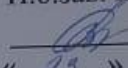



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

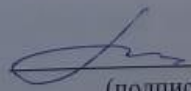
Факультет энергетический  
Кафедра Автоматизации производственных процессов и электротехники  
Направление подготовки 15.03.04 - Автоматизация технологических процессов  
и производств  
Направленность (профиль) образовательной программы Автоматизация  
технологических процессов и производств в энергетике

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
И.о.зав. кафедрой  
 О.В. Скрипко  
« 23 » 06 2021 г.


**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Автоматизация системы оборотного водоснабжения магистральной  
насосной станции

Исполнитель  
студент группы 741об  17.06.2021 М.Н. Ткаченко  
(подпись, дата)

Руководитель  
доцент, канд.техн.наук  16.06.2021 А.Н. Рыбалев  
(подпись, дата)

Консультант по безопасности  
и экологичности  
доцент, канд.физ.-мат.наук  11.06.2021 В.Н. Аверьянов  
(подпись, дата)

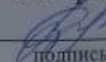
Нормоконтроль  
профессор, д-р техн.наук  23.06.2021 О.В. Скрипко  
(подпись, дата)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет Энергетический  
Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

УТВЕРЖДАЮ

И.о.зав. кафедрой

  
подпись

О.В. Скрипко

И. О. Фамилия

« 23 » 06 2021 г.

### ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента 741 группы Ткаченко Матвея Николаевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Автоматизация системы оборотного водоснабжения магистральной насосной станции

(утверждена приказом от 23.04.21. № 812-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы: 21 июня 2021 года.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Документация типовых технических решений при проектировании систем автоматизации нефтеперекачивающих станций ОАО «Транснефть».

4. Содержание выпускной квалификационной работы:

- 1) Разработка функциональной схемы системы оборотного водоснабжения;
- 2) Разработка принципиальной схемы системы оборотного водоснабжения;
- 3) Разработка имитационной модели системы оборотного водоснабжения;
- 4) Разработка управляющей программы системы оборотного водоснабжения;
- 5) Разработка SCADA-системы.

5. Перечень материалов приложения (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.):

Лист 1: Функциональная схема автоматизации

Лист 2: Принципиальная схема соединений

Лист 3: Блок-схемы алгоритмов управления

Лист 4: Имитационная модель в среде Simulink

Лист 5: Окна визуализации в среде CodeSys

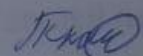
Лист 6: SCADA-система

6. Дата выдачи задания 02.11.2020

Руководитель выпускной квалификационной работы: Рыбалев Андрей Николаевич, доцент, канд. тех. наук

(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): 02.11.2020



(подпись студента)

## РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 88 с., 9 таблиц, 66 рисунков, 14 источников.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА, ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА, ДАТЧИК, ИНДИКАТОР, ВЕНТИЛЯТОР, НАСОС, РЕЗЕРВУАР, ОБОРОТНОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КЛАПАН, ЗАДВИЖКА, АЛГОРИТМ, МОДЕЛЬ.

В рамках данной выпускной квалификационной работы поставлена цель – автоматизировать систему оборотного водоснабжения магистральной насосной станции.

Система предназначена для охлаждения электродвигателей насосных агрегатов. Также разработанная система решает важнейшие экологические и экономические задачи: существенная экономия воды, отсутствие вредных выбросов в местные водоемы, предприятие не будет платить за использование новых водных ресурсов, производство сможет обойтись без выплат штрафов из-за загрязнения окружающей среды.

Также немаловажной целью является повышение качества управления процессом в автоматическом режиме эксплуатации объектов управления.

В результате выполнения данной работы, была разработана автоматизированная система оборотного водоснабжения магистральной насосной станции.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Разработка функциональной схемы автоматизации	9
2 Выбор средств автоматизации	10
2.1 Выбор исполнительных механизмов	10
2.1.1 Выбор АВГ	10
2.1.2 Выбор резервуара оборотной воды	11
2.1.3 Выбор насосов	13
2.1.4 Выбор задвижки	16
2.1.5 Выбор запорного клапана	18
2.2 Выбор измерительных преобразователей и датчиков	20
2.2.1 Выбор датчиков температуры	20
2.2.2 Выбор датчиков давления	21
2.2.3 Выбор датчика уровня воды	23
2.2.4 Выбор индикаторов	26
2.3 Выбор коммутационной аппаратуры	28
2.4 Выбор управляющей аппаратуры	29
2.4.1 Выбор ПЛК	29
2.4.2 Выбор органов управления и сигнализации	33
2.4.3 Эскиз щита управления	35
2.5 Выбор автоматических выключателей	36
3 Разработка принципиальной схемы соединений	39
4 Разработка имитационной модели сов в среде Simulink	41
4.1 Обмен данными между программами	41
4.2 Блоки Simulink	46
5 Разработка управляющей программы в программном комплексе CodeSys	51
5.1 Окна визуализации	52

5.2 Подпрограмма Switch	54
5.3 Подпрограмма Buttons	54
5.4 Подпрограмма Auto_mode	55
6 Разработка SCADA-системы в программном комплексе TRACE MODE	57
6.1 Экран отображения технологического процесса	58
6.2 Экран аварий и поломок	60
6.3 Экран архивирования данных	61
7 Безопасность жизнедеятельности	64
7.1 Предотвращение негативного влияния на окружающую среду	64
7.2 Требования к СОВ	65
7.3 Требования электробезопасности	66
7.4 Требования по обеспечению пожарной безопасности	67
Заключение	69
Библиографический список	70
Приложение А	72
Приложение Б	83
Приложение В	84
Приложение Г	85
Приложение Д	86
Приложение Е	87
Приложение Ж	88

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АВГ – аппарат воздушного охлаждения (горизонтального типа);

АРМ – автоматизированное рабочее место;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическими процессами;

МН – магистральный нефтепровод;

МНА – магистральный насосный агрегат;

МНС – магистральная насосная станция;

НС – насосная станция;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ПО – программное обеспечение;

САР – система автоматического регулирования;

СОВ – система обратного водоснабжения;

СПАД – система промышленного архивирования данных;

ЩУ – щит управления;

ЯП – язык программирования;

OPC – Open Platform Communications (семейство программных технологий, предоставляющих единый интерфейс для управления объектами автоматизации и технологическими процессами);

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерское управление и сбор данных).

## ВВЕДЕНИЕ

Повторное использование воды в промышленности может снизить затраты на системы водоснабжения, очистку сточных вод в промышленности и также снизить нагрузку на водные ресурсы. Сточные воды можно повторно использовать в пределах самого предприятия или между несколькими предприятиями посредством промышленного симбиоза. В зависимости от типа и качества сточных вод они могут либо использоваться повторно, либо очищаться перед повторным использованием.

Поэтому при модернизации предприятий, начинают внедрять такую технологию, как оборотное водоснабжение. Самая главная польза такой технологии – это возможность экономии большого количества чистой воды. После того, как воду использовали первый раз, ее очищают, а затем нагревают либо охлаждают. После этого она используется вторично.

Разработанная система в данной выпускной работе призвана существенно снизить потребление воды из природных источников на производственные нужды и уменьшить сброс сточных вод в водоемы.

Экономия природного ресурса достигается за счет использования новых технологических процессов, внедрения аппаратов воздушного охлаждения взамен водяного, максимально возможного возврата очищенных сточных вод в системы оборотного водоснабжения предприятия.



# 1 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Функциональная схема является главным техническим документом, который определяет структуру и характер автоматизации технологического процесса проектируемого объекта, и оснащение его приборами и средствами автоматизации.

На функциональной схеме условно изображают технологическое оборудование, коммуникации, органы управления, приборы и средства автоматизации, а также связи между ними.

Для системы обратного водоснабжения магистральной насосной станции, была разработана функциональная схема (рисунок 1), которая полностью удовлетворяет всем заданным условиям.

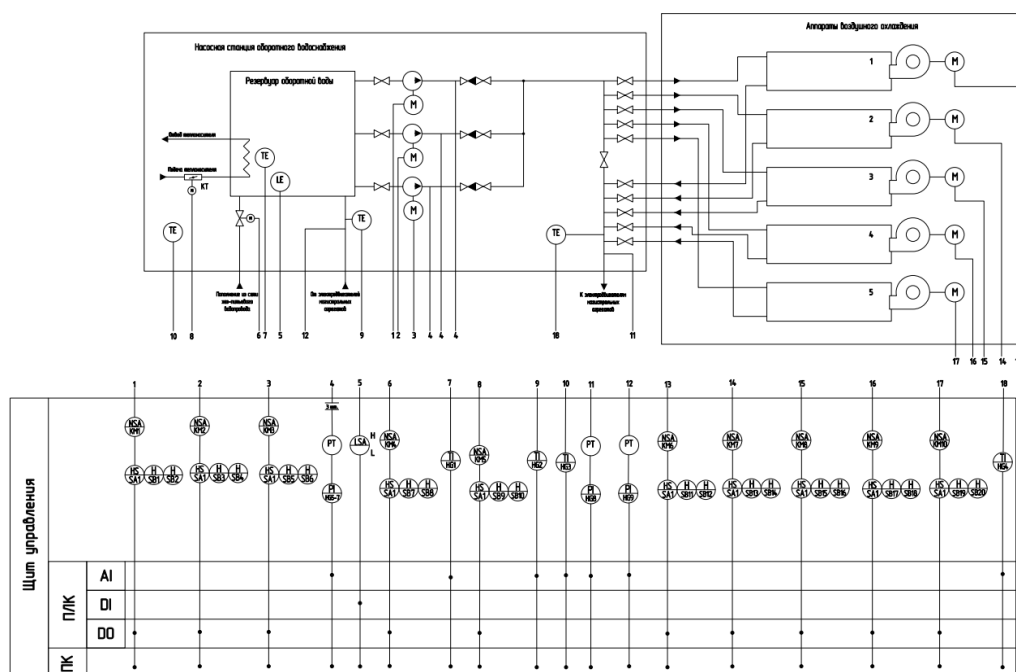


Рисунок 1 – Функциональная схема

## 2 ВЫБОР СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

### 2.1 Выбор исполнительных механизмов

#### 2.1.1 Выбор АВГ

В данной работе используются аппараты воздушного охлаждения (рисунки 2, 3), которые предназначены для охлаждения воды в данном технологическом процессе. Данные устройства применяются в нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, газовой и других отраслях промышленности.

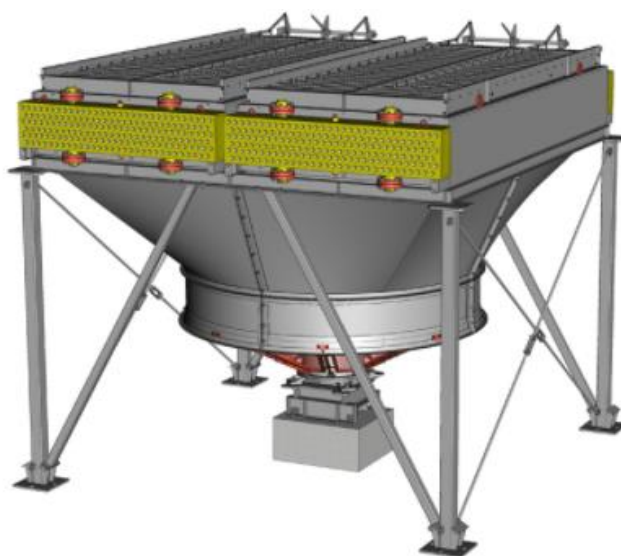


Рисунок 2 – Аппарат воздушного охлаждения горизонтального типа (АВГ)

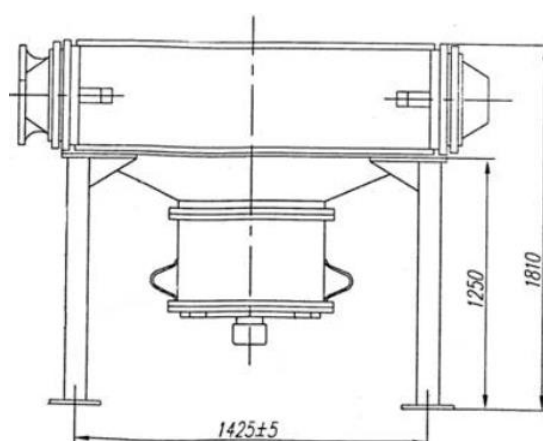


Рисунок 3 – Схема АВГ

Выбранные аппараты состоят из трех горизонтально расположенных трубных секций, составленных из оребренных биметаллических труб. Секции монтируются на металлической конструкции. Привод колеса вентилятора размещается на отдельной раме. Колесо вентилятора, вращаясь в полости коллектора, прогоняет воздух через межтрубное пространство секций, охлаждая продукт. Диаметр колеса 2м. Скорость вращения колеса вентилятора 428,6 об/мин.

Для данного АВГ был выбран электродвигатель ВА180М12. Данная модель электродвигателя в основном применяется в качестве двигателей вентиляторов большого диаметра.

Таблица 1 – Технические характеристики ВА180М12

Наименование показателя	Значение
Мощность	15 кВт
Частота вращения поля статора	3000 об/мин
КПД	85%
Отношение тока $I_{\pi}/I_{н}$	3,8
Масса	325 кг

### 2.1.2 Выбор резервуара оборотной воды

Выбранный резервуар стальной (рисунок 4), объемом 700 кубов для приема, хранения и выдачи оборотной воды. Такие емкости для воды широко применяются во всех коммунальных, промышленных, жилищных, аграрных и других отраслях. Резервуар 700 м<sup>3</sup> под воду может использоваться для хранения:

- Технической воды - для различных технологических целей;
- Пожарной воды - по требованиям противопожарной безопасности необходимо, чтобы на территории предприятия, где отсутствует водопровод или водоем, был запас противопожарной воды;
- Очищенной питьевой воды - для снабжения чистой питьевой водой домов, предприятий, вахтовых поселков, городов и т.д.



Рисунок 4 – Резервуар оборотной воды

Данный резервуар представляет собой цилиндрический вертикальный бак, который состоит из:

1. Стальной стенки бака с различными врезками под люки, патрубки и другое оборудование;
2. Крыши;
3. Днища;
4. Лестницы;
5. Смотровой площадки;
6. И прочего технологического оборудования по заказу (насосы, датчики уровня, сигнализаторы, манометры, клапаны, трубопроводы, нагреватели и т.д.) [5].

В этой выпускной работе одним из неотъемлемым критерием технологического процесса является поддержание температуры оборотной воды в резервуаре, поэтому данный резервуар оснащен встроенным нагревателем, который представляет собой трубу, а в качестве теплоносителя выступает горячая вода. На сегодняшний день этот метод нагрева резервуара является одним из самых распространённых.

Таблица 2 – Технические характеристики

Наименование показателя	Значение
Номинальный объем, м <sup>3</sup>	700
Плотность рабочей среды, кг/м <sup>3</sup>	До 1000
Количество поясов у стенки, шт	6
Толщина стенки верхнего пояса, мм	5
Толщина стенки нижнего пояса, мм	5
Диаметр, мм	10430
Высота, мм	9000
Марка стали	09Г2С / Ст3сп4 / нержавеющая сталь
Расчетная температура не больше, °С	100
Скорость проникновения коррозии, мм/год	0,1
Минимальный срок эксплуатации, лет	20
Расчетное давление, МПа	0,07

### 2.1.3 Выбор насосов

Для данного проекта требуется подобрать три насоса. Один будет основным, а два остальных резервные, которые будут работать при поломке первого.

В качестве водяных насосов были выбраны консольные насосы типа КМ 80-80 (рисунок 5) с подачей  $Q = 100 \text{ м}^3/\text{ч}$  и напором  $H = 32 \text{ м}$ .

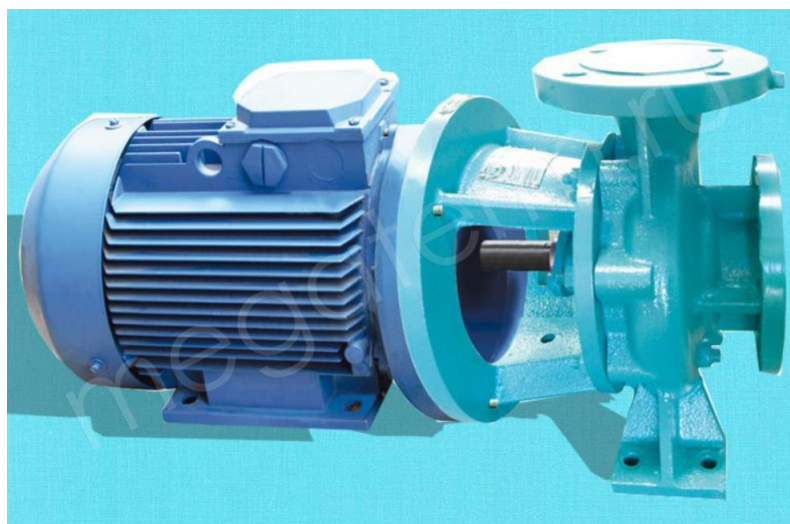


Рисунок 5 – Консольный насос типа КМ 80-80-160

Условное обозначение:

- КМ – консольный моноблочный тип;
- 80 – диаметр входного патрубка (мм);
- 80 – диаметр выходного патрубка (мм);
- 160 – диаметр рабочего колеса (мм).

Промышленное использование насосов КМ:

- подача технической воды в производственных целях для выполнения технологических процессов в нефтегазовой и горнодобывающей отраслях, в металлургии;
- обеспечение чистой и технической водой систем тепловых станций;
- в комплексах пожаротушения.

Таблица 3 – Характеристики насоса

Наименование показателя	Значение
1	2
Подача (номин.), м <sup>3</sup> /ч	100
Напор, м	32
Мощность двигателя, кВт	15
Частота вращения, об/мин	2900
Напряжение сети, В	380
Частота ток, Гц	50
Вид тока	Переменный

Насос оснащен двигателем 15 кВт 3000 об/мин - АИР160S2 (рисунок 6). АИР160S2 - трехфазный асинхронный электродвигатель 15 кВт 3000 об/мин общепромышленного назначения с короткозамкнутым ротором.



Рисунок 6 – Электродвигатель АИР160S2

Таблица 4 – Характеристики электродвигателя

Наименование показателя	Значение
Мощность	15 кВт
1	2
Частота вращения поля статора	3000 об/мин
Скорость вращения вала	2930 оборотов
Тип	Асинхронный
Напряжение питания	Трехфазное, 360/660 вольт
Монтажное исполнение	Лапы/фланец/комбинированное
Номинальный ток	28,6 А
КПД	89,4 %
Отношение тока $I_{\Gamma}/I_{\text{н}}$	7,5
Вес	112 кг

#### 2.1.4 Выбор задвижки

Для данной системы была выбрана задвижка 30с941нж Ду80 Ру16 (PN 1,6 МПа) (рисунок 7).

Задвижка 30с941нж – модель трубопроводной арматуры запорного типа с выдвижным шпинделем и фланцевым присоединением. Отличительной чертой изделия является способ управления – под электропривод/редуктор.

Данная модель трубопроводной арматуры является идеальным вариантом для транспортировки таких сред, как:

- холодная/горячая вода;
- пар;
- газ;
- жидкие неагрессивные нефтепродукты и нефть;

Температура рабочей среды от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+450^{\circ}\text{C}$ . Для предотвращения поломки запорного механизма, при наличии грубых частиц в транспортируемой среде, рекомендуется ставить фильтр (грязевик).



Рисунок 7 – Задвижка 30с941нж



Расшифровка маркировки (обозначения) задвижек:

30 – тип арматуры, 30 – задвижка, с – материал корпуса. с – сталь углеродистая, лс – сталь легированная, 9 – тип привода, 9 – электрический  
41 – номер модели, нж – материал уплотнительной поверхности, нж – нержавеющая, Ду80 – рабочий диаметр, Ду80 - 80 мм.

Выдвижной шпindel в задвижке 30с941нж – существенно уменьшает гидравлическое сопротивление и увеличивает показатель ремонтпригодности.

В задвижке 30с941нж используются качественные современные материалы, которые увеличивают технические характеристики изделия при эксплуатации. Так, при использовании терморасширенного графита, обеспечиваются отличные эксплуатационные свойства при температуре рабочей среды до + 450 °С, а окружающего воздуха до – 40 °С.

Данная задвижка оснащена электроприводом ГЗ-А.100, который относится к типу электроприводов общего назначения. Электроприводы общего назначения применяются для управления запорной промышленной трубопроводной арматурой, устанавливаемой в помещениях, под навесом и на открытом воздухе.

Таблица 5 – Основные технические данные электропривода

Наименование показателя	Значение
Условное обозначение	ГЗ-А.100
Номинальный крутящий момент на выходном валу (кгс*м)	100(10)
Частота вращения вала (об/мин)	24
Мощность (кВт)	0,25
Номинальный ток (А)	1,8
Пусковой ток (А)	7
Вес (кг)	32

В корпусе данного электропривода установлены: червячный редуктор, который состоит из червячного вала и червячного колеса, размещенного на выходном валу, ограничитель хода выходного вала, двухсторонняя муфта ограничения крутящего момента (моментная муфта), а также клеммная колодка контактных соединений. К корпусу крепятся: электродвигатель и монтажный фланец.

### **2.1.5 Выбор запорного клапана**

Для данной системы подходит клапан запорный 15с922п Ду 80 (рисунок 8).

Клапан (вентиль) запорный стальной сальниковый фланцевый с электроприводом 15с922п Ду80 Ру40 предназначен для дистанционного открытия или закрытия трубопровода при аварийной ситуации или же по технологическим требованиям.

Технические характеристики на вентиль 15с922п Ду80:

Максимальное давление: 40 атм;

Рабочая температура: -40..+150 град С;

Рабочая среда: жидкости и газы, неагрессивные к материалам клапана;

Материал корпуса, диска, крышки: сталь 25;

Материал седла, шпинделя: нержавеющей сталь;

Присоединение: фланцевое;

Уплотнение: фторопласт-4.



Рисунок 8 - Клапан 15с922п Ду 80

Данный клапан также оснащен электроприводом ГЗ-А.100.

Плюс к этому, был подобран обратный клапан. Обратный клапан Ду80 (рисунок 9) предназначен для предотвращения обратного хода среды в трубопроводе. Обратный клапан IDRA BSV устанавливается в системах водоснабжения и водоотведения. Шаровую конструкцию особенно часто применяют в насосных канализационных системах. Корпус выполнен из ковкого чугуна GGG40, шар - обрезиненный NBR (EPDM) чугун GG25.



Рисунок 9 - Обратный клапан IDRA BSV Ду80

## 2.2 Выбор измерительных преобразователей и датчиков

### 2.2.1 Выбор датчиков температуры

В данной работе используются ДТС-И (рисунок 11) с унифицированными выходными сигналами 4-20 мА.

Датчики предназначены для непрерывного измерения температуры жидких, паро- и газообразных сред, сыпучих материалов и твердых тел в различных отраслях промышленности и преобразования значения температуры в унифицированный сигнал 4-20 мА по ГОСТ 13384-94. Схема подключения представлена на рисунке 10.

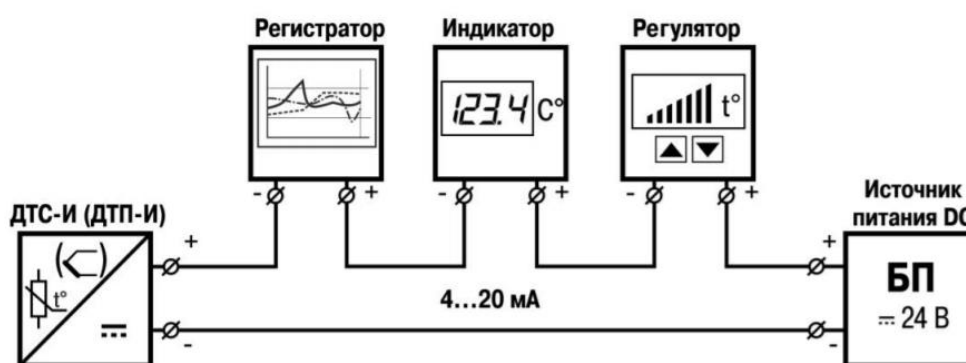


Рисунок 10 – Схема подключения

Датчик имеет следующие характеристики:

- номинальное значение напряжения питания 24В;
- диапазон выходного тока 4-20 мА;
- диапазон допустимых напряжений питания 12 – 36В;



Рисунок 11 – Термопреобразователь ДТС-И

### 2.2.2 Выбор датчиков давления

В ходе работы, были выбраны датчики давления модели ПД100-ДИ-181 (рисунок 12) от компании ОВЕН, на диапазон давления от 0 до 1 МПа.



Рисунок 12 – Датчик давления ПД100-ДИ-181

Датчики ОВЕН ПД100-ДИ моделей 181 представляют собой преобразователи давления с измерительной мембраной из нержавеющей стали AISI 316L, сенсором на основе технологии КНК и кабельным вводом стандарта EN175301-803 (DIN43650 A) [9].

Данные модели характеризуются повышенной точностью измерения (от  $\pm 0,5\%$  ВПИ), устойчивостью к гидроударам и относительно низким выходным

шумом (не более  $\pm 16$  мкА). Преобразователи данных моделей предназначены для систем автоматического регулирования и управления на основных и вторичных производствах в промышленности: гидро- и пневмосистемах, системах водоподготовки и теплоснабжения, котельной автоматике, автоматике водоканалов, тепловых пунктах, объектах газового хозяйства и т.п., где требуется повышенная точность и стабильность выходного сигнала. Схема подключения представлена на рисунке 13.

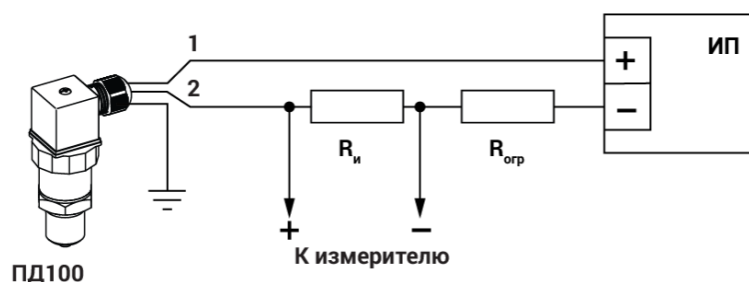


Рисунок 13 – Схема подключения ПД100

Основные характеристики общепромышленного преобразователя ПД100-ДИ:

- измерение избыточного давления нейтральных к нержавеющей стали AISI 316L (AISI 304S) сред (газы, пар, вода, слабоагрессивные жидкости).
- основная приведенная погрешность – 0,5; 1,0 % ВПИ.
- преобразование давления в унифицированный сигнал постоянного тока 4...20 мА.
- верхний предел измеряемого давления (ВПИ) – от 16 кПа до 40 МПа.
- перегрузочная способность – не менее 200% ВПИ.
- степень защиты корпуса и электроразъема преобразователя – IP65.
- помехоустойчивость удовлетворяют требованиям к оборудованию класса А по ГОСТ 30804.6.2-2013.

### 2.2.3 Выбор датчика уровня воды

Для данной системы был выбран поплавковый датчик уровня воды ПДУ (рисунок 14) от компании ОВЕН.



Рисунок 14 – Поплавковый датчик уровня ПДУ

Датчик предназначен для сигнализации уровня жидкости. ОВЕН ПДУ применяются в составе систем контроля и регулирования жидкости. Схема крепления представлена на рисунке 15.

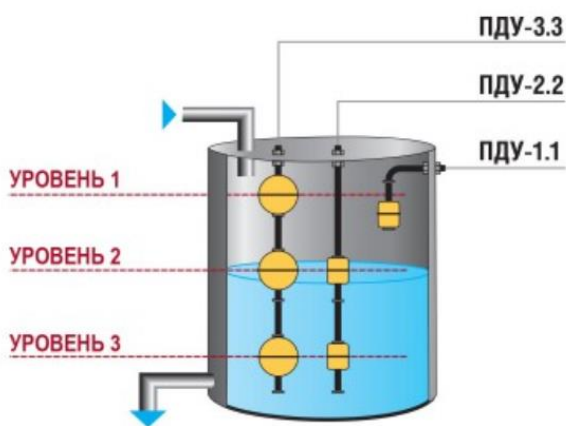


Рисунок 15 – Схема крепления

Также к нашим датчикам уровня, был добавлен сигнализатор уровня жидкости трехканальный ОВЕН САУ-М6 (рисунки 16, 17).

Сигнализатор уровня жидкости трехканальный ОВЕН САУ-М6 предназначен для автоматизации технологических процессов, связанных с контролем и регулированием уровня жидкости [11].

Прибор выпускается в корпусе настенного крепления типа Н.

Функциональные возможности сигнализатора уровня:

- Три независимых канала контроля уровня жидкости в резервуаре
- Возможность инверсии режима работы любого канала
- Подключение различных датчиков уровня – кондуктометрических, поплавковых
- Работа с различными по электропроводности жидкостями: дистиллированной, водопроводной, загрязненной водой, молоком и пищевыми продуктами (слабокислотными, щелочными и пр.)
- Защита кондуктометрических датчиков от осаждения солей на электродах благодаря питанию их переменным напряжением.

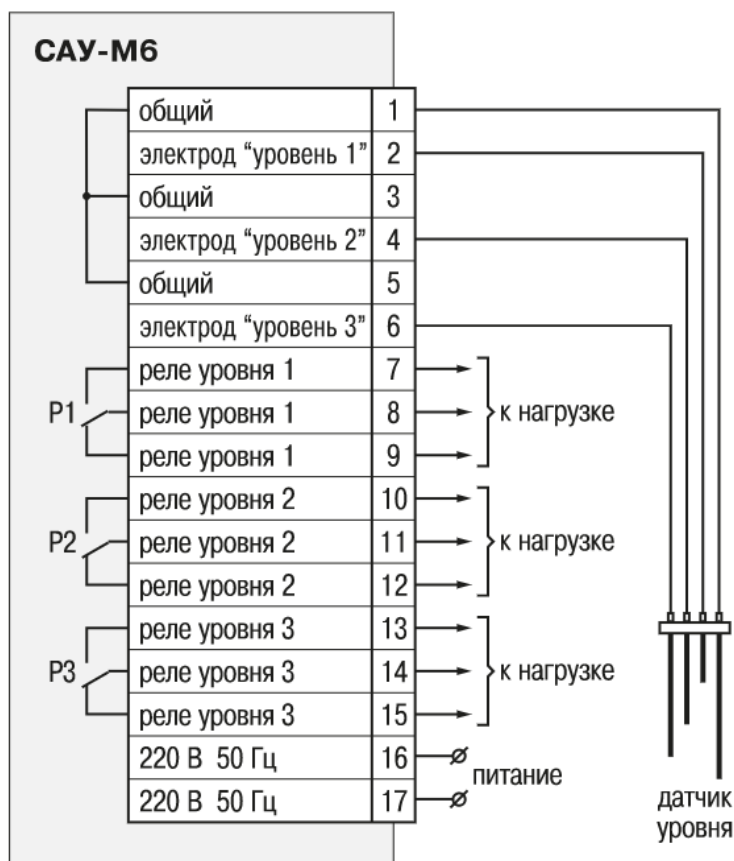


Рисунок 16 – Схема подключения САУ-М6



Таблица 6 – Технические характеристики сигнализатора

Наименование показателя	Значение
Номинальное напряжение питания прибора	220 В частотой 50 Гц
Допустимые отклонения напряжения питания от номинального значения	10...+10 %
Потребляемая мощность, не более	6 ВА
Количество каналов контроля уровня	3
Количество встроенных выходных реле	3
Максимально допустимый ток, коммутируемый контактами встроенного реле	4 А при 220 В 50 Гц ( $\cos > 0,4$ )
Напряжение на электродах датчика уровня	не более 10 В частотой 50 Гц
Сопротивление жидкости, вызывающее срабатывание канала контроля	не более 500 кОм
Тип корпуса	настенный Н
Габаритные размеры корпуса	130×105×65 мм
Степень защиты корпуса	IP44

Сигнализатор будет срабатывать, когда уровень воды в резервуаре будет достигать следующих значений уровня воды:

- 50 м<sup>3</sup> (нижний предел);
- 650 м<sup>3</sup> (верхний предел);
- 690 м<sup>3</sup> (переполнение).



Рисунок 17 - САУ-М6 3-уровневый сигнализатор жидкости

#### 2.2.4 Выбор индикаторов

Для измерения и индикации физических величин, преобразованной в унифицированный сигнал постоянного тока от 4 до 20 мА, был выбран ИТП-11 (рисунок 18).

Прибор позволяет осуществлять следующие функции:

- измерять унифицированный двухпроводный токовый сигнал от 4 до 20мА;
- масштабировать измеренный сигнал в соответствии с заданными пользователем параметрами (нижняя и верхняя границы диапазона отображения измеряемой величины, количество десятичных знаков) и индицировать его на дисплее;
- вычислять квадратный корень из измеренного значения входного сигнала;
- индицировать аварийную ситуацию в случае выхода измеренных значений за пределы от 4 до 20 мА.

Условия эксплуатации прибора:

По устойчивости к механическим воздействиям при эксплуатации прибор соответствует группе исполнения N2 по ГОСТ Р 52931.

По устойчивости к климатическим воздействиям при эксплуатации прибор соответствует группе исполнения В4 по ГОСТ Р 52931.

При этом прибор эксплуатируется при следующих условиях:

- закрытые взрывобезопасные помещения без агрессивных паров и газов;
- температура окружающего воздуха от минус 40 до +80 °С;
- верхний предел относительной влажности воздуха: не более 80 % при +35 °С и более низких температурах без конденсации влаги;
- атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа.

По устойчивости к электромагнитным воздействиям прибор соответствует требованиям по ГОСТ Р МЭК 61326-1-2014 к оборудованию класса А с критерием качества функционирования А [8].

Электрическое сопротивление изоляции электрических цепей относительно корпуса и между собой не менее 20 МОм в нормальных климатических условиях и не менее 5 МОм при температуре, соответствующей верхнему значению рабочих условий.



Рисунок 18 – Индикатор токовой петли ИТП-11

### 2.3 Выбор коммутационной аппаратуры

Электромагнитные пускатели предназначены для применения в стационарных установках для дистанционного пуска, непосредственным подключением к сети, остановки и реверсирования трехфазных асинхронных двигателем с короткозамкнутым ротором.

Для того, чтобы определиться с пускателями для пуска аппаратов воздушного охлаждения необходимо узнать номинальный ток пускателя. Для этого нужно знать технические характеристики коммутируемого двигателя.

Необходимо подобрать пускатель для двигателей АВГ, с номинальным током более чем 26.81 А. Для данных двигателей подходит ПМЛ 3100 40А 380В (рисунок 19). Этот же пускатель подходит и для двигателей насосов.



Рисунок 19 – Пускатель ПМЛ 3100

Для задвижки и клапана был выбран пускатель ПМЕ 113 на 10 А, 380 В.

Также были выбраны тепловые реле, т.к. продолжительная работа механизма на максимуме вызывает перегрев обмоток и порчу изоляции, в результате чего происходит межвитковое замыкание, перерастающее в обширное выгорание полюсов двигателя и дорогостоящий ремонт. Чтобы этого не происходило, в цепь питания устанавливается реле, которое называют тепловым.

Для двигателей насосов и АВГ были выбраны тепловые реле РТЛ-2053Д-

2-36А-(25-32А)-УХЛ4-КЭА3.

Таблица 7 – Характеристики теплового реле РЛТ-2053Д

Наименование показателя	Значение
Количество полюсов	3
Номинальный ток	36А
Диапазон регулировки теплового расцепителя	25-32А
Мощность двигателя	15кВт
Класс отключения	10А

Для задвижки и клапана были выбраны реле перегрузки тепловые РТЛ-1007-2-25А-(1,6-2,5А).

Таблица 8 – Характеристики теплового реле РТЛ-1007

Наименование показателя	Значение
Количество полюсов	3
Номинальный ток	25А
Диапазон регулировки теплового расцепителя	1,6-2,5А
Мощность двигателя	0,75кВт
Класс отключения	10А

## **2.4 Выбор управляющей аппаратуры**

### **2.4.1 Выбор ПЛК**

Программируемый логический контроллер SIMATIC S7-300 (рисунок 20) - предназначен для построения систем автоматизации низкой и средней степени сложности. Модульная конструкция контроллера S7-300, работа с естественным охлаждением, возможность применения структур локального и распределенного ввода-вывода, широкие коммуникационные возможности, множество функций,

поддерживаемых на уровне операционной системы, высокое удобство эксплуатации и обслуживания обеспечивают возможность получения оптимальных решений для построения систем автоматического управления технологическими процессами в различных областях промышленного производства.



Рисунок 20 - Программируемый логический контроллер SIMATIC S7-300

Использование нескольких типов центральных процессоров различной производительности, наличие широкой гаммы модулей ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов, функциональных модулей и коммуникационных процессоров повышает эффективность применения контроллеров SIMATIC S7-300.

Необходимо выбрать модель CPU для данного ПЛК, учитывая количество дискретных и аналоговых входов/выходов.

Для данной системы была выбрана модель CPU 312. CPU 312 предназначен для построения небольших систем управления с повышенными требованиями к скорости обработки информации. Он обеспечивает поддержку требований концепции ПИА к способам организации промышленной связи, управлению данными и диагностике. Сетевые соединения могут устанавливаться через MPI или через коммуникационные процессоры. В то же время процессор может работать и без связи с сетью. Преимущественно он использует только систему локального ввода-вывода.

Также были подобраны дискретные модули ввода и вывода, а также аналоговые модули ввода.

В качестве дискретного модуля ввода был выбран Simatic s7-300, SM 321, DI 16 x DC 24 V (6ES7321-7BH01-0AB0) (рисунок 21).

В качестве дискретного модуля вывода был выбран Simatic s7-300, SM 322, DO 16 x AC 120/230 V / 1A (6ES7322-1FH00-0AA0) (рисунок 22).

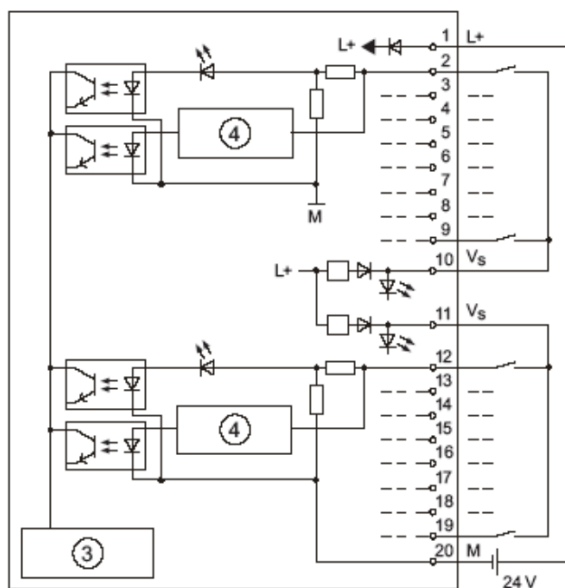


Рисунок 21 – Модуль DI (6ES7321-7BH01-0AB0)

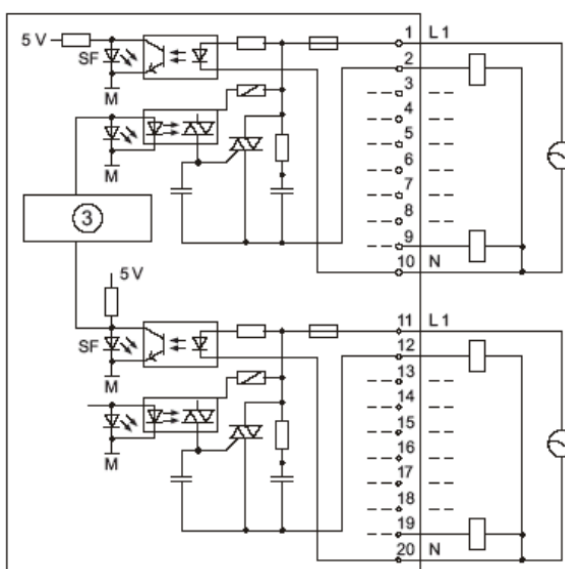


Рисунок 22 – Модуль DO (6ES7322-1FH00-0AA0)

В качестве аналогового модуля ввода, был выбран Simatic s7-300 SM 331 (рисунок 23), модуль ввода аналоговых сигналов: гальваническое разделение внешних и внутренних цепей, 8 входов u/i, 14 бит, 0,052мс/канал, прерывания, диагностика, изохронный режим, 20-полюсный фронт (6ES7331-7HF01-0AB0).

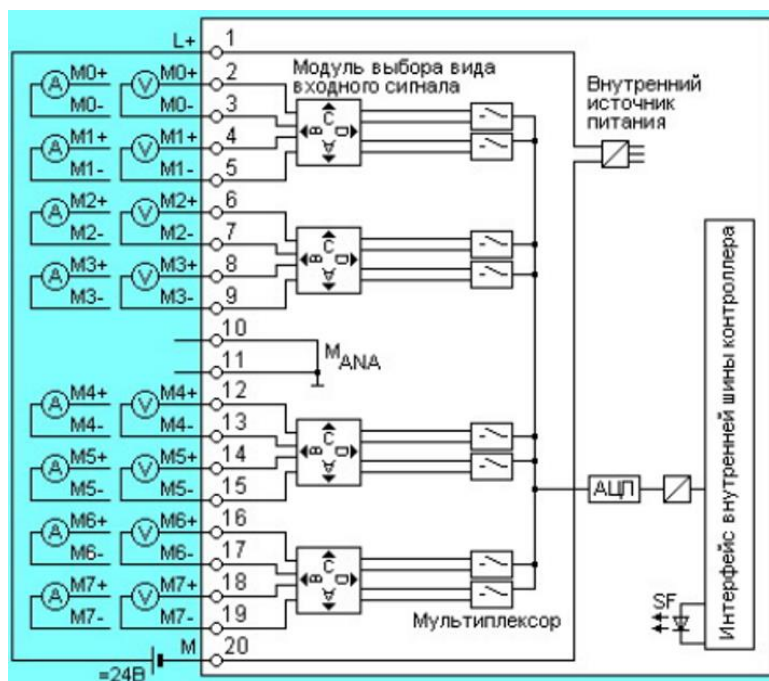


Рисунок 23 – Модуль AI (6ES7331-7HF01-0AB0)

В качестве блока питания контроллера был выбран блок PS 307 вход: ~120/230В; выход: =24В 10А (6ES7 307-1EA01-0AA0) (рисунок 24).

Стабилизированные блоки питания PS 307 с входным постоянным или переменным напряжением, с выходными напряжением 24В DC и током 10А, служат для обеспечения питания программируемых контроллеров Siemens SIMATIC S7-300, станций распределенного ввода-вывода SIMATIC ET 200M, их исполнительных устройств и цепей датчиков.





Рисунок 24 – Блок питания

#### **2.4.2 Выбор органов управления и сигнализации**

В качестве сигнальных ламп были выбраны светосигнальные индикаторы, предназначенные для индикации состояния электрических цепей. Применяются в электрощитах, промышленном оборудовании и на объектах энергоснабжения.

Для индикации в случае достижения верхнего или нижнего предела, а также переполнения воды в резервуаре, используется лампа CL-502R (рисунок 25) красная светодиодная 24V AC/DC.



Рисунок 25 - Лампа CL-502R красная светодиодная 24V AC/DC

Для индикации работы вентиляторов, насосов, подачи теплоносителя и

воды подпитки, используется лампа АВВ CL2-520G (рисунок 26) зеленая со встроенным светодиодом 220В АС/DC.



Рисунок 26 - Лампа АВВ CL2-520G зеленая

Для запуска и остановки вентиляторов и насосов, а также открытия и закрытия клапана и задвижки были выбраны кнопки АВВ СР1-30G-10 и АВВ СР1-30R-10 (рисунки 27, 28).



Рисунок 27 – Кнопка АВВ СР1-30G-10



Рисунок 28 – Кнопка АВВ CP1-30R-10

Для переключения режима управления СОВ автоматический/ручной, был подобран двухпозиционный переключатель – ЕАО серии 14, который показан на рисунке 29.



Рисунок 29 – Переключатель ЕАО-14-5А

### **2.4.3 Эскиз щита управления**

Для ручного управления, переключения режима управления, а также для мониторинга технических показателей системы оборотного водоснабжения магистральной насосной станции, был разработан эскиз щита управления (рисунок 30).

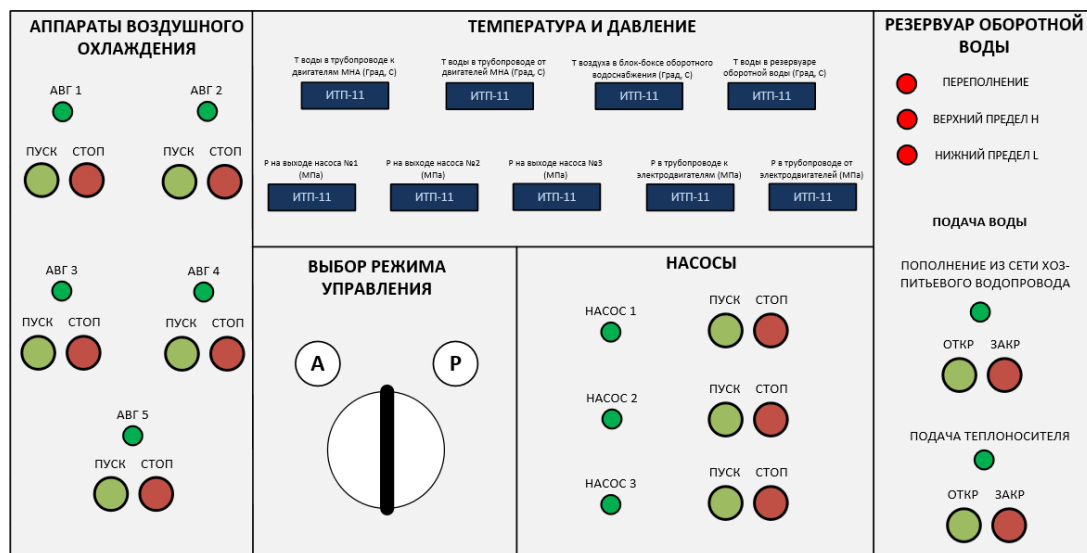


Рисунок 30 – Щит управления

Данный ЩУ позволяет включать и выключать аппараты воздушного охлаждения горизонтального типа и насосы, открывать и закрывать клапан подачи теплоносителя в резервуар оборотной воды и задвижку пополнения из хозяйственного водопровода. Также предусмотрена возможность переключения режима управления. Индикаторы показывают температуру и давления в разных частях системы. Плюс, на данном щите есть световая сигнализация, которая осведомляет о работе аппаратов воздушного охлаждения, насосов, открытии клапана и задвижки, а также нижнем и верхнем пределе уровня воды в резервуаре и его переполнении.

## 2.5 Выбор автоматических выключателей

Необходимо выбрать трехполюсные автоматические выключатели для защиты силовых цепей, двухполюсные и однополюсные для защиты цепей управления.

Автоматические выключатели также должны быть правильно подобраны, особенно при тяжелом пуске двигателя. Слишком чувствительный автомат будет выбивать при пуске, а если он наоборот взят с излишним запасом по току, то в аварийной ситуации может и не отреагировать, что приведет к повреждению кабеля, обмотки двигателя вплоть до возгорания.

Пуск для электродвигателя сопровождается повышенным током в период разгона его до номинальных оборотов, в случае перегрузки и нехватки мощности двигателя для вращения исполнительных механизмов возможно пониженное число оборотов с повышенными токами, вплоть до того, что он вообще не начнет раскручиваться. И наоборот если мощность двигателя избыточна, то потребляемый им ток будет ниже номинального.

Номинальные токи двигателей данной системы 28,6, 26,81 и 1,8 А, значит нам нужны автоматы не меньше этих значений. Типы автоматов указывают на допустимое превышение по току в пике:

- тип В – 3-5 раз;
- тип С – 5-10 раз;
- тип D – 10-50 раз.

Стоит добавить, что нужен запас по току хотя бы в 20%.

Необходимо подобрать 10 трехполюсных, 1 двухполюсный и 2 однополюсных автоматических выключателей.

Лучше использовать выключатели одной марки. Виды защитных характеристик представлены на рисунке 31.

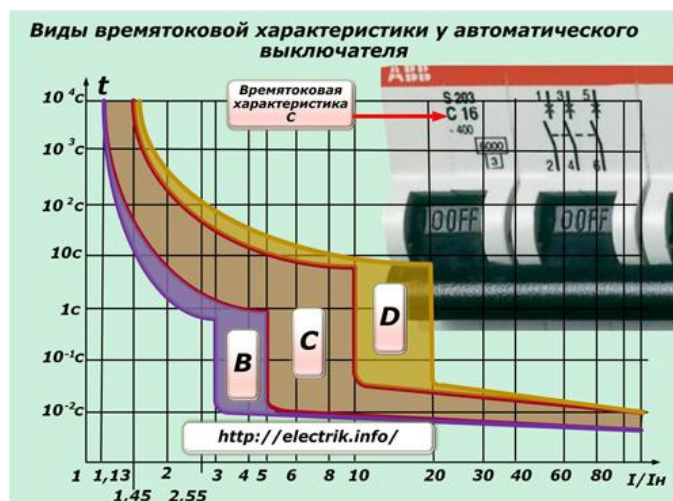


Рисунок 31 – Виды защитных характеристик автоматических выключателей

Были выбраны следующие выключатели:

- Автоматический выключатель DX3 - 16 кА 3П 32А тип С (8 штук);
- Автоматический выключатель DX3 - 16 кА 3П 3А тип С (2 штуки);
- Автоматический выключатель DX3 – 4.5 кА 1П 1А тип В (1 штуки);
- Автоматический выключатель DX3 - 10кА 1П 10А тип С (1 штука);
- Автоматический выключатель DX3 - 10 кА 2П 40А тип С (1 штука);
- Автоматический выключатель DX3 - 16 кА 3П 63А тип С (1 штука).



Рисунок 32 – Автоматический выключатель 3-х полюсный

### 3 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЙ

В ходе выполнения данной работы, была разработана принципиальная схема (рисунок 33). Данная схема представляет собой графическое изображение и показывает соединения между элементами.

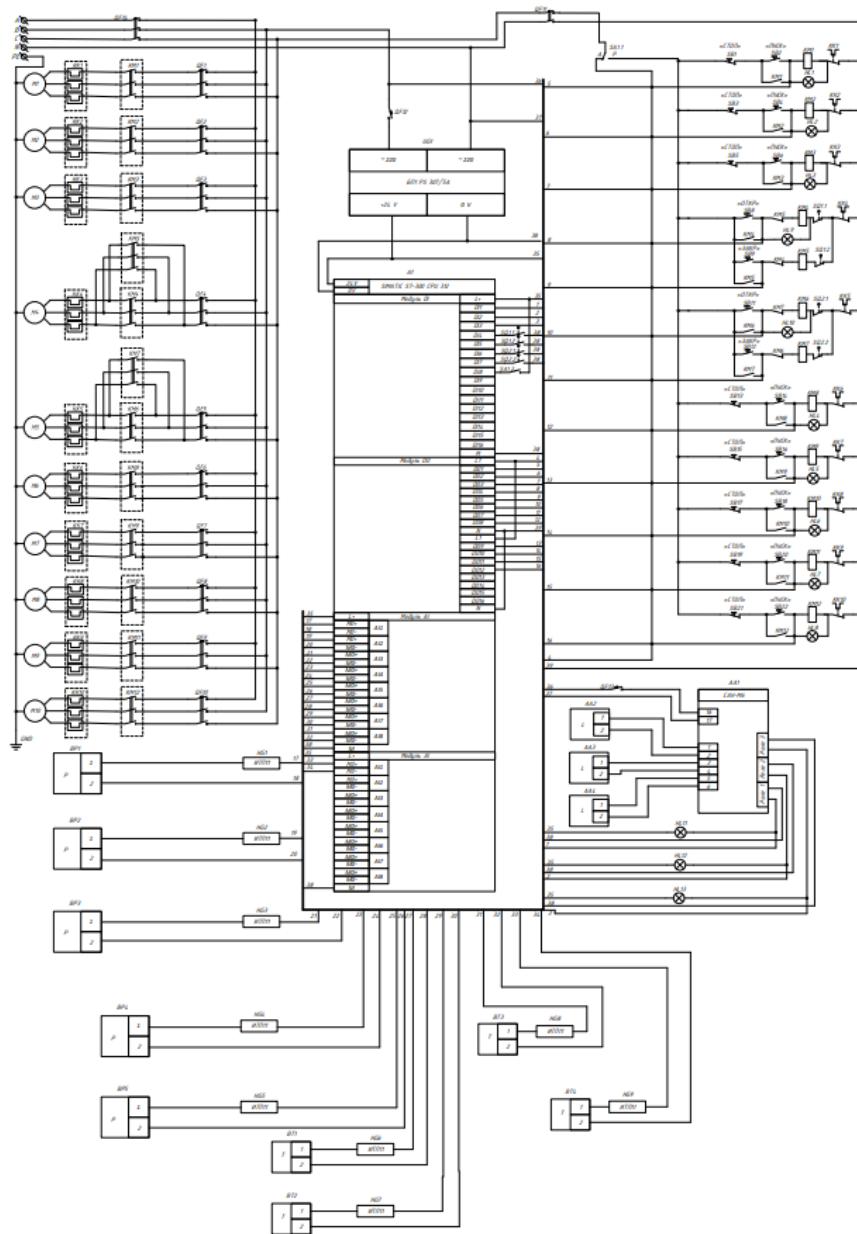


Рисунок 33 – Принципиальная схема соединений

Таблица 9 - Спецификация

Позиция	Наименование
A1	ПЛК S7-300
AA1	Сигнализатор САУ-М6
AA2, AA3, AA3	Поплавковые датчики уровня воды ПДУ
BP1-BP5	Датчики давления ПД100-ДИ-181
BT1-BT4	ДТС-И термопреобразователи
HG1-HG9	Индикаторы ИТП-11
UG1	Блок питания PS 307
SA1.1, SA1.2	Контакты переключателя ЕАО-14
HL1-HL8	Лампы АBB CL2-520G зеленые
HL9-HL11	Лампы CL-502R красные
QF1-QF3, QF6-QF10	Автоматический выключатель DX3 - 16 кА 3П 32А тип С
QF4, QF5	Автоматический выключатель DX3 - 16 кА 3П 3А тип С
QF11	Автоматический выключатель DX3 - 10 кА 2П 40А тип D
SQ1.1-SQ2.2	Концевые выключатели
QF12	Автоматический выключатель DX3 - 10кА 1П 10А тип С
QF13	Автоматический выключатель DX3 – 4.5 кА 1П 1А тип В
QF14	Автоматический выключатель DX3 - 16 кА 3П 63А тип С
SB1-SB22	Кнопки АBB CP1-30G-10 и АBB CP1-30R- 10
KM1-KM3, KM6-KM10	Пускатель ПМЛ 3100
KM4, KM5	Пускатель ПМЕ 113
KK1-KK3, KK6-KK10	Реле перегрузки тепловые РТЛ-2053Д-2
KK4, KK5	Реле перегрузки тепловые РТЛ-1007-2



## 4 РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СОВ В СРЕДЕ SIMULINK

В данной работе была использована среда Simulink для логико-математического описания технологического процесса. Simulink – является средой графического программирования на основе программы MATLAB.

Данная модель состоит из подсистем, оформленных в виде отдельных блоков.

### 4.1 Обмен данными между программами

В разработанном программном комплексе была использована технология обмена данными OPC, так как она на сегодняшний день является основным стандартом межпрограммного обмена данными в отрасли промышленной автоматизации.

Данная технология является набором спецификаций, предоставляющих универсальный механизм обмена данными в системах контроля и управления (рисунок 34). OPC-технология обеспечивает независимость потребителей от наличия или отсутствия драйверов, или протоколов, что позволяет выбирать оборудование и программное обеспечение, наиболее полно отвечающие реальным потребностям приложения.

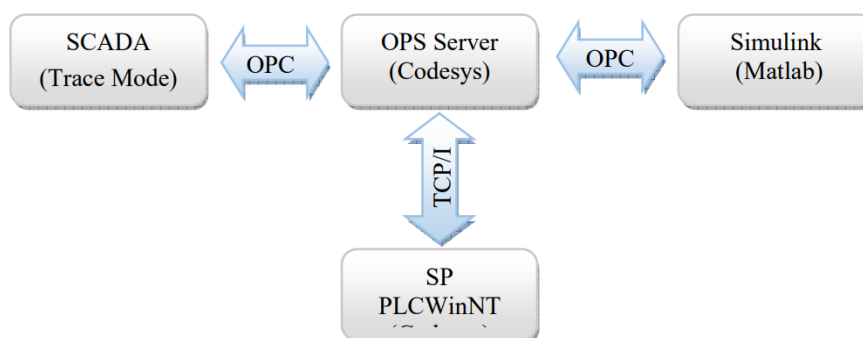


Рисунок 34 – Схема взаимодействия программ

OPC-сервер – программа, получающая данные во внутреннем формате устройства или системы и преобразующая эти данные в формат OPC. OPC-сервер является источником данных для OPC-клиентов. По своей сути OPC-сервер

– это некий универсальный драйвер физического оборудования, обеспечивающий взаимодействие с любым OPC-клиентом [13].

В общем случае OPC-сервер может быть запущен как компонент любой из трех программ (имитационного моделирования, контроллера или SCADA-системы) или быть внешним по отношению к ним. В системе может быть задействовано и более одного сервера. Каждый из вариантов имеет свои преимущества и недостатки.

Для обмена данными используется OPC-сервер CodeSys OPC 02, связанный с виртуальным контроллером PLCWinNT V2.4, который представлен на рисунке 35.

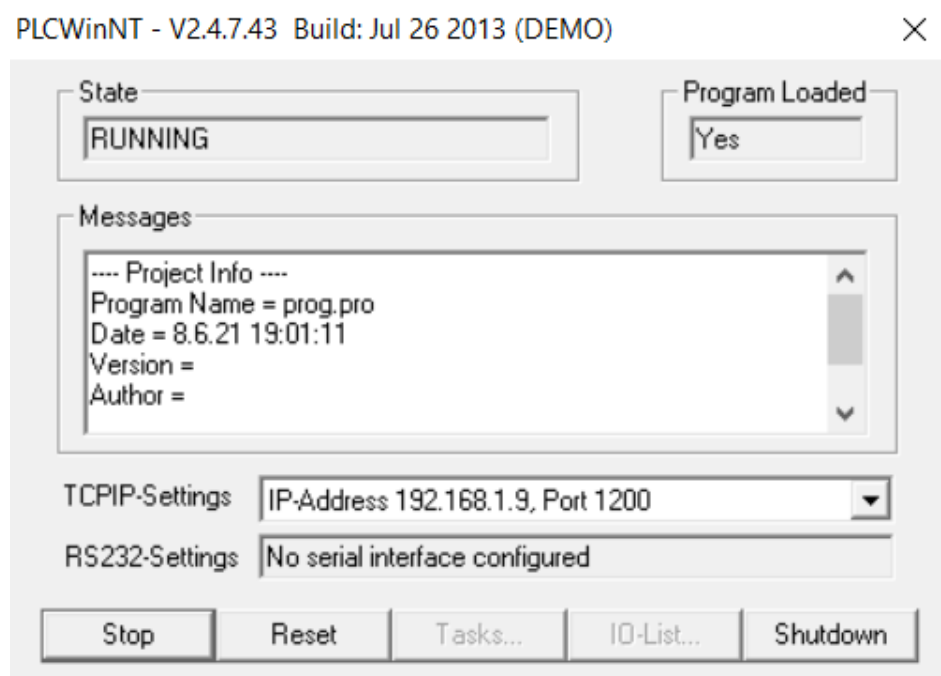


Рисунок 35 – Виртуальный контроллер PLCWinNT V2.4

Также в управляющей программе, в окне опции (рисунок 36), необходимо экспортировать те переменные проекта, которые будут использоваться для обмена данными.

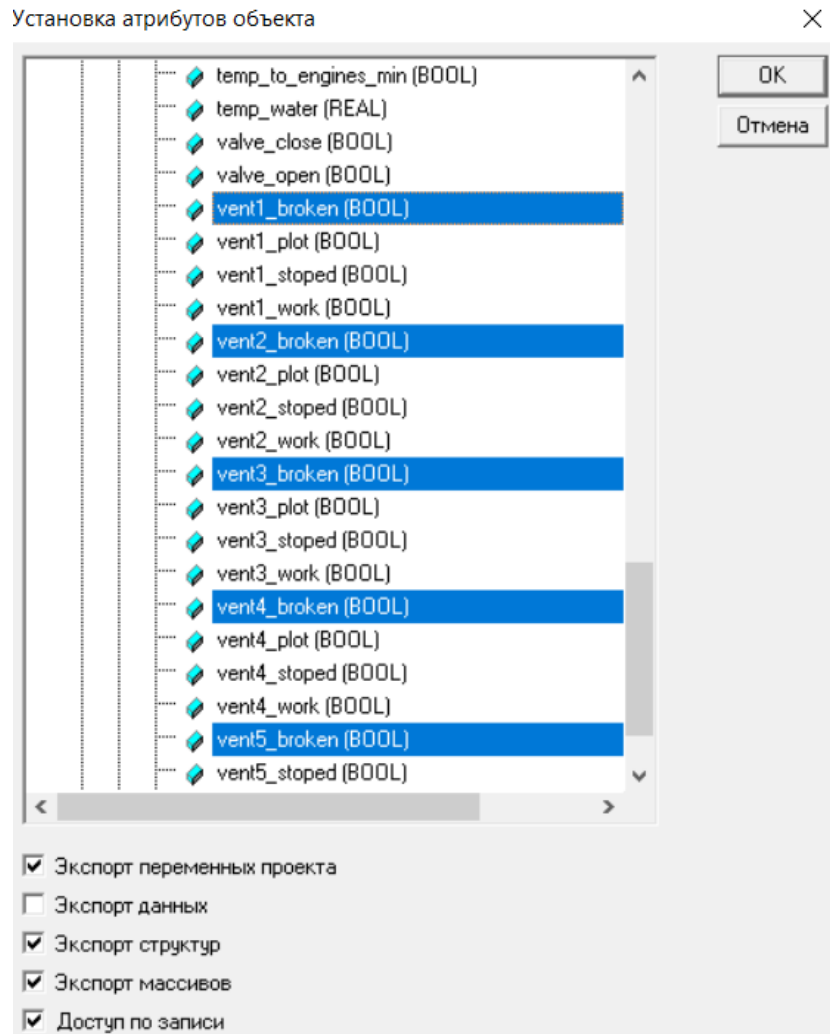


Рисунок 36 – Экспорт переменных проекта

Для ввода-вывода сигналов в Simulink используются специальные блоки из пакета OPC Toolbox [4], наличие которых в Simulink-диаграмме автоматически обеспечивает «работу» модели в реальном времени. Данные блоки в модели располагаются в разных блоках с теми переменными, которые необходимы на данном участке системы.

Настройка OPC-клиента в Matlab осуществляется через графическую утилиту орctool (рисунок 37).

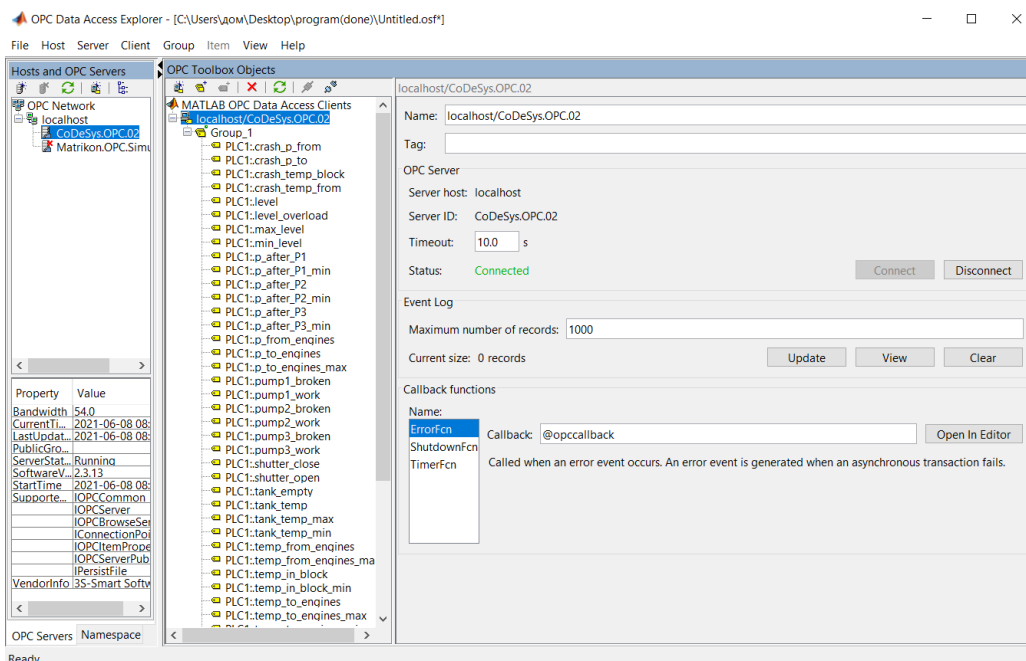


Рисунок 37 – Настройка орctool

Затем в Simulink, используя блок OPC Configuration (рисунок 38), определяем и добавляем наш OPC-сервер.

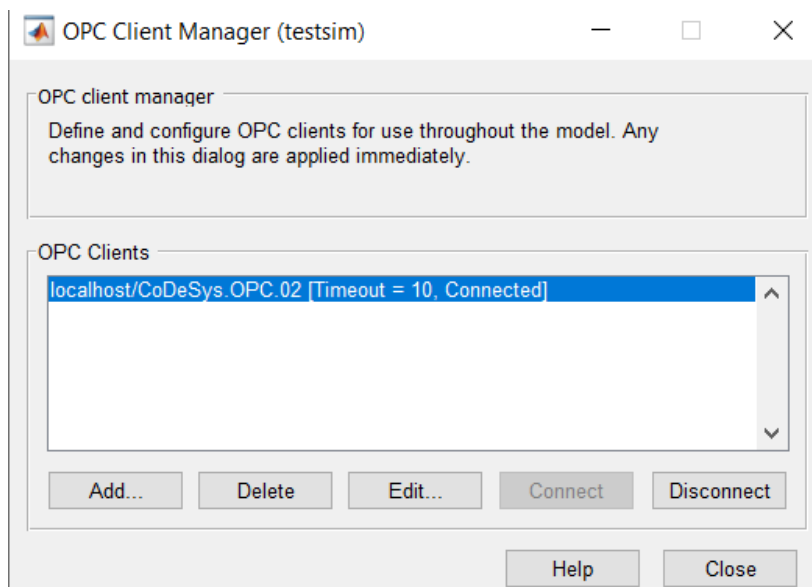
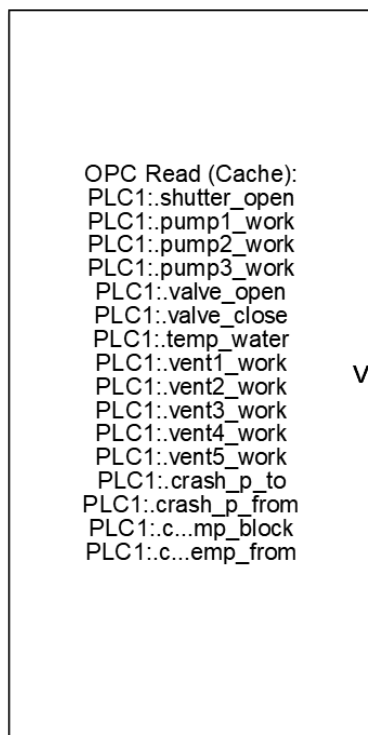


Рисунок 38 – Настройка OPC Configuration

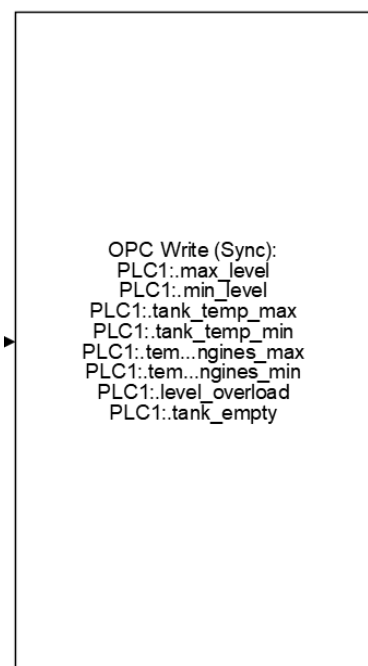
Ввод сигналов из модели Simulink осуществляется через блок OPC Read (рисунок 39).



OPC Read

Рисунок 39 – Блок OPC Read

Вывод сигналов из модели Simulink осуществляется через блоки OPC Write(boolean) и OPC Write(real) (рисунки 40, 41).



OPC Write(boolean)

Рисунок 40 – Блок OPC Write(boolean)

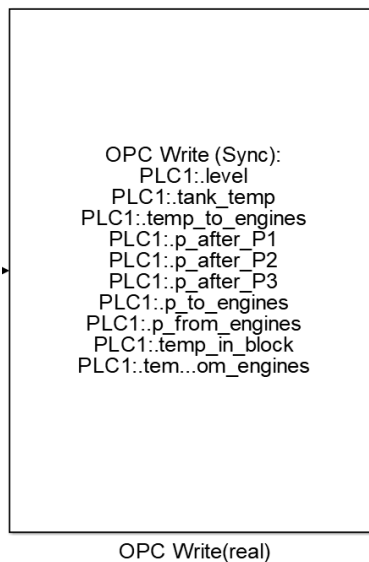


Рисунок 41 – Блок OPC Write(real)

После проделанных операций можно приступить к созданию имитационной модели.

## 4.2 Блоки Simulink

Задача разработанной модели (рисунок 42) состоит в имитации различных сигналов. Модель состоит из нескольких подсистем (рисунок 43), которые имеют свою определенную задачу.

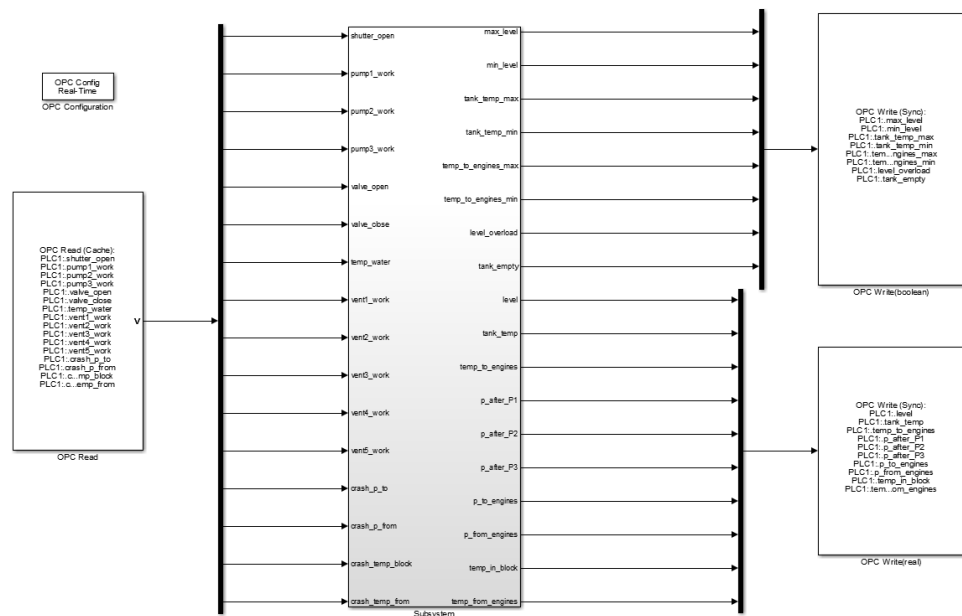


Рисунок 42 – Начальная вкладка модели Simulink

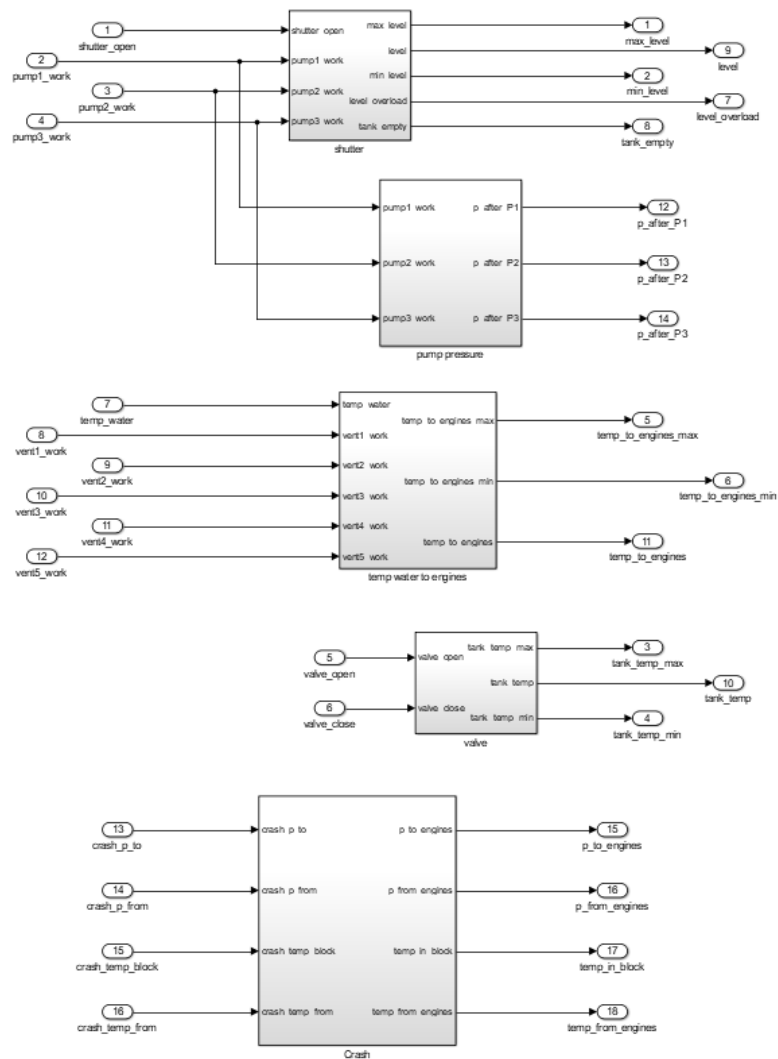


Рисунок 43 – Вкладка Subsystem

Каждая подсистема имитирует различные технологические процессы для дальнейшей работы с данными показателями.

Подсистема shutter (рисунок 44) имитирует уровень воды, ее подачу из сети хоз-питьевого водопровода, уменьшения уровня за счёт работы водяных насосов, и также модель выводит значения по достижению верхнего и нижнего предела уровня воды, а также по переполнения резервуара.

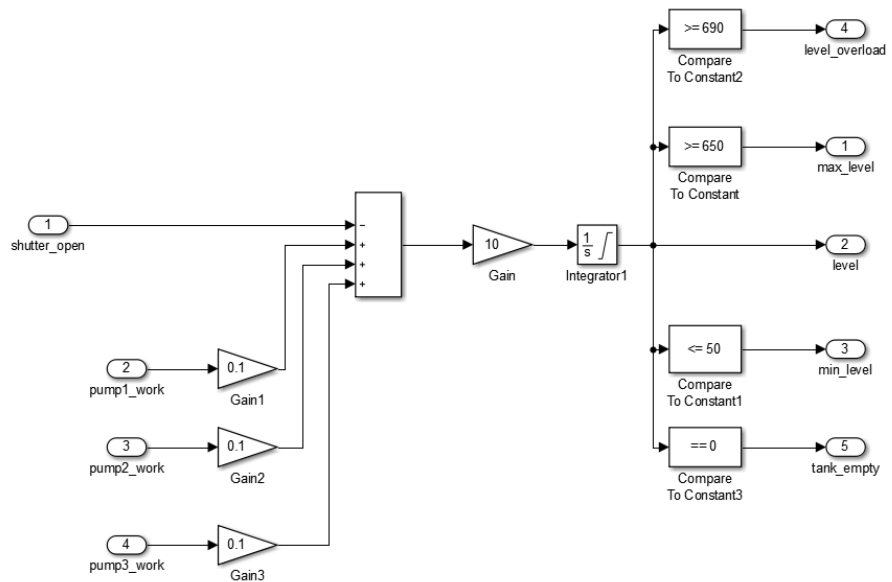


Рисунок 44 – Подсистема shutter

Подсистема pump pressure (рисунок 45) имитирует работу насосов. Если насос работает в нормальном режиме, то давление на его выходе равно 0.4 МПа. Если насос не работает, или он сломан, то значения давления будет равно нулю.

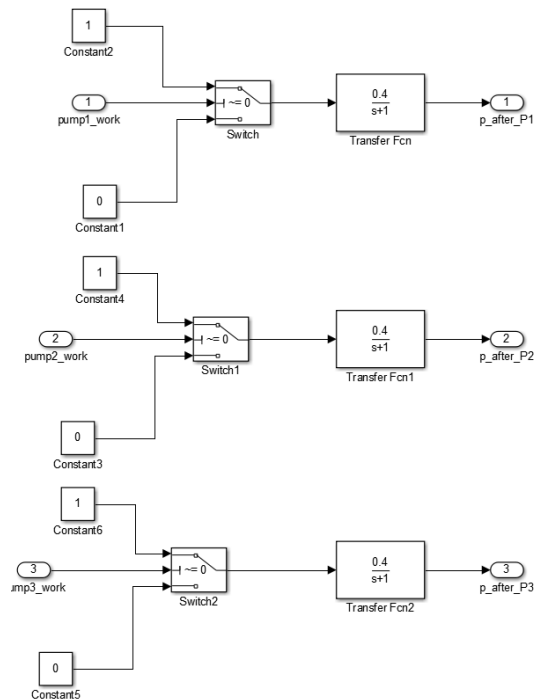


Рисунок 45 – Подсистема pump pressure

Подсистема temp water to engines (рисунок 46) имитирует изменения тем-



пературы в коллекторе, которая поступает на охлаждение двигателей. Температура меняется при: включении АВГ и изменении коэффициента воздействия. Также модель выводит верхний и нижний предел температуры.

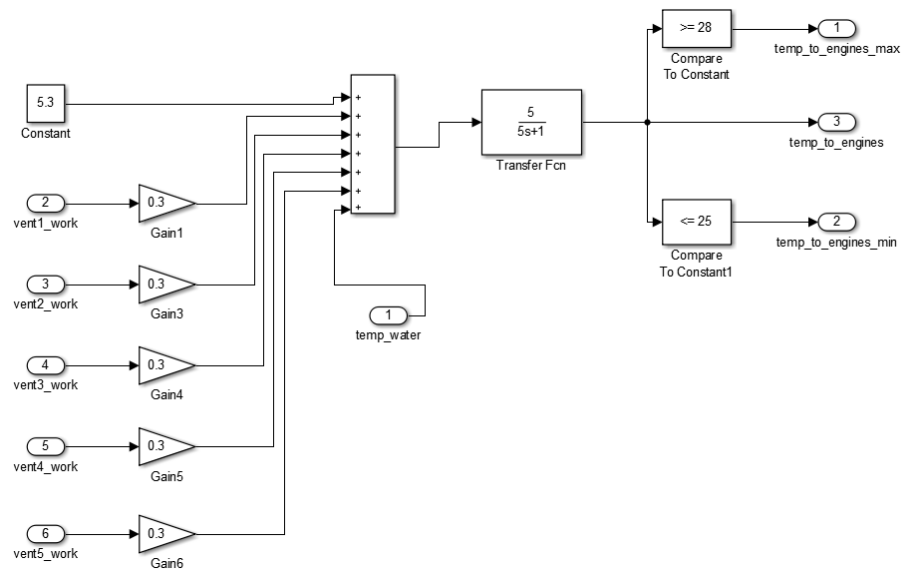


Рисунок 46 – Подсистема temp water to engines

Подсистема valve (рисунок 47) имитирует подачу теплоносителя и тем самым увеличивает температуру воды в резервуаре.

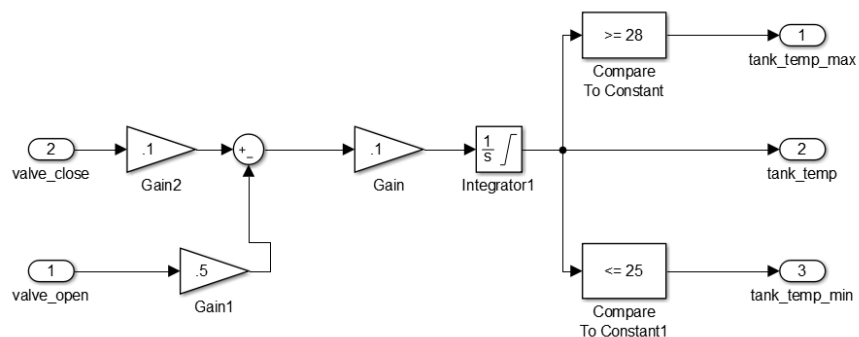


Рисунок 47 – Подсистема valve

Подсистема crash (рисунок 48) предназначена для имитации аварийных ситуаций при предельных физических показателях, а именно: предельное давление в коллекторе к двигателям, предельное давление в водопроводе от двигателей, минимальная температура в блок-боксе обратного водоснабжения, максимальная температура воды от двигателей.

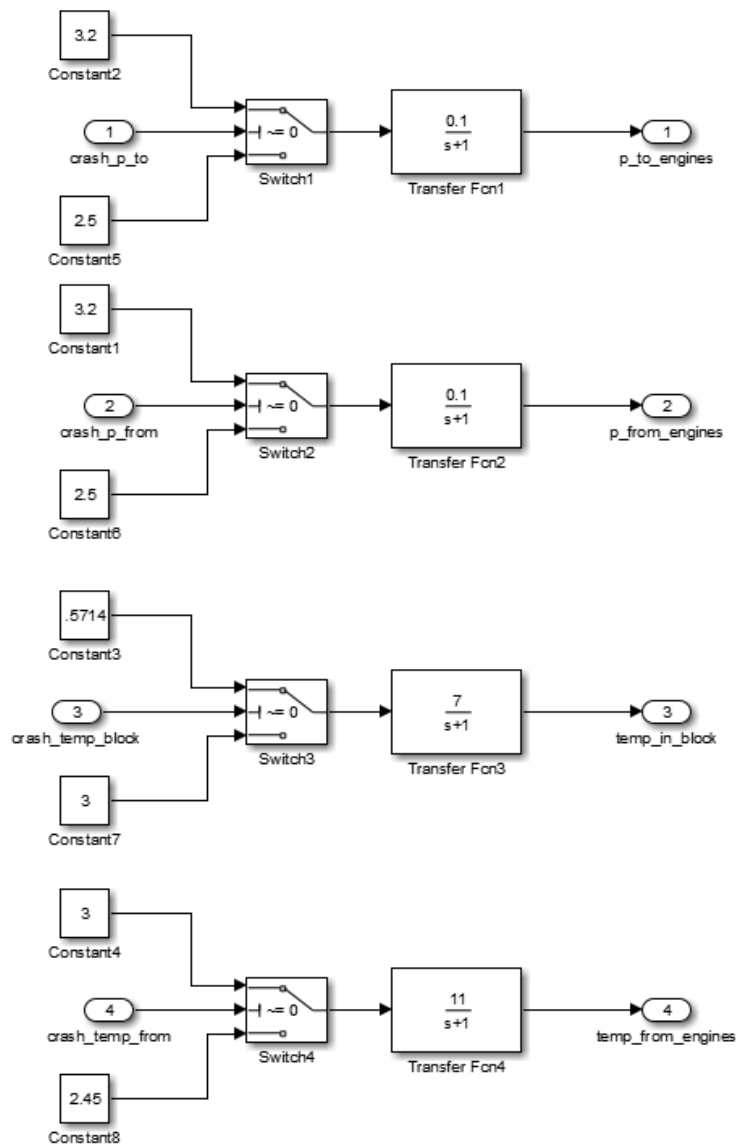


Рисунок 48 – Подсистема crash

## 5 РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ CODESYS

Управляющая программа была написана в CodeSys. CodeSys – это программный комплекс, с помощью которого можно разрабатывать приложения для программируемых контроллеров. Данная среда поддерживает 5 языков программирования стандарта МЭК 61131-3 (LD, FBD, IL, ST и SFC). Также в данный комплекс входит редактор визуализации и много других инструментов для разработки приложений и решения инженерных задач [12].

Все подпрограммы были разработаны на ЯП ST (structured text), который является высокоуровневым, строго типизированным и схож по синтаксису с такими языками, как Basic и Pascal. Данный язык хорошо подходит для написания больших разветвленных алгоритмов, а также для написания комплексных операций легким для восприятия текстом, именно поэтому он был выбран в качестве основного языка разработки.

Для управляющей программы, были разработаны блок-схемы алгоритмов автоматического управления и регулирования данной системой. Данные алгоритмы описывают работу программы управления АВГ в автоматическом режиме и регулирование температуры и уровня воды в резервуаре. Полный алгоритм управляющей программы см. ПРИЛОЖЕНИЕ Г.

Все глобальные переменные (рисунки 49, 50) были названы так, чтобы их имена кратко описывали их предназначения, и другой разработчик мог понять для чего они нужны.

```

Global_Variables
0001 VAR_GLOBAL
0002
0003 (*КНОПКИ (насосы)*)
0004 SB_P1, SB_P2, SB_P3:BOOL;
0005
0006 (*КНОПКИ (клапан и задвижка)*)
0007 SB_shutter, SB_valve: BOOL;
0008
0009 (*КНОПКИ (авг)*)
0010 SB_V1, SB_V2, SB_V3, SB_V4, SB_V5:BOOL;
0011
0012 (*ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ*)
0013 SA_auto:BOOL;
0014 auto:BOOL;
0015 manual:BOOL;
0016
0017 (*НАСОСЫ*)
0018 pump1_work, pump2_work, pump3_work: BOOL;
0019
0020 (*АВГ*)
0021 vent1_work, vent2_work, vent3_work, vent4_work, vent5_work: BOOL;
0022
0023 (*ЗАДВИЖКА И КЛАПАН*)
0024 shutter_open, valve_open:BOOL;
0025 shutter_close, valve_close:BOOL;
0026
0027 (*Резервуар*)
0028 max_level, min_level: BOOL;
0029 level: REAL;
0030 tank_temp:REAL;
0031 tank_temp_max:BOOL;
0032 tank_temp_min:BOOL;
0033 level_overload:BOOL;
0034 tank_empty:BOOL;
0035

```

Рисунок 49 – Глобальные переменные (часть 1)

```

Global_Variables
0035
0036 (*Температура*)
0037 temp_to_engines: REAL;
0038 temp_to_engines_max: BOOL;
0039 temp_to_engines_min: BOOL;
0040 temp_from_engines:REAL;
0041 temp_in_block:REAL;
0042
0043 (*Давление*)
0044 p_after_P1:REAL;
0045 p_after_P2:REAL;
0046 p_after_P3:REAL;
0047 p_from_engines:REAL;
0048 p_to_engines:REAL;
0049
0050 (*--Аварии и воздействие--*)
0051 pump1_broken:BOOL;
0052 pump2_broken:BOOL;
0053 pump3_broken:BOOL;
0054 temp_water:REAL;
0055 crash_temp_from, crash_temp_block, crash_p_from, crash_p_to:BOOL;
0056 vent1_broken, vent2_broken, vent3_broken, vent4_broken, vent5_broken:BOOL;
0057 vent1_plot, vent2_plot, vent3_plot, vent4_plot:BOOL;
0058
0059 END_VAR
0060

```

Рисунок 50 – Глобальные переменные (часть 2)

## 5.1 Окна визуализации

Окно viz (рисунок 51) представляет собой визуализацию щита управления системой. Щит, реализованный в данном окне, позволяет переключать режим управления, включать АВГ и насосы, подавать воду в качестве теплоносителя и для пополнения уровня в резервуаре оборотной воды, отслеживать показатели системы.

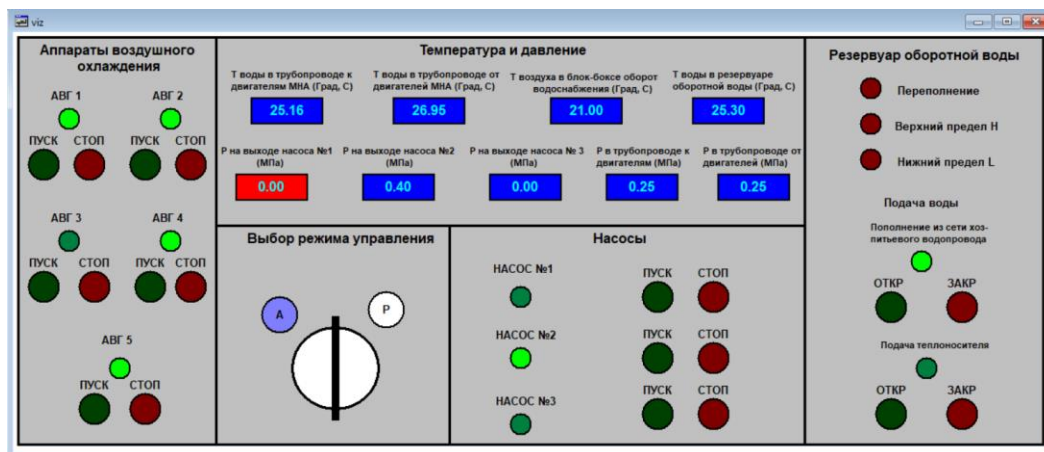


Рисунок 51 – Визуализация щита управления

Окно tank (рисунок 52) предназначено для наглядного отображения уровня и температуры воды в резервуаре. Данная визуализация работает следующим образом: когда температура опускается до минимума или наоборот поднимается до максимума, загораются индикаторы красным цветом.



Рисунок 52 – Визуализация значений уровня и температуры воды резервуара

Окно crash (рисунок 53) позволяет имитировать различные аварии, поломки оборудования, а также воздействовать на температуру воды в коллекторе, которая направляется для охлаждения двигателей.

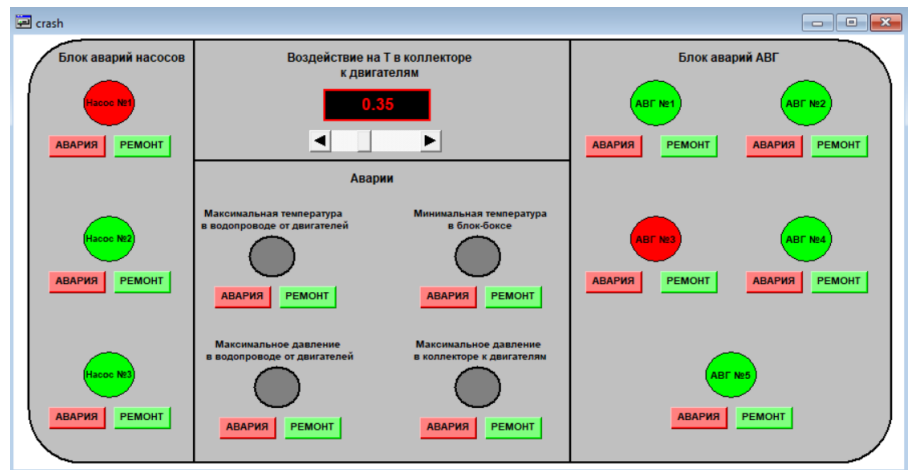


Рисунок 53 – Визуализация блока имитации аварий

Данная визуализация была разработана для тестирования системы при различных неполадках и авариях, иными словами, для демонстрации поведения системы при нештатных ситуациях.

### 5.2 Подпрограмма Switch

Подпрограмма Switch (рисунок 54) предназначена лишь для переключения режима управления с ручного на автоматический и наоборот.

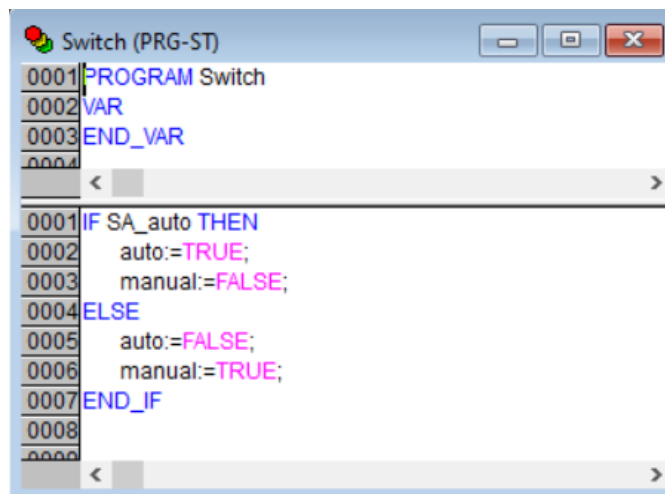


Рисунок 54 – Подпрограмма Switch

### 5.3 Подпрограмма Buttons

В подпрограмме Buttons реализуется ручное управление. Стоит отметить, что при нажатии на кнопки ПУСК, СТОП, ОТКР и ЗАКР в окне визуализации viz, выполняется программа (рисунки 55, 56), которая присваивает TRUE или FALSE в зависимости от контекста.

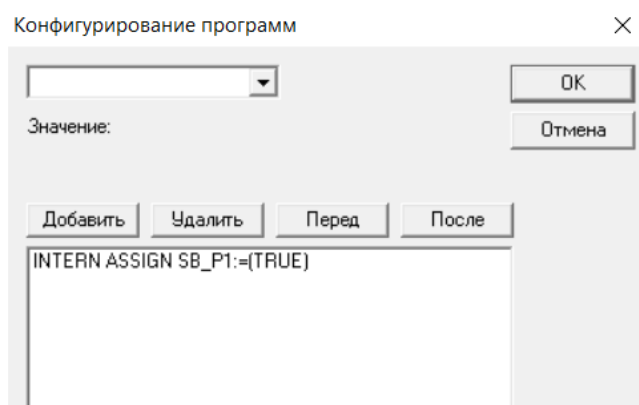


Рисунок 55 – Выполнение программы при нажатии кнопки ПУСК  
Данные действия были сделаны для уменьшения объема кода.

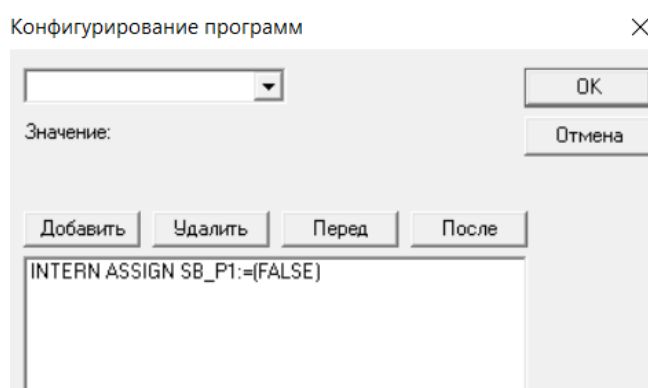


Рисунок 56 – Выполнение программы при нажатии кнопки СТОП  
Данная подпрограмма осуществляет только ручное управление. При нажатии на кнопки включаются или отключаются АВГ, насосы, открываются или закрываются задвижка и клапан.

Полный листинг данной подпрограммы см. ПРИЛОЖЕНИЕ А.

#### **5.4 Подпрограмма Auto\_mode**

В данной подпрограмме осуществляются следующие алгоритмы: автоматического регулирования температуры и уровня воды в резервуаре, автоматическое управление АВГ. Также алгоритм управления реагирует и подстраивается под различные поломки оборудования и аварийные ситуации.

Данная САР температуры и уровня воды в резервуаре осуществляется следующим образом:

- 1) Для начала идет проверка уровня воды в резервуаре, если уровень достиг

минимального предела, то открывается подача воды из сети хоз-питьевого водопровода, иначе если уровень равен верхнему пределу, подача воды закрывается.

2) Затем идет проверка температуры воды, если температура достигла минимального предела, то открывается подача теплоносителя, иначе если температура равна максимальному пределу, подача теплоносителя закрывается.

Автоматическое управление АВГ имеет более комплексный алгоритм управления:

Во-первых, работа алгоритма невозможна, если произошла какая-либо авария, так как это приводит к критическим технологическим показателям. В этом случае работа программы останавливается до тех пор, пока не будет проведена работа по устранению неполадок, и пока технологические показатели не вернуться в нормальный диапазон значений.

Во-вторых, автоматическое управление АВГ возможно только при работе одного из насосов. В противном случае, все АВГ отключаются.

Если все эти проблемы отсутствуют, то подпрограмма начинает выполнять свой алгоритм.

Если температура воды в коллекторе, которая идет на охлаждение двигателей, больше или равна 28 градусам, то включается АВГ №1. Затем если через 3 минуты температура не опустилась до 25 градусов или даже ниже, то включается АВГ №2 и так может продолжаться до АВГ №5. Если температура достигла 25 градусов, все АВГ отключаются.

Стоит учитывать, что данная управляющая программа способна имитировать поломку АВГ. При таких действиях, алгоритм будет запускать в работу только исправное оборудование. Если при работе АВГ, включается имитация каких-либо аварий, или поломка всех насосов, то все АВГ отключаются. Работа возобновляется только при ремонте хотя бы одного насоса и устранений аварий.

Полный листинг данной подпрограммы см. ПРИЛОЖЕНИЕ А.



## 6 РАЗРАБОТКА SCADA-СИСТЕМЫ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ TRACE MODE

Создание SCADA-систем занимает особое место в разработке АСУ ТП. SCADA является важным инструментом создания ПО для автоматизации контроля и управления технологическим процессом в режиме реального времени.

Разработанная система была создана в программном комплексе Trace mode и предназначена для следующих целей:

- Мониторинга показателей технологического процесса;
- Оповещения об авариях и поломке оборудования;
- Архивации данных.

Для начала работы необходимо добавить переменные с OPC сервера в пункте источники (рисунок 57).

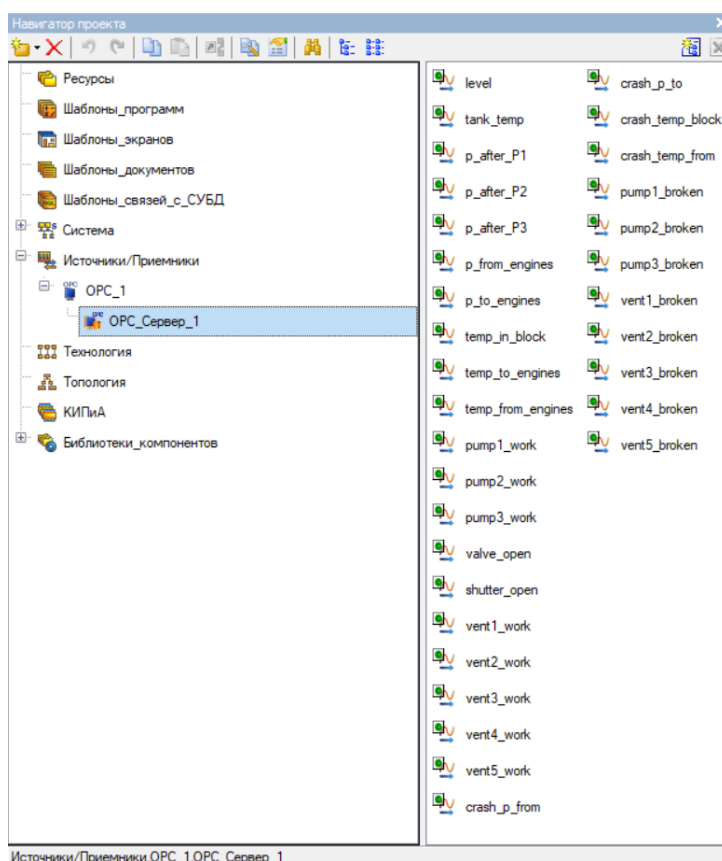


Рисунок 57 – Источники данных

OPC переменные являются типом REAL в Trace mode, чтобы сделать их FLOAT, необходимо ввести каналы такого типа (рисунок 58) и привязать их к OPC переменным.

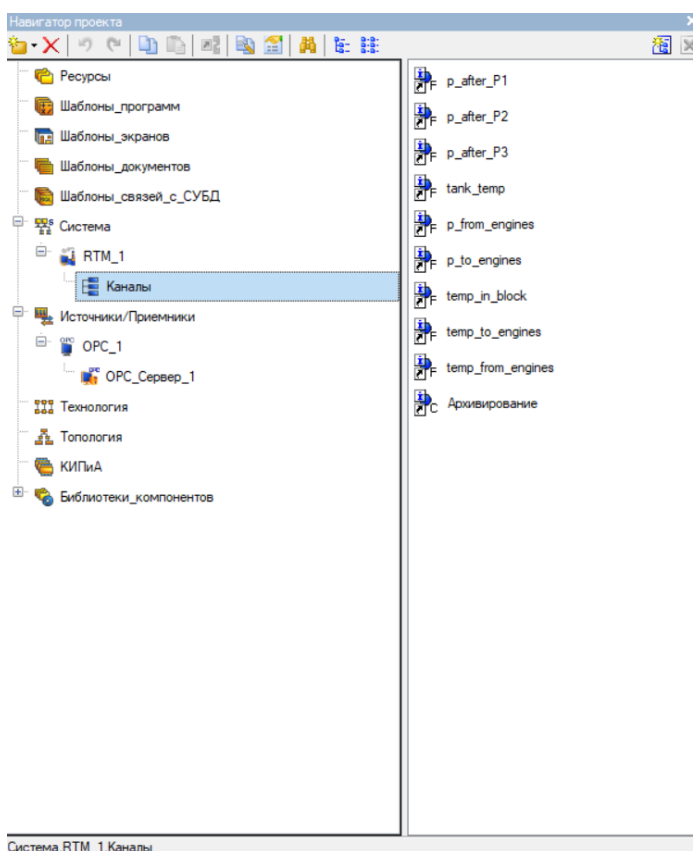


Рисунок 58 – Каналы FLOAT

После всех этих небольших операций можно приступить к созданию экранов данной системы.

### 6.1 Экран отображения технологического процесса

Данный экран разработан с целью мониторинга следующих показателей технологического процесса:

- уровень в резервуаре оборотной воды;
- температура воды в резервуаре
- давление на выходе насосов
- температура в блок-боксе
- температура воды в водопроводе от двигателей
- давление в водопроводе от двигателей

- давление в коллекторе к двигателям

Плюс к этому, были добавлены индикаторы, которые показывают работу устройств при зеленом цвете и их остановку при красном цвете.

Для отображения всех этих данных необходимо, для каждого объекта создать переменную и привязать ее к float-каналу или к орс-источникам. Эта операция показана на рисунке 59.

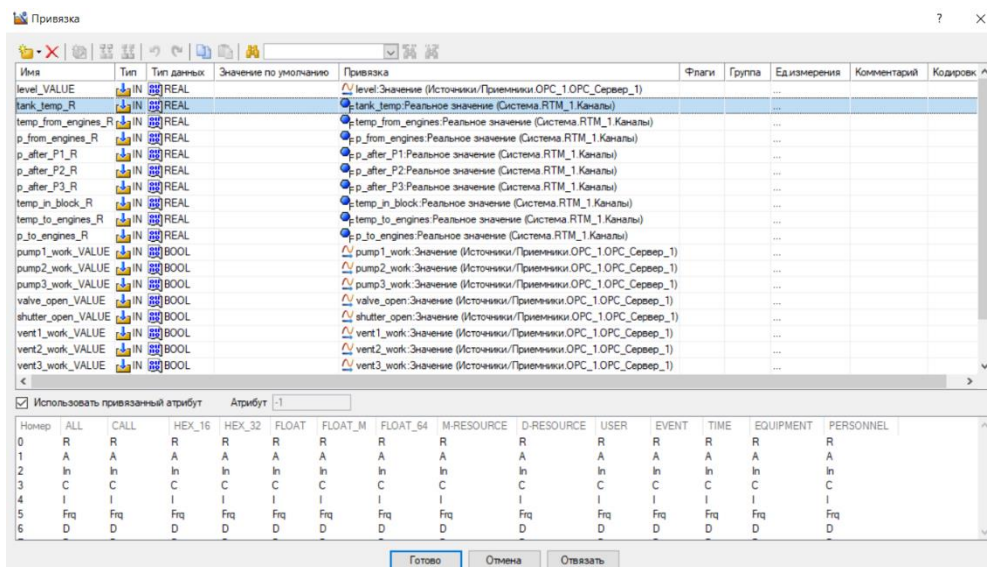


Рисунок 59 – Привязка переменных экрана технологического процесса

После всех этих действий можно запускать программу и наблюдать за производственным процессом, изменением различных значений, как показано на рисунке 60.

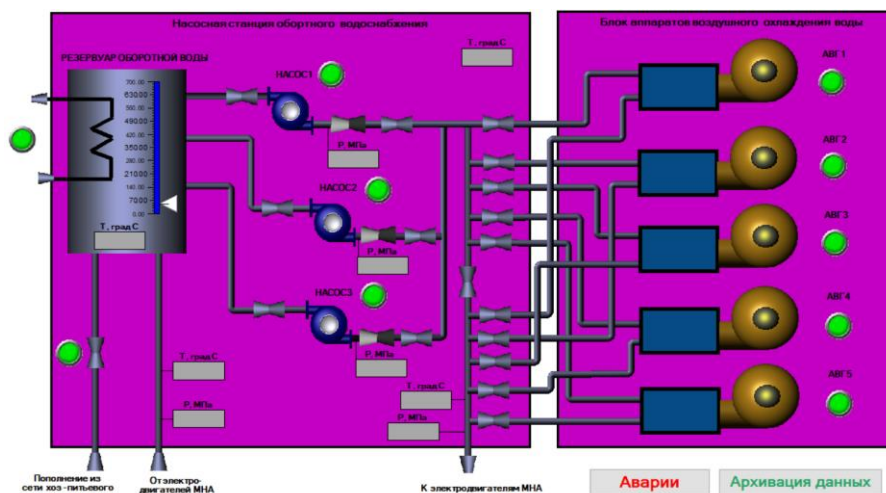


Рисунок 60 - Экран технологического процесса

## 6.2 Экран аварий и поломок

По задумке данной работы, система позволяет имитировать различные аварии, что в свою очередь может привести к остановке работы алгоритма автоматического управления.

Помимо этого, можно имитировать поломки насосов и аппаратов воздушного охлаждения. На эти действия будет реагировать алгоритм программы, например, при поломке первого насоса может включить второй.

Для отображения всех поломок и различных аварий, был разработан специальный экран, который показан на рисунке 61.



Аварии	
Максимальная температура в водопроводе от двигателей	<input checked="" type="checkbox"/>
Минимальная температура в блок-боксе	<input checked="" type="checkbox"/>
Максимальное давление в водопроводе от двигателей	<input checked="" type="checkbox"/>
Максимальное давление в коллекторе к двигателям	<input checked="" type="checkbox"/>
Насос 1	<input checked="" type="checkbox"/>
Насос 2	<input checked="" type="checkbox"/>
Насос 3	<input checked="" type="checkbox"/>
АВГ 1	<input checked="" type="checkbox"/>
АВГ 2	<input checked="" type="checkbox"/>
АВГ 3	<input checked="" type="checkbox"/>
АВГ 4	<input checked="" type="checkbox"/>
АВГ 5	<input checked="" type="checkbox"/>

Рисунок 61 – Экран отображения аварий и поломок

Также были созданы переменные для каждого индикатора и к ним привязаны соответствующие орс-источники. Это показано на рисунке 62.

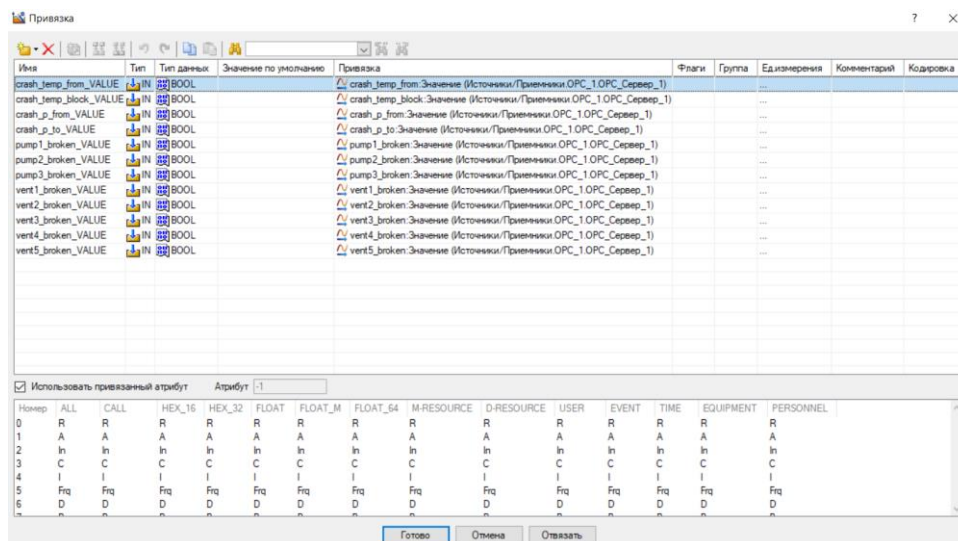


Рисунок 62 – Привязка переменных экрана аварий

### 6.3 Экран архивирования данных

В разработанной SCADA-системе также добавлен третий экран, который отображает таблицу архивации.

Архивация данных может быть полезна в случаях, когда необходимо создать составной отчет, передать данные в другое приложение. Среда Trace mode позволяет проделать такую операцию.

Разработанная программа архивирует данные только в текстовый файл, так как это достаточно для данной работы, но Trace Mode также позволяет архивировать данные в html и xml документы.

В данной работе используется локальный СПАД, который сохраняет на диске значения каналов текущего узла для последующего анализа данных. В СПАД фиксируются изменения реальных значений, а именно новое значение и время. Данные обновляются циклически. Условием для записи изменения является изменения канала [6].

Для начала необходимо настроить архив СПАД 1 (рисунок 63), а именно в состоянии архива ставим TRUE и даем имя файла.

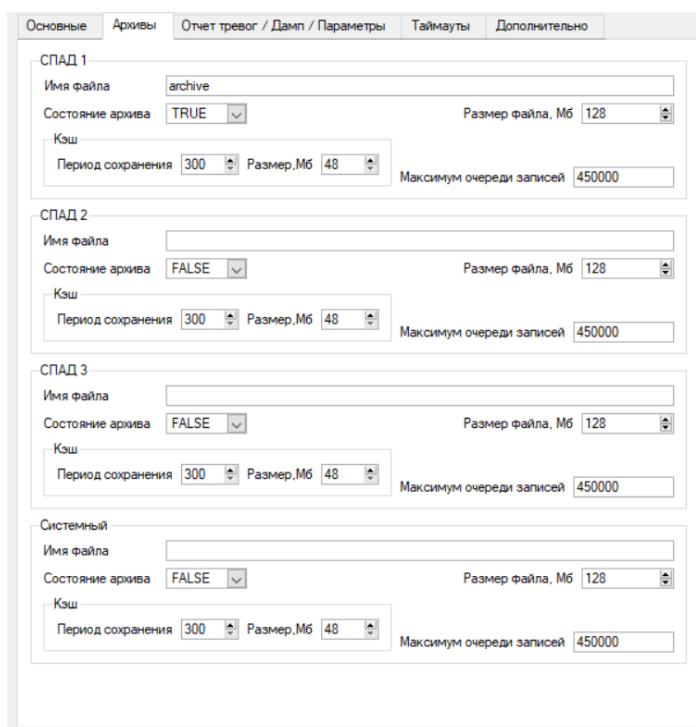


Рисунок 63 – Настройка архива

Далее в настройках каждого канала необходимо выбрать СПАД 1 (рисунок 64) в специальной вкладке архивации.

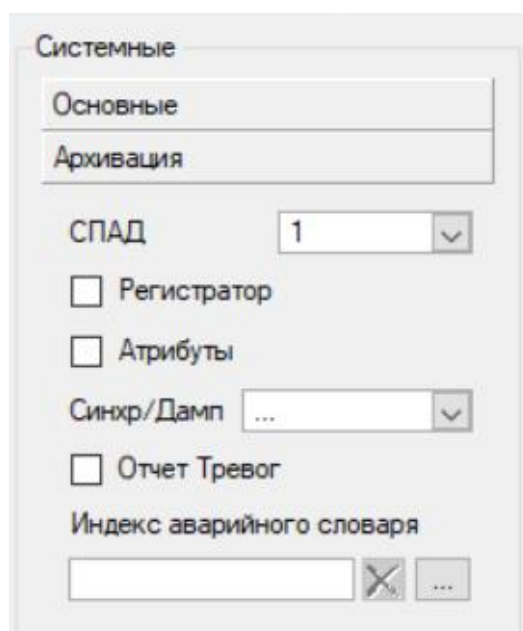


Рисунок 64 – Настройка каналов

После проделанных операций, была создана таблица архивов (рисунок 65) и к каждому столбцу привязан определенный канал (рисунок 66), который содержит в себе данные технологического процесса.

### Архивирование данных

p_after_P1	p_after_P2	p_after_P3	tank_temp	p_from_engines	p_to_engines	temp_in_block	temp_to_engines	temp_from_engines
19-10-59 0.4	19-10-59 0.4	19-10-59 0.4	19-10-59 26.4	19-10-59 0.3	19-10-59 0.3	19-10-59 4.0	19-10-59 24.3	19-10-59 33.0
19-10-59 0.4	19-10-59 0.4	19-10-59 0.4	19-10-59 26.4	19-10-59 0.3	19-10-59 0.3	19-10-59 4.0	19-10-59 24.3	19-10-59 33.0
19-10-58 0.4	19-10-58 0.4	19-10-58 0.4	19-10-58 26.4	19-10-58 0.3	19-10-58 0.3	19-10-58 4.0	19-10-58 24.4	19-10-58 33.0
19-10-57 0.4	19-10-57 0.4	19-10-57 0.4	19-10-57 26.4	19-10-57 0.3	19-10-57 0.3	19-10-57 4.0	19-10-57 24.5	19-10-57 33.0
19-10-57 0.4	19-10-57 0.4	19-10-57 0.4	19-10-57 26.4	19-10-57 0.3	19-10-57 0.3	19-10-57 4.0	19-10-57 24.5	19-10-57 33.0
19-10-56 0.4	19-10-56 0.4	19-10-56 0.4	19-10-56 26.5	19-10-56 0.3	19-10-56 0.3	19-10-56 4.0	19-10-56 24.6	19-10-56 33.0
19-10-56 0.4	19-10-56 0.4	19-10-56 0.4	19-10-56 26.5	19-10-56 0.3	19-10-56 0.3	19-10-56 4.0	19-10-56 24.7	19-10-56 33.0
19-10-55 0.4	19-10-55 0.4	19-10-55 0.4	19-10-55 26.5	19-10-55 0.3	19-10-55 0.3	19-10-55 4.0	19-10-55 24.8	19-10-55 33.0
19-10-55 0.4	19-10-55 0.4	19-10-55 0.4	19-10-55 26.5	19-10-55 0.3	19-10-55 0.3	19-10-55 4.0	19-10-55 25.0	19-10-55 33.0
19-10-54 0.4	19-10-54 0.4	19-10-54 0.4	19-10-54 26.5	19-10-54 0.3	19-10-54 0.3	19-10-54 4.0	19-10-54 25.2	19-10-54 33.0
19-10-54 0.4	19-10-54 0.4	19-10-54 0.4	19-10-54 26.5	19-10-54 0.3	19-10-54 0.3	19-10-54 4.0	19-10-54 25.3	19-10-54 33.0
19-10-53 0.4	19-10-53 0.4	19-10-53 0.4	19-10-53 26.5	19-10-53 0.3	19-10-53 0.3	19-10-53 4.0	19-10-53 25.5	19-10-53 33.0
19-10-52 0.4	19-10-52 0.4	19-10-52 0.4	19-10-52 26.5	19-10-52 0.3	19-10-52 0.3	19-10-52 4.0	19-10-52 25.6	19-10-52 32.9
19-10-52 0.4	19-10-52 0.4	19-10-52 0.4	19-10-52 26.5	19-10-52 0.3	19-10-52 0.3	19-10-52 4.0	19-10-52 25.9	19-10-52 32.9
19-10-51 0.3	19-10-51 0.3	19-10-51 0.3	19-10-51 26.5	19-10-51 0.3	19-10-51 0.3	19-10-51 4.0	19-10-51 26.1	19-10-51 32.8
19-10-51 0.3	19-10-51 0.3	19-10-51 0.3	19-10-51 26.5	19-10-51 0.3	19-10-51 0.3	19-10-51 4.1	19-10-51 26.4	19-10-51 32.7
19-10-50 0.1	19-10-50 0.1	19-10-50 0.1	19-10-50 26.5	19-10-50 0.3	19-10-50 0.3	19-10-50 4.1	19-10-50 26.7	19-10-50 32.5
19-10-50 0.0	19-10-50 0.0	19-10-50 0.0	19-10-50 26.5	19-10-50 0.3	19-10-50 0.3	19-10-50 4.2	19-10-50 27.0	19-10-50 32.1
19-10-49 0.0	19-10-49 0.0	19-10-49 0.0	19-10-49 26.5	19-10-49 0.3	19-10-49 0.3	19-10-49 4.4	19-10-49 26.8	19-10-49 31.2
19-10-48 0.0	19-10-48 0.0	19-10-48 0.0	19-10-48 26.5	19-10-48 0.3	19-10-48 0.3	19-10-48 4.7	19-10-48 26.6	19-10-48 30.0
19-10-48 0.0	19-10-48 0.0	19-10-48 0.0	19-10-48 26.5	19-10-48 0.3	19-10-48 0.3	19-10-48 5.1	19-10-48 26.4	19-10-48 28.0
19-10-47 0.1	19-10-47 0.0	19-10-47 0.0	19-10-47 26.5	19-10-39 0.3	19-10-47 0.3	19-10-47 6.3	19-10-47 26.1	19-10-40 27.0
19-10-47 0.1	19-10-47 0.0	19-10-47 0.0	19-10-47 26.5	19-10-38 0.3	19-10-47 0.3	19-10-47 7.8	19-10-47 25.9	19-10-39 27.0
19-10-46 0.1	19-10-46 0.0	19-10-46 0.0	19-10-46 26.6	19-10-37 0.3	19-10-46 10.3	19-10-46 10.3	19-10-46 25.7	19-10-38 27.0
19-10-46 0.3	19-10-46 0.0	19-10-46 0.0	19-10-46 26.6	19-10-37 0.3	19-10-46 15.7	19-10-46 15.7	19-10-46 25.3	19-10-38 27.0
19-10-42 0.4	19-10-45 0.0	19-10-45 0.0	19-10-45 26.6	19-10-36 0.3	19-10-37 0.3	19-10-39 21.0	19-10-45 25.0	19-10-37 27.0
19-10-41 0.4	19-10-45 0.0	19-10-45 0.0	19-10-45 26.6	19-10-36 0.3	19-10-36 0.3	19-10-38 21.0	19-10-45 24.8	19-10-37 27.0
19-10-40 0.4	19-10-44 0.0	19-10-44 0.0	19-10-44 26.6	19-10-35 0.3	19-10-36 0.3	19-10-38 21.0	19-10-44 25.0	19-10-36 27.0
19-10-40 0.4	19-10-43 0.0	19-10-43 0.0	19-10-43 26.6	19-10-35 0.3	19-10-35 0.3	19-10-37 21.0	19-10-43 25.1	19-10-36 27.0
19-10-39 0.4	19-10-43 0.0	19-10-43 0.0	19-10-43 26.6	19-10-34 0.3	19-10-35 0.3	19-10-37 21.0	19-10-43 25.3	19-10-35 27.0
19-10-38 0.4	19-10-42 0.0	19-10-42 0.0	19-10-42 26.6	19-10-33 0.3	19-10-34 0.3	19-10-36 21.0	19-10-42 25.4	19-10-35 27.0
19-10-38 0.4	19-10-42 0.0	19-10-42 0.0	19-10-42 26.6	19-10-33 0.3	19-10-33 0.3	19-10-36 21.0	19-10-42 25.6	19-10-34 27.0

08.06.2021 19:01:18 - 19:11:18

Технологический процесс      Аварии

Рисунок 65 – Экран архивации данных

Привязка

Имя	Тип	Тип данных	Значение по умолчанию	Привязка	Флаги	Группа	Ед измерения	Комментарий	Кодировка
p_after_P1_R	IN	REAL		p_after_P1:Реальное значение (Система RTM_1 Каналы)					
p_after_P2_R	IN	REAL		p_after_P2:Реальное значение (Система RTM_1 Каналы)					
p_after_P3_R	IN	REAL		p_after_P3:Реальное значение (Система RTM_1 Каналы)					
tank_temp_R	IN	REAL		p_tank_temp:Реальное значение (Система RTM_1 Каналы)					
p_from_engines_R	IN	REAL		p_p_from_engines:Реальное значение (Система RTM_1 Каналы)					
p_to_engines_R	IN	REAL		p_p_to_engines:Реальное значение (Система RTM_1 Каналы)					
temp_in_block_R	IN	REAL		p_temp_in_block:Реальное значение (Система RTM_1 Каналы)					
temp_to_engines_R	IN	REAL		p_temp_to_engines:Реальное значение (Система RTM_1 Каналы)					
temp_from_engines_R	IN	REAL		p_temp_from_engines:Реальное значение (Система RTM_1 Каналы)					

Использовать привязанный атрибут      Атрибут -1

Номер	ALL	CALL	HEX_16	HEX_32	FLOAT	FLOAT_M	FLOAT_64	M-RESOURCE	D-RESOURCE	USER	EVENT	TIME	EQUIPMENT	PERSONNEL
0	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
2	In	In	In	In	In	In	In	In	In	In	In	In	In	In
3	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
4	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
5	Frq	Frq	Frq	Frq	Frq	Frq	Frq	Frq	Frq	Frq	Frq	Frq	Frq	Frq
6	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D

Готово      Отмена      Отказаться

Рисунок 66 – Привязка переменных экрана архивации данных

## 7 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Безопасность жизнедеятельности является важной общепрофессиональной дисциплиной, в которой рассмотрены основные правила и нормы, которые разработаны для защиты жизни и здоровья человека. Изучая безопасность жизнедеятельности, специалист формирует представления о неразрывном единстве эффективной профессиональной деятельности с требованиями к безопасности труда на производстве.

Выполнение норм техники безопасности обеспечивает защиту сотрудника от опасностей, которые могут возникнуть на рабочем месте. Безопасность жизнедеятельности на производстве была создана, чтобы обеспечить правильную среду обитания на рабочем месте, и самое главное, не навредить деятельности и здоровью человека.

Опасность для обслуживающего персонала обусловлена следующими факторами:

- необходимостью проведения газоопасных и огневых работ вблизи действующего технологического оборудования;
- применением в процессах легковоспламеняющихся жидкостей, пожароопасных материалов, применение в процессе горючих газов;
- необходимостью работы во взрыво- и пожароопасных помещениях и обслуживанием запорной арматуры оборудования, находящегося под высоким давлением и низкой температурой;
- необходимостью круглосуточного обслуживания установок в различных метеорологических условиях.

### **7.1 Предотвращение негативного влияния на окружающую среду**

Окружающая среда является важным аспектом жизни, который может влиять на здоровье и деятельность человека. Уже многие годы продолжается бурное развитие промышленности, энергетики, транспорта и других отраслей, которые



могут отрицательно влиять на окружающую среду, что впоследствии может привести к негативным последствиям, особенно таким, как загрязнение воздуха и воды, так как воздушная и водная среда – наиболее уязвимые составляющие окружающей среды. Все это несет неблагоприятное влияние на жизнедеятельность человека.

Для производственной деятельности человека требуется пресная вода, количество которой составляет примерно 2,8 % общего объема воды на Земле.

Разрабатываемая в данной работе замкнутая система оборотного водоснабжения позволяет уменьшить потребление свежей воды, так как используемая вода после выполнения своей задачи проходит очистку на очистных сооружениях и используется повторно.

Применение данной системы способна сократить потребление природной воды примерно в 10-50 раз, что оказывает положительный эффект на окружающую среду. На сегодняшний день использования и внедрения подобных систем на различные производства возросла, особенно в нефтяной промышленности, частью которой является система, разработанная в этой выпускной работе.

## **7.2 Требования к СОВ**

Для создания систем водоснабжения в качестве исходных параметров, характеризующих водопотребление, по каждому водопотребителю должны быть приведены следующие данные:

- потребный напор;
- требуемое количество воды;
- степень надежности подачи воды;
- требования к качеству воды.

Основные требования к качеству воды в системах оборотного водоснабжения таковы: вода не должна оказывать отрицательного влияния на качество получаемого; не должна вызывать образование солевых отложений, биологических

обрастаний и коррозий аппаратуры, сооружений и трубопроводов; должна обеспечивать требуемое санитарно-гигиеническое состояние рабочих мест [1].

Количество воды в системах оборотного водоснабжения должно быть постоянным. В данной работе все потери воды компенсируются подпиточной водой из сети хоз-питьевого водопровода.

### **7.3 Требования электробезопасности**

К работе на электрическом оборудовании могут быть допущены лишь лица, имеющие необходимую группу электробезопасности, прошедшие медосмотр и не имеющие противопоказаний по здоровью.

Должны проводиться специальные инструктажи для электротехнического персонала.

Персонал, работающий с электрическим оборудованием, должен быть обеспечен средствами электрозащиты и спецодеждой, а сами электрические установки – укомплектованы средствами защиты и всем необходимым для пожаротушения.

Обеспечение электробезопасности обслуживающего персонала данной системы должна соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.019. Все внешние части устройств, находящиеся под напряжением по отношению к корпусу и общей шине питания, должны иметь защиту от случайных прикосновений персонала при контроле и эксплуатации.

Рукоятки органов управления, настройки, регулировки в цепях напряжением свыше 42 В должны быть изготовлены из изоляционного материала или иметь изоляционное покрытие. Защитные приспособления цепей с рабочим напряжением, превышающим 42, должны иметь надписи или знаки, предупреждающие обслуживающий персонал об опасности. Предупреждающие надписи и знаки должны соответствовать ГОСТ 12.4.026, ГОСТ 12.4.040.

Защитное заземление щитов автоматики, брони кабелей должны обеспечи-

вать защиту от поражения электрическим током персонала и выполнено в соответствии с требованиями «Правил эксплуатации электроустановок (ПУЭ изд. 6 и 7)», серии ГОСТ Р 50571 «Электроустановки зданий».

Корпуса блоков, входящих в состав аппаратуры, предназначенной для установки в шкаф пользователя, должны иметь устройства для подключения защитного заземления по ГОСТ 2.2.007.0. На корпусе около устройства защитного заземления должен быть нанесен знак заземления по ГОСТ 2.721.

В эксплуатационную документацию на оборудование с рабочим напряжением, превышающим 42 В, должны быть включены требования безопасности при контроле, эксплуатации (включая техническое обслуживание) и ремонте изделий.

Переключатели и другие органы управления, состояние которых может повлиять на безопасность персонала, должны иметь маркировку, обозначающую выполняемые ими функции.

Каждый работник должен внимательно и осторожно обращаться с электропроводкой, различной аппаратурой и помнить, что пренебрежение правилами безопасности угрожает его здоровью и жизни [14].

#### **7.4 Требования по обеспечению пожарной безопасности**

Так как разработанная СОВ является частью магистральной насосной станции, которая в свою очередь является пожаро- и взрывоопасным предприятием, должны быть выдвинуты следующие требования к персоналу по обеспечению пожарной безопасности:

- 1) каждый работник должен пройти противопожарный инструктаж;
- 2) персонал должен использовать только исправное оборудование, инструмент и соблюдать все требования и инструкции лиц, которые ответственны за пожарную безопасность;
- 3) работник должен проводить уборку своего рабочего места от горючих веществ и отключать электроприемники по окончании работы;

4) обслуживающий персонал обязан уметь использовать средства пожаротушения;

5) при обнаружении пожара, работник должен принять меры к эвакуации людей, немедленно сообщить об этом объектовой пожарной охране, начальнику цеха, или другому должностному лицу и при отсутствии угрозы жизни приступить к тушению пожара с применением средств пожаротушения (огнетушители, кошма, внутренние пожарные краны и др.).

В производственных зданиях обеспечение безопасности пребывания персонала должно осуществляться:

1) содержанием в хорошем состоянии системы экстренного оповещения и пожарной сигнализации;

2) ознакомлением рабочих с требованиями пожарной безопасности и планом эвакуации;

3) наличием запасных и аварийных выходов;

4) постоянным освещением путей эвакуаций, которые не имеют естественного освещения;

5) созданием условий, ограничивающих распространение пожара.

По всем этим вопросам следует руководствоваться «Правилами пожарной безопасности в нефтяной промышленности» ГОСТ 12.1.004-91, «Правилами пожарной безопасности в Российской Федерации» ППБ-01-93.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе подобраны оборудования автоматизации и разработано ПО для системы оборотного водоснабжения.

В ходе данной работы были выбраны: резервуар оборотной воды, насосы, запорная арматура, система светового оповещения, пускозащитная аппаратура, электроприводы, автоматические выключатели, переключатель, электромагнитные пускатели и элементы автоматики. На основании этого, была разработана функциональная схема автоматизации, принципиальная схема соединений и эскиз ЩУ.

Разработана имитационная модель в Simulink, которая моделирует технологический процесс и работу оборудования. Был разработан алгоритм для управляющей программы. Сама управляющая программа для ПЛК была написана в CodeSys. Программа способна управлять и контролировать показатели оборудования, а также имитировать различные аварийные ситуации и воздействовать на температуру воды в коллекторе. В программном комплексе Trace mode, была реализована SCADA-система, которая позволяет отслеживать показатели технологического процесса, оповещать о различных авариях и поломках, а также архивировать данные.

Разработанная система способна уменьшить финансовые затраты на водные ресурсы и позволяет уменьшить выбросы сточных вод в реки, водоемы и другие природные водоемы, что в значительной степени уменьшает вред для экологии окружающей среды.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аксенов В.И., Водное хозяйство промышленных предприятий. Справочное издание / Аксенов В.И. – М.: Теплотехник, 2005 – 640 с.
2. Документация MATLAB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.exponenta.ru>. – 22.04.2021.
3. Иванов В. Г., Водоснабжение промышленных предприятий / Иванов В. Г. – СПб.: Наука, 2003. – 537 с.
4. Овен – оборудование для автоматизации [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <http://www.owen.ru>. – 13.02.2021.
5. Резервуарный завод, Производство стальных резервуаров [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://glavrossnab.ru/product/rezervuary-dlya-vody/rezervuar-dlya-vody-700-m3/>. – 14.02.2021.
6. Руководство Trace Mode 6 [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: [http://www.adastra.ru/files/documents/QUICK\\_START\\_v\\_6a\\_d.pdf](http://www.adastra.ru/files/documents/QUICK_START_v_6a_d.pdf). – 22.05.2021.
7. Руководство по эксплуатации ДТС-И [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: [https://www.owen.ru/uploads/re\\_dts-i\\_dtp-i\\_1848.pdf](https://www.owen.ru/uploads/re_dts-i_dtp-i_1848.pdf). – 15.02.2021.
8. Руководство по эксплуатации ИТП-11 [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: [https://owen.ru/uploads/256/re\\_itp-11.n3\\_1-ru-19768-1.12\\_a4.pdf](https://owen.ru/uploads/256/re_itp-11.n3_1-ru-19768-1.12_a4.pdf). – 19.02.2021.
9. Руководство по эксплуатации ПД100И [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: [https://owen.ru/uploads/264/re\\_oven\\_pd100i\\_1-ru-18907-1.15.pdf](https://owen.ru/uploads/264/re_oven_pd100i_1-ru-18907-1.15.pdf), свободный. – 17.02.2021.
10. Руководство по эксплуатации программируемого контроллера s7-300 [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.siemens->

pro.ru/docs/simatic/s7-300/S7-300\_Installation\_r.pdf . – 01.03.2021.

11. Руководство по эксплуатации САУ-М6 [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: [https://owen.ru/uploads/186/re\\_sau-m6\\_1-ru-6955-1.10.pdf](https://owen.ru/uploads/186/re_sau-m6_1-ru-6955-1.10.pdf). – 17.02.2021.

12. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3 [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: [https://www.owen.ru/product/codesys\\_v2 /768](https://www.owen.ru/product/codesys_v2 /768). – 01.05.2021.

13. Рыбалев А.Н. Разработка и эмулирование АСУ ТП с использованием программ разных производителей и типов / А.Н. Рыбалев, Ф.А. Николаец // Вестник Амурского государственного университета. – 2014. – 21.04.2021. – №65. – С. 73 – 82.

14. Система стандартов безопасности труда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608>. – 25.05.2021.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Глобальные переменные:

VAR\_GLOBAL

SB\_P1, SB\_P2, SB\_P3:BOOL;

SB\_shutter, SB\_valve: BOOL;

SB\_V1, SB\_V2, SB\_V3, SB\_V4, SB\_V5:BOOL;

SA\_auto:BOOL;

auto:BOOL;

manual:BOOL;

pump1\_work, pump2\_work, pump3\_work: BOOL;

pump1\_stoped, pump2\_stoped, pump3\_stoped: BOOL;

vent1\_work, vent2\_work, vent3\_work, vent4\_work, vent5\_work: BOOL;

vent1\_stoped, vent2\_stoped, vent3\_stoped, vent4\_stoped, vent5\_stoped: BOOL;

vent1\_broken, vent2\_broken, vent3\_broken, vent4\_broken, vent5\_broken  
:BOOL;

vent1\_plot, vent2\_plot, vent3\_plot, vent4\_plot:BOOL;

shutter\_open, valve\_open:BOOL;

shutter\_close, valve\_close:BOOL;

max\_level, min\_level: BOOL;

level: REAL;

tank\_temp:REAL;

tank\_temp\_max:BOOL;

tank\_temp\_min:BOOL;

level\_overload:BOOL;

tank\_empty:BOOL;

temp\_to\_engines: REAL;

temp\_to\_engines\_max: BOOL;



## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

```
temp_to_engines_min: BOOL;
temp_from_engines: REAL;
temp_from_engines_max: BOOL;
temp_in_block: REAL;
temp_in_block_min: BOOL;
p_after_P1: REAL;
p_after_P1_min: BOOL;
p_after_P2: REAL;
p_after_P2_min: BOOL;
p_after_P3: REAL;
p_after_P3_min: BOOL;
p_from_engines: REAL;
p_to_engines: REAL;
p_to_engines_max: BOOL;
pump1_broken: BOOL;
pump2_broken: BOOL;
pump3_broken: BOOL;
temp_water: REAL;
crash_temp_from, crash_temp_block, crash_p_from, crash_p_to: BOOL;
END_VAR
Код программы PLC_PRG:
PROGRAM PLC_PRG
VAR
END_VAR
Switch;
Auto_mode;
```

## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

Код подпрограммы Switch:

```
PROGRAM Switch
```

```
VAR
```

```
END_VAR
```

```
IF SA_auto THEN
```

```
auto:=TRUE;
```

```
manual:=FALSE;
```

```
ELSE
```

```
auto:=FALSE;
```

```
manual:=TRUE;
```

```
END_IF
```

Код подпрограммы Buttons:

```
PROGRAM Buttons
```

```
VAR
```

```
END_VAR
```

```
IF SB_P1 = TRUE AND pump1_broken = FALSE THEN
```

```
pump1_work:=TRUE;
```

```
ELSE
```

```
pump1_work:=FALSE;
```

```
END_IF
```

```
IF SB_P2 = TRUE AND pump2_broken = FALSE THEN
```

```
pump2_work:=TRUE;
```

```
ELSE
```

```
pump2_work:=FALSE;
```

```
END_IF
```

```
IF SB_P3 = TRUE AND pump3_broken = FALSE THEN
```

## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

```
pump3_work:=TRUE;
ELSE
pump3_work:=FALSE;
END_IF
IF SB_V1 = TRUE AND vent1_broken = FALSE THEN
vent1_work:=TRUE;
ELSE
vent1_work:=FALSE;
END_IF
IF SB_V2 = TRUE AND vent2_broken = FALSE THEN
vent2_work:=TRUE;
ELSE
vent2_work:=FALSE;
END_IF
IF SB_V3 = TRUE AND vent3_broken = FALSE THEN
vent3_work:=TRUE;
ELSE
vent3_work:=FALSE;
END_IF
IF SB_V4 = TRUE AND vent4_broken = FALSE THEN
vent4_work:=TRUE;
ELSE
vent4_work:=FALSE;
END_IF
IF SB_V5 = TRUE AND vent5_broken = FALSE THEN
vent5_work:=TRUE;
```

## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

```
ELSE
vent5_work:=FALSE;
END_IF
IF SB_valve = TRUE THEN
valve_open:=TRUE;
valve_close:=FALSE;
ELSE
valve_open:=FALSE;
valve_close:=TRUE;
END_IF
IF SB_shutter = TRUE THEN
shutter_open:=TRUE;
shutter_close:=FALSE;
ELSE
shutter_open:=FALSE;
shutter_close:=TRUE;
END_IF
Код подпрограммы Auto_mode:
PROGRAM Auto_mode
VAR
timer1:TON;
timer2:TON;
timer3:TON;
timer4:TON;
END_VAR
IF auto THEN
```

## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

```
IF crash_temp_from = FALSE AND crash_temp_block = FALSE AND
crash_p_to = FALSE AND crash_p_from = FALSE THEN
    pump1_work:=TRUE;
    pump2_work:=FALSE;
    pump3_work:=FALSE;
    IF pump1_broken THEN
        pump1_work:=FALSE;
        pump2_work:=TRUE;
    END_IF
    IF pump2_broken AND pump1_broken THEN
        pump2_work:=FALSE;
        pump3_work:=TRUE;
    END_IF
    IF pump3_broken THEN
        pump3_work:=FALSE;
        pump1_work:=TRUE;
    END_IF
    IF temp_to_engines_max AND (pump1_work OR pump2_work OR
pump3_work) THEN
        IF vent1_broken = FALSE THEN
            vent1_work:=TRUE;
            vent1_plot:=TRUE;
            vent2_plot:=FALSE;
            vent3_plot:=FALSE;
            vent4_plot:=FALSE;
        END_IF
```

## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

IF vent1\_broken THEN

vent2\_work:=TRUE;

vent1\_plot:=FALSE;

vent2\_plot:=TRUE;

vent3\_plot:=FALSE;

vent4\_plot:=FALSE;

END\_IF

IF vent1\_broken AND vent2\_broken THEN

vent3\_work:=TRUE;

vent1\_plot:=FALSE;

vent2\_plot:=FALSE;

vent3\_plot:=TRUE;

vent4\_plot:=FALSE;

END\_IF

IF vent1\_broken AND vent2\_broken AND vent3\_broken THEN

vent4\_work:=TRUE;

vent1\_plot:=FALSE;

vent2\_plot:=FALSE;

vent3\_plot:=FALSE;

vent4\_plot:=TRUE;

END\_IF

IF vent1\_broken AND vent2\_broken AND vent3\_broken AND vent4\_broken  
THEN

vent5\_work:=TRUE;

END\_IF

END\_IF

## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

```
IF vent1_plot THEN
  timer1(IN:=vent1_work AND vent2_broken = FALSE, PT:=T#3s,
Q=>vent2_work);
  timer2(IN:=vent1_work AND (vent2_broken = TRUE OR vent2_work) AND
vent3_broken = FALSE, PT:=T#3s, Q=>vent3_work);
  timer3(IN:=vent1_work AND (vent2_broken = TRUE OR vent2_work) AND (
vent3_broken = TRUE OR vent3_work) AND vent4_broken = FALSE, PT:=T#3s,
Q=>vent4_work);
  timer4(IN:=vent1_work AND (vent2_broken = TRUE OR vent2_work) AND (
vent3_broken = TRUE OR vent3_work) AND( vent4_broken = TRUE OR
vent4_work) AND vent5_broken = FALSE, PT:=T#3s, Q=>vent5_work);
END_IF
IF vent2_plot THEN
  timer1(IN:=vent2_work AND vent3_broken = FALSE, PT:=T#3s,
Q=>vent3_work);
  timer2(IN:=vent2_work AND (vent3_broken = TRUE OR vent3_work) AND
vent4_broken = FALSE, PT:=T#3s, Q=>vent4_work);
  timer3(IN:=vent2_work AND (vent3_broken = TRUE OR vent3_work) AND (
vent4_broken = TRUE OR vent4_work) AND vent5_broken = FALSE, PT:=T#3s,
Q=>vent5_work);
END_IF
IF vent3_plot THEN
  timer1(IN:=vent3_work AND vent4_broken = FALSE, PT:=T#3s,
Q=>vent4_work);
  timer2(IN:=vent3_work AND (vent4_broken = TRUE OR vent4_work) AND
vent5_broken = FALSE, PT:=T#3s, Q=>vent5_work);
```

## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

```
END_IF
IF vent4_plot THEN
  timer1(IN:=vent4_work AND vent5_broken = FALSE, PT:=T#3s,
Q=>vent5_work);
END_IF
IF temp_to_engines_min THEN
vent1_work:=FALSE;
vent2_work:=FALSE;
vent3_work:=FALSE;
vent4_work:=FALSE;
vent5_work:=FALSE;
END_IF
IF min_level THEN
shutter_open:=TRUE;
ELSIF max_level THEN
shutter_open:=FALSE;
END_IF
IF tank_temp_min THEN
valve_open:=TRUE;
valve_close:=FALSE;
ELSIF tank_temp_max THEN
valve_open:=FALSE;
valve_close:=TRUE;
END_IF
IF pump1_broken THEN
pump1_work:=FALSE;
```



## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

END\_IF

IF pump2\_broken THEN

pump2\_work:=FALSE;

END\_IF

IF pump3\_broken THEN

pump3\_work:=FALSE;

END\_IF

IF pump1\_broken AND pump2\_broken AND pump3\_broken THEN

vent1\_work:=FALSE;

vent2\_work:=FALSE;

vent3\_work:=FALSE;

vent4\_work:=FALSE;

vent5\_work:=FALSE;

END\_IF

IF vent1\_broken THEN

vent1\_work:=FALSE;

END\_IF

IF vent2\_broken THEN

vent2\_work:=FALSE;

END\_IF

IF vent3\_broken THEN

vent3\_work:=FALSE;

END\_IF

IF vent4\_broken THEN

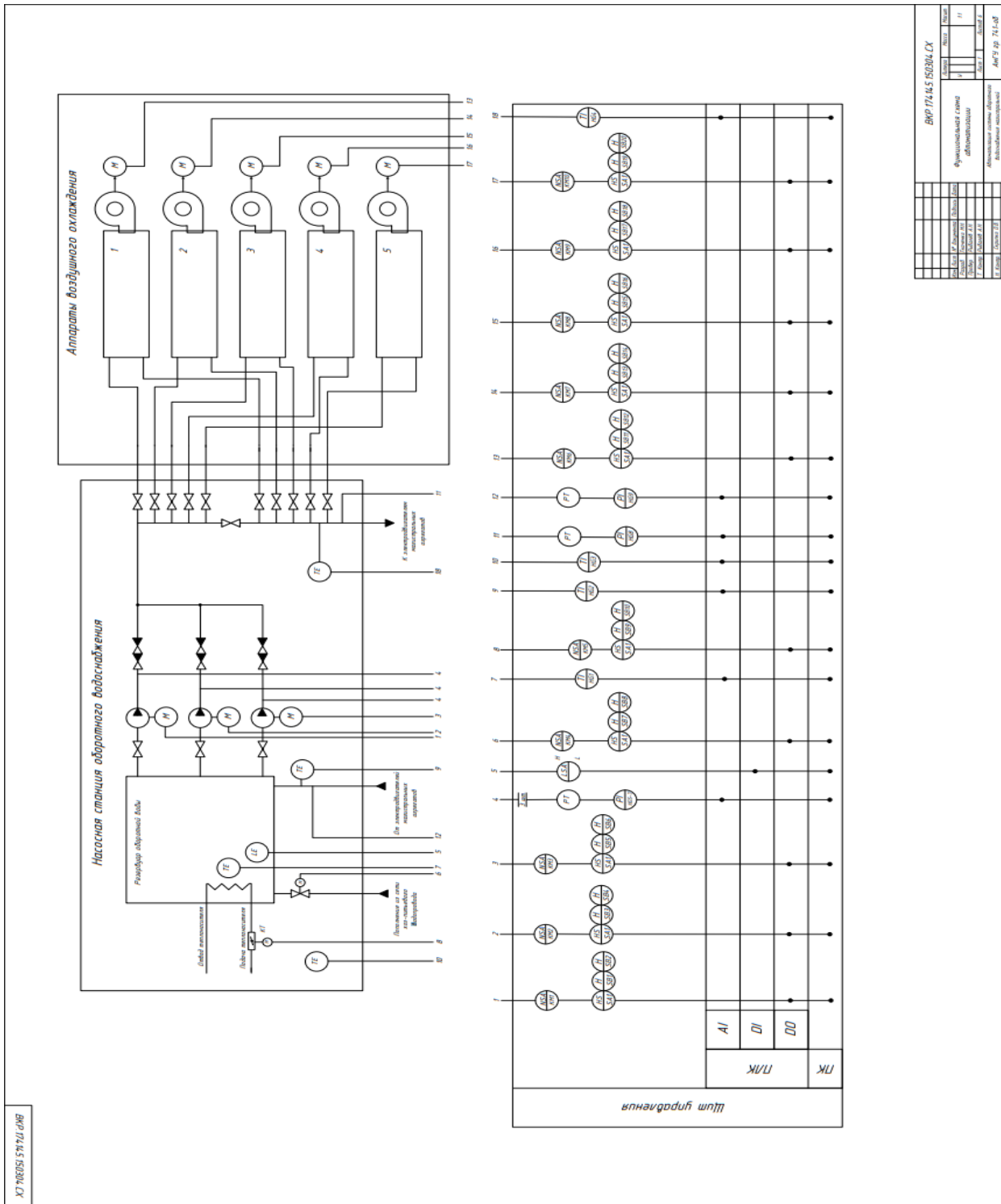
vent4\_work:=FALSE;

END\_IF

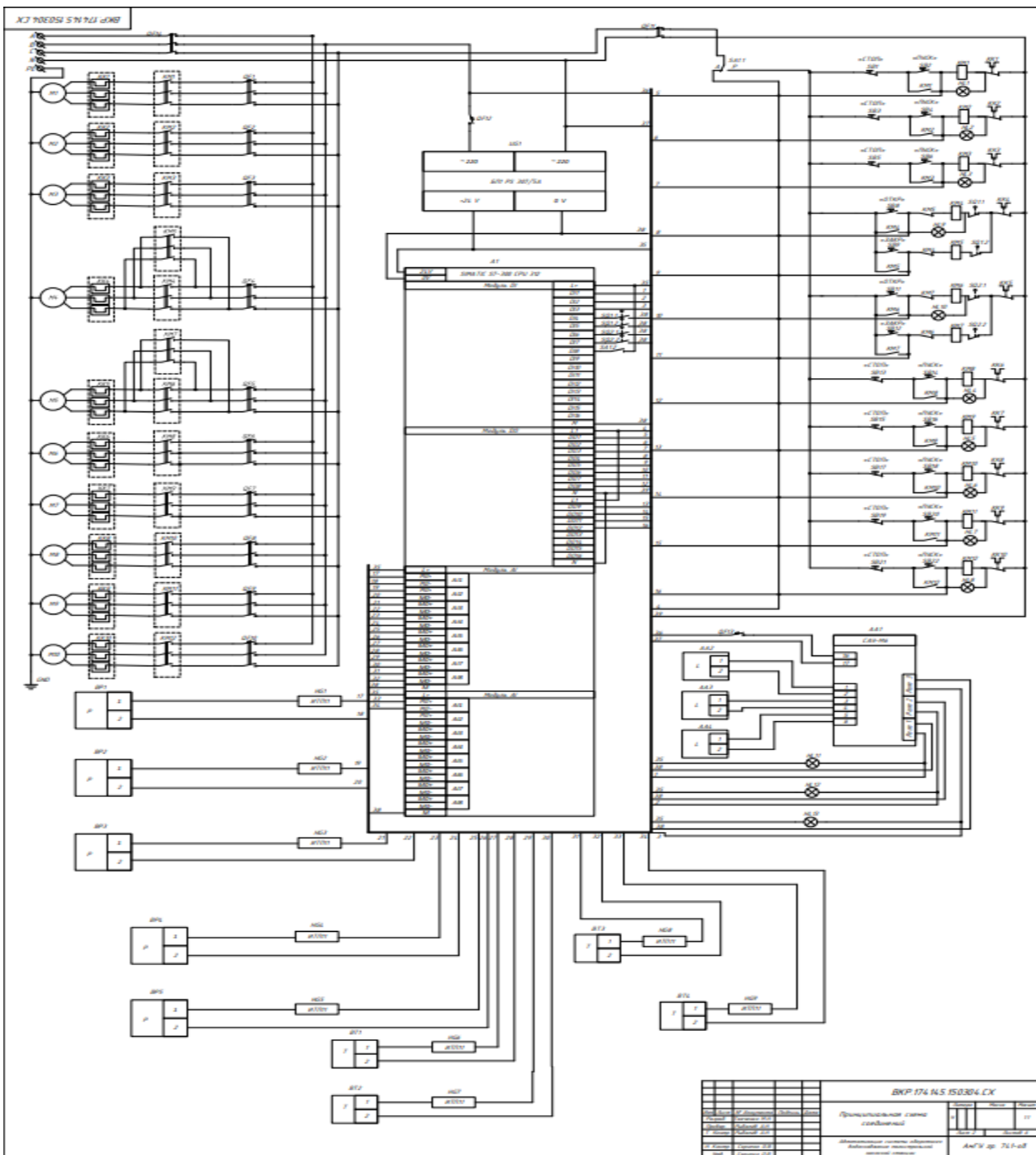
Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

```
IF vent5_broken THEN
vent5_work:=FALSE;
END_IF
ELSE
pump1_work:= FALSE;
pump2_work:= FALSE;
pump3_work:= FALSE;
vent1_work:= FALSE;
vent2_work:= FALSE;
vent3_work:= FALSE;
vent4_work:= FALSE;
vent5_work:= FALSE;
END_IF
END_IF
```

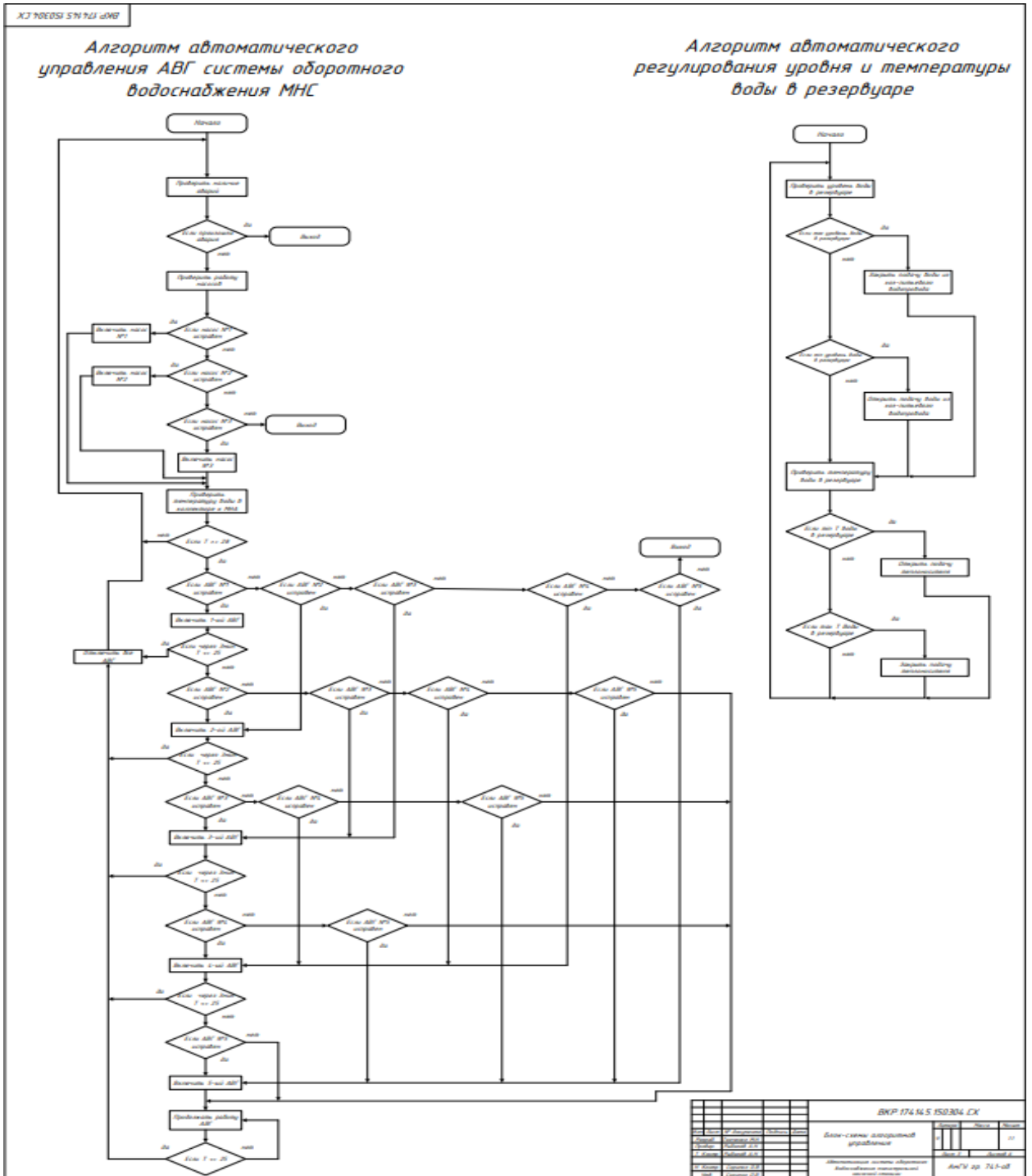
# ПРИЛОЖЕНИЕ Б



# ПРИЛОЖЕНИЕ В

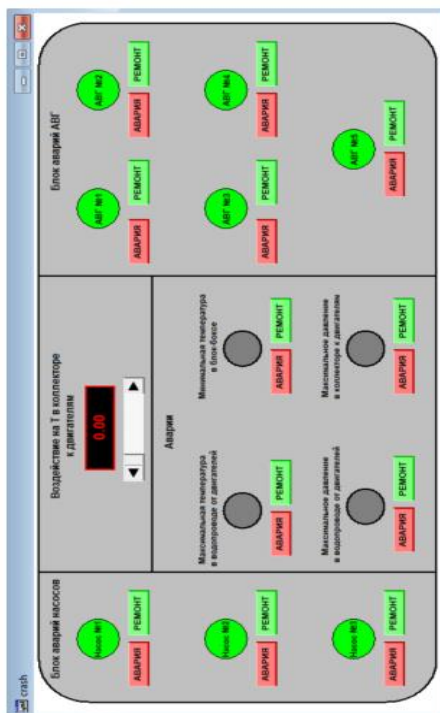


# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

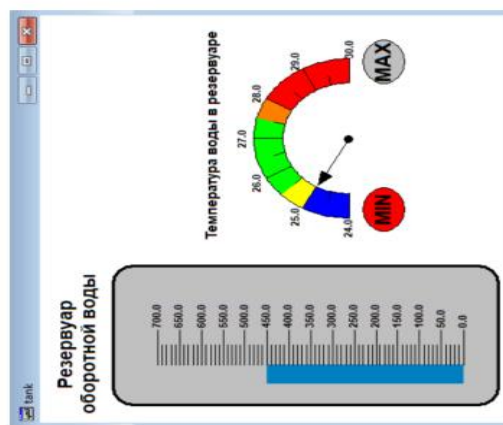




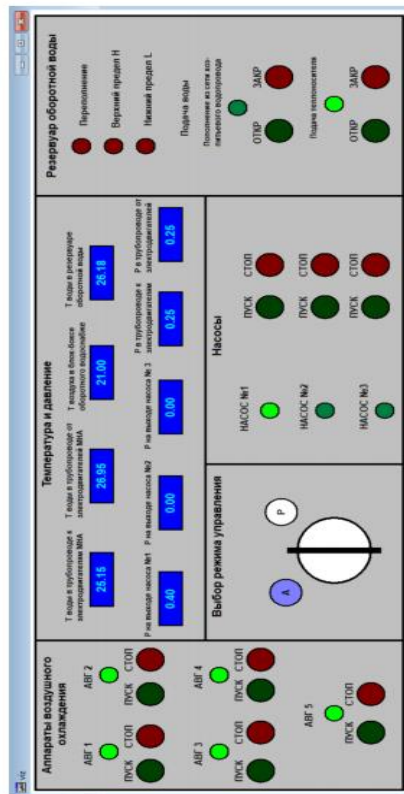
1. Визуализация имитации аварий, поломок и воздействия на температуру воды в коллекторе



2. Визуализация уровня и температуры воды в резервуаре



3. Визуализация щита управления



ВЕР 174.45.50204.LX		
№	Имя	Вид
1	Олег Володимирович	II
Олег Володимирович		
г. Минск		
№	Имя	Вид
1	Олег Володимирович	II
Олег Володимирович		
г. Минск		
№	Имя	Вид
1	Олег Володимирович	II
Олег Володимирович		
г. Минск		
АКГУ 741-02		

# ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

ХТ ПИЛОТ НАУТИ АИР

## 1. Экран архивирования данных

Архивирование данных

## 2. Экран аварий и поломок

АВАРИИ	
Изменение температуры в водогрейной котельной	●
Изменение температуры в блоке БСБ	●
Изменение давления в водогрейной котельной	●
Изменение давления в котельной котла	●
Насос 1	●
Насос 2	●
Насос 3	●
АВГ 1	●
АВГ 2	●
АВГ 3	●
АВГ 4	●
АВГ 5	●

Архивация данных  
Технологический процесс

## 3. Экран технологического процесса

ХТ ПИЛОТ НАУТИ АИР

АВАРИИ	
Изменение температуры в водогрейной котельной	●
Изменение температуры в блоке БСБ	●
Изменение давления в водогрейной котельной	●
Изменение давления в котельной котла	●
Насос 1	●
Насос 2	●
Насос 3	●
АВГ 1	●
АВГ 2	●
АВГ 3	●
АВГ 4	●
АВГ 5	●

Архивация данных  
Технологический процесс