



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Virumaa kolledž

**Eesti Elektri jaama 8. ploki esimese katla kõrgsurve  
kiiretoimelise reduktsioon-jahutusseadme  
juhtimissüsteemi moderniseerimine**

**Modernisation of the control system of the high-pressure fast-  
acting reduction-cooling unit of the first boiler of power unit 8 of  
the Estonian power plant**

**TOOTMISE AUTOMATISEERIMISE ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ**

Üliõpilane: Dmitri Startsev

Üliõpilaskood: 165107

Juhendaja: Sergei Pavlov



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Virumaa kolledž

**Модернизация быстродействующей редуционно-охлаждающей установки высокого давления 8 блока первого котла Эстонской Электростанции**

Tootmise automatiseerimise ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Dmitri Startsev

Üliõpilaskood: 165107

Juhendaja: Sergei Pavlov

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“27” mai 2020.

Autor: Dmitri Startsev

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele

“27” mai 2020.

Juhendaja: Sergei Pavlov

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“27” mai 2020.

Kaitsmiskomisjoni esimees Sergei Pavlov

/ nimi ja allkiri /

## **LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS**

Mina Dmitri Startsev (sünnikuupäev: 18.12.1996)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Eesti Elektriijaama 8. ploki esimese katla kõrgsurve kiiretoimelise reduktsioon-jahutusseadme juhtimissüsteemi moderniseerimine mille juhendaja on Sergei Pavlov,
  - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

# TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Dmitri Startsev, 165107

Õppekava, peeriala: RDDR 08/14, Tootmise automatiseerimine

Juhendaja(d): Telemaatika ja arukate süsteemide töörühm, Sergei Pavlov,  
Sergei.Pavlov@taltech.ee

Konsultant: Eduard Semjonov, Tehnoloogiliste protsesside automatiseerimine

Enefit Energiatootmine, +372 5198 0283, Eduard.Semjonov@energia.ee

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) Eesti Elektri jaama 8. ploki esimese katla kõrgsurve kiiretoimelise reduktsioon-jahutusseadme juhtimissüsteemi moderniseerimine

(inglise keeles) Modernisation of the control system of the high-pressure fast-acting reduction-cooling unit of the first boiler of power unit 8 of the Estonian power plant

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Konfiguratsiooni loomine, mis võimaldab S7-200 kontrolleri ühendust võtta PPI sideprotokolli abil.
2. Ühenduse loomine vana kontrolleri ja uute automaatika seadmete vahel lihtsama protokolli abil
3. AJS visualiseerimine WinCC Flexible 2008s abil. Visualisatsioon peaks olema arusaadav inimestele, kes peaks töötama selle süsteemiga

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö kirjutamine. Visualisatsiooni loomine, protokolli uurimine ja dokumentatsiooni lugemine. PPI sideprotokolli häälestamine, signaalide tabeli koostamine	25.05.2020
2.	Eelkaitsmine.	27.05.2020
3.	Lõputöö kaitsmine.	10.06.2020

**Töö keel:** Vene keel

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "15"mai 2020a

**Üliõpilane:** Dmitri Startsev

"22"märts 2020a

/allkiri/

**Juhendaja:** Sergei Pavlov

"22" märts 2020a

/allkiri/

**Konsultant:** Eduard Semjonov

"22" märts 2020a

/allkiri/

**Programmijuht:** Sergei Pavlov

"22" märts 2020a

/allkiri/

# СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	8
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....	9
ВВЕДЕНИЕ.....	10
1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА .....	11
1.1 БРОУ – быстродействующая редуционно-охладительная установка.....	11
1.2 Регуляторы .....	12
1.3 Клапаны .....	14
1.4 Гидравлическая станция управления клапанами .....	16
1.5 Система защит .....	16
2. АНАЛИЗ НЕОБХОДИМОСТИ В МОДЕРНИЗАЦИИ.....	18
2.1 Недостатки существующей системы управления БРОУ .....	18
2.2 Возможные варианты модернизации.....	19
2.3 Использованный вариант модернизации .....	20
3. СВЯЗЬ МЕЖДУ КОНТРОЛЛЕРОМ И ДИСПЛЕЕМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ.....	23
3.1 MicroWIN .....	23
3.2 OPC Server.....	24
3.3 WinCC.....	25
4. СОЗДАНИЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ.....	30
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	36
КОККУVÖТТЕ.....	37
CONCLUSION.....	38
ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	39

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Тему для своей дипломной работы я подобрал во время прохождения практики на предприятии Eesti Energia. Местом прохождения практики была Эстонская Электростанция. Руководителем практики на предприятии был Антон Лауконен, а помощь в создании и курирование проекта по модернизации, на основе которого я сделал дипломную работу, был инженер-куратор АСУ Эдуард Семенов.

Хотелось бы выразить благодарность Антону Лауконену, Эдуарду Семенову, Сергею Павлову и всему преподавательскому составу Вирумаасского колледжа Таллиннского Технического университета, только благодаря знаниям, полученным мною во время обучения я бы не смог реализовать свой проект и написать свою дипломную работу на тему «Модернизация быстродействующей редукционно-охлаждающей установки высокого давления первого котла 8 энергоблока Эстонской Электростанции».

Ключевые слова: модернизация, БРОУ, MicroWIN, Simatic S7-200, дипломная работа по прикладному высшему образованию, rakenduskoõrgharidusõppe lõputöö.

## **СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

АСУ ТП – Автоматическая система управления технологическим процессом

ЭЭС – Эстонская Электростанция

БРОУ – Быстродействующая редуционно-охладительная установка

ВД – Высокого давления

НД- Низкого давления

ЦВД – Цилиндр высокого давления

ЦСД – Цилиндр среднего давления

ЦНД – Цилиндр низкого давления

ГПП – Горячий промежуточный перегрев

РСУ – Распределенная система управления

ПК – Персональный компьютер

ПЛК – Программируемый логический контроллер

## **ВВЕДЕНИЕ**

Современную электростанцию невозможно представить без развитой АСУ ТП, ЭЭС не стала исключением. Несмотря на то, что блоки Эстонской электростанции строились по одному проекту, со временем они стали значительно отличаться друг от друга, происходила пошаговая модернизация, добавлялось новое оборудование.

Для своей дипломной работы я решил выбрать один из узлов АСУ блока № 8. Этот блок прошел самую масштабную модернизацию, является достаточно надежным и находится в эксплуатации практически постоянно. Объект дипломной работы был выбран во время прохождения третьей (преддипломной) практики в инженерной группе ЭЭС.

Перед собой я поставил цель – чтобы моя работа приносила пользу персоналу ЭЭС. Посоветовавшись с инженером АСУ был выбран важный, но довольно сложный объект – БРОУ ВД. Основной причиной тому была отсутствующая визуализация, станция имела исключительно счетчик ошибок модели CURTIS 210-1M073-001 E, который мог в любой момент отказать и показывал лишь малую часть возможных данных. Для создания условий, способствующих более быстрому определению и устранению дефектов, было принято решение о модернизации БРОУ ВД путем создания визуализации, использующей все доступные возможности, заложенные в проекте.

Передо мной были поставлены следующие задачи:

1. Визуализация должна быть понятной, содержательной, иметь свою, отдельную от остальной системы память ошибок, а также возможность построения графиков аналоговых значений (trend) с диапазоном записи 24 часа.
2. Подобрать оборудование, с помощью которого будет реализована визуализация и осуществляться связь с контроллером.
3. Создать связь между имеющимся контроллером и добавляемым оборудованием визуализации.
4. Модернизация должна быть осуществлена без изменения проекта.

# 1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

## 1.1 БРОУ – быстродействующая редуционно-охлаждающая установка

Используется для редуцирования давления и охлаждения пара, вырабатываемого котлом, но не потребляемого турбиной. На блоках мощностью 210-215 МВт, к которым относится блок № 8 ЭЭС, используется двухобводная (bypass) система – БРОУ высокого и низкого давления. БРОУ ВД перепускает пар из паропровода «острого» пара в «холодную» нитку, в обход ЦВД. БРОУ НД перепускает пар из «горячей» нитки промежуточного перегрева в приемные устройства конденсатора, в обход ЦСД и ЦНД. [1]

Мой проект предусматривает модернизацию БРОУ ВД, поэтому дальше речь пойдет только об этой установке. Установка выполняет следующие функции:

- Пусковой режим – регулирование расхода острого пара, который вырабатывается котлом, но не потребляется турбиной на пусковых режимах работы энергоблока.
- «стерегущий» режим – регулирование давление острого пара при неизменной производительности котла во время резких изменений нагрузки турбины, а также в случае несоответствия между электрической нагрузкой энергоблока и тепловой мощности котла.
- Защитный режим – защита котла (экономайзера, испарительной системы, пароперегревателя ВД) от превышения давления выше расчетного значения.

Энергоблок №8 Эстонской электростанции имеет следующие основные показатели [2]:

- |   |             |
|---|-------------|
| • номинальная мощность                      | –215 МВт;   |
| • давление острого пара перед турбиной      | –12,64 МПа; |
| • давление острого пара за котлом           | –12,74 МПа; |
| • температура острого пара за котлом        | –535°С;     |
| • номинальный расход острого пара за котлом | –90 кг / с; |
| • давление пара ХПП за ЦВД турбины          | –2,50 МПа;  |
| • температура пара ХПП за ЦВД турбины       | –320°С;     |
| • давление пара ГПП за котлом               | –2,25 МПа;  |
| • температура пара ГПП за котлом            | –535°С;     |

- номинальный расход пара ГПП за котлом –75,5 кг / с;

БРОУ ВД состоит из двух идентичных обводных (bypass) линий, на каждой линии имеется: регуляторы давления, температуры пара и предохранительные клапаны ГПП. Подача охлаждающей воды на регуляторы температуры пара осуществляется по общей линии питательной воды через запорный клапан впрыска.

Гидравлическую станцию управления, создающее давления масла в системе клапанов для их управления. А также систему защит, отвечающую мгновенное срабатывание клапанов в случае возникновения аварийной ситуации.

БРОУ-ВД имеет следующие рабочие (расчетные) характеристики [2]:

- расход пара на входе –90 кг / с (2 × 45 кг / с);
- давление пара на входе –13,54 МПа (14,5 МПа);
- температура пара на входе –535°C (555°C);
- расход пара на выходе –100,6 кг / с (2 × 50,3 кг / с);
- давление пара на выходе –1,2 ... 2,5 МПа (3,5 МПа);
- температура пара на выходе –370 ... 406°C (505°C);
- расход воды на впрыск –10,6 кг / с (2 × 5,3 кг / с);
- давление питательной воды –16,0 МПа (28,0 МПа);
- температура питательной воды –252°C (300°C);
- быстродействие открытия РД в  
регулирующем / быстром / защитном режиме –0 / 10 / 1,5 сек.;
- быстродействие открытия РТ в  
регулирующем / быстром режиме –10 / 1,5 сек.;

## 1.2 Регуляторы

Через регулирующий давление клапан (Рисунок 1) осуществляется редуцирование давления после чего пар поступает в пароохладитель. На регулирующих давление клапанах уставлены гидроцилиндры одностороннего действия, с пружинным возвратом в исходное, открытое положение. Установка этих клапанов в закрытое положение осуществляется за счет подачи давления масла в полость над поршнем.

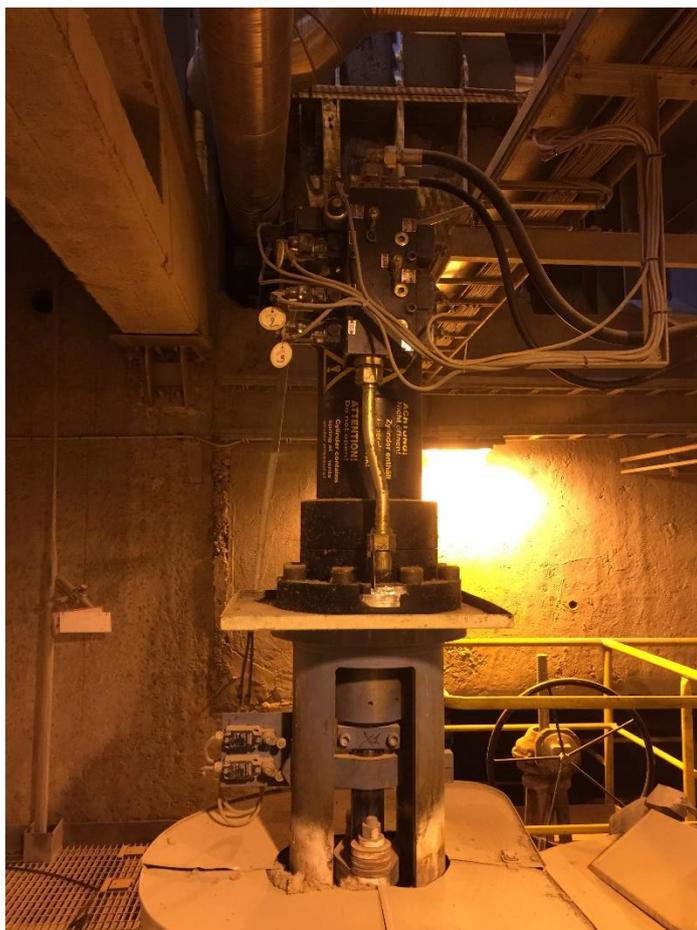


Рисунок 1. регулирующий давление клапан (фото автора)

Регулирующие температуру пара клапаны (Рисунок 2) изменяют расход охлаждающей воды, подаваемой в пароохладитель. Управляются по сигналу с датчика температуры, исходя из того, какая температура пара должна быть на выходе пароохладителя.



Рисунок 2. Регулирующий температуру пара клапан (фото автора)

### 1.3 Клапаны

Предохранительные клапаны ГПП (Рисунок 3) используются для защиты промежуточного пароперегревателя НД от превышения давления выше расчетного. Как и на регулирующих давление пара клапанах, клапаны ГПП имеют гидроцилиндры одностороннего действия, с пружинным возвратом. Установка клапанов в закрытое положение осуществляется таким же образом.

Предохранительные клапаны ГПП имеют отводящие трубопроводы на крышу здания котельной.

Дополнительно, предохранительные клапаны ГПП выполняют следующие функции [2]:

- во время пуска котла / энергоблока, предохранительный клапан ГПП №1 поддерживает минимальный расход пара через промежуточный пароперегреватель, чем обеспечивается его охлаждение
- ввиду того, что БРОУ-НД имеет ограниченную пропускную способность (производительность БРОУ-НД составляет  $\approx 75\%$  от номинальной производительности котла), предохранительные клапаны ГПП помогают стабилизировать давление в системе ГПП при отключении турбины (закрытие стопорных клапанов ЦВД, и защитных клапанов ЦСД) на

нагрузке  $180 \div 215$  МВт;



Рисунок 3. Клапан ГПП (фото автора)

Запорный клапан впрыска питательной воды (Рисунок 4) установлен для обеспечения герметичности, на трубопроводе подачи питательной воды к пароохладителям, дублируется ручной запорной задвижкой.



Рисунок 4. Запорный клапан впрыска питательной воды (фото автора)

## 1.4 Гидравлическая станция управления клапанами

Гидравлическая станция управления (Рисунок 5) используется для регулирования давлением масла в системе управления клапанами. Она поддерживает давление, необходимое чтобы избежать ложного срабатывания клапанов. В случае управления клапанами оператором - регулирует давление в системе. Нормальный режим работы - накопление энергии в гидравлическом аккумуляторе, зарядка аккумулятора происходит путем поочередного включения/отключения масляных насосов.

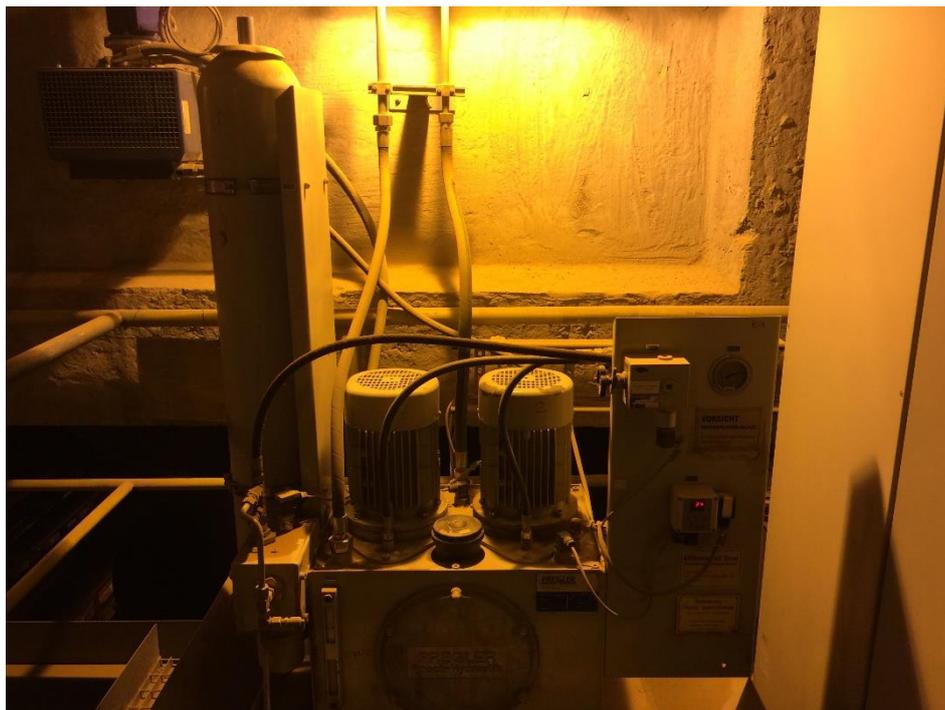


Рисунок 5. Гидравлическая станция управления клапанами (фото автора)

## 1.5 Система защит

Система защит (Рисунок 6) реализована на релейной схеме. Датчиками-реле давления Нудас измеряется давление пара, при превышении установленного значения контакт реле размыкается и тем самым разрывается цепь питания соленоидов защитных гидрораспределителей на клапанах: регулирующих давление, клапанах ГПП. Все защитные соленоиды рассчитаны на напряжение 24В DC. Всего на каждом клапане по три защитных соленоида (два из которых работают по принципу замкнутого контура и один по принципу разомкнутого контура). Доступа к системе защит не имелось.



Рисунок 6. Шкаф системы защит (фото автора)

## 2. АНАЛИЗ НЕОБХОДИМОСТИ В МОДЕРНИЗАЦИИ

### 2.1 Недостатки существующей системы управления БРОУ

Первые трудности возникли при ознакомлении с имеющимся оборудованием (Рисунок 7). Дело в том, что контроллер БРОУ ВД был довольно старым – это поколение Siemens S7-200 6ES7214-1AD21-0XB0. Из-за небольшого объема загрузочной памяти контроллера (у этой модели 8192 байта), проект загружается в контроллер без комментариев автора и имен переменных (tags). Контроллеры этого типа поддерживают связь с внешними устройствами только по протоколу связи PPI, серьезно ограничивая количество оборудования, которое может быть с ними совместимо напрямую. Из-за этого фактора появилось несколько вариантов развития проекта, проработка которых заняла большое количество времени. [3]



Рисунок 7. Контроллер и модули расширения (фото автора)

Программная часть была написана в среде STEP 7 MicroWIN 4.0. Тут также возникли проблемы, в этой среде программирования используются функциональные блоки и методы программирования, которых нет в актуальной среде программирования Tia Portal. Файл исходного проекта не был найден, поэтому надо было снять с контроллера копию (backup), которая не имела комментариев и имен переменных (tag). Документация, описывающая логику управления станцией БРОУ ВД отсутствовала, был только лист расшифровки кодов неисправностей для счетчика ошибок, благодаря этому листу анализ логики был проведен достаточно быстро.

На первый взгляд может показаться, что узел не нуждается в модернизации, ведь на БРОУ имеется счетчик ошибок, визуализирующий возникающие неисправности. Но функционал счетчика сильно ограничен - все ошибки, которые возможны на БРОУ, занесены в счетчик ошибок по порядку, к нему прилагается лист с расшифровкой позиций. Он не имеет встроенной памяти и может показывать только последнюю по счету, возникшую ошибку.

Первая причина модернизации – предупреждение выхода из строя счетчика ошибок. На котле №2 незадолго до начала проекта по модернизации вышел из строя счетчик ошибок, был поставлен резервный, но больше счетчиков в резерве не оказалось, а купить новый не представлялось возможным – производство таких счетчиков прекращено.

Вторая причина – ограниченный функционал счетчика ошибок. Нужна была визуализация, позволяющая увидеть все возникшие ошибки. Также нужна была встроенная память ошибок и график аналоговых значений, чтобы в случае повторного возникновения одних и тех же ошибок их можно было проанализировать.

Третья причина создания визуализации – долгая настройка датчиков положения клапана Balluff, для настройки датчиков требовалось специальное оборудование, подключаемое непосредственно к датчику. Также был затруднен процесс калибровки клапана – цепь сигнала РСУ-ПЛК-Balluff не была визуализирована, в случае рассинхронизации сигналов требовалась помощь инженеров в устранении дефекта.

## **2.2 Возможные варианты модернизации**

Взявшись за проект сразу были продуманы несколько путей его развития.

Самый простой, на первый взгляд, вариант модернизации – покупка сенсорного дисплея Siemens совместимого с имеющимся контроллером. Но начав поиски подходящего дисплея, поддерживающего протокол PPI, было обнаружено что новые давно не производятся, а все имеющиеся на данный момент в продаже были использованными и стоят дороже, относительно панелей, созданных под новое поколение контроллеров. Взяв во внимание возраст панелей и невозможность определить их состояние этот вариант был отклонен.

Следующий, наиболее перспективный вариант, – полное обновление контроллера, модулей ввода/вывода и коммуникационных модулей на поколение S7-1200. Это решало главную проблему станции – надежность. Существующий контроллер находился в эксплуатации уже более 15 лет, превысив рекомендуемый производителем срок эксплуатации. Такой подход обеспечил бы дальнейшую

работу системы, сильно уменьшая шанс выхода из строя системы автоматического управления БРОУ и еще сильнее мог бы расширить возможности по управлению и мониторингу системы, появлялся доступ к новым запасным частям и самое важное – к новой среде разработки, на которую в скором времени будут переведены все узлы и агрегаты, управляющиеся контроллерами Siemens. Однако и от этого варианта пришлось отказаться, процесс перехода на новую платформу занял бы очень много времени и требовал больших денежных вложений.

### **2.3 Использованный вариант модернизации**

Проанализировав ранее рассмотренные возможности по модернизации сформировалась концепция, которая и была реализована впоследствии.

Предполагалось оставить существующий контроллер и модули, а для визуализации создать свою, оригинальную конфигурацию, которая смогла бы выдерживать тяжелые условия эксплуатации и уместиться в ограниченном пространстве шкафа управления БРОУ ВД.

Первым делом предстояло определиться каким образом будет установлена связь между контроллером и визуализацией, ведь протокол PPI поддерживает очень малое количество панелей, а те, которые могут это делать уже давно сняты с производства и купить такую панель новой не представляется возможным. Было принято решение использовать компьютер и через OPC-сервер передавать данные из контроллера в панель.

Очевидным вариантом была связь через обычный ПК, но размер корпуса стандартного компьютера слишком велик, также он не соответствует требованиям к условиям эксплуатации. Решение было найдено быстро, разработка Siemens – Simatic Box PC IPC227E (Рисунок 8). Компактный, достаточно мощный, способный выдерживать сложные условия эксплуатации и имеющий возможность установки на DIN-рейку мини-компьютер идеально подходил для решения нашей задачи.



Рисунок 8. Simatic Box PC (фото автора)

Для связи контроллера с Simatic Box PC был куплен провод USB /PPI от компании Siemens 6ES7 901-3DB30-0XA0 (Рисунок 9). [7]



Рисунок 9. Кабель USB/PPI (фото автора)

Последним компонентом конфигурации был монитор. В качестве решения был выбран монитор с технологией тач скрин (touch screen), благодаря ему мы смогли отказаться от использования клавиатуры и мышки, тем самым сократив количество необходимого для взаимодействия оборудования и сохранив свободное место внутри шкафа управления (Рисунок 10).



Рисунок 10. Общий вид шкафа (фото автора)

Визуализация была реализована в программе WinCC Flexible 2008 SP2. Помимо основной визуализации, для каждого клапана были созданы графики трендов с возможностью просмотра данных за последние 24 часа и общий, для всей визуализации, лист ошибок на 999 позиций.

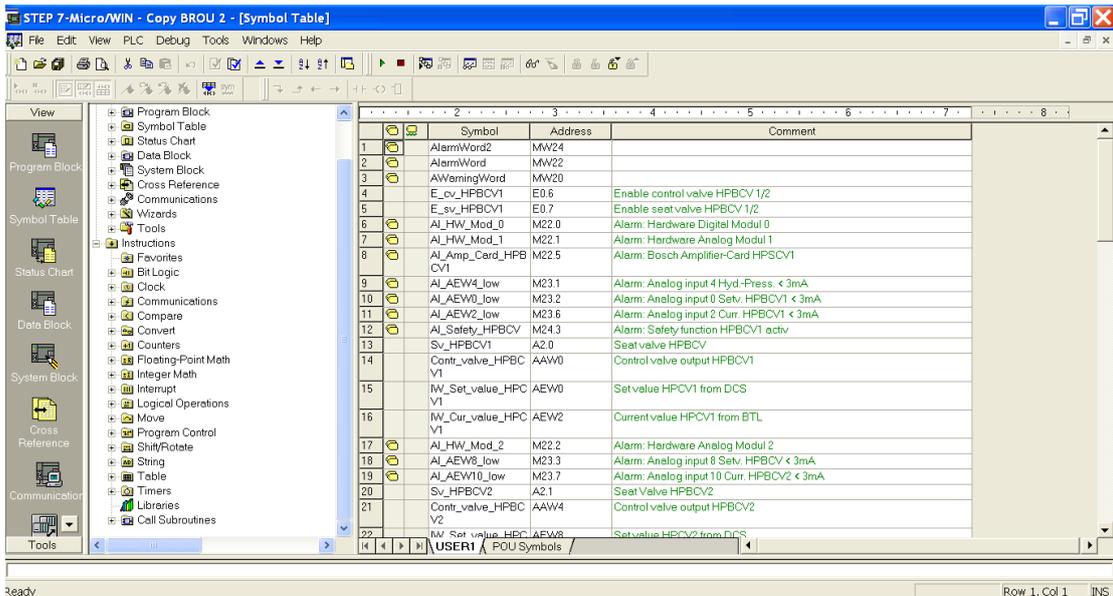
## 3. СВЯЗЬ МЕЖДУ КОНТРОЛЛЕРОМ И ДИСПЛЕЕМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

### 3.1 MicroWIN

Для того чтобы начать работу с проектом необходимо было сделать копию (backup) проекта из контроллера, тут пришлось потратить некоторое время на ожидание. Для того, чтобы скопировать проект из MicroWIN контроллеру требовалось перейти в режим «Стоп», а так-как оборудование было в работе, то сделать это не представлялось возможным. В случае отказа или остановки контроллера сработает защитная функция, клапаны БРОУ перейдут в «защитный режим» и подача пара из котла в турбину прекратится. Это скорее всего повлекло бы за собой аварийный останов всего блока в случае на одном котле.

Для копирования проекта требовалось установить связь между ПЛК и MicroWIN на ноутбуке, делалось это через кабель USB /PPI. Выставив настройки компьютера во вкладке MicroWIN коммуникация, мы создали канал связи между программой MicroWIN и ПЛК S7-200. Программный код был защищен паролем, получив пароль и скопировав проект на компьютер предстояло разобраться с программным кодом, наладить связь между контроллером и WinCC, а также сделать визуализацию. [6]

Код управления БРОУ был написан в программе MicroWIN. Основной сложностью при работе с MicroWIN было отсутствие какого-либо описания или комментариев в самом коде. Разбираться с логикой пришлось самостоятельно, а затем заново прописывать нужные тэги в таблицу символов (Рисунок 11). [5]



Symbol	Address	Comment
AlarmWord2	MW24	
AlarmWord	MW22	
AWarningWord	MW20	
E_cv_HPBCV1	E0.6	Enable control valve HPBCV1/2
E_sv_HPBCV1	E0.6	Enable seat valve HPBCV1/2
AI_HW_Mod_0	M22.0	Alarm: Hardware Digital Modul 0
AI_HW_Mod_1	M22.1	Alarm: Hardware Analog Modul 1
AI_Amp_Card_HPBCV1	M22.5	Alarm: Bosch Amplifier-Card HPBCV1
AI_AEW4_low	M23.1	Alarm: Analog input 4 Hyd-Press. < 3mA
AI_AEW0_low	M23.2	Alarm: Analog input 0 Setv. HPBCV1 < 3mA
AI_AEW2_low	M23.6	Alarm: Analog input 2 Curr. HPBCV1 < 3mA
AI_Safety_HPBCV	M24.3	Alarm: Safety function HPBCV1 activ
Sv_HPBCV1	A2.0	Seat valve HPBCV1
Contr_valve_HPBCV1	AAW0	Control valve output HPBCV1
IW_Set_value_HPCV1	AEW0	Set value HPCV1 from DCS
IW_Cur_value_HPCV1	AEW2	Current value HPCV1 from BTL
AI_HW_Mod_2	M22.2	Alarm: Hardware Analog Modul 2
AI_AEW8_low	M23.3	Alarm: Analog input 8 Setv. HPBCV1 < 3mA
AI_AEW10_low	M23.7	Alarm: Analog input 10 Curr. HPBCV2 < 3mA
Sv_HPBCV2	A2.1	Seat Valve HPBCV2
Contr_valve_HPBCV2	AAW4	Control valve output HPBCV2
IW_Set_value_HPCV2	AEW8	Set value HPCV2 from DCS

Рисунок 11. Тэги, записанные в MicroWin (фото автора)

## 3.2 OPC Server

Связь между контроллером и дисплеем визуализации осуществляется через OPC Server, которым служит программа PC-Access, это разработка Siemens, позволяющая подключаться к контроллерам 200-ой серии. Без неё создание и визуализация проекта на выбранном оборудовании была бы невозможной. Для того чтобы настроить OPC Server достаточно установить такие-же коммуникационные параметры, как и в MicroWIN (Рисунок 12).

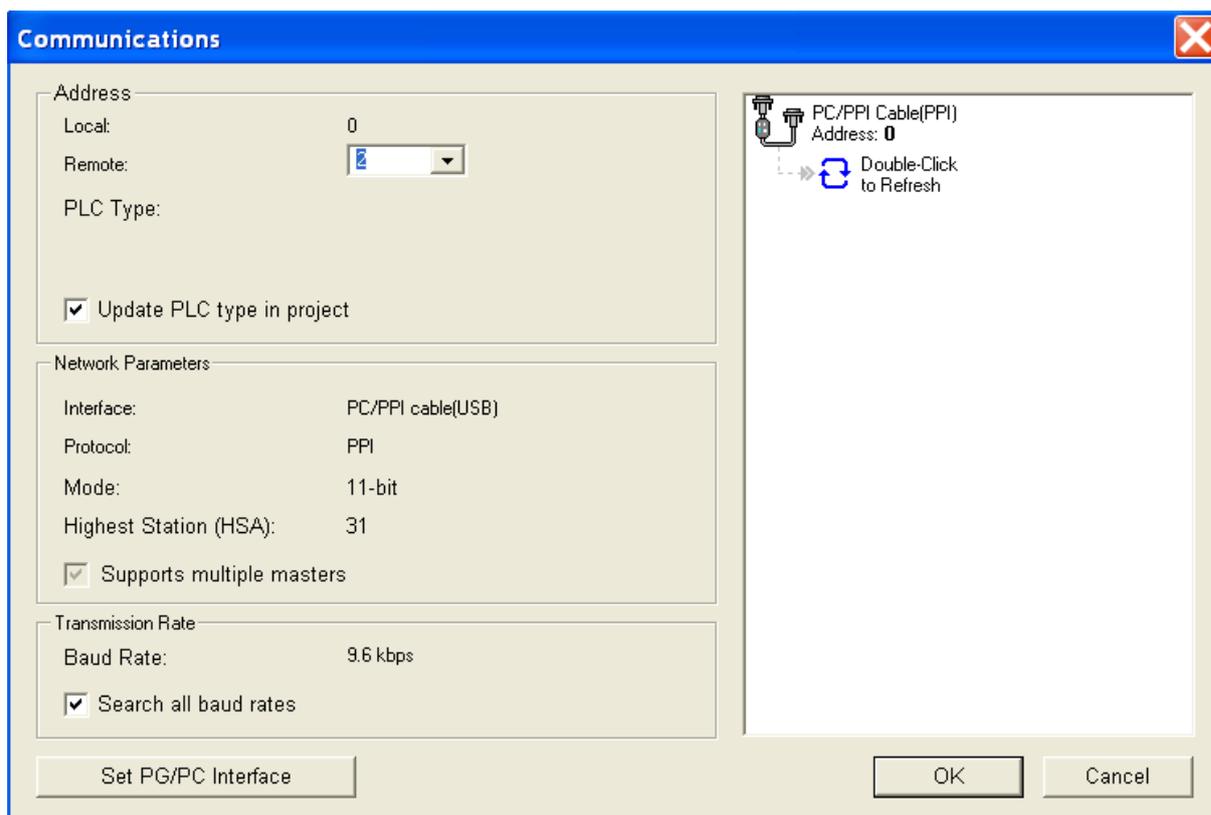


Рисунок 12. Настройки связи с контроллером (фото автора)

Затем, открыв PC-Access импортируем в него тэги (Рисунок 13), для этого необходимо найти нужный проект MicroWIN. Из проекта импортируются только те тэги, которые были занесены в таблицу символов MicroWIN.

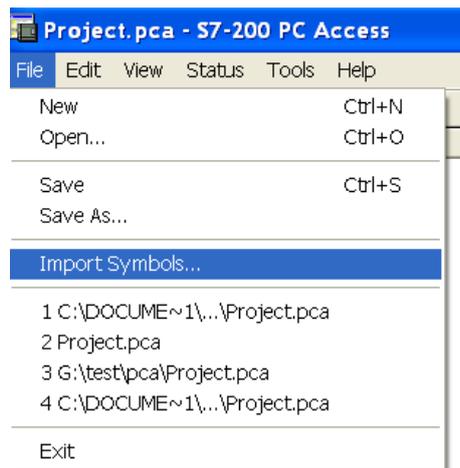


Рисунок 13. Добавление символов в PAccess (фото автора)

Из-за того, что процесс добавления тэгов происходил поэтапно (Рисунок 14), после добавления каждой новой группы приходилось заново импортировать тэги из проекта, перед этим удаляя устаревший набор тэгов. В случае необходимости можно проверить соответствие тэгов запустив тестовый клиент (test client) и начав симулировать нужные тэги в MicroWIN. [4]

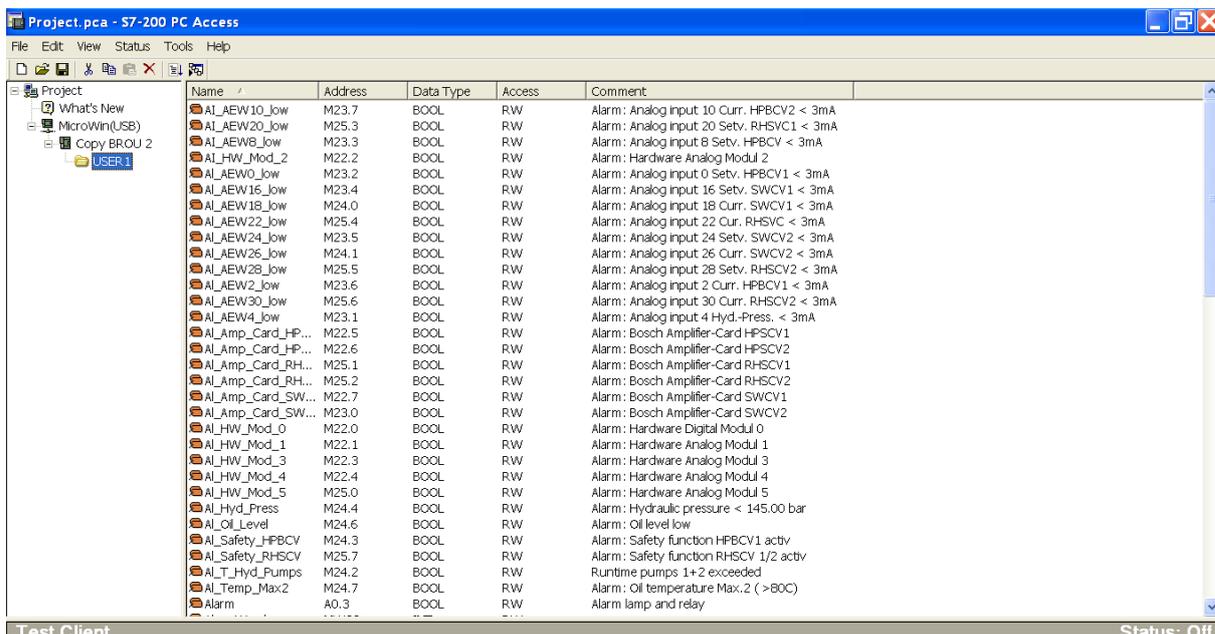


Рисунок 14. Таблица символов PAccess (фото автора)

### 3.3 WinCC

После теста связи можно было приступать к визуализации самого процесса. Создав тестовый экран, нужно было начать переносить тэги с OPC Server в WinCC, для этого в разделе коммуникаций WinCC нужно было выбрать пункт связь. В окне связи выбрать драйвер OPC и назначить имя OPC Server как S7200. OPCServer (Рисунок 15).

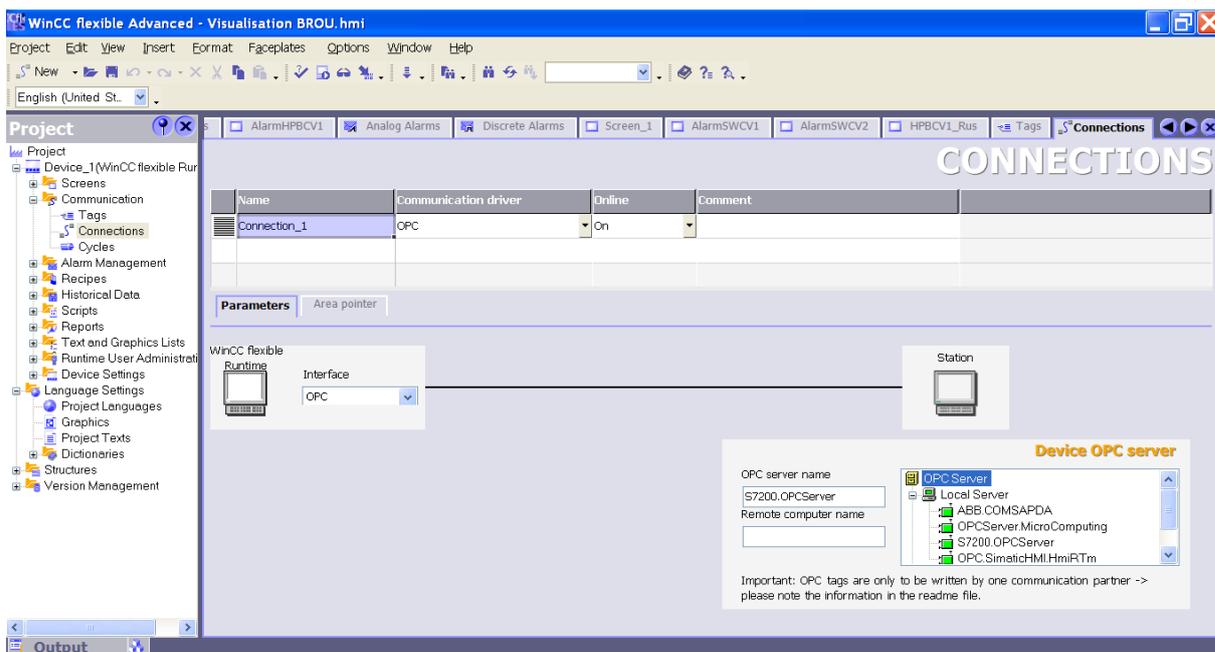


Рисунок 15. Настройки связи WinCC - OPC Server

После этого в том же разделе коммуникаций выбрать пункт тэги и начать заносить новые тэги, выбирая доступные варианты в появившемся окне. Настройка типов тэгов происходила автоматически, но время обновления данных на визуализации для некоторых пришлось изменять, по умолчанию стоит обновление раз в 500 мс.

Большинство бинарных значений (Рисунок 16) было взято из листа расшифровки неисправностей для счетчика ошибок. Однако такие сигналы, как общее состояние клапана были впоследствии найдены при разборе логики и занесены в проект для большей информативности. Время обновления всех бинарных сигналов – 0,5 секунды, довольно долго, но время отклика бинарных сигналов не так важно, как аналоговых, однако они сильно нагружают визуализацию, замедляя время обновления тех же аналоговых сигналов. Бинарные сигналы на визуализации «привязаны» исключительно к «лампам», обозначающим наличие или отсутствие ошибок на клапане или гидравлической станции управления.

При создании «ламп» для обозначения состояния элемента использовалось 3 цвета:

- Зеленый и темно-серый цвет сигнализируют об отсутствии ошибки
- Красный сигнализирует о наличии ошибки.

Такая индикация способствует лучшему восприятию картинки, ведь темно-серая лампа не так сильно бросается в глаза, как зеленая, соответственно в списке темно-серых индикаторов нормального состояния гораздо легче заметить красный индикатор ошибки. Также это обусловлено сигналами, приходящими от оборудования на контроллер, если сигнал не имеет инверсии, то есть при

нормальной работе на контроллер приходит логическая 1, то для его визуализации используется зеленый цвет. Если же сигнал инвертирован, то есть в нормальном состоянии на контроллер приходит 0, то для его визуализации используется серый цвет.

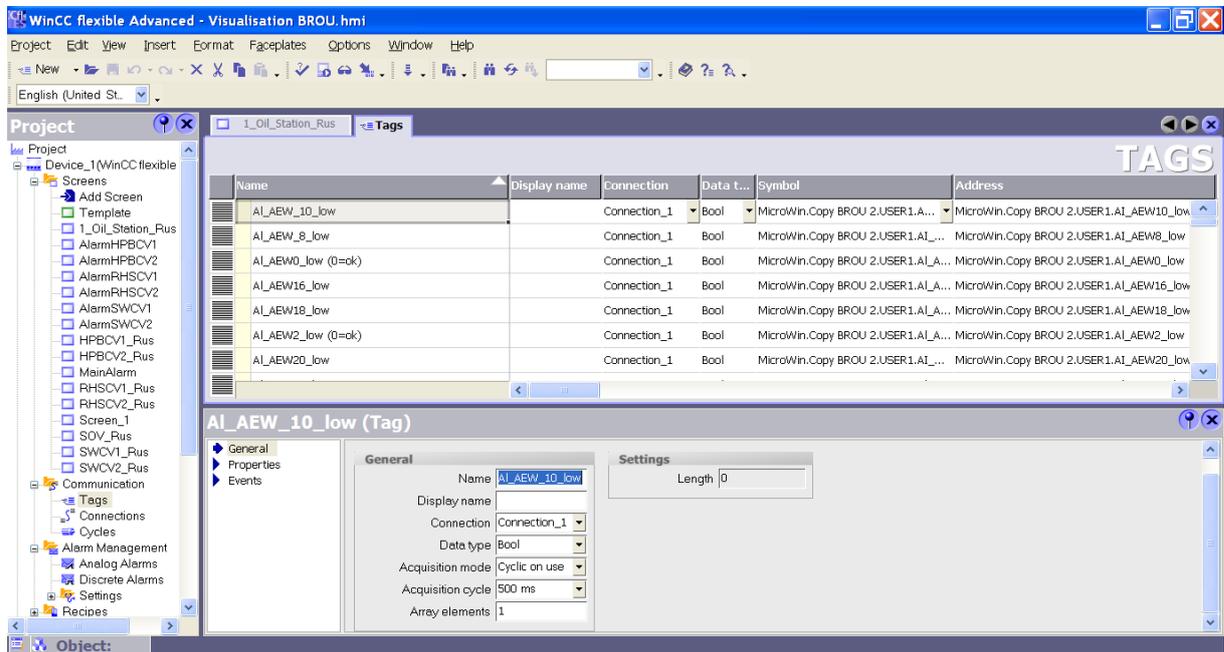


Рисунок 16. Настройки бинарных тэгов (фото автора)

Чтобы иметь возможность создать лист ошибок в WinCC Flexible 2008, нужны специальные меркеры (MWord) (Рисунок 17), которые объединяют в группу 16 сигналов об ошибке. Всего в проекте три таких меркера, два из них содержат сигналы об ошибках, в одном сигналы-предупреждения (8 штук).

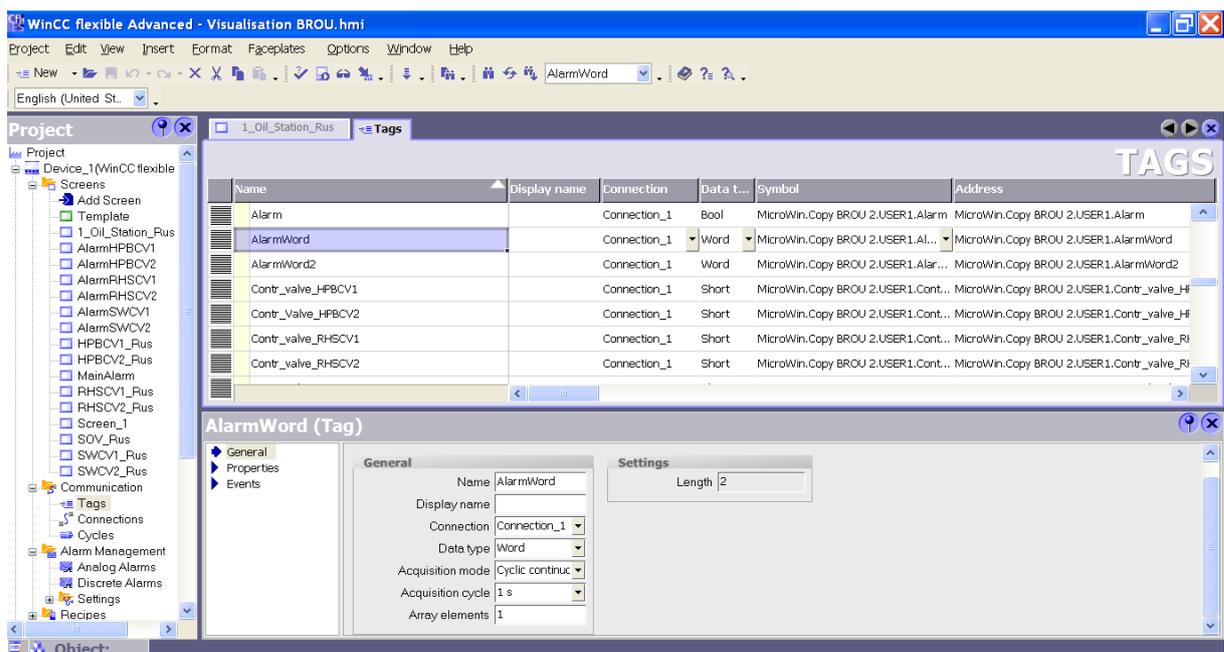


Рисунок 17. Настройки триггеров ошибок (фото автора)

Для индикации сигналов неисправностей (alarm) и предупреждений (warning), в листе ошибок (alarm list), использовались стандартные цвета (Рисунок 18). Все неисправности выделялись красным цветом, в случае если ошибка была сброшена, но не устранена, то она подсвечивалась розовым цветом. Предупреждения выделяются желтым цветом.

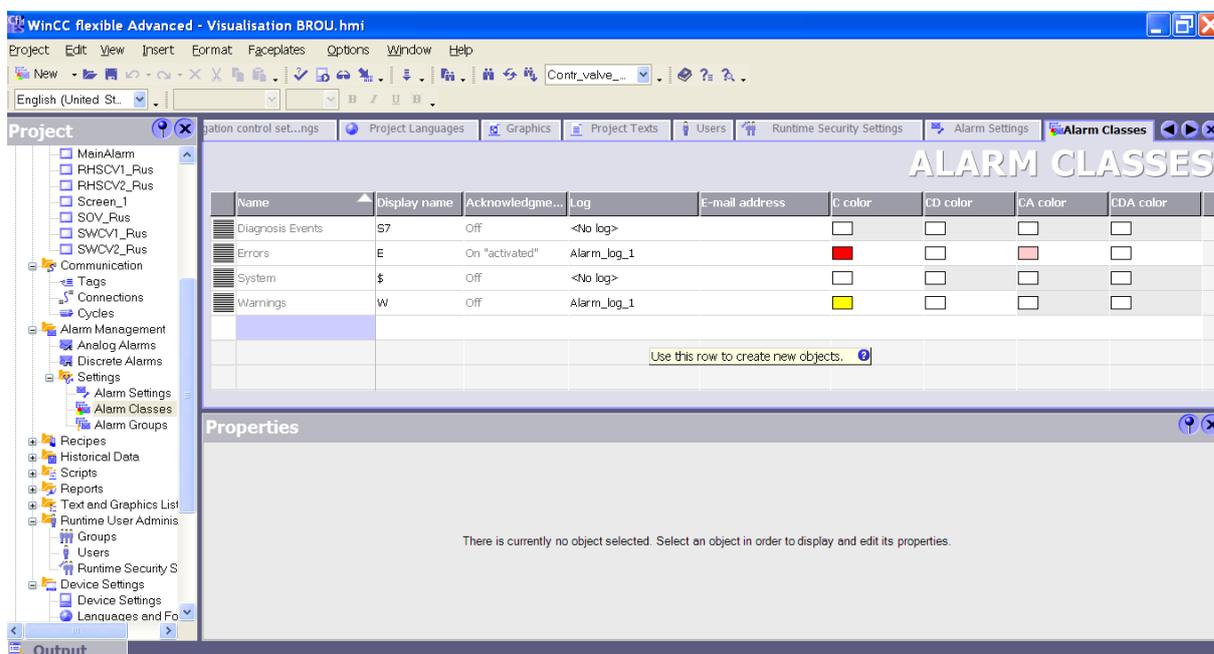


Рисунок 18. Цвет обозначения ошибки (фото автора)

Время обновления аналоговых сигналов уменьшили до 100 мс, такое решение позволяет точно отслеживать изменения показаний (Рисунок 19). Аналоговые сигналы отображают ток и напряжение подаваемое на клапан, а также давление масла в системе станции гидравлического управления. Аналоговые сигналы, подаваемые на клапаны, были масштабированы (scale) и переведены в проценты для удобства настройки. Из PCY на усилитель контроллер приходит токовый сигнал 4...20мА, далее от усилителя сигнала с контроллера Bosch на клапан приходит напряжение -10...10В, а датчик положения клапана Balluff работает в диапазоне 4...20мА. Если все звенья этой цепи работают корректно, то их масштабированные данные будут одинаковыми.

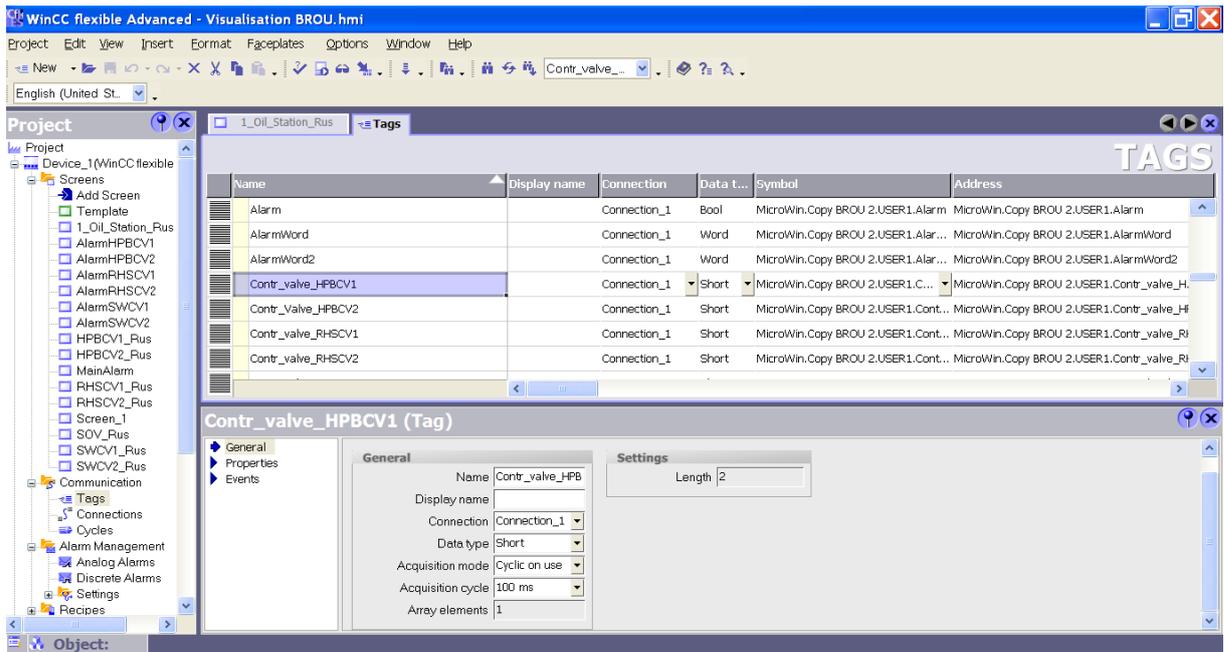


Рисунок 19. Настройки аналоговых тэгов (фото автора)

График трендов создается и настраивается достаточно легко (Рисунок 20). Он находится в панели инструментов, после создания достаточно вписать в него, уже имеющиеся тэги, задать диапазон измерений, задать временной диапазон и указать папку для сохранения логов (logs). По техническому заданию временной диапазон графика трендов должен быть 24 часа, чему соответствует цифра 500 000. [8]

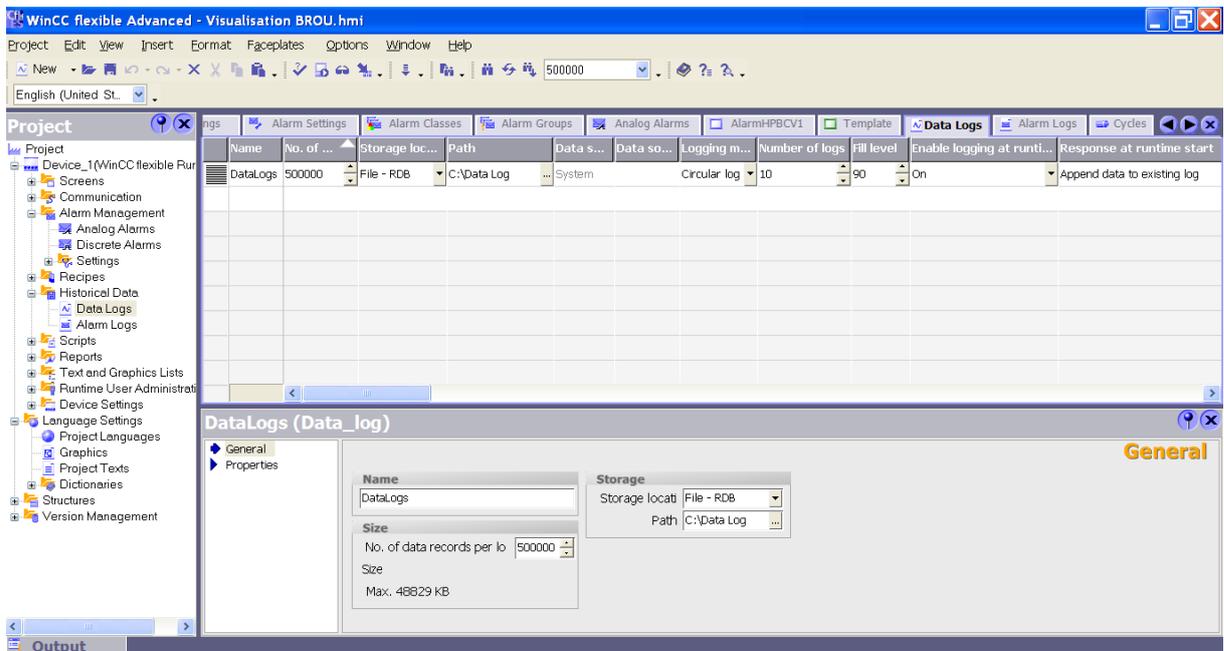


Рисунок 20. Настройки динамики изменения аналоговых значений (фото автора)

## 4. СОЗДАНИЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Проект был задуман как замена имеющемуся счетчику ошибок, то есть только наблюдение за состоянием узла. Хотя возможность добавить в визуализацию управление БРОУ «по месту» была, но от нее отказались. Единственный объект, который может использовать человек взаимодействующий с визуализацией – кнопки перехода между экранами (Рисунок 21).

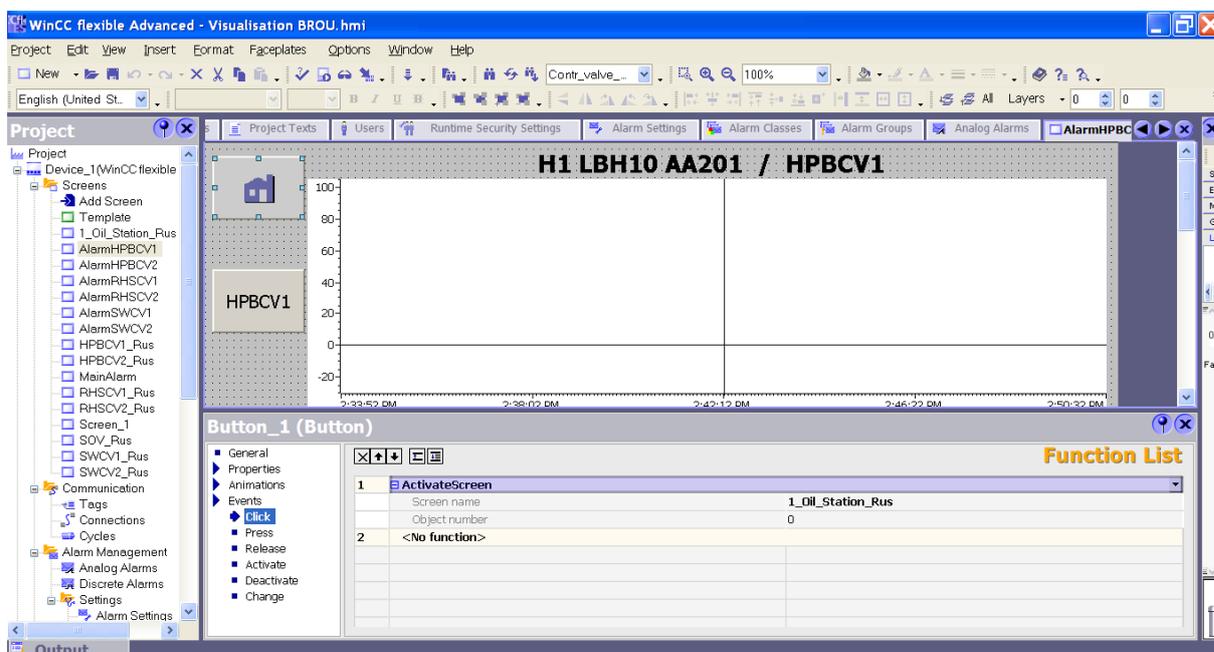


Рисунок 21. Настройки кнопки (фото автора)

Создание основной части визуализации – экранов состояния клапанов и станции гидравлического управления не заняло много времени. Все условное обозначение клапанов и электродвигателей, расположение кнопок и листа ошибок на экране согласовывалось с инженером АСУ. Структура экранов была практически одинаковой, с разницей лишь в количестве возможных ошибок. Кнопки перехода находились внизу экрана в левом и правом углу, переход на экран динамики изменения аналоговых значений и списка ошибок также внизу, рядом с правой кнопкой перехода. Кнопка возврата на экран гидравлической станции управления в левом верхнем углу. Изображение клапана и элементов управления располагались в левой половине экрана, правую часть занимал список возможных неисправностей конкретного клапана. Очередность экранов согласовывалась с персоналом, ответственным за технологический процесс. Все снимки экранов были сделаны без подключения к оборудованию. На всех экранах бинарные сигналы показывают состояние логического 0, с соответствующей цветовой маркировкой. Аналоговые сигналы не получают данных, поэтому отображены знаком «#». Так-как система БРОУ представлена двумя идентичными обводными

линиями (bypass), то экраны и список блокировок у одинаковых клапанов и регуляторов (кроме запорного клапана впрыска охлаждающей воды, он один на обе линии) на разных линиях одинаковый.

Первой страницей было решено сделать экран гидравлической станции управления (Рисунок 22). Эта страница оказалась наименее загружена, поэтому на ней была возможность вывести общие показания состояния клапанов, добавив возможность сразу переключаться на интересующий экран. Также с первой страницы можно было перейти на экран с графиком динамики изменения аналоговых значений датчиков Balluff всех клапанов и давления масла в системе гидравлической станции управления. Тут же были добавлены сигналы, сигнализирующие о наличии неисправностей и предупреждений. Состояние насосов и блокировки, при срабатывании которых гидравлическая станция управления отключится.

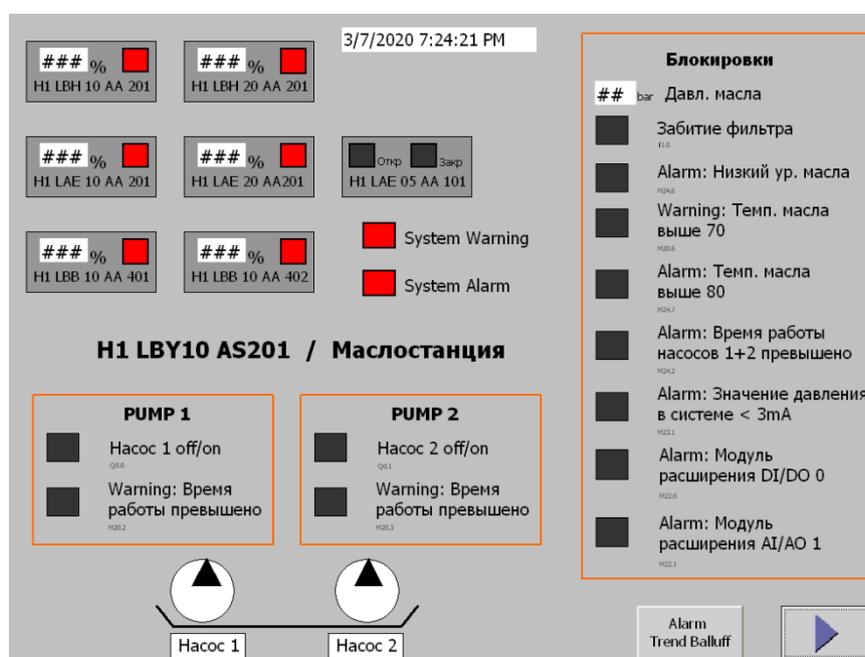


Рисунок 22. Экран гидравлической станции управления клапанами (фото автора)

За экраном гидравлической станции управления шли экраны состояния регуляторов давления пара (Рисунок 23). На нем находится цепочка аналоговых значений и возможные ошибки регулятора. К приведению клапана в безопасное положение могут привести следующие неисправности:

- Ошибка клапанов сброса давления масла (3 штуки)
- Потеря связи с аналоговой, или дискретной картой ввода/вывода
- Ошибка усилителя Bosch
- Низкий токовый сигнал задачи из PCY (DCS)
- Низкий токовый сигнал значения масла в системе

- Низкий токовый сигнал от датчика положения клапана Balluff
- Сработала защитная функция

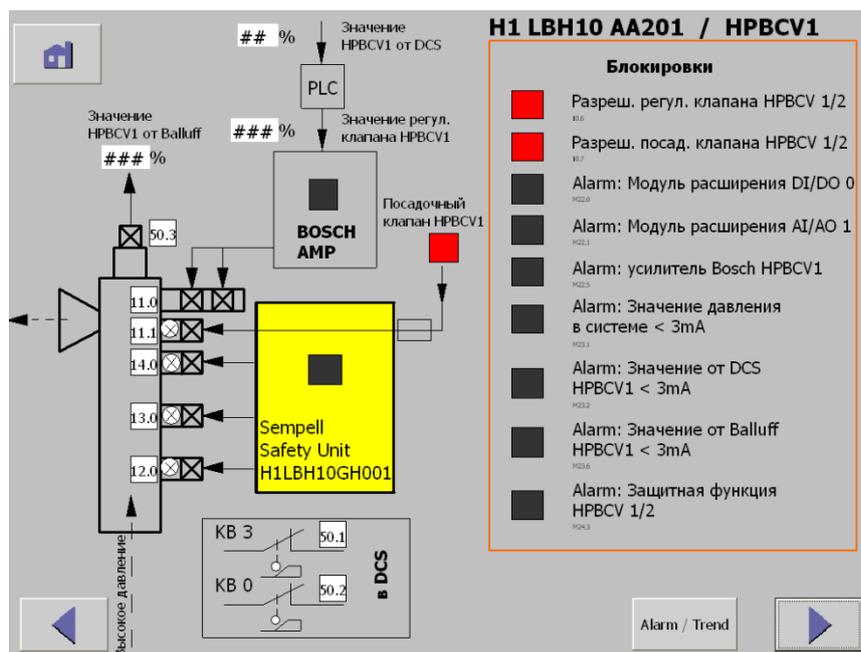


Рисунок 23. Экран регулятора давления пара (фото автора)

После экрана состояния регуляторов давления пара находятся экраны регуляторов температуры пара (Рисунок 24). Ошибки, которые могут привести к срабатыванию клапана:

- Ошибка клапана сброса давления масла
- Потеря связи с аналоговыми, или дискретной картой ввода/вывода
- Ошибка усилителя Bosch
- Низкий токовый сигнал задачи из PCY (DCS)
- Низкий токовый сигнал значения масла в системе
- Низкий токовый сигнал от датчика положения клапана Balluff

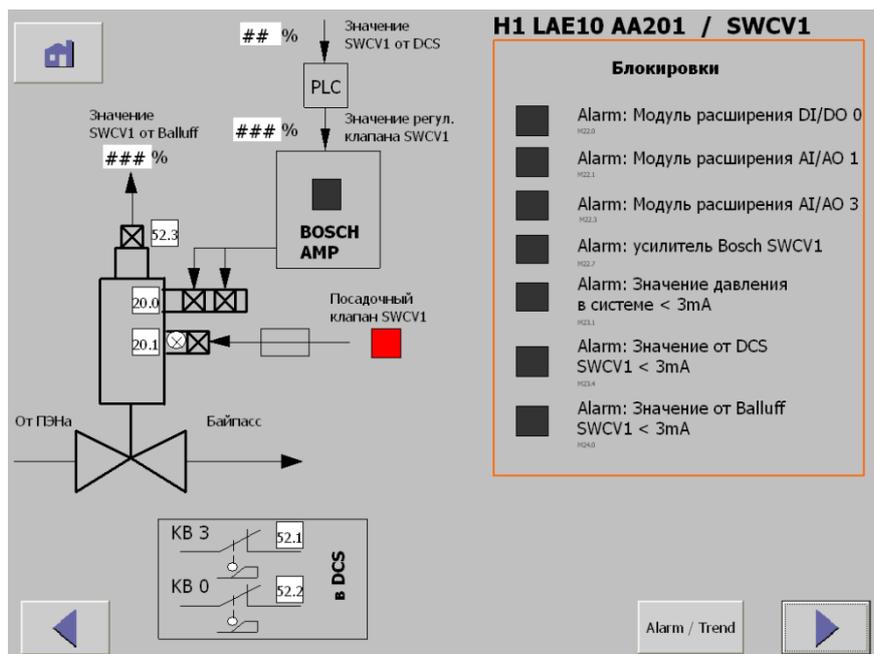


Рисунок 24. Экран регулятора температуры пара (фото автора)

Следующие экраны – состояние клапанов ГПП (Рисунок 25). Список блокировок данных клапанов похож на список блокировок регуляторов давления пара, кроме количества модулей расширения:

- Ошибка клапанов сброса давления масла (3 штуки)
- Потеря связи с аналоговыми, или дискретной картой ввода/вывода
- Ошибка усилителя Bosch
- Низкий токовый сигнал задачи из PCY (DCS)
- Низкий токовый сигнал значения масла в системе
- Низкий токовый сигнал от датчика положения клапана Balluff
- Сработала защитная функция

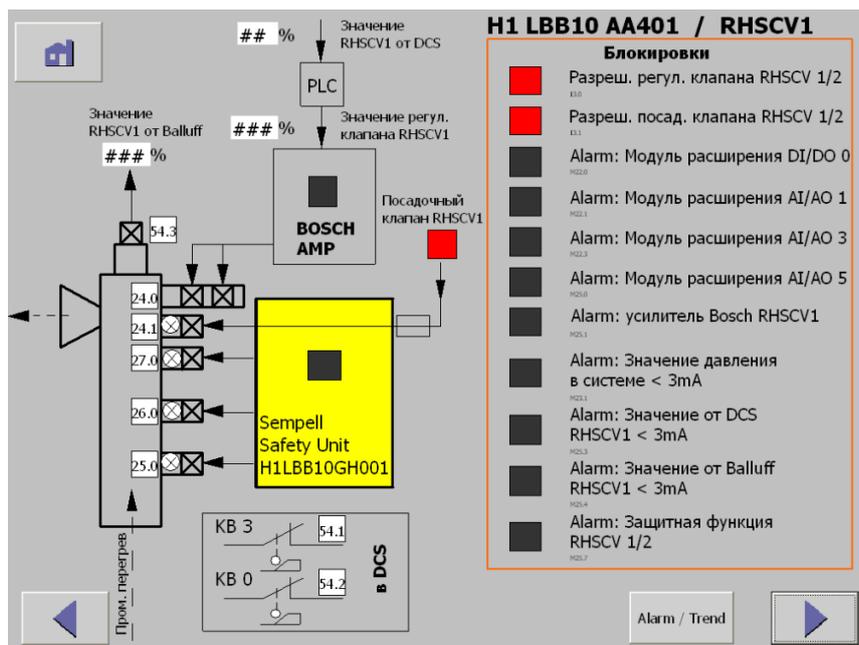


Рисунок 25. Экран клапана ГПП (фото автора)

Запорный клапан впрыска охлаждающей воды (Рисунок 26) не имеет никаких блокировок или аналоговых значений. Данный клапан, на визуализации, имеет только два положения – открыт или закрыт.

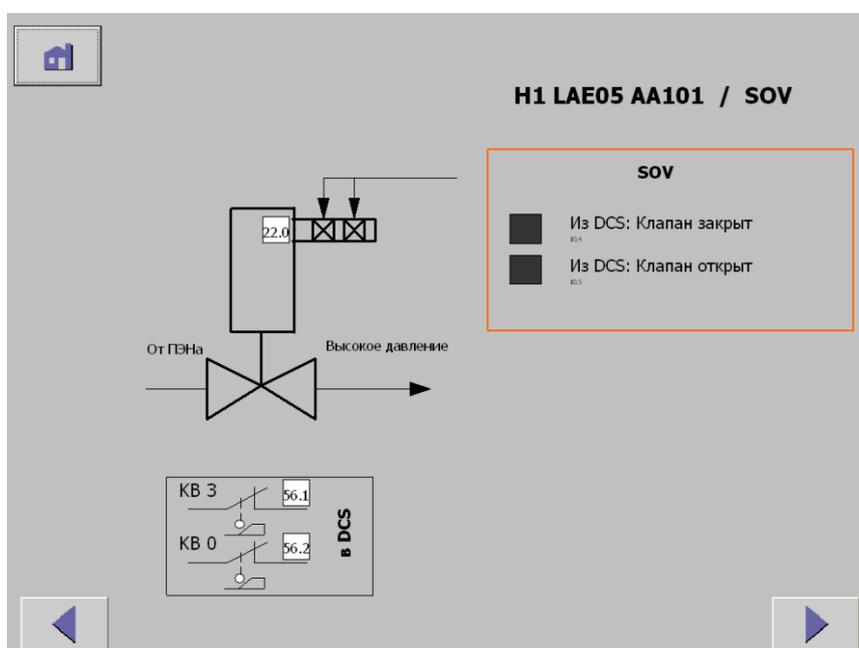


Рисунок 26. Экран запорного клапана впрыска питательной воды (фото автора)

Изначально визуализация создавалась на английском языке, потом планировалось добавить русскую версию и дать пользователю право выбора подходящего ему перевода. Но последующие тесты показали, что такое решение серьезно замедляет время отклика как на кнопки перехода между экранами, так и на изменение выведенных значений, а после беседы с обслуживающим и ремонтным

персоналом было решено полностью отказаться от английской версии, оставив исключительно русскую.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Была проделана работа по изучению логики, созданию связи между контроллером и визуализацией, созданию самой визуализации и подбору необходимого оборудования, для осуществления всех целей этого проекта. Благодаря знаниям, полученным за время обучения в колледже получилось справиться со всеми техническими сложностями и завершить модернизацию.

По техническому заданию я должен был визуализировать регуляторы, клапаны и гидравлическую станцию управления БРОУ. Визуализировать блокировки и аналоговые значения каждого из этих элементов. Создать в визуализации лист ошибок, график динамики изменения аналоговых значений. Все эти требования удалось выполнить на существующем оборудовании, без какого-либо вмешательства в программный код или конфигурацию контроллера.

Проект прошел соответствие всем требованиям технического задания и был установлен на работающее оборудование. Проект реализован и интегрирован в действующую систему с октября 2019 года. Было проведено обучение персонала по взаимодействию с визуализацией.

За все время эксплуатации никаких сбоев в работе оборудования или визуализации не выявлено. Благодаря проекту были своевременно обнаружены и устранены некоторые дефекты, используя визуализацию проводилась настройка датчиков положения клапанов.

Помимо стационарного решения проекта, установленного в шкаф, существует и мобильная версия, позволяющая в случае необходимости также подключиться к контроллеру и запустить визуализацию. Для этого все необходимые программы и визуализация были добавлены на ноутбук, такое решение позволяет подключаться, в случае возникновения проблем, к системе управления БРОУ ВД на других котлах, пока стационарное решение проходит испытания.

Проект получился удачным, был высоко оценен руководителем службы автоматики и измерений ЭЭС. Модернизация прошла успешно, а в будущем планируется проект по усовершенствованию БРОУ с переходом на контроллер серии S7-1200, соответствующие модули ввода/вывода и добавлением touch panel, однако концепцию экранов визуализации планируется оставить старой.

## KOKKUVÕTTE

Sellega oli läbiviidud järgmine töö: kontrolleri programmi loogika uurimine, kontrolleri ja visualiseerimisseade vahel sidemete projekteerimine, visualiseerimise loomine, vajalikku seadmete valimine ja muud projekti sihtide saavutamiseks. Keeruliste momentidega sain edukalt hakkama ja modernisatsiooni edukalt lõpetada oli võimalik tänu teadmistele, mida sain kätte ülikooli õppimise aja jooksul.

Tehniliseks ülesandeks oli klappide, hüdraulise pumbajaama visualiseerimine. Iga ülesnimetatud seadme analoogväärtuste ja blokeeringute visualiseerimine. Peale seda looma visualiseerimises ka tekkivate uute ka vanade alarmide nimekirju, reaalse aja analoogväärtuste dünaamilised graafikuid. Kõik need nõudmised oli võimalik realiseerida ilma eksisteeritud kontrolleri programmi ning kontrolleri konfiguratsiooni muutmisteta.

Minu projekt vastas täielikult tehnilise ülesanne nõudmistele ja oli integreeritud elektri jaama süsteemisse aasta 2019 oktoobri kuus. Personali jaoks oli organiseeritud vastav koolitus.

Alates momendist kui minu projekt oli realiseeritud, mingeid rikkeid, mis on seotud moderniseerimisega pole teada, visualiseerimine toimib korralikult. Moderniseerimine oli juba kasuks süsteemi mõnede vigade leidmiseks ja peale seda visualiseerimine kasutatakse igal juhul, kui korraldatakse klappide asendiandurite korrigeerimine.

Peale minu „statsioonarse“ projekti eduka realiseerimist, mille seadmed asuvad pidevalt automaatika kappis, olen valmistanud ka projekti „mobiilne“ versioon. Selleks olen paigaldatud kõike vajalikku sülearvutisse. Selline „mobiilne“ lahendus annab võimalust vajadusel sisse lülitada ka teise katla kontrolleri ja startida visualiseerimist, kuna minu „stationaarne lahendus“ kooskõlastatakse ka teise katla jaoks.

Projekt on edukalt läbi. Projekt oli kõrgelt hinnatud elektri jaama automaatika teenistuse juhatajana. Modernisatsioon on edukalt läbiviidud, tulevikus planeeritakse järgmise sammu kiiretoimelise reduktsioon-jahutusseadme modernisatsioon – üleminek S7-1200 kontrolleri, sellises hulgas ka vastavad I/O moodulid ning touch panel, aga uue visualiseerimise kontseptsioonina jääb minu selline lahendus.

## **CONCLUSION**

In order to reach all the goals of this project the work was performed on studying the logic, creation of a connection between the controller and the visualization, creation of the visualization itself and selection of the necessary equipment. Thanks to the knowledge obtained during my studies in college, I managed to cope with all the technical difficulties and complete the modernization.

According to the technical design specification, I had to visualize the regulators, valves and the hydraulic control station of the high-pressure fast-acting reduction-cooling unit; visualize the blocking and analog values of each of these elements; create an alarm list in the visualization, along with a graph of the dynamics of changes in analog values. I was able to fulfill all these requirements using the existing equipment, without any intervention in the program code or the controller configuration.

The project passed all the requirements of the technical design specification and was installed on working equipment. The project has been worked on since October 2019. Training was provided for staff in connection with interacting with the visualization.

During the entire period of operation, no malfunctions were detected in the operation of the equipment or the visualization. Thanks to the project, some defects were detected and eliminated in a timely manner. Valve position sensors were also tuned using the visualization.

In addition to the stationary solution of the project installed in the cabinet, there is also a mobile version that, if necessary, also allows you to connect to the controller and start the visualization. All the necessary programs and the visualization were added to the laptop. If any problems occur, this solution allows to connect to the high-speed high-pressure reduction and cooling unit on other boilers, while the stationary solution is being tested.

The project turned out to be successful and was highly appreciated by the head of the automation and measurement service of Estonian Power Plant. The upgrade was successful, and in the future a project is planned to improve the high-pressure fast-acting reduction-cooling unit with the transition to the S7-1200 series controller, the corresponding input / output modules and the addition of a touch panel, however, the concept of the visualization screens is planned to remain old.

## ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Редукционно-охладительные установки (РОУ, БРОУ, РУ, ОУ). [Online] [http://armtek-msk.ru/redukcionno-ohladitelnye\\_ustanovki\\_rou\\_brou\\_ru\\_ou](http://armtek-msk.ru/redukcionno-ohladitelnye_ustanovki_rou_brou_ru_ou) (07.05.2020).
2. Eesti Energia Narva Elektriijaamad AS. Инструкция по эксплуатации БРОУ высокого и низкого давлений, предохранительных клапанов ГПП котлов CFB №1 и №2 энергоблока №8 ЭЭС (2010).
3. Product Details – Industry Mall – Siemens WW. PLC S7-200 [Online] <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7214-1AD21-0XB0> (10.05.2020).
4. S7-200 PC Access - Инструментальные средства проектирования. [Online] <http://www.aqad.ru/index.php?tree=1000000&tree2=9990284&tree3=5009999&tree4=5000030&tree5=5000303&tree6=5000141&tree7=10023520> (10.05.2020).
5. STEP 7 - Micro/WIN - Стандартные инструментальные средства. [Online] <http://siemens.el-complex.com/index.php?tree=1000000&tree2=9990284&tree3=5009999&tree4=5000030&tree5=5000303&tree6=5000139&tree7=5000137> (12.05.2020).
6. Программируемые контроллеры SIMATIC S7-200. PPI интерфейс. [Online] [https://promspecrele.ru/documents/simatic\\_s7\\_200\\_comunications.html](https://promspecrele.ru/documents/simatic_s7_200_comunications.html) (12.05.2020).
7. SIMATIC Box PC. SIMATIC IPC227E. Информационные материалы. [Online] <http://simatic-market.ru/catalog/Siemens-CA01/10255625/info/> (12.05.2020).
8. Siemens. SIMATIC HMI. WinCC Flexible 2008 Compact / Standard / Advance. User's Manual. [Online] [https://www.ttu.ee/public/v/Virumaa-kolledz/Tudengile/loputoojuhend\\_24.02.2020.pdf](https://www.ttu.ee/public/v/Virumaa-kolledz/Tudengile/loputoojuhend_24.02.2020.pdf) (14.05.2020).