

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

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

Кафедра математического обеспечения вычислительных комплексов и  
информационных систем

**РАЗРАБОТКА ВНУТРЕННЕГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
МОДУЛЯ СОПРЯЖЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КАТОДНОЙ  
ЗАЩИТЫ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 2 курса 273 группы  
направления 02.04.03 — Математическое обеспечение и администрирование  
информационных систем  
факультета КНиИТ  
Чечетка Елизаветы Антоновны

Научный руководитель  
профессор, д. ф.-м. н.

\_\_\_\_\_

Д. К. Андрейченко

Заведующий кафедрой  
д. ф.-м. н., профессор

\_\_\_\_\_

Д. К. Андрейченко

Саратов 2026

## ВВЕДЕНИЕ

Коррозия металлических конструкций является одной из наиболее важных проблем современной промышленной инфраструктуры, особенно для подземных хранилищ газа, эксплуатируемых в непосредственном контакте с агрессивной грунтовой средой. Электрохимические коррозионные процессы приводят к постепенному разрушению конструкций, авариям, экологическим катастрофам и значительным экономическим потерям. Наиболее эффективным методом противодействия является катодная защита, требующая постоянного мониторинга защитного потенциала, тока, напряжения и скорости коррозии.

На российском рынке фактически отсутствуют комплексные системы централизованного мониторинга в рамках единой программно-аппаратной платформы отечественного производства. Существующие зарубежные аналоги не отвечают требованиям технологической независимости российской промышленности.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью создания отечественного решения для мониторинга катодной защиты, обеспечивающего централизованный сбор данных и передачу информации в систему телемеханики.

Целью данной работы является создание программного обеспечения для модуля сопряжения системы мониторинга катодной защиты, способного эффективно собирать, передавать и обрабатывать данные о состоянии коррозии.

В связи с этим были поставлены следующие задачи:

1. сформулировать требования к программному обеспечению;
2. провести анализ и выбрать подходящий стек технологий;
3. разработать архитектуру программного обеспечения;
4. реализовать алгоритмы мониторинга;
5. создать механизмы для безопасной интеграции модуля;
6. разработать приложение для отслеживания параметров;
7. протестировать программное обеспечение.

В теоретической части работы рассмотрена предметная область и обоснован выбор технологий: охарактеризованы система мониторинга и архитектура модуля, описаны используемые протоколы передачи данных и проанализированы существующие программные решения. В практической части разработано программное обеспечение модуля: создан драйвер микросхемы расширения,

расширена карта регистров и реализованы функции телемеханики, разработаны пользовательский интерфейс и приложение для удаленного управления, проведено тестирование.

## **1 Описание системы мониторинга катодной защиты**

Для контроля состояния трубопровода с интервалом около 5 км устанавливаются КИП. Каждый из них представляет собой встраиваемое устройство оснащенное резервированием и улучшенной подсистемой питания для обеспечения стабильной работы в полевых условиях. КИП фиксирует ключевые параметры катодной защиты, например, защитный потенциал, выходной ток и напряжение, скорость коррозии. Непрерывный сбор этих данных позволяет своевременно выявлять отклонения от нормы и предотвращать развитие коррозионных процессов.

Централизованный сбор данных со всех КИП обеспечивает МССМ, устанавливаемый в шкафу управления непосредственно на объекте. К одному модулю может быть подключено до 32 КИП по проводному интерфейсу RS-485, что обусловлено высокой помехоустойчивостью данного стандарта и возможностью передачи данных на значительные расстояния в условиях промышленной среды. Опрос подключенных устройств осуществляется по протоколу Modbus RTU, при этом МССМ выступает в роли мастера сети, а КИП — в роли ведомых устройств.

Считанные параметры отображаются на встроенном дисплее модуля. Взаимодействие оператора с системой осуществляется локально — непосредственно через интерфейс модуля на месте установки. Таким образом, МССМ является конечной точкой сбора данных и основным инструментом оперативного контроля состояния системы мониторинга на объекте.

### **1.1 Тестирование программного обеспечения**

В качестве примера протестируем работу с устройством «Станция катодной защиты»(СКЗ). Каждая станция устанавливается на участке трубопровода и собирает данные с датчиков, отслеживающих параметры электрохимической защиты (скорость коррозии, потенциалы и т.д.).

МССМ опрашивает все станции по протоколу Modbus, получает ключевые параметры и отображает их на встроенном дисплее.

В настоящее время модуль находится в режиме опытно-промышленной эксплуатации.

Ниже приведены примеры экранов, демонстрирующих работу устройства, включая отображение состояния подключенных СКЗ и параметров, полученных

в ходе опроса по протоколу Modbus.

На рисунке 1 показан экран станции катодной защиты. СКЗ получает данные от подключенных датчиков и отображает основные параметры устройства, отражающие его текущее состояние:



Рисунок 1 – Экран станции катодной защиты (СКЗ)

На рисунке 2 приведен экран модуля МССМ, производящего опрос данной СКЗ.

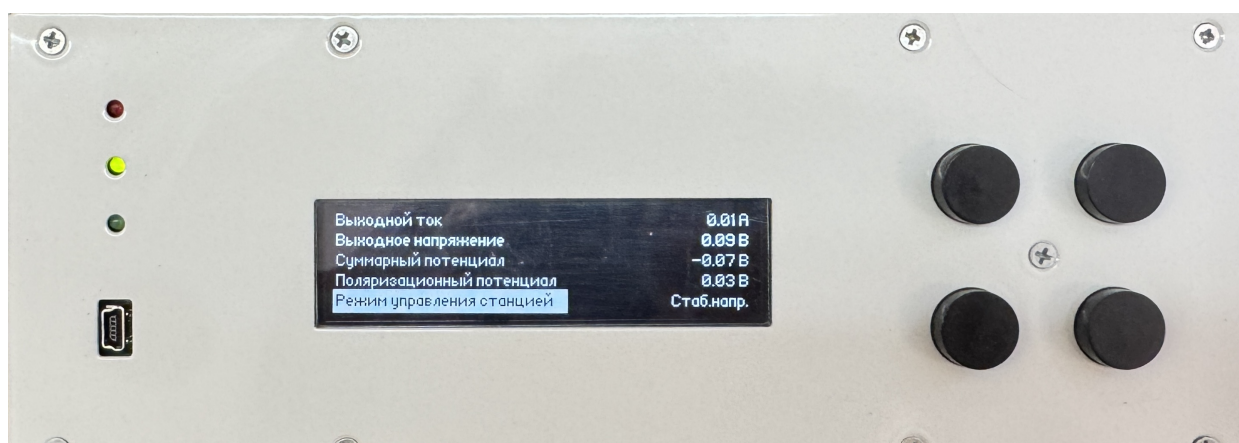


Рисунок 2 – Отображение параметров на дисплее МССМ

Значения, отображаемые на дисплее МССМ, совпадают с теми, что представлены на экране станции. Это подтверждает корректность реализации об-

мена по протоколу Modbus, достоверность считываемых данных и корректную работу интерфейса.

Ниже представлен экран статуса, отображаемый при подключении нескольких устройств. На нем визуализируются состояния всех опрашиваемых СКЗ в виде пиктограмм (см. рис. 3):

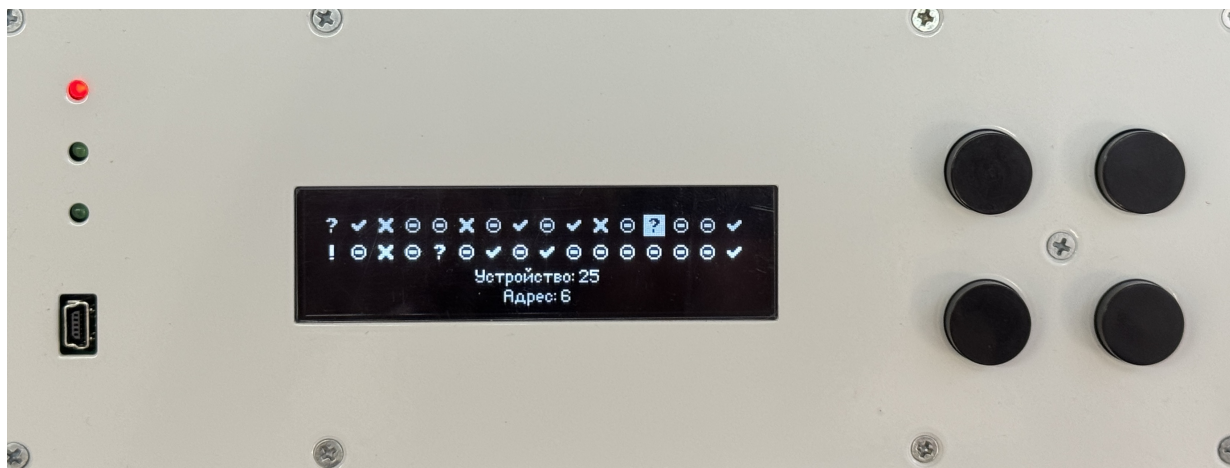


Рисунок 3 – Экран статусов при нескольких подключениях

Убедившись в корректности работы модуля, перейдем к проверке приложения. Основная задача тестирования — удостовериться, что данные, получаемые приложением по линии телемеханики, совпадают со значениями, отображаемыми на дисплее модуля, а изменения параметров через приложение корректно применяются на устройстве.

Проверим работу опроса. При нажатии кнопки «Обмен» таблица заполняется параметрами выбранных устройств (в данном случае заранее были выбраны два устройства с номерами «1» и «3»).

Сначала в приложении отображаются настройки самого МССМ, затем настройки выбранных устройств, после чего выводятся их текущие параметры (см. рис. 4, 5):

Порт: ttyUSB3 - FT232R USB UART

Адрес: 7

	MSSM(RTU;/dev/ttyUSB3:7)
Обмен	<input checked="" type="checkbox"/> x
Калибровка	Начать
Версия ПО	v0.1
Адрес MSSM	7
Время работы дисплея	30 сек
Адрес устройства-1	8
Номер интерфейса-1	4
Состояние-1	OK
Период опроса-1	30 сек
Адрес устройства-3	8
Номер интерфейса-3	4
Состояние-3	НЕИЗВЕСТНО
Период опроса-3	30 сек
Температура внешняя-1	100 °C
ВДТ-1	52 °C
Ивых-1	0.01 A
Ивых-1	0.09 B
Усп-1	-0.07 B
Улп-1	0.05 B
РУ-1	стабилизация напряжения
СКНС1-1	отсутствует
СКНС2-1	отсутствует
СКНС3-1	отсутствует
СКНС4-1	отсутствует
СКНС5-1	отсутствует
СКНС6-1	отсутствует
СКНС7-1	отсутствует
СКНС8-1	отсутствует
СКНС9-1	отсутствует
СКНС10-1	отсутствует
СКНС11-1	отсутствует
СКНС12-1	отсутствует
Иуст-1	0.00 A
Иуст-1	1.15 B
Ипотс-1	-0.71 B
Ипотп-1	-0.94 B
Упр-1	Неизв.

Рисунок 4 – Вывод параметров первого устройства

Порт: ttyUSB0 - FT232R USB UART

Адрес: 7

	MSSM(RTU;/dev/ttyUSB0:7)
Ивых-3	0.08 B
Усп-3	-0.08 B
Илп-3	0.04 B
РУ-3	стабилизация напряжения
СКНС1-3	отсутствует
СКНС2-3	отсутствует
СКНС3-3	отсутствует
СКНС4-3	отсутствует
СКНС5-3	отсутствует
СКНС6-3	отсутствует
СКНС7-3	отсутствует
СКНС8-3	отсутствует
СКНС9-3	отсутствует
СКНС10-3	отсутствует
СКНС11-3	отсутствует
СКНС12-3	отсутствует
Иуст-3	0.00 A
Иуст-3	1.15 B
Ипотс-3	-0.71 B
Ипотп-3	-0.94 B
Упр-3	Неизв.
ТУ1 (ДО СМ)-3	Включить
ТУ2 (АК)-3	КНС включен
U220-3	0.00 B
U48-3	27.30 B
Ивз-3	-0.02 mA
Иот1-3	-0.01 мВ
Иот2-3	-0.03 мВ
Иот1-3	-20.00 mA
Иот2-3	-60.00 mA
Ивз-3	-20.00 A/m2

Рисунок 5 – Вывод параметров второго устройства

Рассмотрим результаты более подробно и проверим корректность отображаемых параметров.

Тестируемое устройство подключено к линии «Луч 4», реализованной через микросхему SN9434M, поэтому его опрос выполняется с использованием разработанного драйвера (см. рис. 6):



Рисунок 6 – Настройки первого устройства

Параметры данного устройства представлены на рис. 7:

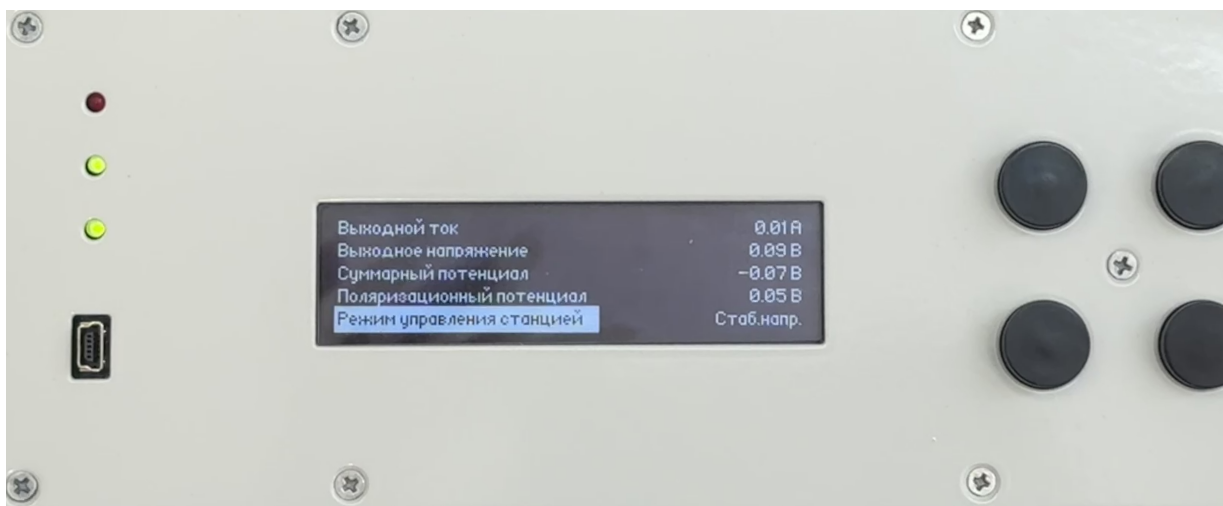


Рисунок 7 – Параметры первого устройства

Сравним полученные значения с данными, отображаемыми в приложении. Как видно из рис. 8 и 9, параметры полностью совпадают, что подтверждает корректность работы механизма опроса и отображения данных.

Время работы дисплея	30 сек
Адрес устройства-1	8
Номер интерфейса-1	4
Состояние-1	ОК
Период опроса-1	30 сек

Рисунок 8 – Настройки первого устройства

Температура внешняя-1	100 °C
ВДТ-1	52 °C
Ивых-1	0.01 A
Uвых-1	0.09 V
Uсп-1	-0.07 V
Uпп-1	0.05 V
РУ-1	стабилизация напряжения

Рисунок 9 – Параметры первого устройства

Далее изменим один из параметров непосредственно на модуле и проверим, отображается ли данное изменение в приложении в режиме реального времени.

Изначально значение параметра «Время работы дисплея» составляет 30 сек. Проверим это как в приложении, так и на модуле (см. рис. 10 и 11):

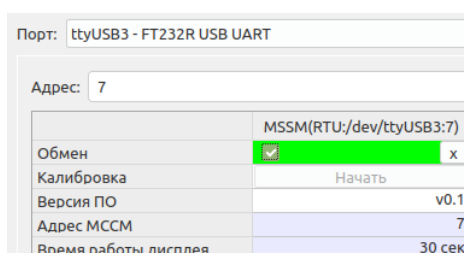


Рисунок 10 – «Время работы дисплея» в приложении

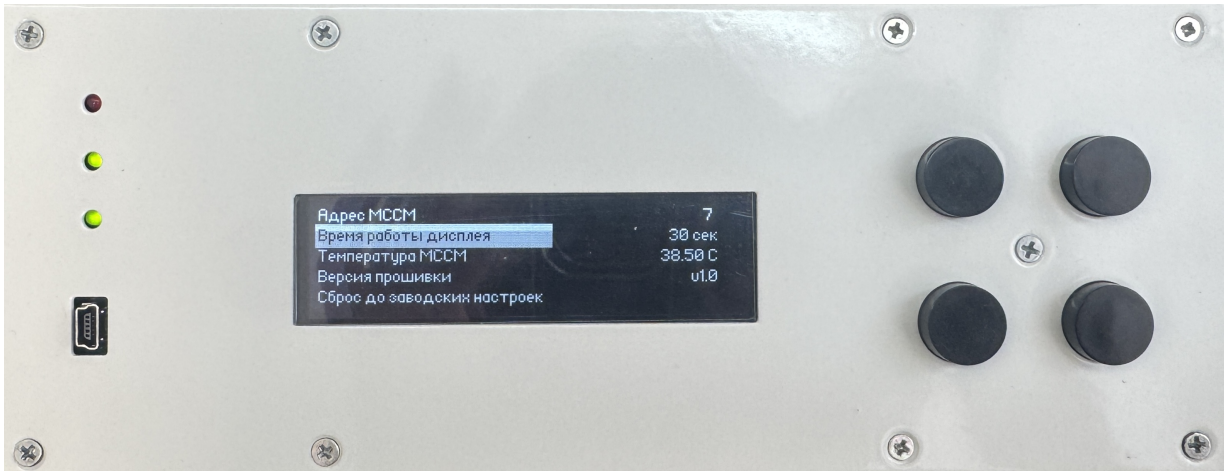


Рисунок 11 – «Время работы дисплея» на модуле

Изменим в приложении значение времени работы дисплея на 200 сек (см. рис. 12):

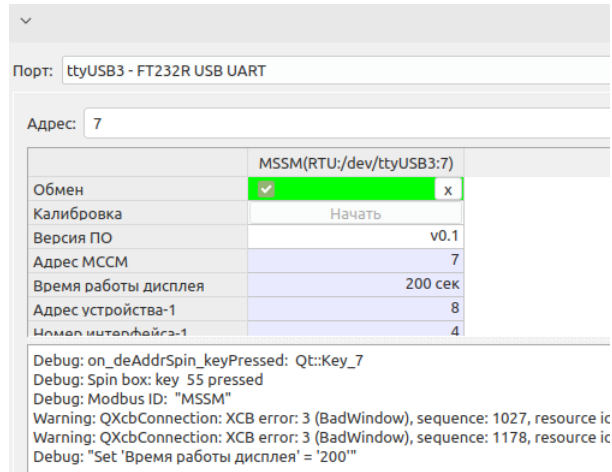


Рисунок 12 – Изменение времени работы дисплея в приложении

Проверим результат на модуле и убедимся, что значение было успешно изменено (см. рис. 13):



Рисунок 13 – Изменение времени работы дисплея на модуле

Изменения корректно применяются в обоих направлениях и для всех параметров, для которых разрешена операция записи.

Проведенное тестирование показало корректность работы всех ключевых компонентов разработанного программного обеспечения. Значения параметров, отображаемые на экране СКЗ, на дисплее МССМ и в окне Qt-приложения, полностью совпадают, что подтверждает правильность реализации Modbus-обмена, а также согласованность работы расширенной карты регистров, библиотеки управления дисплеем и прикладного приложения. Проверка операций записи показала, что изменения параметров, внесенные из приложения, корректно применяются на устройстве и сохраняются в энергонезависимой памяти.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках магистерской работы разработано внутреннее программное обеспечение модуля сопряжения системы мониторинга катодной защиты, охватывающее все ключевые аспекты программной архитектуры устройства: от низкоуровневого взаимодействия с аппаратной частью до реализации протокола Modbus RTU, пользовательского интерфейса и прикладного программного обеспечения для удаленной работы с модулем.

В ходе работы было выполнено следующее:

- реализован драйвер микросхемы CH9434M, обеспечивающий многоканальный обмен по UART через SPI в синхронном и асинхронном режимах;
- расширена карта регистров модуля за счет дополнительного диапазона holding-регистров для хранения конфигурационных параметров 32 подключенных устройств и глобальных настроек МССМ;
- реализованы функции телемеханики, позволяющие модулю одновременно выступать в роли мастера сети при опросе КИП и в роли ведомого устройства при взаимодействии с прикладным ПО;
- организован обмен по протоколу Modbus RTU с поддержкой до 32 устройств по пяти независимым линиям RS-485;
- создан пользовательский интерфейс на OLED-дисплее на основе библиотеки u8g2 с управлением через кнопки, включающий экраны статуса, настроек устройств, параметров и глобальных настроек модуля;
- разработано Qt-приложение для ПК, обеспечивающее удаленный мониторинг, конфигурирование устройств и изменение глобальных настроек МССМ через линию телемеханики.

Проведенное тестирование подтвердило корректность Modbus-обмена, согласованность значений параметров на станции катодной защиты, дисплее МССМ и в Qt-приложении, а также корректное применение и сохранение в энергонезависимой памяти изменений, внесенных из приложения.

Разработанное программное обеспечение соответствует предъявляемым требованиям и передано в опытно-промышленную эксплуатацию, что подтверждается «Актом о внедрении» и свидетельствует о его пригодности для применения в составе промышленной системы мониторинга катодной защиты.

Промежуточные результаты работы были представлены на XVI научно-практической конференции «Presenting Academic Achievements to the World —

2025», проходившей в Саратовском национальном исследовательском государственном университете имени Н. Г. Чернышевского.

Кроме того, результаты исследования представлены на XXVIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Россия молодая», организованной Кузбасским государственным техническим университетом имени Т. Ф. Горбачева. По теме магистерской диссертации подготовлена статья для публикации в сборнике материалов конференции, который подлежит регистрации в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ), что отражает как научную составляющую работы, так и ее ориентированность на решение прикладных задач промышленной автоматизации.