
(Подпись, дата) Соловьев В. А.
(И.О.Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена разработке автоматизированного полива с возможностью дистанционного управления с помощью WEB-приложения. В работе представлена схемотехническая часть, содержащая информацию об элементной базе и описание электрической принципиальной схемы, а также конструкторская часть, содержащая описание конструкции устройства, а также необходимые расчёты.

Работа состоит из расчетных и графических документов. Содержание графической части: схема электрическая структурная, 2 схемы электрические функциональные схемы, электрическая принципиальная, чертеж печатной платы, сборочный чертеж электронной ячейки, чертеж крышки корпуса, сборочный чертеж устройства, спецификации, схемы сборки, плакаты алгоритмов работы, чертежи кабелей.

В заключении приведены выводы о проделанной работе и соответствии с требованиями технического задания к разработанному устройству.

Ключевые слова: Автоматический полив дистанционного управления, схемотехническое проектирование, конструкторское проектирование, технологическое проектирование.

ABSTRACT

This work is dedicated to the development of the Infrared Remote Control. The paper consists of the schematic part containing information about the element base and a description of electric circuit, and the design part, which contains a detailed description of construction of the device and the necessary calculations.

Course project is a set of accounting and graphical documents. The content of the graphic part of the course project is schematic circuit diagram, a drawing of the PCB, printed circuit board assembly drawing.

Finally, the conclusions of the work and accordance to the technical task of the developed device are given.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ И ТЕРМИНЫ	6
ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ОБЩЕТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ПОЛИВА	11
1.1 Анализ задания на проектирование системы полива.....	14
1.2 Техничко-экономическое обоснование целесообразности разработки системы полива	15
Выводы.....	19
2 СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОЛИВА	20
2.1 Анализ и разработка схемы электрической структурной (Э1) системы полива	20
2.2 Анализ и разработка схемы электрической функциональной (Э2) системы полива	22
2.3 Анализ и разработка схемы электрической принципиальной (Э3) системы полива	26
Выводы.....	30
3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ	31
3.1 Исследование работы насоса постоянного тока и метода ШИМ ..	31
3.2 Определение математической функции зависимости показаний датчика и формирование сигнала ШИМ	33
3.3 Исследование метода регулирования потока жидкости	36
Выводы.....	39
4 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ СИСТЕМЫ ПОЛИВА	40
4.1 Постановка задач разработки алгоритмов работы системы полива.	40
4.2 Разработка алгоритмов работы системы полива	41
4.3 Требования к реализации алгоритмов работы внутреннего	

программного обеспечения МК.....	45
4.4 Реализация алгоритмов работы внутреннего программного обеспечения	47
Выводы.....	50
5 КОНСТРУКТОРСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОЛИВА ..	51
5.1 Анализ и выбор конструкции и материала печатной платы системы полива.....	51
5.2 Выбор электрических соединений КМП и КМО на ПП.....	52
5.3 Анализ и выбор конструкции корпуса системы полива.....	52
5.4 Анализ и выбор расположения и установки компонентов блока полива внутри корпуса	53
5.5 Расчёт надёжности системы полива	55
5.6 Расчет максимальной потребляемой мощности системы полива.....	61
5.7 Тепловой расчёт системы полива	63
5.7.1 Расчёт температуры корпуса системы полива.....	63
5.7.2 Расчёт средне-поверхностной температуры нагретой зоны системы полива	66
5.7.3 Расчёт температуры корпуса элемента.....	68
5.8 Расчет системы полива на механические воздействия	70
Выводы.....	73
6 ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОЛИВА..	74
6.1 Анализ конструкторской документации блока полива системы полива.....	74
6.1.1 Корпус	74
6.1.2 Электронная ячейка.....	75
6.2 Анализ сборочного состава системы полива	76
6.2.1 Анализ сборочного состава блока полива полива.....	76
6.2.2 Анализ сборочного состава корпуса блока полива.....	80
6.3 Расчёт и анализ коэффициента технологичности конструкции	82
6.4 Разработка схемы сборки системы полива	85

6.5 Расчёт и анализ такта выпуска	87
6.6 Разработка маршрутного технологического процесса сборки и монтажа	88
6.6 Разработка электронной модели системы полива	98
Выводы.....	101
7 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОЛИВА	102
7.1 Разработка схемы электрической структурной измерительного стенда системы полива	102
7.2 Результаты измерений выходного сигнала системы полива	103
Выводы.....	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	111
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	113
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	114

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ И ТЕРМИНЫ

АЦП	– Аналого-цифровой преобразователь;
ВПО	– Внутреннее программное обеспечение;
ГОСТ	– Государственный стандарт;
ДПП	– Двухсторонняя печатная плата;
ДУ	– Дистанционного управления;
ЕСКД	– Единая система конструкторской документации;
ИС	– Интегральная схема;
ИЭТ	– Изделия электронной техники;
КПД	– Коэффициент полезного действия;
КМО	– Компоненты, монтируемые в отверстия;
КМП	– Компоненты, монтируемые на поверхность;
КНР	– Китайская народная республика;
МК	– Микроконтроллер;
ПП	– Печатная плата;
ПО	– Программное обеспечение;
СТФ	– Стеклотекстолит фольгированный;
РПЗ	– Расчётно-пояснительная записка;
РТЗ	– Расширенное техническое задание;
РЭС	– Радиоэлектронные средства;
РЭА	– Радиоэлектронные аппаратура;
ТЗ	– Техническое задание;
ТЭЗ	– Типовой элемент замены;
ЭРЭ	– Электрорадиоэлементы;
ШИМ	– Широтно-импульсная модуляция;
CMS	– <i>Control Management System</i> (Система управления содержимым);
GPIO	– <i>General Purpose Input-Output</i> (Интерфейс ввода-вывода общего назначения);

HTTP – *HyperText Transfer Protocol* (Протокол передачи гипертекста);

IP – *Internet Protocol* (Межсетевой протокол);

IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (Институт инженеров электротехники и электроники);

IoT – *Internet of Things* (Интернет вещи);

MVC – *Model–View–Controller* (Модель–Отображение–Контроллер);

OSI – *Open Systems Interconnection Basic Reference Model* (Базовая Эталонная Модель Взаимодействия Открытых Систем);

PHP – *Personal Home Page* (Инструменты для создания персональных веб-страниц);

TCP – *Transmission Control Protocol* (Протокол управления передачей);

UART – *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* (Универсальный асинхронный приёмопередатчик);

ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена исследованию, разработке автоматического полива растений (в дальнейшем — системы полива).

Объектом исследования является технологический процесс изготовления автоматического полива растений на производственном участке типового радиотехнического предприятия и процесс его документального сопровождения.

Актуальность работы заключается в возникшем спросе на разработку и внедрение устройства автоматического полива растений в бытовую и промышленную сферы деятельности. Система полива предназначена для контроля влажности почвы растений, а также их поддержания в нормированных пределах в автоматическом режиме. Возможность дистанционного управления и создания простого понятного интерфейса управления делает его доступным для людей без специальной подготовки.

Основной задачей системы полива является контроль сигналов с датчиков и в следствии их обработки — формирование соответствующих сигналов для управления насосом, который создает жидкостное давление для распыскивания жидкости на растения.

Основными проблемами существующих систем является то, что далеко не все комплексы обладают возможностью дистанционного управления через сеть Интернет, а существующие имеют завышенную стоимость и устаревшую элементную базу.

Целью работы является разработка автоматического полива растений с заданными характеристиками, разработка комплекта конструкторской документации.

Для достижения поставленных целей в работе был решен следующий комплекс задач:

- разработка схемы электрической структурной системы полива;
- разработка схемы электрической функциональной системы полива;
- разработка схемы электрической функциональной блока системы полива;

- разработка схемы электрической принципиальной системы полива;
- разработка конструкции системы полива;
- расчёт конструкции системы полива;
- разработка технологического процесса изготовления системы полива;
- разработка программы испытаний системы полива;

Исходными данными для работы являются:

- задание на выполнение квалификационной работы бакалавра;
- календарный план выполнения квалификационной работы бакалавра.

Результатами работы являются:

- схема электрическая структурная системы полива (Э1);
- схема электрическая функциональная системы полива (Э2);
- схема электрическая принципиальная системы полива (Э3);
- алгоритм работы и исходный код для микроконтроллеров системы полива;
- чертеж печатной платы системы полива;
- сборочный чертеж ячейки электронной системы полива;
- сборочный чертёж всего системы полива;
- схема сборки системы полива;
- разработанный экспериментальный макет системы полива;
- расчётно-пояснительная записка.

Структура и объём работы. Работа состоит из 7 глав. Первая глава посвящена общетехническому обоснованию идеи разработки системы полива. Итогом главы является формирование окончательных требований к разрабатываемой системе полива и обоснование целесообразности разработки данной системы. Во второй главе приведено схемотехническое устройство системы полива. В этой главе описана разработка схемы электрической структурной, схем электрических функциональных и схемы электрической принципиальной системы полива. Третья глава посвящена исследовательской части. Она содержит данные о исследовательской работе, проведенной во время процесса разработки системы полива. Четвертая глава содержит алгоритмы

работы, которые были разработаны для системы. Пятая глава посвящена разработке конструкции системы полива. В ней описана разработка конструкции системы полива, а также приведены необходимые расчеты. Шестая глава посвящена технологическому проектированию системы полива, в ней изложен технологический процесс производства системы полива. Седьмая глава состоит из экспериментальной части, в которой исследуются результаты, полученные в процессе тестирования макета система полива.

РАСШИРЕННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

1 Цель работы

Разработка опытного образца автоматического полива и комплекта конструкторской и технологической документации, необходимого для его производства.

2 Технические требования к образцу

2.1 Требования по составу изделия

2.1.1 Опытный образец изделия должен содержать:

- блок полива;
- блок управления;
- внешний источник питания изделия.

2.1.2 В состав блока управления должны входить:

- одноплатный компьютер Orange PI Zero.

2.1.3 В состав блока полива должны входить:

- помпа жидкостная, 12В;
- ячейка приема и обработки сигналов.

2.1.4 Технические характеристики изделия:

- напряжение питания — 12В $\pm 10\%$;
- максимальный ток потребления — не более 2А;

2.2 Требования назначения

2.2.1 Разрабатываемое изделие должно быть предназначено для выявления характеристик растений, а также производить контроль их полива.

2.2.2 Электропитание изделия должно осуществляться от источника постоянного напряжения с номинальным значением 12В.

Максимальная мощность, потребляемая изделием, не должна превышать 20 Вт.

2.2.3 Для электропитания изделия на электронном модуле устройства должен быть смонтирован разъем DS1110.

2.2.4 Для управления изделием на его передней панели должна быть предусмотрена следующая клавиши: «Включить/выключить».

2.3 Требования к эксплуатации, хранению, удобству технического обслуживания и ремонта.

2.3.1 Разрабатываемое изделие должно иметь время наработки на отказ не менее 1000 часов с гарантированной надежностью $P_T=0,85$.

2.3.2 Разрабатываемое изделие при эксплуатации не должно требовать работ по его настройке и регулировке.

2.3.3 Разрабатываемое изделие должно обеспечивать эксплуатацию в климатических условиях УХЛ-4.1 по ГОСТ 15150-69.

2.4 Требования по безопасности и экологической защите.

2.4.1 При эксплуатации Изделие должно обеспечивать безопасность согласно ГОСТ Р МЭК 335-1.

2.5 Требования по стандартизации и унификации.

2.5.1 Требования по проверке патентной чистоты не предъявляются.

2.6 Экономические показатели.

2.6.1 Требования к экономическим показателям не предъявляются.

3 Требования к сырью, материалам и комплектующим изделиям межотраслевого применения.

3.1 При проектировании системы полива могут использоваться ЭРЭ и материалы иностранного производства.

4 Требования к транспортировке и хранению

Транспортирование упакованных систем может производиться любым видом транспорта. Транспортирование может производиться в закрытых железнодорожных вагонах или контейнерах, автомашинах, отапливаемых и герметизированных отсеках самолетов при соблюдении требований хранения настоящего ТЗ.

Изделия должны храниться на стеллажах в сухом помещении, в соответствии с условиями 3-й группы хранения аппаратуры по ГОСТ 15150-69. В помещении для хранения не должно быть паров кислот и щелочей, а также газов, вызывающих коррозию и разрушающих изоляцию.

1 ОБЩЕТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ПОЛИВА

Актуальность работы заключается в возникшем спросе на уход за растениями, а также контролированию их влажности. Прибор будет полезен для домашнего использования — ухода за комнатными растениями, а также за уходом растений в малых промышленных масштабах. Управление не требует специальных навыков, достаточно просто уметь работать с сетью Интернет. Интерфейс управления понятен и прост. Данное устройство будет полезно для людей, у которых не хватает времени на уход за растениями или их очень много.

Основной задачей системы полива является контроль данных с датчиков по настройкам, заданным с помощью WEB-приложения, и формирование соответствующих сигналов для жидкостной помпы при выходе контрольных значений из нормы.

1.1 Анализ задания на проектирование системы полива

Основное назначение разрабатываемого устройства согласно РТЗ — управление жидкостной помпой, анализируя данные, которые получены с датчиков. Критерий анализа данных устанавливается пользователем с помощью WEB-приложения. Устройство должно автоматически, без присутствия человека, контролировать влажность почвы в зависимости от полученных данных, при этом потребляя минимальное количество энергии. Необходимо разработать систему полива, которая может быть использована в условиях умеренно холодного климата в помещениях, относительной влажности воздуха 85% при температуре 25 °С.

1.2 Технико-экономическое обоснование целесообразности разработки системы полива

Проведем обзор существующих аналогов предлагаемой системы полива. Наиболее близким аналогом разрабатываемой системы полива является набор для автоматического микро капельного полива управления AeroFarm 3" Blue GHE производства "GHE" (Франция), представленный на рисунке 1.1. Конструктивно этот продукт выполнено в кубической форме. Материалы корпуса системы полива — пластик.



Рисунок 1.1 – Внешний вид гидропонной системы AeroFarm 3" Blue GHE

Основные характеристики гидропонной системы AeroFarm 3" Blue GHE:

- Производительность водяной помпы - 700 л/час
- напряжение питания 220 В;
- потребляемая мощность: 13 Вт;
- габаритные размеры, см: 45×45×43 см;
- тип управления: Полуавтоматический
- масса без бака, г: 420.

Средняя стоимость AeroFarm 3" Blue GHE составляет 9000 рублей. Устройство обладает схожими характеристиками с предлагаемой системой полива. За исключением возможностью дистанционного управления, быстрой и бюджетной масштабируемости. Стоит отметить, что гидропонная система AeroFarm 3" Blue GHE выполнена на устаревшей элементной базе, из-за чего он имеет большую стоимость.

Рассмотрим гидропонную систему Аэросад «Домашний сад» Российского производства, представленной на рисунке 1.2. Конструктивно выполнено в сферической форме, имеет удобно укомплектованный бассейн. Также имеется панель с органами управления для настройки устройства.



Рисунок 1.2 – Внешний вид гидропонной системы Аэросад «Домашний сад»

Основные характеристики гидропонной системы Аэросад «Домашний

сад»:

- напряжение питания 220В;
- потребляемая мощность: 60 Вт;
- тип управления: Механический
- габаритные размеры, см: 30 х 41 х 65 см;
- масса без бака, г: 5,5 кг.

Средняя стоимость составляет 16000 руб., при этом система имеет ограниченную площадь полива, чтобы ее расширить, необходимо покупать вторую установку. В отличие от предлагаемой системы полива, данная установка не оборудована датчиками, чтобы увлажнять почву в нормированных пределах, также имеет завышенную цену из-за сложности конструкции корпуса.

Еще одним из подходящих аналогов является гидропонная установка Aeroflo 10 компании АгроДом, представленной на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Внешний вид гидропонной установки Aeroflo 10

Основные характеристики гидропонной системы Aeroflo 10:

- напряжение питания 220В;
- потребляемая мощность: 50 Вт;
- тип управления: Полуавтоматический
- габаритные размеры, см: 110x46x55 см;
- масса без бака, г: 15,3 кг.

Данная система выполнена в виде горшка кубической формы, имеет 10 посадочных мест для растений. Стоимость установки Aeroflo 10 составляет 22000 руб. Имеет датчики для отслеживания Ph баланса и влажности почвы, также автоматически увлажняет растения. Схожа с предлагаемой системой полива, за исключением присутствия дистанционного управления.

Стоит отметить, что стоимость элементной базы предлагаемой системы полива не превышает 2000 руб., с учетом приблизительных затрат на производство одной штуки составляет – 4000 руб., что меньше приведенных аналогов, при этом предлагаемая система полива обладает большим функционалом и несколькими режимами работы. Всё это делает экономически целесообразным разработку автоматического полива в соответствии с РТЗ, поскольку разрабатываемая система полива сможет предложить лучшие технические характеристики при уменьшении стоимости конечного решения благодаря применению современной элементной базы.

Выводы

В главе проведён анализ существующих решений в данной технической области, осуществлён обзор основных технических характеристик существующих систем полива. Приведён обзор существующих систем автоматического полива и технико-экономическое обоснование целесообразности и актуальности представленной работы. Результатом главы являются основные требования к разрабатываемому устройству и выводы о целесообразности его разработки.

Проведен обзор аналогов разрабатываемой системы полива: система AeroFarm 3" Blue GHE производства «GHE» гидропонной системы Аэросад «Домашний сад» и гидропонной установки Aeroflo 10. По результатам анализа и сопоставления технических характеристик и стоимостей была обоснована целесообразность разработки и производства устройства автоматического полива с характеристиками, указанными в РТЗ.

2 СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОЛИВА

В главе представлены этапы схемотехнического проектирования системы полива.

Представлено описание принципа работы системы полива, описание схемы электрической структурной (Э1), 2 схемы электрические функциональные (Э2), так как система полива состоит из двух функциональных блоков и схемы электрической принципиальной (Э3). Проведен выбор и обоснование элементной базы.

2.1 Анализ и разработка схемы электрической структурной (Э1) системы полива

Разработка схемы электрической структурной (Э1) системы полива предполагает первоначальную оценку и выделение основных структурных частей, из которых состоит система полива. Разработанная схема электрическая структурная (Э1) системы полива представлена на рисунке 2.1, а также на чертеже ИУ4.11.03.03.2019.83.15.001. Схема электрическая структурная (Э1) разработана согласно требованиям ГОСТ 2.702-75 [1] и включает в себя следующие функциональные блоки: Блок источника питания, Микроконтроллер ESP12-E Wi-Fi, Микроконтроллер STM32F103C8T6, Двухканальный драйвер L6205, Датчик влажности, Насос 12В.

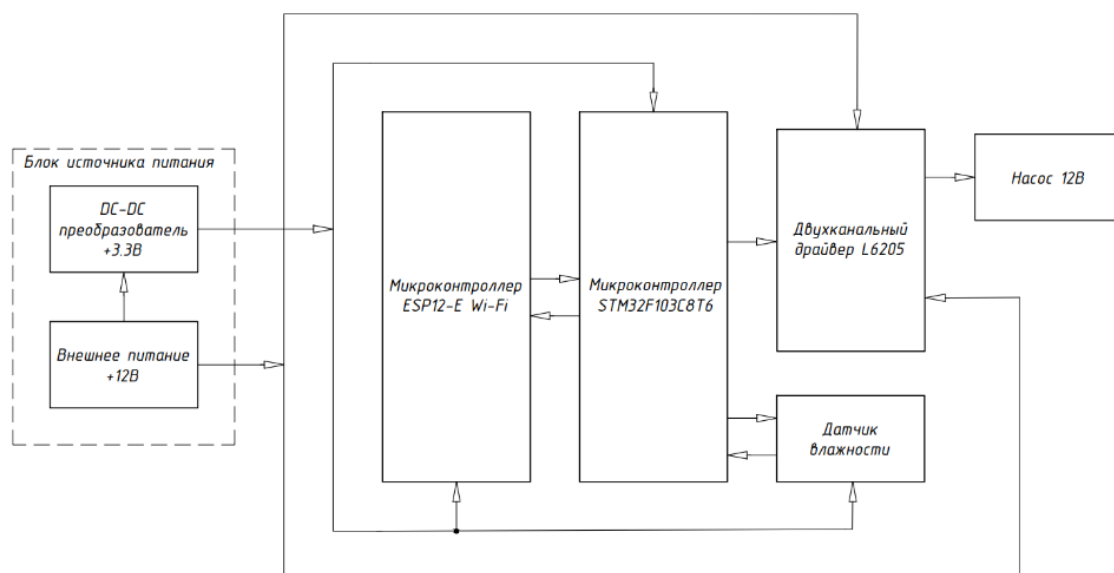


Рисунок 2.1 – Схема электрическая структурная (Э1) системы полива

Главными блоками схемы являются микроконтроллер STM32F103C8T6 – блок, выполняющий основные функции системы полива и микроконтроллер ESP12-E Wi-Fi – блок, выполняющий роль моста между блоком микроконтроллера STM32F103C8T6 и модулем управления по технологии Wi-Fi. Блок STM32F103C8T6 генерирует сигнал управления на блок двухканального драйвера L6205 при наличии сигнала, поступающего с блока датчика влажности или с блока ESP-12E Wi-Fi.

Посредством датчика влажности система узнает, когда необходимо подать необходимые сигналы и включить насос.

Блок двухканального драйвера L6205 осуществляет подачу питания к насосу 12В в зависимости от цифровых сигналов, установленных на его управляющих выводах.

Таким образом, насос включается при обработке данных с блока датчика влажности или блока ESP-12E Wi-Fi.

Питание происходит при помощи источника внешнего питания с постоянным напряжением +12В и DC-DC преобразователя +3.3В.

В результате анализа схемы электрической структурной (Э1), представленной на рисунке 2.1 было получено общее представление о составных частях разрабатываемой системы полива.

2.2 Анализ и разработка схемы электрической функциональной (Э2) системы полива

Разработка схемы электрической функциональной (Э2) системы полива подразумевает более детальную проработку составных частей, выполняемую на основе анализа схемы электрической структурной (Э1). Были разработаны две схемы электрические функциональные (Э2): Схема электрическая функциональная системы полива – рисунок 2.2, чертеж ИУ4.11.03.03.2019.83.15.002; Схема электрическая функциональная системы полива – рисунок 2.3, чертеж ИУ4.11.03.03.2019.83.15.003. Схемы электрические функциональные (Э2) были разработаны согласно требованиям ГОСТ 2.702-75 [1].

Схема электрическая функциональная устройства полива включает в себя следующие функциональные блоки: Микроконтроллер STM32F103C8T6, Микроконтроллер ESP12E-WiFi, Двухканальный драйвер L6205, Датчик Влажности, Блок источника питания.

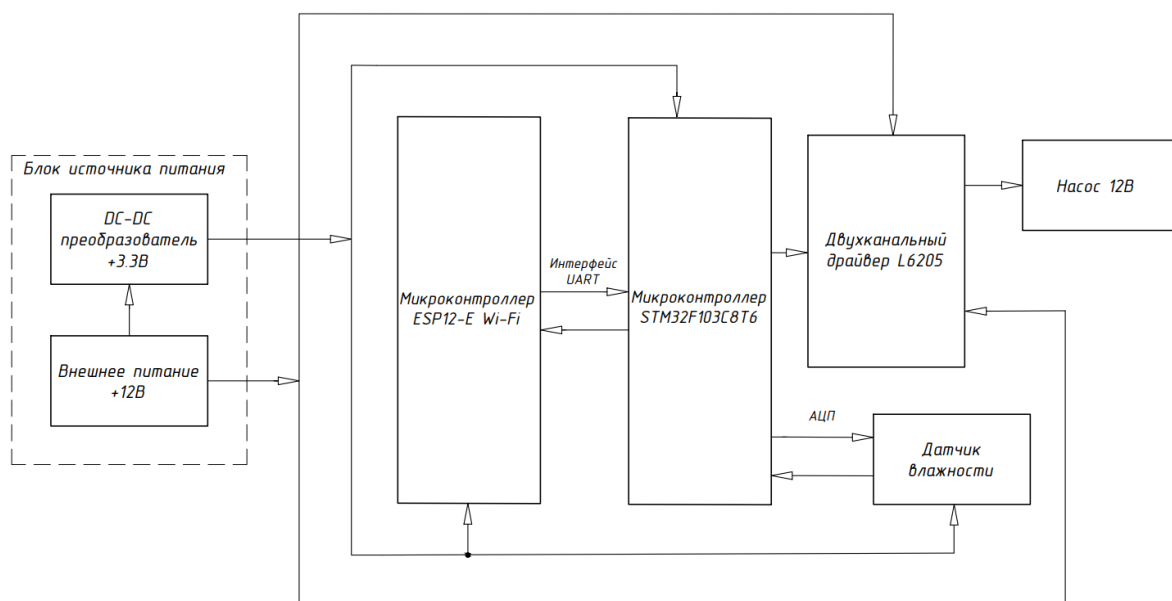


Рисунок 2.2 – Схема электрическая функциональная (Э2) блока полива

Основным управляющим блоком системы полива являются Микроконтроллер STM32F103C8T6 и Микроконтроллер ESP12-E Wi-Fi.

Микроконтроллер STM32F103C8T6 выполняет следующие функции: генерирует ШИМ сигнал с заданной частотой и скважностью. Генерация ШИМ сигнала начинается в двух случаях: в первом случае, когда значение влажности почвы с датчика будет меньше порогового, а во втором, когда с микроконтроллера ESP12E придет соответствующая команда по модулю UART. Выходной сигнал подается на управляющие выводы микросхемы двухканального драйвера L6205.

Микроконтроллер ESP12-E Wi-Fi выполняет роль моста между удаленным сервером в сети Wi-Fi и блоком STM32F103C8T6. Питание микроконтроллеров осуществляется от +3.3В.

Датчик влажности аналоговый, поэтому он подключен к аналого-цифровому преобразователю STM32F103C8T6. Таким образом, микроконтроллер STM32F103C8T6 обрабатывает данные, свидетельствующие о степени влажности почвы растения. Датчик подключен к питанию +3.3В.

Блок источника питания состоит из преобразователя DC-DC +3.3В для преобразования напряжения источника внешнего питания +12В, чтобы обеспечить питание цифровой части блока, а напряжение +12В используется для обеспечения питания силовой части – насоса.

Также была разработана электрическая функциональная схема, которая показывает взаимодействия блока полива и блока управления, она включает в себя следующие функциональные блоки: Одноплатный компьютер Orange PI, Система управления содержимым на модели MVC, Веб-Сервер Nginx, Блок полива n, Блок источника питания.

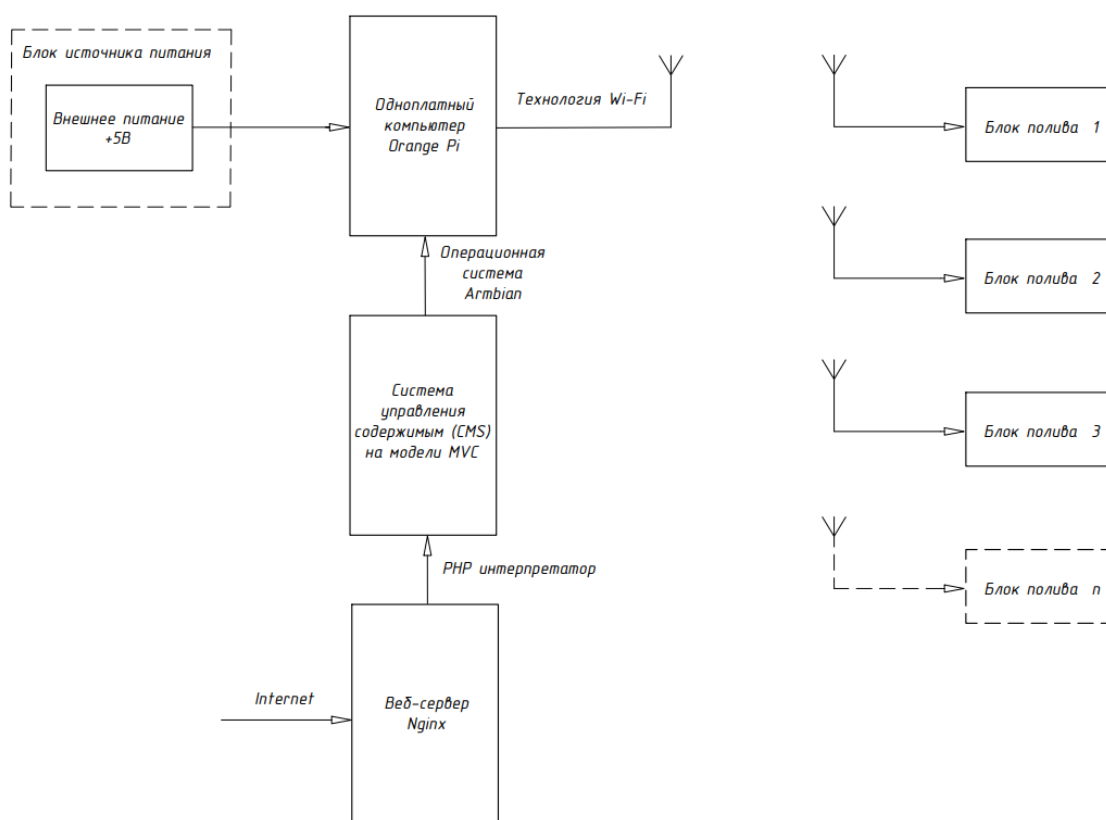


Рисунок 2.3 – Схема электрическая функциональная (Э2) системы полива

Блок управления предназначен для управления блоками полива – каждый блок полива связывается с модулем управления по технологии Wi-Fi. Также, блок управления включает в себя набор программного обеспечения для взаимодействия с пользователем и обеспечения работы клиент-серверной

архитектуры. Блок полива предназначен для контроля характеристик растений с помощью датчиков исходя из заданных пользователем критериев контроля и пороговых значений. Основным управляющим блоком системы полива является одноплатный компьютер Orange Pi.

На одноплатном компьютере Orange Pi развернута Wi-Fi сеть с помощью средств операционной системы, ожидающая подключения блоков полива. Каждый блок при подаче питания запрограммирован на поиск этой сети и подключение к ней. При успешном подключении устанавливается IP-адрес блока в Orange Pi, по которому в дальнейшем будет осуществляться обмен данными через созданный веб-интерфейс. Обмен данными реализован средствами языка программирования PHP по протоколу TCP/IP. [11]

Веб-сервер Nginx – высокоуровневое программное приложение, необходимое для обеспечения обмена данными в сети Интернет. Обрабатывает запросы пользователей сети Интернет, а также обрабатывает запросы посредством приложения, созданного с помощью языка программирования PHP.

Для реализации вывода/ввода информации была разработана система управления содержимым (Control Management System – CMS) по шаблону MVC, построенная с помощью объектно-ориентированных возможностей языка программирования PHP. Данная система обладает 3-мя составляющими: модель, контроллер, отображение. Каждая из составляющих выполняет соответствующую функцию, работают в связке друг с другом. Модель отвечает за связку с базой данных, структурой хранения данных веб-приложения, чтобы можно было быстро получить доступ к данным из любого места программного кода. Отображение представляет собой код программы, предназначенный для клиентской части веб-приложения. Контроллер содержит сценарий обработки и вывода информации, взаимодействуя с другими компонентами концепции MVC. Тем самым, для работы с блоком полива был создан контроллер, в котором реализован обмен данными между IP-адресом каждого блока посредством TCP/IP протокола.

Таким образом, пользователь из сети Интернет взаимодействует с блоками полива через WEB-приложение, работающее на веб-сервере Nginx под управлением одноплатного компьютера Orange Pi.

2.3 Анализ и разработка схемы электрической принципиальной (ЭЗ) системы полива

Схема электрическая принципиальная (ЭЗ) системы полива была разработана согласно требованиям ГОСТ 2.701-84[2], ГОСТ 2.702-75 [1] , ГОСТ 2.708-81 [3] , ГОСТ 2.728-74 [4] , ГОСТ 2.730-73 [5] , ГОСТ 2.743-91 [6] , ГОСТ 2.759-82 [7] . Схема электрическая принципиальная (ЭЗ) блока управления изображена на чертеже ИУ4.11.03.03.2019.83.04.004. Также данный чертеж показан на рисунке 2.4.

микроконтроллера осуществляется с помощью кварцевого резонатора ZQ1 на 8 МГц и двух емкостей C12, C13, подключенных к выводам PD0, PD1 микроконтроллера. Также микроконтроллер подключен к 3 разъемам: XP3, XP4 и XP5. К разъему XP3 подключены выводы PA9, PA10 – каналы модуля UART, а именно TX и RX, соответственно. Разъем XP3 необходим для отладки обмена данными по модулю UART между микроконтроллерами DD1 и DD2, а также для отладки и программирования контроллера DD1. На разъем XP4 подключены 2 вывода микроконтроллера DD2: SWC и SWD – это порты тактирования и передачи данных, служащие для отладки и программирования микроконтроллера DD2. Также к разъему подведено питание +3.3В и общий провод для обеспечения возможности внешней отладки и программирования. В разъем XP5 заведен вывод АЦП – PA0 микроконтроллера DD2 для подключения датчика влажности почвы, а также подведена цепь питания +3.3В и провод с нулевым потенциалом. Также, в разъем XP5 заведен TX вывод модуля UART микроконтроллера DD1 – GPIO2 для вывода отладочной информации. Выводы PB0, PB1 и PA11 используются для управления драйвером DA2. На выводах PB0, PB1 устанавливается логический сигнал, соответствующий полярности подключаемой нагрузки, а на выводе PA11 формируется ШИМ сигнал определенной скважности.

Микроконтроллер DD2 – продукт Китайской компании “ESPRESSIF SYSTEMS”. Данный контроллер оснащен 4 Мб Flash памяти, поддерживает стандарт беспроводных сетей IEEE 802.11n и имеет небольшое количество периферии, но при этом он остается достаточно дешевым, что и делает его популярным. Питание данного микроконтроллера осуществляется подключением вывода VDD к цепи питания +3.3В. Также, для стабильной работы вывод RST подтянут к питанию +3.3В через резистор R1, а для обеспечения возможности сброса подключена тактовая кнопка SW1, соединенная с общей точкой. Для запуска микропрограммы вывод EN подтянут на цепь питания через резистор R2. Выводы RX и TX подключены к разъему XP3. Вывод GPIO0 необходим для перевода микроконтроллера DD1 в режим

программирования, поэтому он подтянут на цепь питания +3.3В через резистор R5. Вывод GPIO15 необходим для выбора режима загрузки: обычный или режим для работы с SD-картами, поэтому он подключен на землю через резистор R6. Вывод GND подключается к нулевому потенциалу.

Микросхема DA1 – это DC-DC преобразователь DSN5000, главным преимуществом которого является большой диапазон входных напряжений, а также высокая стабилизация выходного напряжения и наибольший коэффициент полезного действия. Он имеет 4 вывода. На IN+ и IN- подается напряжение от внешнего источника напряжения в диапазоне от +5В до +24В, а с выводов OUT+ и OUT- снимается выходное напряжение +3.3В, которое питает цифровую часть схемы, в том числе и датчик влажности почвы.

Микросхема DA2 – двухканальный драйвер L6205 производства фирмы “STMicroelectronics”. Необходим для управления нагрузкой +12В, максимальная мощность составляет 65 Вт. VD1, VD2, C3, C5 и R4 подключены к выводам VBOOT и VCP согласно документации на микросхему DA2 для обеспечения необходимой цепи питания. Выводы VSA и VSB служат для питания микросхемы, к ним подключен питание от внешнего источника напряжения +12В. Выводы SENA, SENB используются для измерения потребляемого тока, они заведены на нулевой потенциал, т.к. ток не измеряется. Выводы OUT1A, OUT2A, OUT1B, OUT2B подключены для работы в мостовом режиме для достижения максимальной мощности. С помощью выводов ENA, ENB разрешается работа драйвера, то есть подача питающего напряжения на выводы OUT1A, OUT2A, OUT1B, OUT2B, поэтому они подключен к микроконтроллеру DD2. Выводы IN1A, IN2A, IN1B, IN2B определяют полярность выходного сигнала, они также подключены для работы в мостовом режиме и подведены к микроконтроллеру DD1. Выводы GND-GND4 являются частью питания микросхемы DA2, подключены к нулевому потенциалу. Также, в схеме предусмотрены шунтирующие конденсаторы C1 и C2.

Выводы

В главе проведено схемотехническое проектирование системы полива. Была разработана схема электрическая структурная (Э1) системы полива, в которой были выделены основные структурные узлы системы полива. Данная схема представлена на чертеже ИУ4.11.03.03.2019.83.15.001, а также на рисунке 2.1. Далее были разработаны схемы электрическая функциональная (Э2) системы полива и схема электрическая функциональная (Э2) системы полива, в которой были подробно обозначены отдельные функциональные узлы системы полива и пути распространения электрических сигналов между ними. Данные схемы представлены на чертежах ИУ4.11.03.03.2019.83.15.002, ИУ4.11.03.03.2019.83.15.003, а также на рисунках 2.2, 2.3 соответственно. Заключительным этапом схемотехнического проектирования стала разработка схемы электрической принципиальной (Э3) системы полива, в которой подробно описаны соединения всех ЭРЭ системы полива и благодаря условным графическим обозначениям однозначно определяется функционал каждого ЭРЭ. Данная схема представлена на чертеже ИУ4.11.03.03.2019.83.15.003.004, а также на рисунке 2.4.

3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

В главе представлена исследовательская работа, проведенная в процессе проектирования принципов работы системы полива. Целью работы является получение стабильной системы полива. В частности, представлен процесс исследования насоса постоянного тока, метода ШИМ и течения жидкости в сечении.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Исследование работы насоса постоянного тока и выбор метода управления им;
2. Определение математической функции зависимости показаний датчика и формирование сигнала ШИМ.
3. Исследование потока жидкости для нахождения параметров формирования сигнала ШИМ;

3.1 Исследование работы насоса постоянного тока и метода ШИМ

Данное исследование необходимо для осуществления стабильной работы насоса постоянного тока во время его работы и пуска, чтобы исключить риск выхода насоса из строя и перекачивания жидкости выше нормы на растение.

Для маломощных насосов возможно применение прямого пуска, непосредственно подавая на него питание от сети. Это связано с тем, что масса их двигающихся частей не велика, а сопротивление обмотки относительно большое и пусковые токи будут незначительными. Но в системе полива насос всегда запускается с нагрузкой, т.к. он погружен в воду, соответственно, есть вероятность того, что пусковые токи будут настолько большими, что выведут насос из строя.

Когда насос работает при постоянном напряжении и сопротивлении обмотки якоря, ток в якоре можно найти с помощью формулы:

$$I_{\text{як}} = \frac{(U - E_{\text{np}})}{\sum r} \quad (1), \text{ где}$$

U – напряжение питающей сети;

E_{np} – противоЭДС;

$\sum r$ – сопротивление обмоток якоря.

ПротивоЭДС E_{np} возникает при вращении якоря в магнитном поле статора, при этом в двигателе она направлена против якоря. Но когда якорь не движется, E_{np} не возникает, поэтому выражение для тока якоря принимает следующий вид:

$$I_{\text{як}} = \frac{U}{\sum r} \quad (2),$$

Это и есть выражение для вычисления пускового тока. Из формулы понятно, что снижение пускового тока возможно двумя способами: увеличением сопротивления якорной обмотки или снижением питающего напряжения. Понижать напряжение с помощью сопротивления не выгодно с точки зрения элементной базы, поэтому оптимальным выходом из положения – использовать для управления метод широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Суть метода ШИМ заключается в подаче на двигатель промодулированных по длительности прямоугольных импульсов. Таким образом можно сформировать такую последовательность импульсов, которая не даст выйти якорному току за пределы нормы. Данный метод также позволяет регулировать скорость перекачки жидкости, изменяя скважность Q :

$$Q = T / W \quad (3), \text{ где}$$

1. T – период импульса;

2. W – длительность импульса.

На рисунке 3.1 приведен график зависимости усредненного

напряжения U , получаемого при использовании ШИМ, от времени t .

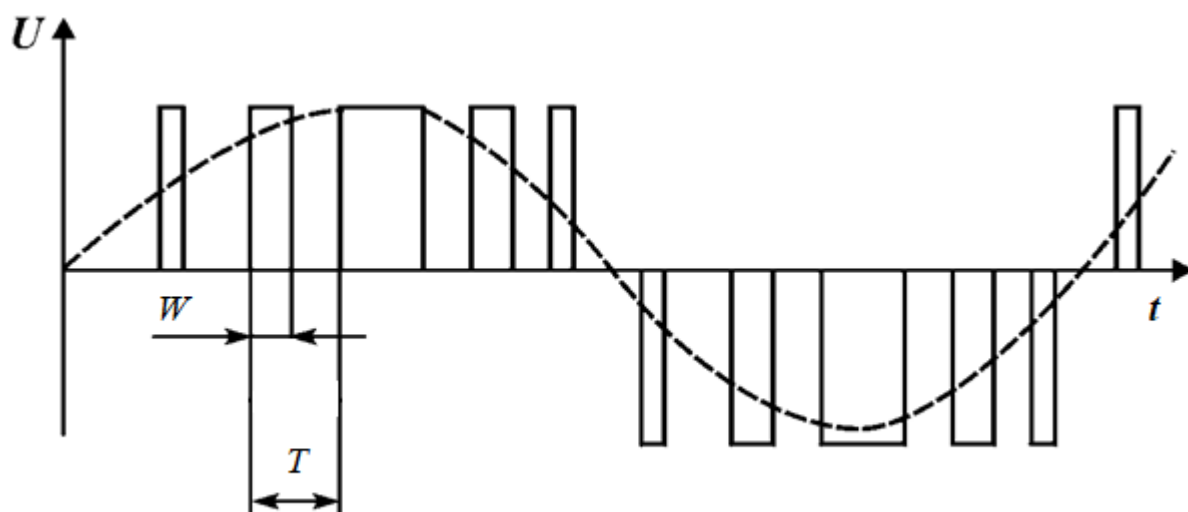


Рисунок 3.1 – График зависимости усредненного напряжения от времени

Таким образом, можно регулировать пуск и работу насоса постоянного тока с помощью изменения значения скважности.

3.2 Определение математической функции зависимости показаний датчика и формирование сигнала ШИМ

Для того, чтобы система полива регулировала в автоматическом режиме влажность растений, необходимо установить зависимость между снятыми с датчика данными и скважностью сформированного ШИМ сигнала. Для этого необходимо получить математическую функцию, которая будет обрабатывать данные с датчика влажности. Известно, что в качестве аргумента поступает число F_T содержащее разницу порогового значения влажности $F_{пор}$ и текущего значения влажности $F_{тек}$, а результатом вычисления функции получается значение, до которого будет считать таймер МК, формирующий сигнал ШИМ.

В формировании сигнала ШИМ используется следующая формула:

$$Q = V_{ARR} / V_{CCR} \quad (4), \text{ где}$$

1. V_{ARR} – значение лимита счета таймера;
2. V_{CCR} – значение длительности высокого логического сигнала.

Отсюда следует, что при изменении V_{CCR} меняется длительность импульсов сигнала, т.е. скважность. Теперь необходимо установить зависимость между значением длительности логического сигнала и разницей порогового значения влажности. Имея все вышесказанное, установим следующую связь:

$$V_{CCR} = V_{ARR} - F_T \quad (5),$$

$$F_T = F_{ПОР} - F_{ТЕК} \quad (6),$$

Но этого недостаточно, т.к. не учитывается коэффициент поправки K , чтобы не превысить максимальное значение лимита таймера МК. Коэффициент поправки связан с размахом включения насоса F_p – калибруемое максимальное число диапазона значений, чтобы скважность сигнала ШИМ изменялась с необходимой плавностью в зависимости от текущей влажности. Это необходимо для того, чтобы с увеличением влажности почвы насос качал все меньше и меньше воды и не перелил воды больше нормы. Таким образом, имеем:

$$K = \frac{V_{ARR}}{F_p} \quad (7),$$

$$V_{CRR} = V_{ARR} - (F_T \cdot K) \quad (8),$$

После того, как зависимость установлена, можно задать функцию, учитывая F_p , а также, если разница значений влажности F_T превышает F_p значение V_{CCR} должно быть равно нулю, что соответствует работе насоса на полной мощности, а если разница меньше нуля, то значение V_{CCR} должно быть

максимально, что соответствует выключенному состоянию насоса. Итоговая функция:

$$\varphi(x) = \left\{ \begin{array}{l} 0 < x < F_p, V_{ARR} - (x \cdot \frac{V_{ARR}}{F_p}), \\ x < 0, V_{ARR}, \\ x > F_p, 0. \end{array} \right\} (9),$$

Таким образом, постоянно выполняется соблюдение поставленных условий работы системы полива.

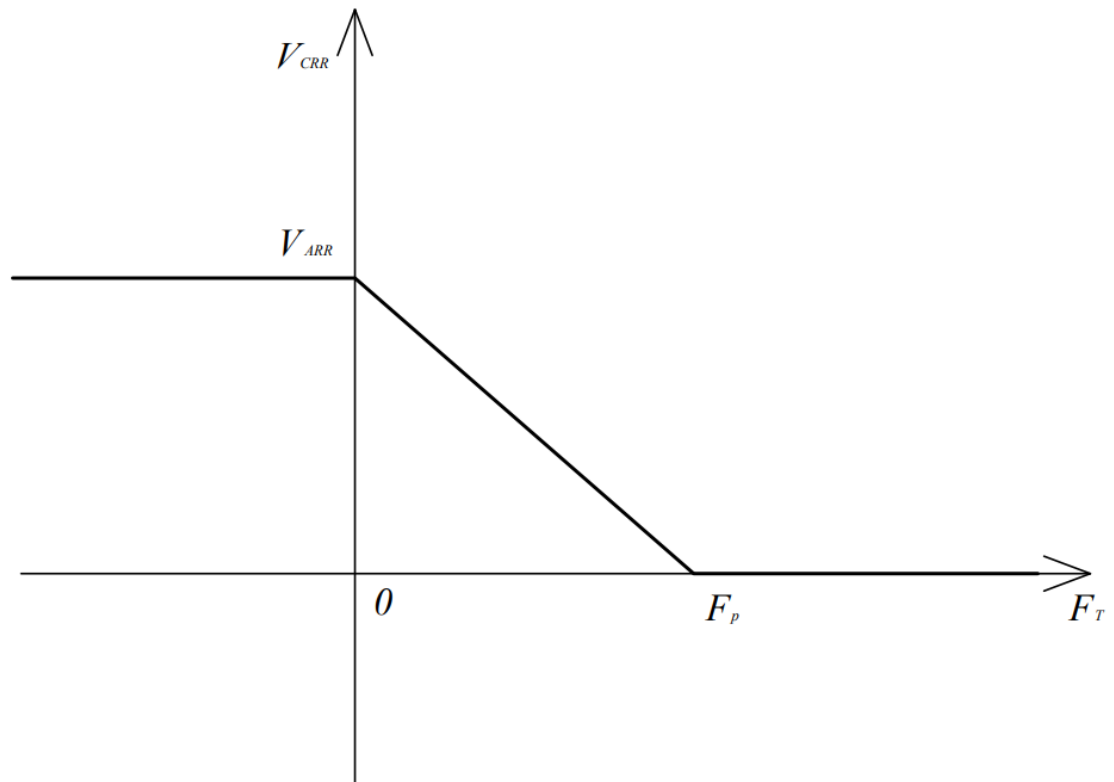


Рисунок 3.2 – График зависимости усредненного напряжения от времени

На рисунке 3.2 приведен график данной функции. Исходя из вышесказанного, можно получить формулу скважности при различных значениях влажности:

$$Q = \frac{\varphi(F_T)}{V_{CCR}} (10),$$

Данная формула пригодится для дальнейшего исследования и разработки системы полива.

3.3 Исследование метода регулирования потока жидкости

Для того, чтобы определить какую скважность ШИМ сигнала нужно задать для регулирования потока жидкости, необходимо исследовать течение жидкости в сечении трубы.

Жидкость, как и любое другое тело совершает работу при перемещении, т.е. выделяет и поглощает энергию. Но, согласно закону сохранения энергии, энергия не теряется, а превращается из одного вида в другой, поэтому рассмотрим какую работу совершает жидкость:

1. E_p – работа давления жидкости, выражается в том, что жидкость сзади давит на жидкость спереди;
2. E_h – работа по перемещению жидкости на высоту;
3. E_v – работ по приданию скорости жидкости.

Стоит отметить, что еще затрачивается энергия на трение. Но в данном случае оно не рассматривается, т.к. трение в жидкостных трубках полива будет минимально в связи с их материалом и маленькой длиной труб. Согласно закону сохранения энергии, получаем:

$$E_p + E_h + E_v = const \quad (11),$$

Определим каждую работу:

$E_p = P \cdot S \cdot \Delta L = P \cdot V$ (12) – работа, создающая давление, где P – давление, V – объем, S – сечение трубы, в котором протекает жидкость;

$E_h = m \cdot g \cdot h = V \cdot \rho \cdot g \cdot h$ (13) – работа по перемещению жидкости, где h – изменение потенциальной энергии;

$$E_v = \frac{m \cdot v^2}{2} = V \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (14) \quad \text{– работа по приданию скорости жидкости, т.е.}$$

кинетическая энергия, где v – скорость жидкости.

В итоге получим формулу сохранения энергии жидкости:

$$P \cdot V + V \cdot \rho \cdot g \cdot h + V \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} = \text{const} \quad (15),$$

Разделим уравнение на V . Получим:

$$P + \rho \cdot g \cdot h + \rho \cdot \frac{v^2}{2} = \text{const} \quad (16) \quad \text{– формула Бернулли.}$$

Теперь необходимо преобразовать эту формулу к формуле струи жидкости, разделив все члены уравнения на $\rho \cdot g$:

$$h + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} = \text{const} \quad (17), \text{ где}$$

h – геометрический напор;

$\frac{P}{\rho \cdot g}$ – пьезометрический напор;

$\frac{v^2}{2g}$ – скоростной напор.

Сумма всех напоров называется полным напором, но в данном случае рассматривается пьезометрический напор, благодаря которому будет создано давление на распылители системы полива. Исходя из вышеприведенного следует вывод, что необходимо контролировать скорость потока жидкости для регулирования пьезометрического напора, создаваемого на распылителях. При этом необходимо учитывать геометрический напор, то есть высоту, на которую надо будет необходимо поднимать жидкость в трубках.

В предыдущей главе была получена математическая функция, которая обрабатывает разницу значений порогового и текущего влажности и вычисляет параметр микроконтроллера для формирования сигнала ШИМ. Также получена формула скважности ШИМ в зависимости от влажности. Примем, что скорость потока жидкости v во время работы системы равна произведению скорости

перекачки насоса v_h по паспорту и скважности Q .

$$v = Q \cdot v_h \quad (18),$$

Тогда подставим формулу (18) в формулу (17) и получим:

$$h + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{\left(\frac{\varphi(F_T)}{V_{CCR}} \right)^2}{2g} = const \quad (19),$$

Выразим давление P :

$$P = \left(const - \frac{\left(\frac{\varphi(F_T)}{V_{CCR}} \right)^2}{2g} - h \right) \cdot \rho \cdot g \quad (20),$$

Таким образом, можно проанализировать с какими параметрами формировать ШИМ сигнал, чтобы создавать необходимое давление для распыления жидкости, в том числе и для нескольких распылителей.

Выводы

В данной главе была рассмотрена исследовательская работа, проведенная в процессе разработки системы полива. В первую очередь рассматривался насос постоянного тока, а по итогу выбран метод управления им. Далее была получена математическая функция, которая устанавливает зависимость влажности почвы и параметров формирования ШИМ сигнала. В конце главы исследовалось поведение жидкости в сечении, а также выведены формулы, позволяющие связать параметры формирования ШИМ сигнала и давления, которое жидкость оказывает на распыскиватели системы полива.

Таким образом, проведя расчеты, можно обеспечить стабильную и устойчивую работу системы полива при различных условиях. Также стоит отметить, что данные исследования послужат для дальнейшей разработки и развития системы полива.

4 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ СИСТЕМЫ ПОЛИВА

В главе представлен этап проектирования алгоритмов для работы программного обеспечения (ПО) двух микроконтроллеров DD2 и DD1 блока полива и представлены требования к реализации этих алгоритмов, а также требования к процессу программирования и отладки микроконтроллеров: среда разработки и необходимое оборудование.

Разработанные алгоритмы являются упрощёнными, то есть без подробного описания каждого элемента блок-схемы до атомарного уровня и без рассмотрения всех тонкостей функционирования МК.

4.1 Постановка задач разработки алгоритмов работы системы полива

Требуется разработать и предусмотреть в ПО микроконтроллера DD2 следующие функции:

- инициализация микроконтроллера и его интерфейсов взаимодействия с остальными узлами системы полива;
- обмен данными с микроконтроллером DD1 посредством модуля UART;
- отправка сигналов на микросхему L6205 драйвера;
- считывание данных с датчика с помощью АЦП;

Также требуется разработать и предусмотреть в ПО микроконтроллера DD1 следующие функции:

- инициализация микроконтроллера и его интерфейсов взаимодействия с остальными узлами системы полива;
- обмен данными с микроконтроллером DD2 посредством модуля UART;
- обмен данными с блоком управления Orange pi посредством технологии Wi-Fi протокола TCP/IP;

4.2 Разработка алгоритмов работы системы полива

Разработанный алгоритм работы программы МК DD2 автоматического полива представлен на рисунке 4.1, а также на демонстрационном плакате ИУ4.11.03.2019.81.15.010 ПД1.

Алгоритм был разработан согласно требованиям ГОСТ 19.701-90.

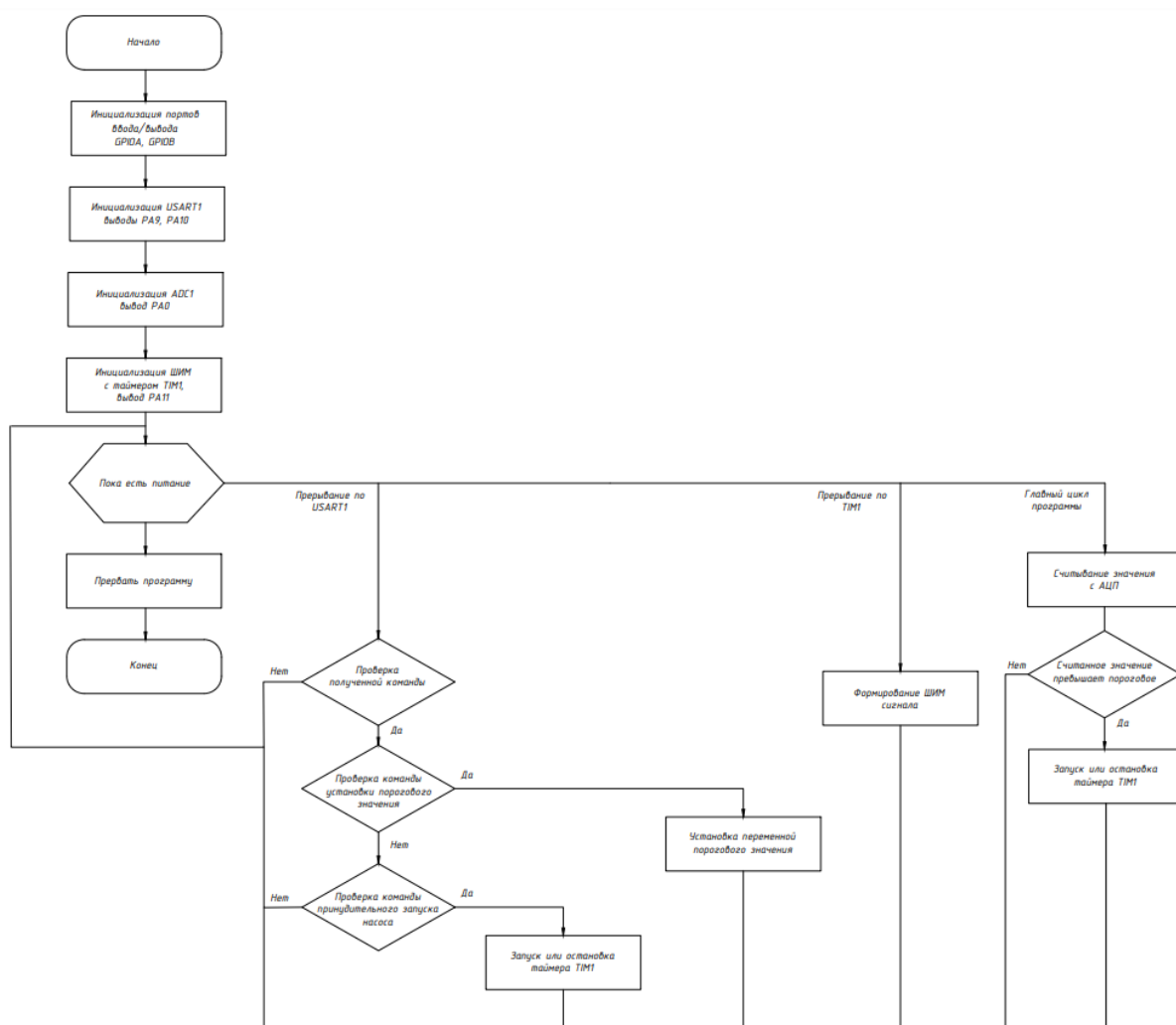


Рисунок 4.1 – Алгоритм работы МК STM32 системы полива

При включении питания блока полива происходит инициализация и первоначальная настройка МК, включая тактирование и установку нужных

режимов для GPIO, АЦП и встроенного модуля UART. По завершении инициализации МК блок полива переходит в обычный режим работы, когда в бесконечном цикле происходит проверка показаний, снятых с АЦП. Как только приходит команда по UART, работа программы МК приостанавливается, и запускается обработчик прерываний, в котором выставляется флаг, свидетельствующий о получении команды, листинг кода обработчика приведен в таблице 4.1. Далее, команда обрабатывается и выполняется соответствующая функция.

Таблица 4.1 – Листинг кода обработчика прерываний модуля UART

void USART1_IRQHandler(void)
{
char tmp;
if ((USART1->SR & USART_SR_RXNE)!=0)
{
tmp=USART1->DR;
if (tmp==0x0D)
{
Command=true;
return;
}
RxBuffer[strlen(RxBuffer)] = tmp;
}

Далее, команда обрабатывается и выполняется соответствующая функция. Листинг кода приведен в таблицах 4.2, 4.3.

Таблица 4.2 – Листинг кода обработчика команд

if (checkCmd(cmd4)) {
sensor_val = getVal(RxBuffer);
memset(RxBuffer,0,256);
memset(TxBuffer,0,256);
memmove(TxBuffer,"ok\r",256);
send_to_uart(TxBuffer);
memset(TxBuffer,0,256);
Command = false; return; }

Таблица 4.3 – Листинг кода обработчика команд

int getVal(char *str)
{
uint16_t i;
char value[256];
uint16_t result;
for (i = strlen(str); i >= 0; i--)
{
if (str[i] == '_') {
break;
}
value[strlen(str)-i-1] = str[i];
}
value[strlen(value)] = '\0';
reverseStr(value);
result = atoi(value);
memset(value, 0, 256);
return result;
}

Разработанный алгоритм работы программы МК DD1 системы полива представлен на рисунке 4.2, а также на демонстрационном плакате ИУ4.11.03.03.2019.81.15.011 ПД2.

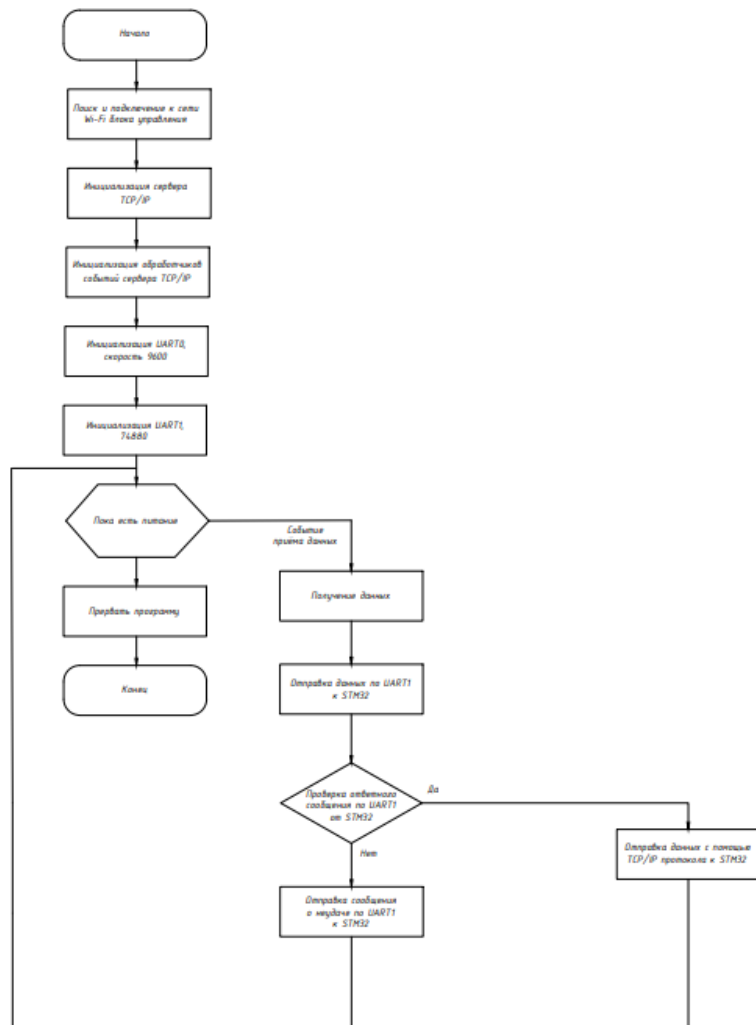


Рисунок 4.2 – Алгоритм работы МК ESP12E системы полива

При включении питания блока полива происходит инициализация и первоначальная настройка МК, включая тактирование и установку и встроенного модуля UART, настройку TCP/IP сервера. По завершении инициализации МК блок переходит в обычный режим работы, когда в бесконечном цикле осуществляется обмен данными с блоком управления и микроконтроллером DD2. Как только приходит команда по Wi-Fi от блока управления, работа программы МК приостанавливается, и запускается обработчик прерываний, в котором команда отсылается по модулю UART к DD2 в соответствующем формате. В случае, когда данные приходят с DD2, данные

обрабатываются аналогично и отсылаются по Wi-Fi на блок управления.

4.3 Требования к реализации алгоритмов работы внутреннего программного обеспечения МК

Программа микроконтроллера DD2 была разработана на языке программирования C в соответствии с алгоритмом работы. Отладка и программирование микроконтроллера осуществлялась с помощью среды разработки Keil uVision 5, которая содержит необходимый функционал для тестирования разработки ПО, в том числе и текстовый редактор с возможностью отладки по различным точкам программного кода. В качестве оборудования использовался комплект отладочной платы STM32F100 DISCOVERY, оснащенной программатором ST-LINK/V2 производства Швейцарской компании «STMicroelectronics».». Плата отладочного комплекта изображена на рисунке 4.3.



Рисунок 4.3 – Отладочная плата «STM32F100 DISCOVERY»

Программа микроконтроллера DD1 разработана на интерпретируемом языке программирования Lua в соответствии с алгоритмом работы. Отладка и программирование микроконтроллера осуществлялась с помощью среды разработки ESPLoer, которая содержит необходимый функционал для тестирования разработки ПО, в том числе и текстовый редактор с загрузкой файлов с программным кодом и выполнением их без перезагрузки контроллера. В качестве оборудования использовался USB-UART3.3V преобразователь, изображенный на рисунке 4.4.



Рисунок 4.4 – Отладочная плата «USB-UART3.3V»

Программирование микроконтроллера DD1 осуществлялось с помощью интерфейса USB и модуля UART.

4.4 Реализация алгоритмов работы внутреннего программного обеспечения

Задача реализации алгоритма сводится к тому, чтобы заставить функционировать периферию микроконтроллеров при определенных условиях. На рисунке 4.5 показана схема взаимодействия периферии системы полива, а также ее потоки данных.

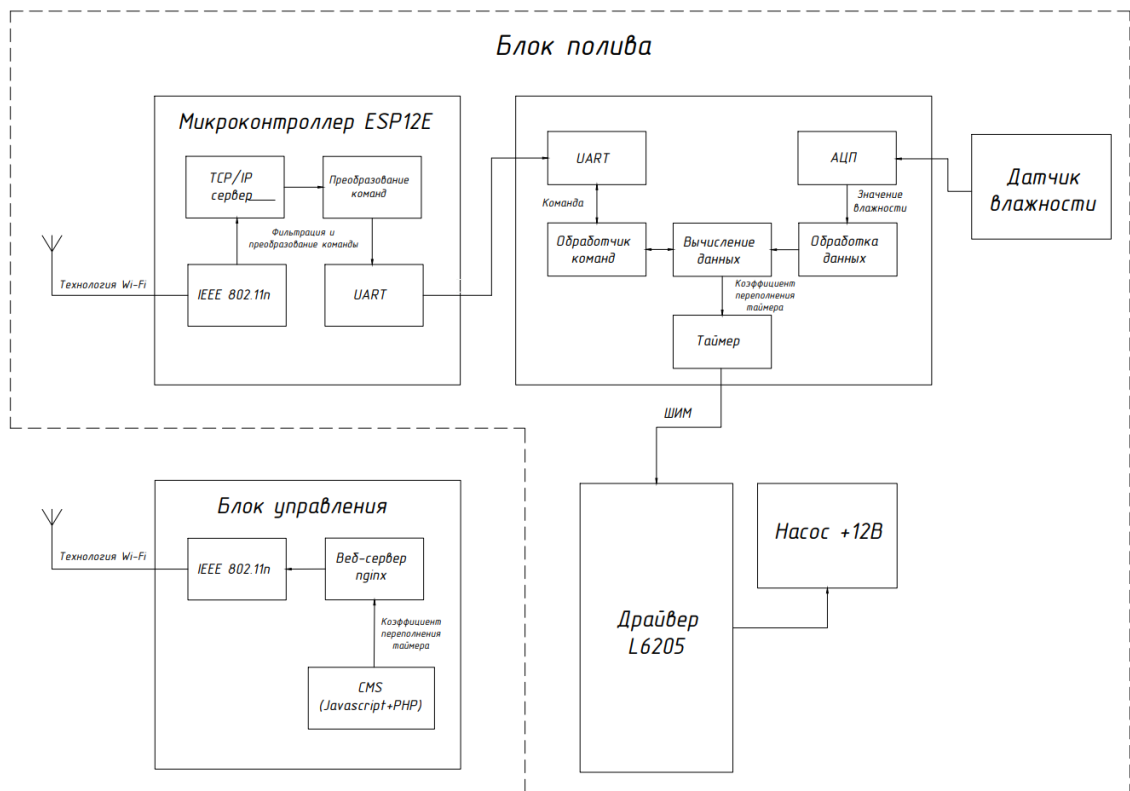


Рисунок 4.5 – Схема взаимодействия периферии системы полива

Говоря о периферии, подразумевается использование встроенных таймеров для формирования ШИМ сигнала, который управляет нагрузкой, использование модуля UART для обмена данными между микроконтроллерами, а также считывание показателей с датчика влажности по АЦП.

На микроконтроллере DD1 запущен TCP/IP сервер, который ожидает данные. После получения данных программа проверяет является ли это командой с блока управления, потом преобразует ее и отправляет по модулю UART к микроконтроллеру DD2. Стоит отметить, что после инициализации начинается поиск Wi-Fi сети блока управления, параметры которой задаются внутри программы.

При получении команды по модулю UART микроконтроллера DD2 определяется тип команды и вызывается соответствующая функция. Типы команд и их функциональное назначение:

1. "turn_off" – выключить формирование ШИМ;
2. "turn_on" – включить формирование ШИМ;

3. "sensor_val_get " – отправить текущее пороговое значение влажности;
4. "sensor_val_set " – установить пороговое значение влажности;
5. "sensor_val_current_get" – отправить текущее значение влажности;

В основном цикле программы микроконтроллера DD2 заложена постоянная обработка данных с датчика, при отклонении влажности от порогового значения вычисляется коэффициент переполнения таймера для формирования ШИМ определенной скважности. Формула для вычисления скважности:

$$V = P_{ARR} - ((F_{\Pi.} - F_T) \cdot K), \text{ где}$$

V – коэффициент переполнения таймера,

P_{ARR} – лимит счета таймера,

$F_{\Pi.}$ – пороговое значение влажности,

F_T – текущее значение влажности,

K – коэффициент, определяющий размах влажности.

Таким образом, при малой нехватке влажности будет сформирован ШИМ меньшей скважности, чтобы не превысить норму влажности растения.

Выводы

Проведена разработка алгоритмов работы внутреннего ПО МК DD2 и DD1. Алгоритм был разработан согласно требованиям ГОСТ 19.701-90.

Реализована разработка ПО, описано взаимодействие периферии. Обозначен основной функционал для реализации ПО, приведены соответствующие формулы.

Установлены требования к реализации алгоритмов работы ПО МК. Алгоритм работы ПО микроконтроллера DD2 реализован на языке программирования C. Компиляцию, отладку программы и программирование МК осуществлялась в среде Keil uVision5. Программирование и отладка МК должна осуществляться по интерфейсу USB с помощью программатора микроконтроллеров от фирмы «STMicroelectronics».

Алгоритм работы ПО микроконтроллера DD1 реализован на интерпретируемом языке программирования Lua. Отладка программы и программирование МК осуществлялась в среде ESPLorer. Программирование и отладка МК должна осуществляться по интерфейсу USB и модуля UART с помощью преобразователя USB-UART3.3V.

5 КОНСТРУКТОРСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОЛИВА

В главе представлены этапы конструкторского проектирования системы полива. Проведен анализ ПП системы полива, расположение слоёв печатных проводников ПП, а также материал изготовления ПП ячеек и разработана конструкция системы полива.

Проведены конструкторские расчёты, подтверждающие работоспособность разработанной конструкции блока полива в соответствии с техническим заданием.

5.1 Анализ и выбор конструкции и материала печатной платы системы полива

Плата системы полива представляет собой двустороннюю ПП с габаритными размерами 72×73 мм. На первом слое ПП находятся сигнальные проводники, а также положительные и отрицательные цепи питания. Весь второй слой ПП занимает полигон земли. Такое расположение земляного полигона обеспечило упрощение трассировки проводников на первом слое, а также экранирование печатных проводников первого слоя от электромагнитных помех. Прохождение электрических сигналов между первым и вторым слоем ПП обеспечивают металлизированные переходные отверстия. Монтаж КМП и КМО осуществляется со стороны первого слоя ПП, а также КМП со стороны второго слоя. ПП изготавливается комбинированным позитивным методом. [8]

Плата соответствует требованиям ГОСТ 23752-79 (группа жёсткости 2) и ГОСТ Р 53429-2009 (3 класс точности), шаг координатной сетки 0,5 мм.

Для изготовления печатной платы был использован стеклотекстолит FR-35/35-1.5 по ГОСТ 10316-78.

5.2 Выбор электрических соединений КМП и КМО на ПП

Для установки КМП на ПП использовалась паяльная паста MR-850-CS производства фирмы «Rusflux» (Россия). Также паяльная паста использовалась при фиксации компонентов на плате. Пайка производилась в паяльной печи.

Для установки КМО на ПП использовался припой ПОС-61 ГОСТ 21931-76 вместе с паяльной пастой MR-850-CS производства фирмы «Rusflux» (Россия). Пайка производилась в паяльной печи. Для компонентов, нуждающихся в формовке выводов пайка осуществлялась паяльником.

5.3 Анализ и выбор конструкции корпуса системы полива

Согласно техническому заданию, автоматический полив предполагается использовать при температуре окружающей среды от -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$, и влажностью воздуха 60% при 18°C . Корпус должен быть прочным, так как он является несущей конструкцией для системы полива, и иметь конструктивные особенности, позволяющие надёжно закрепить внутри электронную ячейку, а также устойчиво расположить блок полива на рабочем столе. Корпус должен защищать электронную ячейку от внешних воздействий и механических повреждений.

В результате проведённого анализа в качестве корпуса блока полива был выбран пластиковый корпус «G1202B» производства фирмы «Gainta Industries» (КНР). Чертёж данного корпуса изображён на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 – Корпус «G1202B»

Данный корпус обеспечивает просторное расположение компонентов системы полива, а верхняя и нижняя панели имеют достаточную площадь для размещения органов управления блока, а также входных, выходных разъёмов. Крышка корпуса была доработана: были выполнены 4 отверстия для 3 разъёмов и одного переключателя. Разъёмы необходимы для подключения датчика влажности, внешнего блока питания и насоса. Также, внутри для соединения разъёмов платы и разъёмов корпуса были разработаны 3 типа кабелей.

5.4 Анализ и выбор расположения и установки компонентов блока полива внутри корпуса

Расположение компонентов блока полива внутри корпуса должно обеспечивать удобство сборки и разборки блока полива, а также надёжное крепление компонентов системы полива в конструкции корпуса[9].

Было принято решение установить электронную ячейку на пластиковые крепления, высотой 5мм, расположены на основании корпуса. Электронная ячейка крепится на креплениях с помощью самонарезающих винтов.

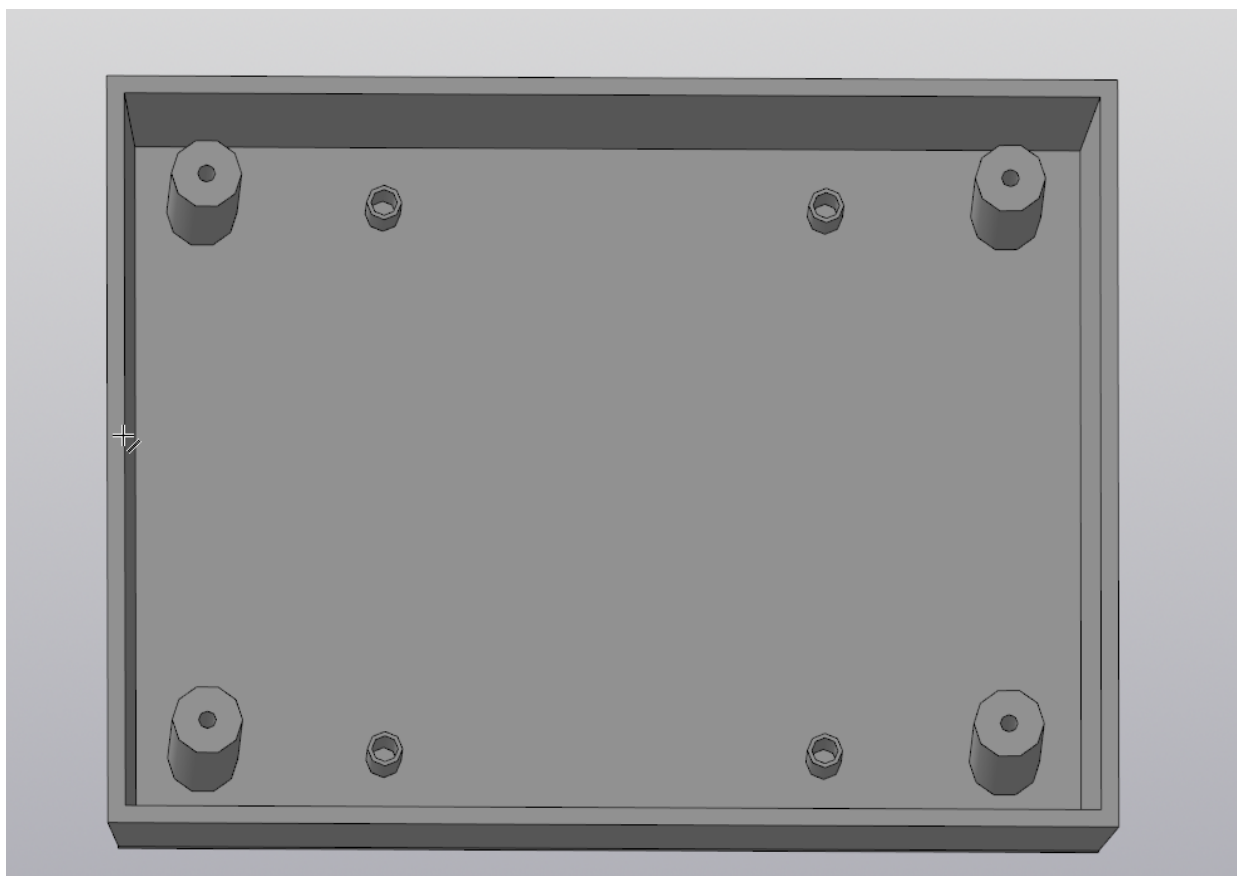


Рисунок 5.2 – 3D модель основания корпуса для установки электронной ячейки

На рисунке 5.2 изображена 3D модель основания корпуса, на ней показаны крепежные втулки, на которые крепится печатная плата и крышка корпуса.

5.5 Расчёт надёжности системы полива

В соответствие с расширенным техническим заданием вероятность безотказной работы в течение 1000 ч должна быть не менее 0,85 в соответствии с ГОСТ 13216-94.

Рассматриваемая система содержит большое число неремонтируемых компонентов, интенсивность отказов которых является постоянной во времени, поэтому в данном случае имеет место экспоненциальное распределение отказов ЭА. При этом, вероятность безотказной работы P в течение требуемого времени t выражается следующей формулой (1):

$$P_t = e^{-\lambda t} \quad (1),$$

где $\lambda = \sum \lambda_i$ – суммарная интенсивность отказов всех модулей системы полива.

Расчет надежности заключается в определении показателей надежности системы полива по известным характеристикам надежности составляющих компонентов и условиям эксплуатации.

Расчет надежности элементов в ячейке панели:

1) Тактовая кнопка FSM1LP.

Отказов / 10^6 час:

$$\lambda = (C_1 \pi_t + C_2 \pi_e)_q \pi_1 \quad (2),$$

где:

C_1 – комплексная интенсивность отказа кристалла;

C_2 – интенсивность отказа корпуса;

π_t – температурный фактор

π_e – фактор окружающей среды;

π_q – фактор качества;

π_1 – обучающий фактор.

Следовательно:

$$\lambda = (0,06 \times 0,29 + 9,0 \times 10^{-5}(16)^{1,51} \times 2) \times 1 \times 1,5 = 0,043 \quad (3),$$

2) Чип конденсатор керамический.

$$\text{Отказов} / 10^6 \text{ час: } \lambda = \lambda_b \pi_{cv} \pi_q \pi_e \quad (4),$$

где:

λ_b – базовая интенсивность отказа;

π_{cv} – фактор емкости;

π_e – фактор окружающей среды;

π_q – фактор качества;

Следовательно:

$$\lambda = 0,0005 \times 1,6 \times 2 \times 1 = 0,0016$$

3) Чип резистор.

Отказов / 10^6 час:

$$\lambda = \lambda_b \pi_{cv} \pi_{sr} \pi_q \pi_e \quad (5),$$

где:

λ_b – базовая интенсивность отказа;

π_{cv} – фактор емкости;

π_{sr} – фактор последовательного сопротивления;

π_e – фактор окружающей среды;

π_q – фактор качества;

Следовательно:

$$\lambda = 0,00057 \times 1,3 \times 0,1 \times 2 \times 1 = 0,0001$$

4) Разъем PLD.

Отказов / 10^6 час:

$$\lambda = \lambda_b \pi_k \pi_p \pi_e \quad (6),$$

где:

λ_b – базовая интенсивность отказа;

π_k – фактор соединений/разъединений;

π_p – фактор активных контактов;

π_e – фактор окружающей среды;

Следовательно:

$$\lambda = 0,00045 \times 1 \times 1,4 \times 7 = 0,0046$$

5) Разъем PBS.

Отказов / 10^6 час:

$$\lambda = \lambda_b \pi_k \pi_p \pi_e \quad (7),$$

где:

λ_b – базовая интенсивность отказа;

π_k – фактор соединений/разъединений;

π_p – фактор активных контактов;

π_e – фактор окружающей среды;

Следовательно:

$$\lambda = 0,00047 \times 1 \times 1,4 \times 7 = 0,0046$$

6) Кварцевый резонатор.

Отказов / 10^6 час:

$$\lambda = 0,216$$

7) Микросхема аналоговая.

Отказов / 10^6 час:

$$\lambda = \lambda_b \pi_t \pi_a \pi_q \pi_e \quad (8),$$

где:

λ_b – базовая интенсивность отказа;

π_t – температурный показатель;

π_a – фактор применения;

π_q – фактор качества;

π_e – фактор окружающей среды;

Следовательно:

$$\lambda = 0,0012 \times 1,4 \times 0,7 \times 0,7 \times 0,7 \times 6 = 0,05$$

8) Микросхема цифровая.

Отказов / 10^6 час:

$$\lambda = \lambda_b \pi_t \pi_a \pi_q \pi_e \quad (9),$$

где:

λ_b – базовая интенсивность отказа;

π_t – температурный показатель;

π_a – фактор применения;

π_q – фактор качества;

π_e – фактор окружающей среды;

Следовательно:

$$\lambda = 0,0012 \times 1,4 \times 0,7 \times 0,7 \times 0,7 \times 6 = 0,1$$

9) Чип конденсатор электролитический.

Отказов / 10^6 час:

$$\lambda = \lambda_b \pi_t \pi_a \pi_q \pi_e \quad (10),$$

где:

λ_b – базовая интенсивность отказа;

π_t – температурный показатель;

π_a – фактор применения;

π_q – фактор качества;

π_e – фактор окружающей среды;

Следовательно:

$$\lambda = 0,0012 \times 1,4 \times 0,7 \times 0,7 \times 0,7 \times 6 = 0,1$$

10) Разъем на корпус.

Отказов / 10^6 час:

$$\lambda = 0,0005$$

В таблице 5.1 приведены результаты расчета интенсивности отказов компонентов узлов системы полива, справочные данные интенсивности отказов компонентов, а также количество соответствующих ИЭТ. Также в таблице учтены соединения пайкой, которые имеют собственную интенсивность отказов.

Таблица 5.1 – Расчетные и справочные данные интенсивности отказов компонентов узлов системы полива

ИЭТ	Интенсивность отказов, $\lambda_i * 10^{-6} \text{ ч}$	Количество, n
Кнопка тактовая	0,05	2
Разъем PBS	0,216	1
Разъем PLD	0,28	2
Чип конденсатор кер.	0,0016	14
Чип резистор	0,0001	8
Кварцевый резонатор	0,004	2
Микросхема цифровая	0,05	1
Микросхема аналоговая	0,06	8
Чип конденсатор эл.	0,05	5
Разъем на корпус	0,0005	3
Клеммник	0,0003	2
Соединение пайкой	0,03	149

Рассчитаем суммарную интенсивность отказов:

$$\lambda = \sum \lambda_i * n_i \quad (11),$$

$$\lambda = 6,16 \times 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Тогда вероятность безотказной работы $P(t)$ в течение 1000 ч, рассчитанная по формуле (2), будет равна 0,993.

Так как $0,993 > 0,85$, рассчитанная вероятность безотказной работы системы полива в течение 1000 ч удовлетворяет условиям, заданным в техническом задании.

5.6 Расчет максимальной потребляемой мощности системы полива

В соответствии с расширенным техническим заданием, необходимо, чтобы максимальная потребляемая мощность разрабатываемой системы полива во время подключения нагрузки не превышала установленного значения.

Расчет максимальной потребляемой мощности сводится к подсчету потребляемых мощностей компонентов принципиальной схемы системы полива, а именно: 2 микроконтроллера – DD1 и DD2, 2 микросхемы – DA1 и DA2. Максимальной потребляемой P_{\max} мощностью системы полива считается сумма максимальных мощностей изложенных выше компонентов $P_{i\max}$ принципиальной схемы.

$$P_{\max} = \sum P_{i\max} \quad (12),$$

1. Микроконтроллеры подключены к питающему напряжению $U = 3.3B$, а их максимальные токи потребления I_{\max} можно найти в документации. Таким образом, можно вычислить максимальную потребляемую мощность с помощью следующей связи:

$$P_{i\max} = I_{\max} \cdot U \quad (13),$$

Максимальный ток потребления микроконтроллера DD1 составляет $I_{\max} = 60mA$, найдем потребляемую мощность:

$$P_{DD1\max} = 0.06 \cdot 3.3 = 0.198 Bm$$

Максимальный ток потребления микроконтроллера DD2 составляет $I_{\max} = 150mA$, найдем потребляемую мощность:

$$P_{DD2\max} = 0.15 \cdot 3.3 = 0.495 Bm$$

Итоговое максимальное потребление мощности микроконтроллеров DD1 и DD2:

$$P_{DD1-DD2\max} = 0.495 + 0.198 = 0.693 Bm$$

2. Микросхема DA1 представляет из себя преобразователь постоянного напряжения, согласно документации, ее КПД η составляет 95%, а питается она

от источника напряжения $U = 12B$. Найдем ее потребляемую мощность:

$$P_{DA1 \max} = (1 - \eta) \cdot U = 0.6 Bm \quad (14),$$

Микросхема DA2 является драйвером, которая управляет нагрузкой, она работает от постоянного напряжения $U = 12B$ и выдает ток $I_{DA2 \max} = 1.2A$, потребляемый насосом системы полива во время пуска или большой нагрузки. Согласно документации на микросхему DA2, мощность, которая обращается в тепло составляет $P_{DA2 \text{ ТЕП}} = 2.2 Bm$, работая в таких условиях. Зная вышеуказанный параметры, найдем ее максимальную потребляемую мощность.

$$P_{DA2 \max} = P_{DA2 \text{ ТЕП}} + U \cdot I_{DA2 \max} = 16.6 Bm \quad (15),$$

Общая потребляемая мощность микросхем DA1, DA2:

$$P_{DA1-DA2 \max} = 17.2 Bm$$

3. Найдем общую максимальную потребляемую мощность:

$$P_{\max} = 17.2 + 0.693 = 17.893 Bm$$

Таким образом, значение полученной максимальной мощности не превышает установленного в расширенном техническом задании. Стоит отметить, что во время работы потребляемая мощность редко доходит до максимального значения, т.к. насос не всегда работает в полную мощность, а также не всегда используется вся периферия, имеющаяся в системе полива.

5.7 Тепловой расчёт системы полива

Целью расчета является определение температур нагретой зоны и нагретой среды вблизи поверхности ЭРЭ, необходимых для стабильной работы системы полива. В него входят: расчёт температуры корпуса системы полива, расчёт средне-поверхностной температуры нагретой зоны системы полива, расчёт температуры корпуса элемента DA2 системы полива.

Размеры корпуса системы полива:

- длина $l = 0,11$ м;
- высота $h = 0,02$ м;
- ширина $a = 0,081$ м.

Далее будут приведены различные этапы расчета.

5.7.1 Расчёт температуры корпуса системы полива

Согласно документации на микросхему DA2, назначим максимальную мощность, рассеиваемую блоком в виде тепла, $P_0 = 2.5$ Вт.

Максимальная окружающая температура: $t_k = 18^0\text{C}$

Рассчитываем удельную поверхностную мощность корпуса блока:

$$q_k = \frac{P_0}{S_k} = \frac{P_0}{2(l \cdot h + l \cdot a + a \cdot h)} = 98,19 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right) \quad (16),$$

По графику, представленному на рисунке 5.2, задается перегрев корпуса блока в первом приближении: $\Delta t_k = 10,42^\circ \text{C}$.

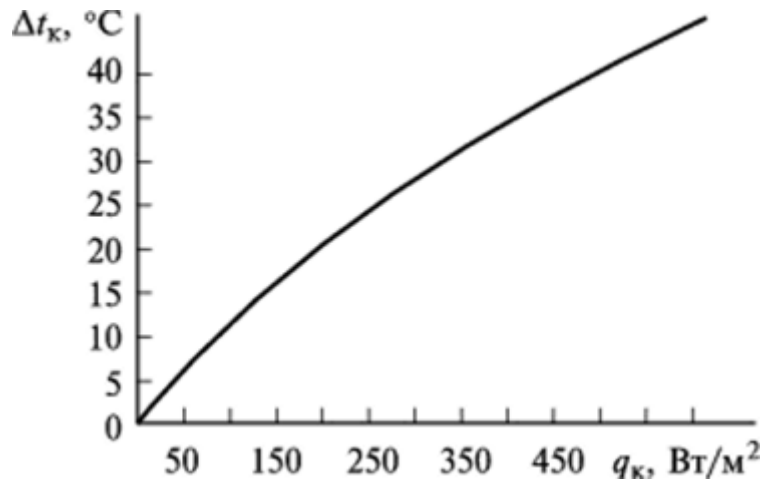


Рисунок 5.2 – Зависимость перегрева корпуса блока от удельной поверхности мощности

Определяем коэффициент лучеиспускания для всей поверхности корпуса:

$$\alpha_{\text{ли}} = \varepsilon_i \cdot 5.67 \cdot \frac{\left[\left(\frac{t_k + \Delta t_k + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_k + 273}{100} \right)^4 \right]}{\Delta t_k} = 4,71 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}} \right) \quad (17),$$

Где:

$\varepsilon_i = 0,8$ – степень черноты поверхности корпуса из пластика;

$t_m = 18^\circ \text{C}$ – нормальная температура окружающей среды.

Для определяющей температуры $t_m = t_k + 0.5\Delta t_k = 23,21^\circ \text{C}$ t_m рассчитаем число

Грасгофа Gr для всех поверхностей корпуса.

$$Gr_{mh} = \beta_m g \frac{h^3}{\nu_m^2} \Delta t_k = \frac{1}{t_m + 273} g \frac{L_{\text{опрвн}}^3}{\nu_m^2} \Delta t_k = \frac{1}{t_0 + 0.5\Delta t_k + 273} g \frac{L_{\text{опрвн}}^3}{\nu_m^2} \Delta t_k = 0,437 \cdot 10^9 \quad (18),$$

где:

$L_{\text{опрвн}}$ — длина поверхности корпуса

β_m — коэффициент объемного расширения

g — ускорение свободного падения

ν_m — кинетическая вязкость газа,

Определим число Прандтля Pr для определяющей температуры $t_m = 29,1^\circ\text{C}$. Число Прандтля $Pr = 0,7023$.

Найдём режим движения газа, обтекающего каждую поверхность корпуса. Для этого определим произведение $Gr \cdot Pr$ для всех поверхностей корпуса:

$G_r \cdot P_r = 0,437 \cdot 10^8 \cdot 0,7023 = 3,06 \cdot 10^7 > 2 \cdot 10^7$, поэтому это режим турбулентный.

Рассчитаем коэффициент теплообмена конвекцией α_{ki} для поверхности корпуса блока α_{ki} для турбулентного режима:

$$\alpha_{ki} = 0,135 \cdot \frac{\lambda_m}{L_{\text{опрвн}}} (G_r \cdot P_r)^{1/3} N_i \quad (19),$$

Где $\lambda_m = 2,79 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ — теплопроводность воздуха.

N_i — коэффициент, учитывающий ориентацию поверхности корпуса

$$N_i = \begin{cases} 0,7 - \text{для нижней поверхности} \\ 1 - \text{для боковой поверхности} \\ 1,3 - \text{для верхней поверхности} \end{cases}$$

Для нижней поверхности: $\alpha_{kn} = 3,3$, где $N_i = 0,7$

Для верхней поверхности: $\alpha_{kv} = 6,2$, где $N_i = 1,3$

Для боковой поверхности: $\alpha_{kb} = 6,7$, где $N_i = 1$

Определяем тепловую проводимость между поверхностью корпуса и окружающей средой σ_K :

$$\sigma_K = (\alpha_{kn} + \alpha_{ln}) \cdot S_n + (\alpha_{kb} + \alpha_{lb}) \cdot S_b + (\alpha_{kv} + \alpha_{lv}) \cdot S_v = 0,256 \quad (20),$$

Рассчитываем перегрев корпуса блока РЭА во втором приближении $\Delta t_{к.о}$:

$$\Delta t_{ко} = \frac{P_0}{\sigma_{\kappa}} \cdot K_{\kappa.п.} \cdot K_{н1} = 9,7664^{\circ}C \quad (21),$$

Определим ошибку расчёта:

$$\delta = \left| \frac{\Delta t_{ко} - \Delta t_k}{\Delta t_k} \right| = \left| \frac{9,7664 - 10,4}{10,4} \right| = 0,0674 < 0,1. \quad (22),$$

Значение ошибки находится в допустимых пределах $\delta \leq 0,1$, следовательно, расчеты выполнены верно.

Определим температуру корпуса t_k :

$$\text{Температура корпуса блока: } t_k = t_o + \Delta t_{ко} = 18 + 9,7664 = 27,7664^{\circ}C \quad (23).$$

5.7.2 Расчёт средне-поверхностной температуры нагретой зоны системы полива

Исходные данные размеров нагретой зоны (НЗ) системы полива:

- длина $l_n = 0,072\text{м}$;
- ширина $a_n = 0,073 \text{ м}$;
- высота $h_n = 0,0015 \text{ м}$.

Вычислим условную удельную поверхностную мощность НЗ блока q_3 , предварительно определив рассеиваемую мощность НЗ. Так как на корпусе системы полива не установлены тепловыделяющие элементы, возьмём $P_3 = 2.5$ Вт.

Условная удельная поверхностная мощность НЗ определяется по формуле:

$$q_3 = \frac{P_3}{1.82(l_n \cdot a_n + l_n \cdot h_n + a_n \cdot h_n)} = 260,79 \text{ Вт} / \text{м}^2 \quad (24),$$

– Перегрев нагретой зоны относительно температуры, окружающей блок среды:

$$\Delta t_3 = 26.98 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

– Коэффициент теплообмена излучением между нижними, верхними и боковыми поверхностями нагретой зоны и корпуса:

$$\alpha_{3..li} = \varepsilon_{ni} \cdot 5.67 \cdot \frac{\left[\left(\frac{t_o + \Delta t_3 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_k + 273}{100} \right)^4 \right]}{\Delta t_3 - \Delta t_{k.o}} = 15.6 \quad (25),$$

Где: ε_{ni} - приведенная степень черноты поверхности нагретой зоны и корпуса. $\varepsilon_{ni} = \left[\frac{1}{\varepsilon_{zi}} + \left(\frac{1}{\varepsilon_{ki}} - 1 \right) \frac{S_{zi}}{S_{ki}} \right]^{-1}$ (26),

Так как, материал платы сделан из стеклотекстолита, а корпус из пластика, поэтому $\varepsilon_3 = 0.5$ и $\varepsilon_k = 0.9$

– Для определяющей температуры $t_m = \frac{t_k + t_o + \Delta t_3}{2} = 36$. мы получим число

Прандтля $P_r = 0.7001$ и число Грассгофа $Gr_{36} = \beta_m g \frac{L_{\text{опрб}}^3}{\nu_m^2} \Delta t$ (27), для всех поверхностей:

Для боковой поверхности:

$$Gr_{ho} = 1.58 \cdot 10^3$$

Для нижней поверхности:

$$Gr_{hi} = 83,65$$

Для верхней поверхности:

$$Gr_{hv} = 1.1 \cdot 10^4$$

– Коэффициент конвективного теплообмена между нагретой зоной и корпусом:

Для нижней поверхности:

$$\alpha_{\text{эки}} = \frac{\lambda_m}{h_n} = \frac{2.9 \cdot 10^{-2}}{0.004} = 9,0653 \quad (28),$$

Для верхней поверхности:

$$\alpha_{\text{эв}} = 0.234 \left[6.25 - 5.25 \left(1 + \frac{h_6}{\sqrt{l_1 l_2}} \right)^{-5/3} \right] \lambda_m \cdot \frac{(Gr_{h6} P_\Gamma)^{0.25}}{h_6} = 9.7 \quad (29),$$

Для боковой поверхности:

$$\alpha_{\text{эб}} = 0.18 \left[6.25 - 5.25 \left(1 + \frac{h_6}{\sqrt{2(l_1 + l_2)l_3}} \right)^{-5/3} \right] \lambda_m \cdot \frac{(Gr_{h6} P_\Gamma)^{0.25}}{h_6} = 11.18 \quad (30),$$

– Тепловая проводимость между нагретой зоной и корпусом:

$$\sigma_{\text{з.к.}} = K_\sigma \sum_{i=\text{н,в,б}} (\alpha_{\text{эли}} + \alpha_{\text{эки}}) S_{\text{зи}} = 0,122 \quad (31),$$

Где: K_σ - коэффициент, учитывающий кондуктивный теплообмен; $K_\sigma = 1$

– Нагрев нагретой зоны $\Delta t_{\text{зо}}$ во втором приближении:

$$\Delta t_{\text{зо}} = \Delta t_{\text{к.о}} + \frac{P K_{\text{к.п.}} K_w K_{\text{н2}}}{\sigma_{\text{з.к.}}} \approx 29.4^\circ \text{C} \quad (32),$$

– Ошибка расчета: $\delta = \left| \frac{\Delta t_{\text{зо}} - \Delta t_{\text{з}}}{\Delta t_{\text{з}}} \right| = \left| \frac{29.4 - 26.98}{26.98} \right| = 0.0824 < 0.1$, расчет окончен.

– Температура нагретой зоны: $t_{\text{з}} = t_{\text{о}} + \Delta t_{\text{зо}} = 18 + 29.4120 = 47.4^\circ \text{C}$

5.7.3 Расчёт температуры корпуса элемента

Для блока полива определим температуру корпуса интегральной микросхемы DA2.

Исходные данные:

– размеры корпуса микросхемы 5x5x20 (ВxШxД) мм;

– толщина ПП $\delta_{\text{пп}} = 0,0015 \text{ м}$.

Определим эквивалентный коэффициент теплопроводности модуля системы полива, в котором расположена микросхема. Поскольку тепловых шин на плате нет, то для стеклотекстолита принимаем:

$$\lambda_{\text{экв}} = \lambda = 0.372 \frac{Bm}{m \cdot K}$$

Определим эквивалентный радиус корпуса микросхемы:

$$R = \sqrt{\frac{S_{\text{ОИС}}}{\pi}} = 0,056 \text{ м} \quad (33),$$

где $S_{\text{ОИС}} = 0.0001$ – площадь основания интегральной схемы.

Рассчитываем коэффициент распространения теплового потока.

$$m = \sqrt{\frac{a_1 + a_2}{\delta_n \lambda_{\text{экв}}}} = 174.5 \quad (34),$$

где $a_1 + a_2 = 17 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – сумма коэффициентов теплообмена с 1-й и 2-й сторон ПП для естественного теплообмена.

Определим искомый перегрев поверхности корпуса микросхемы, предварительно определив ряд необходимых для вычислений параметров.

Рассчитываем среднеобъёмный перегрев воздуха в блоке:

$$\Delta t_{\text{с}} = \frac{\Delta t_{\text{КО}} + \Delta t_{\text{ЗО}}}{2} = 19.4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t_{\text{ИС}} = \Delta t_{\text{В}} + k \left[\frac{Q_{\text{ИС}}}{k_a (S_{\text{ИС}} - S_{\text{ОИС}}) + \frac{1}{\frac{\delta_3}{\lambda_3 \pi R^2} + \frac{1}{B + M \pi R \lambda_{\text{экв}} \delta_{\text{ПП}} m \frac{K_1(mR)}{K_0(mR)}}}} \right] = 81.6 \quad (35),$$

где $B = 0$ – условная величина, принятая для упрощения записи, для двустороннего расположения ИЭТ на ПП;

$M = 1$ – условная величина, принятая для упрощения записи, для двустороннего расположения ИЭТ на ПП;

$k = 1$ – эмпирический коэффициент, для корпусов микросхем, центр которых отстоит от краев ПП на расстояние более $3R$;

$k_a = 28 \frac{Bm}{mK}$ – коэффициент теплоотдачи от корпусов микросхем;

$\delta_3 = 10^{-3} \text{ м}$ – зазор между микросхемой и ПП;

$\lambda_3 = 0.026 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$ – коэффициент теплопроводности воздуха;

$Q_{\text{ИС}} = 2.4 \text{ Вт}$ – мощность, рассеиваемая микросхемой;

K_1 и K_0 – модифицированные функции Бесселя;

Определим температуру поверхности корпуса интегральной микросхемы:

$$t_{\text{ис}} = t_3 + \Delta t_{\text{ИС}} = 81.6 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (36),$$

Предложенные условия охлаждения посредством естественного конвективного теплообмена обеспечивают нормальную работу блока согласно паспортным данным микросхемы, соответственно, корректировка конструктивных параметров не требуется.

5.8 Расчет системы полива на механические воздействия

Механические нагрузки, воздействующие на РЭС, могут вызвать большие механические напряжения в их элементах, нарушить нормальные режимы работы или даже привести к выходу из строя тех или иных частей РЭС.

Целью расчета является определение действующих частот колебаний, которые могут привести к выходу из строя компонентов системы полива.

Исходные данные:

– Модуль Юнга: $E = 3.02 \cdot 10^{10} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$

– Коэффициент Пуассона: $\nu = 0.22$

– Масса ПП с элементами: $M = 0.164 \text{ кг}$

– Плотность материала: $\rho = 2.05 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Проектируемый прибор принадлежит к 6-ой группе РЭА, т.е. носимая и портативная РЭА, работающая на открытом воздухе. Прибор этой группе должны противостоять воздействию вибрации с параметрами: $f = 10 \dots 70 \text{ Гц}$ и

виброускорение – $37 \frac{M}{c^2}$.

Размеры платы:

– Длина: $a = 0.073$ м

– Ширина: $b = 0.72$ м

– Толщина: $h = 0.0015$ м

Вид закрепления: Крепление в четырех точках.

Для определения среднего значения собственной частоты воспользуемся зависимостью:

$$f_0 = \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{n^2}{a^2} + \frac{m^2}{b^2} \right) \cdot \left(\frac{D}{\rho \cdot h} \right)^{1/2} \quad (37),$$

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - 0.22^2)} = 8.93 \quad (38),$$

где: D – цилиндрическая жёсткость

Для оценки низшей собственной частоты: $m = n = 1$

$$f_0 = \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{1}{0.073^2} + \frac{1}{0.072^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{8.93}{2.05 \cdot 10^3 \cdot 1.5 \cdot 10^{-3}}} = 1018 \text{Гц} \quad (39),$$

Среднее значение собственной частоты с учетом массы присоединенных элементов:

$$f_1 = K_{\epsilon} f_0 = 0.56 \cdot 990 = 570 \text{Гц} \quad (40), \quad - \text{ для платы блока управления, где}$$

$$K_{\epsilon} = \left(1 + \frac{m_{mn}}{m_{\text{ЭРЭ}}} \right)^{-1/2} = \left(1 + \frac{0.11}{0.05} \right)^{-1/2} = 0.56 \quad (41), \quad - \text{ коэффициент влияния массы}$$

присоединенных элементов.

Теперь необходимо определить частоту работы насоса. Предполагается, что насос всегда работает под нагрузкой, т.к. опущен в воду. Зная его паспортные данные такие, как скорость оборотов, можно вычислить частоту работы насоса при напряжении 12В.

$$f_H = \frac{V}{60} \text{ (42),}$$

С учетом того, что насос будет работать на номинальной скорости $V = 1500 \frac{\text{Об}}{\text{мин}}$ используем получим:

$$f_H = \frac{1500}{60} = 25 \text{ Гц (43),}$$

Таким образом, получаем, что частота f_1 платы сильно больше частоты f_H работы насоса в номинальном режиме, что исключает вероятность возникновения резонанса.

Выводы

В данном разделе была проанализирована компоновка и конструкция системы полива для дальнейшей реализации этих данных при расчетах.

В результате анализа ПП ячейки блока полива были выбраны конструкция ПП, расположение слоёв печатных проводников ПП, а также материал изготовления ПП ячеек.

В результате анализа электрических соединений были выбраны припой и паяльная паста для установки КМО и КМП, соответственно, на ПП.

В результате анализа корпуса системы полива были предъявлены требования к конструкции корпуса системы полива. Исходя из поставленных требований, был выбран корпус стороннего производителя.

В результате анализа и выбора ячейки внутри системы полива были подобраны оптимальные варианты установки узлов системы полива в корпусе, а также выбраны способы фиксации данных узлов.

Был проведён расчёт надёжности системы полива, который показал, что вероятность безотказной работы системы полива соответствует требованиям, предъявленным в техническом задании.

Проведён расчет максимальной потребляемой мощности системы полива. Было установлено, что максимальная потребляемая мощность соответствует нормам, установленным в техническом задании.

Был проведён расчёт теплового режима блока системы полива, нагретой зоны блока полива системы полива, а также микросхемы DA1 системы полива. Полученное значение теплового режима микросхемы DA1 не выходит за рамки теплового режима, рекомендуемого фирмой-производителем микросхемы.

Был проведён расчёт воздействия вибрации на систему полива. Полученные значения частот вибраций печатной платы системы полива удовлетворяют требованиям, заявленным в техническом задании и не угрожают прочности системы полива.

6 ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОЛИВА

6.1 Анализ конструкторской документации блока полива системы полива

В состав прибора входят следующие сборочные единицы: основание корпуса, крышка корпуса, электронная ячейка, кабель питания, кабель питания насоса, кабель датчика, переключателя и 3 разъема.

Несущей конструкцией прибора является пластиковое основание корпуса. Конструкция корпуса обеспечивает надежное крепление и удобный монтаж узлов системы полива.

Крышка крепится к основанию корпуса с помощью самонарезающих винтов. Для подключения внешних функциональных блоков применяются разъемы, которые внутри скоммутированы с платой при помощи проводов и клемм.

6.1.1 Корпус

Основание корпуса. Основание корпуса имеет трапецеидальную форму в объеме с толщиной стенок 2мм. Внутри корпуса расположены крепежные втулки в количестве 8 штук, 4 из них предназначены для крепления элементарной ячейки, другие 4 для крепления крышки корпуса.

Крышка корпуса. Крышка корпуса также имеет трапецеидальную форму в объеме с толщиной стенок 2мм. Она крепится к основанию с помощью 4 отверстий, находящихся сверху. На крышке находятся отверстия для крепления разъемов и переключателя.

6.1.2 Электронная ячейка

Устройство включает в себя 1 электронную ячейку, изображенную на чертеже ИУ411.03.03.19.81.15.007 СБ, на которой установлены ЭРЭ различных типов. Плата выполнена по третьему классу точности и покрыта защитной паяльной маской черного цвета. Все отверстия в плате металлизированные. На плате имеются монтажные отверстия для установки в корпус. Плата блока полива имеет металлизированные отверстия для крепления выводных компонентов, клеммников и разъемов. Остальные компоненты монтируются на поверхность.

ЭРЭ можно разделить на группы:

1. Компоненты без выводов, не требующие формовки: клеммник, микросхемы L6205 и DSN5000 (выводы заранее отформованы), разъемы PBS и PLD;

2. Компоненты с выводами, требующие формовки: - кварцевый генератор на 8МГц имеет 2 вывода, для единичного и мелкосерийного производства фиксацию рекомендуется производить с помощью пружинения выводов; при крупносерийном и массовом производстве фиксацию рекомендуется осуществлять за счет выводов, сформированных в зиг-замок;

3. Компоненты без выводов устанавливаются на поверхность платы. Монтаж элементов на плате двухсторонний. При единичном и мелкосерийном производстве возможно осуществлять пайку в печи; при крупносерийном и массовом производстве рекомендуется осуществлять пайку групповой заготовки также, в печи.

Пространственная компоновка имеет 2 уровня:

- 1-й уровень – безвыводные резисторы, конденсаторы, диоды, диоды и микросхемы;

- 2-й уровень – выводные компоненты.

Установка компонентов ведется с наименьшего уровня для удобства пайки.

На основе анализа конструкторской документации для разработки ТП сборки и монтажа поливающего блока необходимо предусмотреть поузловую сборку:

1. Сборка электронной ячейки.
2. Монтаж электронной ячейки на основание корпуса.
3. Сборка крышки корпуса с образованием посадочных мест под коммутационные элементы.

4. Сборка основания корпуса и крышки корпуса.
5. Проверка прибора на работоспособность.

Для сборки электронной ячейки и сборки прибора также следует предусмотреть следующие операции:

1. Распаковка и комплектование ЭРЭ.
2. Нанесение паяльной пасты.
3. Установка КМП
4. Пайка в печи
5. Установка КМО
6. Пайка паяльником
7. Формовка и Обрезка выводов
8. Промывка платы
9. Сушка платы
10. Визуальный и функциональный контроль

6.2 Анализ сборочного состава системы полива

6.2.1 Анализ сборочного состава блока полива полива


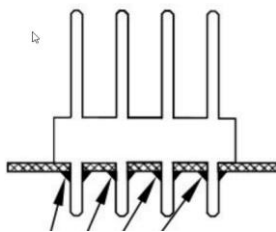

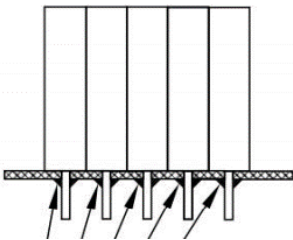

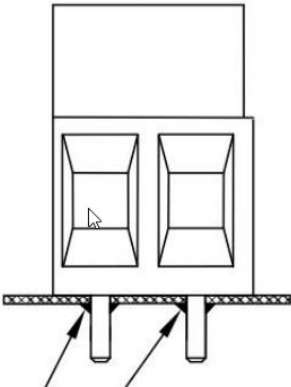
В пластмассовой крышке корпуса вырезаются соответствующие отверстия под разъемы и переключатель. Механически метод обработки – фрезерование. Электронная ячейка крепится на основание с помощью 4 самонарезающих

винтов ST2.9x6.5, которые вкручиваются в расположенные на основании корпуса втулки, высотой 5мм.


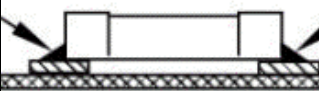

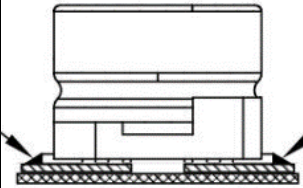





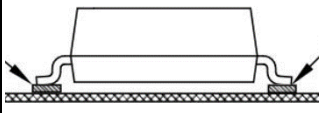

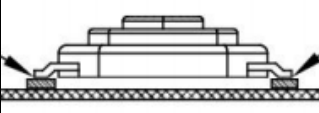
Крышка крепится к основанию корпуса с помощью 4 самонарезающих винтов ST2.9x6.5, которые вкручиваются в пластиковые втулки, расположенные на основании корпуса через отверстия на крышке.

Способы сборки деталей корпуса представлены в таблице 6.1, а также на чертеже ИУ411.03.03.19.81.15.009 СБ.


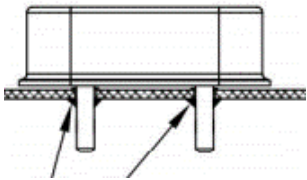

Таблица 6.1 – Варианты установки ИЭТ на ПП блока полива

№	Наименование	Вид элемента	Эскиз варианта установки	Характеристика варианта установки и способа фиксации
1	2		3	4
1	Разъем XP3			Установка без зазора, фиксация пайкой одного вывода в контактной группе
2	Разъемы XP5, XP4			Установка без зазора, фиксация пайкой одного вывода в контактной группе
3	Клеммники XP1, XP2			Установка без зазора, фиксация пайкой одного вывода в контактной группе

Продолжение таблицы 6.1.

4	Конденсаторы C2-C14 Резисторы R1-R8			Установка без зазора, фиксация на паяльную пасту
5	Конденсатор C1			Установка с зазором, фиксация на паяльную пасту
6	Микросхема DD1			Установка без зазора, фиксация на паяльную пасту
7	Микросхема DD2			Установка с зазором, фиксация на паяльную пасту
8	Диоды VD1, VD2			Установка с зазором, фиксация на паяльную пасту
9	Кнопки тактовые SW1, SW2			Установка без зазора, фиксация на паяльную пасту

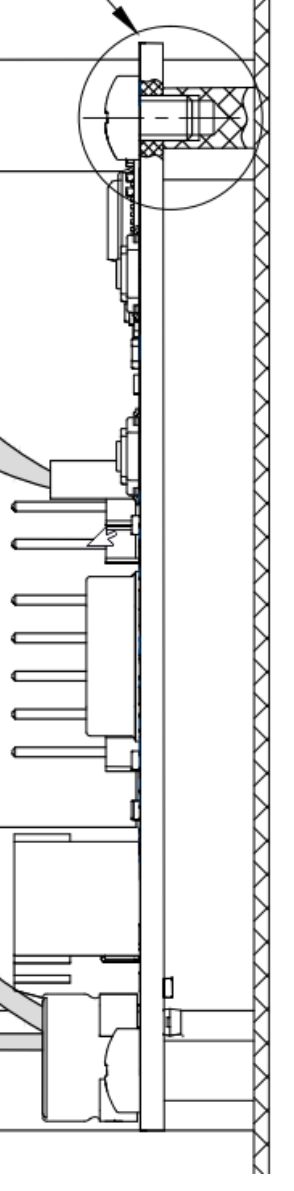
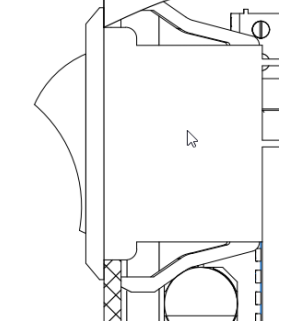
Продолжение таблицы 6.1.

10	Резонатор кварцевый ZQ1			Установка без зазора, фиксация пайкой одного вывода в контактной группе
11	Микросхема DA1			Установка без зазора, фиксация на паяльную пасту

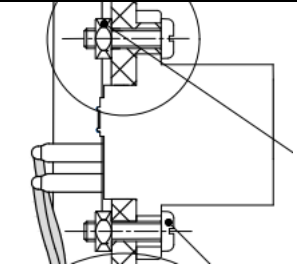
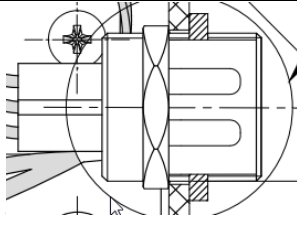
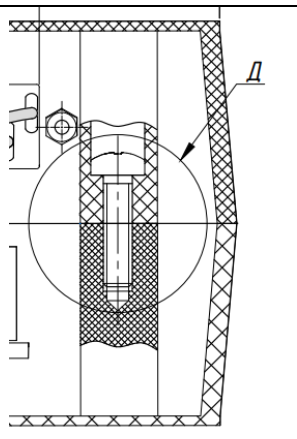
6.2.2 Анализ сборочного состава корпуса блока полива

Операции сборки корпуса включают установку ячейки электронной блока полива в основание корпуса, установки 3 разъемов и переключателя на крышку корпуса, а также установку крышки в сборе на основание корпуса. Эскизы вариантов установки и характеристики вариантов установки и способов фиксации приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Операции сборки корпуса

№ п/п	Наименование операции	Эскиз варианта установки	Характеристика варианта установки и способа фиксации
1	Крепление электронной ячейки		Крепление самонарезающими винтами.
2	Крепление переключателя		Установка переключателя с натягом. Натяг обеспечивается креплениями на переключателе.

Продолжение таблицы 6.2.

3	Крепления разъемов питания		Крепление разъема питания с помощью винтов.
4	Крепление разъема датчика		Установка разъема датчика. Фиксируется с помощью гайки, идущей в сборе с разъемом.
5	Крепление крышки корпуса к основанию		Установка крышки корпуса с помощью самонарезающих винтов.

6.3 Расчёт и анализ коэффициента технологичности конструкции

Коэффициенты для расчета и анализа технологичности системы полива для мелкосерийного производства [10] представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Коэффициенты для расчета и анализа технологичности блока полива

Наименование	Обозначение	Значение
Количество ИМС	$H_{ИМС}$	4
Количество других ИЭТ	$H_{ИЭТ}$	32

Продолжение таблицы 6.3.

Количество механизированных соединений	$H_{м.к.}$	61
Общее количество соединений	$H_{м.}$	149
Количество элементов, подготавливаемых механизированным путем	$H_{м.п.}$	19
Кол-во операций механизированного контроля	$H_{м.к.н.}$	2
Общее кол-во операций контроля	$H_{к.н.}$	2
Количество типов номиналов ИЭТ	$H_{т.ИЭТ}$	9
Кол-во типов номиналов оригинальных ИЭТ	$H_{ор.ИЭТ}$	1

Базовые показатели технологичности блока полива системы полива представлены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Базовые показатели технологичности блока полива системы полива для заданного объема выпуска

Наименование базового показателя	Расчётная формула	Значение	Коэффициент значимости ϕ_i
Коэффициент использования микросхем	$K_{uИМС} = \frac{H_{ИМС}}{H_{ИМС} + H_{ИЭТ}}$	0,11	1
Коэффициент механизации и автоматизации монтажа	$K_{а.м.} = \frac{H_{МК}}{H_{м}}$	0,53	1

Продолжение таблицы 6.4.

Коэффициент механизации подготовки к монтажу	$K_{мт.} = \frac{H_{мт}}{H_{ИМС} + H_{ИЭТ}}$	0,52	0,8
Коэффициент механизации контроля и настройки	$K_{МКН} = \frac{H_{м.к.}}{H_{HKM}}$	0	0,5
Коэффициент повторяемости ИЭТ	$K_{повИЭТ} = 1 - \frac{H_{тИЭТ}}{H_{ИЭТ} + H_{ИМС}}$	0,75	0,3
Коэффициент применяемости ИЭТ	$K_{примИЭТ} = 1 - \frac{H_{орИЭТ}}{H_{ИЭТ}}$	0,96	0,2

Определение комплексного показателя технологичности:

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^6 K_i \phi_i}{\sum_{i=1}^6 \phi_i} = \frac{(0,11 \cdot 1) + (0,43 \cdot 1) + (0,52 \cdot 0,8) + (0,75 \cdot 0,3) + (0,96 \cdot 0,2)}{3,8} =$$

$$= 0,64 + 0,416 + 0,225 + 0,192 = 0,4.$$

Полученное значение комплексного показателя технологичности блока полива системы полива соответствует нормативному комплексному показателю для мелкосерийного производства.

6.4 Разработка схемы сборки системы полива

Схема сборки нужна для описания последовательности основных сборочных операций и служит источником данных для разработки маршрутного ТП.

Для сборки и монтажа системы полива используется общая схема сборки с базовой деталью. В качестве базовой детали при сборке ячейки электронной, изображенной на чертеже ИУ4.11.03.03.2019.81.15.007 была выбрана плата печатная, а в качестве базовой детали при сборке системы полива было выбрано основание корпуса, в которое устанавливается ячейка электронная. Для ячейки блока полива была разработана промежуточная технологическая схема сборки, которые затем была добавлена в общую технологическую схему сборки. Общая технологическая схема сборки блока полива, включающая технологическую схему сборки ячейки электронной блока полива и технологическую схему сборки системы полива приведена на рисунке 6.3, а также на демонстрационном плакате ИУ4.11.03.03.2019.81.15.19 ПДЗ.

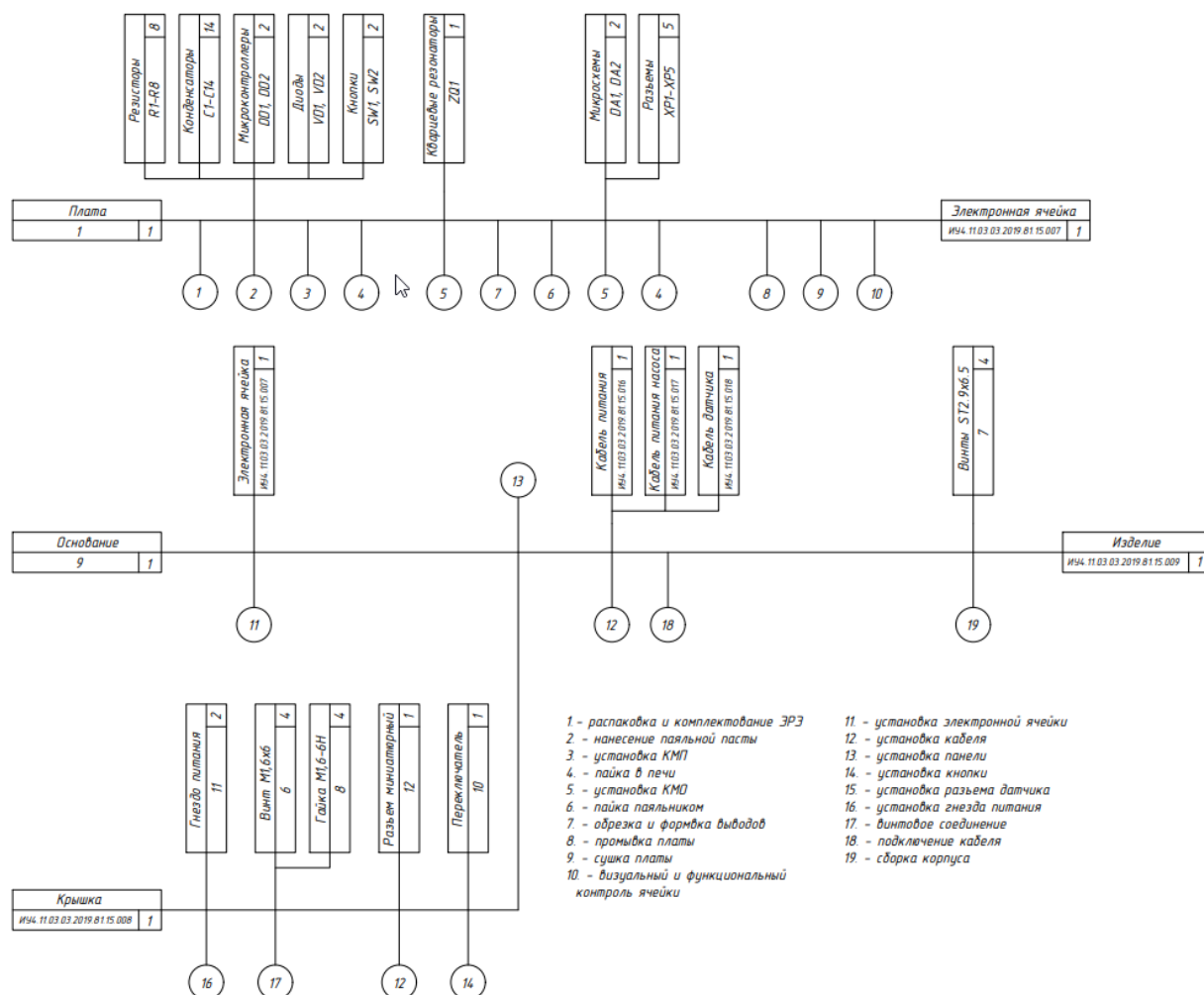


Рисунок 6.3 – Технологическая схема сборки системы полива

На общей технологической схеме сборки указана последовательность операций, причём для отдельных деталей, покупных изделий и стандартных изделий указаны их номера согласно спецификациям и их количество.

На предварительном этапе осуществляется распаковка и комплектование деталей корпуса и распаковка, и комплектование ИЭТ для дальнейшей работы с ними.

На первом этапе производится сборка электронной ячейки: устанавливаются КМП, затем осуществляется пайка оплавлением в печи, после чего устанавливаются КМО, нуждающихся в формовке, выполняется формовка с обрезкой выводов, потом осуществляется пайка паяльником, далее

устанавливаются КМО, не нуждающиеся в формовке и осуществляется пайка в печи. Далее выполняется промывка и сушка собранной ячейки. После сборки ячейки блока полива проводится визуальный и функциональный контроль ячейки.

На втором этапе электронная ячейка блока полива и блока источника устанавливается в основание корпуса системы полива при помощи самонарезающих винтов, которые вкручиваются в пластиковые втулки основания. После этого происходит сборка крышки корпуса. С помощью винтов крепятся разъёмы питания. Разъём питания датчика крепится с помощью гайки, поставляемой с ним в сборе. Устанавливается переключатель с помощью расположенных на нем креплений. Далее устанавливаются кабеля в разъёмы и подключаются к электронной ячейке и разъёмам.

На заключительном этапе сборки блок закрывается крышкой корпуса, которая закрепляется на основании корпуса самонарезающими винтами.

6.5 Расчёт и анализ такта выпуска

Анализ объема выпуска системы полива проводится для того, чтобы определить возможность выпуска изделий по определенному ТП в заданном объеме с установленными сроками путем сравнения штучного времени сборки системы полива с заданным тактом выпуска. По результатам анализа такта выпуска принимаются решения о необходимости изменения ТП, и даются рекомендации по выбору оборудования и оснастки, использованию групповых методов обработки.

Заданный объём выпуска $N_{\text{вып}} = 2000$ шт./год.

По заданному объёму выпуска определяется такт выпуска:

$$T_B = \frac{\Phi * 60}{N_{\text{вып}}}, \quad (71)$$

где T_B – такт выпуска, Φ – годовой фонд рабочего времени ($\Phi \approx 2070$ ч)
при односменной работе;

$N_{\text{вып}}$ – программа выпуска.

Тогда, по формуле (71):

$$T_B = \frac{\Phi * 60}{N_{\text{вып}}} = \frac{2070 * 60}{2000} = 62,1 \text{ мин/шт.}$$

Следовательно, производительность:

$$Q = \frac{60}{T_B} \approx 1 \text{ шт/ч.} \quad (72)$$

6.6 Разработка маршрутного технологического процесса сборки и монтажа

Маршрутно-операционный технологический процесс предназначен для описания последовательности выполнения операций технологического процесса, содержит информацию об оборудовании и времени выполнения каждой операции и является технологическим документом. На основании конструкторской документации и технологической схемы сборки создается маршрутно-операционный технологический процесс.

Исходные данные для заполнения маршрутной карты для сборки системы полива в серийном производстве представлены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Данные маршрутно-операционной карты для сборки системы полива в серийном производстве

№ операции и	Наименование операции	Оборудование и оснастка	Материалы и режимы	Т _{шт., с}
	Подготовка к сборке			

Продолжение таблицы 6.5.

10	Распаковка и комплектование ИЭТ	Стол монтажный, тара упаковочная, тара технологическая, ножницы		300
11	Извлечь элемент из тары упаковочной, положить на монтажный стол	Тара упаковочная, ножницы		10
12	Проверить визуально отсутствие у ИЭТ механических повреждений			10
13	Положить ИЭТ в технологическую тару согласно комплектовочной ведомости	Тара упаковочная, тара технологическая		10
	Повторить переходы 11-13 для всех элементов партии			
15	Распаковка и комплектование детали корпуса	Стол монтажный		120
16	Распаковать тару	Тара упаковочная, ножницы		10
17	Извлечь деталь из тары, проконтролировать визуально и положить в тару	Тара упаковочная, тара технологическая		10
	Повторить переход 16-17 для всех деталей корпуса			
	Сборка ячейки электронной			

Продолжение таблицы 6.5.

20	Нанесение паяльной пасты	Установка для нанесения паяльной пасты		125
21	Установить и зафиксировать групповую плату			25
22	Установить трафарет	Трафарет		25
23	Нанести паяльную пасту		Паяльная паста СТ- 61В ф. «СТ Brand» (КНР)	25
04	Отделить трафарет	Трафарет		25
25	Вынуть плату			25
30	Установка КМП	Установка для автоматического монтажа КМП		100
31	Установить и зафиксировать групповую плату			25
32	Установить манипулятор установки на нулевой отметке			25
33	Установить КМП			25
34	Вынуть групповую плату			25
35	Пайка в печи	Печь паяльная		360
36	Загрузить плату на транспортёр			30

Продолжение таблицы 6.5.

37	Произвести пайку оплавлением		Выдержка 90 с при температуре 180 °С	300
38	Вынуть плату			30
40	Установка КМО требующих формовку выводов	Стол монтажный, пинцет, тара технологическая, паяльник		50
41	Найти и извлечь элемент из технологической тары	Пинцет		5
42	Формовка и обрезка выводов	Пинцет, тара технологическая, кусачки		10
43	Установить элемент на плату согласно СБ	Пинцет		10
44	Паять элемент согласно СБ	Паяльник	Припой ПОС-61 ГОСТ 21931-86	15
45	Визуально проконтролировать правильность установки			10
50	Установка КМО без формовки	Стол монтажный, пинцет, тара технологическая, паяльная печь		100
51	Установить и зафиксировать групповую плату			25

Продолжение таблицы 6.5.

52	Установить манипулятор установки на нулевой отметке			25
53	Установить КМО			25
54	Вынуть групповую плату	Стол монтажный, пинцет, тара технологическая, паяльник		25
55	Пайка в печи	Печь паяльная		360
56	Загрузить плату на транспортёр			30
57	Произвести пайку оплавлением		Выдержка 90 с при температуре 180 °С	300
58	Вынуть плату			30
60	Промывка платы	Установка для промывки плат		620
61	Переложить плату из тары технологической в тару для промывки	Тара технологическая, тара для промывки		10
	Повторить переход 61 для всех плат партии			

Продолжение таблицы 6.5.

62	Поместить тару с платами в установку промывки и выдержать в смеси при установленном режиме	Тара для промывки	Дистиллированная вода при температуре 60 ± 5 °С, время $t = 10-15$ мин	600
63	Визуально проконтролировать правильность установки			5
65	Сушка платы	Сушильный шкаф		820
66	Переложить плату из тары технологической в поддон для сушки	Тара технологическая, поддон для сушки		10
	Повторить переход 66 для всех плат партии			
67	Поместить поддон с платами в сушильный шкаф и выдержать при установленном режиме	Поддон для сушки	Температура $T = 60 \pm 5$ °С, время $t = 10$ мин	600
68	Извлечь поддон с платами из сушильного шкафа, поставить на стол и выдержать при комнатной температуре	Поддон для сушки	Температура комнатная, время $t = 10-15$ мин	600
69	Переложить плату из поддона для сушки в тару технологическую	Поддон для сушки, тара технологическая		10

Продолжение таблицы 6.5.

70	Визуальный и функциональный контроль ячейки	Стол монтажный, испытательный стенд		200
71	Извлечь ячейку из тары и установить в стенд для контроля	Тара технологическая		25
72	Проконтролировать функционирование ячейки согласно инструкции по контролю	Испытательный стенд		75
73	Визуально проконтролировать качество сборки ячейки			75
74	Извлечь ячейку из стенда и положить в тару	Тара технологическая		25
	Сборка крышки			
75	Установка разъёма питания	Стол монтажный, гаечный ключ		50
76	Вставить разъём в отверстие на крышке	Стол монтажный		15
77	Установить винт и затянуть гайку ключом	Стол монтажный, гаечный ключ		35
	Повторить переход 76-77 для всех разъемов партии			
80	Установка разъёма датчика	Стол монтажный, гаечный ключ		50
81	Вставить разъём в отверстие на крышке	Стол монтажный		15

Продолжение таблицы 6.5.

82	Затянуть гайку ключом	Стол монтажный, гаечный ключ		35
85	Установка переключателя	Стол монтажный		30
86	Вставить переключатель и закрепить с помощью имеющихся у него креплений	Стол монтажный		30
	Сборка основания корпуса			
90	Установка крышки в сборе	Стол монтажный		10
91	Соединение крышки и основания	Стол монтажный		10
95	Установка электронной ячейки	Стол монтажный, отвертка		35
96	Достать элементарную ячейку из тары	Стол монтажный, тара технологическая		5
97	Закрепить электронную ячейку на основании с помощью самонарезающих болтов	Стол монтажный, отвертка		30
100	Установка кабеля питания	Стол монтажный, паяльник, тара технологическая		30
101	Достать кабель питания из тары технологической	Стол монтажный, тара технологическая		10
102	Присоединить кабель питания к электронной ячейке в соответствии с СБ.	Стол монтажный, отвертка		10

Продолжение таблицы 6.5.

103	Присоединить кабель питания к разъему питания и переключателю блока полива в соответствии с СБ.	Стол монтажный		10
105	Установка кабеля питания насоса	Стол монтажный, тара технологическая		30
106	Достать кабель питания насоса из тары технологической	Стол монтажный, тара технологическая		10
107	Присоединить кабель питания к электронной ячейке в соответствии с СБ.	Стол монтажный, отвертка		10
108	Присоединить кабель питания к разъему питания насоса блока полива в соответствии с СБ.	Стол монтажный		10
110	Установка кабеля датчика насоса	Стол монтажный, тара технологическая		30
111	Достать кабель датчика из тары технологической	Стол монтажный, тара технологическая		10
112	Присоединить кабель датчика к электронной ячейке в соответствии с СБ.	Стол монтажный		10

Продолжение таблицы 6.5.

113	Присоединить кабель питания к разъему датчика блока полива в соответствии с СБ.	Стол монтажный		10
	Сборка системы полива			
115	Установить крышку корпуса	Стол монтажный, отвертка		40
116	Зафиксировать крышку на основании и соединить крышку с основанием, закрутив крышку	Тара технологическая		40

Суммарное штучное время сборки системы полива в среднесерийном производстве составляет $T_{шт} = 3460$ с или 57,6 мин. Полученное значение штучного времени сборки системы полива $T_{шт} < T_v$ (заданного объема выпуска, $T_v = 62,1$ мин/шт). Это, в свою очередь, обеспечивает сборку системы полива в серийном производстве в соответствии с заданной производственной программой выпуска системы полива.

6.6 Разработка электронной модели системы полива

В основание корпуса устанавливается электронная ячейка, фиксируется с помощью винтового соединения самонарезающих винтов ST2.9x6.5 4 штуки.

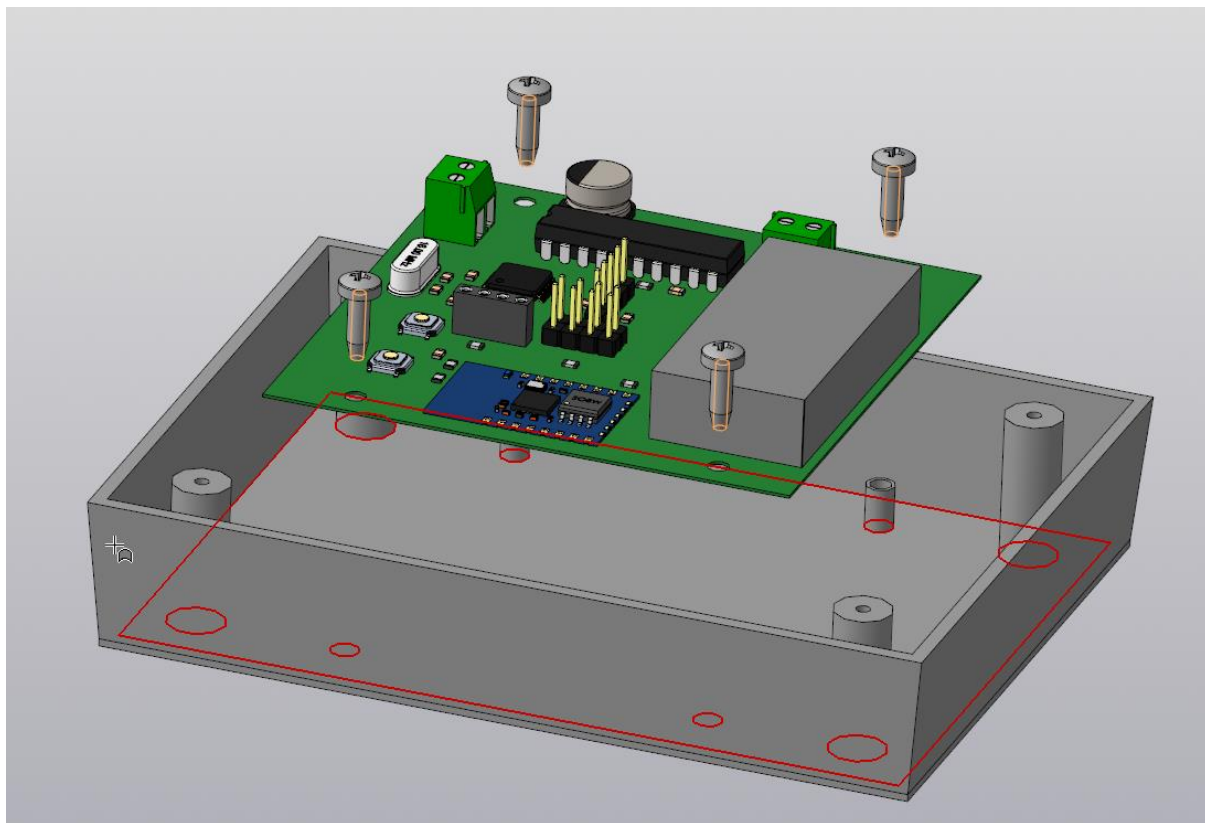


Рисунок 6.4 – Установка электронной ячейки

На крышку устанавливаются 2 разъема и фиксируются с помощью винтов M1.6x6 4 штуки и гаек M1.6-6H 4 штуки, переключатель, который имеет крепления для самостоятельной фиксации и еще 1 разъем, который крепится с помощью гайки, идущей в комплекте с ним.

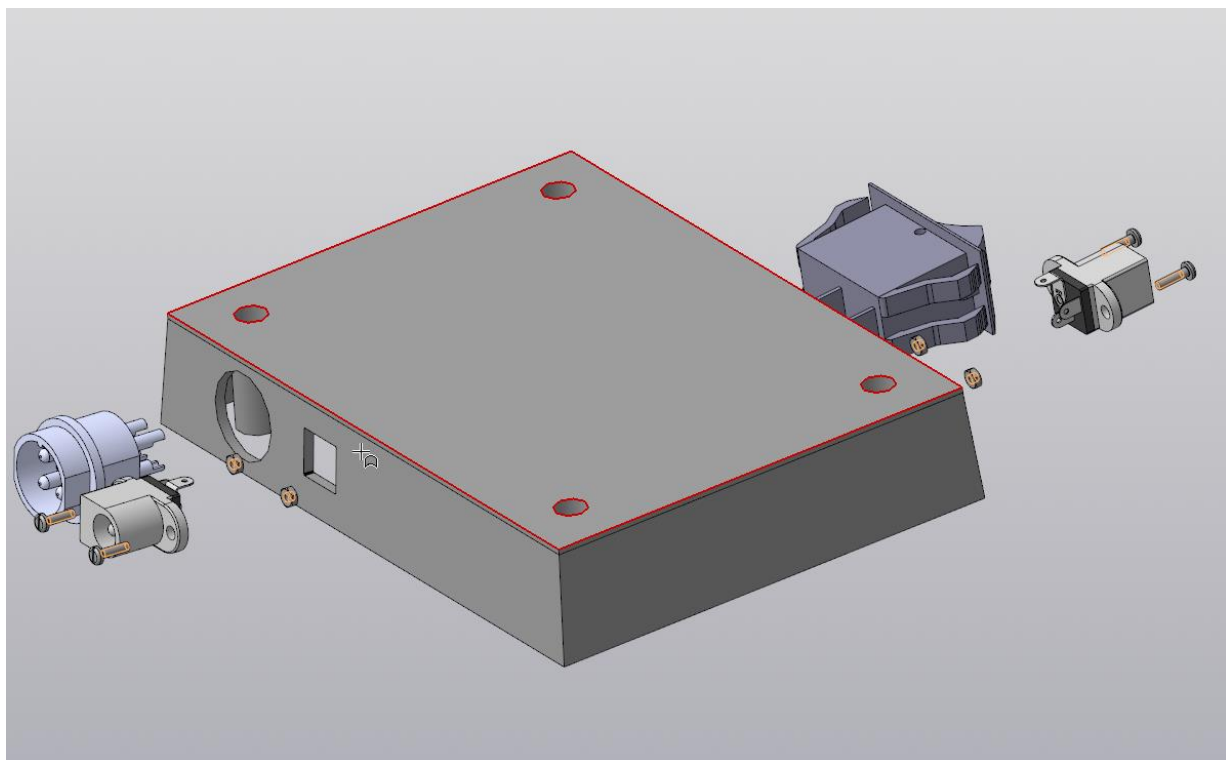


Рисунок 6.4 – Сборка крышки корпуса

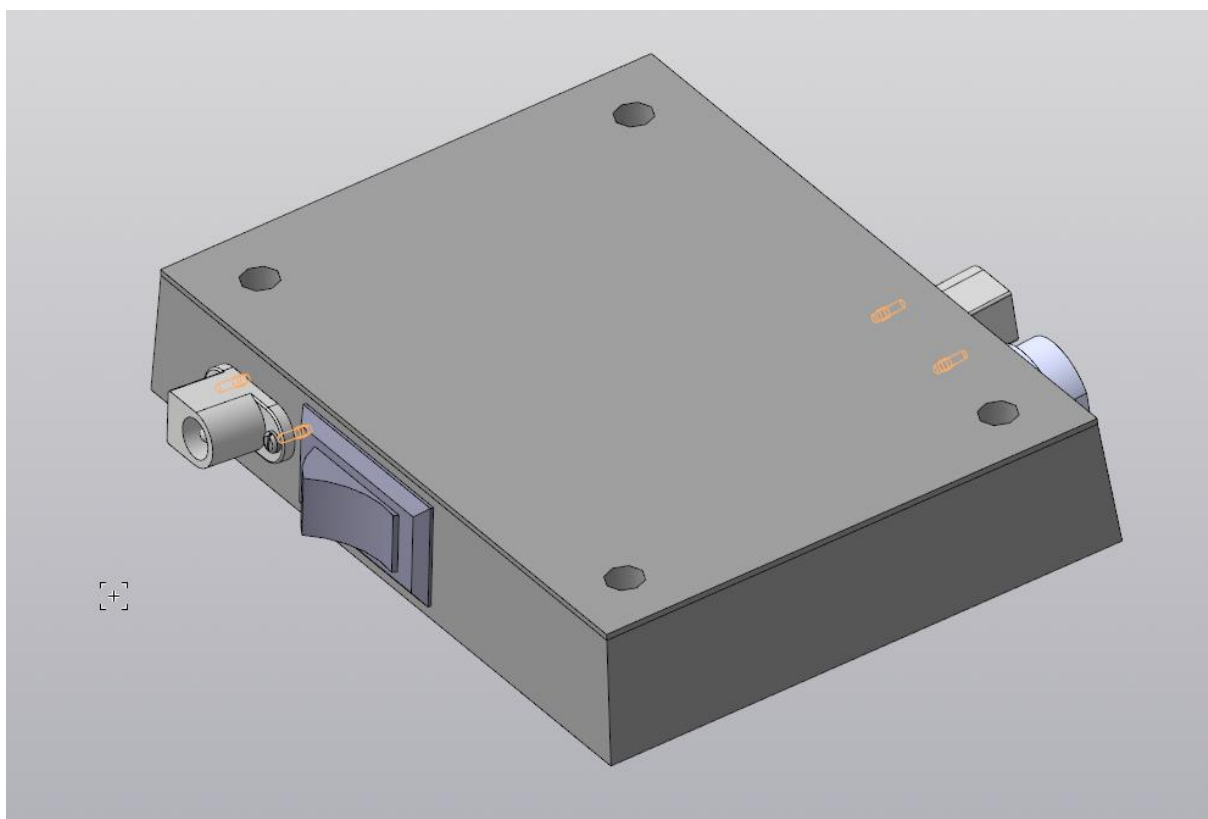


Рисунок 6.5 – Крышка корпуса в сборе

После того, как крышка собрана, выполнить электрические соединения и

соединить крышку корпуса с основанием с помощью самонарезающих винтов.

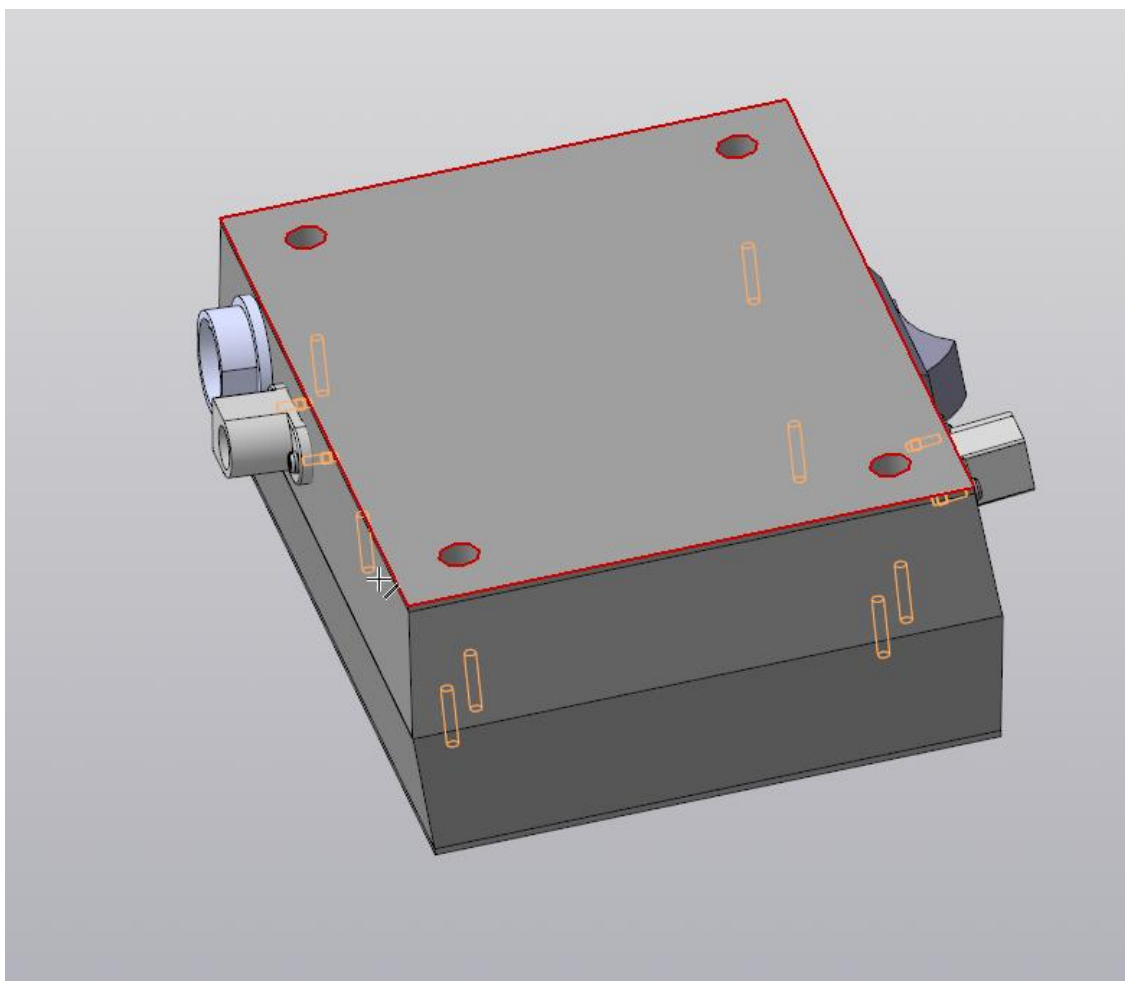


Рисунок 6.6 – Крышка корпуса в сборе

Блок полива в сборе представлен на рисунке 6.6.

Выводы

В данном разделе был разработан технологический процесс изготовления системы полива. На основе конструкторской документации, а также информации об объеме выпуска системы полива в мелкосерийном производстве в технологический процесс включены автоматизированные процессы установки компонентов, нанесения пасты, отмывки электронной ячейки системы полива. Были разработаны схема сборки системы полива и маршрутно-операционный технологический процесс.

7 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОЛИВА

В главе представлено экспериментальное исследование работоспособности системы полива. Собрана структурная схема измерительного стенда, с помощью которого определяется работоспособность разработанной системы. Выполнено тестирование работы датчика влажности почвы, а также возможности дистанционного управления через WEB-интерфейс. Проведен анализ результатов, полученных на опытном образце системы полива.

7.1 Разработка схемы электрической структурной измерительного стенда системы полива

Для системы полива был собран измерительный стенд, на котором проверяется работоспособность разработанного системы полива. Схема электрическая структурная измерительного стенда представленная на рисунке 7.1.

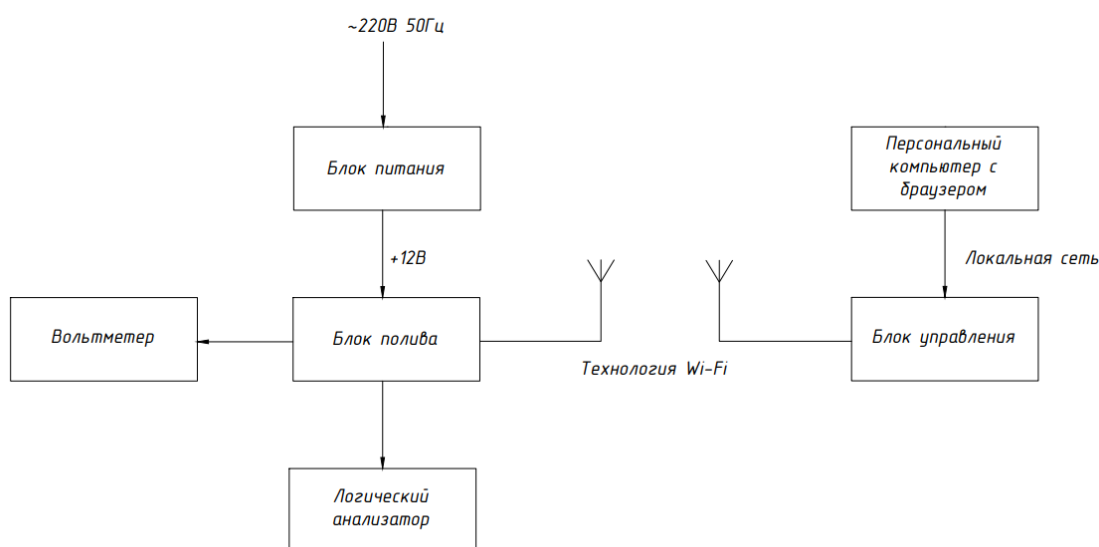


Рисунок 7.1 – Схема электрическая структурная измерительного стенда

В данном измерительном стенде вольтметр применяется для визуального контроля подачи питания в нагрузку, а также для фиксации работы датчика влажности почвы. Настройка порогового значения влажности производится из браузера персонального компьютера, находящегося в одной локальной сети с блоком управления. С помощью логического анализатора записывается выходной ШИМ сигнал, который управляет нагрузкой.

7.2 Результаты измерений выходного сигнала системы полива

Проверка работоспособности системы полива заключается в имитации изменения влажности путем смены порогового значения влажности через веб-интерфейс и перемещении датчика из более сухой среды в более влажную. Также, тестировалась работа веб-интерфейса на вывод и ввод данных. Данные снимались 3 раза при двух пороговых значениях: 2000 и 500, 3 положениях датчика влажности почвы: в сухой среде, в полувлажной и влажной. Сухой средой считается среда, в которой значение влажности сильно меньше порогового. Полувлажной средой считается среда, в которое значение влажности находится в диапазоне размаха влажности. Размах влажности – это диапазон значений, при котором насос будет работать не в полную силу, размахе равен диапазону от 0 до 500 единиц. Влажной средой считается среда, в которой значение влажности больше порогового.

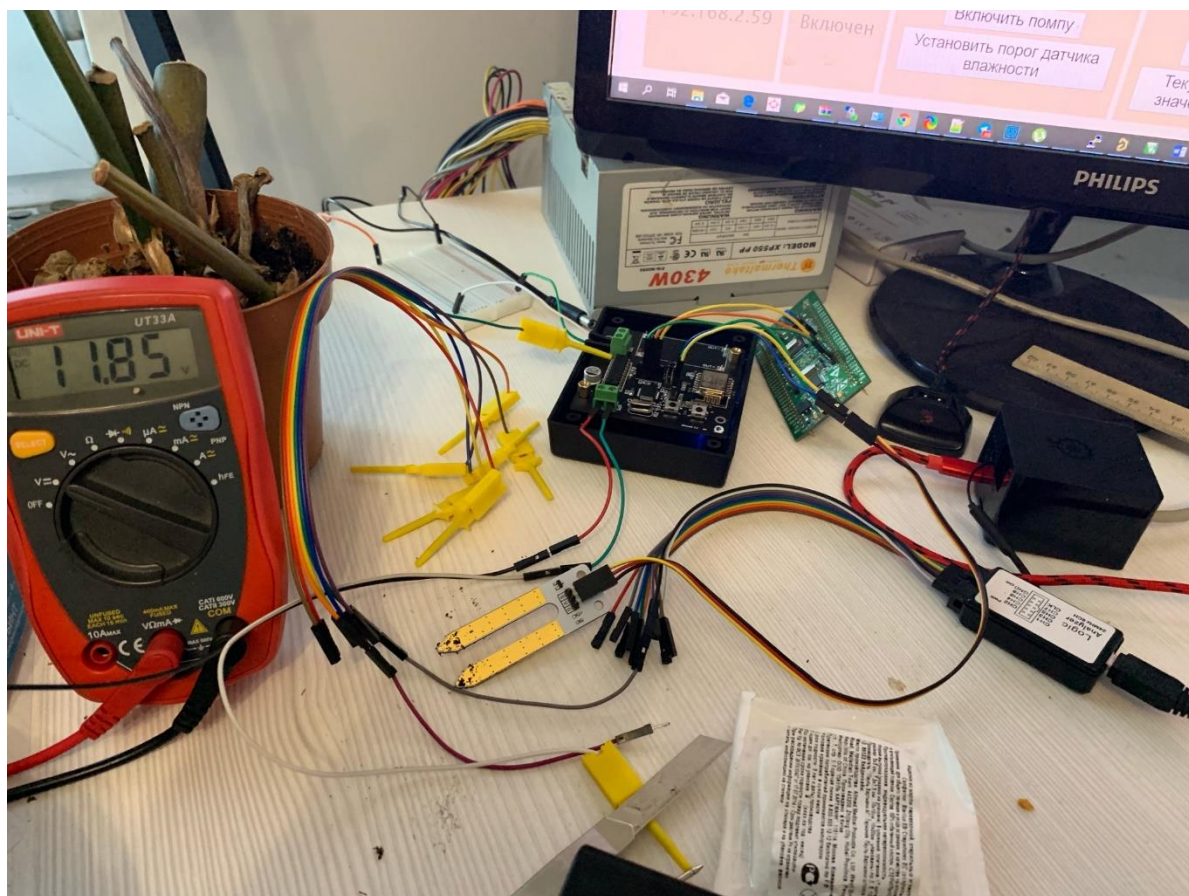


Рисунок 7.2 – Снятие показаний в сухой среде

На рисунке 7.2 продемонстрировано снятие показаний в сухой среде, значение вольтметра установилось на 12 В, что говорит о полной подаче питания.

На рисунке 7.3. изображена форма веб-интерфейса, на которой можно увидеть текущее пороговое значение влажности – 500 единиц, текущая влажность почвы составила 3 единицы.

Блок	Статус	Действие	Влажность
192.168.2.59	Включен	<div>Включить помпу</div> <div>Установить порог датчика влажности</div>	<div>500</div> <div>upd</div> <div>3</div> <div>Текущее значение</div>

Рисунок 7.3 – Данные веб-интерфейса при снятии показаний в сухой среде



Рисунок 7.4 – Формируемый ШИМ сигнал при снятии показаний в сухой среде

Показатели с веб-интерфейса свидетельствуют о том, что датчик находится в сухой среде и необходимо включить насос на полную мощность, о чем свидетельствует сформированный ШИМ сигнал на рисунке 7.4.

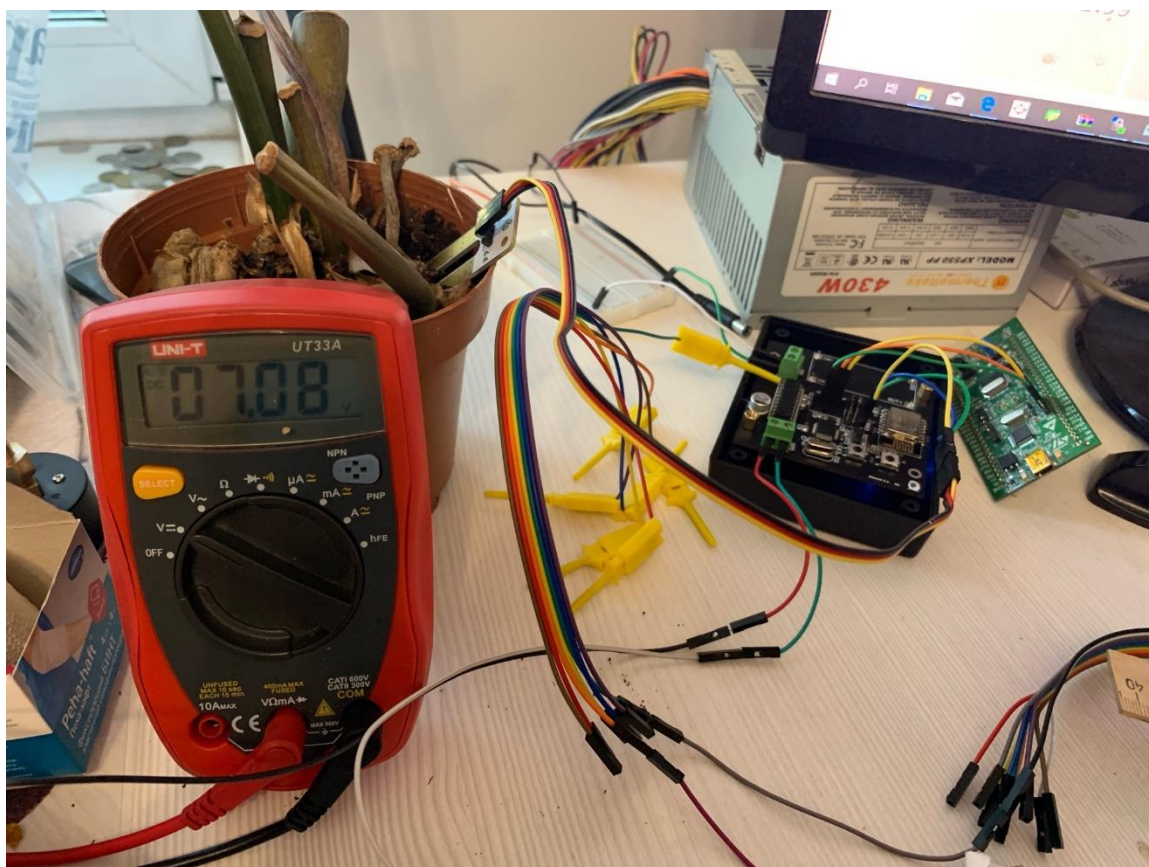


Рисунок 7.5 – Снятие показаний в полувлажной среде

На рисунке 7.5 продемонстрировано снятие данных в полувлажной среде. На рисунке 7.6. изображена форма веб-интерфейса, на которой можно увидеть текущее пороговое значение влажности – 2000 единиц, текущая влажность почвы составила 1690 единиц. Это соответствует форме ШИМ сигнала, изображенного на рисунке 7.7. На вольтметре установилось усредненное значение 7,08 В, что означает не полную подачу питания в нагрузку, т.е. насос будет качать не в полную мощность, чтобы не превысить норму влажности почвы.

Блок	Статус	Действие	Влажность
192.168.2.59	Включен	<div>Включить помпу</div> <div>Установить порог датчика влажности</div>	<div>2000</div> <div>upd</div> <div>1690</div> <div>Текущее значение</div>

Рисунок 7.6 – Данные веб-интерфейса при снятии показаний в полувлажной среде

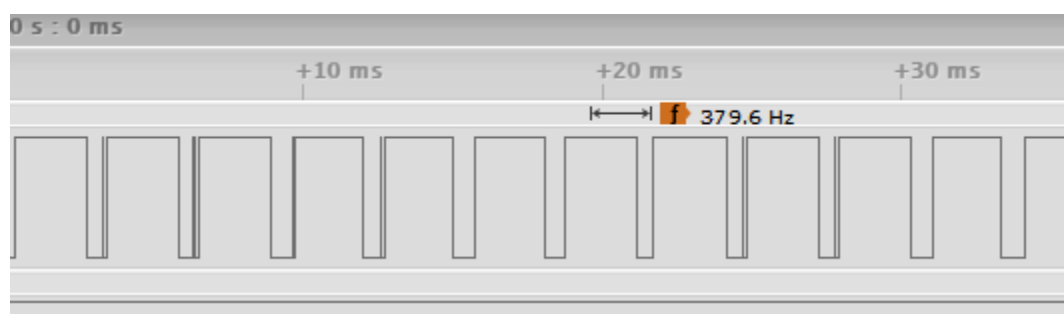


Рисунок 7.7 – Формируемый ШИМ сигнал при снятии показаний в полувлажной среде

С увеличением значения влажности скважность ШИМ сигнала будет уменьшаться, пока текущее значение влажности не превысит пороговое – такая среда будет считаться влажной.

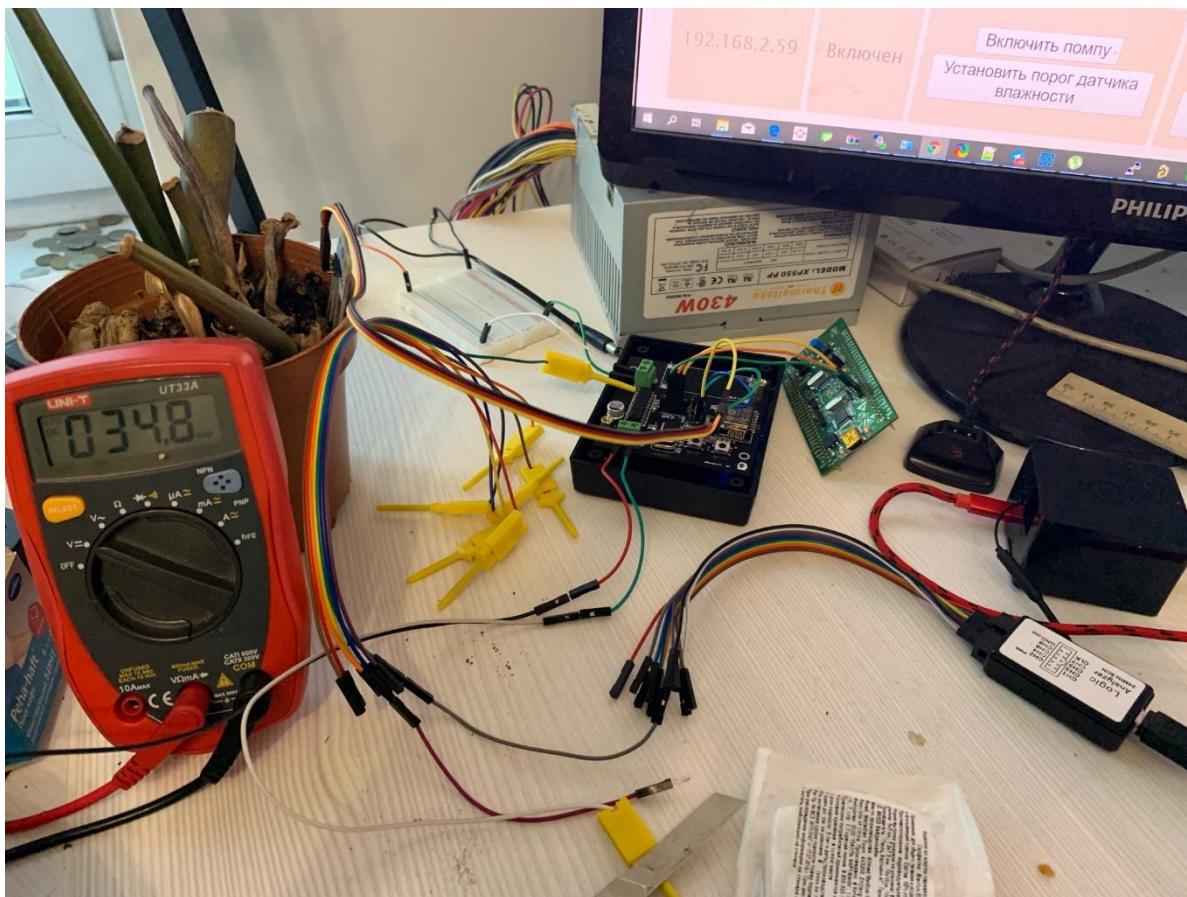


Рисунок 7.8 – Снятие показаний во влажной среде

На рисунке 7.8 продемонстрировано снятие показаний уже во влажной среде, где видно, что напряжение на выходе отсутствует. Также, на рисунке 7.9 изображен веб-интерфейс, в котором видно, что текущее значение влажности превышает пороговое значение больше, чем на 500 единиц, то есть нагрузка должна быть обесточена, что подтверждает сформированный ШИМ сигнал на рисунке 7.10.

Блок	Статус	Действие	Влажность
192.168.2.59	Включен	<div>Выключить помпу</div> <div>Установить порог датчика влажности</div>	<div>500</div> <div>upd</div> <div>1594</div> <div>Текущее значение</div>

Рисунок 7.9 – Данные веб-интерфейса при снятии показаний во влажной

среде

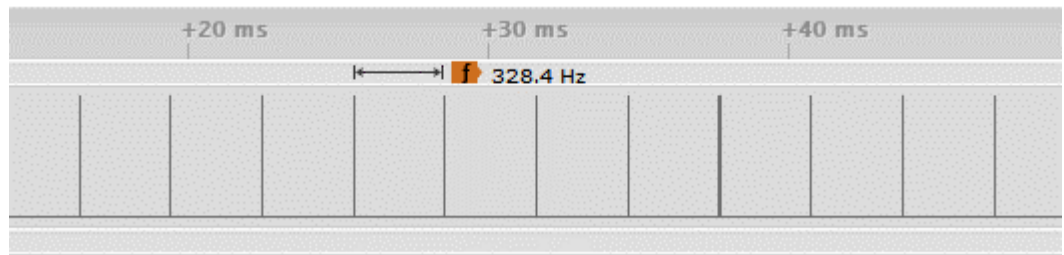


Рисунок 7.10 – Формируемый ШИМ сигнал при снятии показаний во влажной среде

Таким образом была проверена работоспособность системы полива, а именно его плавная реакция на нехватку влажности в почве растения. В сухой среде подается полная мощность на насос, в полувлажной среде мощность уменьшается до того момента, пока среда не перейдет в увлажненную. Порог перехода из одной среды в другую регулируется с помощью порогового значения влажности, настраиваемого в веб-интерфейсе.

Выводы

Была разработана схема электрическая структурная измерительного стенда системы полива. Были проведены практические исследования собранного опытного образца системы полива на измерительном стенде в 3 этапа, а также анализ полученных результатов после проведения каждого этапа измерений.

Опытный образец системы полива успешно прошёл испытания на измерительном стенде, а выходной сигнал системы полива соответствует требованиям, указанным в техническом задании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были выявлены основные требования к разрабатываемой системы полива, ее режимам работы, условиям эксплуатации и хранения.

Проведен обзор аналогов разрабатываемой системы полива. По результатам анализа и сопоставления технических характеристик и стоимостей была обоснована целесообразность разработки и производства автоматического полива с характеристиками, указанными в РТЗ.

Проведено схемотехническое проектирование системы полива. Была разработана схема электрическая структурная (Э1) системы полива, в которой были выделены основные структурные узлы системы полива. Далее были разработаны 2 схемы электрические функциональные (Э2) системы полива, в которых были подробно обозначены отдельные функциональные узлы системы полива и пути распространения электрических сигналов между ними. Заключительным этапом схемотехнического проектирования стала разработка схемы электрической принципиальной (Э3) системы полива, в которой подробно описаны соединения всех ЭРЭ системы полива и благодаря условным графическим обозначениям однозначно определяется функционал каждого ЭРЭ.

Проведена исследовательская работа. Исследовано устройство работы насоса постоянного тока. Была получена функция-регулятор для установления зависимости формирования ШИМ сигнала от влажности. Рассмотрено движение жидкости в сечении, благодаря чему обеспечивается стабильная работа системы полива.

Проведена разработка алгоритмов работы МК STM32T и МК ESP12E системы полива. Установлены требования к реализации алгоритмов работы ПО МК ESP12E и МК STM32, а также их программированию и отладке. Также обозначено оборудование, которое использовалось в процессе разработки.

Была проанализирована компоновка и конструкция системы полива для дальнейшей реализации этих данных при расчетах. В результате анализа ПП ячейки блока полива были выбраны конструкция ПП, расположение слоёв

печатных проводников ПП, а также материал изготовления ПП ячейки. В результате анализа электрических соединений были выбраны припой и паяльная паста для установки КМО и КМП, соответственно, на ПП.

В результате анализа корпуса системы полива были предъявлены требования к конструкции корпуса системы полива. Исходя из поставленных требований, был выбран корпус стороннего производителя. В результате анализа и выбора расположения блоков внутри системы полива были подобраны оптимальные варианты установки узлов системы полива в корпусе, а также выбраны способы фиксации данных узлов получения отверстия отверстий для них.

Были произведены необходимые расчеты системы полива: расчет надежности, расчет максимальной потребляемой мощности, расчет теплового режима, расчет воздействия вибраций, а также произведена оценка коэффициента технологичности. Полученные значения удовлетворяют требованиям, заявленным в техническом задании и не угрожают работе системы полива.

Был разработан технологический процесс изготовления системы полива. На основе конструкторской документации, а также информации об объеме выпуска системы полива в среднесерийном производстве в технологический процесс включены автоматизированные процессы установки компонентов, нанесения пасты, отмывки электронных ячеек системы полива. Были разработаны схема сборки системы полива и маршрутно-операционный технологический процесс.

Разработана электрическая структурная измерительного стенда системы полива. Опытный образец системы полива успешно прошёл испытания на измерительном стенде, а выходные сигналы системы полива соответствуют требованиям, указанным в техническом задании.

В итоге проделанной работы можно сделать вывод, что разработанная система полива соответствует требованиям технического задания и может быть запущена в серийное производство.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 2.702-75 «Правила выполнения электрических схем».
2. ГОСТ 2.701-84 «Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению».
3. ГОСТ 2.708-81 «Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники».
4. ГОСТ 2.728-74 «Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы».
5. ГОСТ 2.730-73 «Приборы полупроводниковые».
6. А.Е.Аверьянихин, А.И.Власов, Л.В.Журавлева, Л.А.Зинченко, В.А.Соловьев ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА для оформления конструкторско-технологической документации при выполнении домашних заданий, курсовых работ и проектов / под ред. В.А.Шахнова. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. - 53 с.: ил.
7. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ. – 5-е изд, перераб _ М.: Мир, 1998. – 704 с., ил.
8. Гриднев В.Н. Технология производства ЭС // Курс лекций – МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018
9. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. Пособие для вузов/ Е.М. Парфёнов, Э.Н. Камышная, В.П. Усачёв. – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.: ил.
10. Конструкторско-технологические проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов / К.И. Билибин, А.И, Власов, Л.В. Журавлева и др. Под общ.ред. В.А. Шахнова – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
11. Власов А.И. Основы проектирования баз данных. // –МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018

ПРИЛОЖЕНИЕ А