

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Высшая школа электроники и компьютерных наук  
Кафедра «Электронные вычислительные машины»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

\_\_\_\_\_ 2020 г.  
«\_\_» \_\_\_\_\_

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой ЭВМ

\_\_\_\_\_ Г.И. Радченко

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Разработка программно-аппаратного комплекса для контроля состояния  
электропривода с применением SCADA-системы

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

Руководитель работы,  
к.т.н., доцент каф. ЭВМ

\_\_\_\_\_ Д.В. Топольский  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы,  
студент группы КЭ-222

\_\_\_\_\_ В.В. Митин  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Нормоконтролёр,  
ст. преп. каф. ЭВМ

\_\_\_\_\_ С.В. Сяськов  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Высшая школа электроники и компьютерных наук  
Кафедра «Электронные вычислительные машины»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ЭВМ

\_\_\_\_\_ Г.И. Радченко

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

### **ЗАДАНИЕ**

**на выпускную квалификационную работу магистра**

студенту группы КЭ-222

Митину Вячеславу Владимировичу

обучающемуся по направлению

09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»

**Тема работы:** «Разработка программно-аппаратного комплекса для контроля состояния электропривода с применением SCADA-системы» утверждена приказом по университету от 24 апреля 2020 г. №627

**Срок сдачи студентом законченной работы:** 1 июня 2020 г.

#### **Исходные данные к работе:**

- SCADA-система MasterSCADA версии 3.10;
- MasterOPC Universal Modbus Server версии 4.2.47;
- Электродвигатель асинхронный (50 Hz, 220/380V, 3000 об/мин, 10А).

**Перечень подлежащих разработке вопросов:**

- обзор литературы;
- формирование требований к системе;
- разработка архитектуры программно-аппаратной части;
- реализация задачи;
- проверка работоспособности.

**Дата выдачи задания:** 1 декабря 2019 г.

Руководитель работы \_\_\_\_\_ /Д.В. Топольский/

Студент \_\_\_\_\_ /В.В. Митин /

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Этап	Срок сдачи	Подпись руководителя
Введение и обзор литературы	01.03.2020	
Формирование требований к системе	01.04.2020	
Разработка архитектуры	15.04.2020	
Реализация задачи	01.05.2020	
Проверка работоспособности	15.05.2020	
Компоновка текста работы и сдача на нормоконтроль	24.05.2020	
Подготовка презентации и доклада	30.05.2020	

Руководитель работы \_\_\_\_\_ /Д.В. Топольский/

Студент \_\_\_\_\_ /В.В. Митин/

## Аннотация

В.В.Митин. Разработка программно-аппаратного комплекса для контроля состояния электропривода с применением SCADA-системы. – Челябинск: ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», ВШЭКН; 2020, 74 с., 41 ил., библиогр. список – 29 наим.

После сравнения существующих отечественных и передовых зарубежных технологий и решений в области автоматизации технологических процессов разработан программно-аппаратный комплекс для контроля состояния электропривода с применением SCADA-системы.

Внедрение разработанного программно-аппаратного комплекса позволит отслеживать изменение переменных величин, характеризующих работу электропривода и спрогнозировать его выход из строя, что обеспечит экономию денежных средств предприятия и снизит временные затраты на обслуживание электроприводов.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы разработаны алгоритмы работы микроконтроллера AVR Atmega16 и Wi-Fi модуля ESP8266, оптимизированные для работы с отечественной SCADA-системой «MasterSCADA». Разработана оригинальная структура проекта в SCADA-системе с использованием технологии интернета вещей (IoT). Проведены компьютерное моделирование и исследовательские испытания разработанного программно-аппаратного комплекса.

Данная дипломная работа соответствует приоритетным направлениям развития национального исследовательского университета ЮУрГУ, включающим разработку автоматизированных систем учёта и диспетчерского управления потреблением энергетических ресурсов.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	7
1. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ .....	9
1.1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ .....	10
1.2 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ .....	15
1.3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ.....	17
1.3.1 ОБЗОР SCADA-СИСТЕМ .....	18
1.3.2 ВЫБОР SCADA-СИСТЕМЫ.....	25
2. ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ .....	27
2.1 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ .....	30
2.2 НЕФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ.....	31
3. РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ.....	32
3.1 ВЫБОР МИКРОКОНТРОЛЛЕРА .....	33
3.2 АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ .....	36
4. РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ.....	38
4.1 СИНТЕЗ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ .....	38
4.2 РАЗВОДКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ .....	44
4.3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ESP8266 .....	50
4.4 РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА В MASTERSCADA.....	56
5. ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ .....	60
5.1 АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ .....	60
5.2 WEB ИНТЕРФЕЙС.....	61
5.3 MASTERSCADA .....	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	64
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	65
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	69
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	72

## **ВВЕДЕНИЕ**

подавляющее большинство рабочих машин, агрегатов, технологических линий, многих транспортных средств, используемых в промышленности, энергосистемах, сельском и коммунальном хозяйстве, в быту и во всех других сферах человеческой деятельности приводятся в движение электрическим приводом. Однако функции электропривода не ограничиваются только преобразованием электрической энергии в механическую, каждая рабочая машина нуждается в управлении – необходимо включать и отключать двигатели, приводящие в движение рабочие органы машины, изменять скорость и усилие на рабочем органе в соответствии с условиями технологического процесса, осуществлять необходимые защиты и блокировки. Сочетание указанных функций определяет назначение и роль электропривода как неотъемлемую часть рабочих машин и в тоже время является важнейшей составляющей электроэнергетической системы. Во всех промышленно развитых странах на работу электроприводов расходуется около двух третей всей вырабатываемой электроэнергии [1]. Таким образом, электропривод является основным потребителем электроэнергии.

Важнейшей функцией электропривода является управление преобразованной механической энергией, то есть скоростью рабочего органа и развиваемого им усилия – момента, с целью управления технологическим процессом. Его реализует входящее в состав электропривода информационно-управляющее устройство. Для эффективного функционирования устройства управления необходима информация о переменных величинах, характеризующих работу электропривода – сила и напряжение переменного тока, частота питающей сети, частота вращения ротора в электродвигателе и др. и о состоянии технологического процесса. Для этой цели используются датчики электрических, механических и технологических величин, а также микропроцессорные и интерфейсные устройства для обработки, анализа и передачи сигналов от датчиков.

Рыночная экономика с её жёсткой конкуренцией требует от современных предприятий развивать и внедрять в производство новейшие технологии. Учитывая эту тенденцию, стратегия общего развития Политехнического института ЮУрГУ связана с цифровизацией промышленности и переходом от технологий «Инжиниринга 3.0» к «Индустрии 4.0» [2].

Постоянно увеличивающееся количество интеллектуальных производственных систем вызывает необходимость в разработке оптимизированных стратегий технического обслуживания электроприводов для снижения эксплуатационных расходов. Из-за высокой стоимости специализированных систем мониторинга состояния, использование данных из универсальной SCADA для контроля и мониторинга критической инфраструктуры является *актуальным*.

Практическая значимость разрабатываемого программно-аппаратного комплекса заключается в том, что регулярный мониторинг вращающегося оборудования будет предоставлять данные, на основе которых можно будет сделать выводы о состоянии оборудования. Разрабатываемая система будет достаточно универсальной, простой в установке и эксплуатации, не будет требовать больших компьютерных ресурсов.

# 1. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Целью данной дипломной работы является создание программно-аппаратного комплекса, позволяющего автоматизировать контроль состояния электропривода. Для достижения этой цели необходимо выполнить ряд задач, перечисленных ниже.

## **Задачи:**

1. Обзор литературы и постановка задачи.
2. Сравнение отечественных и передовых зарубежных технологий и решений.
3. Выбор SCADA-системы.
4. Разработка структуры программно-аппаратного комплекса.
5. Разработка проекта в SCADA-системе.
6. Моделирование работы разработанного программно-аппаратного комплекса.
7. Тестирование и отладка разработанного программно-аппаратного комплекса.

В рабочем режиме отсутствие данных о состоянии электропривода никак не влияет на его работоспособность, но при аналитических и диагностических исследованиях его характеристик и для возможности прогнозирования выхода электропривода из строя необходимо иметь возможность отслеживать изменение переменных величин, характеризующих его работу.

## 1.1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Перед началом разработки программно-аппаратного комплекса необходимо найти и проанализировать литературу на заданную тему.

### ПОИСК ЛИТЕРАТУРЫ

Для нахождения необходимой информации воспользуемся двумя методами поиска информации:

- поиск в сети Интернет;
- поиск в научной базе данных Web of Science (БД WoS).

Выделим несколько тем для поиска информации:

- автоматизированная система управления технологическими процессами;
- системы управления электроприводами;
- автоматизированная система управления производством.

По каждой теме необходимо выбрать самые релевантные источники в сети Интернет и в Web of Science по заданным запросам. После этого по каждой теме выбрать наиболее подходящие источники, содержащие в себе достаточное количество информации, являющейся полезной для конкретной темы. Затем провести сравнительный анализ выбранных источников в сети Интернет и в Web of Science.

### Поиск в сети интернет

Для поиска в сети Интернет воспользуемся поисковой системой DuckDuckGo, это поисковая система с открытым исходным кодом, активно набирающая популярность. Результаты поиска DuckDuckGo являются объединенными из многих источников, включая Yahoo, Search BOSS, Википедия, Wolfram Alpha и собственного поискового робота.

DuckDuckGo не использует «пузырь фильтров», как это делают большинство поисковых систем, таких как Google, Bing, Яндекс и т. д.

Использование «пузыря фильтров» означает, что поисковая система показывает только те результаты поиска, которые эта поисковая система посчитает интересными и необходимыми лично данному пользователю, даже не спросив его об этом. Вся остальная информация попросту не будет выведена. Поиск, произведенный на одном и том же поисковом сервере с двух разных, рядом стоящих компьютеров в одно и то же время, выдаёт по одному и тому же поисковому запросу разный результат. Поэтому DuckDuckGo даёт возможность вырваться из этой информационной ловушки и получать любому пользователю всю информацию, имеющуюся у поисковой системы, формируя объективную картину мира, не зависящую от прошлого поведения пользователя в Сети [3].

Запрос №1 «Автоматизированная система управления технологическими процессами»

- 1) Автоматизация управления технологическими процессами в газораспределительных сетях: проблемы, тенденции и перспективы [4]

Рассматриваются вопросы организации измерений и учёта расхода газа с помощью современных датчиков, а также способы передачи данных с контрольно-измерительных пунктов на диспетчерский пункт по беспроводному каналу связи.

- 2) Моделирование оптимального управления процессом дозирования многокомпонентного технологического процесса приготовления газобетона [5]

Предложены математическая и компьютерная модели системы автоматизированного управления многокомпонентным дозированием технологического процесса приготовления газобетона совместно с симуляцией режимов работы на базе ПЛК и пакетов (PicSim, Step-7 и WinCC Flexible) фирмы Siemens.

- 3) Метод моделирования и визуализации многопараметрической системы управления технологическим процессом приготовления газобетона [6]

В статье рассмотрен пример компьютерной симуляции многопараметрической автоматизированной системы управления технологическим процессом приготовления газобетона.

#### Запрос №2 «Системы управления электроприводами»

- 1) Алгоритм расчёта скоростных и нагрузочных режимов электроприводов клеток прокатного стана при прокатке толстых полос [7]

В статье представлен алгоритм расчёта энергосиловых параметров электроприводов клеток. В основу алгоритма положены полученные ранее зависимости для определения момента нагрузки главного электропривода клетки.

- 2) Разработка и серийное производство конкурентоспособного многооборотного интеллектуального электропривода нового поколения для управления, регулирования и мониторинга запорной арматурой систем автоматизации предприятий, газовых и нефтяных магистралей, ТЭЦ, ГРЭС, ГЭС и АЭС [8]

В данной работе обоснованы проблема создания и три технических решения на многооборотный электропривод запорной арматуры нового поколения на базе многопоточной центроидной, волной с многопарным зацеплением и планетарно-роликовой силовых трансмиссий.

- 3) Программные средства управления электроприводами [9]

Приведены анализ функциональных возможностей современных программных средств управления электроприводами и некоторые особенности программно-аппаратной реализации импульсно-фазовых электроприводов.

### Запрос №3 «Автоматизированная система управления производством»

- 1) Автоматизация типовых технологических процессов и производственных установок [10]  
Обозначены тенденции развития современных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), которые ориентируются на применение промышленных вычислительных сетей.
- 2) Анализ требований к точности математических моделей параметров прокатки для АСУ ТП толстолистовых станов [11]  
В статье приведён анализ требований к точности математических моделей параметров прокатки для АСУ ТП толстолистовых станов.
- 3) Организация и управление сложным машиностроительным производством на основе CALS-технологий [12]  
В статье рассматриваются вопросы организации и управления сложным машиностроительным производством в условиях нарастающей конкуренции на основе технологий информационной поддержки жизненного цикла изделия.

### Поиск в web of science

Запрос №1 «Автоматизированная система управления технологическими процессами»

- 1) Автоматизированная система технической диагностики [13]  
В статье рассматривается использование метода собственного вектора для определения степени согласованности экспертных оценок, представленных в виде матрицы парных сравнений факторов, и предлагается способ коррекции экспертных оценок, улучшающий их согласование и позволяющий установить более чёткие приоритеты факторов.

- 2) Архитектура компьютерного тренажера для обучения операторов АСУ ТП [14]

В статье рассмотрен опыт применения различных видов тренажеров для операторов технологических процессов перерабатывающей промышленности. В качестве примера АСУ ТП, с удачно спланированной архитектурой, предложена система управления metsoDNA фирмы Metso Automation.

- 3) Особенности построения программного обеспечения многозадачных систем управления критичных к режиму реального времени [15]

На примере создания АСУ ТП непрерывного прокатного стана рассмотрены особенности построения программного обеспечения многозадачных систем управления критичных к режиму реального времени.

#### Запрос №2 «Системы управления электроприводами»

- 1) Быстродействующий алгоритм адаптивного управления электроприводами в технологии производства кварцевой трубы [16]

Предлагается быстродействующий алгоритм управления электроприводами для технологического оборудования изготовления кварцевой трубы.

- 2) Система автоматизированного управления электропривода для автокрана КС-4562 [17]

В статье рассматривается возможность применения частотного пуска и дроссельного управления асинхронного двигателя в автокранах. Производится моделирование частотного пуска, дроссельного управления в программе Matlab пакета Simulink.

- 3) Разработка системы управления движением сканирования установки магнетронного вакуумного напыления [18]

Показано построение системы управления движением сканирования установки магнетронного вакуумного напыления с учётом особенностей кинематической схемы.

Запрос №3 «Автоматизированная система управления производством»

- 1) Принцип построения автоматизированной системы управления электроприводом механизмов добычи нефти [19]

Описывается один из методов управления электроприводом, главными целями которого являются максимальное повышение производительности и снижение потребления электроэнергии, что достигается автоматизированной системой управления технологическим процессом.

- 2) Автоматизированная система управления качеством промышленного предприятия нефтегазовой отрасли [20]

Рассмотрены вопросы построения и совершенствования системы менеджмента качества (СМК) промышленного предприятия нефтегазовой отрасли на основе CALS-технологий для автоматизированных производств.

- 3) Перспективные системы управления электроприводами [21]

В статье рассматривается моделирование частотного пуска, дроссельного управления в программе Matlab пакета Simulink.

## 1.2 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

После обзора литературы была выделена информация об изучаемой теме.

АСУ ТП предназначена для контроля и оперативного управления техническими объектами. Программное обеспечение АСУ ТП представлено системами диспетчерского управления и сбора данных – SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

SCADA отвечают за функции автоматизации управления и контроля выполнения технологических процессов. SCADA-системы используются для сбора и анализа информации о качестве технологических процессов [20].

Применение SCADA-технологий позволяет достичь высокого уровня автоматизации в решении задач разработки систем управления, сбора, обработки, передачи, хранения и отображения информации. Применение современных средств диспетчеризации электропривода на базе совершенных SCADA-программ обеспечит минимальные затраты на содержание обслуживающего персонала АСУ ТП.

На рисунке 1.1 изображена структура SCADA-системы, где ПЛК – программируемый логический контроллер. ПЛК входит в состав SCADA-систем, образуя так называемый уровень локальных контроллеров. Информация от ПЛК должна передаваться на уровень оперативного управления, на котором располагаются SCADA-сервер, сервер баз данных, автоматизированные рабочие места (далее – АРМ) операторов и разработчика [4].

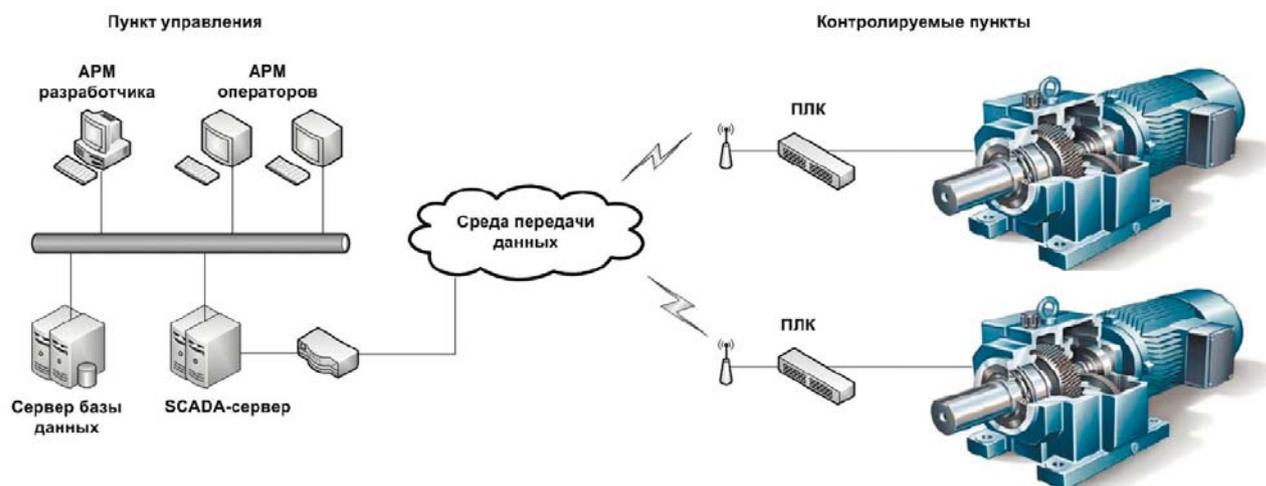


Рисунок 1.1 – Архитектура SCADA-системы

Для коммутации элементов системы можно использовать как проводные, так и беспроводные каналы передачи данных.

Таким образом, для обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте

мониторинга и управления необходимо использовать часть автоматизированной системы управления технологическими процессами, а именно SCADA-систему.

Считывать и обрабатывать данные, поступающие с датчиков тока и напряжения, будет ПЛК. На SCADA-сервер данные будут передаваться с помощью технологии Ethernet, рисунок 1.2.



Рисунок 1.2 – Структура SCADA-системы на базе сети Интернет

На рисунке стрелки показывают потоки данных, начальная точка которых – это датчики, установленные на контролируемом пункте, в нашем случае это электропривод.

### 1.3 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

Автоматизация технологического процесса — это совокупность методов и средств, предназначенная для реализации систем, позволяющих осуществлять управление производственным процессом без непосредственного участия человека.

Основными целями автоматизации технологического процесса являются повышение эффективности и безопасности производственного процесса.

Цели достигаются посредством решения следующих задач автоматизации технологического процесса:

- улучшение качества регулирования;
- повышение коэффициента готовности оборудования;
- улучшение эргономики труда операторов процесса.

Решение задач автоматизации технологического процесса осуществляется при помощи внедрения современных методов и средств автоматизации.

Как правило, в результате автоматизации технологического процесса, создаётся АСУ ТП.

Автоматизация технологических процессов в рамках одного производственного процесса позволяет организовать основу для внедрения систем управления производством и систем управления предприятием.

На сегодняшний день существует множество информационных технологий, разработанных для решения задачи автоматизации, например, ERP, MES, SCADA, PDM, BPM, Workflow и другие.

После анализа литературы в предыдущей главе стало ясно, что для автоматизации технологических процессов предназначена SCADA-система, поэтому необходимо рассмотреть существующие отечественные и зарубежные SCADA-системы и выбрать наиболее подходящую.

### 1.3.1 ОБЗОР SCADA-СИСТЕМ

Обзор наиболее широко применяемых модификаций позволяет сформировать перечень основных функций, наличие которых является обязательным условием для работы. Также есть и набор специфических возможностей программно-аппаратных комплексов, который в каждом отдельном случае формируется исходя из потребностей конкретного предприятия.

Современные промышленные SCADA-системы представлены на рынке в огромном ассортименте, но в основе их функциональности всегда лежит несколько основных параметров:

- графический интерфейс;
- возможность формирования архива событий, выполненных измерений, аварийных ситуаций;

- возможность работы с различными языками программирования (чаще всего используются VBA, Visual C++, VB);
  - защищённость системы от несанкционированного вмешательства.
- Далее рассмотрим наиболее востребованные решения.

## MasterSCADA

MasterSCADA [22] – система визуализации для учёта и диспетчеризации промышленных предприятий, зданий, объектов ЖКХ. Для оценки возможностей SCADA-системы существует ознакомительная бесплатная версия на 32 точки и учебник по созданию АСУ ТП.

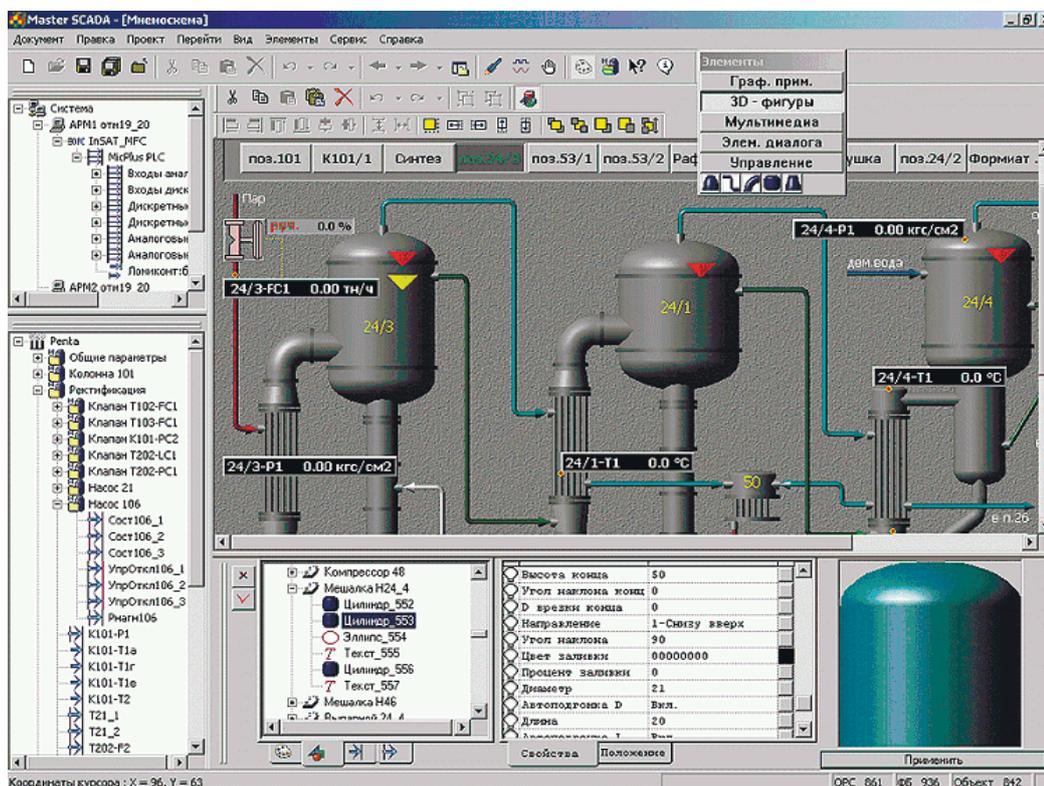


Рисунок 1.3 – Интерфейс программы MasterSCADA

### Преимущества:

- единая среда разработки SCADA-системы;
- двухслойная структура проекта;
- обширные библиотеки;
- неограниченная гибкость вычислительных возможностей.

Недостатки:

- нет зуммирования экрана (приближения объектов при редактировании);
- нет быстрого средства, чтобы повернуть объект вокруг своей оси при редактировании. Это можно сделать только за счёт назначения параметров или создания дубликатов, что создает неудобства при добавлении одинаковых объектов, которые должны быть развернуты в разных направлениях.

## SCADA TRACE MODE

SCADA TRACE MODE [23] ориентирована на работу АСУ ТП в энергетической, атомной, нефтегазовой отрасли. Программный комплекс класса SCADA HMI (человеко-машинный интерфейс), разработан компанией AdAstra Research Group в Москве в 1992 году. Предназначена для разработки программного обеспечения АСУ ТП, систем телемеханики, автоматизации зданий, систем учёта электроэнергии, воды, газа, тепла, а также для обеспечения их функционирования в реальном времени. Начиная с версии 4.20 (1995) TRACE MODE обладает функциями программирования промышленных контроллеров.

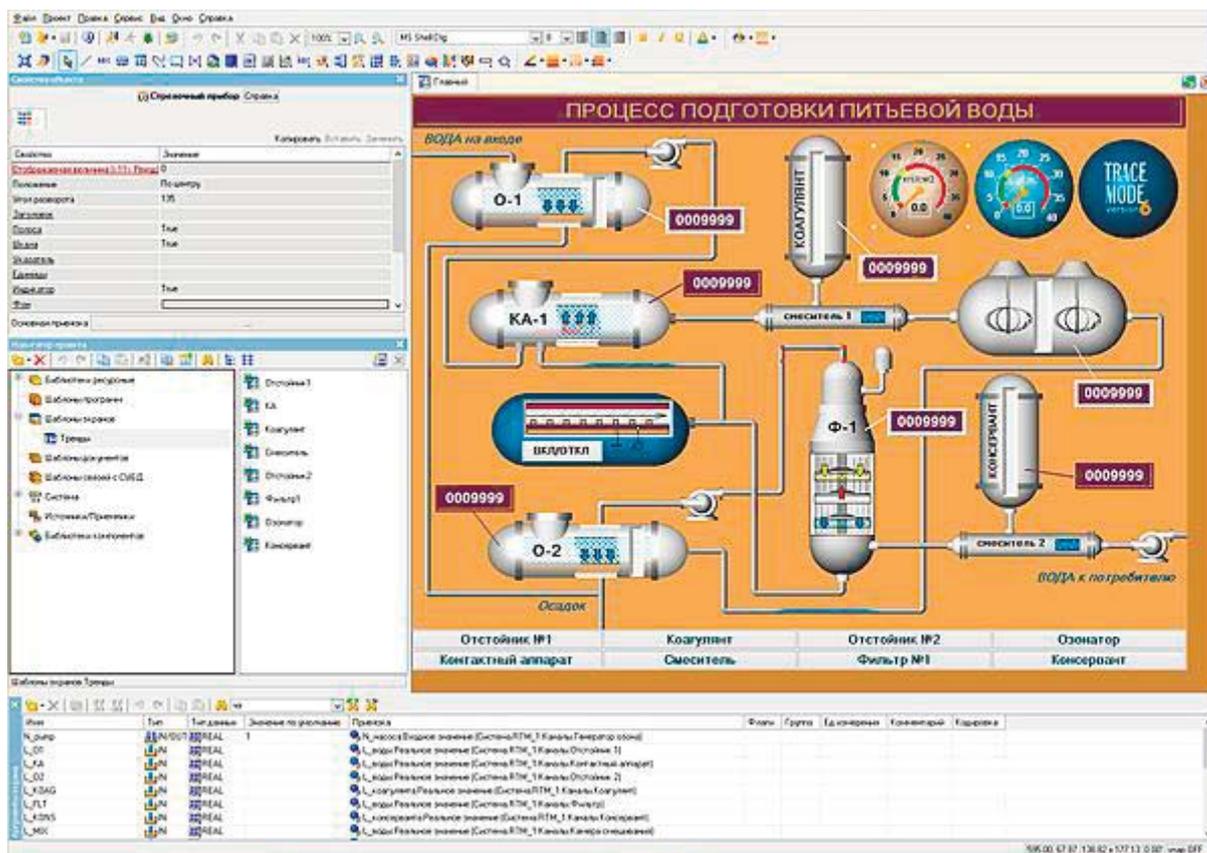


Рисунок 1.4 – интерфейс программы SCADA TRACE MODE

Преимущества:

- наличие HMI-интерфейса;
- наличие обширной библиотеки бесплатных драйверов практически для любых счетчиков, расходомеров, контроллеров, кондиционеров и т.д.

Недостатки:

- отсутствие ряда типов данных (DateTime, string, BOOL) делает построение серьезного проекта довольно сложным;
- недоработанный интерфейс с базами данных через ODBC;
- отсутствие информации о настройках DCOM.

## SIMATIC WINCC

SIMATIC WinCC [24] – это часть семейства систем автоматизации Simatic, производимых компанией Siemens AG, предназначенная для

централизованного контроля с возможностью формирования систем разного уровня автоматизации, которая работает под управлением ОС Windows (Windows Control Center) и использует базу данных Microsoft SQL Server.

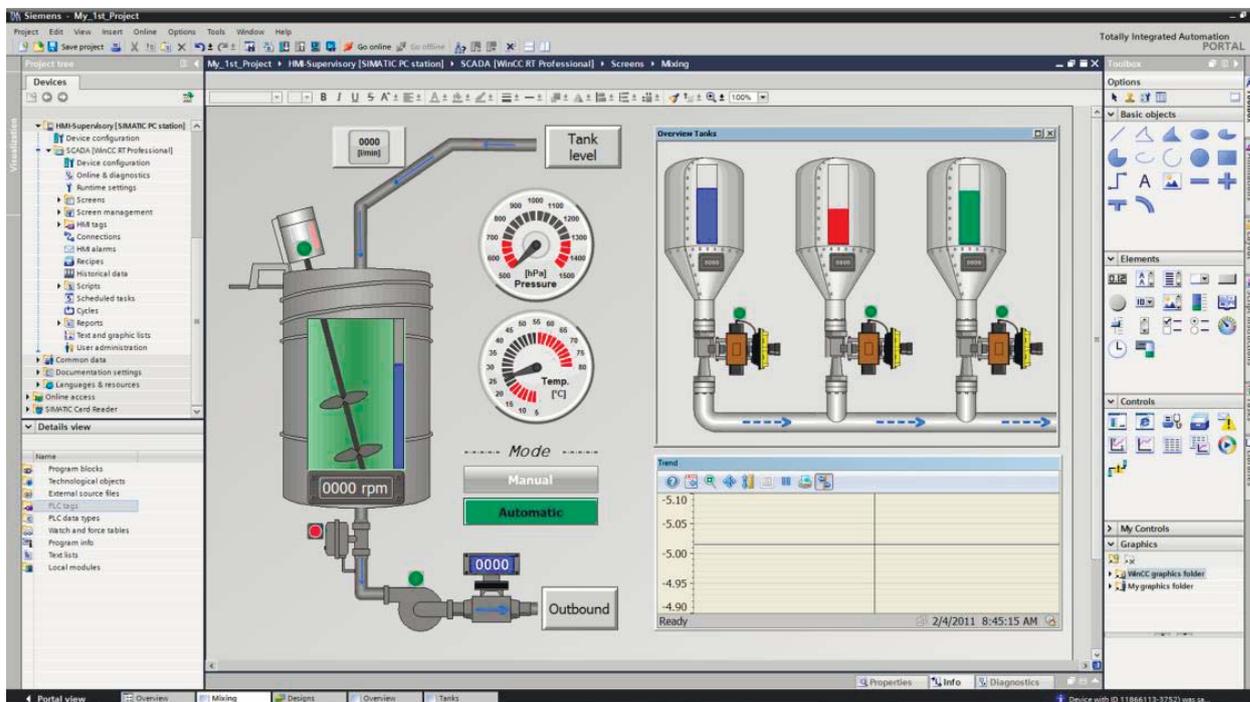


Рисунок 1.5 – интерфейс программы SIMATIC WinCC

Преимущества:

- гибкость и масштабируемость;
- повышение общей производительности системы за счет параллельной обработки данных и распределения нагрузки;
- повышение отказоустойчивости и коэффициента готовности системы в целом.

Недостатки:

На всех ревизиях SIMATIC WinCC версий ниже 7.3 присутствует серьезная уязвимость CVE-2014-4686. Ошибка дает потенциальному злоумышленнику возможность повысить уровень своих привилегий в приложении WinCC Project Administration в случае перехвата данных, передаваемых авторизованным пользователем по сети через порт 1030/TCP.

Этот и другие недостатки безопасности выявили в ходе работ по анализу защищенности эксперты Positive Technologies [25].

## CITECTSCADA

CitectSCADA [26] – полнофункциональная система, предназначенная для мониторинга и визуализации, сбора данных и управления. Данная система предназначена для управления технологическими процессами.

SCADA-система CitectSCADA проектировалась и разрабатывалась как средство реализации всех требований предприятия в виде единой интегрированной системы. CitectSCADA содержит все необходимые компоненты, устраняющие как необходимость использования дополнительного программного обеспечения, так и фрагментацию данных.

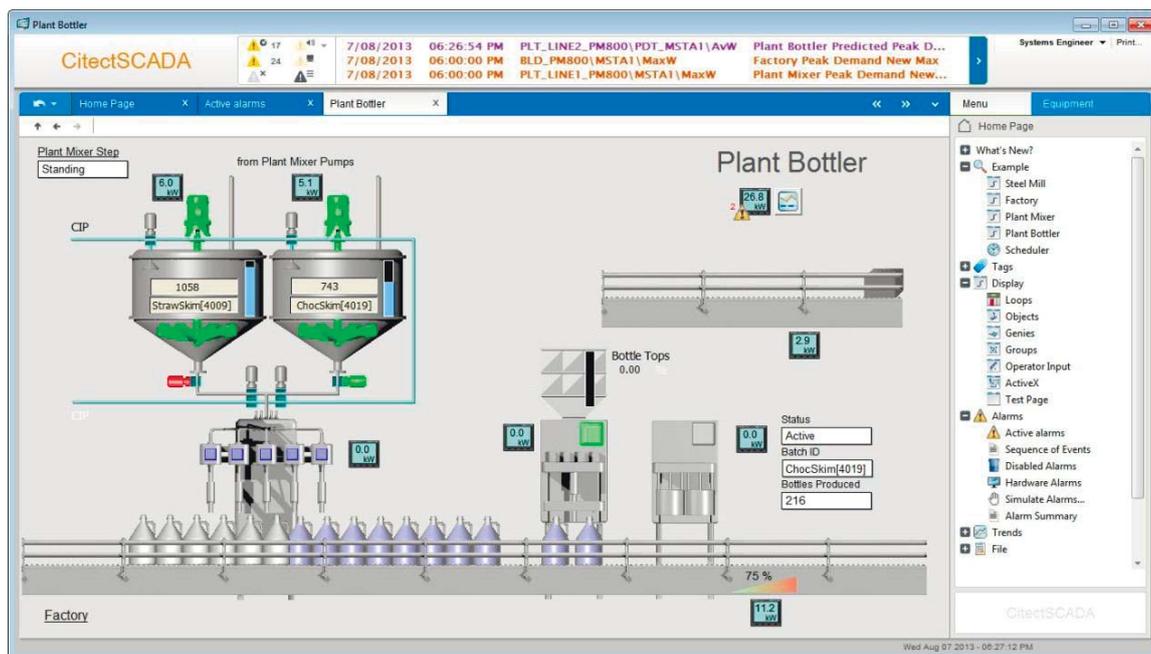


Рисунок 1.6 – интерфейс программы CitectSCADA

Преимущества:

- позволяет строить сложные и масштабируемые системы;
- поддерживает широкий спектр протоколов, используемых в автоматизации технологических процессов и автоматизации зданий;

- предоставляет возможность удаленного мониторинга и управления через интернет;
- предоставляет возможность создания отчетов о работе систем.

Недостатки:

SCADA-система CitectSCADA производства компании AVEVA содержат серьезную уязвимость, с помощью которой злоумышленник может получить доступ к учетным данным Citect.

Проблема затрагивает версии продуктов CitectSCADA 7.30 и 7.40. Уязвимость существует в связи с отсутствием должной защиты учетных данных [27].

Для эксплуатации бага не требуется особых навыков, степень его опасности оценивается в 6,5 балла по шкале CVSS v3. Производитель рекомендует пользователям обновиться до версии CitectSCADA 2018 как можно скорее.

### 1.3.2 ВЫБОР SCADA-СИСТЕМЫ

Для сравнения рассмотренных SCADA-систем сведём основные данные в таблицу.

Название	Наличие уязвимостей с высоким уровнем опасности [28]	Отчёты	Тревоги	Симуляция	Масштабируемость	Наличие бесплатной версии
MasterSCADA	нет	есть	есть	есть	неограниченно	есть
SCADA TRACE MODE	есть, устранены в последующих версиях	есть	есть	есть	до 64000 точек	есть
SIMATIC WinCC	есть	есть	есть	есть	есть	бесплатная версия работоспособна только в течении 21 дня
CitectSCADA	есть, устранены в последующих версиях	есть	есть	есть	неограниченно	есть бесплатная версия программы для бета-тестирования CitectSCADA 2018, необходимо участие в программе

Анализируя данные, представленные в таблице можно сделать вывод, что самой неподходящей SCADA-системой является SIMATIC WinCC из-за наличия неустранимых уязвимостей и отсутствия бесплатной версии с неограниченным сроком действия. Несмотря на это SIMATIC WinCC остаётся популярным решением, занявшим своё место на рынке SCADA-систем.

Система SCADA TRACE MODE имеет показатели, сравнимые с CitectSCADA, однако первая специализируется на энергетической и нефтегазовой отрасли, а вторая на металлургии, авиации и других. Таким образом, несмотря на то что эти системы похожи, они создавались для использования в разных отраслях промышленности.

MasterSCADA не уступает по функциональности SIMANTIC WinCC и имеет бесплатную версию, что важно для возможности использования данной системы студентами. Также данная система не имеет уязвимостей с высоким уровнем опасности.

Исходя из всего вышеперечисленного можно сделать вывод, что в настоящее время SCADA-системы являются основным и наиболее перспективным методом автоматизированного управления сложными динамическими системами.

Сравнение SCADA-систем показывает, что для решения задачи поставленной в предыдущей главе предпочтительнее всего использовать программный продукт MasterSCADA.

Пакет «Master SCADA» появился на потребительском рынке в последние несколько лет, но уже успел зарекомендовать себя как SCADA-система, не только не уступающая по заявленным характеристикам своим конкурентам, но и обладающая очень низкой ценой. MasterScada представляет собой платформу для создания информационных систем эпохи Четвертой промышленной революции, готовую к внедрению уже сегодня. Функциональные возможности MasterScada востребованы в крупномасштабных проектах, где необходима глубокая адаптация к специализированным требованиям заказчика. При этом непрерывное инновационное развитие гарантирует MasterScada технологическое лидерство на всех этапах жизненного цикла.

## 2. ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ

Согласно поставленной технической задаче, отличительной особенностью разрабатываемого устройства является его работа в режиме реального времени и доступ к сети Интернет. Также необходимо избежать внесения конструктивных изменений в сам электропривод, так как существует большое количество вариантов исполнения его конструкции и это не должно оказывать влияния на разрабатываемое устройство, что позволит стать ему универсальным. Также стоит отметить, что зачастую требуется производить измерения на агрегатах уже находящихся в работе при отсутствии возможности их вывода из производственного цикла.

Наиболее важной величиной, оказывающей влияние на технологический процесс, является момент силы. Однако, принцип работы датчиков момента подразумевает их установку в разрыв трансмиссии привода, рисунок 2.1.

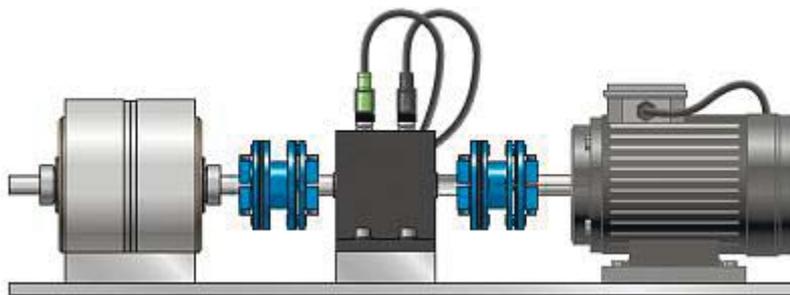


Рисунок 2.1 – Пример установки датчика момента

Для того чтобы избежать внесения конструктивных изменений в исследуемый электропривод и трансмиссию величина момента будет рассчитываться по формуле:

$$M = f(I, U, w) \quad (1),$$

где  $I$  – сила тока,  $U$  – напряжение,  $w$  – частота вращения ротора, а  $f$  – функция от этих величин. Выразим момент через мощность  $P = U \cdot I$

$$M = \frac{P_2}{w} \quad (2),$$

где  $P_2$  – общая мощность. Её можно выразить с помощью суммы двух величин – мощности электрической машины и потерь:

$$P_2 = P_1 \pm \Delta \sum P_i \quad (3),$$

где знак «+» соответствует генераторному режиму работы, знак «-» соответствует работе электрической машины в режиме двигателя. Величина  $\Delta \sum P_i$  составляет лишь малую часть общей мощности. Значение данной величины зависит от КПД электрической машины и существенно снижается с ростом КПД. Также следует учитывать, что величина  $\Delta \sum P_i$  включает только те потери, которые имеют место в основном процессе преобразования энергии [29].

Таким образом необходимо измерить силу тока, напряжение и частоту вращения ротора. Считывать и обрабатывать данные, поступающие с датчиков, будет микроконтроллер. SCADA-системе микроконтроллер будет передавать данные с помощью wi-fi модуля.

Для реализации данной системы необходим следующий набор подсистем:

1. *Аппаратное устройство* для обработки значений с датчиков.
2. *Web-интерфейс*, для отображения данных с микроконтроллера.
3. *SCADA-система*, обеспечивающая визуализацию и обработку данных поступающих с микроконтроллера.

Организация процесса разработки аппаратного устройства – наиболее важный момент. Ошибка на любом этапе может завьисить цену, и разработка станет нерентабельной. При создании материального объекта нет возможности выпускать каждый день новую версию. Проектирование – самый сложный и ответственный этап разработки. Модель развития проекта во времени, определяющая различные ситуации в процессе его реализации называется жизненным циклом проекта.

## Жизненный цикл проекта



Рисунок 2.2 – Диаграмма связей

Основные этапы жизненного цикла проекта:

- определение требований (функциональные и нефункциональные, общая концепция, сопоставление со сроками);
- разработка приблизительной концепции (3D модель печатной платы с элементной базой);
- составление календарного плана/дедлайнов;
- утверждения поставленных задач с командой;
- разработка печатной платы и написание программы для микроконтроллера;
- прорисовка корпуса, создание 3D модели, изготовление печатной платы и закупка комплектующих;
- монтаж печатной платы и изготовление корпуса;
- отладка и тестирование.

## 2.1 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

В проекте предусмотрено разделение пользователей по ролям. Из диаграммы прецедентов (рисунок 2.3) видно, что за разработку конфигурации отвечает Developer.

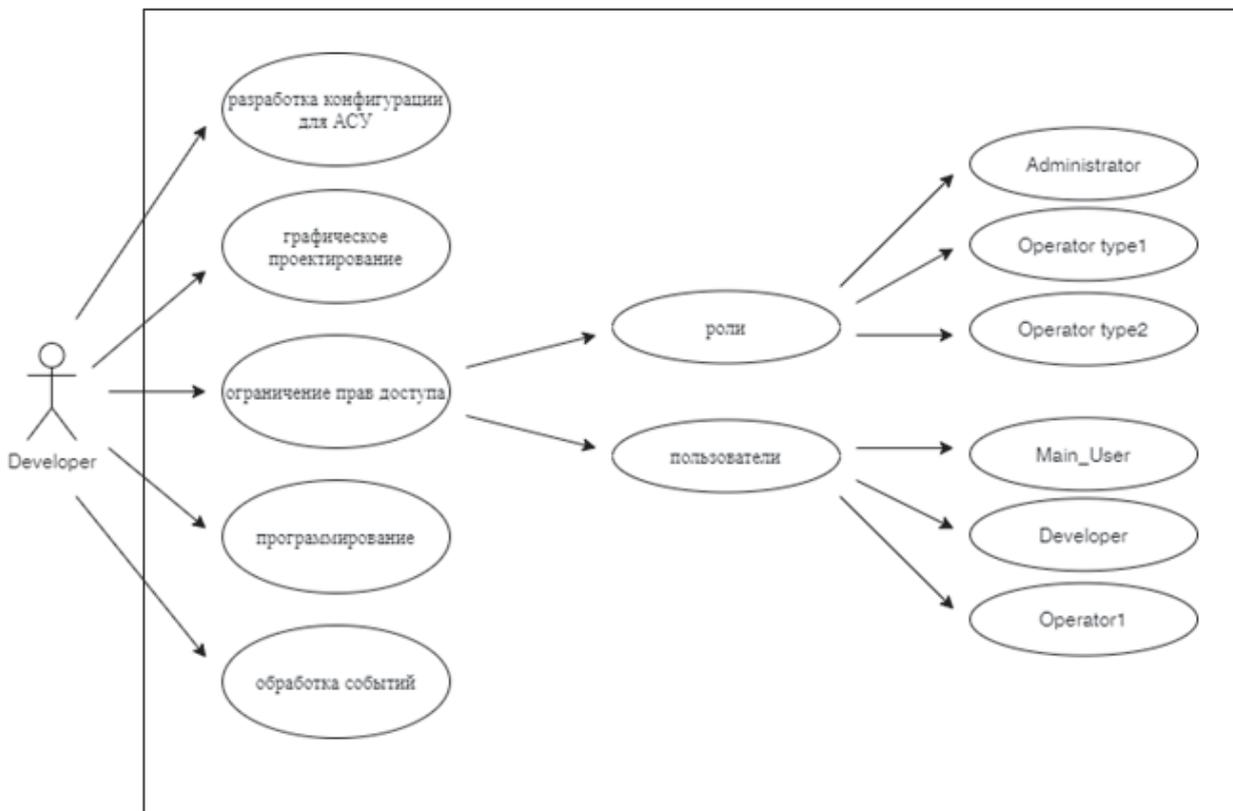


Рисунок 2.3 – Диаграмма прецедентов конфигурирования

Можно выделить следующих ключевых актёров, взаимодействующих с системой:

1. *Developer*: как правило, прикладной программист, который разрабатывает технологию решения задачи по всем этапам обработки информации, осуществляет выбор языка программирования для описания алгоритмов и определяет информацию, подлежащую обработке средствами вычислительной техники.
2. *Operator*: конечный пользователь, который после авторизации может приступить к работе со SCADA-системой. В его задачи также входит

информирование о всех ошибках и проблемах, возникающих в период внедрения.

Данная диаграмма лишь формирует общие требования к поведению проектируемой системы и носит лишь концептуальный характер.

## 2.2 НЕФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Для полноценного функционирования системы необходимо предусмотреть следующие аспекты функционирования:

1. Программное обеспечение устройства должно обрабатывать сигналы с датчиков тока, напряжения и частоты и рассчитывать момент и частоту вращения ротора. Разрабатываемое устройство должно иметь доступ к сети интернет и осуществлять передачу данных SCADA-системе.
2. Питание устройства осуществляется от сети 220 В. Отключение питания устройства не должно приводить его в негодность.
3. Устройство должно быть выполнено на базе микроконтроллера фирмы Atmel. Микроконтроллер должен иметь достаточное число ножек для подключения датчиков и иметь объём памяти программ, достаточный для размещения управляющей программы. Также, устройство должно иметь возможность подключения программатора, для изменения программы микроконтроллера.

### 3. РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ

Аппаратная часть комплекса состоит из нескольких модулей:

- блок управления;
- блок питания;
- пятиразрядный семисегментный индикатор;
- блок индикации;
- модуль обмена информацией;
- модуль датчиков.

Каждый из модулей обладает функционалом, благодаря которому комплекс может действовать как единый механизм. На рисунке 3.1 представлена структурная схема, которая позволяет наглядно продемонстрировать процессы, протекающие в комплексе.

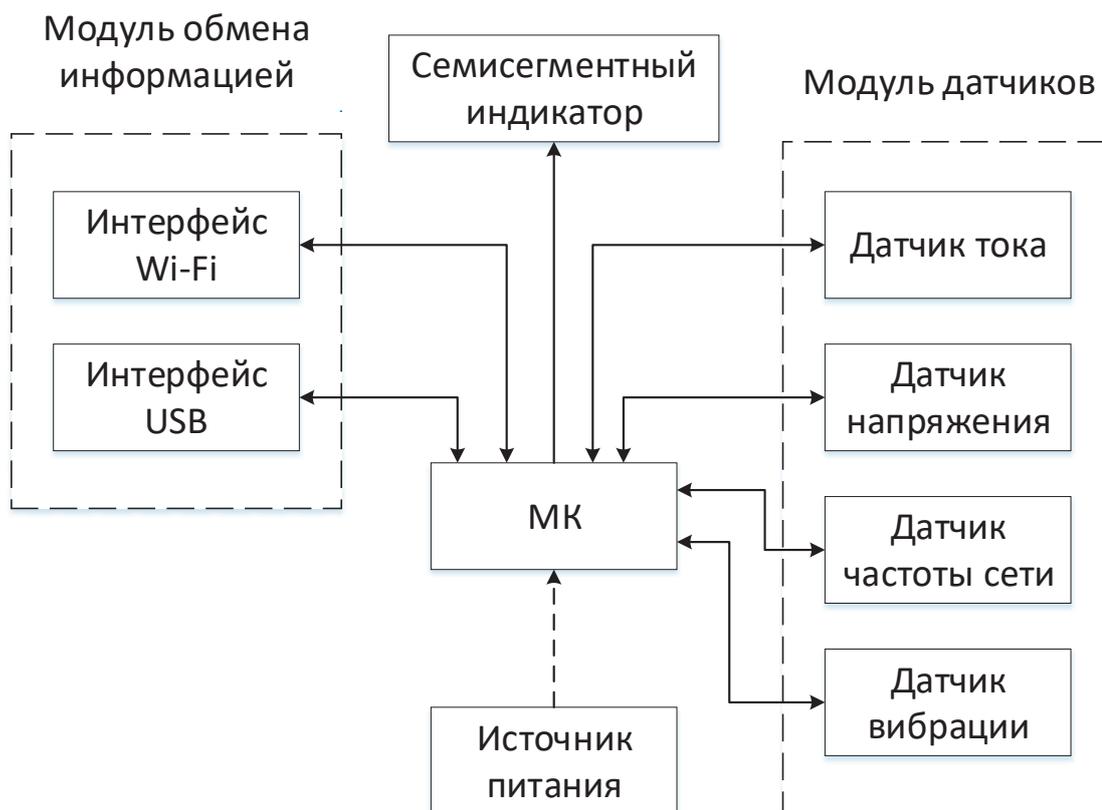


Рисунок 3.1 – Структурная схема

Модуль датчиков передаёт данные микроконтроллеру, который произведя нужные вычисления выводит данные на семисегментный индикатор и передаёт их по wi-fi SCADA-системе.

Следующим этапом разработки аппаратной части комплекса является создание принципиальных электрических схем. Далее будут рассмотрены основные моменты выбора элементов модуля. Основным критерием разработки принципиальных схем является минимум стоимости конечного продукта, не в ущерб надёжности работы.

### 3.1 ВЫБОР МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

На рынке огромное количество производителей и архитектур микроконтроллеров. Но выбор на самом деле совсем не велик: можно сразу обросить все восьми и шестнадцатибитные архитектуры, кроме PIC и AVR, несмотря на то, что иногда производители предлагают отладочные платы и контроллеры по низкой цене, их не следует использовать потому, что это малораспространенные архитектуры. По той же самой причине можно отсеять все тридцатидвухразрядные архитектуры кроме ARM, к тому же они постепенно вымирают.

ARM микроконтроллеры делятся на ARM7, ARM9, Cortex M0, Cortex M3, Cortex M4. ARM7 и ARM9 постепенно замещаются Cortex и вскоре их тоже не будет.

Таким образом, имеем: AVR, PIC и ARM Cortex.

Возможности Cortex намного шире, к тому же есть выбор между производителями, а это большой плюс. Существует масса упрощающих жизнь библиотек и даже генераторов кода.

AVR вытесняет PIC из-за распространенности Arduino.

В пользу его выбора говорят ещё несколько причин:

- 1) доступность в России;
- 2) низкая стоимость (AVR на 30-40% дешевле чем PIC при большем функционале);



Выберем TQFP корпус, так как в этом случае удобнее разводить печатную плату, и микропроцессор занимает на ней меньше места.

## ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА

Устройство работает на базе микроконтроллера Atmega16, т.к. он:

- 1) располагает достаточным количеством портов и выводов;
- 2) его TQFP корпус удобен для монтажа на печатную плату и подключения к нему множества элементов;
- 3) обладает необходимым объемом памяти.

Радиоэлектронные компоненты:

- регулятор напряжения L7905CV с установкой выходного напряжения 5В, 1.5А (1 шт.);
- трансформатор ТПК-2 для преобразования напряжения 220 Вольт в 6В, 2.5ВТ;
- диодный мост D2SB60 для выпрямления переменного тока;
- для защиты устройства по питанию, на вход питания от сети устанавливается предохранитель EFuse LB250LVF.

Резисторы:

- 1) подтягивающий резистор для контакта «RESET» микроконтроллера, номиналом 10 кОм (1 шт.);
- 2) ограничивающий резистор, номиналом 200 Ом (5 шт.);
- 3) ограничивающий резистор, номиналом 270 Ом (8 шт.);
- 4) ограничивающий резистор, номиналом 5,1 КОм (5 шт.).

Конденсаторы:

- 1) керамический конденсатор, номинал – 0,1 мкФ (3шт.) – 50V;

2) электролитический конденсатор на 1000 мкФ(1 шт.) – Jwco VENT-50-0.33, необходим для сглаживания пульсаций постоянного тока 16,8В;

3) электролитический конденсатор на 100 мкФ(1 шт.) – Jwco VENT-50-0.33, необходим для сглаживания пульсаций постоянного тока.

### 3.2 АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Разработка алгоритма для микроконтроллера Atmega16.

Основная программа выполняет блок инициализации портов ввода/вывода, интерфейса UART, внешнего прерывания INT0, таймер-счётчика0 и таймер-счётчика2 (TC0 и TC2 соответственно). Схема алгоритма основной программы изображена ниже.

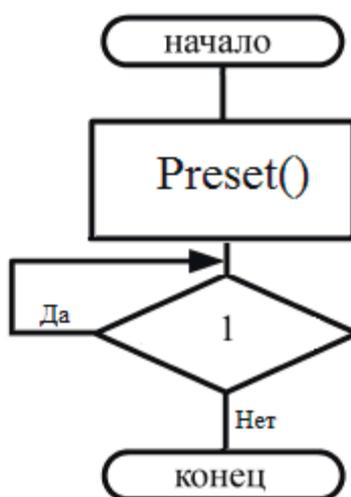


Рисунок 3.3 – Схема алгоритма основной программы

Подпрограмма обработки прерывания INT0.

При поступлении сигнала от датчика Холла на вход INT0 (порт PD2) происходит прерывание по переднему фронту сигнала, выполнение основной программы прерывается и управление передаётся подпрограмме обработки прерывания. Далее в подпрограмме увеличивается счётчик (hall) входящих импульсов от датчика Холла на единицу, и управление возвращается основной программе.

Подпрограмма обработки прерывания TC2.

Через каждые 128 мкс происходит прерывание TC2. При передаче управления подпрограмме обработки прерывания происходят вычисления и управление передаётся основной программе.

Подпрограмма обработки прерывания TC0.

Прерывание TC0 происходит каждые 8 мкс. В данной подпрограмме рассчитанное в прерывании TC2 значение раскладывается на разряды и выводится на соответствующий разряду семисегментный индикатор и осуществляется динамическая индикация. Рассчитанное значение передаётся по интерфейсу UART и разрешается прерывание на передачу, после чего управление передаётся основной программе.

Подпрограмма обработки прерывания по освобождению регистра данных передатчика.

В подпрограмме данные из массива через выход TX (порт PD1) микроконтроллера побайтно передаются на вход RX Wi-Fi модуля со скоростью 9600 бод.

Разработка программы.

Для разработки программы и для автономной ее отладки использовался специализированный пакет программ AVR Studio 4.

AVR Studio 4 – это профессиональная интегрированная среда разработки (Integrated Development Environment – IDE), предназначенная для написания и отладки прикладных программ для AVR микропроцессоров. AVR Studio 4 содержит ассемблер и симулятор. Также IDE поддерживает такие средства разработки для AVR как: ICE50, ICE40, JTAGICE, ICE200, STK500/501/502 и AVRISP.

## 4. РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ

### 4.1 СИНТЕЗ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Разрабатываемое устройство состоит из двух основных блоков: управления и коммутации. Каждый блок включает в себя ряд других необходимых для работы блоков, которые стоит рассмотреть детально.

#### БЛОК ПИТАНИЯ

Для обеспечения работы микроконтроллера Atmega16, рабочее напряжение которого 4,5 – 5,5 В, был разработан блок питания преобразующий переменный ток 220 В, в постоянный 5,0 В.

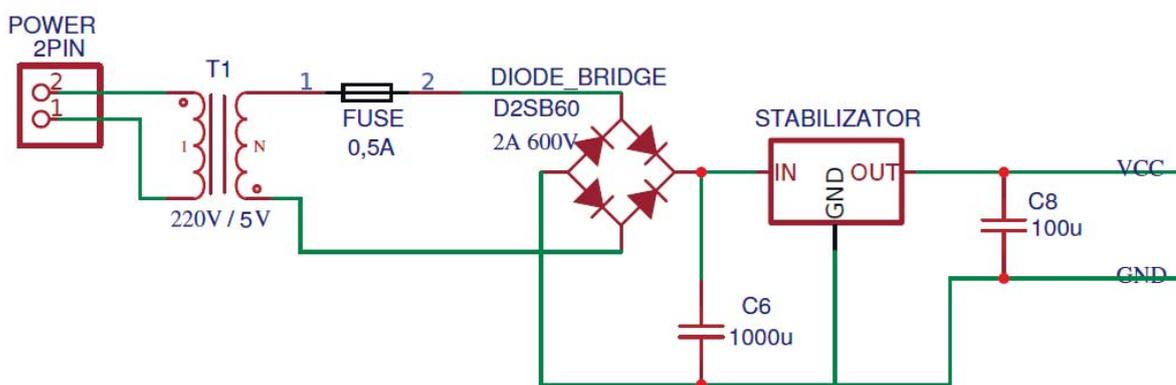


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема блока питания

Компоненты БП:

- Разъём POWER – вход напряжения 220 В;
- T1 – понижающий трансформатор;
- DIODE\_BRIDGE – диодный мост;
- STABILIZATOR – стабилизатор напряжения 5 В;
- C6, C8 – конденсаторы для сглаживания пульсаций;
- FUSE – предохранитель.

На вход блока питания поступает переменное напряжение 220 В, далее оно понижается трансформатором до 5 В. Диодный мост преобразует

переменное напряжение в постоянное, после чего конденсаторами сглаживаются пульсации напряжения. Так как выпрямленное напряжение в 1,4 больше переменного, необходимо использовать стабилизатор напряжения, на выходе которого будет 5 В.

## БЛОК УПРАВЛЕНИЯ

Главным элементом данного блока является микроконтроллер. С порта ввода/вывода PD2 считываются сигналы с датчика Холла. Предусмотрена возможность для подключения к ножкам 1 – 4 микроконтроллера для программирования через интерфейс SPI. Порты PA0 – PA7 и PD3 – PD7 используются для осуществления индикации. На портах PD1 и PD2 реализован интерфейс UART.



## БЛОК ИНДИКАЦИИ

Блок управления подает данные для отображения в блок индикации. Блок индикации содержит пять семисегментных индикаторов, на которых отображается измеряемая величина.

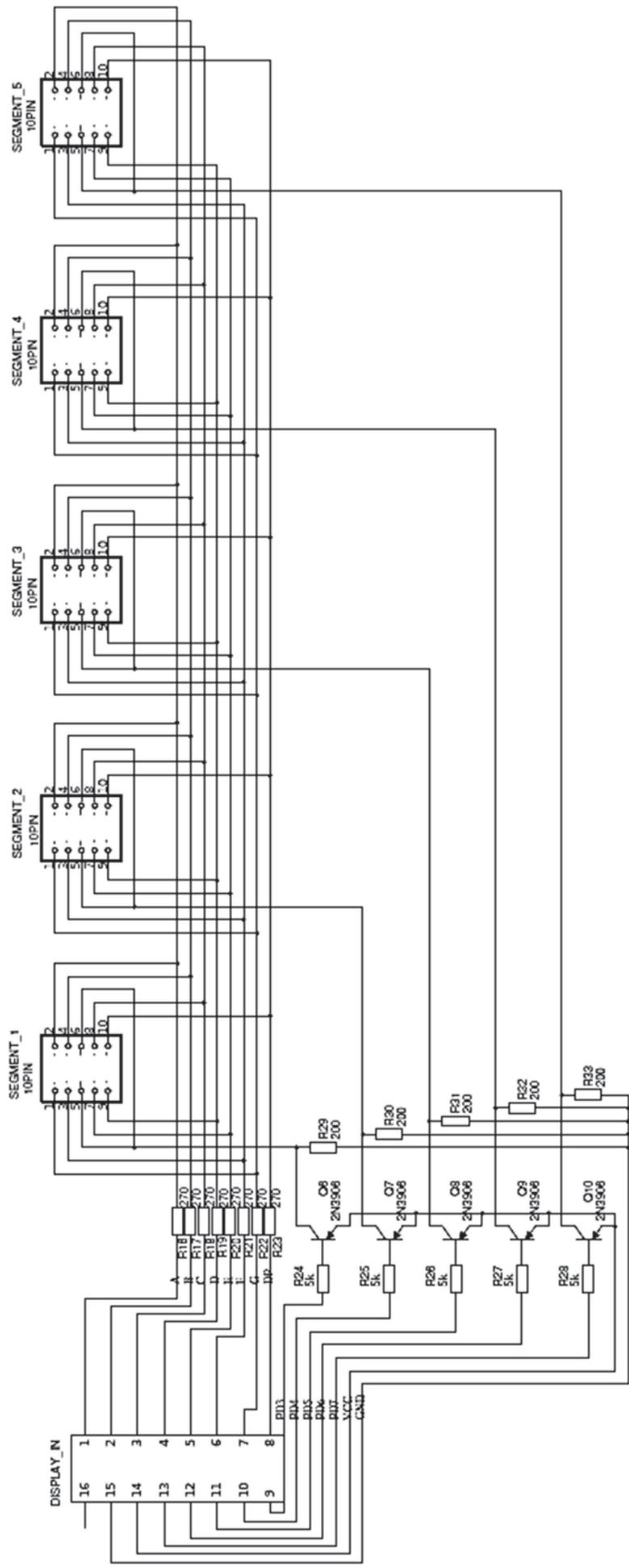


Рисунок 4.3 – Принципиальная схема блока индикации

Компоненты блока индикации:

- DISPLAY\_IN – разъём для подключения к микроконтроллеру;
- R16 – R33 – ограничивающие резисторы;
- Q6 – Q10 – управляющие транзисторы;
- SEGMENT – семисегментный индикатор.

## БЛОК КОММУТАЦИИ

Для осуществления обмена данными с приложением будет использован Wi-Fi модуль ESP-01 на ESP8266.

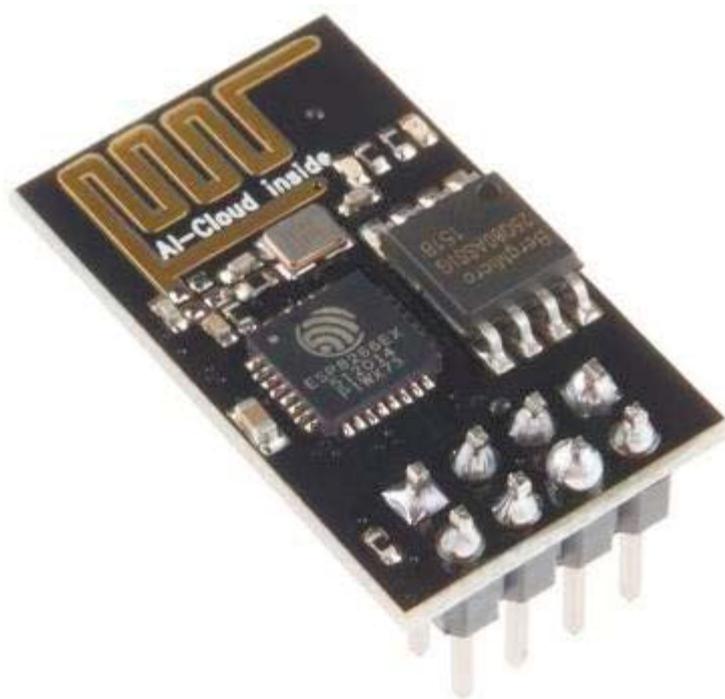


Рисунок 4.4 – Wi-Fi модуль ESP8266

Основные технические характеристики контроллера ESP8266 (а точнее ESP8266EX), касающиеся передачи данных по Wi-Fi:

- поддержка протокола 802.11 b/g/n;
- поддержка 802.11n (2.4 GHz), до 72.2 Mbps;
- поддержка шифрования WPA/WPA2 WEP/TKIP/AES;
- выходная мощность +20 дБм в режиме 802.11b;

- WiFi режим — STA (станция), программная точка доступа, программная точка доступа + STA (станция).

## ОТЛАДКА ПРОЕКТА В PROTEUS

Перед тем как приступить к разводке печатной платы, необходимо убедиться в работоспособности программы и при обнаружении ошибок исправить их до того, как программа будет загружена в микроконтроллер. Для этого воспользуемся Proteus8 Professional – системой автоматизированного проектирования, позволяющей смоделировать работу огромного количества аналоговых и цифровых устройств.

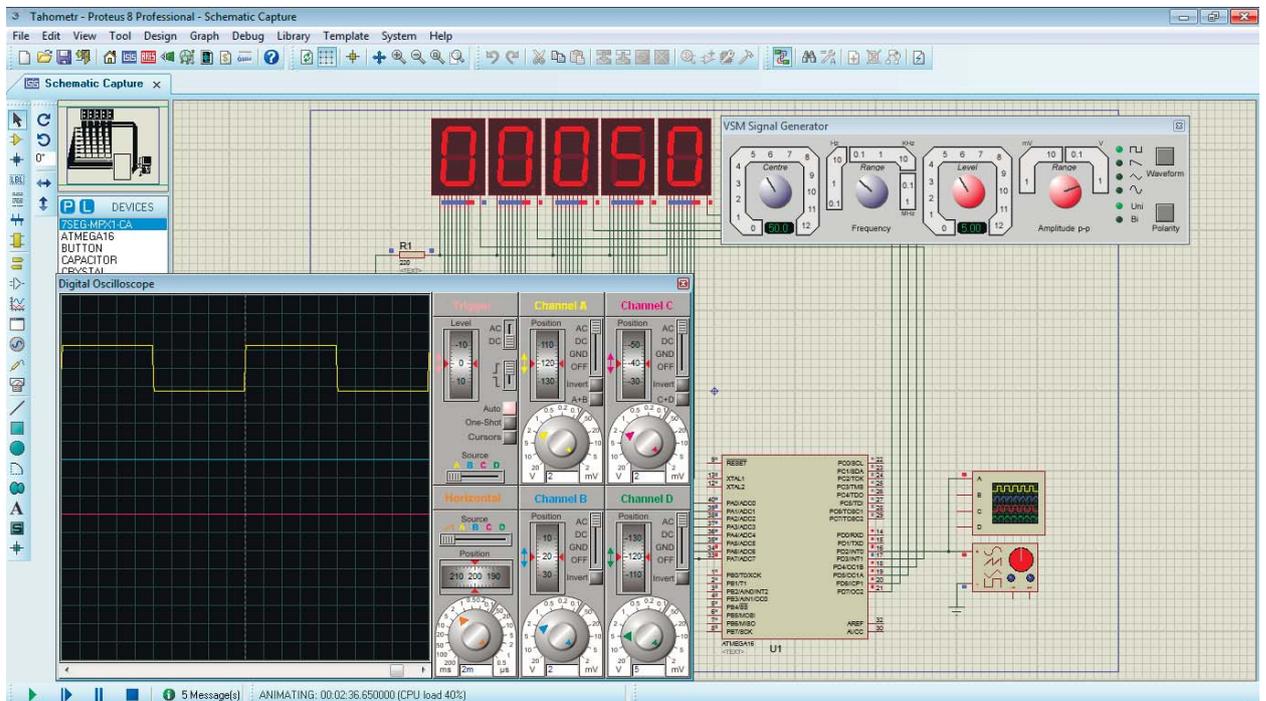


Рисунок 4.5 – Моделирование работы в Proteus8

На рисунке представлен процесс отладки проекта. К микроконтроллеру Atmega16 подключен пятиразрядный семисегментный индикатор для отображения рассчитанных значений. На вход микроконтроллера поступает цифровой сигнал с частотой 50 Гц, имитирующий значения, поступающие с датчика Холла. К этому же входу микроконтроллера подключен осциллограф, для визуализации входного сигнала.

## 4.2 РАЗВОДКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Спроектированные платы являются двухсторонними, кроме платы для блока питания.

На плате блока питания расположен разъем для подключения питания 220 В, трансформатор, стабилизатор напряжения и сглаживающие пульсации напряжения конденсаторы.

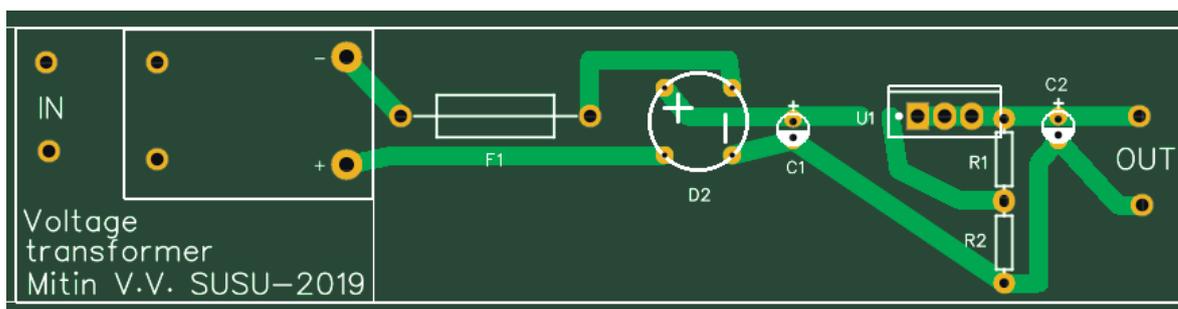


Рисунок 4.6 – Печатная плата блока питания

В сфере проектирования стоимость ошибкикратно увеличивается на каждом последующем этапе и одной из самых сложных областей является обеспечение того, что печатный узел подойдет в корпус изделия. Современные изделия компактны, могут иметь нестандартную форму и включать в себя множество печатных плат, соединённых между собой. Поэтому для упрощения разработки можно воспользоваться 3D моделированием – рисунок 4.7.

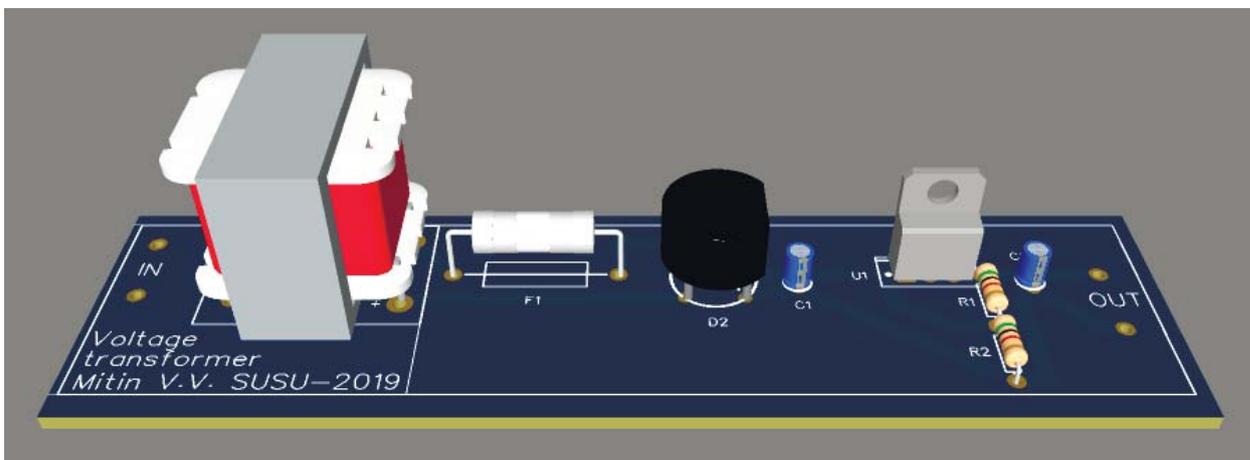


Рисунок 4.7 – 3D модель блока питания

При изготовлении рабочего образца (рисунок 4.8) было принято решение установить светодиод для индикации состояния блока питания, дополнительные конденсаторы для сглаживания пульсаций и радиатор для охлаждения стабилизатора напряжения, так как в зависимости от нагрузки на нём рассеивается до 1 Вт мощности.

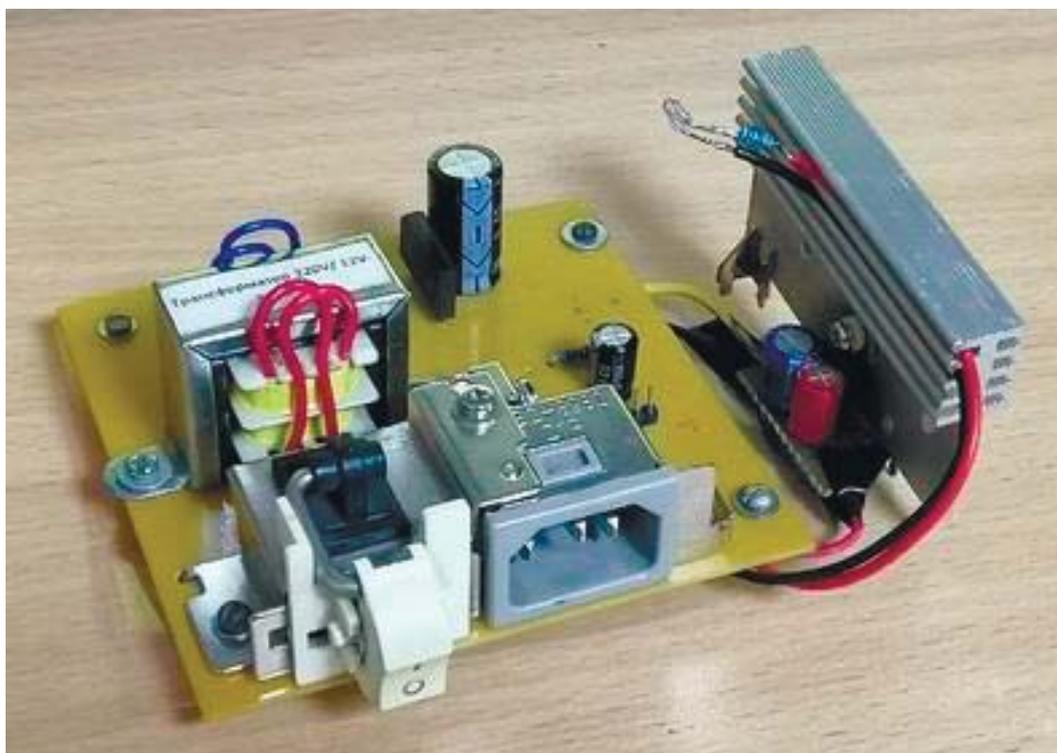


Рисунок 4.8 – Прототип блока питания

На плате блока управления в центре находится микроконтроллер. Сверху расположены разъёмы для подключения магнитного датчика и пятиразрядного семисегментного индикатора. Слева и снизу расположены разъёмы для подключения программатора и питания. Печатная плата блока управления представлена на рисунке 4.9.

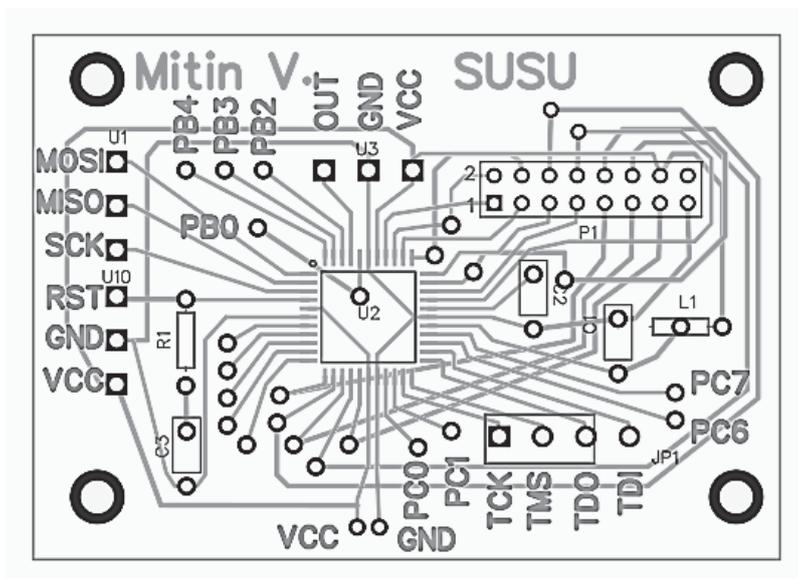


Рисунок 4.9 – Печатная плата блока управления

3D модель блока управления имеет множество пинов для подключения датчиков и соединительную колодку для подключения семисегментного индикатора.

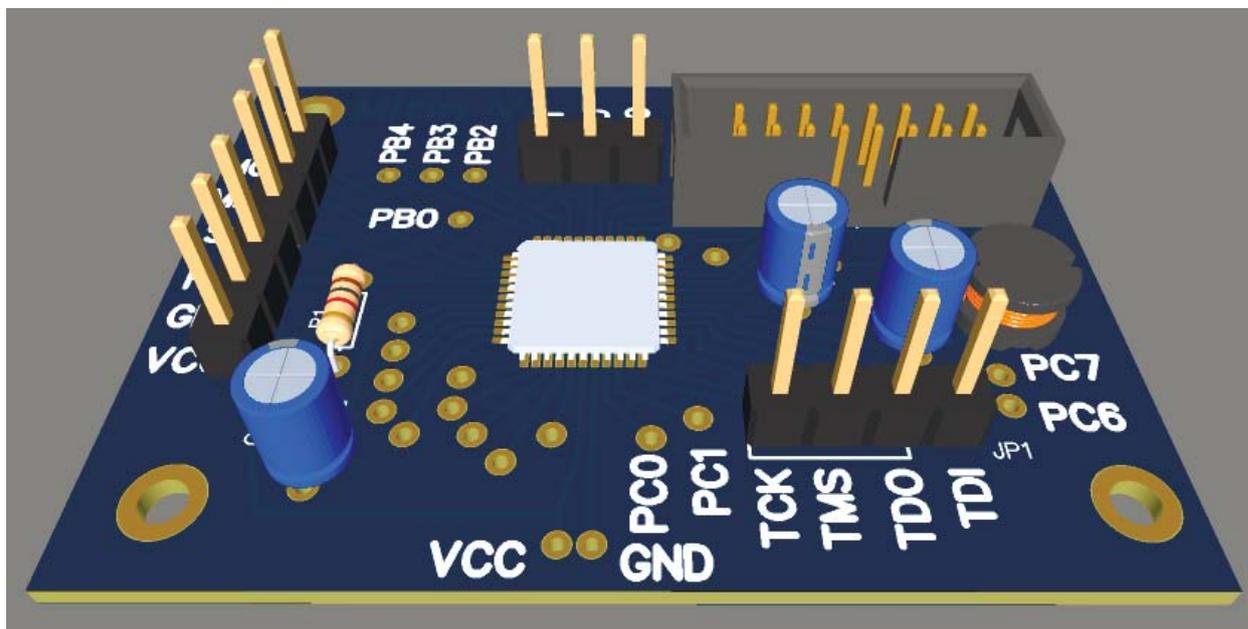


Рисунок 4.10 – 3D модель блока управления

На печатной плате для пятиразрядного семисегментного индикатора в центре находятся пять семисегментных индикаторов. Слева и справа

расположены ограничивающие резисторы. Внизу слева находится разъем для подключения к блоку управления.

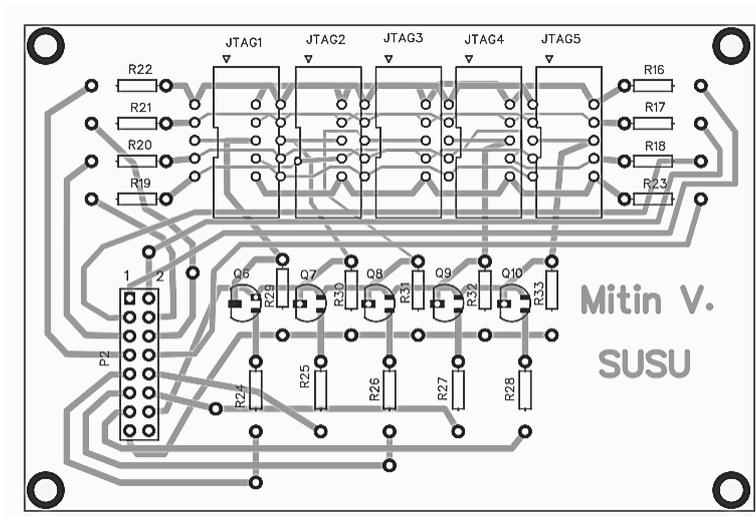


Рисунок 4.11 – Печатная плата блока индикации

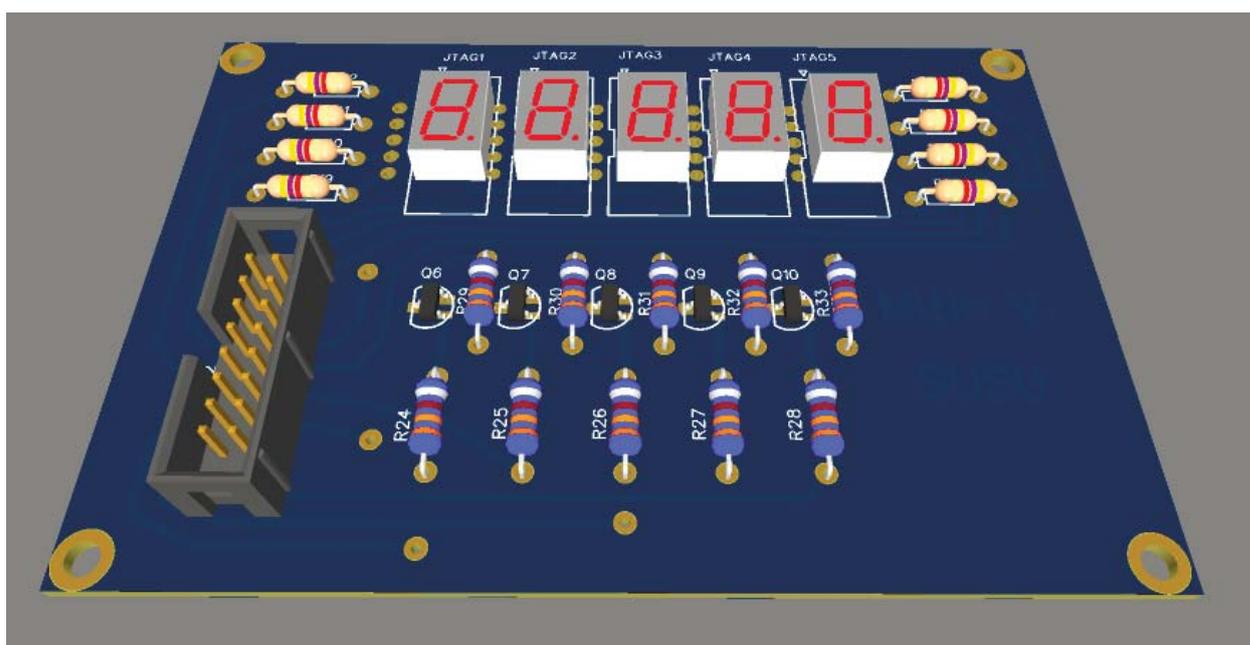


Рисунок 4.12 – 3D модель блока индикации

После изготовления печатных плат на них были распаяны необходимые элементы, подключены датчики и wi-fi модуль.

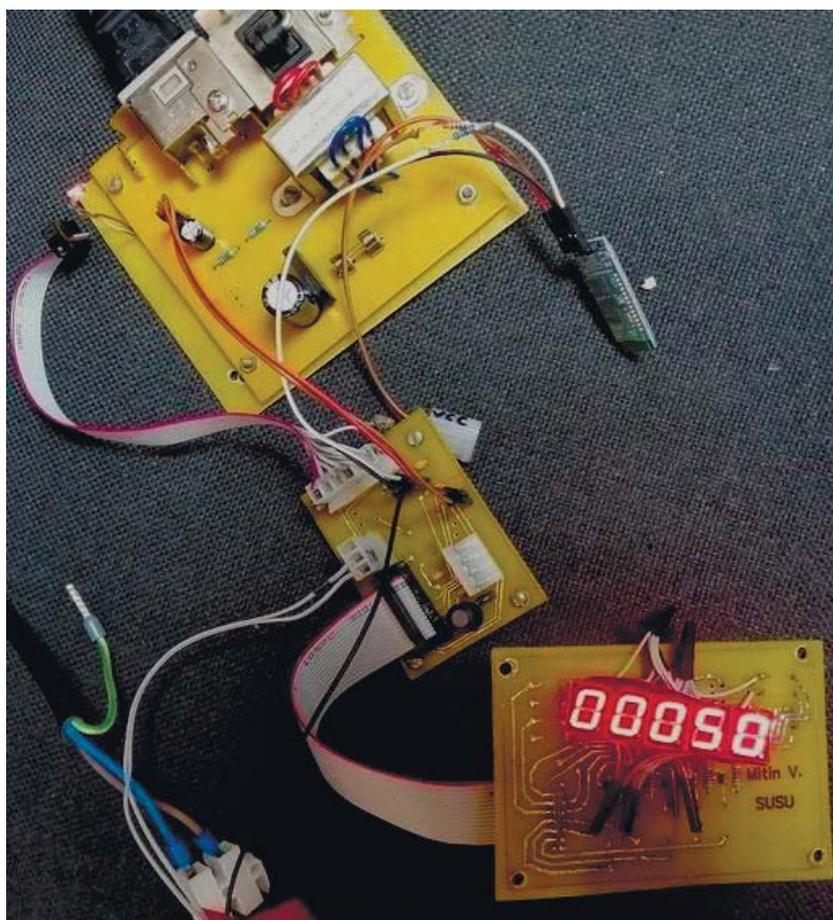


Рисунок 4.13 – Пример работы спроектированного устройства.

На рисунке 4.13 показан процесс измерения частоты сети 50 Гц. При изготовлении блока индикации было принято решение перенести семисегментные индикаторы на противоположную сторону печатной платы.

Следующим этапом является проектирование корпуса устройства и создание его 3D-модели в программе Design Spark Mechanical 4.0.

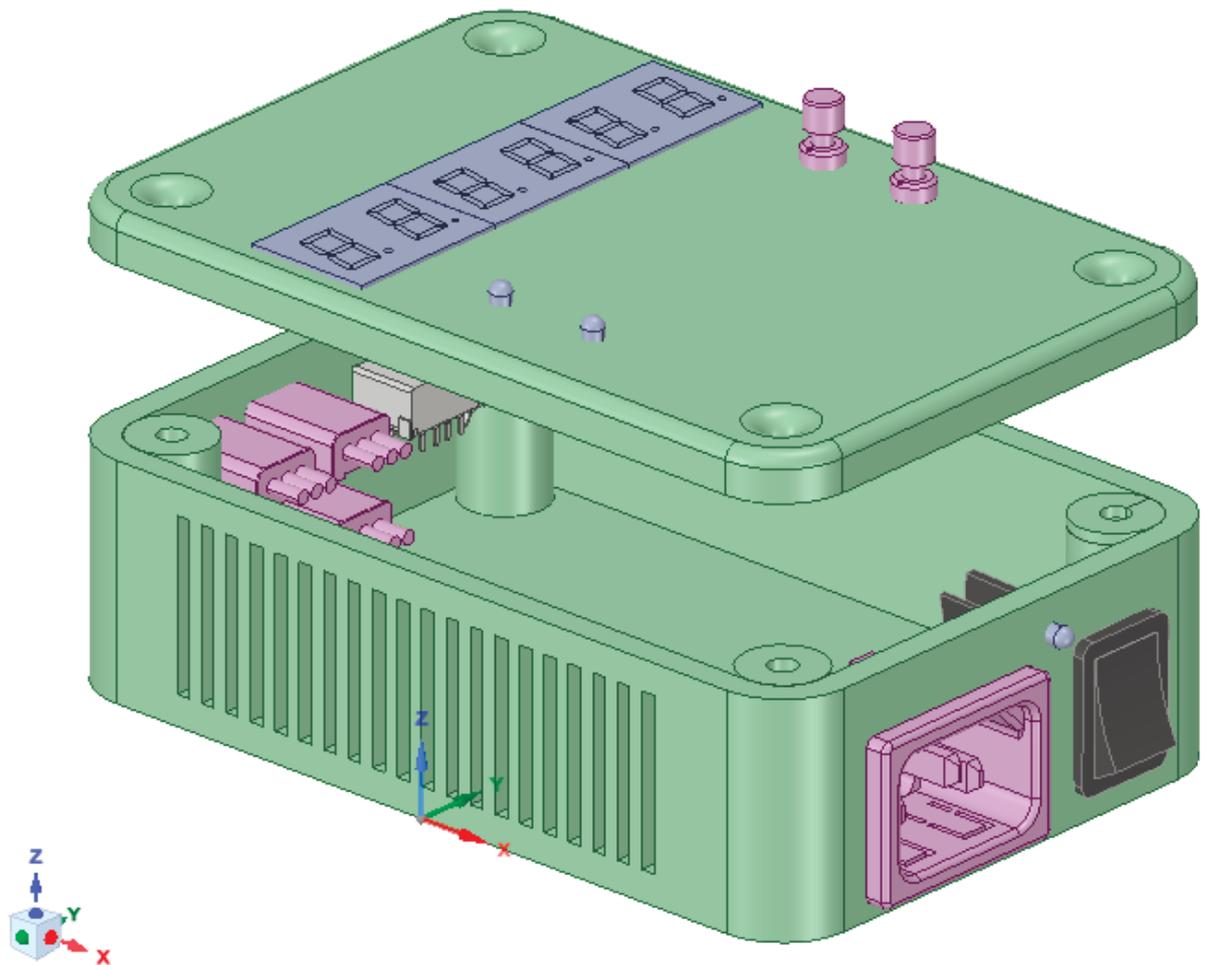


Рисунок 4.14 – 3D-модель корпуса устройства.

На передней части располагается разъём для подключения питания 220В, кнопка включения и световой индикатор. Сбоку расположены вентиляционные отверстия для охлаждения, сверху – семисегментный индикатор для отображения измеряемых значений, кнопки для перехода в режим программирования и световые индикаторы активности wi-fi модуля и модуля преобразователя интерфейсов.

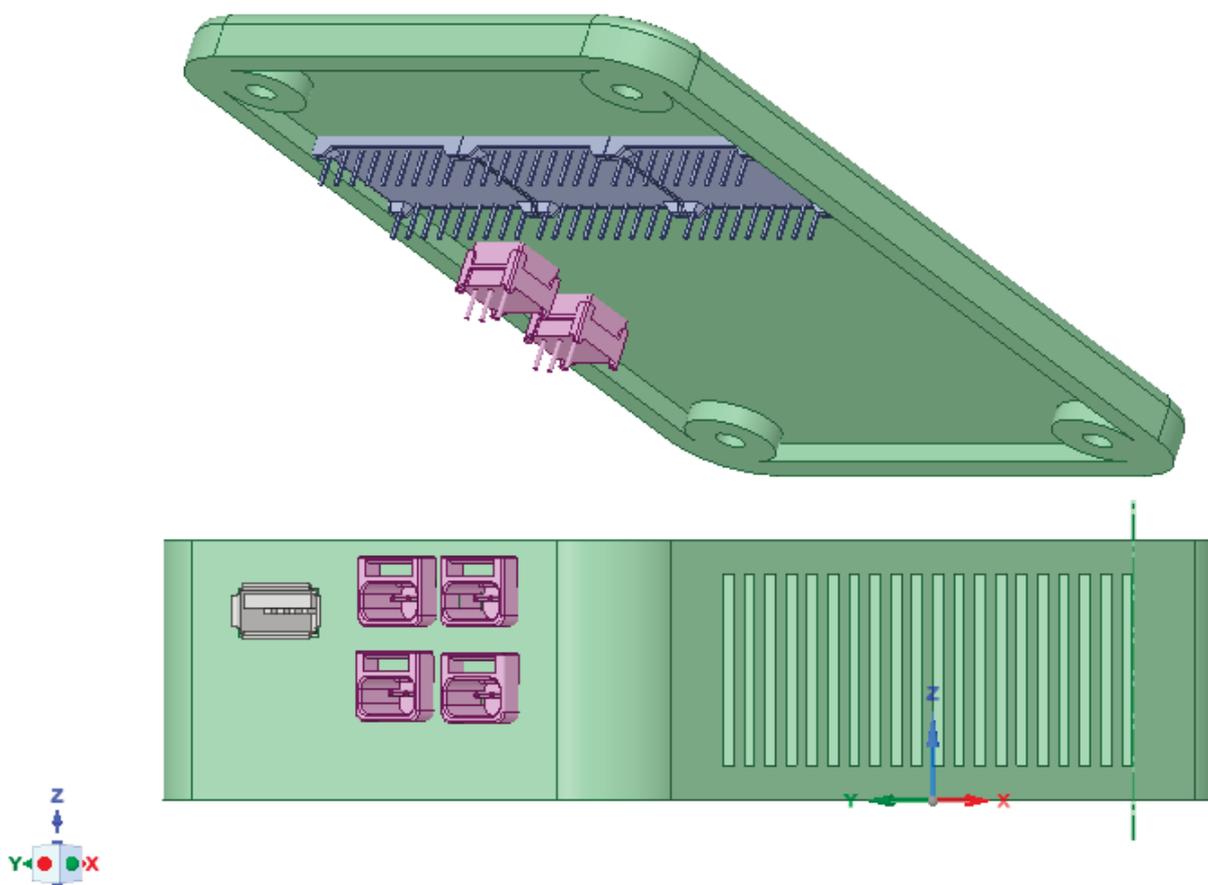


Рисунок 4.15 – 3D-модель корпуса устройства.

С обратной стороны расположен USB-порт и разъёмы для подключения датчиков.

#### 4.3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ESP8266

Как упоминалось выше, Scada-система будет получать данные через Wi-Fi, для этого нужно перепрограммировать Wi-Fi модуль ESP8266. Для подключения его к компьютеру воспользуемся USB-UART преобразователем на схеме FTDI FT232RL.

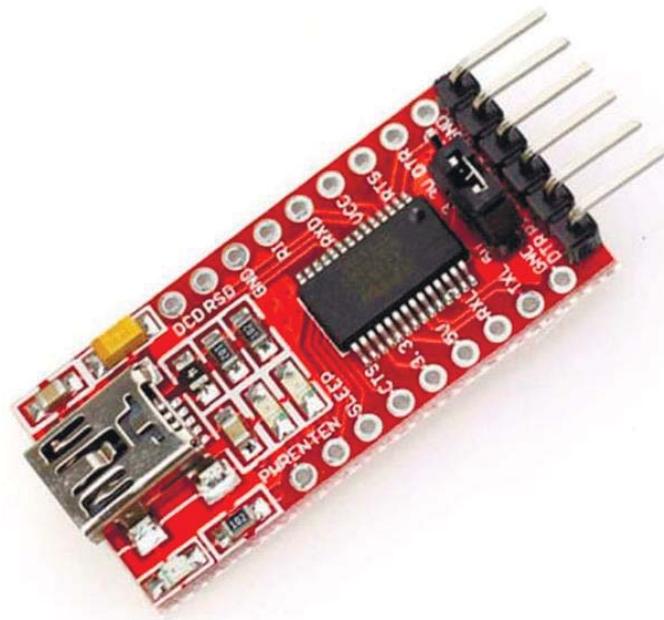


Рисунок 4.16 – Модуль преобразователя интерфейсов USB to TTL.

Необходимость использования преобразователя интерфейсов обусловлена тем, что современные компьютеры активно избавляются от обязательных ранее последовательных портов, наиболее простых в использовании для программирования и отладки микропроцессорных устройств.

По схеме подключения соединяем модули и подключаемся к компьютеру.

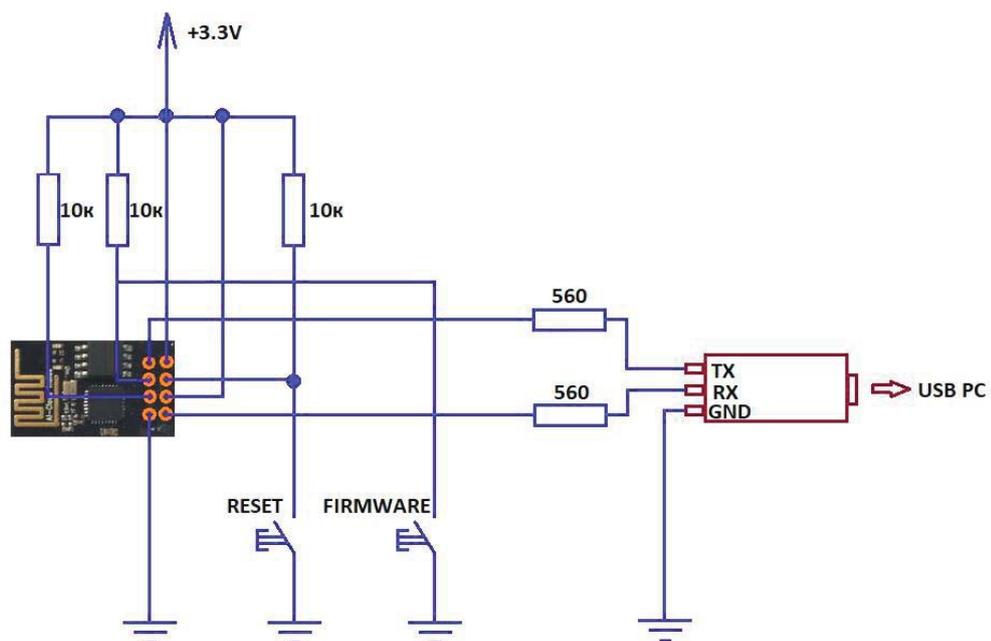


Рисунок 4.17 – Схема подключения модулей.

На рисунке ниже изображен процесс подключения ESP8266 к компьютеру для программирования:

1. блок питания;
2. USB-UART преобразователь;
3. модуль ESP8266.

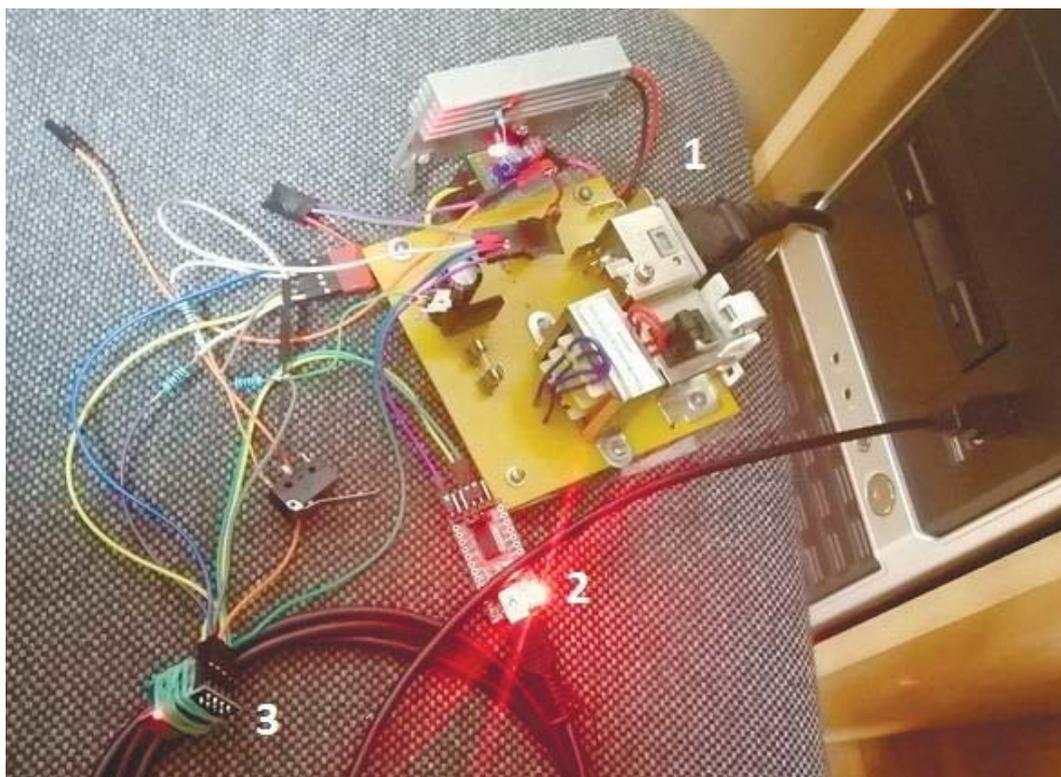


Рисунок 4.18 – Подключение Wi-Fi модуля к компьютеру.

С помощью программы CoolTerm проверяем модуль на работоспособность и узнаем версию прошивки через AT-команды.

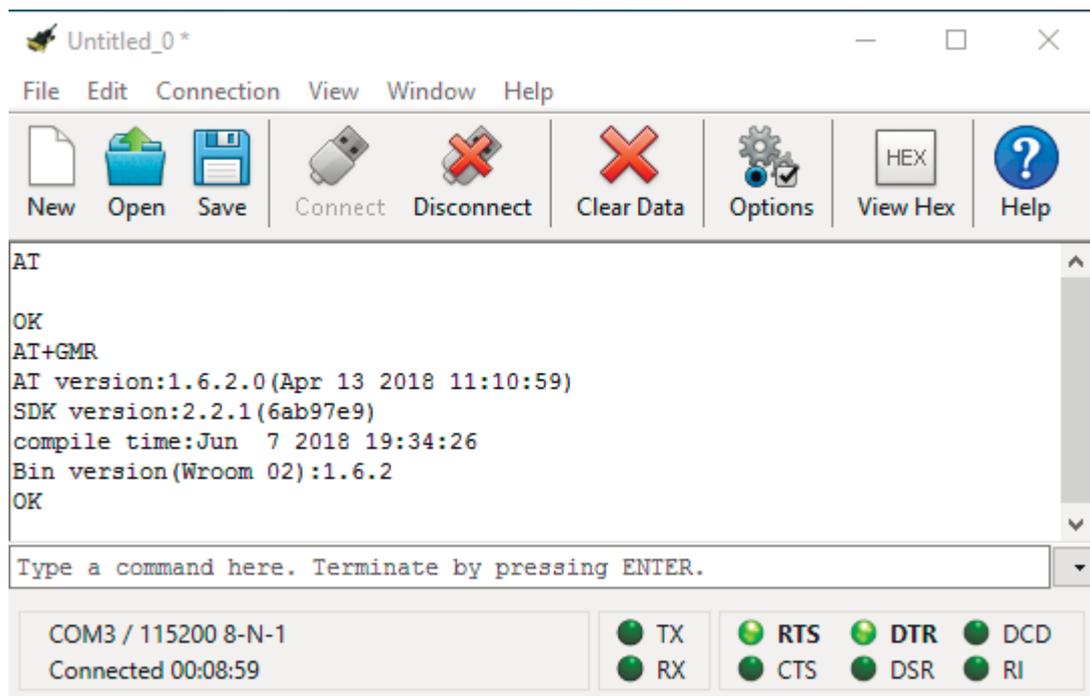


Рисунок 4.19 – Интерфейс программы CoolTerm.

Для решения поставленной задачи необходимо написать собственную прошивку и web-интерфейс, для этого воспользуемся IDE Arduino, так для этой IDE существует большое количество библиотек для быстрой разработки.

IDE Eclipse в отличие от IDE Arduino обладает большей гибкостью, но для использования библиотек Arduino необходимо производить дополнительные настройки.

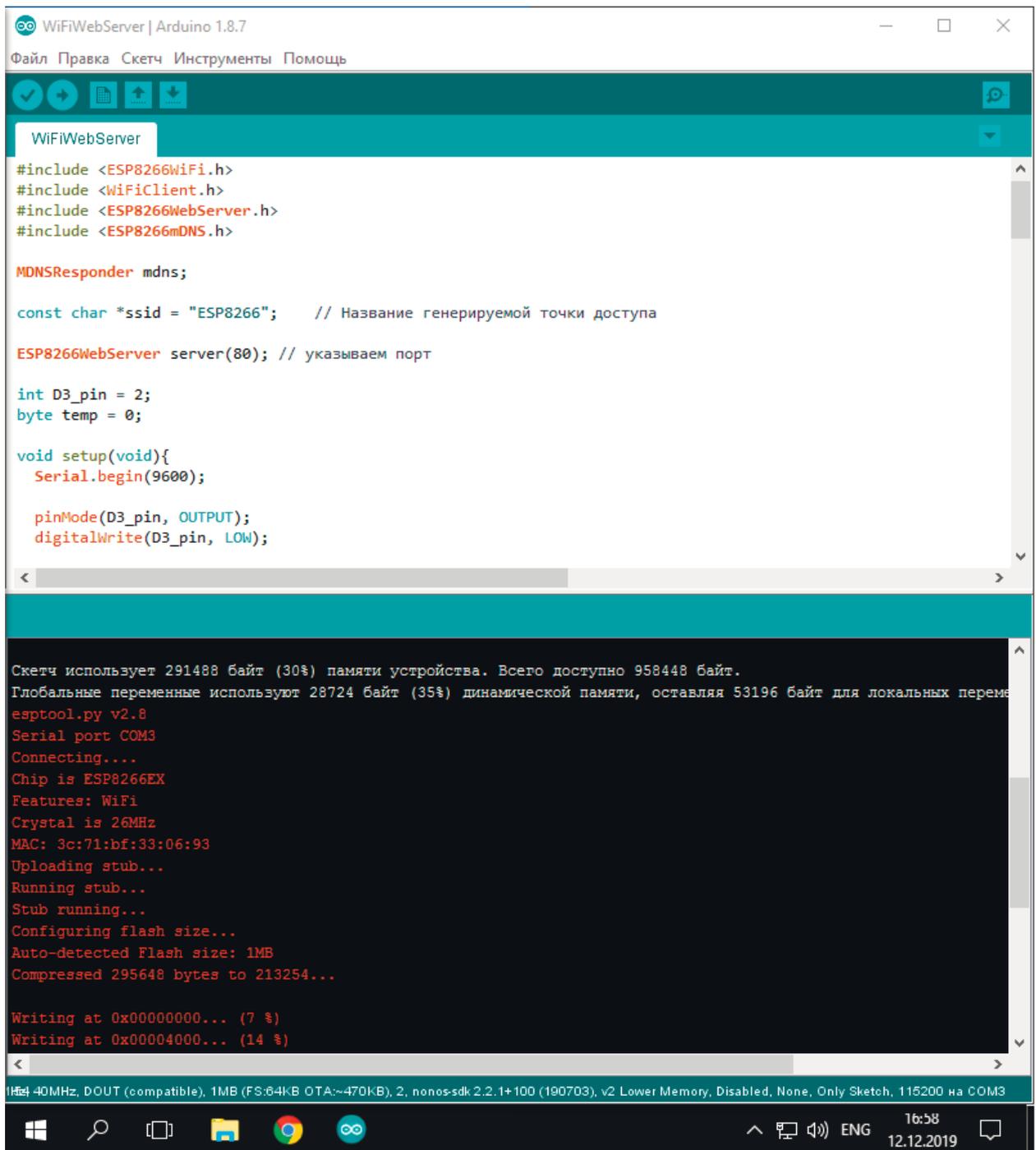


Рисунок 4.20 – Процесс программирования ESP8266.

После программирования ESP8266 может создавать точку доступа с именем ESP8266 к которой можно подключиться с любого устройства. По IP адресу 192.168.4.1 доступен web-интерфейс. Данный адрес стандартный, но его можно задавать программно.

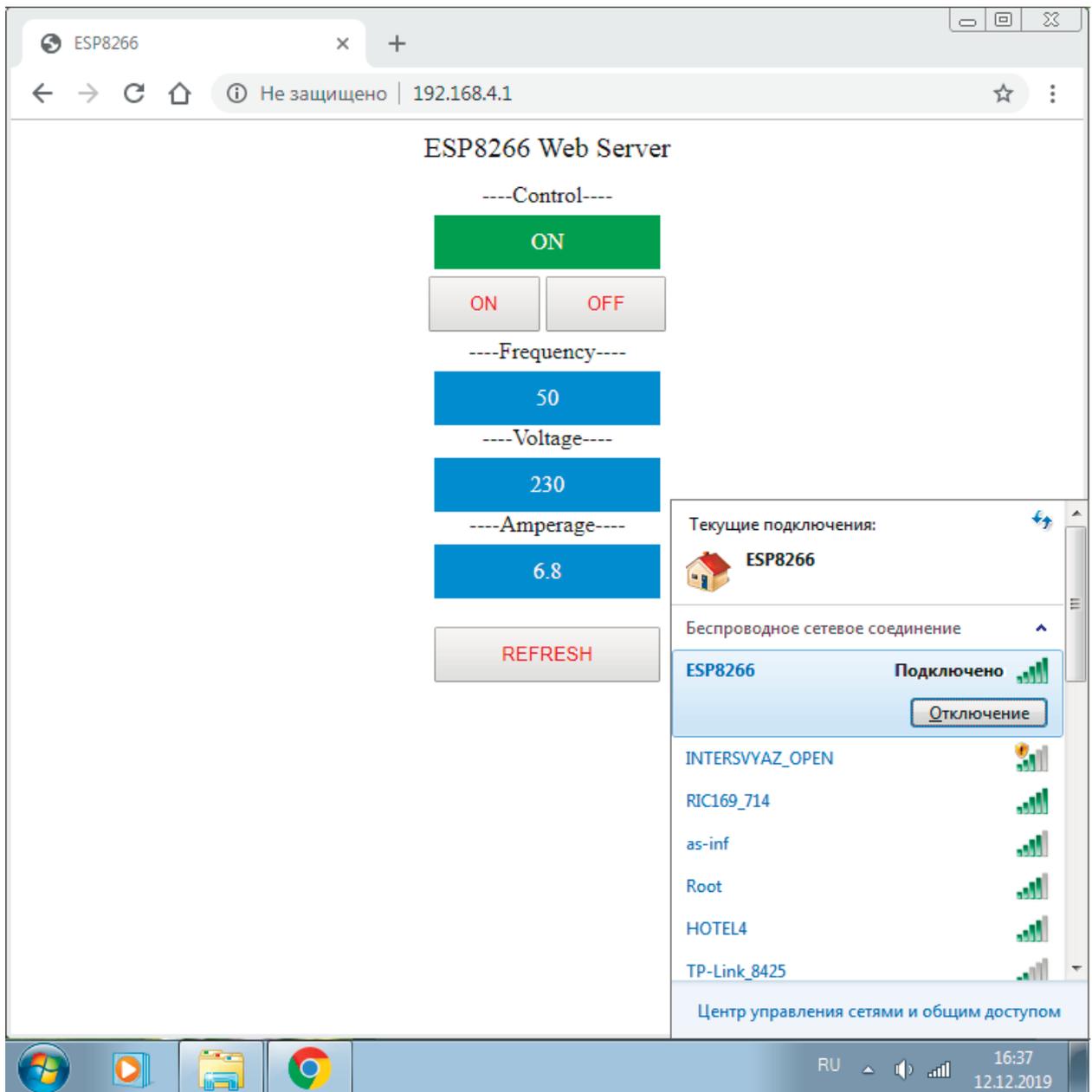


Рисунок 4.21 – Web-интерфейс ESP8266.

На рисунке 4.21 можно увидеть открытое окно web-браузера в операционной системе семейства Windows. В адресной строке находится IP адрес, который был задан в созданной программе для ESP8266. В правом нижнем углу можно увидеть точку доступа ESP8266, её название также задаётся в прошивке. В центр окна web-браузера выведены данные, передаваемые аппаратной частью комплекса SCADA-системе.

## 4.4 РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА В MASTERSCADA

Разработка проекта в MasterSCADA включает в себя следующие этапы:

- настройка связей с микроконтроллером;
- описание системы управления;
- задание типовых настроек;
- тестирование системы.

### НАСТРОЙКА СВЯЗЕЙ С МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ

Для обмена данными в системах контроля и управления используется OPC-технология. Существует OPC-сервер – программа, получающая данные во внутреннем формате устройства или системы и преобразующая эти данные в формат OPC. OPC-сервер является источником данных для OPC-клиентов. Другими словами, OPC-сервер – это универсальный драйвер физического оборудования, обеспечивающий взаимодействие с любым OPC-клиентом.



Рисунок 4.22 – Уровни АСУ ТП.

Таким образом, OPC-технология обеспечивает независимость потребителей от наличия или отсутствия драйверов или протоколов, что позволяет выбирать оборудование и программное обеспечение, наиболее полно отвечающее реальным потребностям.

Воспользуемся ПО MasterOPC Universal Modbus Server.

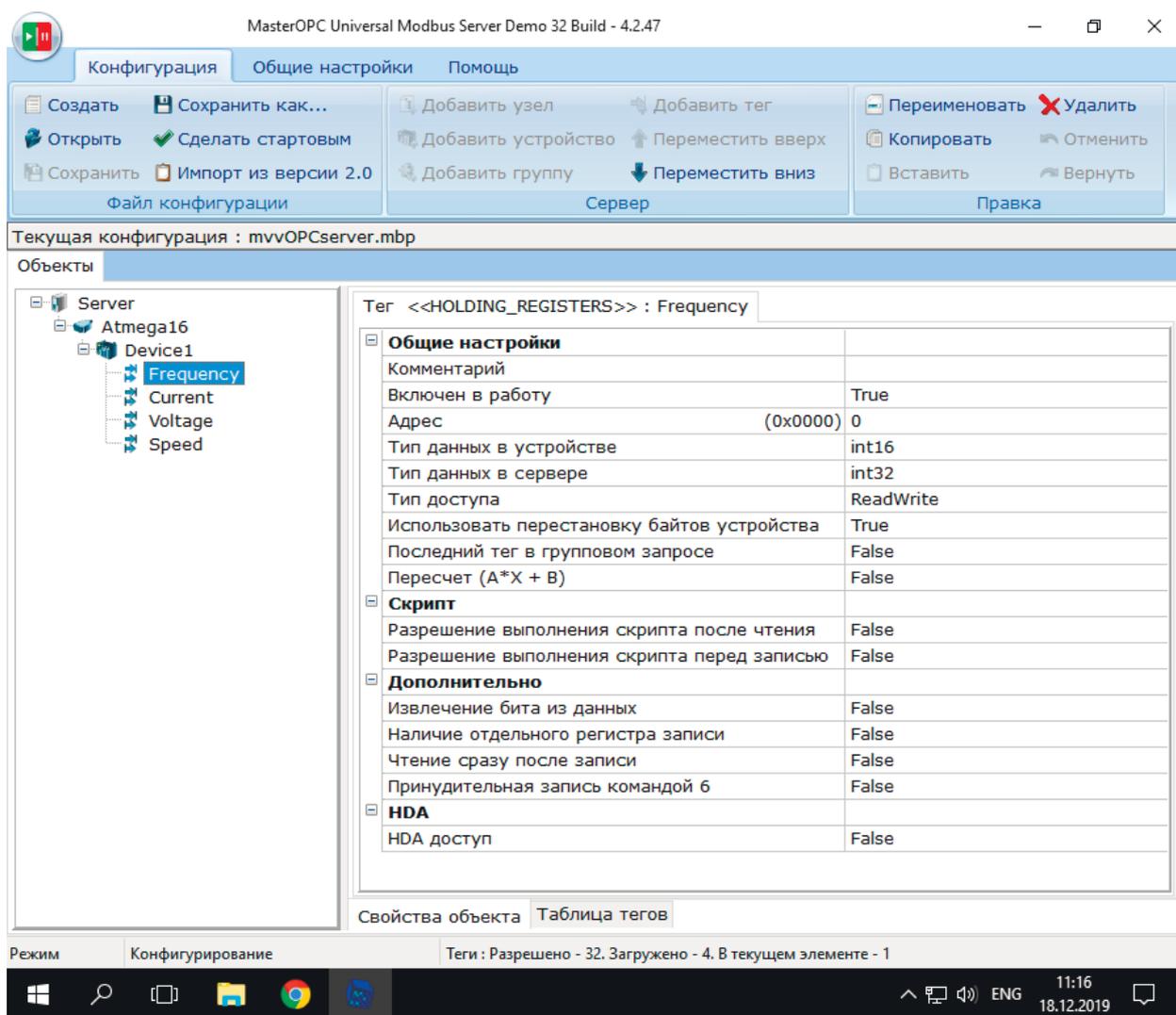


Рисунок 4.23 – MasterOPC Universal Modbus Server.

Для соединения с Wi-Fi-модулем необходимо в настройках OPC-сервера указать тип узла, IP адрес и порт, указанные в прошивке ESP-8266.

Редактирование коммуникационного узла

Имя узла

<b>Общие настройки</b>	
Комментарий	
Включен в работу	True
Тип узла	TCP/IP
<b>Настройки TCP/IP</b>	
IP адрес	192.168.4.1
IP порт	80
Время ожидания соединения (с)	10
Повторы при ошибке	3
Межсимвольный таймаут (мс)	1000
<b>Скрипт</b>	
Выполнение скрипта	False
<b>Дополнительные настройки</b>	
Slave подключение	False
Modbus по верх TCP	False
Принудительный разрыв соединения в каждом цикле	False
Отслеживать Transaction ID	True
Подключение в режиме TCP сервера	False

Тиражировать

Рисунок 4.24 – Добавление коммуникационного узла.

## ЗАДАНИЕ ТИПОВЫХ НАСТРОЕК

В MasterSCADA создаём проект и подключаем OPC-сервер и OPC переменные. При создании мнемосхемы добавляем на неё необходимые данные и графики для удобной работы оператора.

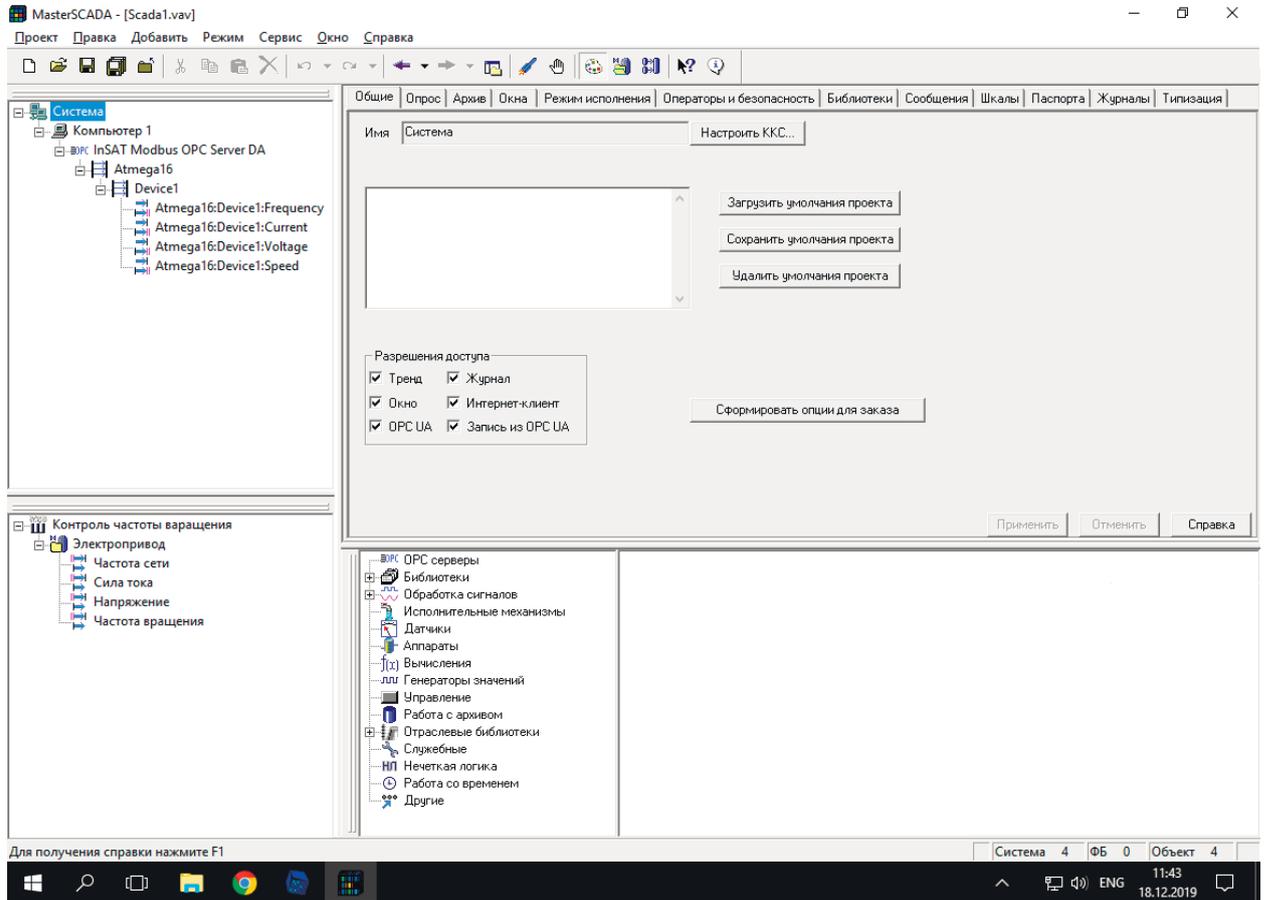


Рисунок 4.25 –MasterSCADA.

## 5. ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ

### 5.1 АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ

На рисунке представлено устройство на основе микропроцессора Atmega16. В его состав входят следующие блоки:

1. блок питания;
2. блок управления;
3. семисегментная индикация;
4. блок коммутации (Wi-Fi модуль);
5. датчик Холла.

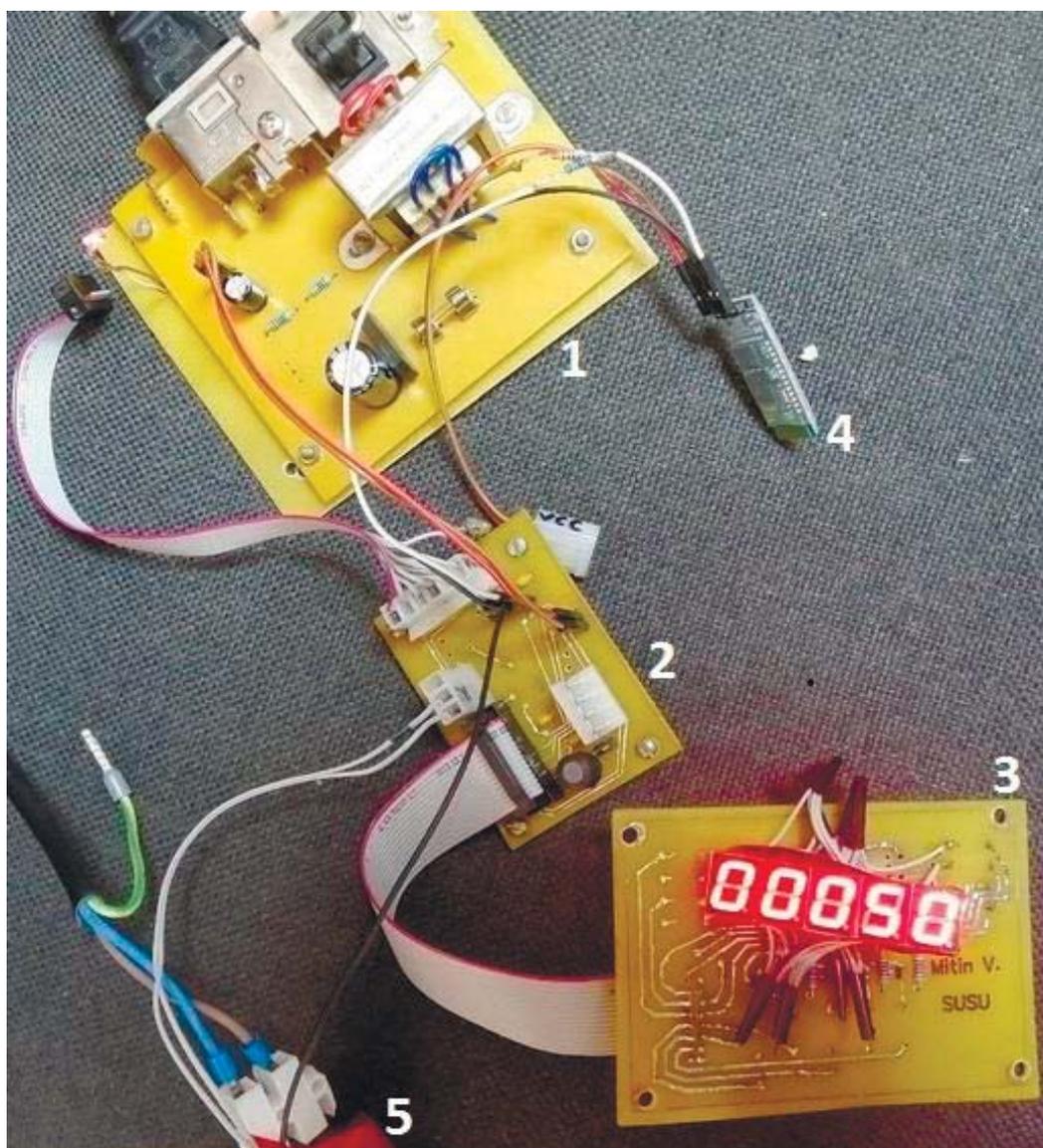


Рисунок 5.1 – Аппаратная часть.

## 5.2 WEB ИНТЕРФЕЙС

На рисунке представлен web-интерфейс Wi-Fi модуля ESP8266 и точка доступа, генерируемая этим модулем.

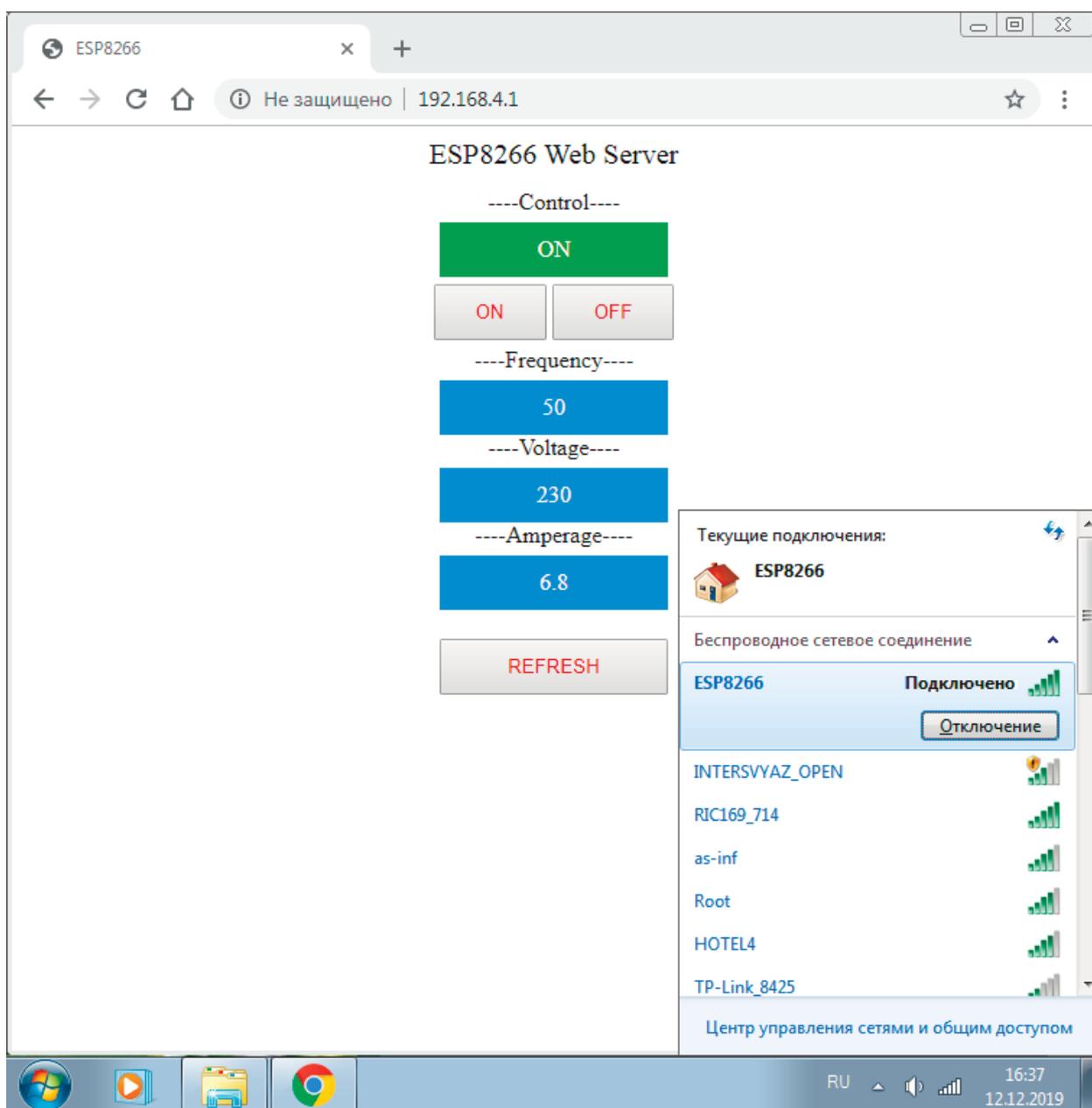


Рисунок 5.2 – Web-интерфейс ESP8266.

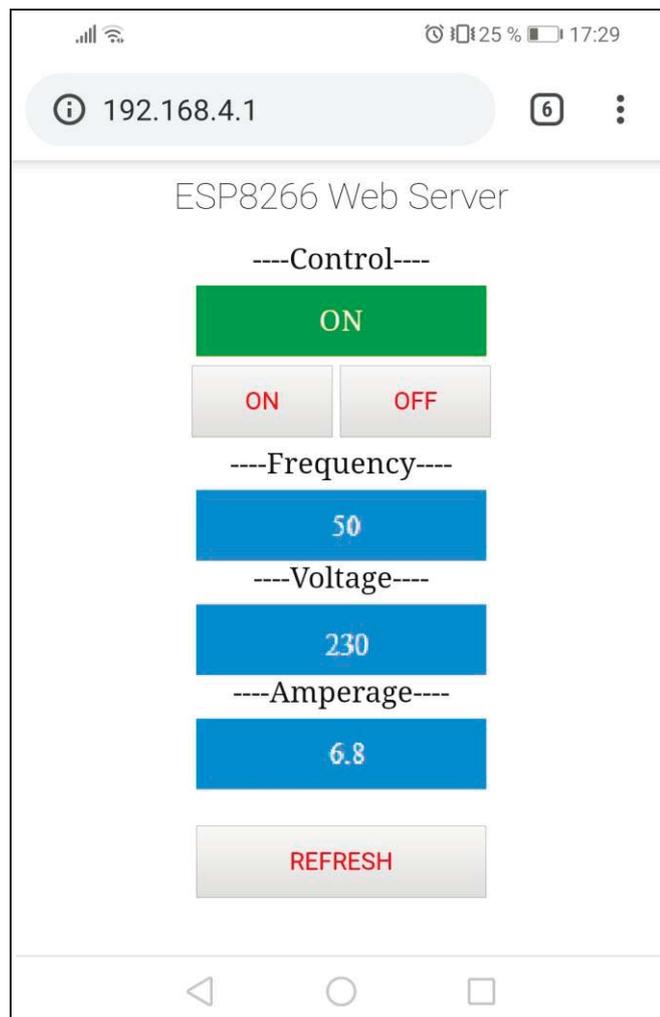


Рисунок 5.3 – Web-интерфейс для мобильных устройств.

### 5.3 MASTERSCADA

На рисунке представлен проект, разработанный в системе MasterSCADA.

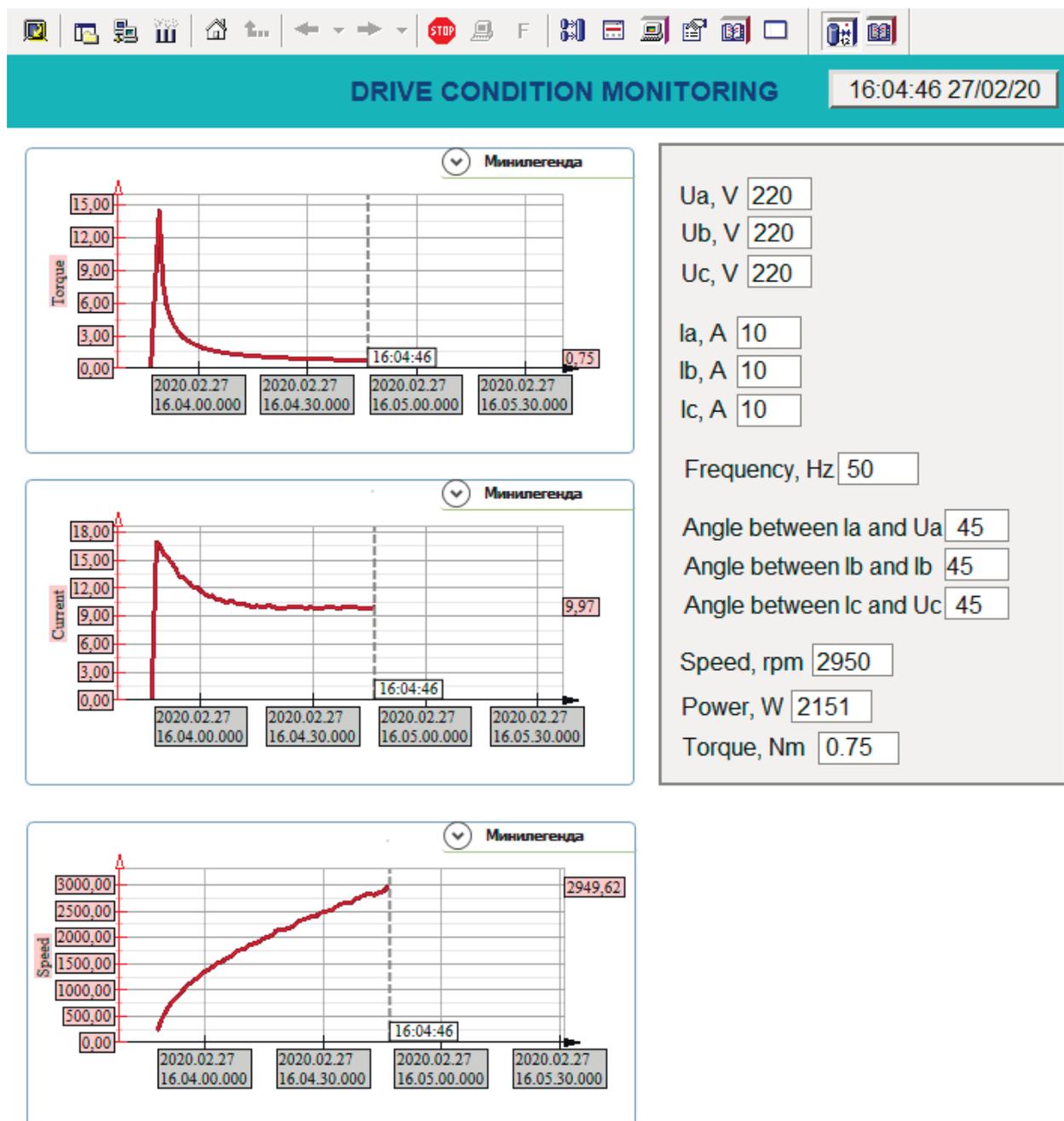


Рисунок 5.4 – Проект в MasterSCADA.

Верхний график показывает изменение момента вращения во времени. График ниже иллюстрирует изменение силы тока, можно заметить, что максимальное значение достигается во время старта двигателя – пусковой ток.

Со временем ротор срагивается с места, набирает скорость (нижний график) и значение тока снижается.

Справа от графиков представлены входные и рассчитанные значения.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Основные результаты работы:

1. Разработана аппаратная часть комплекса, изготовлен опытный образец.
2. Создан проект в SCADA-системе.
3. Проведённое компьютерное моделирование показало возможность в реальном времени производить контроль состояния электропривода.

В настоящее время разработанный программно-аппаратный комплекс подготовлен к опытной эксплуатации.

Данный комплекс может быть применим для использования в обучении.

Возможными путями развития разработанного программно-аппаратного комплекса являются:

- добавление нового функционала;
- разработка базы данных.
- улучшение web-интерфейса.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петухов С.В., Кришьянис М. В. Электропривод промышленных установок : Учебное пособие Архангельск: С(А)ФУ, 2015. – 303 с.
2. Политехнический институт. –  
<https://www.susu.ru/ru/politehnicheskiy-institut/>. Дата обращения: 31.10.2019.
3. DuckDuckGo [Электронный ресурс]: интернет-энциклопедия. – Академик. – Режим доступа:  
<https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1698270>, свободный.
4. Крымский, В. Г. Автоматизация управления технологическими процессами в газораспределительных сетях: проблемы, тенденции и перспективы [Текст] / В. Г. Крымский, И. М. Жалбеков, Р. Р. Имильбаев, А. Р. Юнусов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. №2. С. 70-79.
5. Кулинич, Э. М. Моделирование оптимального управления процессом дозирования многокомпонентного технологического процесса приготовления газобетона [Текст] / Э. М. Кулинич, В. В. Зиновкин // Электротехника и электроэнергия. – 2011. №2. С. 54-60.
6. Кулинич, Э. М. Метод моделирования и визуализации многопараметрической системы управления технологическим процессом приготовления газобетона [Текст] / Э. М. Кулинич, В. В. Зиновкин // Электротехника и электроэнергия. – 2010. №2. С. 56-61.
7. Галкин, В. В. Алгоритм расчёта скоростных и нагрузочных режимов электроприводов клеток прокатного стана при прокатке толстых полос [Текст] / В. В. Галкин, А. С. Карандаев, В. В. Головин, А. А. Радионов, В. Р. Храмшин, В. Р. Гасияров, О. А. Залогин // Технические науки. – 2010. №3. С. 12-17.
8. Грязев, М. В. Разработка и серийное производство конкурентоспособного многооборотного интеллектуального

- электропривода нового поколения для управления, регулирования и мониторинга запорной арматурой систем автоматизации предприятий, газовых и нефтяных магистралей, ТЭЦ, ГРЭС, ГЭС и АЭС [Текст] / М. В. Грязев, В. А. Дмитриев, В. Д. Кухарь, В. Я. Распопов, П. Г. Сидоров // Технические науки. – 2011. №5. С. 33-40.
9. Поклад, П. М. Программные средства управления электроприводами [Текст] / П. М. Поклад // Вестник ИГЭУ. – 2010. №4. С. 1-3.
10. Борисов, А. М. Автоматизация типовых технологических процессов и производственных установок [Текст] / А. М. Борисов, А. С. Нестеров, А. Н. Горожанкин, Г. И. Драчёв // Вестник ЮУрГУ. – 2012. №37. С. 111-113.
11. Иевлев, Н. Г. Анализ требований к точности математических моделей параметров прокатки для АСУ ТП толстолистовых станов [Текст] / Н. Г. Иевлев // Математические системы и машины. – 2018. №4. С. 56-68.
12. Григорьев, С. Н. Организация и управление сложным машиностроительным производством на основе CALS-технологий [Текст] / С. Н. Григорьев, А. А. Кутин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. №4. С. 403-407.
13. Дубровин, В. И. Автоматизированная система технической диагностики [Текст] / В. И. Дубровин // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 2005. – №2. – С. 111-116.
14. Куник, Е. Г. Архитектура компьютерного тренажёра для обучения операторов АСУ ТП [Текст] / Е. Г. Куник, А. Н. Коваленко, С. А. Ляшенко // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 2009. – №1. – С. 128-131.
15. Куваев, В. Н. Особенности построения программного обеспечения многозадачных систем управления критичных к режиму реального времени [Текст] / В. Н. Куваев, И. В. Политов // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 1999. – №1. – С. 68-70.

16. Хасанов, З. М. Быстродействующий алгоритм адаптивного управления электроприводами в технологии производства кварцевой трубы [Текст] / З. М. Хасанов // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 2001. – №2. – С. 147-153.
17. Щербаков, В. С. Система автоматизированного управления электропривода для автокрана КС-4562 [Текст] / В. С. Щербаков, В. Е. Беляков // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 2005. – №1. – С. 164-168.
18. Нечаев, М. А. Разработка системы управления движением сканирования установки магнетронного вакуумного напыления [Текст] / М. А. Нечаев // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – №4. – С. 115-120.
19. Енекеева, Э. Р. Принцип построения автоматизированной системы управления электроприводом механизмов добычи нефти [Текст] / Э. Р. Енекеева, А. А. Емеев, Р. Р. Ахметов, А. Н. Якунин // Геология и нефтегазовое дело. – 2013. – №7. С. 116-126.
20. Лютов, А. Г. Автоматизированная система управления качеством промышленного предприятия нефтегазовой отрасли [Текст] / А. Г. Лютов, О. И. Чугунова // Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами. – 2014. – №1. С. 141-148.
21. Беляков, В. Е. Перспективные системы управления электроприводами [Текст] / В. Е. Беляков // Математическое моделирование и системы автоматизации проектирования. – 2008. №4. С. 74-79.
22. ИнСАТ – <https://insat.ru/>. Дата обращения: 1.11.2019.
23. Trace Mode – <http://www.adastra.ru/>. Дата обращения: 1.11.2019.

24. SIMATIC WinCC –  
<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi/hmi-software.html/>. Дата обращения: 1.11.2019.
25. Исследование безопасности SCADA и PLC семейства Siemens SIMATIC – <https://cutt.ly/7enWcMF/>. Дата обращения: 1.11.2019.
26. CitectSCADA – <http://www.scada.ru/>. Дата обращения: 1.11.2019.
27. Уязвимость CitectSCADA –  
<https://www.securitylab.ru/news/499317.php> Дата обращения: 5.11.2019.
28. Банк данных угроз безопасности информации –  
<https://bdu.fstec.ru/vul/2019-02180/>. Дата обращения: 5.11.2019.
29. Волович, Г. И. Моделирование работы электронного измерителя механического момента электрических машин в системах автоматического управления [Текст] / Г. И. Волович, И. Г. Топольская, Д. В. Топольский // Вестник ЮУрГУ. – 2009. №26. С. 77-81.