

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-1-40-47>

УДК 658.012.011.56:658.512

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЯМИ И ПОДСИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКОГО НАТРИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА EAGLE

**С.А. Ильиных, А.В. Сысалетин, В.А. Ермаков, А.Б. Азбергенова, Р.Ж. Наурызбаев, Р.С. Исламов**

*Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

*E-mail для контактов: ilinykh@nnc.kz*

С начала 2022 года и по настоящее время в филиале «Институт атомной энергии» РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» проводятся работы по модернизации подсистем управления нагревателями и контроля параметров жидкого натрия информационно-управляющей системы экспериментального стенда «EAGLE». В рамках этой работы было смонтировано приобретенное оборудование, произведена первичная настройка модулей и корзин расширения с помощью специализированного программного обеспечения Modbus Utility идущего в комплекте поставки, и разработано программное обеспечение.

**Ключевые слова:** информационно-управляющая система; система управления нагревателями; система специзмерений; модуль; корзина расширения; автоматизированное рабочее место.

### ВВЕДЕНИЕ

Объектом исследования в данной работе является ИУС экспериментального стенда EAGLE в части подсистемы управления нагревателями и подсистемы контроля параметров жидкого натрия (подсистема специзмерений).

Учитывая продолжительное время эксплуатации текущего оборудования второго уровня ИУС, все оборудование к настоящему времени многократно выработало свой ресурс и перешло в предельное состояние, то есть состояние, при котором его ремонт или замена на аналогичное является нецелесообразным [1]. В таблице 1 рассмотрены показатели надежности для оборудования устаревших подсистем.

Таблица 1. Показатели надежности устаревшей подсистемы

Компонент системы	Время восстановления (тв), ч	Наработка компонента на отказ (tср), ч	Средний срок службы, лет
Контроллер	4	100000	10
Модуль аналогового ввода PCI 1713	2	64770	10
Модуль аналогового ввода UNIO96-5	2	100000	10

В таблице 2 представлены показатели надежности для оборудования модернизированных подсистем. Как можно заметить, все оборудование обладает большим временем наработки компонента на отказ, то есть временем работы компонента после восстановления до следующего отказа. Также оно обладает значительно меньшим временем восстановления. Время замены одного модуля не превышает 5 минут, при этом не нужно вносить какие-либо изменения в программу. Все оборудование доступно, его можно приобрести на свободном рынке в любой момент. Следует отметить, что в комплекте имеется запас модулей, шасси и контроллеров.

Таблица 2. Показатели надежности новых подсистем

Компонент системы	Время восстановления (тв), мин	Наработка компонента на отказ (tср), ч	Средний срок службы, лет
Шасси ET-87P8-MCTP	15	200000	10
Контроллер ICP DAS WP-8841	15	200000	10
Модуль аналогового ввода I-87019RW	5	200000	10
Модуль аналогового вывода I-87024CR	5	200000	10
Высокочастотный модуль аналогового ввода I-8017HCW	5	200000	10

Также необходимо сравнить такой показатель, как разрядность преобразователей, который напрямую влияет на точность преобразования.

Разрядности для старого и нового оборудования приведены ниже:

- модуль аналогового ввода PCI 1713 – 12 бит;
- модуль аналогового вывода Adam 4021 – 12 бит;
- модуль аналогового ввода I-87019RW – 14 бит;
- модуль аналогового вывода I-87024CR – 16 бит;

Из данных показателей можно сделать вывод о том, что точность преобразования для аналогового вывода выше на проектируемой и внедряемой системе в 4 раза (при выборе одинакового предела на обоих модулях в 0–10 В, разрешение на старом модуле будет 2,44 мВ, а на новом модуле 0,61 мВ). Точность преобразования для аналогового ввода выше на новой системе в 16 раз (при выборе одинакового предела на обоих модулях в 0–10 В, разрешение на старом модуле будет 2,44 мВ, а на новом модуле 0,15 мВ).

### РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В качестве средства программирования и разработки графических экранов АРМ операторов выбран

программный продукт Trace Mode 6. Инструментальная система Trace Mode 6 состоит из интегрированной среды разработки и отладочного монитора реального времени – профайлера [2].

Основой программного обеспечения разработанного в данной SCADA системе являются каналы. Канал – это базовое понятие Trace Mode 6. Работа среды исполнения (MPB) заключается в анализе каналов и выполнении по результатам анализа определенных действий в режиме реального времени (запись данных с внешних устройств, отправка данных на внешние устройства, запись данных в архив, вызов графического экрана на дисплей и т.п.). В каналах осуществляется преобразование данных. Совокупность всех каналов называется база каналов, она составляет математическую основу программного обеспечения всех узлов проекта.

В программу добавлены и настроены каналы для 18 нагревателей (рисунок 1). Созданы каналы для индикации работы нагревателей на экране оператора и каналы управления.

Помимо созданных каналов, также необходимо добавить в программу специфические каналы, выполняющие функцию отправки/приема данных с модулей ввода/вывода сигналов.

В данном случае отправка данных на каналы модулей вывода аналоговых сигналов происходит по протоколу Modbus, поэтому были созданы дополнительные каналы выполняющие функции 06 Modbus (Write AI, Write Output Registers) [3].

Modbus – это открытый коммуникационный протокол, основанный на архитектуре «ведущий – ведомый» (англ. master-slave; в стандарте Modbus ис-

пользуются термины client-server). Широко применяется в промышленности для организации связи между электронными устройствами. Может использоваться для передачи данных через последовательные линии связи RS-485, RS-422, RS-232 и сети TCP/IP (Modbus TCP). Основные достоинства стандарта – открытость и массовость. В настоящее время промышленностью выпускается очень много типов и моделей датчиков, исполнительных устройств, модулей обработки и нормализации сигналов и др. Практически все промышленные системы контроля и управления имеют программные драйверы для работы с Modbus-сетями.

Все каналы разбиты по группам (рисунок 2).

Для удобства нахождения расположения каналов на модуле, при проведении пуско-наладочных работ, в программе они были разбиты на группы Module «номер модуля», соответствующие их физическому расположению (подключению).

После добавления в проект всех необходимых каналов можно приступить к разработке логики программного обеспечения. Программа управления нагревателями, разработанная на языке FBD. FBD (англ. Function Block Diagram) – графический язык программирования стандарта МЭК 61131-3. Предназначен для программирования программируемых логических контроллеров (ПЛК). Программа образуется из списка цепей, выполняемых последовательно сверху вниз. Цепи могут иметь метки. Инструкция перехода на метку позволяет изменять последовательность выполнения цепей для программирования условий и циклов.

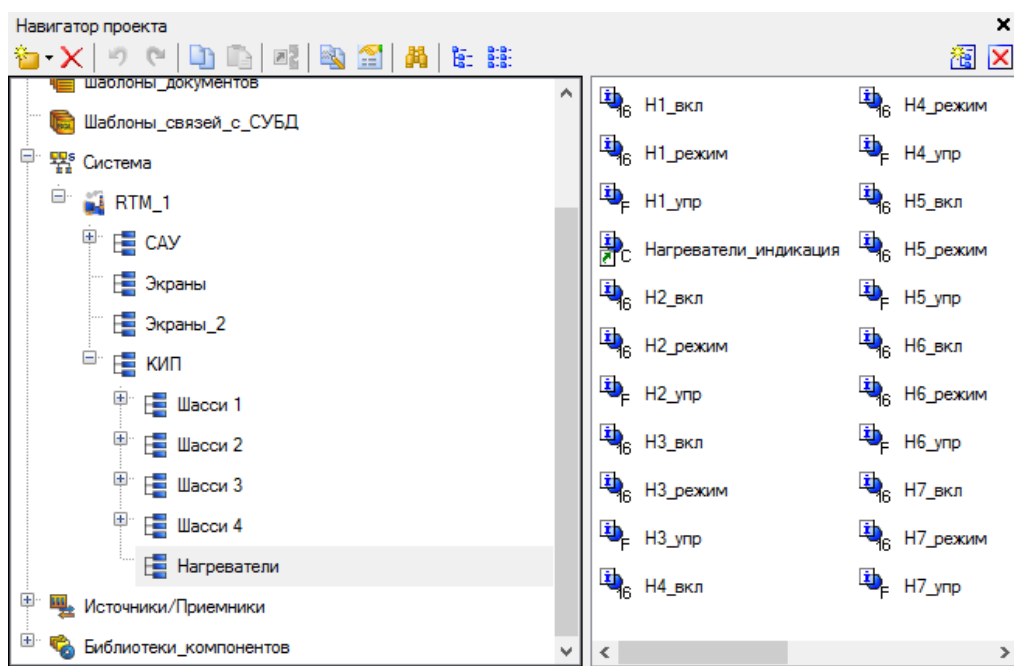


Рисунок 1. Созданные в ПО каналы

Каждая отдельная цепь представляет собой выражение, составленное графически из отдельных элементов. К выходу блока подключается следующий блок, образуя цепь. Внутри цепи блоки выполняются строго в порядке их соединения. Результат вычисле-

ния цепи записывается во внутреннюю переменную либо подается на выход ПЛК.

Часть программы управления нагревателями представлена на рисунке 3.

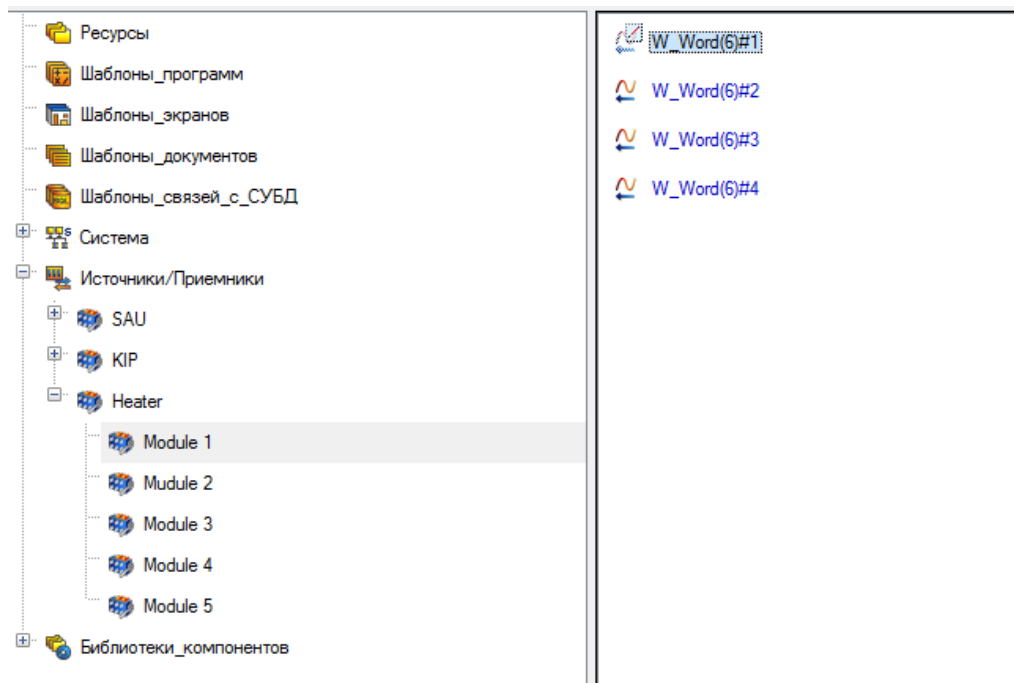


Рисунок 2. Каналы Modbus

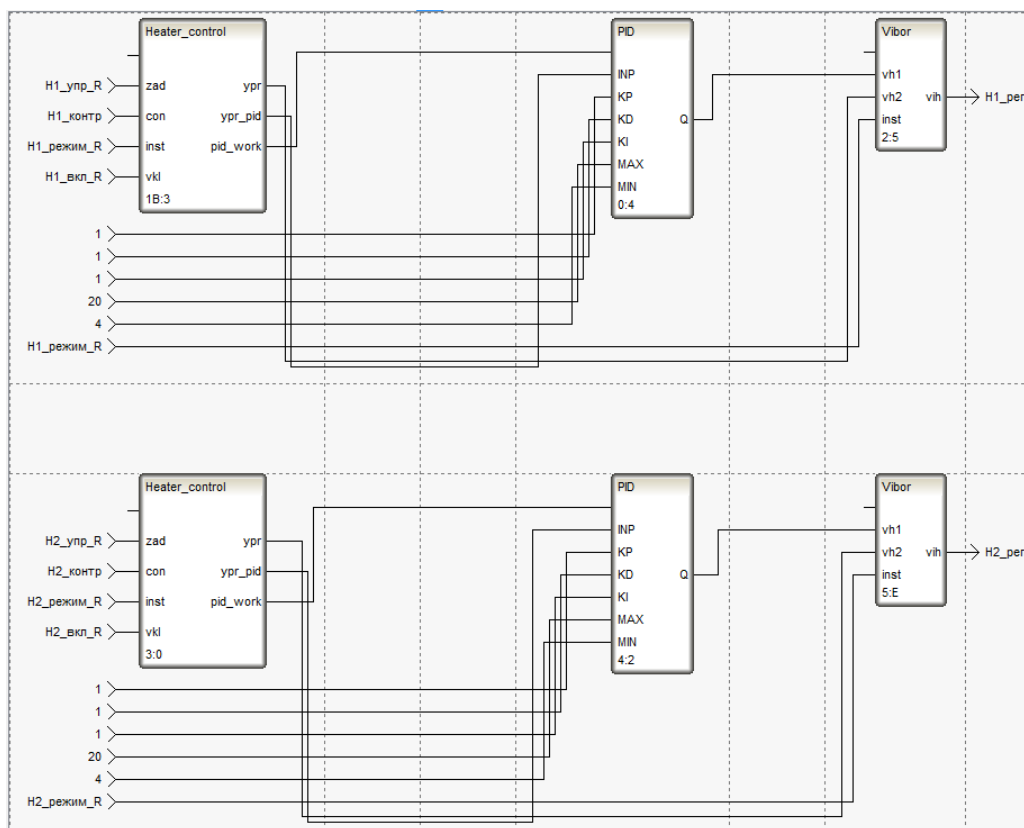


Рисунок 3. Программа управления нагревателями

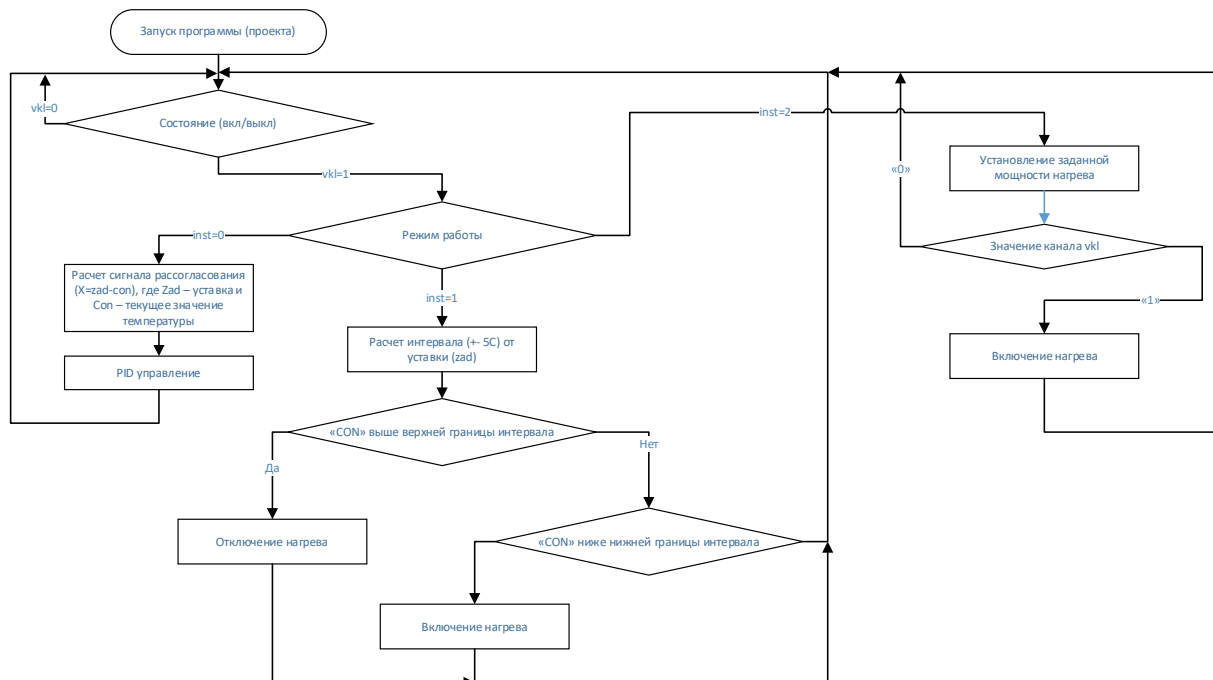


Рисунок 4. Логика программы управления нагревателями

В программе предусмотрена возможность управления нагревателями тремя разными способами:

- 1) Первый – в автоматическом режиме по закону ПИД-регулирования;
- 2) Второй – в автоматическом режиме используя двухпозиционное (релейное) управление;
- 3) Третий – в ручном режиме, имея возможность выставления любого уровня мощности от 0 до 100 процентов. Этот режим будет необходим для дальнейшего снятия кривой разгона и определения параметров передаточной функции объекта управления (это необходимо для расчета параметров настройки ПИД-регулятора).

Выбор режима управления обеспечивается с помощью дополнительно созданных функциональных блоков Heater\_control и Vibor. Данные блоки были разработаны на языке ST.

Блок-схема, описывающая логику работы программы, представлена на рисунке 4. Данная блок-схема описывает работу сразу всей цепочки из блоков Heater\_control, PID и Vibor.

При первом и втором способе управления система принимает вид замкнутой (с обратной связью), представленной на рисунке 5, где объект управления (нагреваемый участок) описывается как аperiodическое звено первого порядка с передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{k}{Ts + 1}$$

где:  $k$  – коэффициент усиления звена,  $T$  – постоянная времени, характеризующая инерционность звена.

ПИД-регулятор имеет передаточную функцию:

$$R(s) = K + \frac{1}{T_i s} + T_d s$$

где:  $K$  – пропорциональный коэффициент,  $T_i$  – постоянная интегрирования,  $T_d$  – постоянная дифференцирования.

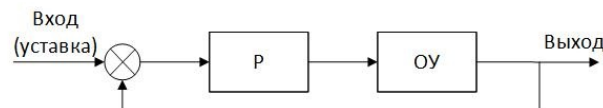


Рисунок 5. Замкнутая система (с обратной связью)

Один из способов расчета параметров регулятор — это определение параметров графическим методом по кривой в позиционном режиме регулирования. Далее представлен расчет для первой зоны нагрева (с контрольной точкой Н.Т.44). Для начала включается нагрев в позиционном (релейном) режиме регулирования.

В установившемся режиме колебаний температуры измеряется период  $\tau$  колебаний температуры (время между соседними максимальными или минимальными значениями температуры). Измеряется также полный размах колебаний температуры  $\Delta T = T_{max} - T_{min}$  (разность максимального и минимального значений температуры). Далее по таблице 3 определяются значения коэффициентов  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$ .

Таблица 3. Параметры настройки регулятора

Тип регулирования	Пропорциональный коэффициент	Постоянная интегрирования	Постоянная дифференцирования
П	$1,4 \cdot \Delta T$	–	–
П + И	$1,6 \cdot \Delta T$	$2,4 \cdot \tau$	–
П + И + Д	$1,2 \cdot \Delta T$	$1,5 \cdot \tau$	$0,2 \cdot \tau$

В итоге получаем параметры настройки регулятора для первой зоны  $K_p - 9,6$ ,  $T_i - 630$ ,  $T_d - 84$ .

По аналогии с программой для управления нагревателями, на языке FBD была разработана программа для контроля параметров жидкого натрия и управления током на датчики пустот (кипения) (рисунок 7).

Для данной программы были созданы дополнительные функциональные блоки PGN\_ypr и PGN\_con.

Блок PGN\_con реализует функции пересчета входных электрических величин в физические для любого из возможных датчиков подсистемы ПЖН (рисунок 8).

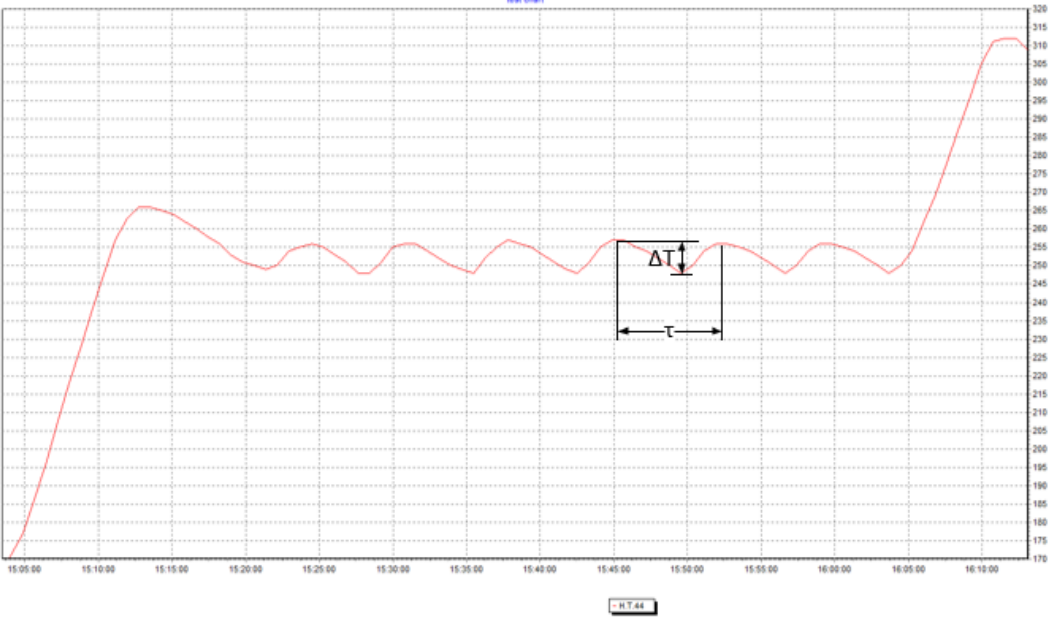


Рисунок 6. Установившиеся колебания температуры

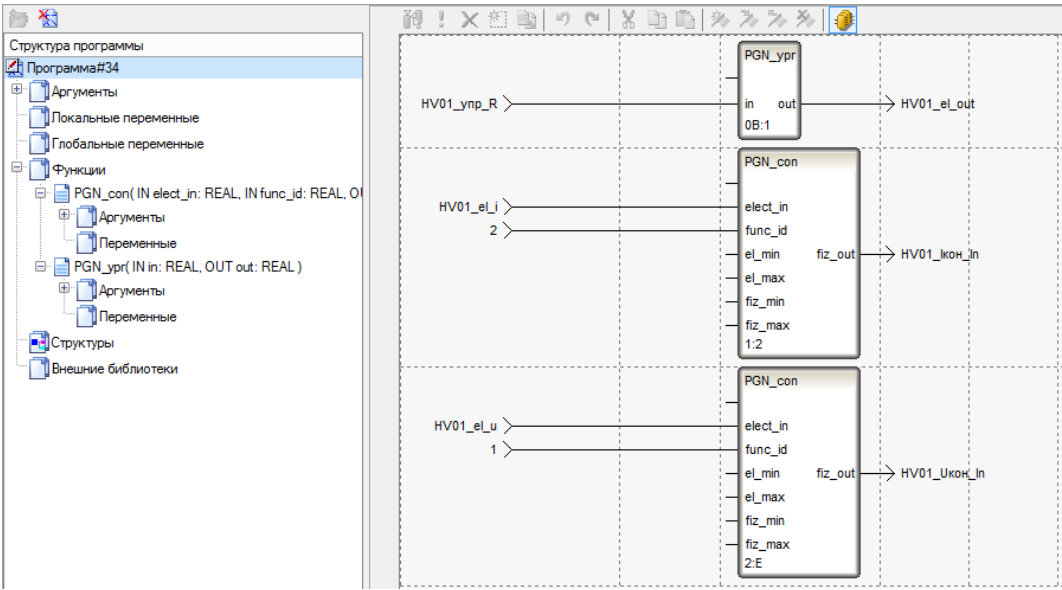


Рисунок 7. Часть программы ПЖН (подсистемы контроля параметров жидкого натрия)

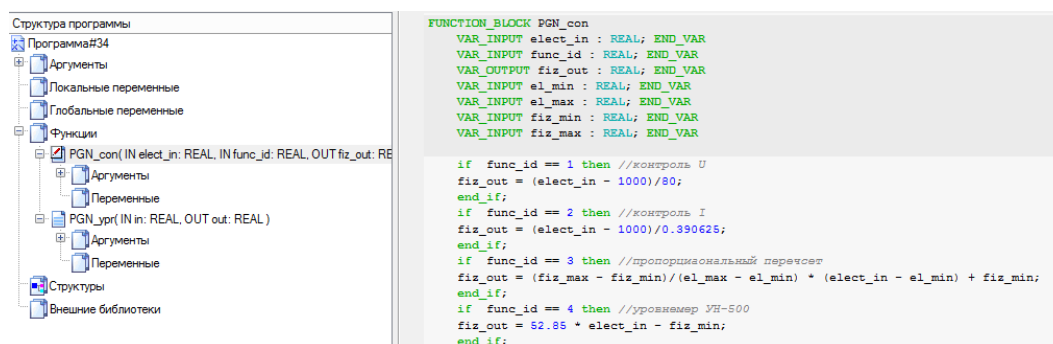


Рисунок 8. Блок PGN\_con

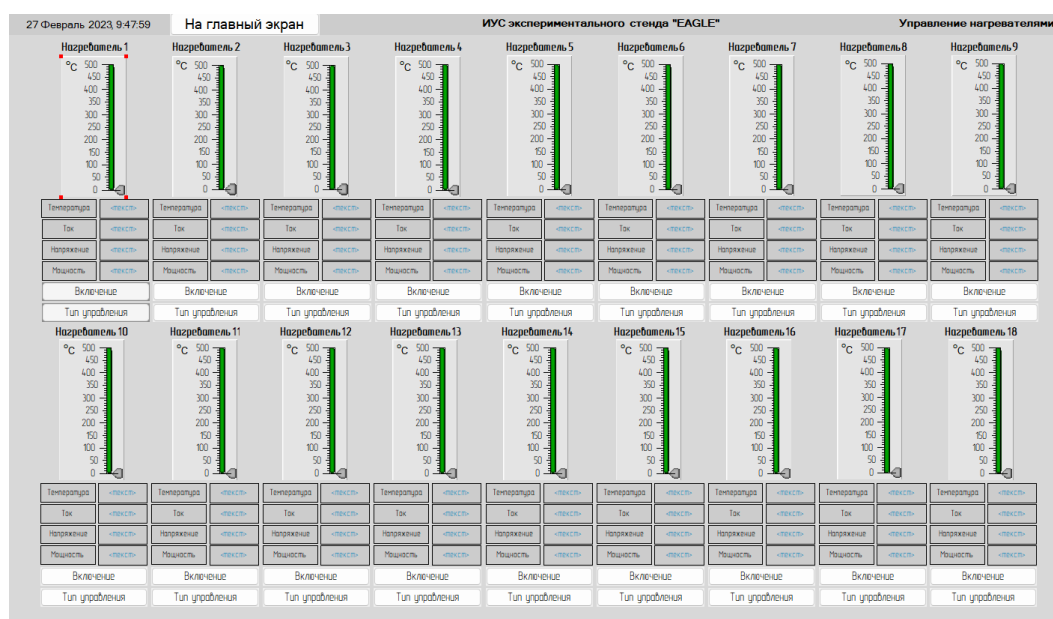


Рисунок 9. Экран управления нагревателями

Выбор функции пересчета осуществляется с помощью параметра `func_id`:

- при 1 – датчик пустот (напряжение);
- при 2 – датчик пустот (ток);
- при 3 – пропорциональный пересчет;
- при 4 – уровнемер УН-500;
- при 5 – уровнемер УН-800;
- при 6 – датчик импульсного давления (ДИД);
- при 7 – датчик статического давления (ДСД);
- при 8 – датчик давления Gefran;
- при 9 – магнитный расходомер РМ-100-01.

Блок PGN\_ург реализует функцию «2» блока PGN\_con.

Следующий этап разработки программы, это разработка графических экранов операторов. В рамках настоящей работы разработан экран для управления нагревателями (рисунок 9). Экран состоит из уже предусмотренных в инструментальной среде графических элементов [4].

На рисунке 10 представлен экран подсистемы контроля параметров жидкого натрия. В верхней ча-

сти отображается текущие дата и время, название мнемосхемы и информационно-управляющей системы, а также расположена кнопка для перехода на главный экран. Данные с датчиков пустот и 5-зонного уровнемера дополнительно, для лучшей наглядности, отображаются на графиках.

Для датчиков пустот реализовано управление током. Управление осуществляется по нажатию на текстовый элемент со значением тока (во всплывающем окне) либо по нажатию на стрелки, при этом нажатие на соответствующую стрелку выделяется цветом (рисунок 11).

По аналогии со старой системой, управление током осуществляется в диапазоне от 0 до 300 мА.

В настоящее время идет монтаж новой ИУС, к модулям ввода/вывода подключаются датчики установки, производится прокладка кабелей. Параллельно идет проверка подключенных измерительных каналов, в данный момент уже полностью задействовано и проверено 136 каналов измерения температуры.



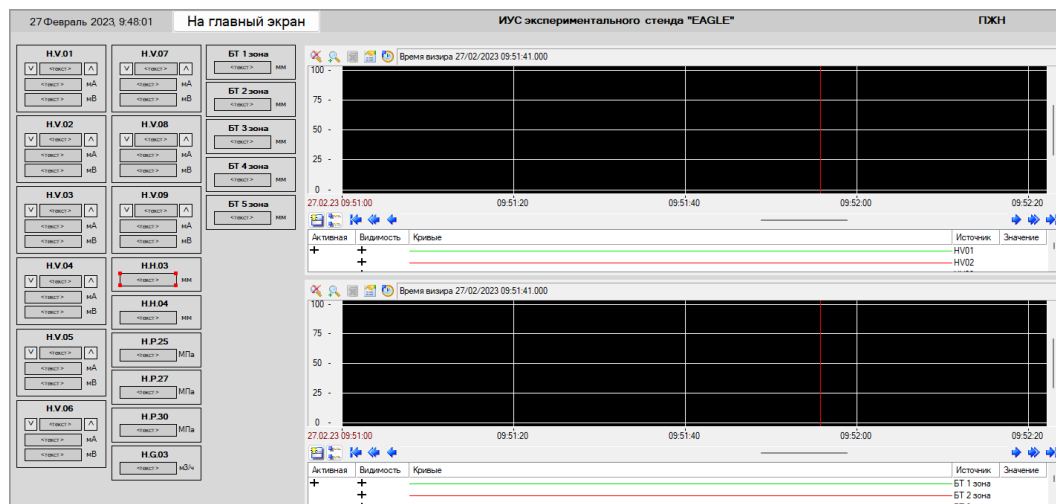


Рисунок 10. Экран ПЖН

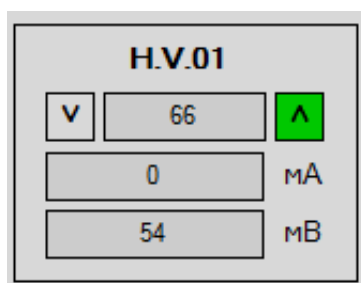


Рисунок 11. Управление током

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной работы на установке будет внедрена качественно новая информационно-управляющая система. На данный момент смонтировано приобретенное оборудование, произведена первичная настройка модулей и корзин расширения с помощью специализированного программного обеспечения. Завершена разработка программного обеспечения для пересчета электрических сигналов первичных преобразователей в физические величины для подсистемы контроля параметров жидкого натрия, завершена разработка программы управления нагревателями, разработка и программирование консолей операторов для подсистем контроля параметров жидкого натрия и управления нагревателями.

За счет применения современного оборудования и программного обеспечения будут достигнуты значительно большее быстродействие и надежность системы, а также обеспечена возможность ее наращи-

вания, что приведет к повышению качества научных исследований, проводимых на этом стенде.

Применение SCADA-системы позволит создать экраны операторов с высокими эргономическими характеристиками и большой информационной емкостью. Благодаря регистрации экспериментальных данных в цифровом виде, упрощается их обработка и дальнейшие расчеты.

## ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике.
- Ильиных С.А., Сыслетин А.В., Ермаков В.А., Кудранова А.Б., Наурызбаев Р.Ж., Модернизация информационно-управляющей системы экспериментального стенда «EAGLE» – Вестник НЯЦ РК, – 2019, – вып. 4, – с. 38–44.
- WinPAC-8000 User Manual (For Standard WP-8000) Version 2.0.9. – 2014 ICP DAS Co., Ltd.
- Руководство пользователя SCADA Trace Mode 6. Том 1. 14 издание. – Москва, 2011.

## REFERENCES

- GOST 27.002-2015 Nadezhnost' v tekhnike.
- Il'inykh S.A., Sysaletin A.V., Ermakov V.A., Kudranova A.B., Nauryzbaev R.Zh., Modernizatsiya informatsionno-upravlyayushchey sistemy eksperimental'nogo stenda "EAGLE" – Vestnik NYaTs RK, – 2019., Issue 4, P. 38–44.
- WinPAC-8000 User Manual (For Standard WP-8000) Version 2.0.9. – 2014 ICP DAS Co., Ltd.
- Rukovodstvo pol'zovatelya SCADA Trace Mode 6. Tom 1. 14 izdanie. – Moscow, 2011.

**EAGLE ЭКСПЕРИМЕНТТІК СТЕНДІНІҢ ЖЫЛЫТҚЫШТАРДЫ БАСҚАРУДЫҢ ІШКІ ЖҮЙЕСІ  
МЕН СҰЙЫҚ НАТРИЙ ПАРАМЕТРЛЕРІН БАСҚАРУДЫҢ ІШКІ ЖҮЙЕСІНЕ АРНАЛҒАН  
БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ЖАСАҚТАМА ЖАСАУ**

**С.А. Ильиных, А.В. Сысалетин, В.А. Ермаков, А.Б. Азбергенова, Р.Ж. Наурызбаев, Р.С. Исламов**

***ҚР ҰЯО РМК «Атом энергиясы институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан***

2022 жылдың басынан бастап қазіргі уақытқа дейін «Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы» РМК «Атом энергиясы институты» филиалында «EAGLE» эксперименттік стендінің ақпараттық-басқару жүйесінің қыздырғыштарды басқару және сұйық натрий параметрлерін бақылау кіші жүйелерін жаңғырту бойынша жұмыстар жүргізілуде. Осы жұмыстың аясында сатып алынған жабдық орнатылды, модульдер мен кеңейту қоржындары жиынтықта бірге жүретін Modbus Utility арнайы бағдарламалық жасақтаманың көмегімен алғашқы реттеуі жүргізілді және бағдарламалық жасақтама жасалды.

***Түйін сөздер:*** ақпараттық басқару жүйе; қыздырғыштарды басқару жүйесі; арнайы өлшеу жүйесі; модуль; кеңейту қоржыны; автоматтандырылған жұмыс орны.

**DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR THE HEATER CONTROL SUBSYSTEM AND THE LIQUID  
SODIUM PARAMETER MONITORING SUBSYSTEM OF THE EAGLE TEST-BENCH**

**S.A. Ilinykh, A.V. Sysaletin, V.A. Yermakov, A.B. Azbergenova, R.Zh. Nauryzbaev, R.S. Islamov**

***RSE NNC RK Branch “Institute of Atomic Energy”, Kurchatov, Kazakhstan***

Since the beginning of 2022 to date, the “Institute of Atomic Energy” Branch of the Republican State Enterprise “National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan” has been updating the subsystems to control heaters and monitor the parameters of liquid sodium of the information-control system of the EAGLE test-bench. As part of this activity, the purchased equipment was installed, the initial configuration of the modules and expansion baskets was made using the specialized Modbus Utility software supplied with the package, and the software was developed.

***Keywords:*** information-control system; heater control system; system of special measurements; module; expansion basket; automated workplace.