

Южно-Уральский Государственный Университет
(национальный исследовательский университет)
Филиал г.Миасс
Кафедра «Автоматика»

**СИСТЕМА ИСПОЛНЕНИЯ ДЛЯ
ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА**

выпускная квалификационная работа

ЮУрГУ-27.03.04.2023.203.23.05

студент группы МиЭт-523, Звездин В.В.

ЦЕЛИ

В РАМКАХ ПРОГРАММЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ
разработать

СВОБОДНО ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР (ПЛК)

АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ

схемотехника

*Для быстрого старта (макетирования, моделирования)
допускается использовать элементную базу,
имеющуюся в наличии или свободном доступе.*

ПРОГРАММНАЯ ЧАСТЬ

система
исполнения

управляющая
программа

программные средства

доступные

открытые

кроссплатформенные

соответствие стандарту МЭК-61131-3

уровни абстракции
(переносимость кода)

прикладной

ОСРВ

аппаратный

ЗАДАЧИ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

СВОБОДНО ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР (ПЛК)

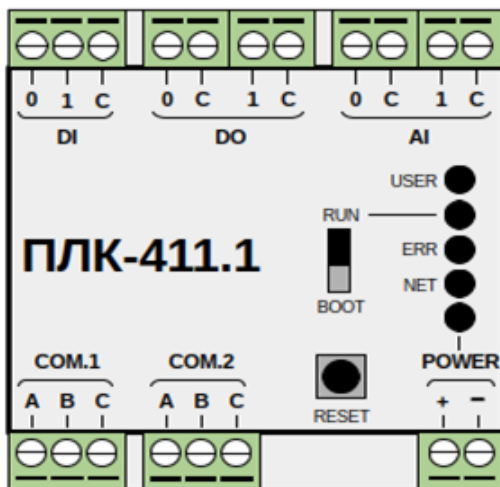
АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ

схемотехника

✓ СДЕЛАНО

отладочный
макет

демонстрационная
модель



ПРОГРАММНАЯ ЧАСТЬ

система
исполнения

?

выдано задание на
разработку

управляющая
программа

✓ ВЫБРАНО

среда
программирования



стандарт
МЭК-61131-3

открытость

доступность

кроссплатформенность

без лицензионных
ограничений

СТАНДАРТНЫЙ ПЛК: СТРУКТУРА

Программируемый логический контроллер (ПЛК) — микропроцессорное устройство со встроенным программным обеспечением, предназначенное для управления различным технологическим оборудованием.

Стандартный ПЛК включает в себя:

Микроконтроллер (ЦПУ)

- исполняет встроенное ПО
- управляет периферией

Память

- оперативная память (ОЗУ)
- память программ и хранимых данных (FLASH, EEPROM)

Каналы ввода

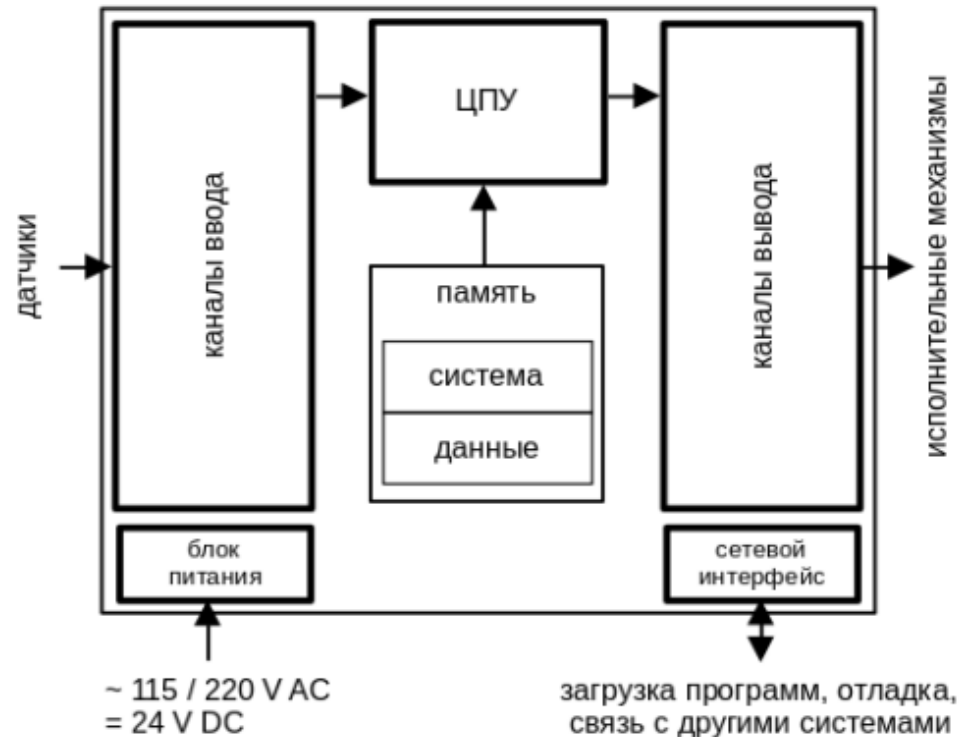
- аналоговые и дискретные входы (AI, DI)
- для связи с внешними датчиками

Каналы вывода

- аналоговые и дискретные выходы (AO, DO)
- для связи с внешними исполнительными механизмами

Сетевой интерфейс

- USB, RS-232, RS-485, ETHERNET
- для обмена данными с внешними системами



СТАНДАРТНЫЙ ПЛК: АЛГОРИТМ РАБОТЫ

«Родство» ПЛК с релейными схемами автоматики проявляется в виде жесткой цикличности работы его встроенных программ:

1. Выполняется инициализация системы

(например, при включении питания или перезагрузке устройства)

2. Считываются текущие состояния каналов ввода

3. Выполняется управляющая программа

на входе программы:

- обновленные состояния каналов ввода
- прочие данные от системы исполнения программа:
- обрабатывает входные данные
- выполняет логику управления
- формирует управляющие воздействия
- сохраняет результат работы в памяти

4. Управляющие воздействия передаются в каналы вывода

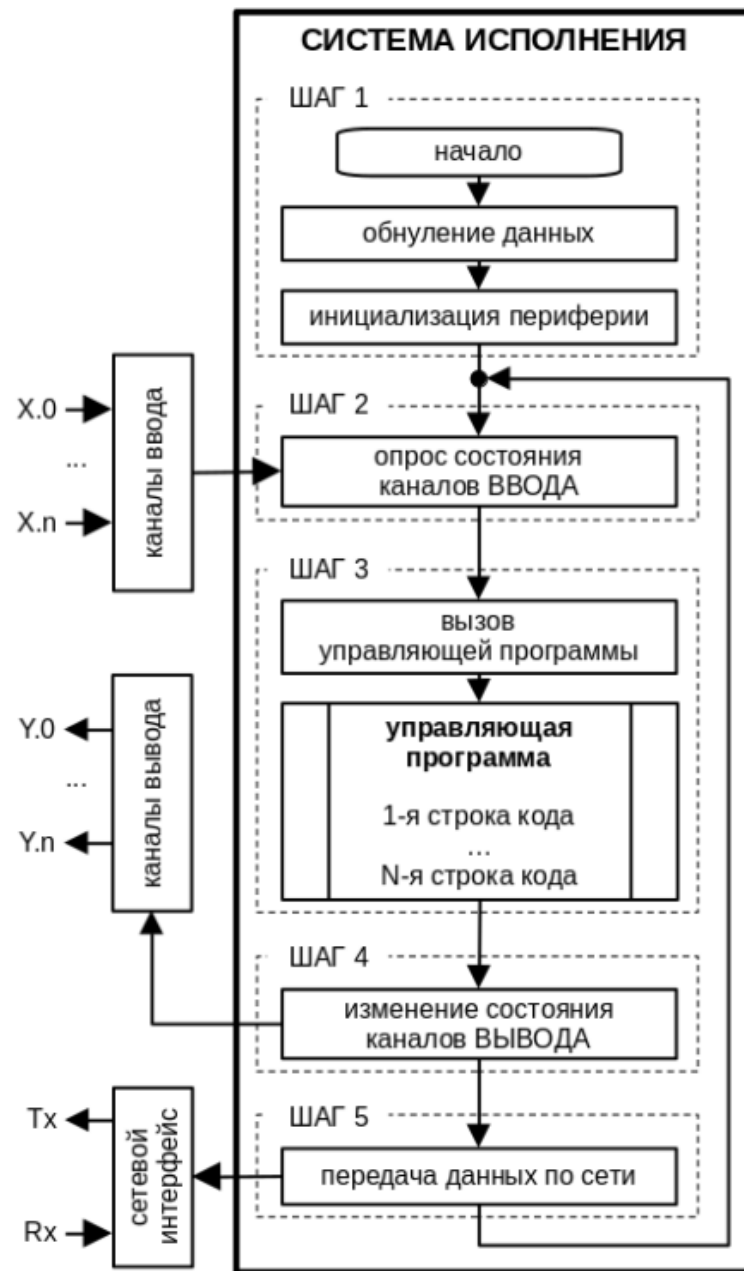
5. Выполняется передача данных через сетевой интерфейс

(например, в систему диспетчеризации)

Далее цикл повторяется (начиная с шага 2)

Все это выполняет СИСТЕМА ИСПОЛНЕНИЯ ПЛК

(иное название – целевая система)



СТАНДАРТНЫЙ ПЛК: ВСТРАИВАЕМОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

ПАМЯТЬ ПРОГРАММ ПЛК

СИСТЕМА ИСПОЛНЕНИЯ

- Поставляется с ПЛК
- **Разрабатывает производитель ПЛК**
- Языки программирования низкого и среднего уровня (Си)
- Базируется на ОСРВ или ОС общего назначения + микроядро ОСРВ
- **Реализует логику работы ПЛК**

*работа с
каналами В/В*

*работа с
сетевыми
интерфейсами*

*работа с
памятью*

*работа с
аппаратными
таймерами*

событийность

программные таймеры

многозадачность

исполнение и отладка управляющей программы

УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА

- Не поставляется с ПЛК
- **Разрабатывает пользователь ПЛК**
(инженер АСУ ТП, инженер-системотехник, инженер-технолог)
- Языки программирования высокого уровня (МЭК-61131-3)
- Используется специальная среда программирования
- **Реализует логику управления технологического процесса**

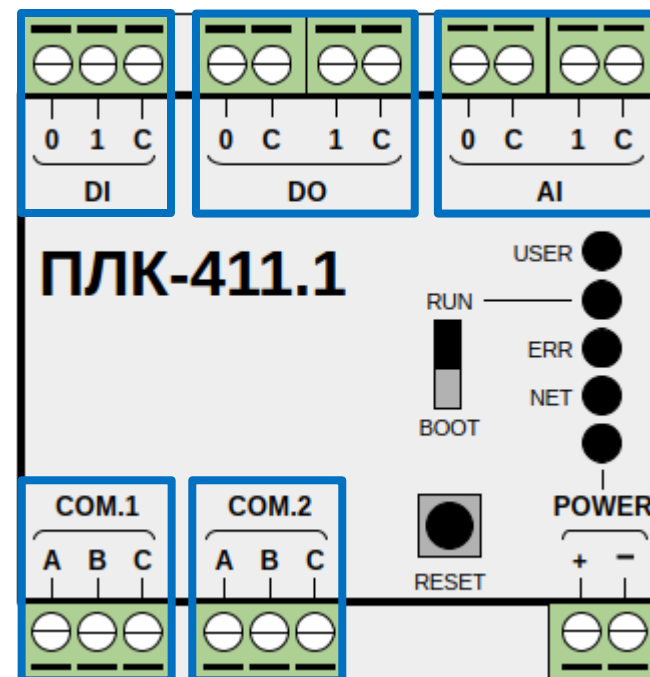
*обработка входных
данных*

логика управления

*формирование
управляющих
воздействий*

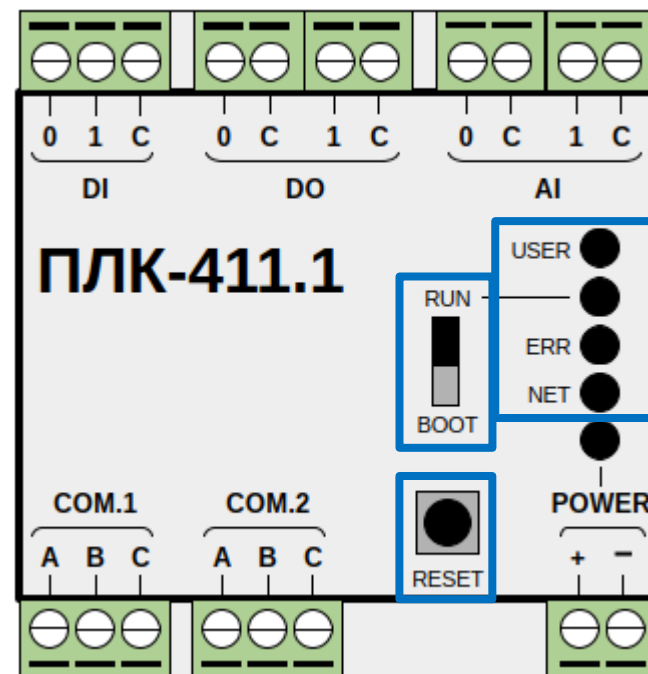
ПЛК-411: ТРЕБОВАНИЯ К ФУНКЦИОНАЛУ СИСТЕМЫ ИСПОЛНЕНИЯ

DI	Каналы дискретного ввода	2 шт.
режимы работы	1) нормальный вход 2) счетчик импульсов (<i>мин. период = 1 кГц = 1 мс</i>) 3) тахометр 4) инкрементальный энкодер 5) выключен	
DO	Каналы дискретного вывода	2 шт.
режимы работы	1) нормальный выход 2) ШИМ (<i>мин. период = 100 кГц = 0.01 мс</i>) 3) выключен 4) безопасное состояние (<i>по сторожевому таймеру</i>)	
AI	Каналы аналогового ввода	2 шт.
режимы работы	1) нормальный вход (<i>период опроса = 100 мс</i>) 2) выключен	
COM.1	Сервисный сетевой интерфейс	1 шт.
назначение	1) обновление встроенных программ 2) отладка управляющей программы	
COM.2	Прикладной сетевой интерфейс	1 шт.
назначение	1) передача данных по протоколу MODBUS RTU (<i>режим «Подчиненный»</i>)	



ПЛК-411: ТРЕБОВАНИЯ К ФУНКЦИОНАЛУ СИСТЕМЫ ИСПОЛНЕНИЯ

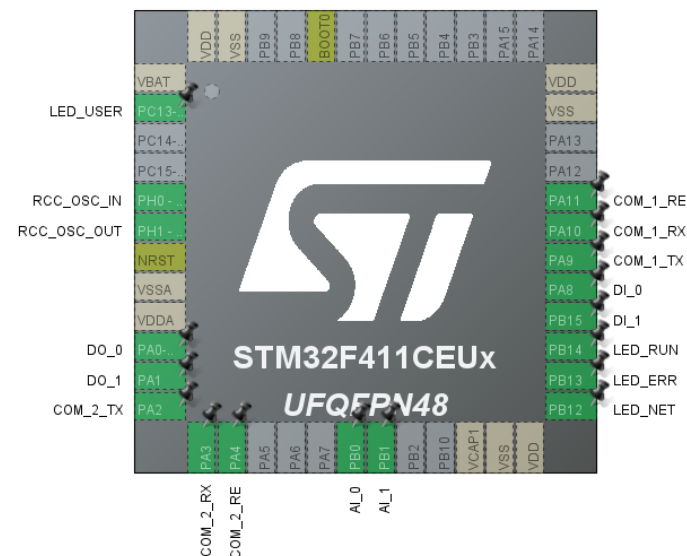
RUN/BOOT	Переключатель режима работы ПЛК	1 шт.
режимы	RUN – работа BOOT – обновление встроенных программ	
RESET	Кнопка перезагрузки ПЛК	1 шт.
USER	Индикация пользовательская	1 шт.
описание	Вкл/Выкл из управляющей программы или по сети MODBUS	
ERR	Индикация ошибок системы	1 шт.
описание	Не горит - нет ошибок Постоянно горит - есть ошибки Мигает - безопасное состояние выходов	
NET	Индикация передачи данных по сети	1 шт.
описание	Не горит – нет передачи данных Мигает – есть передача данных <i>(один индикатор для интерфейсов COM.1, COM.2)</i>	



ПЛК-411: ОПИСАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Для быстрого старта схемотехниками был выбран имеющийся в наличии микроконтроллер - STM32F411CE

Ядро	ARM Cortex-M4F <i>разрядность: 32 бит</i> <i>аппаратная поддержка чисел с плавающей точкой</i>
Тактовая частота	84 МГц [макс. 100 МГц] (от внешнего резонатора на 25 МГц)
ОЗУ	SRAM, 128 кБайт
Память программ	FLASH, 512 кБайт
Порты В/В	36 шт.
Контроллер прямого доступа к памяти	2 шт. (на 16 каналов)
АЦП	1 шт. (на 16 каналов, разрядность = 12 бит)
Сетевые интерфейсы	3 шт. UART 1 шт. JTAG / SWD
Таймеры	6 шт. 16-битных (+1 системный) 2 шт. 32-битных
Сторожевой таймер	2 шт.
Встроенный загрузчик	есть (обновление встроенных программ через UART1)



ПЛК-411: СФОРМИРОВАНА КАРТА РЕГИСТРОВ ДАННЫХ

Регистры данных

- Сгруппированы по таблицам
- Доступ на чтение/запись:
 - через сетевой интерфейс COM.2 (протокол MODBUS RTU)
 - из управляющей программы
 - через адресуемые переменные
 - через специальные системные функции

DI	Каналы дискретного ввода
регистры данных	<ul style="list-style-type: none">• настройки и команды• значения

DO	Каналы дискретного вывода
регистры данных	<ul style="list-style-type: none">• настройки и команды• значения

AI	Каналы аналогового ввода
регистры данных	<ul style="list-style-type: none">• настройки и команды• значения

Системная информация, настройки и команды	
регистры данных	<ul style="list-style-type: none">• информация о ПЛК• управление светодиодом USER• настройки таймеров безопасности

Пользовательские данные	
регистры данных	<ul style="list-style-type: none">• битовых значения (32 регистра)• числовые значения (64 регистра)

Карта адресов регистров данных приведена в пояснительной записке (ПРИЛОЖЕНИЕ А)

ПЛК-411: РАЗРАБОТАНА ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА

Некоторые особенности работы

DI	Каналы дискретного ввода
опрос	аппаратный <ul style="list-style-type: none">• контроллер внешних прерываний
DO	Каналы дискретного вывода
управление	аппаратное <ul style="list-style-type: none">• таймеры (TIM2, TIM5)
AI	Каналы аналогового ввода
опрос	аппаратный <ul style="list-style-type: none">• АЦП (ADC1)• контроллер прямого доступа к памяти (DMA2)

COM.1	Сервисный интерфейс
передача данных	аппаратная <ul style="list-style-type: none">• приемо-передатчик (UART1)• контроллер прямого доступа к памяти (DMA2)
COM.2	MODBUS RTU
передача данных	аппаратная <ul style="list-style-type: none">• приемо-передатчик (UART2)• контроллер прямого доступа к памяти (DMA1)

Функциональная схема приведена в пояснительной записке (ПРИЛОЖЕНИЕ Б)

ПЛК-411: РАЗРАБОТАНА СХЕМА МНОГОЗАДАЧНОСТИ СИСТЕМЫ ИСПОЛНЕНИЯ

Состав системы исполнения

- Операционная система реального времени (ОСРВ)
- Функциональные задачи и обработчики прерываний

ОСРВ

- Гарантирует время исполнения задач и обработчиков прерываний
(минимальные задержки исполнения высокоприоритетных задач)
- Гарантирует предсказуемое поведение системы при различных сценариях нагрузки микроконтроллера
(жесткое реальное время)
- Гарантирует параллельное исполнение задач
(многозадачность)
- Предоставляет готовый планировщик
- Предоставляет готовые средства для работы с общими ресурсами
(очереди, мьютексы, семафоры, критические секции)
- Предоставляет программные таймеры

Функциональные задачи

- Обеспечивают работу каналов В/В в заданных режимах
- Обеспечивают передачу данных через сетевые интерфейсы по заданному протоколу
- Исполняют управляющие программы

Планировщик

(тактируется от системного таймера микроконтроллера: 1 такт = 1 мсек)

Схема многозадачности приведена в пояснительной записке (ПРИЛОЖЕНИЕ В)

ПЛК-411: ВЫБРАНЫ ИНСТРУМЕНТЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ИСПОЛНЕНИЯ

Среда программирования и конфигурирования

ECLIPSE
<ul style="list-style-type: none">• редактор кода• компилятор, компоновщик• отладчик
CUBE-MX STM32
<ul style="list-style-type: none">• графический интерфейс для настройки периферии микроконтроллеров STM32• генератор программного Си-кода (шаблонов) на основе выполненных настроек

Программный загрузчик

STM32FLASH
<ul style="list-style-type: none">• загрузка исполняемого кода в память микроконтроллеров STM32

Библиотека программных функций

CMSIS
Cortex Microcontroller Software Interface Standard <ul style="list-style-type: none">• функции для работы с ядром ARM Cortex-M• низкий уровень абстракции (аппаратнозависимый код)
HAL STM32F4
Hardware Abstraction Layer <ul style="list-style-type: none">• функции для работы с периферией микроконтроллеров серии STM32F4• высокий уровень абстракции (аппаратнозависимый и аппаратнонезависимый код)

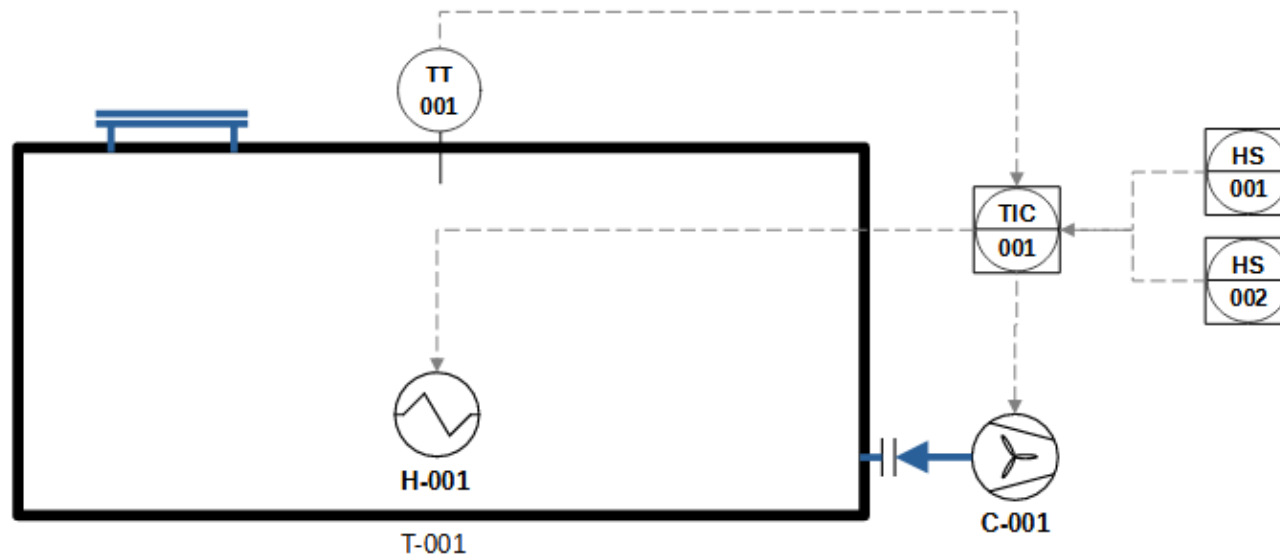
ОСРВ

FreeRTOS
<ul style="list-style-type: none">• минимальные системные требования• кроссплатформенная (поддержка многих процессорных архитектур)

Все программное обеспечение: открытое, доступное, бесплатное, хорошо документировано, имеются примеры.

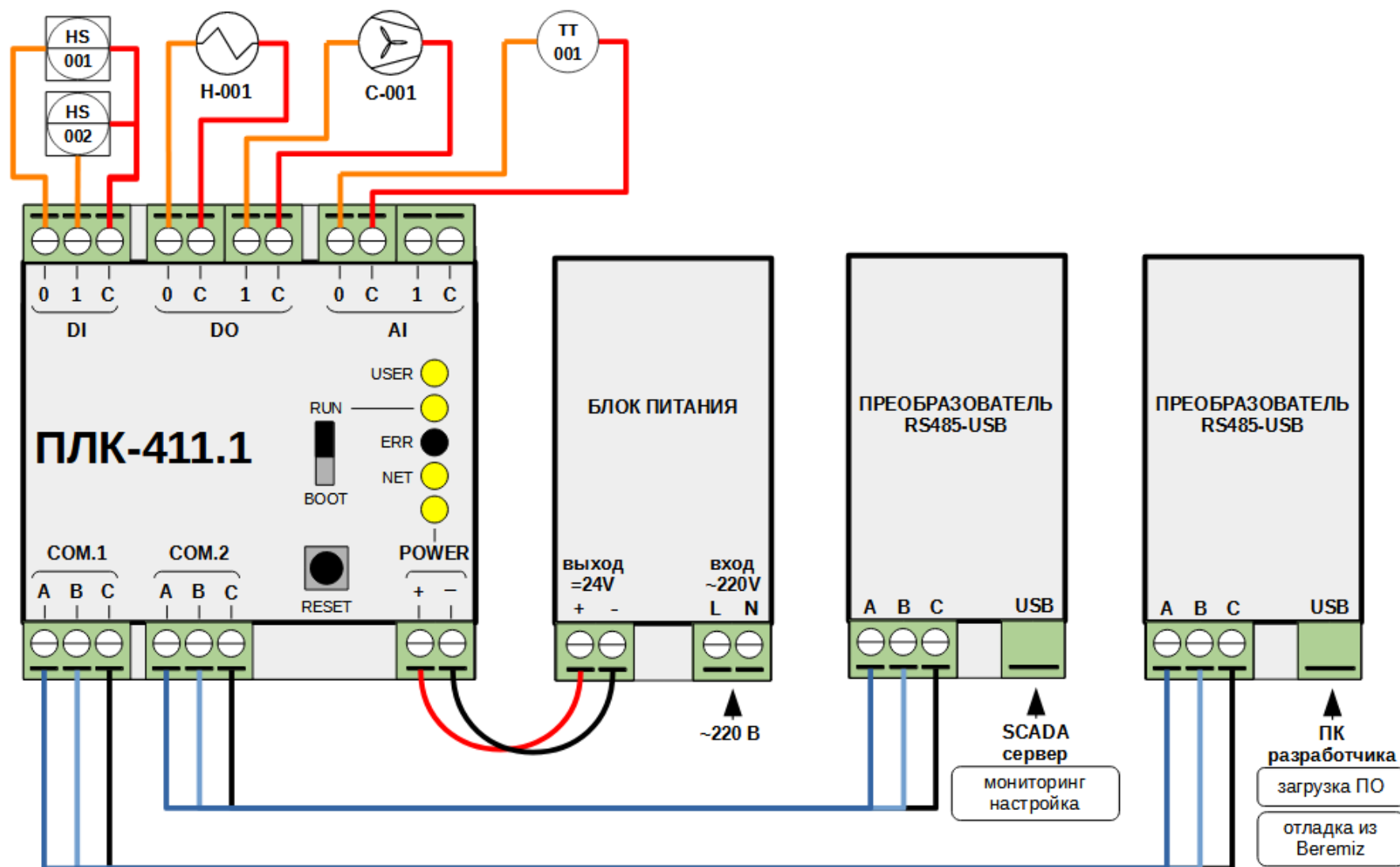
ОТЛАДОЧНЫЙ СТЕНД: ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА

Проверка работы ПЛК-411 выполнялась на отладочном стенде «Камера термообработки».



T-001	Камера термообработки
H-001	Нагревательный элемент
C-001	Охлаждающий элемент
TT-001	Датчик температуры (аналоговый)
TIC-001	Терморегулятор (ПЛК-411)
HS-001	Переключатель «Пуск/Стоп терморегулятора»
HS-002	Переключатель «Разрешение продувки вначале и конце процесса»

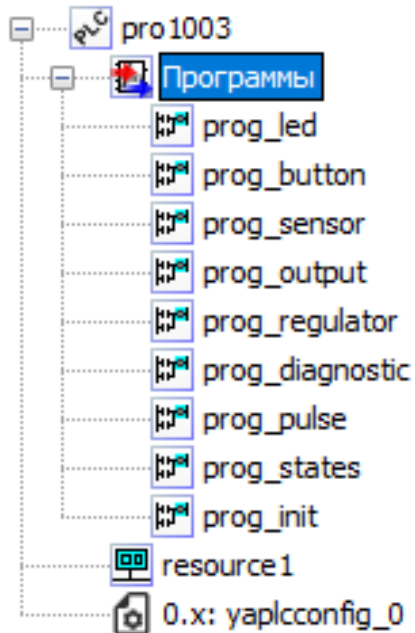
ОТЛАДОЧНЫЙ СТЕНД: СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЙ



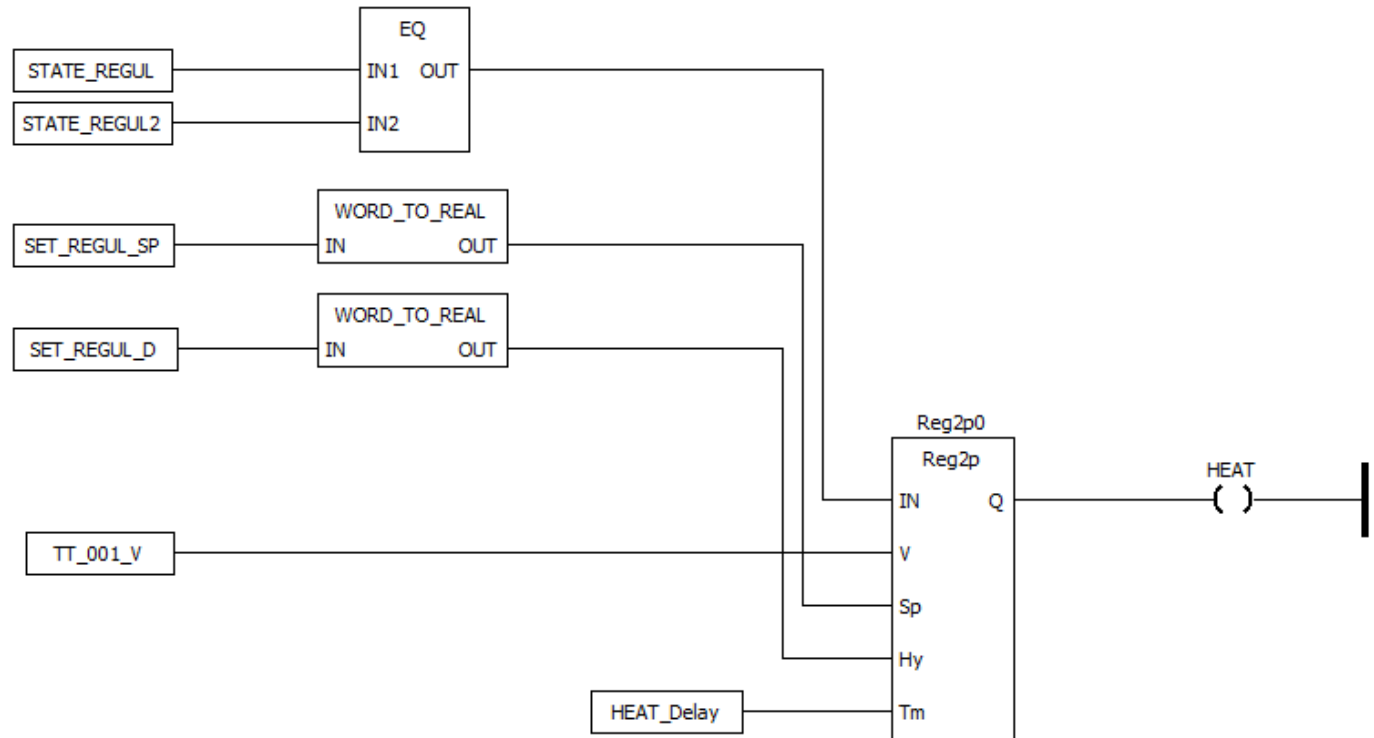
ОТЛАДОЧНЫЙ СТЕНД: РАЗРАБОТАНА УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА

1. В среде разработки BEREMIZ была запрограммирована управляющая программа для выполнения логики работы терморегулятора.

Список программ

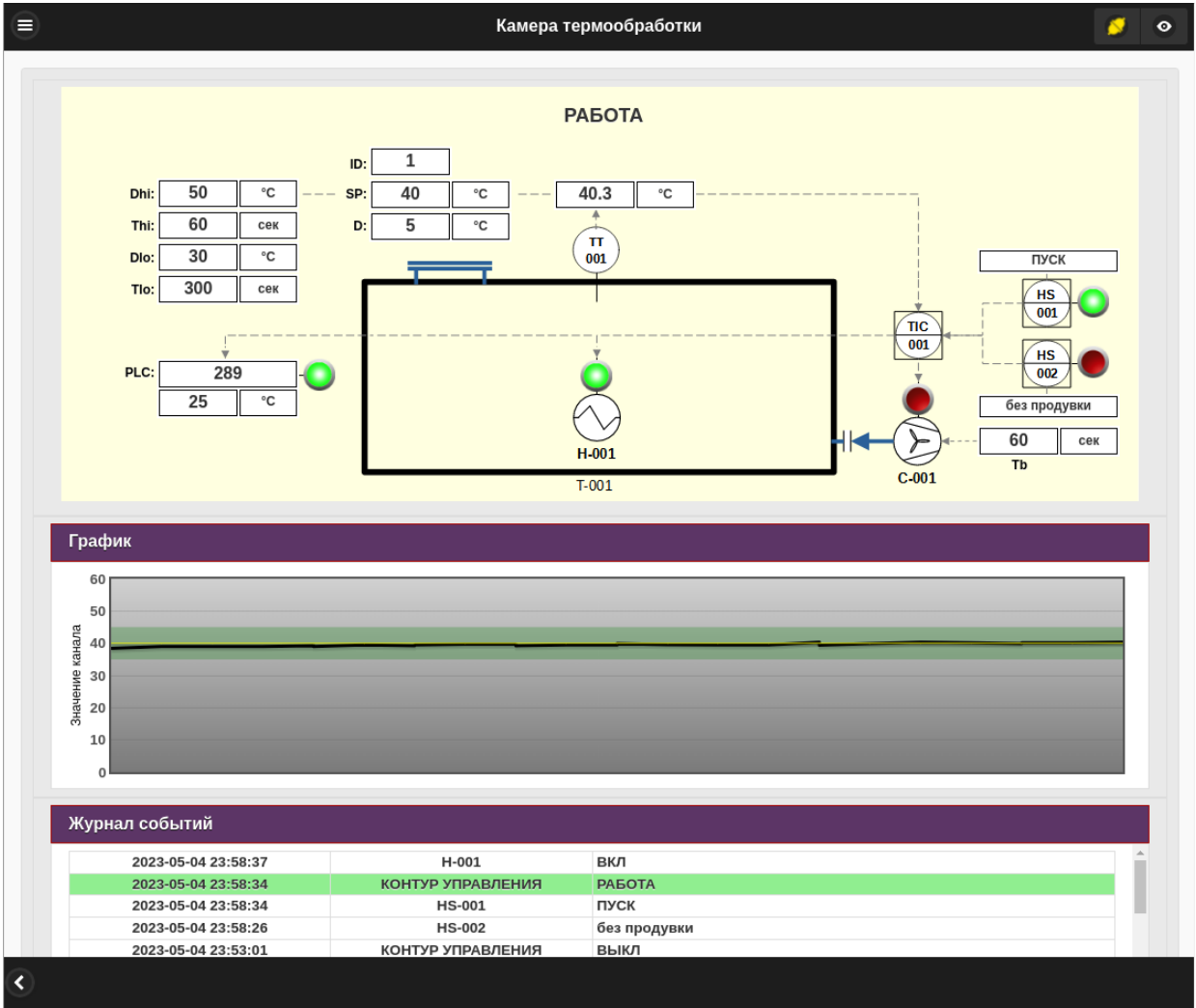


Фрагмент кода двухпозиционного регулятора



ОТЛАДОЧНЫЙ СТЕНД: РЕЗУЛЬТАТ РАБОТЫ

- 2. Разработанная управляющая программа была загружена в ПЛК-411.
- 3. Результат работы наблюдается на экране системы диспетчеризации (SCADA, web-интерфейс).

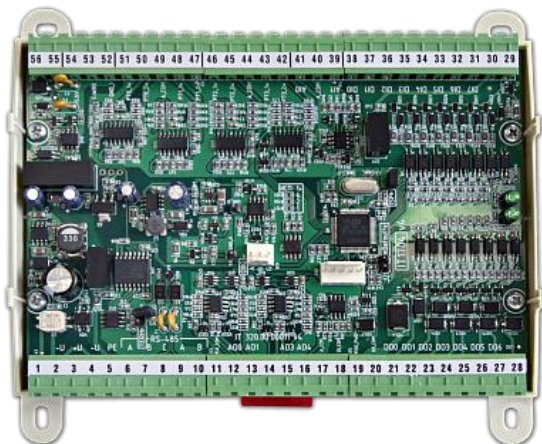


ЗАКЛЮЧЕНИЕ

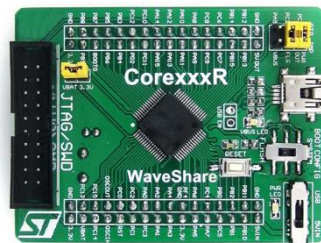


ПРИМЕРЫ ВНЕДРЕНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ СИСТЕМЫ ИСПОЛНЕНИЯ

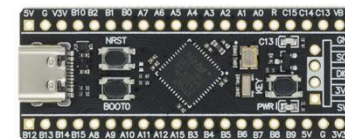
Для проверки аппаратной переносимости, разработанная система исполнения была портирована на несколько сторонних платформ с использованием различных низкоуровневых программных библиотек.



ПЛМ-2004, ПЛК-361
(ARM Cortex-M3, -M4F)
ООО «Информационные
технологии» (г.Миасс)



WaveShare Core205R
(ARM Cortex-M3)
частный заказ для обучения
ИТР сектора АСУ ТП



STM32F411 BlackPill
(ARM Cortex-M4F)
частный заказ для обучения
ИТР сектора АСУ ТП

ДОКЛАД ЗАВЕРШЕН

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ