

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра математической кибернетики и компьютерных наук

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОДУЛЯ  
СОПРЯЖЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КОРРОЗИИ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 451 группы  
направления 09.03.04 — Программная инженерия  
факультета КНиИТ  
Чечетка Елизаветы Антоновны

Научный руководитель  
доцент, к. ф.-м. н.

\_\_\_\_\_

А. С. Иванов

Заведующий кафедрой  
к. ф.-м. н., доцент

\_\_\_\_\_

С. В. Миронов

Саратов 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1 Модуль дистанционного коррозионного мониторинга .....	5
2 Запуск и тестирование программного обеспечения модуля .....	10
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	16

## ВВЕДЕНИЕ

С развитием современных технологий промышленная автоматизация становится ключевым элементом управления и оптимизации производственных процессов. Непрерывное стремление к повышению эффективности, точности и надежности в промышленных приложениях ставит перед инженерами и разработчиками задачу создания новейших средств сбора данных. В данном контексте, модуль сопряжения системы мониторинга коррозии представляет собой важную задачу в данной области. Этот модуль является ключевым элементом системы мониторинга, предназначенной для непрерывного контроля состояния коррозии для поверхности оборудования и сооружений.

Актуальность данной разработки обусловлена необходимостью обеспечения безопасности и надежности промышленных объектов, снижению экономических потерь от аварий и соответствие требованиям безопасности и экологии. В условиях развития технологий успешный мониторинг и управление коррозией способствуют повышению эффективности производства и уменьшению времени простоя оборудования.

Целью данной дипломной работы является создания программного обеспечения модуля сопряжения системы мониторинга коррозии для обеспечения эффективного и надежного сбора, передачи и обработки данных о состоянии коррозии в промышленных условиях.

В связи с этим поставлены следующие задачи:

1. сформулировать требования к программному обеспечению модуля;
2. проанализировать и определить стек технологий;
3. разработать архитектуру программного обеспечения;
4. реализовать алгоритмы мониторинга;
5. подготовить целевые механизмы для обеспечения безопасной интеграции модуля;
6. протестировать разработанное программное обеспечение в реальных условиях.

Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка из 21 источника и трех приложений.

В главе «Модуль дистанционного коррозионного мониторинга» описывается постановка задачи мониторинга, схема устройства, а также описаны используемые технологии и компоненты, используемые в проекте.

В главе «Разработка программного обеспечения модуля» подробно рассматривается разработка и реализация программного обеспечения для управления мониторинга. Описывается структура программы, включая алгоритмы обработки сигналов, сбора данных и их анализа.

Глава «Запуск и тестирование программного обеспечения модуля» посвящена результатам работы системы.

## 1 Модуль дистанционного коррозионного мониторинга

Модуль дистанционного коррозионного мониторинга предназначен для сбора и обработки информации о коррозионных процессах и противокоррозионной защите подземных стальных сооружений и передачи этой информации по интерфейсу RS-485 в системе телемеханики.

Модуль обеспечивает связь по проводным каналам с устройствами коррозионного мониторинга, оснащенными электродами сравнения с вспомогательными электродами, индикаторами скорости коррозии и является составной частью системы электрохимической защиты от коррозии.

Рассмотрим схему устройства (см. рис. 1):

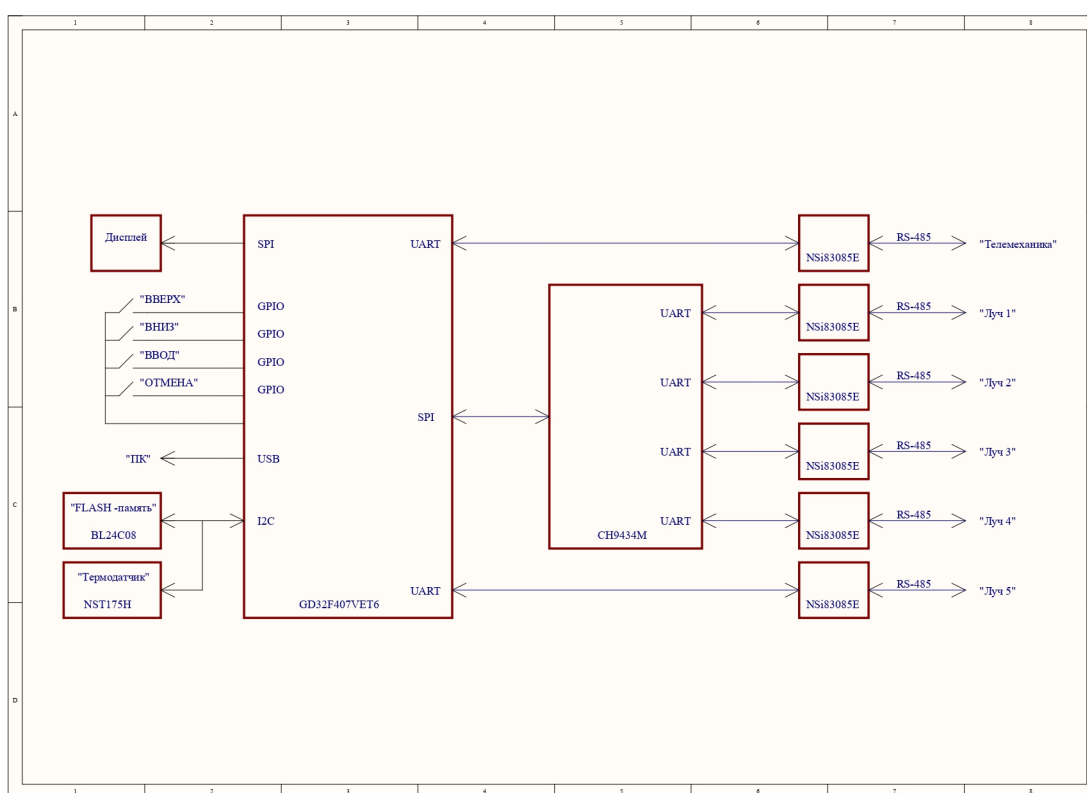


Рисунок 1 – Схема устройства

Схема представляет связь компонентом устройства.

- GD32F407VET6 — центральный микроконтроллер, который собирает, обрабатывает и управляет данными о коррозионных процессах. Используя интерфейсы связи UART, SPI и I2C, он взаимодействует с другими компонентами системы;
- датчики — компоненты, представляющие собой набор датчиков, измеряющие параметры, связанные с коррозионными процессами;

- FLASH–память BL24C08 (I2C) и Термодатчик NCT75 (I2C) — память хранения измеренных данных и датчик температуры;
- SN9344M (UART) — микросхема расширения UART портов, обеспечивающая множество дополнительных каналов связи для подключения к драйверам RS-485;
- NSI3830SE (UART – RS-485) — драйверы интерфейса, которые преобразуют сигналы UART в сигналы RS-485 для дальнейшей передачи данных в систему телемеханики. Каждый канал RS-485 маркирован как «Телемеханика» и «Луч 1» - «Луч 5», что предполагает, что модуль может одновременно мониторить несколько устройств;
- GPIO (ВВЕРХ, ВНИЗ, ВВОД, ОТМЕНА) — интерфейсы для управления устройством или для получения внешних сигналов для управления процессами измерения или для подтверждения операций пользователя;
- USB и ТТК — USB может использоваться для локальной настройки устройства, обновления программного обеспечения или сбора данных, в то время как ТТК может обозначать специализированный канал связи для внутренних нужд системы и для подключения внешнего оборудования.

Рассмотрим фото платы (см. рис. 2):

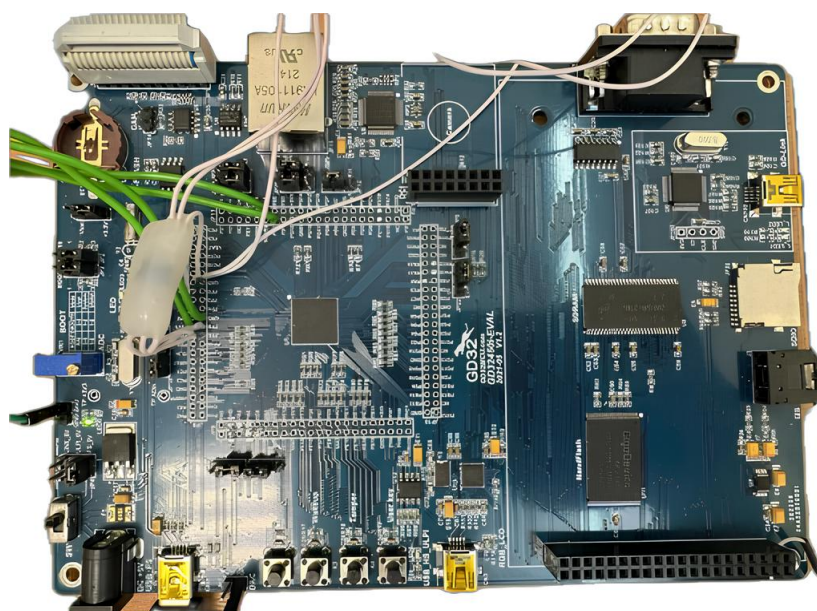


Рисунок 2 – Плата модуля

В центре функционирования платы модуля находится микроконтроллер GD32F407VET6, который является основой для программирования и управления всей системой. Он обеспечивает выполнение программного кода, кон-

тролирующего взаимодействие между различными элементами платы, связь с внешними устройствами и является Master-устройством, совершающий опрос.

Основная задача программирования микроконтроллера на плате модуля заключается в обеспечении надежного и эффективного функционирования системы, состоящей из пяти ведущих устройств, устройств, которые опрашивается ведущими и одним ведомым устройством, которое отправляет запрос на опрос карты регистров.

Логика опроса карты регистров устройства следующая: в документации к опрашиваемому устройству содержатся таблицы с информационными сигналами (параметрами) и регистрами (см. таблицу. 1):

Таблица 1 – Телеизмерение выходных параметров СКЗ

Адрес (hex)	Наименование сигнала (параметра)	Обозначение параметра	Диапазон значений	Диапазон передаваемых значений	Дискретность	Тип данных
0x0001	Напряжение питающей сети 1 (220 В)	U220	0...270 (В)	0...2700	0,1 В	Int16
0x0004	Напряжение питающей сети 2 (48 В)	U48	0...60 (В)	0...600	0,1 В	Int16
0x0007	Температура в шкафу СКЗ	T	-45...100 (°C)	-45...100	1 °C	Int16
0x0008, 0x0009	Время наработки	СВН	0...999999 (ч)	0...999999	1 ч	Int32
0x000A, 0x000B	Время защиты сооружения	СВЗ	0...999999 (ч)	0...999999	1 ч	Int32
...	...	...	...	...	...	...

Из таблицы понятно, что у каждого регистра есть адрес и некоторое значение. Значит, процесс опроса будет включать поиск регистра, а затем последовательный переход от одного регистра к следующему, при этом необходимо проверять и обновлять статус готовности устройства к действиям чтения или записи.

После того, как найден регистр с нужным адресом, должна вызываться функция обратного вызова соответствующего типа. Его вызов происходит автоматически системой Modbus в зависимости от типа запроса, полученного от мастера. Именно здесь и происходит извлечение значения, хранящегося по этому адресу.

Главный механизм опроса:

1. Проверяется готовность устройства к получению запросов. Если оно готово к опросу, то процесс будет продолжаться, иницируя запросы к соответствующим Modbus регистрам в зависимости от их типа.

2. После отправки запроса нужно проверяется статус выполнения запроса. Если он не выполнен успешно — выводится сообщение об ошибке, указывающее на проблему с определенным устройством и регистром. Если же все успешно — устройство остается в состоянии ожидания следующего опроса.
3. Независимо же от результата запроса, индекс текущего регистра и индекс текущего опрашиваемого устройства инкрементируются для перехода к следующему регистру или же устройства.
4. Если достигнут конец списка регистров, индекс сбрасывается, и происходит переход к следующему устройству. Если же все, подключенные к текущему мастеру устройства опрошены, то сбрасывается индекс, отвечающий за подключенное устройство, что позволяет циклически повторять процесс опроса.
5. Но также возможны случаи возникновения событий, связанных с Modbus (например, истечение времени ожидания ответа или ошибка приема данных). Тогда, активируются соответствующие обработчики ошибок, которые могут корректировать состояние устройства или повторно инициировать запрос.
6. Опрос продолжается, пока устройство остается активным и связь поддерживается. Это обеспечивает непрерывное мониторинг и управление состоянием устройств на основе Modbus в реальном времени.

Master–устройства совершают опрос к подключенным к ним устройствам. Для того, чтобы выполнять эту команду и представлять информацию, необходимо Slave–устройство. В данном проекте, им выступает адаптер EL201-1 от производителя «Лаборатория Электроники» (см. рис. 3):

Его преимущество заключается в том, что он поддерживает соответствующий протокол ModBus RTU и имеет необходимую функциональность для выполнения этой роли и автоматически определяет направление передачи данных по интерфейсу RS–485.

В роли Modbus Slave адаптер отвечает на запросы от Modbus Master устройства, выполняя заданные команды и передавая обратно требуемые данные. Это позволяет интегрировать устройства, которые изначально не предназначены для работы в Modbus сети, в систему управления и мониторинга.

Центральную роль играют функции чтения и записи регистров.





Рисунок 3 – Адаптер EL201-1

Функции чтения предназначены для получения данных с устройств и сенсоров, которые включены в сеть ModBus. Благодаря им, система автоматизированно получает актуальную информацию о состояниях устройств, таких как температура, давление и другие параметры. Также, чтение можно использоваться для диагностики и обнаружения неисправностей в системе, анализируя параметры работы устройств.

Функция возвращает текущее значение регистра, если он найден. Если регистр не найден или доступ к нему запрещен, функция возвращает ошибку доступа.

Функции записи регистров используются для отправки команд и изменений настроек устройств. Благодаря им можно активировать или деактивировать механизмы, настроить режимы работы устройств или задать параметры для выполнения задач. Они также позволяют изменять настройки устройств в ответ на изменение условий эксплуатации или требований к процессу.

## 2 Запуск и тестирование программного обеспечения модуля

Установка состоит из следующих устройств (см. рис. 4):



Рисунок 4 – Установка из источников питания и устройства для опроса

Слева находится два источника питания. Они нужны для работы установки, но разработка их программного обеспечения не входит в техническое задание.

Справа опрашиваемое устройство, внутри которого плата с микроконтроллером (см. рис. 5):

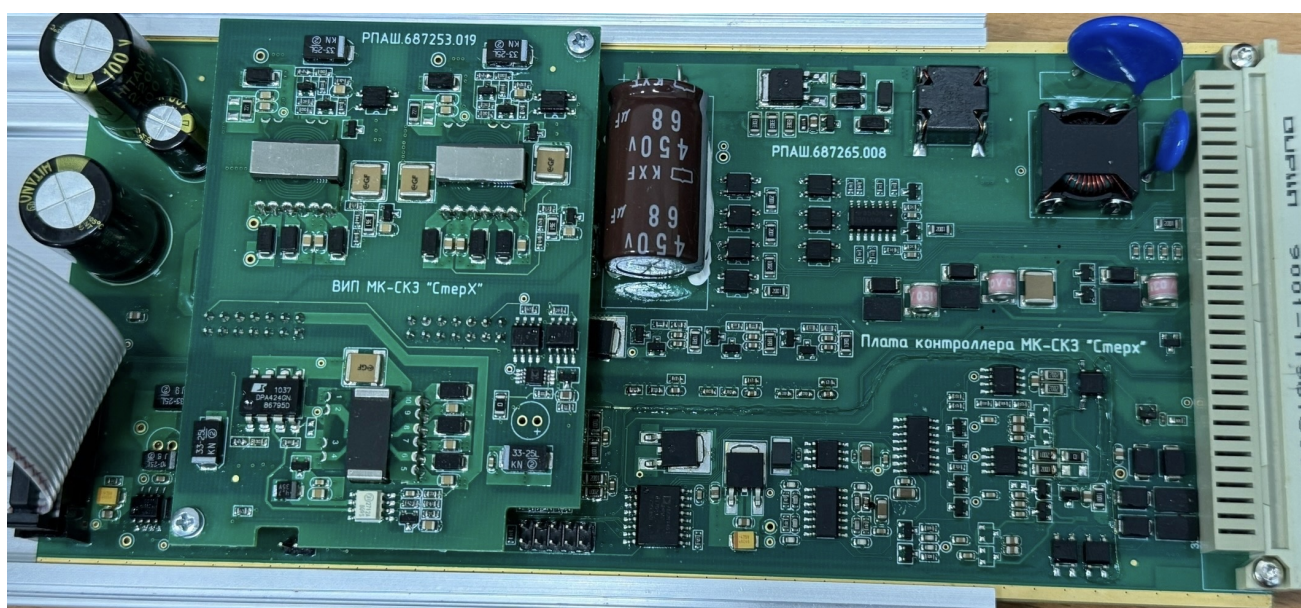


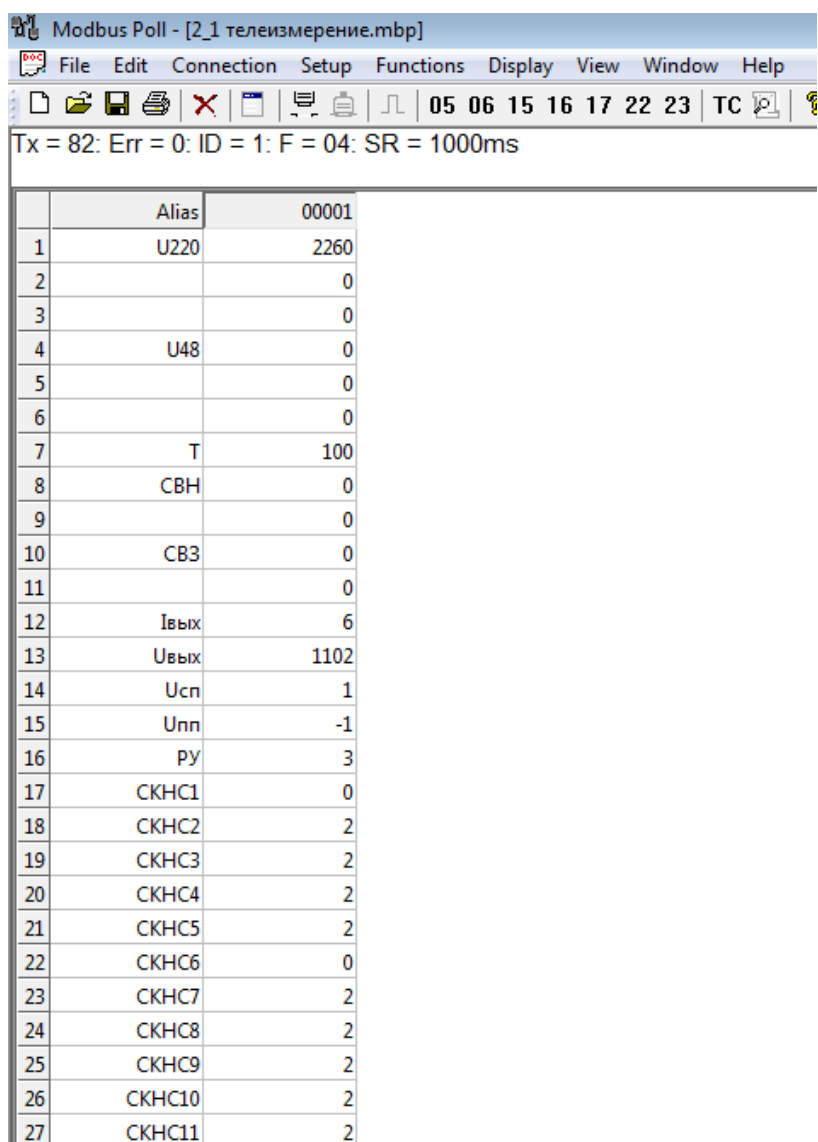
Рисунок 5 – Плата опрашиваемого устройства

К нему подключается Slave-устройство, которое еще через USB подключено к компьютеру.

На компьютере запустим виртуальную машину Oracle VirtualBox для работы в приложения ModBus Poll — Windows-приложение, благодаря которому можно подключать к ПК устройства различного типа, использующие одноименный протокол.

Включив установку, и проверив, что прошивка и подключение прошли успешно.

Запустим телеизмерения и телесигнализацию (см. рис. 6, 7, 8):



The screenshot shows the Modbus Poll application window titled "Modbus Poll - [2\_1 телеизмерение.mbp]". The menu bar includes File, Edit, Connection, Setup, Functions, Display, View, Window, and Help. The status bar displays "Tx = 82: Err = 0: ID = 1: F = 04: SR = 1000ms". The main area contains a table with 27 rows of data.

	Alias	Value
	00001	
1	U220	2260
2		0
3		0
4	U48	0
5		0
6		0
7	T	100
8	CBH	0
9		0
10	CB3	0
11		0
12	Iвых	6
13	Uвых	1102
14	Uсп	1
15	Uпп	-1
16	PU	3
17	СКНС1	0
18	СКНС2	2
19	СКНС3	2
20	СКНС4	2
21	СКНС5	2
22	СКНС6	0
23	СКНС7	2
24	СКНС8	2
25	СКНС9	2
26	СКНС10	2
27	СКНС11	2

Рисунок 6 – Скриншот Телеизмерений

Modbus Poll - [2\_1 телеизмерение.mbp]

File Edit Connection Setup Functions Display View Window Help

05 06 15 16 17 22 23 TC

Tx = 156: Err = 0: ID = 1: F = 04: SR = 1000ms

	Alias	00001
28	СКНС12	2
29	СК_БПИ	0
30	ГК_БПИ	0
31	СК_ИКП1	65535
32	ГК_ИКП1	65535
33	СК_ИКП2	65535
34	ГК_ИКП2	65535
35	СК_ИКП3	65535
36	ГК_ИКП3	65535
37	СК_ИКП4	65535
38	ГК_ИКП4	65535
39	СК_ИКП5	65535
40	ГК_ИКП5	65535
41	СК_ИКП6	65535
42	ГК_ИКП6	65535
43	СК_ИКП7	65535
44	ГК_ИКП7	65535
45	Iвэ	0
46	PIвэ	0
47	Uот1	384
48	Uот2	99
49	Iот1	-18432
50		11
51	Iот2	1392

Рисунок 7 – Скриншот Телеизмерений

Modbus Poll - [2\_2 телесигнализация.mbp]

File Edit Connection Setup Functions Display View Window Help

05 06 15 16 17 22 23 TC

Tx = 6: Err = 0: ID = 1: F = 02: SR = 1000ms

	Alias	00001
1	ТС1 (Дверь)	1
2	ТС2 (ДУ)	0
3	ТС3 (Неисправност...	1
4	ТС4 (Обрыв С/ВЭ/Э...	0
5	ТС5 (Основной - Ре...	0
6	ТС6-1 (ДСК1)	0
7	ТС6-2 (ДСК2)	0
8	ТС6-3 (ДСК3)	0
9	ТС7-1 (УЗИП1)	0
10	ТС7-2 (УЗИП2)	0
11	ТС7-3 (УЗИП3)	0
12	ТС8 (Резерв)	0
13	ТС9.1 (КИП)	1
14	ТС9.2 (СУ АКМ)	1
15	ТС9.3 (БСЗ АКМ)	1
16	ТС9.4 (УС ИКП1)	1
17	ТС9.5 (УС ИКП2)	1
18	ТС9.6 (УС ИКП3)	1
19	ТС9.7 (УС ИКП4)	1
20	ТС9.8 (УС ИКП5)	1
21	ТС9.9 (УС ИКП6)	1
22	ТС9.10 (УС ИКП7)	1
23	ТС9.11 (ДОПУ)	1

Рисунок 8 – Скриншот Телесигнализации

Скриншоты показывают, список регистров Modbus с их текущими значениями. Если сравнить их с картой регистров МК СКЗ, то убедимся, что значение любого из регистров соответствует возможному диапазону. В случае, если значение будет выходить из диапазона, из-за каких-то ошибок, то в приложение отобразится крайнее значение из возможного диапазона.

Отладка происходит успешно. Теперь протестируем запись.

Сейчас, на опрашиваемом устройстве напряжение соответствует 11.15 вольт (см. рис. 9):



Рисунок 9 – Устройство с напряжением 11.15 вольт

Узнаем, чему оно соответствует в приложении (см. рис. 10):

Modbus Poll - [2\_3 телерегулирование.mbr]

File Edit Connection Setup Functions Display View Window Help

05 06 15 16 17 22 23 TC ?

Tx = 23: Err = 0: ID = 1: F = 03: SR = 1000ms

	Alias	00129
129	Уст	100
130	Употс	-100
131	Употп	-100
132	Упр.	3
133	Ууст	1115
134	Шунт	50
135	Свз	1
136	L от1	50
137	L от2	50
138	Rot1	1
139		--
140	Rot2	1
141		--
142	Год	99
143	Мес.	2
144		0
145	День	6

Рисунок 10 – Приложение с напряжением 11.15 вольт

Как можно увидеть, напряжение тоже равно 11.15 вольт. Изменим его на устройстве на 12 вольт и сохраним при нажатие на кнопку «ВВОД» (см. рис. 11):



Рисунок 11 – Устройство с напряжением 12 вольт

Проверим, чему теперь оно равно в приложении (см. рис. 12):

Modbus Poll - [2\_3 телерегулирование.mbr]

File Edit Connection Setup Functions Display View Window Help

05 06 15 16 17 22 23 TC ? ?

Tx = 26: Err = 0: ID = 1: F = 03: SR = 1000ms

	Alias	00129
129	Ууст	0
130	Употс	-100
131	Употп	-100
132	Упр.	3
133	Ууст	1200
134	Ишунт	50
135	Свэ	1
136	L от1	50
137	L от2	50
138	Rot1	1
139		--
140	Rot2	1
141		--
142	Год	99
143	Мес.	2
144		0
145	День	6

Рисунок 12 – Приложение с напряжением 12 вольт

Значения совпадают. Это говорит о том, что функция чтения и записи регистров были реализованы правильно и модуль сопряжения системы мониторинга коррозии работает корректно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы, были изучены технологии программирования микроконтроллеров, интерфейсы передачи данных, а также такие протоколы как: UART, TIMER и ModBus. Были отработаны и улучшены навыки написания программного кода и создание архитектуры программного обеспечения. Получено понимание в промышленной разработке.

Результатом работы стало создание модуля сопряжения системы мониторинга коррозии, который успешно собирает, передает и обрабатывает данные регистров опрашиваемых устройств.

Применение данной системы в промышленных проектах позволит улучшить точность контроля производственных процессов, обеспечить более высокую скорость обработки данных и повысить общую надёжность оборудования.

Возможные направления для дальнейших исследований включают разработку дополнительных модулей для интеграции с другими протоколами промышленной связи и улучшение алгоритмов обработки данных для работы в условиях высоких помех.

Таким образом, разработанная система не только соответствует современным требованиям промышленной автоматизации, но и предоставляет основу для дальнейшего развития и совершенствования технологических процессов.