

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»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ЭВМ
_____ Д.В. Топольский
«__» _____ 2024 г.

Разработка OPC-сервера и проекта SCADA-системы для конфигурации
и мониторинга параметров программного комплекса для производства следящих
гидроприводов с гидростатическими направляющими

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

ЮУрГУ-090301.2024.308/372 ПЗ ВКР

Руководитель работы,
к.т.н., доцент каф. ЭВМ
_____ Д.В. Топольский
«__» _____ 2024 г.

Автор работы,
студентка группы КЭ-406
_____ Е.С. Ахминова
«__» _____ 2024 г.

Нормоконтролёр,
ст. преп. каф. ЭВМ
_____ С.В. Сяськов
«__» _____ 2024 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
_____ Д.В. Топольский
«__» _____ 2024 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу бакалавра
студенту группы КЭ-406
Ахминова Екатерина Сергеевна
обучающемуся по направлению
09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

Тема работы: «Разработка OPC-сервера и проекта SCADA-системы для конфигурации и мониторинга параметров программного комплекса для производства следящих гидроприводов с гидростатическими направляющими»
утверждена приказом по университету от «1» декабря 2023 г. №

Срок сдачи студентом законченной работы: 01 июня 2024 г.

Исходные данные к работе:

Перечень используемых программ и аппаратуры:

система MasterSCADA3.X;

сервер Modbus Universal MasterOPC Server;

имитатор электронного блока управления семейства STM32.X.

Перечень подлежащих разработке вопросов:

Выпускная квалификационная работа (ВКР) должна содержать разработку следующих вопросов:

1. Аналитический обзор современной научно-технической, нормативной и методической литературы по SCADA-системам.
2. Разработка OPC-сервера для обмена данными с микроконтроллером семейства STM32.
3. Разработка проекта в SCADA-системе.
4. Тестирование работоспособности.

Дата выдачи задания: 1 декабря 2023 г.

Руководитель работы _____ / Д.В. Топольский /

Студентка _____ / Е.С. Ахминова /

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Этап	Срок сдачи	Подпись руководителя
Введение и обзор литературы	26.02.2024	
Разработка OPC-сервера для обмена данными с микроконтроллером семейства STM32	03.03.2024	
Разработка проекта в SCADA-системе	24.03.2024	
Тестирование работоспособности проекта	07.04.2024	
Компоновка текста работы и сдача на нормоконтроль	24.05.2024	
Подготовка презентации и доклада	30.05.2024	

Руководитель работы _____ / Д.В. Топольский /

Студентка _____ / Е.С. Ахминова /

АННОТАЦИЯ

Ахминова Е.С. Разработка OPC-сервера и проекта SCADA-системы для конфигурации и мониторинга параметров программного комплекса для производства следящих гидроприводов с гидростатическими направляющими – Челябинск: ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», ВШ ЭКН; 2024, 47 с., 15 ил., библиогр. список – 22 наим., 2 прил.

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке OPC-сервера и проекта SCADA-системы для конфигурации и мониторинга параметров программного комплекса для производства следящих гидроприводов с гидростатическими направляющими.

Работа содержит 4 главы. В первой главе проведен анализ различных SCADA-систем, по итогу которого лучшей системой для нашего проекта стала MasterSCADA3.X. Во второй и третьей главах представлена разработка OPC-сервера и проекта в SCADA-системе соответственно. В заключительной четвертой главе указаны результаты тестирования разрабатываемого проекта.

Итогом работы является разработка проекта для обмена данными с микроконтроллером семейства STM32 и его аналогов, реализованный в Modbus Universal MasterOPC Server, а так же проект в SCADA-системе MasterSCADA3.X для управления STM32F407VET6 через OPC-сервер.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ, НОРМАТИВНОЙ, МЕТОДИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ПО SCADA-СИСТЕМАМ	8
1.1. Общие сведения	8
1.2. Развитие SCADA-систем	9
1.3. Современные SCADA-системы.....	11
1.4. Зарубежные SCADA-системы	13
1.5. Отечественные SCADA-системы	15
1.6. Сравнение SCADA-систем	17
Вывод по первой главе	20
2. РАЗРАБОТКА OPC-СЕРВЕРА ДЛЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ С МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ СЕМЕЙСТВА STM32.....	20
2.1. Конфигурация OPC-сервера	20
2.2. Реализация	22
Вывод по второй главе.....	25
3. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА В SCADA СИСТЕМЕ	25
3.1. Конфигурация проекта SCADA-системы	26
Вывод по третьей главе	31
4. ТЕСТИРОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРОЕКТА.....	32
Вывод по четвертой главе	37
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	39
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	42
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПАРАМЕТРЫ ПРИ ОБМЕНЕ ДАННЫМИ С ЭБУ	42
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПАРАМЕТРЫ УРОВНЕЙ ДОСТУПА С ЭБУ	45

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы происходит активная информатизация технологических производств, что создает потребность в автоматизации различных процессов во всем мире. Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) выполняет функции оперативного управления и контроля техническими объектами в различных областях, включая промышленность, энергетику и транспорт [1]. Внедрение АСУ ТП позволяет достичь значительных экономических и производственных преимуществ: сокращение производственных затрат, снижение себестоимости продукции, повышение эффективности и сроков эксплуатации оборудования, улучшение качества продукции, сокращение потерь рабочего времени [2].

Одним из основных модулей для современных систем АСУ ТП является программное обеспечение (SCADA-системы), обеспечивающее визуализацию информации и передачу управляющих команд. Эти системы обеспечивают возможность управления автоматизированными технологическими процессами, проведения сбора и обработки данных в реальном времени, отслеживания состояния оборудования и хода производственных процессов, а также настройки сигнализаций и быстрого реагирования на любые неполадки. Эти системы также позволяют осуществлять контроль удаленных объектов на расстоянии, а управленческие права диспетчера могут автоматически изменяться в зависимости от текущего состояния технологических процессов [3].

В данной работе будут рассмотрены самые популярные и актуальные SCADA-системы для выявления наиболее подходящей для использования и дальнейшей в ней разработки OPC-сервера и проекта SCADA-системы для конфигурации и мониторинга параметров программного комплекса для производства следящих гидроприводов с гидростатическими направляющими.

1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ, НОРМАТИВНОЙ, МЕТОДИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ПО SCADA-СИСТЕМАМ

1.1. Общие сведения

SCADA-системы расшифровываются как Supervisory Control and Data Acquisition, т.е. диспетчерское управление и сбор данных. Данные системы были разработаны как многофункциональное программное обеспечение общего назначения для систем верхнего уровня, позволяющее обслуживающему персоналу наиболее эффективно управлять техническими процессами.

Структура SCADA-системы включает в себя три основных компонента (рисунок 1).



Рисунок 1 – Основные компоненты SCADA-системы

Терминал (RTU) — это устройство выполняющее задачу в режиме реального времени. Каждый терминал создается в соответствии с конкретной поставленной задачей. Применение таких терминалов, использующих низкоуровневую обработку информации, многократно снижает требования к пропускной способности каналов связи с центральным диспетчерским пунктом.

Главный терминал управления (MTU) выполняет обработку данных и управление на высоком уровне, обычно в режиме мягкого (почти реального) времени. Одной из важных функций главного терминала управления является обеспечение интерфейса между человеком-оператором и системой.

Система связи (CS) — это центральный интерфейс, используемый для передачи данных от удаленных точек (объектов, терминалов) операторам-

диспетчерам и сигналов управления или другие удаленные объекты внутри конкретной системы.

Выделим основные функции любой SCADA-системы:

- сбор данных о параметрах процесса;
- обработка и хранение (архивирование) полученной информации;
- графическое представление информации о технических процессах в цифровом, символьном и других форматах;
- оповещение об изменениях в технических процессах;
- подготовка сводок, журналов и других отчетных документов по техническим процессам;
- формирование команд оператора для изменения настроек и режимов работы контроллеров и исполнительных механизмов;
- автоматическое управление техническими процессами в соответствии с алгоритмами управления, доступными в SCADA-системе (ПИ-ПИД-регулирование, позиционное управление, нечеткое управление).

Прежде чем перейти к обзору современных SCADA-систем, необходимо изучить их историю развития для обнаружения возможных недостатков, которые не были разрешены.

1.2. Развитие SCADA-систем

Родоначальниками автоматизированных систем управления были системы телеметрии и сигнализации, которые появились ещё в 19 веке. В 1845 году армия Российской империи проложила одну из самых первых линий передачи данных. В 1874 году французские инженеры установили сенсорную систему для мониторинга погоды и глубины снега на Монблане и отправки информации в реальном времени в Париж. Позже использовалась система Мите аИ5, которая отображала текущих статус системы, что можно уже тогда было приравнять к системе реального времени. В 1980-х годах удаленные операторы и крупные страны начали внедрять средства управления технологическими процессами на основе системы SCADA [4].

SCADA системы начали применяться в производствах, которые не могут располагаться в одном месте. Основное применение нашло в таких отраслях, как различные области водоснабжением и наблюдения, регулированием паводков и дренажем, энергоснабжением, а также крупные промышленные предприятия, расположенные в удаленных точках. Система применяется в сферах, которые требуют удаленного наблюдения за различными данными.

В прошлом использовать телефонные линии для удаленных точек не все могли позволить, так как использование было дорогостоящим. Также телекоммуникационные компании не всегда могли согласиться провести соединение. Это стимулировало операторов SCADA искать новые решения. В 1970-х годах радиосвязь стала привлекательной альтернативой, но столкнулась с проблемами, такими как ограниченные частоты и сложности с лицензированием. Переход от аналоговой к цифровой телеметрии улучшил ситуацию, позволяя передавать больше данных по радио или через арендованные линии. Несмотря на это, ранние цифровые решения были менее надежными, чем аналоговые, и подвержены различным сбоям. Для компенсации этих ограничений были созданы дистанционные терминалы, которые были способны продолжать работу даже при потере соединения на больших расстояниях. С развитием технологий появилась возможность создавать человеко-машинные интерфейсы, которые успешно заменили предшественников [5].

В течение последних пятидесяти лет основными факторами развития SCADA-систем были улучшение контроля распределёнными процессами операторами и потребность руководства в сокращении расходов, вызванная ростом затрат на электроэнергию и рабочую силу. SCADA-системы значительно помогли компаниям в управлении и регулировании расходов электричества и повышении оперативности обновления информации, что стало необходимым условием для оптимизации работы распределённых предприятий.

Появление программируемых логических контроллеров (ПЛК) подтолкнуло инженеров системы SCADA к рассмотрению преимуществ коммерчески готового оборудования. Частные дистанционные терминалы были заменены технологией

поддержки шины Modbus. Данная технология позволила разработать более совершенные ПЛК, для решения сложных задач дистанционных терминалов. Развитие компьютеров на основе ОС Windows также способствовало улучшению и расширению функционала программного обеспечения SCADA/HMI.

В начале 1990-х с развитием хранилищ информации и персональных компьютеров стало реальным хранение больших объемов данных и их анализ. Для этого использовались коммерческие ПЛК и ПК. Также создание однотеговых баз данных программируемых и контроллеров автоматизации (ПКА) улучшило интеграцию со SCADA системами и повысило целостность данных. В области интерфейсов передачи данных в системах SCADA большую роль сыграли открытые сетевые протоколы, такие как Modbus, технология Ethernet и стек протоколов TCP/IP. С развитием технологии Ethernet и появление различных протоколов TCP/IP дало доступ к новым способам передачи данных. С помощью данной технологии возможно перемещать большие объёмы информации, используя для этого готовые коммерческие продукты и открытые технологии. Компания Microsoft также помогла в развитии взаимодействия между системами разных производителей. Это повлияло на развитие промышленных стандартов SCADA, таких как DCOM, OLE и OPC [6].

В современных системах SCADA связь с полевыми устройствами и корпоративным уровнем осуществляется посредством Ethernet или беспроводных сетей на базе технологий OPC и TCP/IP.

1.3. Современные SCADA-системы

В современных SCADA-системах включены средства разработки, которые позволяют пользователям создавать индивидуальные графические интерфейсы в соответствии с рекомендациями EEMUA и ASM. Операторы получают доступ ко всем необходимым инструментам, шаблонам и подсказкам для конфигурирования SCADA-решений. Благодаря высокоскоростным соединениям Ethernet и TCP/IP операторы могут работать с тысячами удаленных статусных точек, а также даже

просматривать видеоизображения с удаленных локаций при наличии достаточной пропускной способности каналов.

Сегодня SCADA-системы могут включать огромное количество узлов, обслуживаемых высокопроизводительными компьютерными системами. На мировом рынке существует множество различных программных пакетов SCADA, отличающихся по функциональным возможностям, области применения и другим параметрам. Среди наиболее популярных зарубежных SCADA-систем в России можно выделить Vijeo Citect (Shneider Electric), WinCC (Siemens), InTouch (Wonderware), RSView32 (Rockwell Automation) и Genesis64 (Iconics). Среди отечественных SCADA-систем наиболее известны КРУГ-2000 (НПФ "КРУГ"), Trace mode (AdAstra), Master-SCADA (НПФ "ИнСАТ") и САРГОН (НВТ-Автоматика) [7].

Процесс проектирования систем автоматизации на основе различных SCADA-систем состоит из нескольких этапов.

Первый этап определяет функциональное назначение каждого узла системы автоматизации. Благодаря чему происходит детальная разработка общей архитектуры, что дает возможность рационального распределения и резервирования узлов.

Второй этап включает настройку каждого отдельно взятого узла, который в дальнейшем решает возложенную на него задачу автоматизации. Данный этап отвечает за создание прикладной системы управления.

Третий этап решает вопросы отладки и тестирования разработанной программы. Изначально тестирование происходит с помощью эмуляции, где после её прохождения отладка продолжается с реальными устройствами. Цель данного этапа проверить бесперебойную и безошибочную работу между устройствами (обмен данными) нижнего уровня ПЛК и внешними устройствами [8].

Отмечается, что характеристики различных систем автоматизированного управления технологическим процессом значительно влияют на стоимость, сроки разработки программно-аппаратных средств и их окупаемость.

Оборудование должно быть совместимо с аппаратными средствами SCADA и программируемыми логическими контроллерами и относиться к категории SCADA (диспетчерское управление и сбор данных). Именно по этому необходимо изучить и проанализировать функциональные требования, возможности и особенности SCADA-системы перед тем как начать разработку проекта.

1.4. Зарубежные SCADA-системы

Рассмотрим самые популярные и востребованные зарубежные SCADA-системы в России.

1) SIMATIC WinCC

Данная система была разработана немецкой компанией Siemens AG. Система SCADA SIMATIC WinCC представляет собой открытую систему визуализации процессов. Она обладает высокой производительностью и безопасностью данных. Основными системными требованиями являются: операционная система Windows 10, Windows Server (2012, 2016 и 2019 года), антивирусное программное обеспечение Windows Defender, McAfee, Symantec [9].

В данной системе можно выделить ряд недостатков :

- интегрирована в среду разработки TIA Portal V13, из-за чего можно использовать только те семейства контроллеров, которые поддерживают данную среду;
- одностороннее отображение изменений в системе;
- список переменных, которые можно добавить для отладки, отображается не всегда корректно, при использовании переменных больше пяти;
- возможности функционала непостоянны и изменяются от версии.

2) InTouch

Scada-система InTouch, входящая в программный набор Factory Suite компании Wonderware (США), известна своей простотой проектирования, операционной гибкостью и увеличенным контролем процессов. Она

поддерживает интеграцию с крупными производителями систем и решений автоматизации, а также предлагает широкий спектр функций, таких как редактор скриптов, поддержка инновационных технологий и возможность создания собственных библиотек алгоритмов [10].

Данная система состоит из двух частей: среды разработки (WindowMaker) и среды исполнения (WindowViewer). В WindowMaker разрабатываются мнемосхемы и описываются сценарии, которые после загружаются в WindowViewer, что является не всегда удобным для интеграции в производство.

3) Vijeo Citect

Vijeo Citect, созданная французской компанией Schneider Electric, является полнофункциональной системой мониторинга, которая может применяться как для автоматизации систем с небольшим количеством параметров, так и для крупных систем с множеством параметров. Она обладает графической визуализацией процесса, управлением тревогами, возможностью подготовки отчетов и гибкостью работы с большими объемами данных. Система применяется в отраслях нефтегазовой и горнодобывающей промышленности, металлообработке, водоснабжении, энерго-энергетике и пищевой промышленности [11].

К минусам можно отнести малое количество рабочих тегов, была выявлена уязвимость в связи с должной защитой учетных данных в версиях до 2018 года.

4) RSView32

RSView32 — это интегрированный, основанный на использовании компонентов человеко-машинный интерфейс для мониторинга и управления автоматизированных механизмов и процессов. Данная система обладает рядом преимуществ в таких функциях как: обнаружение событий, контроль сигналов тревоги, протоколирование [12].

Из недостатков можно выделить отсутствие русской версии, невозможность оператору уследить в больших проектах за всей системой целиком при визуализации. Состояния некоторых объектов должны протоколироваться с

целью дальнейшей обработки данных. В недавнем времени компания рекомендует переходить на новую систему FactoryTalk View Site Edition, поэтому возможно поддержка и обновления продукта в будущей перспективе может прекратиться.

1.5. Отечественные SCADA-системы

Отличие отечественных SCADA-систем от зарубежных заключается в наличии встроенных средств программирования контроллеров с использованием языков стандарта МЭК61131-3, а так же язык функциональных блоков. Так же российские системы имеют возможность работать на разных платформах вне зависимости от ПО [13]. По данным причинам, а так же недавно возникшей необходимости переходить на импортозамещение в отечественных разработках и производствах, выбор для проекта будет производиться из программных пакетов отечественных производителей.

1) Trace Mode

Система Trace Mode, разработанная российской компанией AdAstra Research Group, представляет собой современную и легкую в освоении программную SCADA-систему, предназначенную для автоматизации технологических процессов, управления ресурсами и диспетчеризации. Она обладает высоким технологическим уровнем и предлагает широкий набор функций, таких как программирование промышленного контроллера, создание системы управления тревожными сообщениями, генерация отчётов и разработка резервированных систем. Trace Mode также поддерживает пять языков программирования и обладает удобным инструментом автоматического построения для создания связей между узлами и источниками данных [14-16]. Trace Mode применяется в следующих отраслях промышленности: нефтехимия, металлургия, энергетика, машиностроение, коммунальное хозяйство, пищевая промышленность, транспорт, при проведении научных исследований.

2) КРУГ-2000

КРУГ-2000 — это открытая система SCADA, поддерживающая такие международные стандарты, как Fast Ethernet, TCP/IP (UDP), MODBUS, COM, DCOM [17]. Позволяет разрабатывать ПО сетевого контроллера. Совместим с операционными системами QNX, Linux и DOS. Так же данная система обладает возможностями графического редактора (ГРЕК) для создания разной сложности графических объектов и символов, а также объектной анимации (ДИНАР). КРУГ-200 сертифицирована по ГОСТ ISO 9001, что гарантирует надежность.

3) САРГОН

Программный комплекс САРГОН включает в себя программные системы реального времени, разработки и тестирования. Основой комплекса является интегрированная система SCADA и SoftLogic компании ТКА. Система автоматического конфигурирования "ТкАconf" ведет единую базу данных проекта АСУ, содержащей до 1000 расчетных узлов и 128 000 параметров, так же имеет графический конфигуратор мнемосхем "ТкАdraw", систему технического программирования "ТкАprog" и библиотечный набор готовых решений для общих задач автоматизации. Сетевая тестовая система MFC_Test предназначена для удаленного сетевого тестирования микропроцессорных контроллеров, настройки и тестирования модулей контроллеров и удаленных модулей УСО с такими интерфейсами, как Modbus RTU, ADAM-4000 и тестирования. Пользовательский интерфейс позволяет одновременно работать с различными устройствами на одном или разных контроллерах [18].

4) Master-SCADA

Система MasterSCADA, это ещё один российский программный комплекс систем диспетчерского управления и сбора данных. Данная система совместима с Windows (10 и все более поздние), Linux (любые дистрибутивы) и macOS. Она включает в себя унифицированную среду разработки и более 150 функций и функциональных блоков. Данное решение позволяет создавать в реальном времени графики и таблицы с возможностью обмена данными с внешними базами данных Microsoft SQL Server, PostgreSQL, MySQL и Oracle Database.

Модульность и масштабируемость решения позволяют производить сбор и хранение данных, графическое отображение, контроль над процессами и написание программы для контроллера. Также возможно охватывать задачи верхнего и нижнего уровня АСУ. Все параметры задаются в одном проекте, что облегчает процесс настройки внутренних связей всей системы [19].

1.6. Сравнение SCADA-систем

В целом, каждая из описанных SCADA-систем обладает своими уникальными особенностями и разработана для эффективной автоматизации различных производственных и технологических процессов. В таблице 1 представлено сравнение функциональных возможностей и характеристик отечественных SCADA-систем.

Таблица 1 – Сравнительная таблица характеристик отечественных SCADA-систем

Критерий	Trace Mode	КРУГ-2000	САПФОН	Master-SCADA
Совместимость с операционными системами	Windows (7, 8, 10), Linux и macOS	Windows (XP, 7, 8, 10), Linux (Ubuntu, CentOS)	Windows (CE, 7, 8, 10), Linux (Ubuntu, CentOS, Red Hat, Debian)	Windows (10 и все более поздние), Linux (любые дистрибутивы), macOS
Поддержка промышленных протоколов	Modbus, OPC, DNP3, BACnet, SNMP, MQTT, Profibus, Ethernet/IP, M-Bus	Modbus, DNP3, OPC, BACnet, SNMP, MQTT, CANopen	Modbus, OPC, SNMP, BACnet	Modbus, OPC, SNMP, BACnet, DNP3
Поддерживаемые базы данных	Microsoft SQL Server, MySQL, PostgreSQL, Oracle Database, SQLite	Microsoft SQL Server, PostgreSQL, MySQL, SQLite	Microsoft SQL Server, MySQL/MariaDB, PostgreSQL, Oracle Database	Microsoft SQL Server, PostgreSQL, MySQL, Oracle Database
Встроенные языки программирования	C/C++, Visual Basic Scripting, JavaScript	C/C++	Java, C#, SQL, JavaScript, Python	Ladder Logic, Structured Text, C/C++, Visual Basic, JavaScript, Java

Продолжение таблицы 1

Критерий	Trace Mode	КРУГ-2000	САРГОН	Master-SCADA
Интеграция в системы управления	Протоколы связи, драйвера, интеграция с базами данных, веб-интеграция	Протоколы коммуникации, интеграция с базами данных, веб-сервисы, интеграция с SCADA-системами, API и SDK	Веб-сервисы, сетевые подключения	Протоколы коммуникации, веб-сервисы, пользовательские драйвера
Обслуживание	Обновление ПО; обучение и консультации; диагностика системы; восстановление данных	Диагностика и мониторинг, журнал событий, резервное копирование и восстановление	Обновление ПО; обучение и консультации; диагностика системы; восстановление данных	Большое сообщество пользователей, документации и обучение, обновление ПО, управление пользователями и их правами
Простота разработки и развития	Позволяет создавать системы управления и контроля процессов без необходимости глубоких знаний программирования, что делает ее доступной для широкого круга пользователей	Для сложных и крупных проектов, требующих значительного изменения архитектуры системы, интеграции с большим количеством устройств и систем, разработка и развитие системы КРУГ-2000 может быть сложной и требующей профессиональных знаний и опыта.	Требует огромных денежных ресурсов и специалистов высокой квалификации	Позволяет создавать системы управления и контроля процессов без необходимости глубоких знаний программирования, что делает ее доступной для широкого круга пользователей

Вывод по первой главе

После изучения и анализа современной научно-технической литературы по различным SCADA-системам, были выявлены достоинства и недостатки каждой из рассмотренных систем. Самой подходящей системой для выполнения задачи стала система MasterSCADA.

2. РАЗРАБОТКА OPC-СЕРВЕРА ДЛЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ С МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ СЕМЕЙСТВА STM32

Первым этапом работы является разработка OPC-сервера для обмена данными.

2.1. Конфигурация OPC-сервера

Для того, чтобы разработать сервер необходимо первым шагом построить его конфигурацию в соответствии с предоставленными данными. В данном случае используется микроконтроллер семейства STM32, который в дальнейшем может быть назван как эмулятор Электронного блока управления (ЭБУ).

Эмулятор ЭБУ поддерживает:

1. Протокол обмена по шине USB – Modbus RTU.
2. Протокол обмена по сети Ethernet – Modbus TCP.
3. Функции протокола Modbus – 0x3 (Read Multiple Registers) и 0x6 (Write Single Register).

Разрабатываемое приложение должно позволять записывать регистры и выводить посчитанные значения в соответствии с запросом заказчика (приложение А). На рисунке 2 изображена структурная схема разрабатываемого OPC-сервера.

Эмулятор ЭБУ

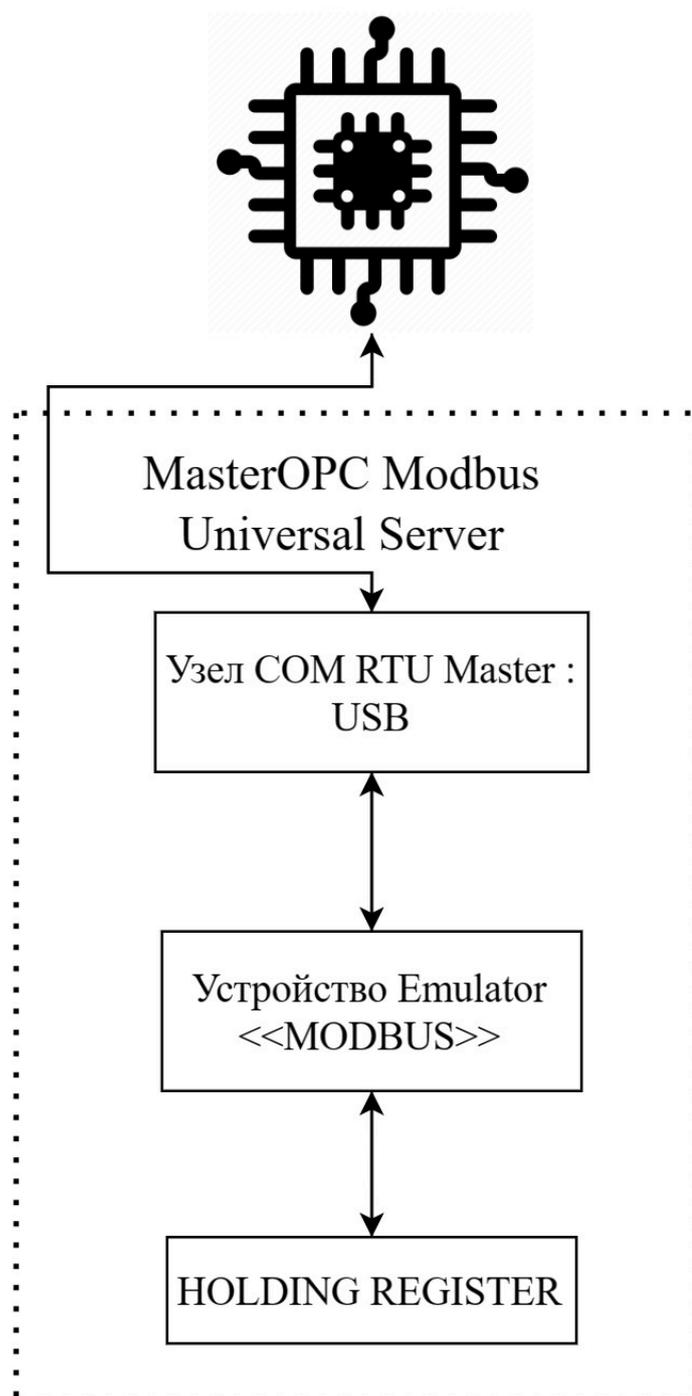


Рисунок 2 – Структурная схема разрабатываемого OPC-сервера

Приложение MasterOPC Modbus Universal Server позволяет использовать такие объекты как: узел, устройство, группу (используется для удобства, например если теги возможно объединить по общему признаку) и тег (HOLDING REGISTER). Для каждого из элементов необходимо задать параметры для

подключения и в дальнейшем корректного обмена между эмулятором ЭБУ и нашим сервером. Представим настройки каждого отдельного объекта конфигурации в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры настройки каждого элемента структуры OPC-сервера.

Элемент конфигурации	Параметры
Узел USB	Тип узла: COM. Скорость передачи: 9600 бит/с Контроль четности: четный Стоп биты: 1
Устройство Emulator	Тип передачи протокол MODBUS Период опроса 20 мс Повторы при ошибке подключения 3 Повторы при ошибке записи 3 Сброс команд при разрыве соединения Повторное соединение после ошибки через: 10с Период опроса после ошибки 10 мс Задержка опроса после получения ответа 20 мс Использовать протокол Write Single Register
HOLDING REGISTERS	См. приложение 1.

2.2. Реализация

Разработанная конфигурация сервера в соответствии с таблицей 2 представлена на рисунке 3.

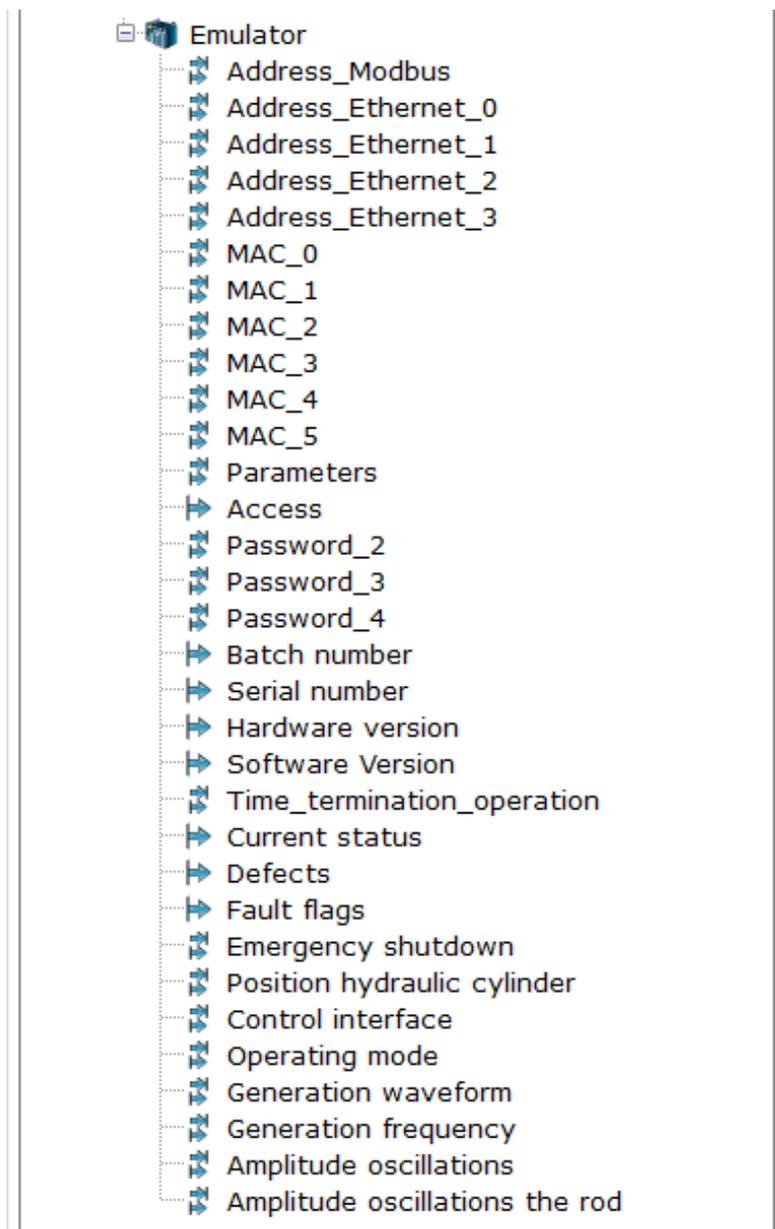


Рисунок 3 – Экранная форма конфигурации проекта

На рисунке 3 представлено: USB – узел с типом COM RTU, Emulator – устройство с протоколом Modbus.

На рисунках 4-5 изображены экранные формы настройки объектов проекта OPC-сервера.

Редактирование коммуникационного узла

Имя узла

Общие настройки	
Комментарий	
Включен в работу	True
Тип узла	COM
Журнал	
Разрешение записи	False
Настройки COM	
Порт	1
Скорость	9600
Данные	8
Контроль четности	Чет
Стоп биты	1
Межсимвольный таймаут (мс)	0
Использовать режим ASCII	False
Использовать модем	False
Скрипт	
Выполнение скрипта	False
Дополнительные настройки	
Slave подключение	False
Принудительный разрыв соединения в каждом цикле	False

Тиражировать

Рисунок 4 – Экранная форма настройки узла USB.

Редактирование устройства

Имя устройства

Общие настройки	
Комментарий	
Включено в работу	True
Тип устройства	MODBUS
Адрес (0x01)	1
Время ответа (мс)	1000
Повторы при ошибке	3
Повторы при ошибке записи	3
Сброс команд записи при разрыве соединения	True
Повторное соединение после ошибки через (с)	10
Реинициализация узла при ошибке	False
Период опроса	20
Размерность периода опроса	ms
Начальная фаза	0
Размерность фазы	ms
Старт после запуска	True
Задержка запроса после получения ответа (мс)	20
Перестановка байтов в значении	Вызов редактора перестановки байтов...
Журнал	
Разрешение записи	False
Скрипт	
Выполнение скрипта	False
Настройка запросов	
Максимальное количество HOLDING регистров в запросе чтения	125
Максимальное количество INPUT регистров в запросе чтения	125
Не использовать команду WRITE_SINGLE_COIL (0x05)	True
Не использовать команду WRITE_SINGLE_REGISTER (0x06)	False
Максимальное допустимый разрыв адресов в запросе чтения	0
Использовать преамбулу	False
Использовать ретрансляцию	False

Тиражировать

Рисунок 5 – Экранная форма настройки устройства Emulator

Вывод по второй главе

Разработана конфигурация сервера в соответствии с заданием в приложении MasterOPC Universal Modbus Server.

3. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА В SCADA СИСТЕМЕ

Вторым этапом является разработка проекта в MasterSCADA, для обмена данными, а так же управления и мониторинга параметров электронного блока управления (ЭБУ) STM32F407VET6.

3.1. Конфигурация проекта SCADA-системы

Составим структуру разрабатываемого проекта SCADA-системы [20] на рисунке 6, где элемент «Команды» позволяет нам задавать значения, а элемент «События» создавать связи передачи значения.

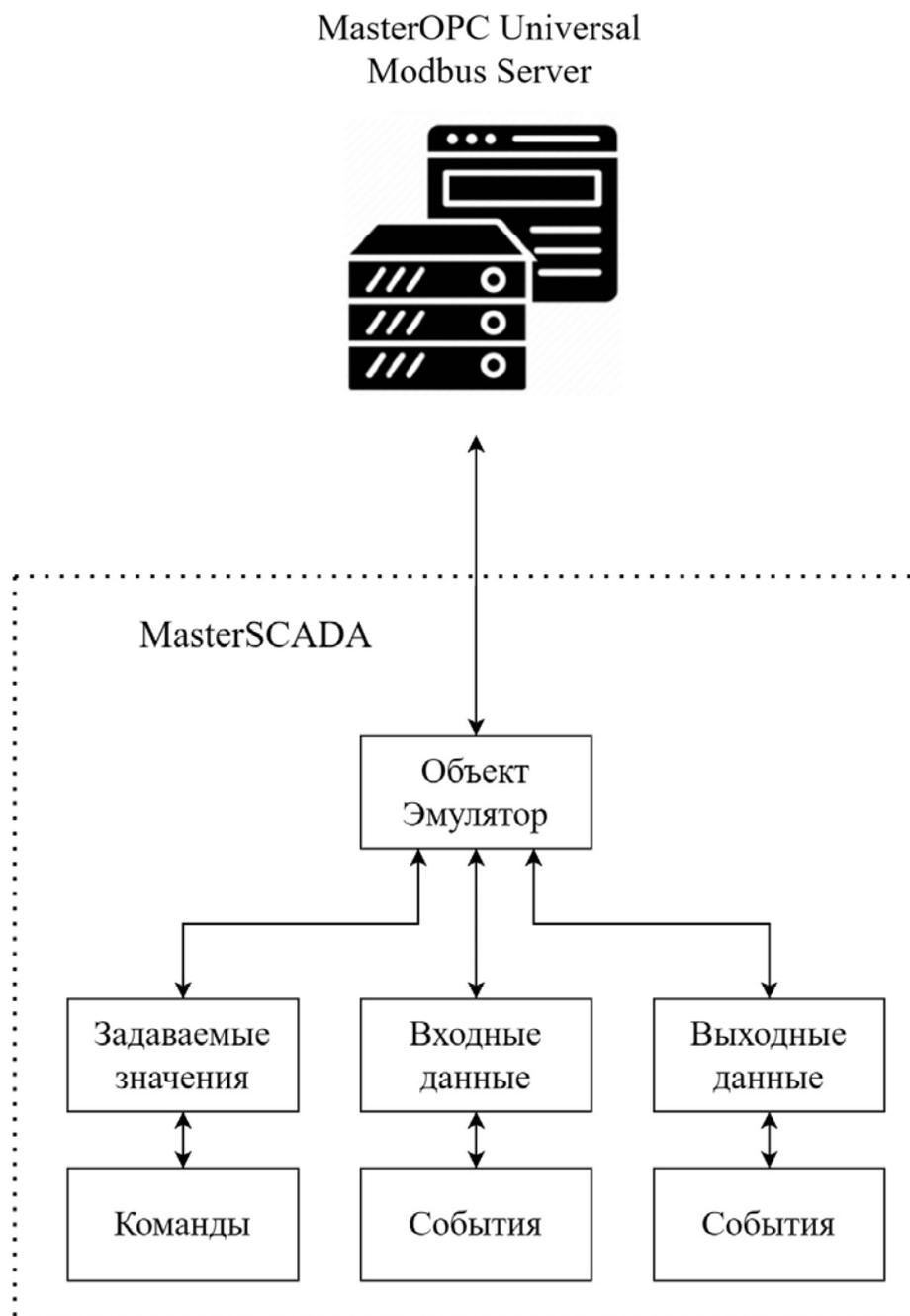


Рисунок 6 – Структурная схема разрабатываемого проекта SCADA-системы

Конфигурация проекта содержит два построения: дерево системы и дерево объектов. Дерево системы будет выглядеть аналогично конфигурации разработанного ранее OPC-сервера. Дерево объектов необходимо построить в соответствии с уровнями доступа из приложения Б.

В приложении 2 все вещественные значения представлены в формате с плавающей точкой IEEE-754 одинарной точности (тип данных float). Порядок следования байт определяется при разработке. Если для параметра указано заводское значение, то этот параметр сохраняется в энергонезависимой памяти при записи числа 5555 в регистр 12. Если указано значение при включении, то параметр сбрасывается в это значение при каждом включении питания или сбросе микроконтроллера ЭБУ. Уровни доступа указаны для чтения и записи через запятую. Если указан только один уровень, то значение доступно только для чтения.

Значения уровней доступа:

1. Базовый уровень, только чтение (значение при включении).
2. Разрешает только управление заданием по положению.
3. Резерв.
4. Разрешает изменение всех изменяемых параметров.
5. Изменение параметров, настраиваемых при производстве или сервисном обслуживании.

Логика обмена данными между проектом в MasterSCADA и OPC-сервера в Modbus Universal MasterOPC представлена на рисунке 7.

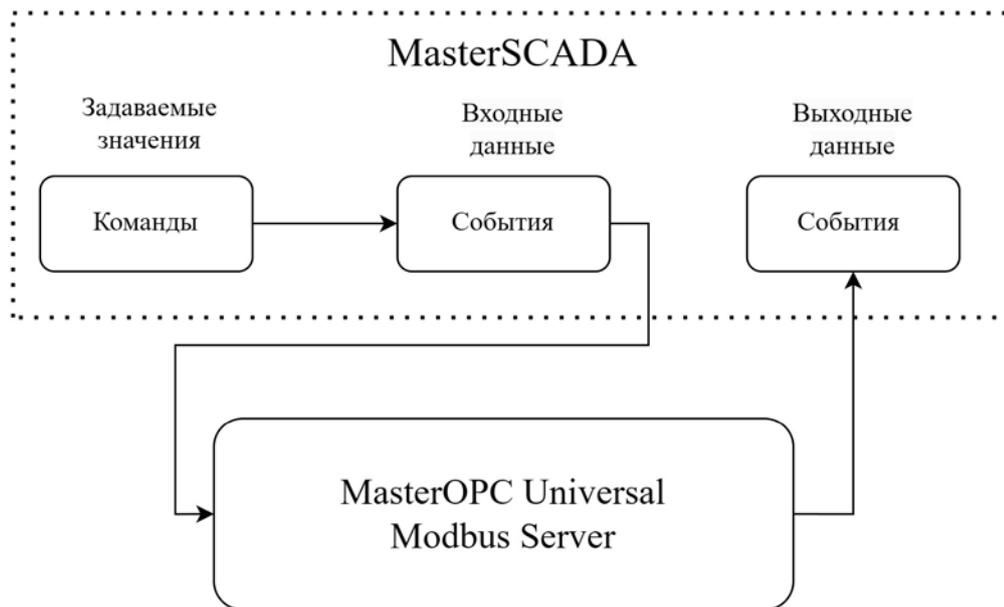


Рисунок 7 – Схема передачи данных между проектом в MasterSCADA и OPC-сервером.

3.2. Реализация

Теперь в соответствии с требованиями и полученными данными разработаем конфигурацию проекта в MasterSCADA (рисунки 8-10).

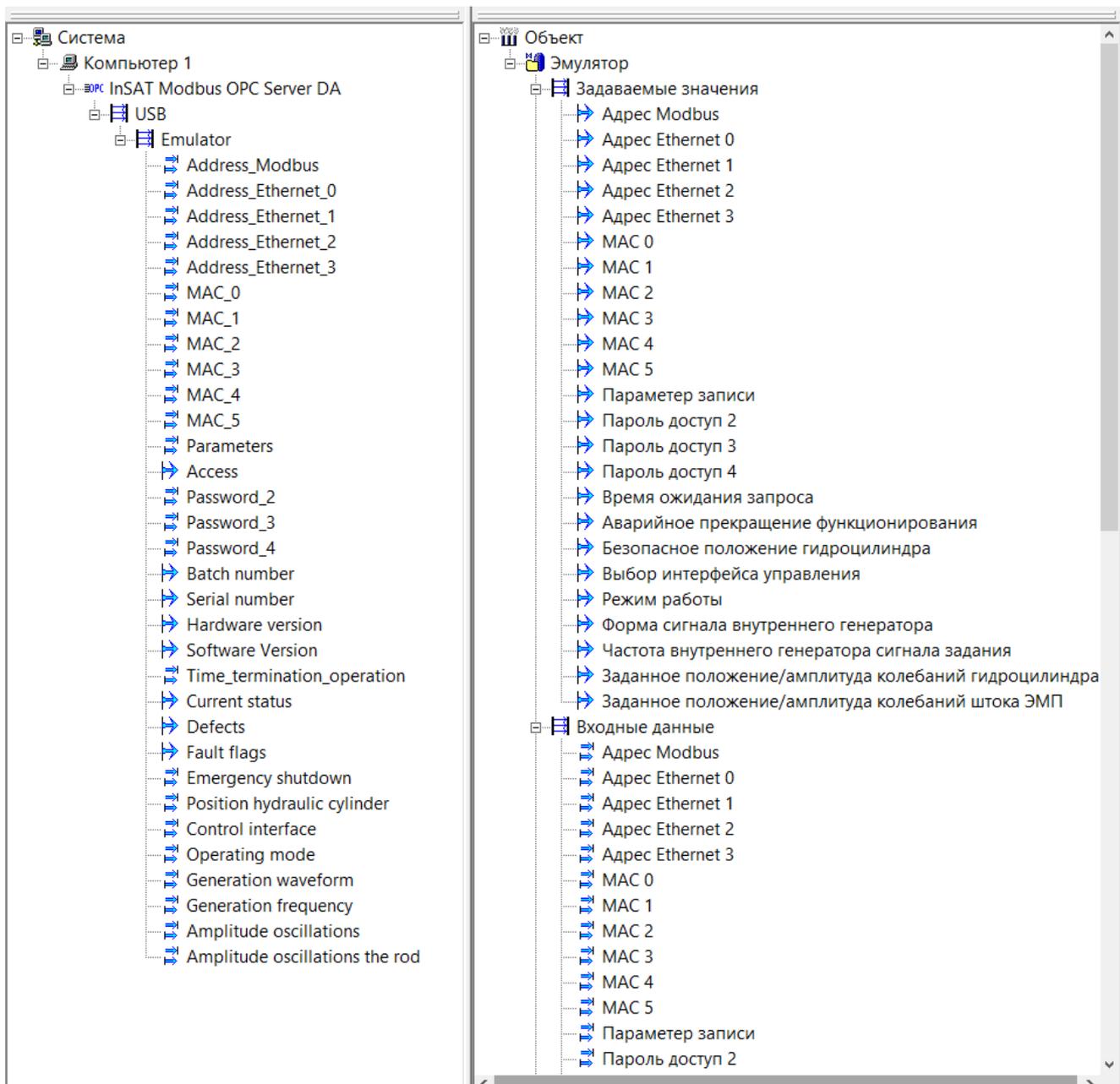


Рисунок 8 – Конфигурация проекта SCADA-системы (начало)

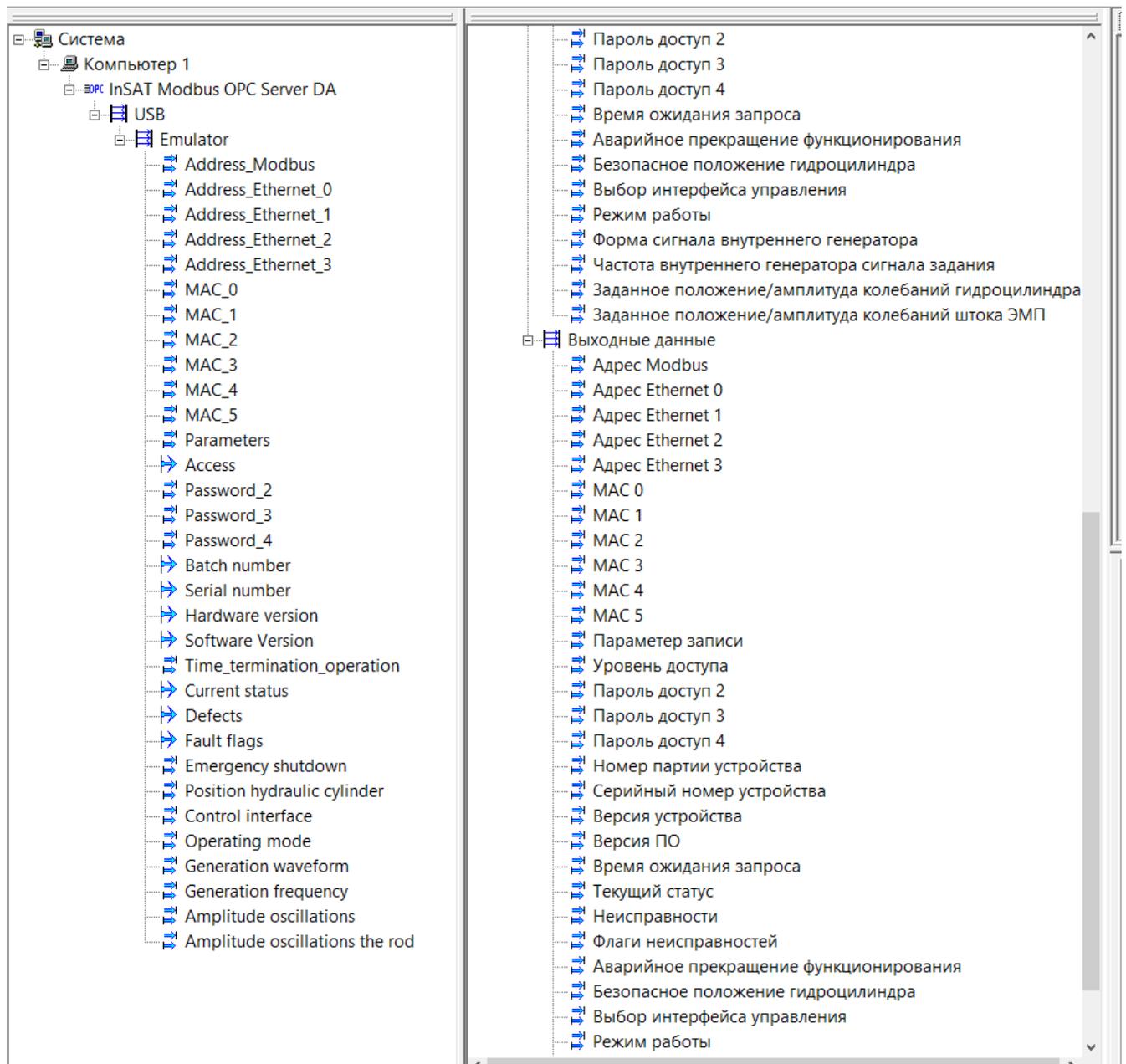


Рисунок 9 – Конфигурация проекта SCADA-системы (продолжение)

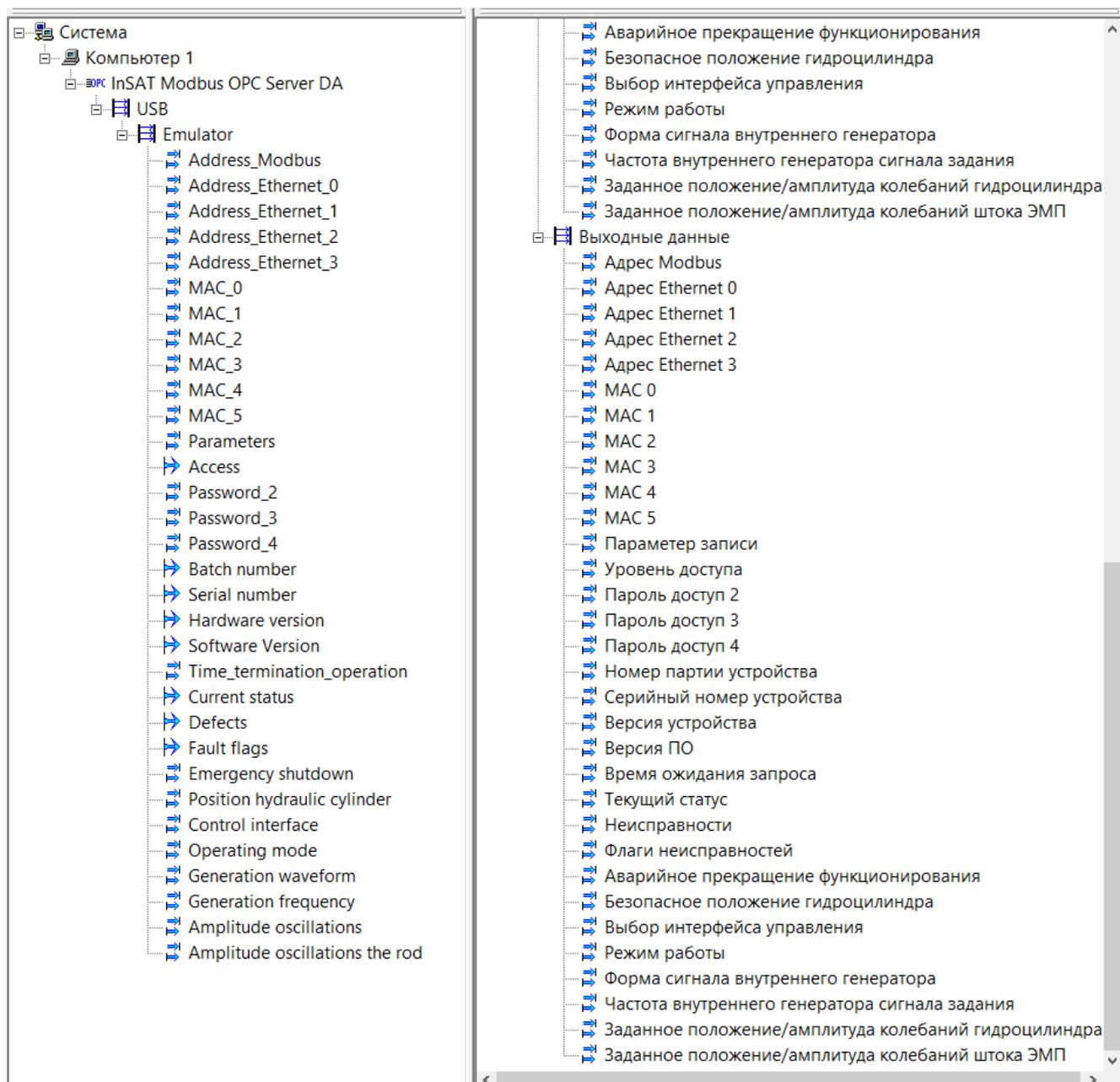


Рисунок 10 – Конфигурация проекта SCADA-системы (конец)

Вывод по третьей главе

Было проведено ознакомление с программой и её функциональностью. Разработан проект в соответствии с заданными параметрами в приложении MasterSCADA.

4. ТЕСТИРОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРОЕКТА

Заключительным этапом необходимо полностью собрать проект и протестировать его работоспособность. Для этого необходимо спроектировать и разработать тесты. В работе будем использовать метод тестирования по сценарию [21, 22], так как данный метод предполагает возможность проверки требований к конкретной специализированной задаче. Первым шагом создадим тест план, по которому в дальнейшем будет проводиться тестирование проекта.

Тест план для разработанного проекта в SCADA-системе с использованием микроконтроллера STM32F407VET6:

1. Тестовые ресурсы: система MasterSCADA3.X, сервер Modbus Universal MasterOPC Server, имитатор электронного блока управления семейства STM32.X.

2. Перечень функций подлежащих тестированию: соединение и обмен данными имитатора ЭБУ с разработанным сервером и проектом в MasterSCADA.

3. Тестовая стратегия: функциональное тестирование.

4. Тестовая конфигурация: система MasterSCADA3.X с 32 регистрами обмена данными, сервер Modbus Universal MasterOPC Server с 32 тегами, имитатор электронного блока управления семейства STM32.X – микроконтроллера STM32F407VET6.

5. Тестовые метрики: время работы программы не более 1 секунды, скорость опроса равное 20 мс, корректное отображение параметров эмулятора ЭБУ в соответствии с приложением А.

Вторым шагом составим отчет по проведенным тестам в виде таблицы 3, где представлены необходимые тесты для проверки корректной работы проекта на основе тест плана.

Таблица 3 – Описание тестов проекта и их итоги.

Название теста	Ожидаемый результат	Полученный результат	Итог тестирования
Опрос устройства	Период опроса устройства 20 мс	Период опроса устройства 20 мс	Тест пройден
Разрыв соединения	Сброс команд при разрыве соединения	Сброс команд при разрыве соединения	Тест пройден
Повторы при ошибке	Осуществляется 3 повтора при ошибке	Осуществляется 3 повтора при ошибке	Тест пройден
Задержка опроса подключения	Задержка опроса после подключения 20 мс	Задержка опроса после подключения 20 мс	Тест пройден
Параметры эмулятора ЭБУ	Корректное отображение таких значений как: номер партии устройства равен 111, версия устройства 256, версия ПО 257.	Отобразились: номер партии устройства равен 111, версия устройства 256, версия ПО 257.	Тест пройден
Адрес сети	Корректное отображение таких значений как: адрес Modbus - 12, адрес Ethernet 0 – 192, адрес Ethernet 1 – 168, адрес Ethernet 2 – 222, адрес Ethernet 3 – 111.	Получили : адрес Modbus - 12, адрес Ethernet 0 – 192, адрес Ethernet 1 – 168, адрес Ethernet 2 – 222, адрес Ethernet 3 – 111.	Тест пройден
Физический адрес	Корректное отображение таких значений как: MAC 0 - 201, MAC 1 - 155, MAC 2 - 93, MAC 3 - 44, MAC 4 - 45, MAC 5 - 46.	Получили : MAC 0 - 201, MAC 1 - 155, MAC 2 - 93, MAC 3 - 44, MAC 4 - 45, MAC 5 - 46.	Тест пройден

```
Сообщения Запросы Сообщения скриптов
Режим вывода: Запущен Фильтр: Emulator
15-05-2024 21:21:57.117 USB.Emulator:Стоп опроса устройства (t = 483 ms)
15-05-2024 21:21:56.634 USB.Emulator:Старт опроса устройства
15-05-2024 21:21:56.492 USB.Emulator:Стоп опроса устройства (t = 470 ms)
15-05-2024 21:21:56.023 USB.Emulator:Старт опроса устройства
15-05-2024 21:21:55.876 USB.Emulator:Стоп опроса устройства (t = 473 ms)
15-05-2024 21:21:55.404 USB.Emulator:Старт опроса устройства
15-05-2024 21:21:55.263 USB.Emulator:Стоп опроса устройства (t = 470 ms)
15-05-2024 21:21:54.793 USB.Emulator:Старт опроса устройства
15-05-2024 21:21:54.647 USB.Emulator:Стоп опроса устройства (t = 469 ms)
15-05-2024 21:21:54.179 USB.Emulator:Старт опроса устройства
15-05-2024 21:21:54.037 USB.Emulator:Стоп опроса устройства (t = 476 ms)
```

Рисунок 11 – Сообщения времени опроса STM32F407VET6

Время работы программы, включающей 32 регистра, из которых 13 регистров задают параметры для настройки состояния следящего гидропривода, а 19 считывают данные состояния и подключения ЭБУ, составило 0,48 сек. Это в полной мере отвечает требованиям к разработке программного комплекса для обеспечения мониторинга состояния следящего гидропривода с гидростатическими направляющими (рисунок 11).

На основе пройденных тестов программа показала корректное прохождение всех тестов. На рисунках 12-15 изображены экранные формы итогового разработанного проекта, где происходит обмен данными между SCADA-системой и эмулятором ЭБУ.

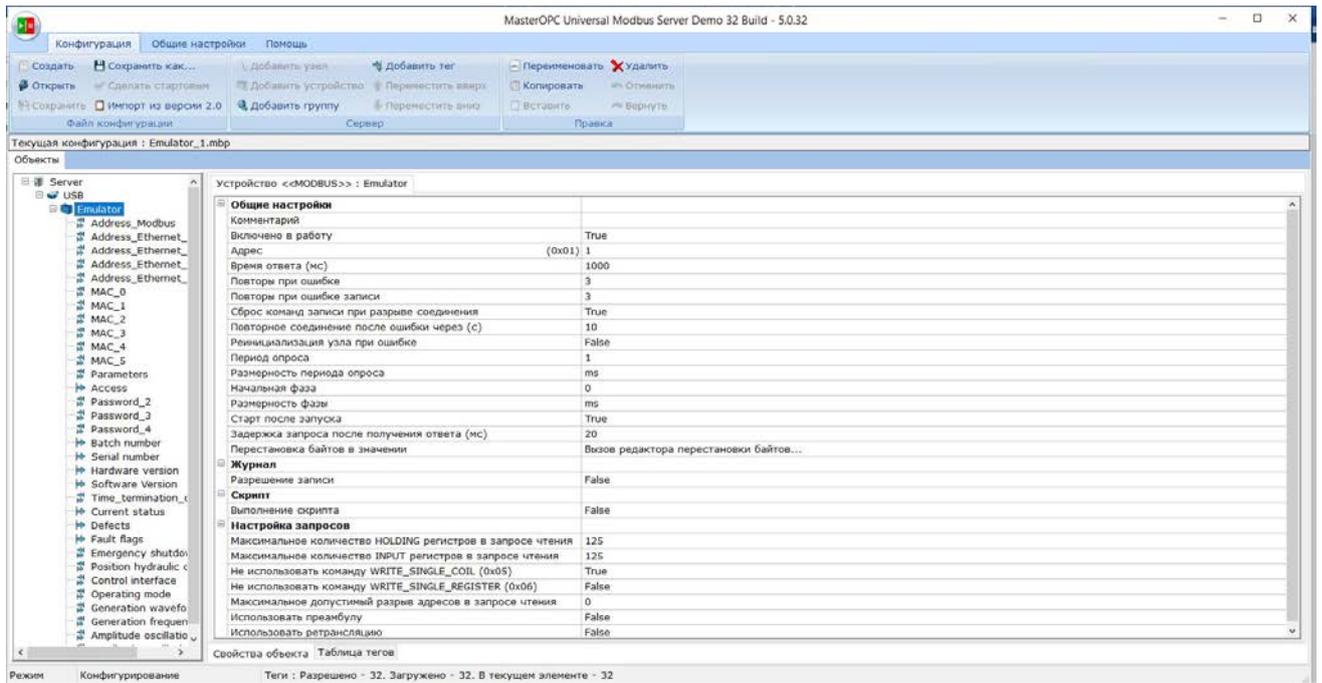


Рисунок 12 – Экранная форма готового проекта в MasterOPC Universal Modbus Server

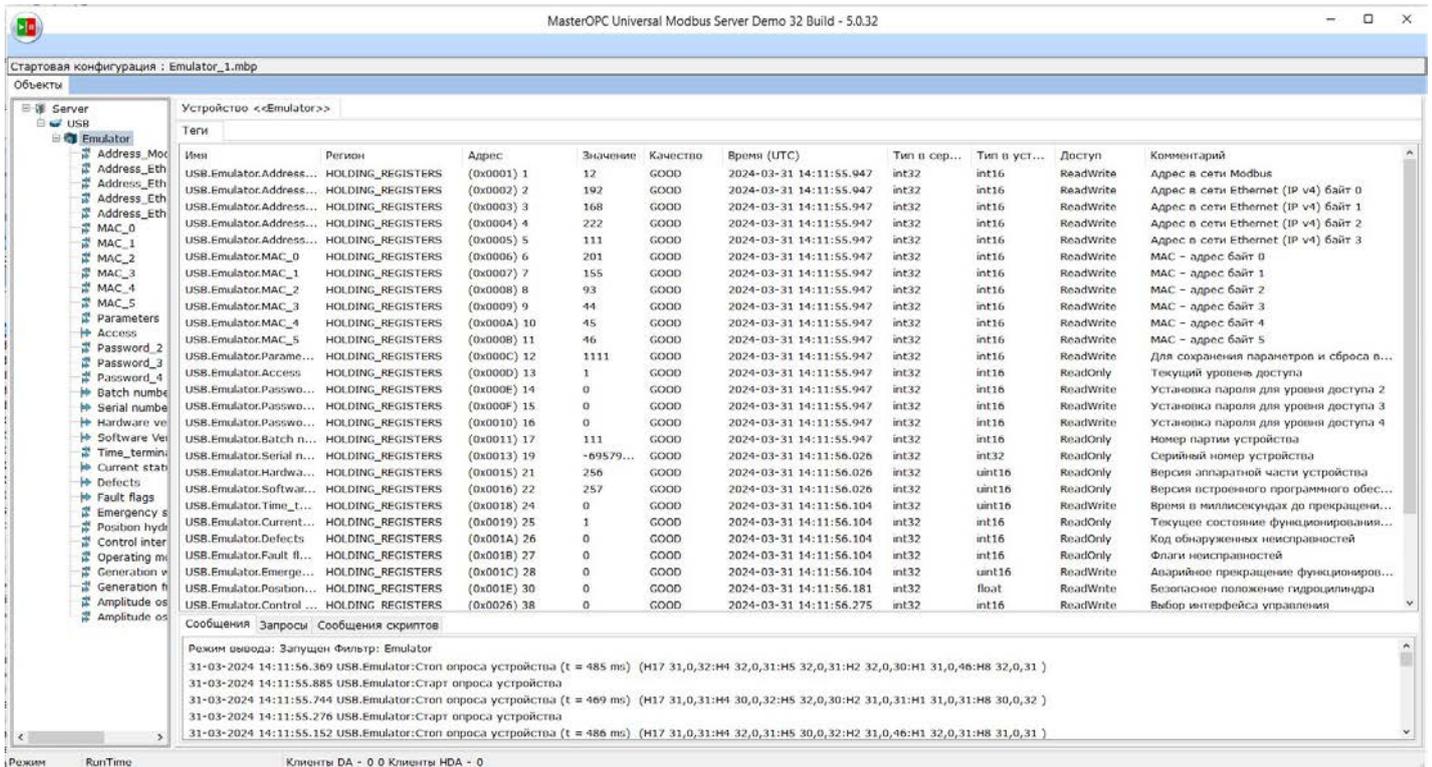


Рисунок 13 – Экранная форма проекта в MasterOPC Universal Modbus Server в рабочем состоянии

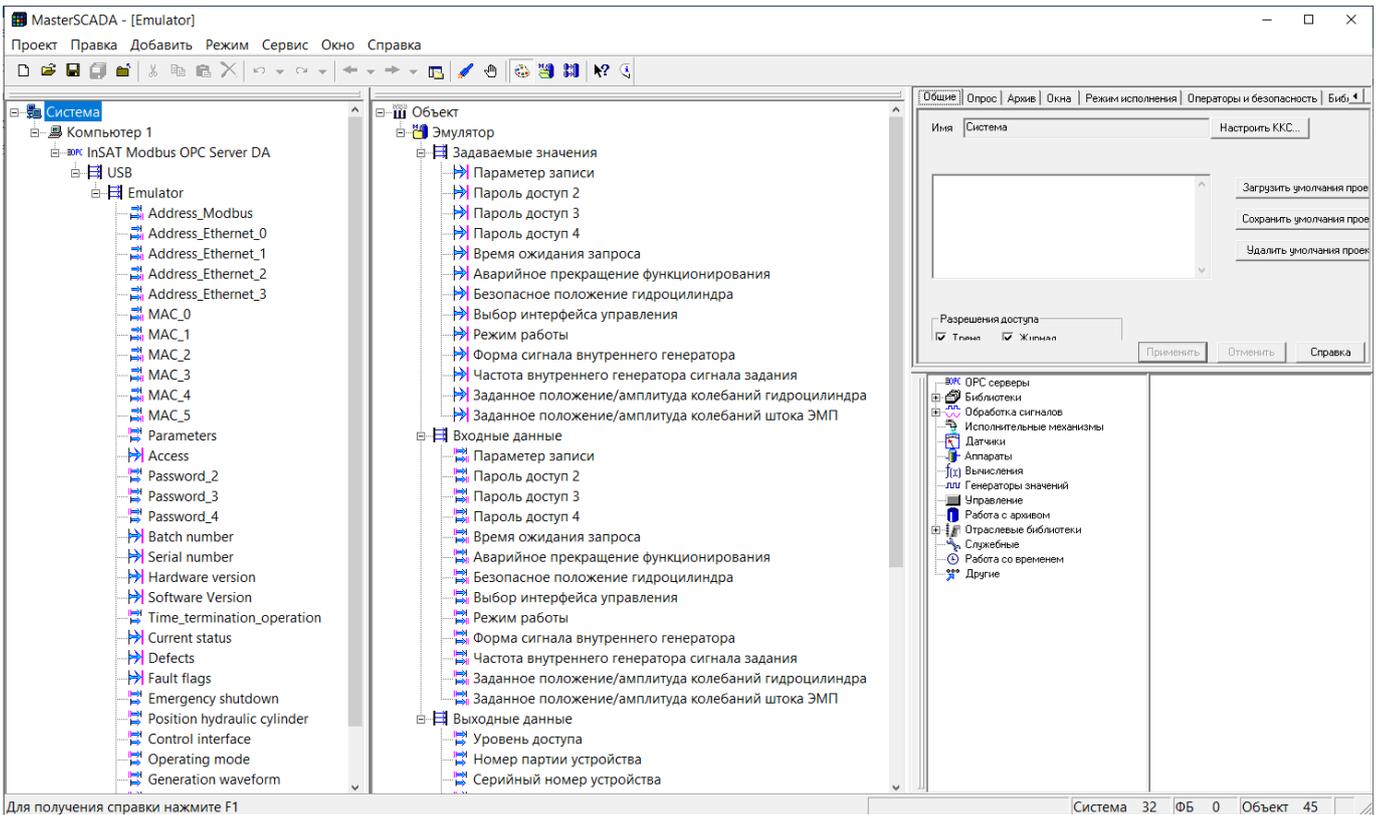


Рисунок 14 – Экранная форма готового проекта в MasterSCADA

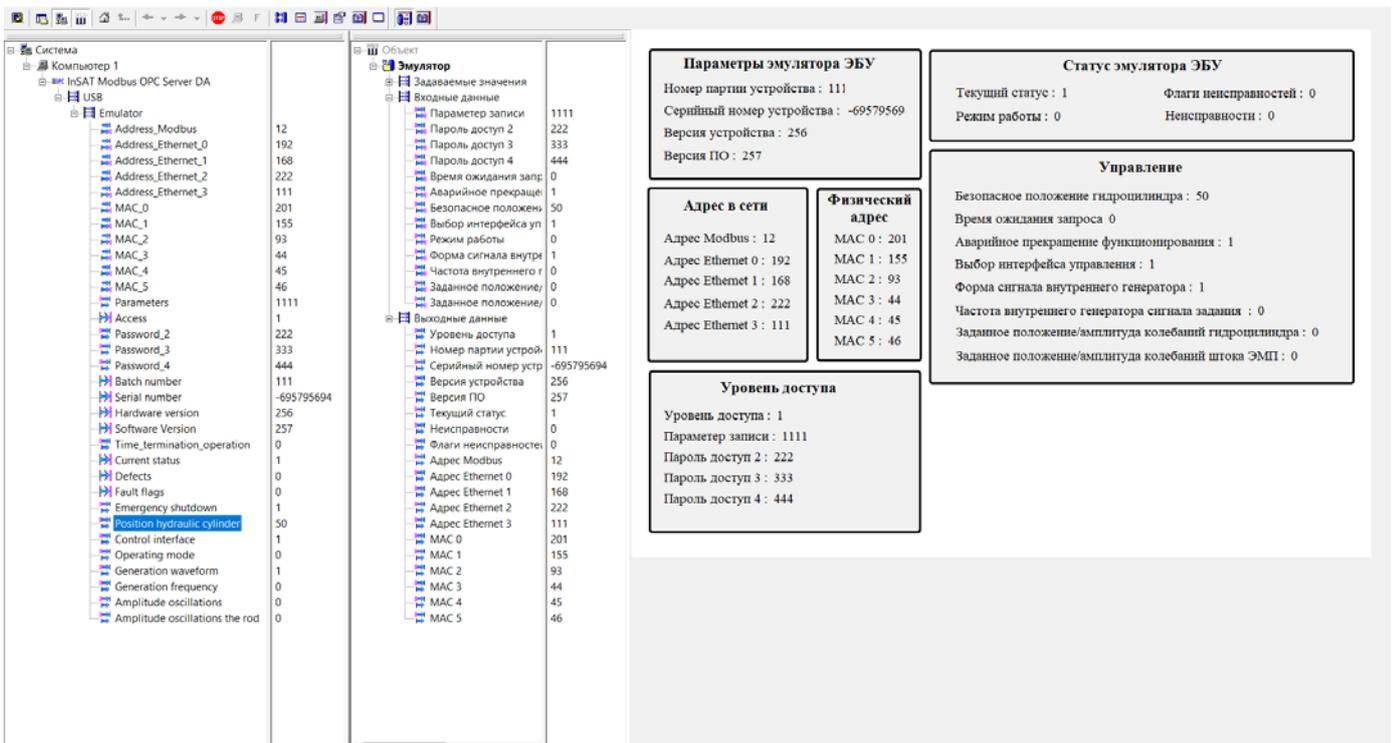


Рисунок 15 – Экранная форма проекта в MasterSCADA в рабочем состоянии

Вывод по четвертой главе

Тестирование программы основанное на прохождении разработанных сценариев показало полную работоспособность разработанного проекта в SCADA-системе с использованием микроконтроллера STM32F407VET6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Были проанализированы актуальные возможности использования SCADA-систем в работе, для организации сбора данных в реальном времени и диспетчерского контроля технологических процессов. Рассмотрены самые популярные SCADA-системы, выявлены их достоинства и недостатки, на основе которых был сделан вывод о самой подходящей системе для выполнения поставленной задачи – MasterSCADA.

2) Разработана конфигурация сервера в соответствии с заданием в приложении MasterOPC Universal Modbus Server.

3) Разработан проект в системе MasterSCADA.

4) Тестирование программы основанное на прохождении разработанных сценариев показало полную работоспособность проекта в SCADA-системе с использованием микроконтроллера STM32F407VET6.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основы автоматизации техпроцессов: учеб. пособие / А.В. Щагин, В.И. Демикин, В.Ю. Кононов, А.Б. Кабанова. – М.: Высшее образование, 2009. – 163 с.
2. Рынок автоматизированных систем управления в России в 2023 году [Электронный ресурс]: delprof.ru – URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rynok-avtomatizirovannykh-sistemy-upravleniya-v-rossii-v-2023-godu/?ysclid=lq3nhl2s2n597144949> (дата обращения: 10.12.2023).
3. Герасимов А.В. Проектирование АСУТП с использованием SCADA-систем: учебное пособие / А.В. Герасимов, А.С. Титовцев; М-во образ. И науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: изд-во АНИТУ, 2014. – 128 с.
4. Афоничев Д.Н. Информационные технологии в науке и производстве: учебное пособие / Д.Н. Афоничев. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – 122 с.
5. Интегрированные системы проектирования и управления. SCADA: учебное пособие / Под ред. Х.Н. Музипова. – СПб.: Издательство «Лань», 2022. – 408 с.
6. Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств: учебное пособие / Муромцев Д.Ю., Тюрин И.В., Белоусов О.А., Курносков Р.Ю. – СПб.: Издательство «Лань», 2022. – 412с.
7. Тугов В.В. Проектирование автоматизированных систем управления: учебное пособие для вузов / В.В. Тугов, А.И. Сергеев, Н.С. Шаров. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 172 с.
8. Федотов А.В. Компьютерное управление в производственных системах : учебное пособие для вузов / А.В. Федотов, В.Г. Хомченко. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 620 с.
9. Иванов В. Э. Разработка АСУТП в среде WinCC : учебное пособие / В.Э. Иванов, Ен Ун Чье. – Москва; Вологда: Инфа-Инженерия, 2019. – 232 с.

10. Редакция В Май 1998 Wonderware Corporation: руководство пользователя Wonderware® FactorySuite™ InTouch [Электронный ресурс]: old.intouch.su – URL: <http://old.intouch.su/support/pub/InTouchUG.pdf>

11. Давыдов В.Г. Система супервизорного управления Vijeo Citect. Базовый курс: учеб. пособие / Давыдов В.Г. – Изд. СПбГПУ, 2009. – 512 с.

12. RSView®32. USER'S GUIDE PUBLICATION VW32-UM001F-EN-E–July 2011 [Электронный ресурс]: studylib.ru – URL: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/vw32-um001_-en-e.pdf

13. Деменков Н.П. SCADA-системы как инструмент проектирования АСУ ТП: учеб. пособие / Деменков Н.П. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 328 с.

14. Руководство пользователя Trace Mode 5.0. – М.: Фирма Adastra, 2003. – 909 с.

15. Тугов В.В. Проектирование автоматизированных систем управления в TRACE MODE: учебное пособие / В.В. Тугов, А.И. Сергеев, Н.С. Шаров; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2017. – 307 с.

16. Ковалёв Д.А., Ляшенко А.Л. Основы работы в TRACE MODE: учебнометодическое пособие для выполнения лабораторных работ / ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2019. – 41 с.

17. Модульная интегрированная SCADA КРУГ-2000™. Интегрированная среда разработки. Руководство Пользователя/1-е изд – НПФ «КРУГ», 2009. – 90 с.

18. Программный комплекс «САРГОН» Руководство пользователя АГСН.72040-00 РП.00 – Москва, 2023. – 16 с.

19. Мастер SCADA, учебное пособие для студентов специальности 5311000- Автоматизация и управление технологических процессов и производств (в водном хозяйстве) / Газиева Р.Т., Ядгарова Д.Б., Нигматов А.М., Озодов Э.О. – Ташкент, 2020. – 205 с.

20. Кангин, В. В. Разработка SCADA – систем: учебное пособие / В. В. Кангин, М. В. Кангин, Д. Н. Ямолдинов. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – 564 с.

21. Якунин, Ю. Ю. Я49 Технологии разработки программного обеспечения. Версия 1.0: электрон. учеб. пособие / Ю. Ю. Якунин. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 225с.

22. Р.Ф. Минханов. Конструирование программного обеспечения: Список тем и методические указания к выполнению для студентов направления – Программная инженерия. / Р.Ф. Минханов – Нижневартовск, 2016. – 16с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПАРАМЕТРЫ ПРИ ОБМЕНЕ ДАННЫМИ С ЭБУ

Таблица А.1 – Список параметров, доступных при обмене данными с ЭБУ

Адрес	Назначение	Тип данных
00001	Адрес в сети Modbus	Int16
00002	Адрес в сети Ethernet (IP v4) байт 0	Int16
00003	Адрес в сети Ethernet (IP v4) байт 1	Int16
00004	Адрес в сети Ethernet (IP v4) байт 2	Int16
00005	Адрес в сети Ethernet (IP v4) байт 3	Int16
00006	MAC – адрес байт 0	Int16
00007	MAC – адрес байт 1	Int16
00008	MAC – адрес байт 2	Int16
00009	MAC – адрес байт 3	Int16
00010	MAC – адрес байт 4	Int16
00011	MAC – адрес байт 5	Int16
00012	Запись 5555 для сохранения параметров в энергонезависимой памяти Запись 1111 для сброса всех параметров к заводским значениям	Int16
00013	Текущий уровень доступа (при включении всегда установлен в 1). При записи – пароль для установки уровня доступа. Значения паролей по умолчанию: 00222 – уровень 2 00333 – уровень 3 00444 – уровень 4	Int16
00014	Установка пароля для уровня доступа 2	Int16
00015	Установка пароля для уровня доступа 3	Int16
00016	Установка пароля для уровня доступа 4	Int16
00017	Номер партии устройства	Int16
00019	Серийный номер устройства	Int32
00021	Версия аппаратной части устройства	Int16
00022	Версия встроенного программного обеспечения	Int16
00024	Время в миллисекундах до прекращения функционирования (см. рег. 28) при отсутствии запросов от внешнего (ведущего) устройства. При записи значения 0 время ожидания запросов не ограничено.	Int16

Продолжение таблицы А.1

Адрес	Назначение	Тип данных
00025	Текущее состояние функционирования устройства: 0 – инициализация, устройство ещё не функционирует 1 – нормальный режим работы 2 – обнаружены неисправности, устройство функционирует 3 – обнаружены неисправности, функционирование приостановлено до их устранения 4 – критическая неисправность, функционирование прекращено (рег. 019)	Int16
00026	Код обнаруженных неисправностей	Int16
00027	Флаги неисправностей	Int16
00028	Действия, выполняемые при аварийном прекращении функционирования: 0 (заводское значение) – немедленное	Int16
	отключение напряжения на якоре ЭМП (безусловно выполняется при неисправности ЭМП или неисправности датчика положения гидроцилиндра) 1 – Удержание гидроцилиндра в текущем заданном положении 2 – Установка штока гидроцилиндра в безопасное положение (рег. 30) и удержание 3 – Установка штока гидроцилиндра в исходное положение и отключение напряжения на ЭМП.	
00030	Безопасное положение гидроцилиндра	float
00038	Выбор интерфейса управления: 0 (заводское значение) – аналоговые входы, определяемые в рег. 108,148 1 – Локальный (USB) 2 – Сетевой (Ethernet) 3 – Комбинированный режим (USB + Ethernet) 4 – Внутренний генератор (рег. 41 – 46)	Int16
00040	Режим работы: 0 (заводское значение) – определяется входом выбора обратной связи (управление положением	Int16

Продолжение таблицы А.1

Адрес	Назначение	Тип данных
	ЭМП или гидроцилиндра) 1 – отработка положения гидроцилиндра 2 – отработка положения золотника 3 – режим наладки ЭМП 4 – режим наладки гидроцилиндра 9999 – режим калибровки датчиков	
00041	Форма сигнала внутреннего генератора: 1 – синусоида (заводское значение) 2 – треугольник 3 – прямоугольник	Int16
00042	Частота внутреннего генератора сигнала задания (заводское значение = 0)	float
00044	Заданное положение/амплитуда колебаний гидроцилиндра (заводское значение = 0)	float
00046	Заданное положение/амплитуда колебаний штока ЭМП (заводское значение = 0)	float

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПАРАМЕТРЫ УРОВНЕЙ ДОСТУПА С ЭБУ

Таблица Б.1 – Список уровней доступа

Назначение	Уровень доступа
Адрес в сети Modbus	1, 4
Адрес в сети Ethernet (IP v4) байт 0	1, 4
Адрес в сети Ethernet (IP v4) байт 1	1, 4
Адрес в сети Ethernet (IP v4) байт 2	1, 4
Адрес в сети Ethernet (IP v4) байт 3	1, 4
MAC – адрес байт 0	1, 4
MAC – адрес байт 1	1, 4
MAC – адрес байт 2	1, 4
MAC – адрес байт 3	1, 4
MAC – адрес байт 4	1, 4
MAC – адрес байт 5	1, 4
Запись 5555 для сохранения параметров в энергонезависимой памяти Запись 1111 для сброса всех параметров к заводским значениям	1, 4
Текущий уровень доступа (при включении всегда установлен в 1) При записи – пароль для установки уровня доступа. Значения паролей по умолчанию: 00222 – уровень 2 00333 – уровень 3 00444 – уровень 4	1, 1
Установка пароля для уровня доступа 2	4, 4
Установка пароля для уровня доступа 3	4, 4
Установка пароля для уровня доступа 4	4, 4
Номер партии устройства	1
Серийный номер устройства	1
Версия аппаратной части устройства	1
Версия встроенного программного обеспечения	1
Время в миллисекундах до прекращения функционирования (см. рег. 28) при отсутствии запросов от внешнего (ведущего) устройства. При записи значения 0 время ожидания запросов не ограничено.	1, 4
Текущее состояние функционирования устройства: 0 – инициализация, устройство ещё не функционирует	1

Продолжение таблицы Б.1

Назначение	Уровень доступа
1 – нормальный режим работы 2 – обнаружены неисправности, устройство функционирует 3 – обнаружены неисправности, функционирование приостановлено до их устранения 4 – критическая неисправность, функционирование прекращено (рег. 019)	1
Код обнаруженных неисправностей (только чтение)	1
Флаги неисправностей	1
Действия, выполняемые при аварийном прекращении функционирования: 0 (заводское значение) – немедленное отключение напряжения на якоре ЭМП (безусловно выполняется при неисправности ЭМП или неисправности датчика положения гидроцилиндра) 1 – Удержание гидроцилиндра в текущем заданном положении 2 – Установка штока гидроцилиндра в безопасное положение (рег. 30) и удержание 3 – Установка штока гидроцилиндра в исходное положение и отключение напряжения на ЭМП.	1, 4
Безопасное положение гидроцилиндра	1, 4
Управление, отладка	
Выбор интерфейса управления: 0 (заводское значение) – аналоговые входы, определяемые в рег. 108,148 1 – Локальный (USB) 2 – Сетевой (Ethernet) 3 – Комбинированный режим (USB + Ethernet) 4 – Внутренний генератор (рег. 41 – 46)	1, 4
Режим работы: 0 (заводское значение) – определяется входом выбора обратной связи (управление положением ЭМП или гидроцилиндра) 1 – отработка положения гидроцилиндра 2 – отработка положения золотника 3 – режим наладки ЭМП	1, 4

Продолжение таблицы Б.1

Назначение	Уровень доступа
4 – режим наладки гидроцилиндра 9999 - режим калибровки датчиков	1, 4
Форма сигнала внутреннего генератора: 1 – синусоида (заводское значение) 2 – треугольник 3 – прямоугольник	1, 4
Частота внутреннего генератора сигнала задания (заводское значение = 0)	1, 4
Заданное положение/амплитуда колебаний гидроцилиндра (заводское значение = 0)	1, 4
Заданное положение/амплитуда колебаний штока ЭМП (заводское значение = 0)	1, 4