [27].

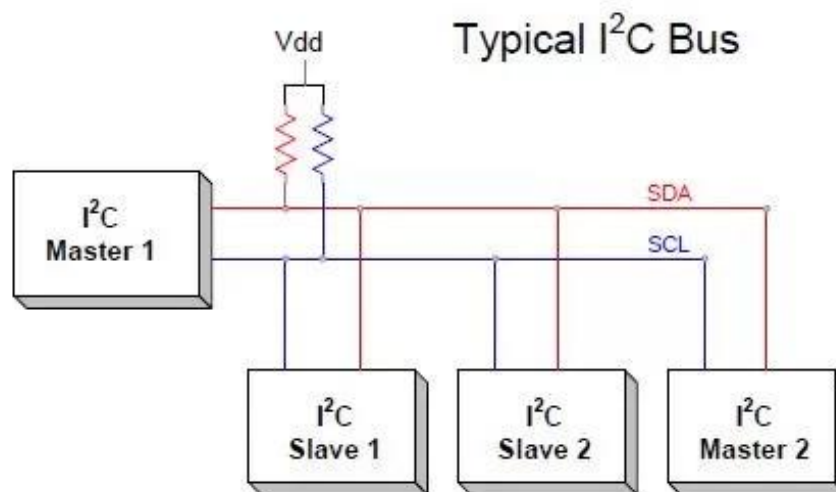


Рисунок 3.3 – Подключение устройств к I2C

Каждое устройство на шине определяется как ведущее или ведомое и имеет свой уникальный адрес в пределах этой шины.

Ведущее устройство (Master) – это устройство, которое инициирует передачу данных, контролирует сигналы синхронизации и завершает передачу информации. Оно может отправлять данные или запрашивать их.

Ведомое устройство (Slave) – это любое адресуемое устройство на шине,

подчиненное мастеру. Оно может принимать данные или передавать их по запросу мастера.

Передачик – это устройство, которое активно отправляет данные по шине связи.

Приемник – это устройство, которое активно принимает данные с шины связи.

Каждый цикл обмена данных инициируется мастер-устройством отправкой стартового сигнала S. Этот сигнал, иногда называемый стартовым битом, стартовым условием или командой, представляет собой изменение уровня на линии SDA с высокого на низкий, при условии, что на линии SCL уровень остается высоким. Стоп-сигнал P, обозначающий завершение сеанса связи, представляет собой противоположное изменение уровня на линии SDA, с низкого на высокий, при высоком уровне на линии SCL. Весь обмен данными между этими событиями называется «сообщением» и представляет собой фактическую передачу данных. Следует обратить внимание, что изменение уровней на линии SDA во время передачи данных всегда должно происходить только при низком уровне на линии SCL [25].

На рисунке 3.4 представлен цикл обмена данными по I2C [27].



Рисунок 3.4 – Цикл обмена данными по I2C

После отправки «старт-сигнала» мастер-устройство должно первым делом определиться с тем, какому устройству оно адресует свой запрос и указать, что именно требуется сделать: передать данные в устройство или прочесть их из него. Для этого мастер передает на шину 7-битный адрес ведомого устройства, с которым он намерен взаимодействовать, а также один бит, указывающий направление передачи данных: 0, если данные идут от мастера к ведомому устройству, или 1, если от ведомого устройства к мастеру. Первый байт, посланный сразу после «старт-сигнала», всегда рассматривается как команда адресации всеми устройствами на шине.

После этого все устройства-ведомые на шине проверяют запрошенный адрес собственного. Если адрес совпадает, устройство отвечает, отправив один бит подтверждения ACK, что означает «я здесь, все в порядке». Ответ должно дать только запрошенное устройство. Если бит ACK не возвращается, мастер-устройство понимает, что запрашиваемое устройство отсутствует на шине или «не отвечает».



Существует также бит отсутствия подтверждения NACK, который может сигнализировать о занятости устройства (например, проводится измерение), о желании получателя завершить передачу или о том, что команда, отправленная мастером, не была выполнена по какой-то причине.

На рисунке 3.5 представлен формат данных на шине I2C [27].



Рисунок 3.5 – Формат данных на шине I2C

После получения подтверждения мастер-устройство начинает передачу данных в виде кадра из 8 бит (1 байт). Это происходит, если планировалась передача данных от мастера к ведомому устройству. Если же мастер ждет данных, то сразу после отправки первого бита ASC (адресации) он ожидает первый кадр данных от ведомого устройства без каких-либо задержек. В ответ принимающее устройство должно отправить бит ASC в качестве подтверждения приема кадра. Затем следует передача следующего байта/кадра и так далее. По завершении сеанса связи вместо ASC отправляется NACK.

Когда все данные успешно переданы, мастер отправляет «стоп-сигнал» для завершения сеанса.

На плате Arduino Nano V3.0, используемой в данном проекте, есть определенные пины, которые на аппаратном уровне поддерживают интерфейс I2C. Это пины A4 (для SDA) и A5 (для SCL).

Взаимодействия с интерфейсом I2C в среде Arduino осуществляется через стандартную библиотеку Wire, предоставляющей класс с таким же названием. Далее рассмотрены некоторые основные функции.

`.begin(address)` – инициализация класса и подключение к шине. Если адрес не указан, то устройство работает как мастер, а если указан, то это адрес ведомого.

`.available()` – возвращает количество принятых байтов, доступных для чтения.

`.read()` – возвращает следующий принятый байт.

`.write()` – передача байта или последовательности байт, в зависимости от параметров.

Далее представлены функции только для мастера.

`.beginTransaction(address)` – начало передачи данных ведомому устройству с указанным адресом.

`.endTransmission()` – завершение передачи данных ведомому устройству.

Ниже показаны две функции только для ведомого устройства.

`.onReceive(foo)` – устанавливает функцию обратного вызова, которая срабатывает при получении данных от мастера.

`.onRequest(foo)` – устанавливает функцию обратного вызова, которая срабатывает при запросе на отправку данных мастеру.

Из этого списка функций видно, что работа с протоколом как мастера, так и ведомого устройства существенно различается. У мастера все действия осуществляются по команде, когда это требуется, в то время как у ведомого прием и передача данных происходят автоматически при обращении от мастера. Для приема данных ведомое устройство должно быть настроено на вызов определенной функции, а для отправки данных должны быть заранее подготовлены. Ведущее устройство не может инициировать передачу данных самостоятельно; если мастеру требуется постоянное обновление данных, он должен периодически отправлять запросы соответствующему устройству. Такая организация работы имеет свои преимущества и недостатки.

### 3.1.3 Широтно-импульсная модуляция

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ), или Pulse-Width Modulation (PWM) – это метод управления мощностью, применяемый для изменения выходной мощности к нагрузке. Она основана на изменении длительности импульсов при постоянной частоте их появления. Существуют различные типы ШИМ, такие как аналоговая, цифровая, двоичная и троичная, каждая из которых используется в различных сферах и имеет свои особенности.

Основной целью применения ШИМ является увеличение КПД. В этой технологии ключевыми компонентами являются транзисторы или другие полупроводниковые устройства, которые работают в режиме ключа, а не в линейном режиме. Это означает, что транзисторы либо полностью открыты (включены), либо полностью закрыты (выключены). Когда транзистор открыт, он имеет очень высокое сопротивление, что ограничивает ток в цепи и снижает мощность, выделяемую на нем. Когда транзистор закрыт, его сопротивление крайне низкое, что минимизирует падение напряжения на нем и выделяемую мощность. Во время переходных состояний, когда ключ переключается между включенным и выключенным состояниями, происходит значительное выделение мощности, но так как эти переходы очень коротки по сравнению с периодом переключения, средняя мощность потерь на переключение остается незначительной.

ШИМ (широтно-импульсная модуляция) имеет несколько важных характеристик, включая амплитуду, частоту и скважность. Амплитуда определяется в зависимости от требуемого напряжения нагрузки. Частота ШИМ выбирается с учетом нескольких факторов: чем выше частота, тем точнее регулирование, однако ее необходимо выбирать так, чтобы не было заметных пульсаций регулируемого параметра, иначе возникнут проблемы. Повышение частоты также приводит к увеличению коммутационных потерь, поэтому важно использовать быстродействующие элементы. Для управления

электродвигателем частота ШИМ должна быть выше слышимого для человека диапазона (25 кГц и выше), чтобы избежать неприятного свиста. Скважность, или коэффициент заполнения, характеризует величину модуляции. Обычно удобнее выражать коэффициент заполнения в процентах, где он равен отношению длительности импульса к периоду.

На рисунке 3.6 представлена диаграмма ШИМ сигнала [28].

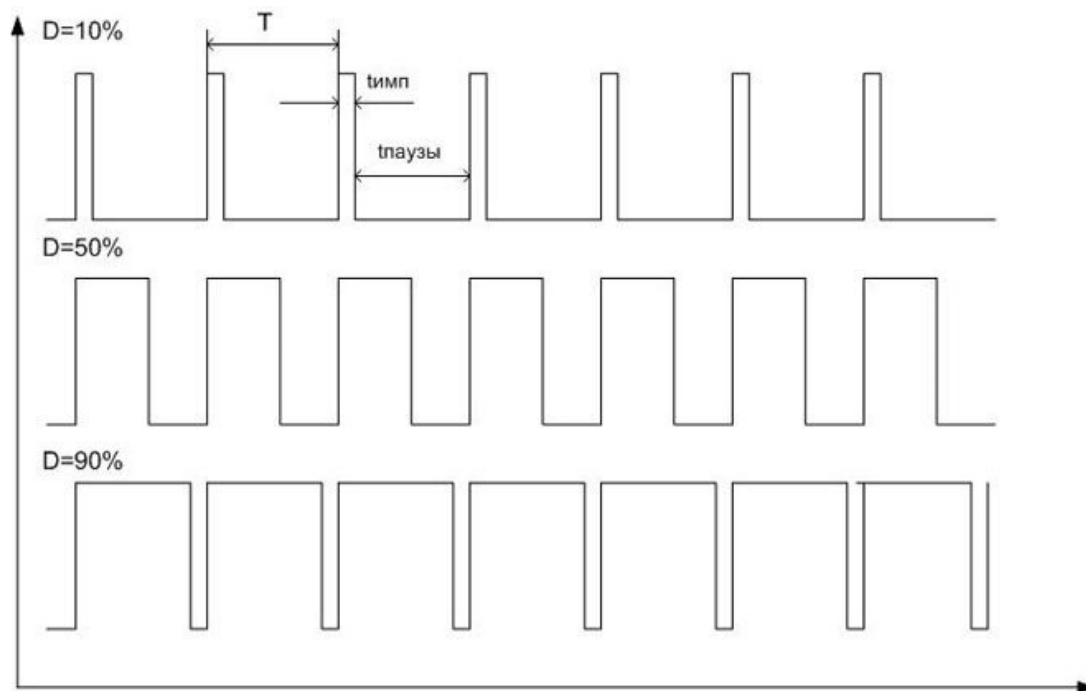


Рисунок 3.6 – Диаграмма ШИМ сигнала

На плате Arduino Nano V3.0 доступны 6 контактов: 3, 5, 6, 9, 10 и 11, которые используются для создания аппаратного ШИМ. По умолчанию, частота сигнала на контактах 5 и 6 составляет 1 кГц, а на остальных контактах – всего лишь 500 Гц.

Существует встроенная функция для генерации ШИМ – `analogWrite(pin, duty):`

- `pin` – это номер PWM-пина;

- `duty` – это параметр, определяющий заполнение ШИМ-сигнала. По умолчанию он представлен в 8-битной разрядности, что означает, что его значение может варьироваться от 0 до 255.

### 3.1.4 Wi-Fi

Wi-Fi – это беспроводная технология связи, которая позволяет устройствам, таким как смартфоны, планшеты и компьютеры, обмениваться данными через радиоволновой сигнал [29].

Wi-Fi основан на наборе стандартов IEEE 802.11. Данные стандарты определяют правила для создания беспроводных локальных сетей (WLAN). Эти стандарты разрабатываются институтом инженеров электротехники и

электроники (IEEE). В настоящее время существует несколько вариаций стандарта IEEE 802.11, таких как 802.11b, 802.11aх и другие, каждая из которых имеет свои уникальные характеристики.

Wi-Fi представляет собой беспроводной способ соединения устройств с интернетом. В квартирах, офисах и общественных местах он используется для создания беспроводной точки доступа к сети. Это позволяет подключать к ней устройства, такие как смартфоны, планшеты и ноутбуки, не используя сетевые кабели.

В таблице 3.2 представлены стандарты Wi-Fi и их характеристики.

Таблица 3.2 – Характеристики стандартов Wi-Fi

Название	Скорость	Частота	Комментарий
802.11a	54 Mbps максимальная, но обычно от 6 до 24 Mbps	5 GHz	Не поддерживает сети стандартов b или g. Этот протокол относится к одним из первых разработанных, но на сегодняшний день все еще широко применяется во многих устройствах.
802.11b	11 Mbps	2.4 GHz	Может работать с сетями стандарта g. На практике, стандарт g был адаптирован для совместимости с b с целью обеспечения поддержки большего количества устройств.
802.11g	54 Mbps	2.4 GHz	Самый распространенный вид сети. Его сочетание скорости и обратной совместимости делает его подходящим для современных сетей.
802.11n	100 Mbps	2.4 и 5 GHz	Обычно скорость составляет 100 Мбит/с, в оптимальных условиях она может достигать 600 Мбит/с за счет одновременного использования нескольких частот и комбинирования их скорости.
802.11ac	1Gbps	5 GHz	Стандарт 802.11ac совместим с предыдущими версиями 802.11b/g/n и обеспечивает скорость до 1300 Мбит/с на частоте 5 ГГц и до 450 Мбит/с на частоте 2,4 ГГц.

Wi-Fi также играет важную роль в концепции интернета вещей (IoT). Он представляет собой стандарт беспроводного подключения и взаимодействия между различными устройствами IoT, такими как термостаты, лампочки, камеры видеонаблюдения, замки, выключатели и другие умные гаджеты в домах.