

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Отделение школы (НОЦ) Автоматизации и робототехники

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Модельное исследование и автоматное управление водоподготовительной установкой УДК <u>004.896:621.182.12-047.58</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ92	Зайчиков Владислав Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н. доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Трубченко Татьяна Григорьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

По разделу на иностранном языке

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Татьяна Валерьевна	к.п.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	к.т.н. доцент		

Томск – 2021 г.

**Планируемые результаты выпускника освоения образовательной программы магистратуры по направлению 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»**

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
<b>УК(У)-2</b>	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
<b>УК(У)-3</b>	Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
<b>УК(У)-4</b>	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
<b>УК(У)-5</b>	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
<b>УК(У)-6</b>	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен определить математическую и техническую сущность задач и провести их качественно-количественный анализ
<b>ОПК(У)-3</b>	Способен на основании статистических методов участвовать в проведении корректирующих и превентивных мероприятий, направленных на улучшение качества, интерпретировать и представлять результаты
<b>ОПК(У)-4</b>	Способен анализировать полученные результаты измерений на основе их физической природы и принимать обоснованные решения в области профессиональной деятельности
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен разрабатывать технические задания на модернизацию и автоматизацию действующих производственных и технологических процессов и производств, технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний, новые виды продукции, автоматизированные и автоматические технологии ее производства, средства и системы автоматизации, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством
<b>ПК(У)-2</b>	Способен проводить патентные исследования с целью обеспечения патентной чистоты и патентоспособности новых проектных решений и определения показателей технического уровня проектируемой продукции, автоматизированных и автоматических технологических процессов и производств, средств их технического и аппаратно-программного обеспечения
<b>ПК(У)-3</b>	Способен составлять описание принципов действия и конструкции устройств, проектируемых технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний технологических процессов и производств

	<p>общепромышленного и специального назначения для различных отраслей национального хозяйства, проектировать их архитектурно-программные комплексы</p>
<b>ПК(У)-4</b>	<p>Способен разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты автоматизированных и автоматических производств различного технологического и отраслевого назначения, технических средств и систем автоматизации управления, контроля, диагностики и испытаний, систем управления жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизации проектирования, отечественного и зарубежного опыта разработки конкурентоспособной продукции, проводить технические расчеты по проектам, технико-экономический и функционально-стоимостной анализ эффективности проектов, оценивать их инновационный потенциал и риски</p>
<b>ПК(У)-5</b>	<p>Способен разрабатывать функциональную, логическую и техническую организацию автоматизированных и автоматических производств, их элементов, технического, алгоритмического и программного обеспечения на базе современных методов, средств и технологий проектирования</p>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Отделение школы (НОЦ) Автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Гайворонский С.А.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерская диссертация

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ92	Зайчиков Владислав Александрович

Тема работы:

Модельное исследование и автоматное управление водоподготовительной установкой	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	19.02.2021 № 50-10/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2021
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Объект: Водоподготовительная установка</li> <li>2. Данные: Давление в трубопроводе (P) = 0.2МПа Расход пермиата = 24.9 м<sup>3</sup>/ч</li> <li>3. Режим работы: Циклический</li> <li>4. Вид сырья: Вода</li> <li>5. Требования к процессу: Отслеживания давления в трубопроводе и при процессе фильтрации</li> </ol>
---------------------------------	---

	6. Влияние на окружающую среду: При процессе фильтрации и при циркуляции воды в водоподготовительной установке, влияние на окружающую среду минимально 7. Обзор литературы по соответствующей тематике
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Исследование программного обеспечения: -Tia Portal; -CoDeSys; -MATLAB; -TRACE MODE. 2.Разработка алгоритма водоподготовительной установки 3. Разработка программного кода в Tia Portal. 4.Разработка экспериментальной аварийной системы в CoDeSys 5. Проектирование мнемосхемы в Trace Mode 6.Построение в MATLAB экспериментальной математической модели и проведение экспериментов. 7. Сделать выводы по проделанной работе
<b>Перечень графического материала</b>	1. Алгоритм водоподготовительной установки, которая будет представлена приложением

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Трубченко Татьяна Григорьевна
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович
Консультант – лингвист	Сидоренко Татьяна Валерьевна
Консультант - руководитель	Громаков Евгений Иванович

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

1. Проблематика водоподготовительной установки

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	К.Т.Н. доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ92	Зайчиков Владислав Александрович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа на 123 страницы., 38 рисунков., 17 таблиц., 58 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: Водоподготовительная установка, обратный осмос, АСУ ТП, CoDeSys, Tia Portal, MATLAB, SCADA-система, программируемый логический контроллер, математическая модель, автоматизированное рабочее место.

Объектом исследования является водоподготовительная установка фильтрации воды методом обратного осмоса

Цель работы – экспериментально осуществить модельное исследование и создать автоматное управление водоподготовительной установкой. Изучить составные части объекта и разработать экспериментальную модернизацию.

В процессе исследования проводились экспериментальные исследования и манипуляции математической моделью, создание SCADA-системы, разработка программного кода в среде Tia Portal, разработка аварийного режима в среде CoDeSys.

В результате исследования были произведены манипуляции над математической моделью водоподготовительной установкой, написан основной код в среде Tia Portal, написана и внедрена аварийная система среды CoDeSys, была создана экспериментальным путем SCADA – система, удовлетворяющая требованиям и являющаяся актуальной для модернизации водоподготовительной установки.

Степень внедрения: Данная ВКР является экспериментальной и есть вероятность в будущем внедрения проделанной работы в частности SCADA-системы, а также аварийного режима, разработанного в среде CoDeSys

Область применения: Водоподготовительная установка применяется для фильтрации воды и отделение от нее примесей, для дальнейшего использования

как в нуждах ЛАЭС-2, так и для пожарной безопасности города Сосновый Бор, Ленинградской области.

Экономическая эффективность/значимость работы: проделанная работа значима как для предприятия так как в будущем планируется развитие данной тематики и вывод ее на конкурсы для получения гранта и модернизации старой технологии

В будущем планируется развитие данной тематики, выход на обсуждение по модернизации исследуемого объекта ВКР, также внедрение в команду, которая занимается данным вопросом с последующими действиями, предназначенными сделать процесс более безопасным и актуальным.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	11
1 Назначение водоподготовительной установки (ВПУ).....	13
1.1 Назначение, состав и технические характеристики блоков получения химически обессоленной воды (GDB, GDF, GCF).....	13
1.1.1 Система GDB.....	14
1.1.2 Система GDF.....	16
1.1.3 Система GCF.....	19
2 Система обессоливания предочищенной водой методом обратного осмоса.....	23
2.1 Общие сведения.....	23
2.2 Требования к АСУ ТП.....	24
3 Создание алгоритма водоподготовительной установки для очистки воды методом обратного осмоса.....	26
3.1 Описание алгоритма.....	26
3.1.1 Пуск установки.....	26
3.1.2 Промывка 1.....	27
3.1.3 Выход на оптимальный режим работы.....	27
3.1.4 Процесс фильтрации.....	28
3.1.5 Промывка 2.....	28
3.1.6 Промывка 3.....	29
3.1.7 Остановка водоподготовительной установки.....	29
3.1.8 Ожидание ВПУ пуска.....	30
3.1.9 Аварийная остановка.....	30



3.2	Перечень возможных неисправностей установки в процессе ее работы и рекомендации по их устранению .....	30
4	Разработка структурной схемы GDF71 .....	33
5	Выбор программного обеспечения .....	35
5.1	TIA PORTAL .....	36
5.2	OPC сервер.....	37
5.3	Пакет Matlab .....	38
5.4	CoDeSys.....	39
5.5	SCADA – система .....	40
6.	Выполнение условий и задач, поставленных перед выпускной квалификационной работой .....	42
6.1	Создание программы в Tia Portal языке GRAPH.....	42
6.2	Создание аварийной программы в среде CoDeSys .....	49
6.3	Математическое описание работы системы .....	56
6.3.1	Математическое описание насос.....	59
6.3.2	SCADA-система .....	65
7	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	66
7.1	Потенциальные потребители результатов исследования .....	66
7.2	Анализ конкурентных технических решений.....	67
7.3	SWOT-анализ.....	68
7.4	Планирование научно-исследовательской работы.....	71
7.4.1	Структура работ .....	71
7.4.2	Разработка графика проведения научно-технического исследования .....	71

7.5 Бюджет научно-технического исследования .....	81
7.5.1 Расчёт материальных затрат .....	81
7.5.2 Расчёт амортизационных отчислений .....	82
7.5.3 Расчёт заработной платы и отчислений во внебюджетные фонды .....	83
7.5.4 Расчёт общей себестоимости.....	84
7.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	85
8 Социальная ответственность.....	89
8.1 Характеристика объекта исследования и области его применения	89
8.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	91
8.3 Производственная безопасность .....	94
8.3.1 Анализ и выявление вредных и опасных факторов .....	94
8.3.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов на исследователя.....	97
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	102
8.5 Радиационная безопасность.....	104
Заключение .....	106
Литература .....	107
Приложение А(обязательное) Раздел ВКР оформленный на английском языке .....	114
Приложение Б(обязательное) Алгоритм ВПУ .....	121
Приложение В(обязательное) Технологическая схема процесса .....	122

## Введение

На данный момент вода используется в разных сферах, как для тушения пожаров, так и для промывки баков или цистерн. В нашей жизни вода играет большую роль, используем ли мы душ или греем чайник, все равно используем воду. Но вот по своему составу вода бывает разная, ведь если взять воду из-под крана и сточную воду из озера мы получим разные результаты, если проведем эксперимент и проверим какая вода чище. Конечно же вода из под крана будет чище, так как проходит определенные этапы очистки, по сравнению со сточными водами.

Поэтому мы и подходим к главной проблематике воды, а именно как получать воду без примесей, в короткие сроки. На данный момент вода, которая используется на Атомных станциях, является важнейшей частью, так как все предприятия используют предварительную очистку для воды, чтобы получить высшее качество.

Это нужно для того чтобы снизить тепловые нагрузки, которым подвергается оборудование Атомных станций, ведь оборудование на АЭС так же имеет ограничение по толщине отложений на нагревательных элементах, поэтому и требуется вода высокого качества.

Отложения образуются из примесей, которые поступают с водой из разных циклов в том числе со сточной водой, также главным достоинством получения воды высшего качества является упрощенное получение чистого пара, так как будет меньше скорость коррозии, оборудования в целом и турбин, что еще раз подчеркивает важность иметь очищенную воду высокого качества на АЭС.

Примеси которые содержатся в воде могут привести к повышенной коррозии такими примесями являются: кислоты, сульфаты, хлориды и другие соединения.

Таким образом для получения качественной очищенной воды, возникает потребность в определенных методах очистки, которое обычно проходит в 2 этапа:

а) на первом этапе происходит очищение от больших взвешенных примесей;

б) на втором этапе происходит очищение воды химическим методом.

Для получения воды высокого качества и предотвращения повышенных отложений на основном оборудовании и снижение процесса коррозии, требуется максимальное снижение в воде как растворенных, так и не растворенных, попросту говоря взвешенных агентов.

Поэтому для получения воды высокого качества на АЭС используют системы, называемые водоподготовительными установками.

## **1 Назначение водоподготовительной установки (ВПУ)**

### **1.1 Назначение, состав и технические характеристики блоков получения химически обессоленной воды (GDB, GDF, GCF)**

Водоподготовительная установка на ЛАЭС-2 служит:

- для приготовления глубоко обессоленной воды на заполнение контуров и восполнение потерь в первом и втором контурах АС;
- для подготовки частично обессоленной воды на подпитку брызгальных бассейнов и системы пожаротушения.

Принцип действия ВПУ заключается в последовательном удалении из исходной воды механических, микробиологических и растворенных примесей с применением:

- гидромеханических технологий (фильтрация - механические фильтры);
- баромембранных технологий (мембранный процесс, протекающий под действием давления - ультрафильтрация, обратный осмос);
- сорбционных технологий (ионный обмен - фильтр смешанного действия).

С принципиальной схемой водоподготовки ЛАЭС-2 можно ознакомиться в приложении А.

В технологическую схему входят основные системы:

- система предварительной очистки воды (GDB);
- система обессоливания предварительно очищенной воды методом обратного осмоса (GDF);
- система ионообменной очистки пермеата (GCF).

Исходная вода - морская вода Копорской губы Финского залива (водозаборный канал НИТИ) с береговой резервной станции ЛАЭС-1 насосами подаётся в камеры добавочной воды GAA, из них насосами полупогружного типа

с расходом рабочим давлением поступает на систему предварительной очистки (GDB).

### 1.1.1 Система GDB

Система предварительной очистки исходной воды (GDB) предназначена для снижения в исходной воде содержания взвешенных частиц, железа, органических соединений перед ее подачей на установку обратного осмоса системы GDF (рисунок 1).



Рисунок 1 - Установка обратного осмоса второй ступени

Состав системы:

- установка механической фильтрации (блока сетчатых фильтров);
- два бака исходной воды;
- блок предварительной очистки; - блок подогрева исходной воды;
- восемь установок ультрафильтрации (блоков ультрафильтрационных мембранных модулей);
- два бака осветленной воды;
- насосная станция осветленной воды;
- два бака концентрата установки ультрафильтрации;
- блок предварительной очистки;

- пять блоков ультрафильтрационных мембранных модулей;
- блок сбора промывных вод; - насосная станция промывных вод.

#### Функциональные требования (GDB):

Система предварительной очистки исходной воды должна обеспечивать необходимое качество осветленной воды, подаваемой на установку обратного осмоса.

Расчетная производительность системы по осветленной воде принимается равной 340 м<sup>3</sup>/ч, в том числе:

- осветленная вода после первой ступени ультрафильтрации производительностью 300 м<sup>3</sup>/ч работает на исходной воде;
- вторая ступень производительностью 40 м<sup>3</sup>/ч работает на концентрате первой ступени.

#### АСУ ТП:

В основу проектирования АСУ ТП положено выполнение следующих требований:

- обеспечение выполнения технологической системой заданных функций;
- обеспечение сохранности и работоспособности технологического оборудования;
- выдача оператору информации по технологическим параметрам, включая отклонения от нормальных значений для обеспечения действий оператора.

Контроль за состоянием системы и управление ее элементами осуществляются автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП).

#### Оборудование и материалы:

Выбор оборудования и материалов осуществлен с учетом функций системы, а также с учетом:

- качества и параметров среды;
- условий окружающей среды в помещениях, где располагаются компоненты системы;
- технологичности и свариваемости материалов;
- обеспечения работоспособности системы в течение всего срока службы.

### **1.1.2 Система GDF**

Система обессоливания предочищенной воды методом обратного осмоса (GDF) предназначена для приготовления обессоленной воды с целью дальнейшей очистки на ионообменных фильтрах, а также частично обессоленной воды для подпитки брызгальных бассейнов и баков противопожарного запаса воды.

Функциональные требования:

Система обессоливания предочищенной воды методом обратного осмоса (GDF) предназначена для приготовления обессоленной воды. В основу проектирования системы GDF положены следующие требования к качеству глубоко обессоленной воды:

- удельная электрическая проводимость не более 0,1 мкСм/см;
- содержание общего органического углерода не более 0,1 мг/дм<sup>3</sup>.

Расчетная производительность системы обессоливания предварительно очищенной воды методом обратного осмоса GDF с учетом расхода воды на собственные нужды:

- по частично обессоленной воде – 250 м<sup>3</sup>/ч;
- по обессоленной воде – 91 м<sup>3</sup>/ч.



Исходной водой для системы обессоливания предварительно очищенной воды методом обратного осмоса (GDF) является осветленная вода после системы предварительной очистки исходной воды (GDB).

Температура исходной осветленной воды плюс 20 °С.

АСУ ТП:

В основу проектирования АСУ ТП положено выполнение следующих требований:

- обеспечение выполнения технологической системой заданных функций;
- обеспечение сохранности и работоспособности технологического оборудования;
- выдача оператору информации по технологическим параметрам, включая отклонения от нормальных значений для обеспечения действий оператора.

Контроль за состоянием системы и управление ее элементами осуществляются автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП).

Оборудование и материалы:

Выбор оборудования и материалов осуществлен с учетом функций системы, а также с учетом:

- качества и параметров среды;
- условий окружающей среды в помещениях, где располагаются компоненты системы;
- технологичности и свариваемости материалов;
- обеспечения работоспособности системы в течение всего срока службы.

В качестве фильтрующего материала в фильтрах тонкой очистки должны применяться картриджи из полиэтилена с толщиной фильтрации 5 мкм.

Требования к системам, связанным с системой GDF:

Системы, от которых зависит работоспособность системы обессоливания предочищенной воды методом обратного осмоса, спроектированы таким образом, чтобы обеспечить функции системы во всех проектных режимах.

Система обессоливания предочищенной воды методом обратного осмоса имеет связь со следующими системами:

- системой предварительной очистки исходной воды (GDB);
- системой регенерации и промывки установок мембранной очистки (GDP);
- системой подачи реагентов для установок мембранной очистки (GDN);
- системой ионообменной очистки пермеата (GCF);
- системой отвода промывочной воды и нейтрализации (GCR);
- системой водоводов подпитки (GHC);
- системой водоводов продувки (GMS);
- системой коррекционной обработки охлаждающей воды ответственных потребителей (PFN);
- системой отвода грунтовых вод (GUA);
- системой общестанционного противопожарного водоснабжения (SGA);
- системой электроснабжения нормальной эксплуатации;
- АСУ ТП.

Состав системы:

- блок предварительной очистки;
- три насосных станции высокого давления;
- пять блоков обратноосмотических мембранных модулей;
- два блока мембранной декарбонизации;
- блок мембранной декарбонизации (блока вентиляторов);
- два бака частично обессоленной воды;
- три насосных станции;

- блок предварительной очистки;
- три насосных станции высокого давления;
- три блока обратноосмотических мембранных модулей (рисунок 2);
- два бака обессоленной воды;
- насосная станция.

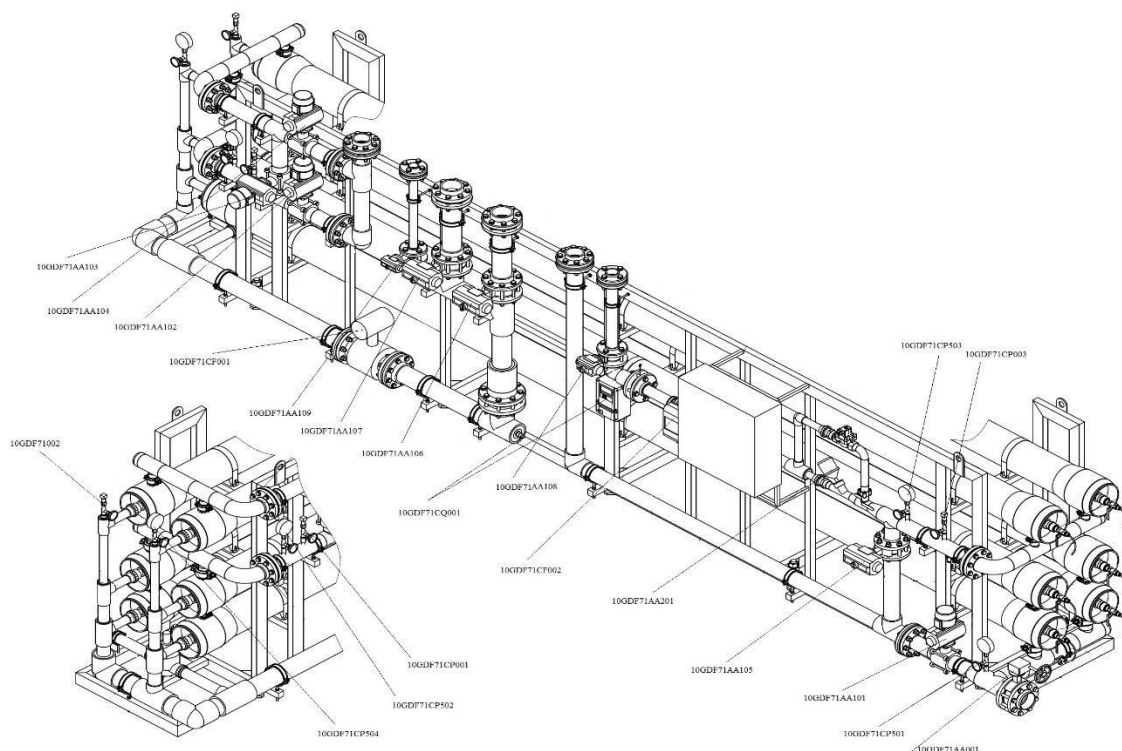


Рисунок 2 - Установка обратноосмотической очистки

### 1.1.3 Система GCF

Система ионообменной очистки пермеата (GCF) предназначена для приготовления глубоко обессоленной воды для первоначального заполнения первого и второго контуров атомной станции, их подпитки в процессе эксплуатации, а также для собственных нужд водоподготовительных систем.

Функциональные требования:

В основу проектирования системы ионообменной очистки пермеата (GCF) положена необходимость обеспечения следующего качества глубоко обессоленной воды:

- удельная электрическая проводимость не более 0,1 мкСм/см;
- содержание натрия не более 10 мкг/дм<sup>3</sup>;
- содержание общего органического углерода не более 0,1 мг/дм<sup>3</sup>.

Расчетная производительность системы ионообменной очистки пермеата (GCF) составляет 90 м<sup>3</sup>/ч по обессоленной воде.

АСУ ТП:

В основу проектирования АСУ ТП положено выполнение следующих требований:

- обеспечение выполнения технологической системой заданных функций;
- обеспечение сохранности и работоспособности технологического оборудования;
- выдача оператору информации по технологическим параметрам, включая отклонения от нормальных значений для обеспечения действий оператора.

Контроль над состоянием системы и управление ее элементами осуществляется автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП).

Управление всеми элементами, имеющими электропривод, контроль за положением (состоянием) элементов, контроль технологических параметров, а также предупредительная и аварийная сигнализация выполняются с местного пункта управления водоподготовкой (МПУ ВП).

Для управления системой и получения информации о ее состоянии при эксплуатации, предусматривается измерение следующих параметров:

- давление на напоре насосов обессоленной воды;
- расход пермеата на входе в каждый ФСД;
- давление на входе в каждый ФСД;
- перепад давления на каждом ФСД;
- перепад давления на фильтрах-ловушках;

- электропроводимость на выходе из каждого ФСД;
- наличие среды в воздушниках ФСД;
- наличие среды в ФСД (при поддренировании);
- давление на выходе из каждого ФСД;
- давление на выходе из каждого фильтра-ловушки;
- электропроводимость на выходе из системы GCF;
- содержание натрия на выходе из системы GCF;
- электропроводимость на трубопроводе сбросных регенерационных вод;
- уровень в баках подпиточной воды LCU;
- давление на линии сжатого воздуха.

#### Оборудование и материалы:

Выбор оборудования и материалов осуществлен с учетом функций системы и с учетом:

- качества и параметров среды;
- условий окружающей среды в помещениях, где располагаются компоненты системы;
- технологичности и свариваемости материалов;
- обеспечения работоспособности системы в течение всего срока службы. Требования к системам, связанным с системой GCF:

Системы, от которых зависит работоспособность системы ионообменной очистки пермеата, спроектированы таким образом, чтобы обеспечить функционирование системы GCF во всех проектных режимах.

Система ионообменной очистки пермеата (GCF) имеет связи со следующими системами:

- системой обессоливания предочищенной воды методом обратного осмоса (GDF);
- системой регенерации и промывки ионообменных фильтров (GCP);

- системой регенерации и промывки фильтров очистки конденсата (LDP);
- системой отвода промывочной воды и нейтрализации (GCR);
- системой контроля сбросных вод фильтров очистки конденсата (LDL);
- системой предварительной очистки исходной воды (GDB);
- системой регенерации и промывки установок мембранной очистки (GDP);
- системой подпиточной воды (LCU);
- системой химического контроля (QU, STG10);
- системой централизованного снабжение хим.реагентами (QC);
- системой коррекционной обработки рабочей среды второго контура (LDN);
- системой электроснабжения нормальной эксплуатации;
- АСУ ТП.

Вывод: после получения информации по водоподготовительной установке, для дипломного проекта была выбрана система обессоливания предочищенной воды методом обратного осмоса (GDF), проделанная работа будет представлена ниже.

## 2 Система обессоливания предочищенной водой методом обратного осмоса

### 2.1 Общие сведения

Система обессоливания предочищенной воды методом обратного осмоса (GDF) предназначена для приготовления обессоленной воды с целью дальнейшей очистки на ионообменных фильтрах, а также частично обессоленной воды для подпитки брызгальных бассейнов и баков противопожарного запаса воды.

Функциональные требования:

Система обессоливания предочищенной воды методом обратного осмоса (GDF) предназначена для приготовления обессоленной воды.

Исходной водой для системы обессоливания предварительно очищенной воды методом обратного осмоса (GDF) является осветленная вода после системы предварительной очистки исходной воды (GDB).

Контроль за состоянием системы и управление ее элементами осуществляются автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП).

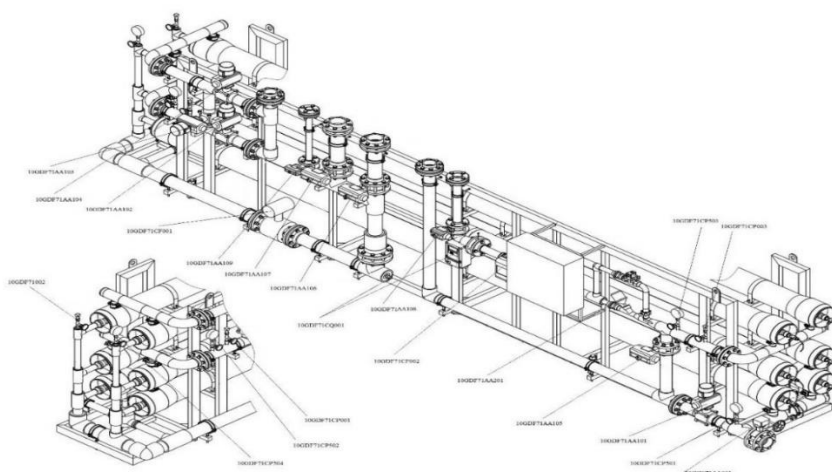


Рисунок 3 - Установка обратноосмотической очистки

## 2.2 Требования к АСУ ТП

В основу проектирования АСУ ТП должно быть положено выполнение следующих требований:

- обеспечение выполнения технологической системой заданных функций;
- обеспечение сохранности и работоспособности технологического оборудования;
- выдача оператору информации по технологическим параметрам.

Контроль над состоянием системы и управление ее элементами должен осуществляться автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП).

Управление всеми элементами, имеющими электропривод, контроль за положением (состоянием) элементов, контроль технологических параметров, а также предупредительная и аварийная сигнализация выполняются с местного пункта управления водоподготовкой (МПУ ВП).

## 2.3 Технические характеристики установки

Для начала нашей работы в дипломном проекте, нам нужны исходные данные или технические характеристики водоподготовительной установки, их мы получим из технической документации. Для наглядности и удобства все технические характеристики будут сведены в таблицу 2.3.1.

Таблица 2.3.1 – Технические характеристики водоподготовительной установки.

Наименование параметра	Значение
Количество мембранных элементов, шт.	36
Тип мембранного элемента	BW30-400
Количество мембранных элементов, (шт)	6
Производительность по пермеата , (м <sup>3</sup> /ч)	45,2
Количество питательной воды, номинальное, (м <sup>3</sup> /ч)	56,5



Продолжение таблицы 2.3.1 - Технические характеристики  
водоподготовительной установки

Количество дренируемой воды (концентрат), (м <sup>3</sup> /ч)		11,3
Получение очищенной воды, %		80
Задерживание солей, %*		99,0 99,5
Номинальная рабочая температура пермеата (°С)		от плюс 19 до плюс 21
Рабочее давление, МПа (бар)		1,7(17) (при 20°С)
Напряжение, (В)		380/220
Частота,( Гц)		50
Габаритные размеры, (мм)	Длина	7085
	Ширина	1225
	Высота	1955
Основной конструкционный материал	Рама	AIS1304
	Трубопроводная обвязка	AISI316, ПВХ
Масса, (кг)		1900
Масса в рабочем состоянии, (кг)		2400
Вода, поступающая на установку:	Мутность, NTU	не более

\* Параметр приведен для одного мембранного элемента BW30-400. Значение параметра «Задерживание солей» основано на следующих тестовых условиях: содержание NaCl в исходной воде — 2 г/л; давление - 1,55 МПа; температура исходной воды - 25 °С, pH=8, извлечение пермеата - 1594.

Вид климатического исполнения установки — УХЛ 4 по ГОСТ 15150. Установка рассчитана на эксплуатацию в закрытых помещениях при температуре от плюс 5 до плюс 45 °С.

Установка относится к классу безопасности 4 по ПНАЭ Г-01-011-97, категория сейсмостойкости III по НП-031-01.

## **3 Создание алгоритма водоподготовительной установки для очистки воды методом обратного осмоса**

### **3.1 Описание алгоритма**

Создание алгоритма в дипломном проекте, является одной из основных составляющих задач, которые были поставлены перед выполнением.

Алгоритм – это совокупность точно поставленных задач, которые описывают порядок действия системы и направлены на выполнение последовательных задач, поставленных перед объектом исследования, в нашем случае объектом исследования является водоподготовительная установка.

Составим и распишем алгоритм.

Разработанный алгоритм можно увидеть в приложении А.

#### **3.1.1 Пуск установки**

Автоматический пуск и останов установки производится в зависимости от уровня в баках обессоленной воды 10GDF80BB001/002 по показаниям датчиков уровня 10GDF80CL001/002. По заданному нижнему уровню воды в баке установка включается в работу, по заданному верхнему уровню выключается. На данной стадии установка заполняется водой, сброс пермеата происходит на баки 10GDF70BB001/002.

На стадии «Пуск установки» на установке открыта следующая арматура:

- на входе осветленной воды в установку 10GDF71AA001;
- на сбросе пермеата 10GDF71AA107;
- на выходе концентрата из установки 10GDF71AA102, 10GDF71AA108, 10GDF71AA201.

### **3.1.2 Промывка 1**

На данной стадии производится промывка мембран перед выходом на режим низким давлением с расходом концентрата 25-26 м<sup>3</sup>/час в течение 1-2 мин. В дополнение к открытой арматуре на стадии «Пуск установки», открывается клапан 10GDF71AA110. После проведения стадии клапан 10GDF71AA110 закрывается и следует стадия «Выход на оптимальный режим работы». На стадии «Промывка» на установке открыта следующая арматура:

- на входе частично обессоленной воды в установку 10GDF71AA001;
- на сбросе пермеата 10GDF71AA107;
- на выходе концентрата из установки 10GDF71AA102, 10GDF71AA108, 10GDF71AA201.

### **3.1.3 Выход на оптимальный режим работы**

Включается насос высокого давления 10GDF61AP001 на насосной станции высокого давления 10GDF61. Полученный пермеат сбрасывается в баки 10GDB70BB001/002. После достижения заданной удельной электропроводимости пермеата 2 мкСм/см по показаниям кондуктометра 10GDF71CQ001 (величина уточняется на этапе ПНР) открывается арматура

10GDF71AA106, закрывается арматура 10GDF71AA107 и блок переходит на стадию «Процесс фильтрации».

На стадии «Выход на оптимальный режим работы» на установке открыта следующая арматура:

- на входе осветленной воды в установку 10GDF71AA001;
- на сбросе пермеата 10GDF71AA107;
- на выходе концентрата из установки 10GDF71AA102, 10GDF71AA108, 10GDF71AA201.

Необходимым условием для проведения данной стадии является наличие давления 0,1-0,15 МПа по показателям датчика давления CP001 насосной станции 10GDF61.

### **3.1.4 Процесс фильтрации**

При переходе на стадию «Процесс фильтрации» на установке обратного осмоса открывается арматура 10GDF71AA106 и закрывается арматура 10GDF71AA107. Пермеат установки поступает в баки обессоленной воды 10GDF80BB001/002. Длительность стадии «Режим фильтрации» составляет 30 - 60 мин. На стадии производится регулирование расходов потоков пермеата и концентрата частотным приводом насоса 10GDF61AP001 и положением регулируемой арматуры 10GDF71AA201.

На стадии «Процесс фильтрации» на установке открыта следующая арматура:

- на входе частично обессоленной воды в установку 10GDF71AA001;
- на выходе пермеата 10GDF71AA106;
- на выходе концентрата из установки 10GDF71AA102, 10GDF71AA108, 10GDF71AA201.

### **3.1.5 Промывка 2**

В процессе непрерывной работы установки после каждого цикла стадии «Процесс фильтрации» продолжительностью 30-60 мин происходит стадия «Промывка 2». Во время этой стадии производится интенсивная промывка мембран (сброс по линии концентрата с расходом 25-26 м<sup>3</sup>/ч). При переходе на стадию «Промывка 2» на установке обратного осмоса открывается арматура 10GDF71AA110. Длительность этой стадии составляет 30 — 60 сек. Во время промывки установка производит меньшее количество пермеата. Также на стадию «Промывка 2» установка переходит в случае ухудшения качества пермеата по показаниям кондуктометра 10GDF71CQ001.

На стадии «Промывка 2» на установке открыта следующая арматура:

- на входе частично обессоленной воды в установку 10GDF71AA001;
- на выходе пермеата 10GDF71AA106;
- на выходе концентрата из установки 10GDF71AA102, 10GDF71AA108, 10GDF71AA201.

### **3.1.6 Промывка 3**

Данная стадия необходима для промывки концентратной линии перед остановкой установки обратного осмоса. Арматура 10GDF71AA201 остается в том положении, в котором она была при окончании стадии «Процесс фильтрации». Длительность проведения этой стадии уточняется при проведении ПНР.

На стадии «Промывка 3» на установке открыта следующая арматура:

- на входе частично обессоленной воды в установку 10GDF71AA001 ;
- на выходе пермеата 10GDF71AA106;
- на выходе концентрата из установки 10GDF71AA102, 10GDF71AA108, 10GDF71AA201.

### **3.1.7 Остановка водоподготовительной установки**

Остановка установки происходит по сигналам датчиков уровня 10GDF80CL001/002 баков обессоленной воды 10GDF80BB001/002. На этой стадии выключается насос 10GDF61AP001, закрывается вся приводная арматура, установка переходит на стадию ожидание.

На стадии «Остановка водоподготовительной установки» на установке открыта следующая арматура:

- на входе частично обессоленной воды в установку 10GDF71AA001;
- на выходе концентрата из установки 10GDF71AA201 (положение как при стадии «Процесс фильтрации»).

### **3.1.8 Ожидание ВПУ пуска**

Установка находится в стадии «Ожидание ВПУ пуска» по уровню в баках 10GDF80BB001/002 или по давлению воды по показаниям датчика давления CP002 на насосной станции высокого давления 10GDF61. Установка запускается автоматически. На установке в режиме «Ожидание ВПУ пуска» через каждые 12 часов проводится «Промывка 3».

### **3.1.9 Аварийная остановка**

Аварийная остановка производится автоматически по нарушению следующих показателей:

- по перепаду давления на промывках мембран;
- по давлению на входе в установку;
- по величине удельной электропроводимости пермеата. Величины этих показателей устанавливаются на этапе ПНР,
- закрытие и открытие клапанов;
- останов и блокировка насоса;

## **3.2 Перечень возможных неисправностей установки в процессе ее работы и рекомендации по их устранению**

После того как мы расписали работу водоподготовительной установки и свели в алгоритм, пора подумать о неисправностях, которые могут возникнуть при работе установки и как их решать в той или иной ситуации, сведем все в одну таблицу 3.2.1 для наглядности.

Таблица 3.2.1 – Перечень возможных неисправностей водоподготовительной установки и их устранение.

	Вид или появление неисправности	Возможные причины неисправности	Действие персонала и способ устранения неисправности
1	Низкий расход пермеата	а) низкое давление после насоса высокого давления 10GDF61AP001  б) загрязнены мембраны	а) по сигналу контроллера автоматически повысится давление  б) определить степень изменения расхода в %, определить потребность в химической промывке, осуществить химическую промывку
2	Высокое давление в линии пермеата	а) недостаточный пропуск арматуры на линии пермеата, частично пермеат идет через предохранительный клапан 10GDF71AA401 б) обратный клапан 10GDF71AA601 линии пермеата неисправны	а) выключить установку в ручном режиме, провести ревизию арматуры  б) заменить клапан
3	Большой перепад давления на установке	а) мембраны загрязнены	а) определить степень изменения перепада в %, определить потребность в химической промывке, осуществить химическую промывку
4	Низкий поток концентрата	а) регулируемый клапан поддержания заданного потока концентрата засорен	а) разобрать и почистить клапан регулирования потока концентрата

Продолжение таблицы 3.2.1 – Перечень возможных неисправностей водоподготовительной установки и их устранение

5	Высокий поток концентрата	а) неисправный регулируемый клапан линии сброса концентрата в) полностью открыт игольчатый клапан регулирования потока концентрата	а) прочистить или заменить клапан в) прикрыть и отрегулировать клапан
6	Наблюдается проток воды в линию пермеата или концентрата во время отключения установки	а) пропуск арматуры на линии подачи исходной воды на установку или по линиям пермеата или концентрата	а) провести ревизию предполагаемой арматуры на плотность
7	Повысилась удельная электропроводимость пермеата	а) низкое давление после насоса высокого давления 10GDF61APOO1 б) мембраны загрязнены	а) по сигналу контроллера автоматически повысится давление б) определить степень изменения электропроводимости в %, определить потребность в химической промывке, осуществить химическую промывку
8	Сработала и отключилась	а) низкое давление исходной воды или недостаточный расход исходной воды б) загрязнение картриджных фильтров блока 10GDF60 — сработало реле входного давления 10GDF61CP001 в) сработала температурная защита насоса 10GDF61AP001 г) неисправно устройство плавного запуска насоса	а) устранить причины низкого давления и расхода исходной воды б) заменить картриджи в фильтрах блока 10GDF60 в) устранить причины перегрузки насоса г) действовать по инструкции эксплуатации насоса



## 4 Разработка структурной схемы GDF71

Схема состоит из трёх уровней: нижний, средний, верхний. К нижнему уровню относятся все микропроцессорные устройства (преобразователи, счетчики и т.д.) и коммутационные устройства (выключатели, разъединители и т.д), которые непосредственно связаны с объектом управления. Средний уровень образуют устройства, которые обеспечивают концентрацию, обработку и передачу информации от устройств нижнего уровня на верхний уровень и от верхнего уровня на нижний. К верхнему уровню относятся центральная приемопередающая станция, которая обеспечивает хранение, накопление и представление информации на рабочем месте диспетчера (АРМ и/или диспетчерский щит), а также средства локальной вычислительной сети, объединяющей рабочие станции системы.

К нижнему уровню будет относиться:

- датчики давления;
- датчики уровня;
- датчики расхода;
- кондуктометр;
- комплект запорной и регулируемой арматуры;

К среднему уровню будет относиться:

- местный пульт управления;
- программируемый логический контроллер;

К верхнему уровню:

- автоматизированное рабочее место технолога;
- автоматизированное рабочее место оператора;
- сервер.

Связь между нижним и верхним уровнем осуществляется по сети ModBus.

Modbus был выбран по следующим критериям:

-совместимость с большим количеством оборудования, которое совместимо с

ModBus;

-Modbus имеет высокую передачу данных, связанную с контролем ошибок;

-отсутствие необходимости в специальных интерфейсных контроллерах;

-простота реализации.

Наиболее распространённым физическим интерфейсом является RS-485, так как его чаще используют для организации промышленной сети.

Связь между средним и верхним уровнем будет осуществляться по сети Ethernet. Ethernet был выбран по следующим критериям:

-простота взаимодействия с интернетом;

-простота взаимодействия с офисными сетями;

-безразмерные возможности по организации сетей самых разнообразных типов;

-высокая скорость передачи;

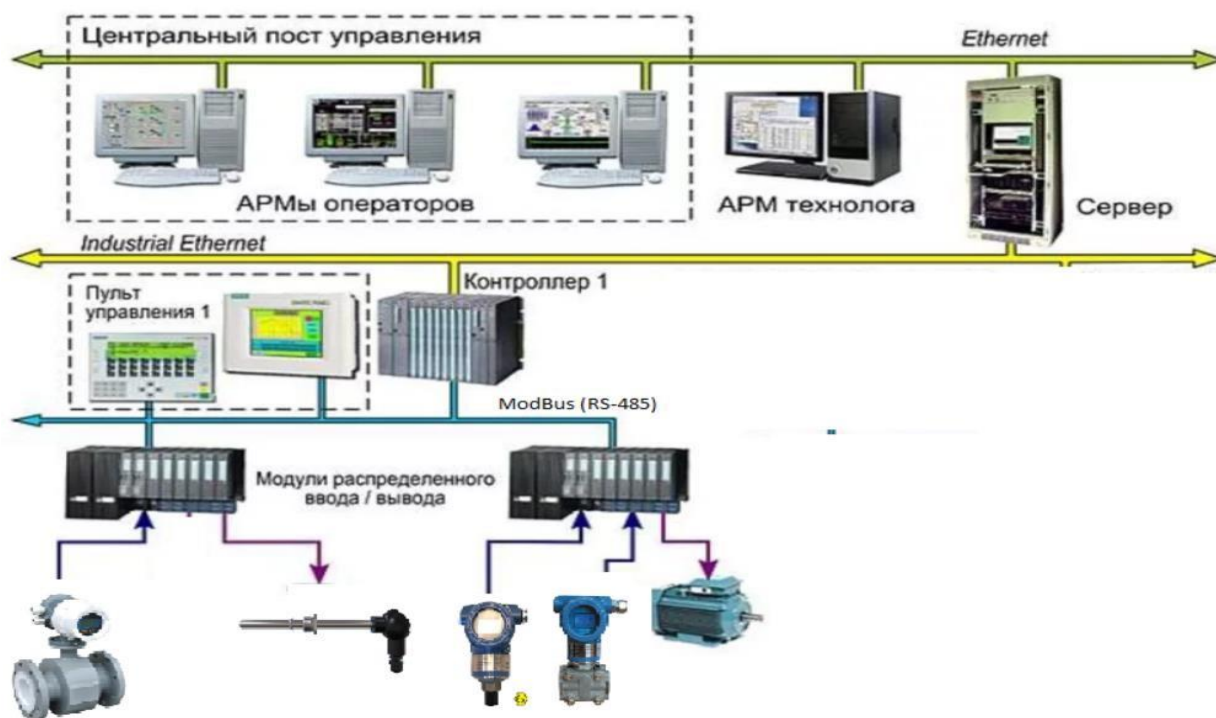


Рисунок 4– Структурная схема обратного осмоса

## 5 Выбор программного обеспечения

Подбор программного обеспечения обусловлен конкретными требованиями. Наиболее подходящим станет то ПО, которое легко будет устанавливать связь со всеми ПЛК системами, выполнять все требуемые функции.

Для данной работы были выбраны следующие пакеты:

- SCADA–система;
- среда Tia Portal;
- коммуникационный сервер MasterOPC.
- среда Codesys;
- Пакет прикладной программы Matlab.

На рисунке 5 представлена взаимосвязь всех элементов АСУ ТП установки обратного осмоса.

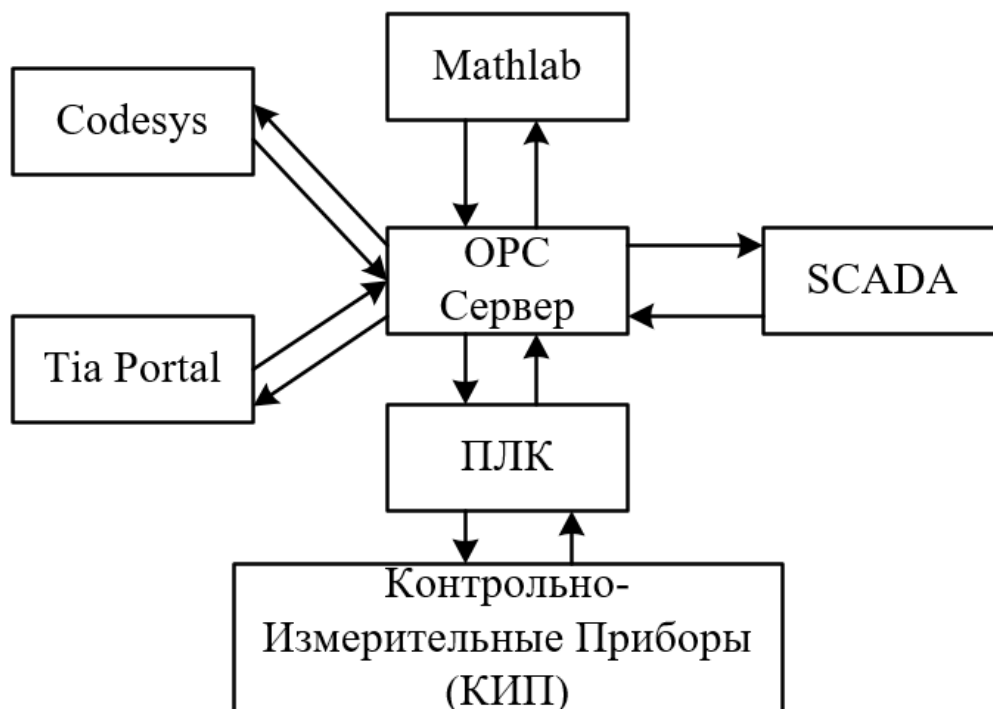


Рисунок 5 – Взаимосвязь элементов АСУ ТП установки обратного осмоса.

## 5.1 TIA PORTAL

Так как в качестве программируемого логического контроллера был выбран Siemens S7-1200, то в качестве софта была выбрана программа Tia Portal.

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) — интегрированная среда разработки программного обеспечения систем автоматизации технологических процессов от уровня приводов и контроллеров до уровня человеко-машинного интерфейса. Является воплощением концепции комплексной автоматизации

(англ. Totally Integrated Automation) и эволюционным развитием семейства систем автоматизации Simatic компании Siemens AG.

В TIA Portal интегрированы следующие программные пакеты:

-Simatic Step 7 для программирования контроллеров S7-1200, S71500, S7-300, S7-400 и WinAC;

-Simatic WinCC для разработки человеко-машинного интерфейса (от простейших кнопочных панелей до сложных конфигураций уровня SCADA);

-Sinamics StartDrive для параметрирования, программирования и диагностики приводов Sinamics;

-Simatic PLCSIM - симулятор ПЛК;

-Simatic Step 7 Safety;

-Simatic Visualization Architect;

-Simatic Energy Suite;

TIA Portal содержит инструментальные средства для:

-конфигурирования и настройки параметров аппаратуры;

-конфигурирования систем промышленной связи;

-программирования контроллеров S7-1200 на языках LAD (Ladder Diagram), FBD (Function Block Diagram) и SCL (Structured Control Language);

-конфигурирования панелей операторов SIMATIC;

-тестирования, выполнения пуско-наладочных работ и обслуживания готовой системы;

Интерфейс программы представлен ниже на рисунке 6.

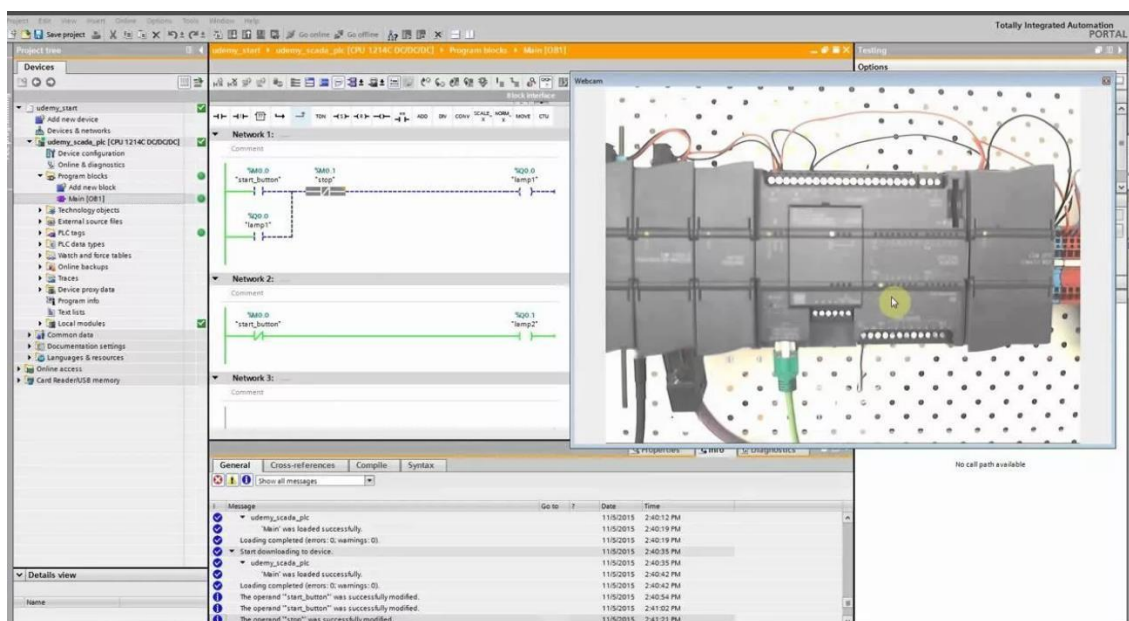


Рисунок 6 – Интерфейс среды Tia Portal.

## 5.2 OPC сервер

Tia Portal не может работать напрямую с другими программным обеспечением. Для того чтобы наладить между ними связь используется OPC сервер.

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.

В данной работе был использован сервер MasterOPC.

Для начала работы необходимо настроить соединение с OPC сервером. Для этого необходимо создать блок OPC configuration и настроить соединение с OPC, указав при этом хост и сервер. Блок Configuration OPC задает OPC-клиентов, которые будут использоваться в модели, конфигурирует псевдо

поведение в реальном времени для модели и задает поведение для ошибок ОРС и событий.

### **5.3 Пакет Matlab**

В дипломном проекте Matlab потребуется для создания математической модели, а также для наглядной диагностики системы, на выходе мы будем иметь графики, которые покажут результаты работы.

MATLAB – один из важнейших на данный момент пакетов, который можно использовать для обрабатывания разных типов данных. Расшифровка названия пакета MATLAB звучит так Matrix Laboratory, ну или если хотите матричная лаборатория. Возможности пакета являются универсальными, так как охватывают всю область математики.

Например, если использовать пакет MATLAB можно:

- 1) Решать уравнения или строить матрицы и проводить над ними операции;
- 2) Использовать MATLAB как калькулятор высчитывая корнилюбой степени или выполнять такие операции как: дифференцирование, экстраполирование или просто построить график простейшей функции.
- 3) Разработка и построение математической модели в пакете Simulink и проводить различные научные эксперименты.

На рисунке 7 можно увидеть интерфейс Matlab.

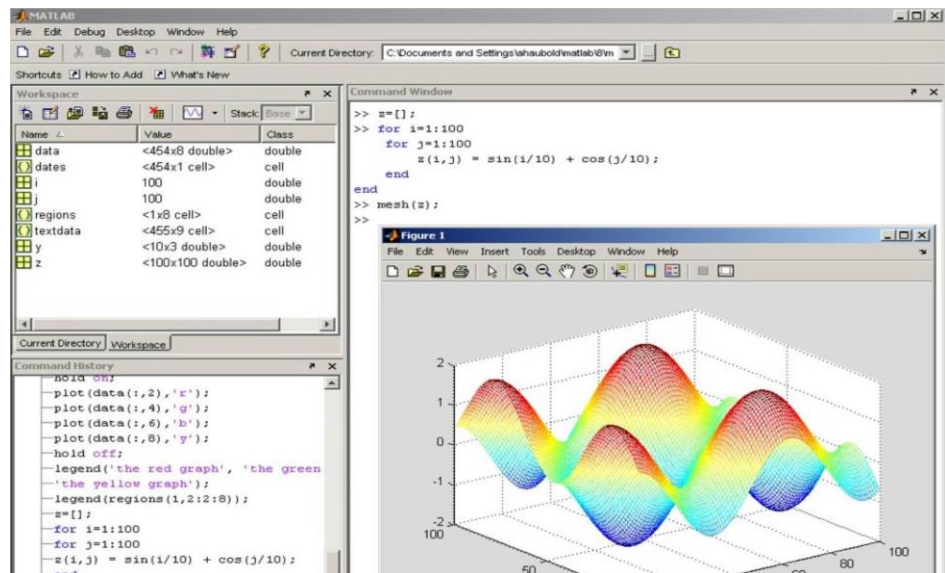


Рисунок 7 – Интерфейс Matlab

## 5.4 CoDeSys

В дипломном проекте среда CoDeSys нам понадобится, как альтернативное решение или универсальное решение, для предприятий, которые не работают по какой-то причине с контроллерами Siemens, тогда программное обеспечение CoDeSys, можно использовать с любым контроллером для водоподготовительных установок.

На данный момент CoDeSys или если расшифровать Controller Development System —это ведущий комплекс по прикладному программированию контроллеров или микроконтроллеров. В данном программном обеспечении можно программировать на абсолютно любом языке стандарта МЭК 61131-3. Любая задача которая связана с написанием и реализацией программного кода, можно смело выбирать CoDeSys.

CoDeSys стал популярен во всех областях промышленности, только по данным на 2020 год, более 400 компаний изготавливают контроллеры используя в качестве программного обеспечения CoDeSys.

На рисунке 8 представлен интерфейс среды программирования Codesys.

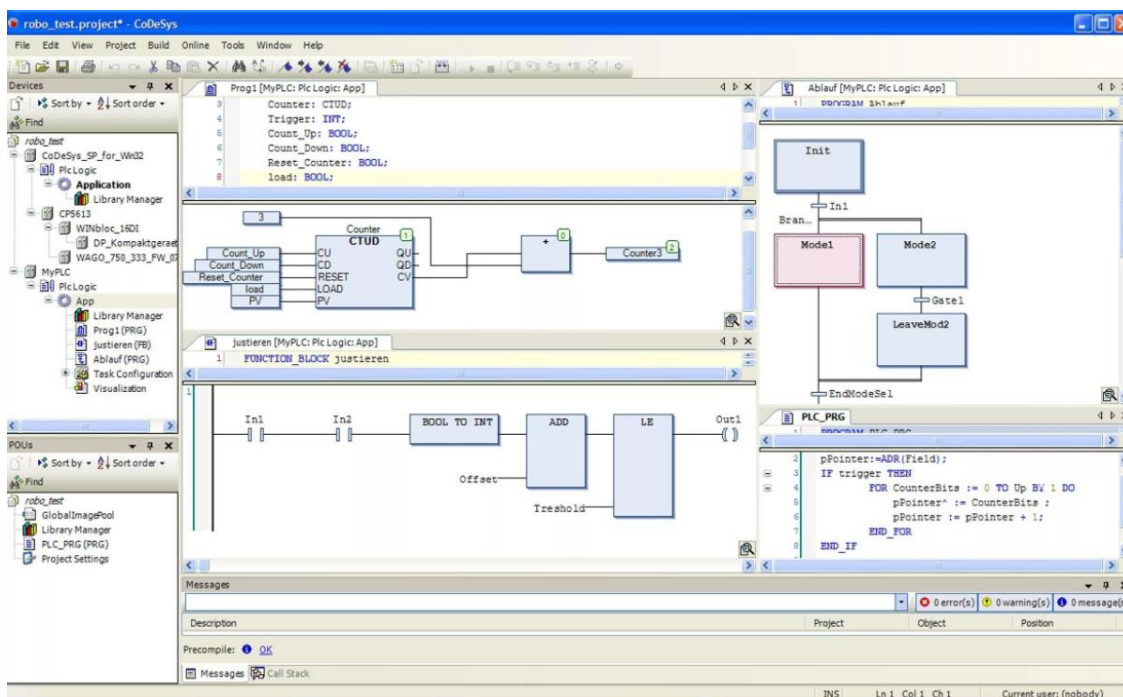


Рисунок 8 – Интерфейс среды Codesys

## 5.5 SCADA – система

SCADA система, в данном дипломном проекте играет роль экрана, на которой будет отображена водоподготовительная установка, со всеми датчиками и арматурой, а так же трубопроводами.

При выборе SCADA системы, должны были учитываться такие достоинства как:

- доступность;
- широкий круг использования;
- универсальность;
- способность системы выполнить поставленные перед ней условия.

В данном случае выбор был сделан на TRACE MODE SCADA.

Среда разработки Trace Mode, может использоваться в широком кругу людей специализирующиеся на программировании или создание мнемосхем системы, от самой простой до самой сложной. Каждый работник имеющий квалификацию в АСУТП или АСУП сможет разобраться в данной SCADA-



системе. Особенно когда есть уровни сложности, такие как: простой, стандартный или продвинутый

Главной чертой Trace Mode является способность параллельно запускаться с исполнительным модулем и одновременно с монитором, который в реальном времени показывает изменения величин или параметров.

Так же при исследовании был сделан вывод, что использование Trace Mode как среды разработки АСУТП, можно сэкономить до 30% времени по сравнению с использованием других редакторов и систем программирования контроллеров.

Интерфейс Trace Mode SCADA представлен ниже.

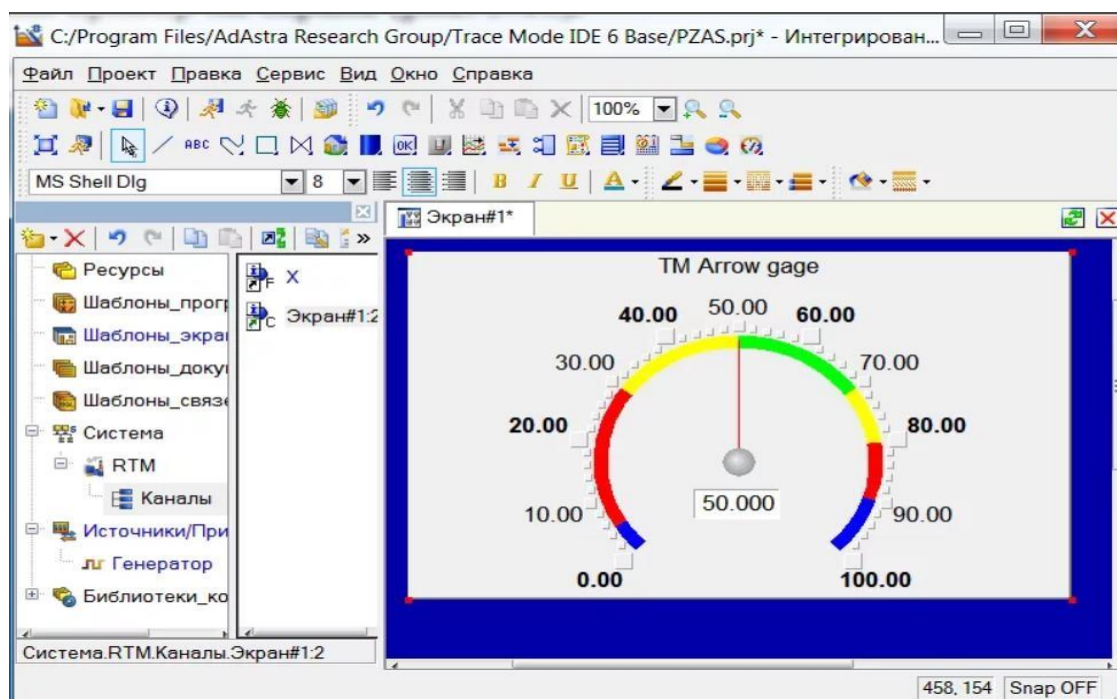


Рисунок 9 - Интерфейс программы Trace Mode

## 6. Выполнение условий и задач, поставленных перед выпускной квалификационной работой

### 6.1 Создание программы в Tia Portal языке GRAPH

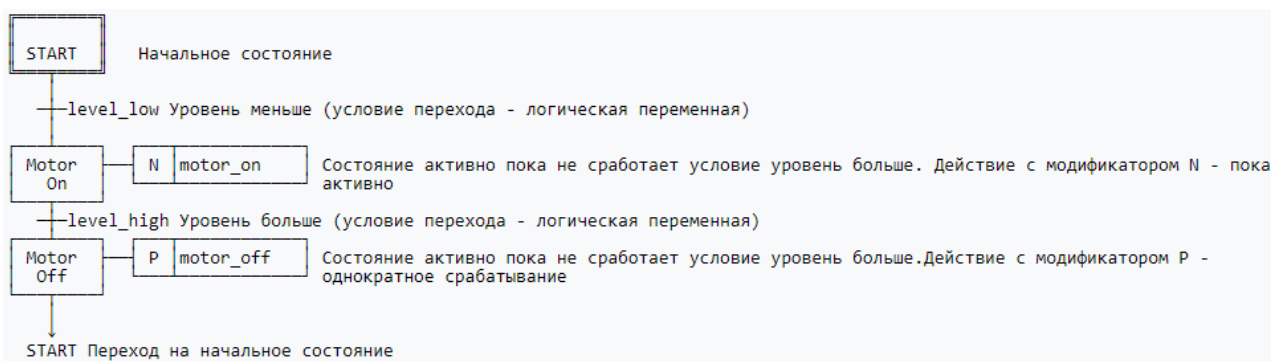
Начнем с выбора языка программирования, из всех языков, которые представлены в Tia Portal, был выбран язык SFC.

SFC – это язык, на котором пишутся программные коды последовательного действия и управления объектом технологического процесса описательная часть представлена в форме состояний. Каждое состояние объекта – это действие, которое должна выполнить программируемая система используя язык SFC.

Например, есть разные состояния и модификаторы.

Модификатор N – работает и выполняет действия пока состояние системы активно

Пример: Поддержание уровня жидкости в мембране с переменнo вытекающей жидкостью.



Программирование контроллеров семейства SIMATIC и в частности программирование системы на языке SFC имеет две версии:

1. Язык Graph 7 – это дополнение к STEP 7 и реализуется в контроллерах SIMATIC S7-300 так и в контроллерах S7-1200.
2. Применение языка SFC, только в рамках интегрированной среды разработки программных кодов и алгоритмов, а также человеко-машинного интерфейса SIMATIC 7

Выбираем необходимое оборудование, при выполнении данного примера мы использовали Siemens S7 (рисунок 10).

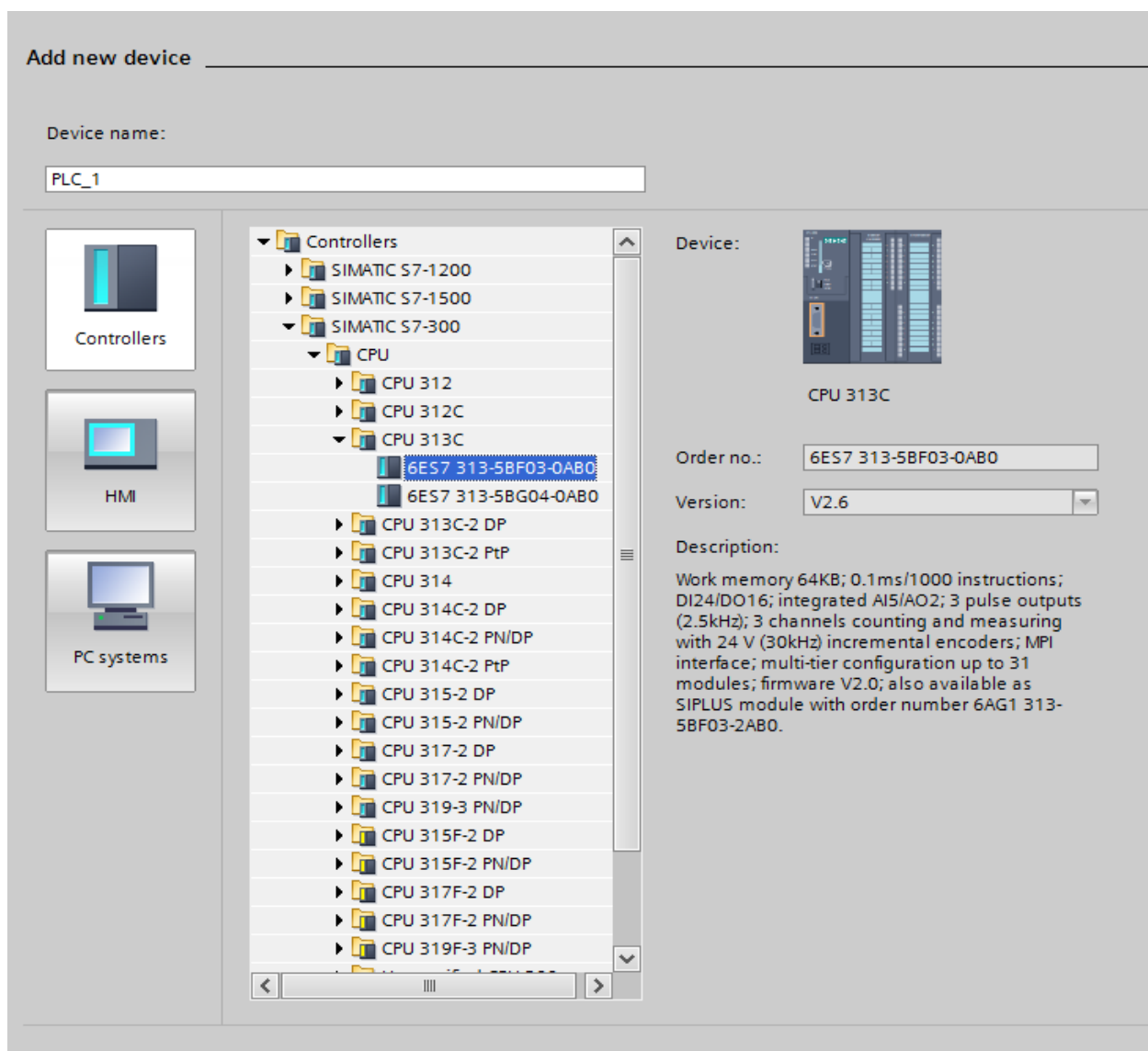


Рисунок 10 - Выбор ПЛК

Для того, чтобы создать функциональный блок на языке SFC, необходимо в левой части программы TIA Portal выбрать функцию «Add new block» (рисунок 11).

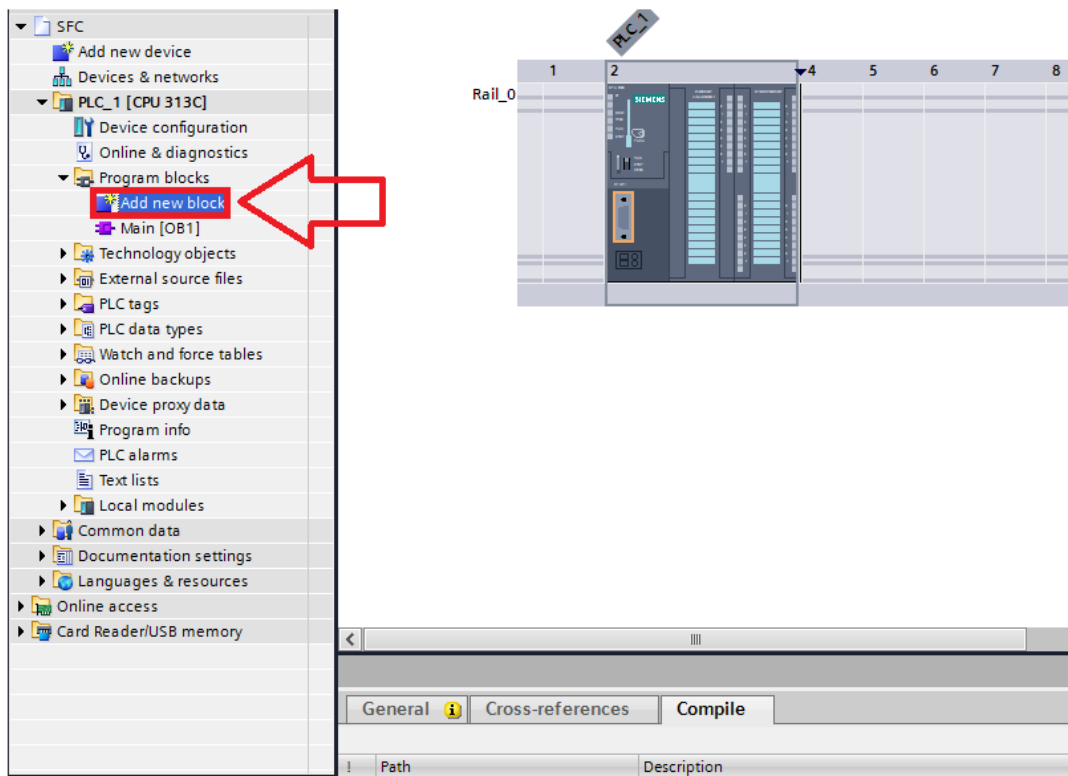


Рисунок 11 - Добавление нового блока

Необходимо выбрать «Function block» в левой части окна, и в параметре «Language» выбрать GRAPH и нажать кнопку ОК (рисунок 12).

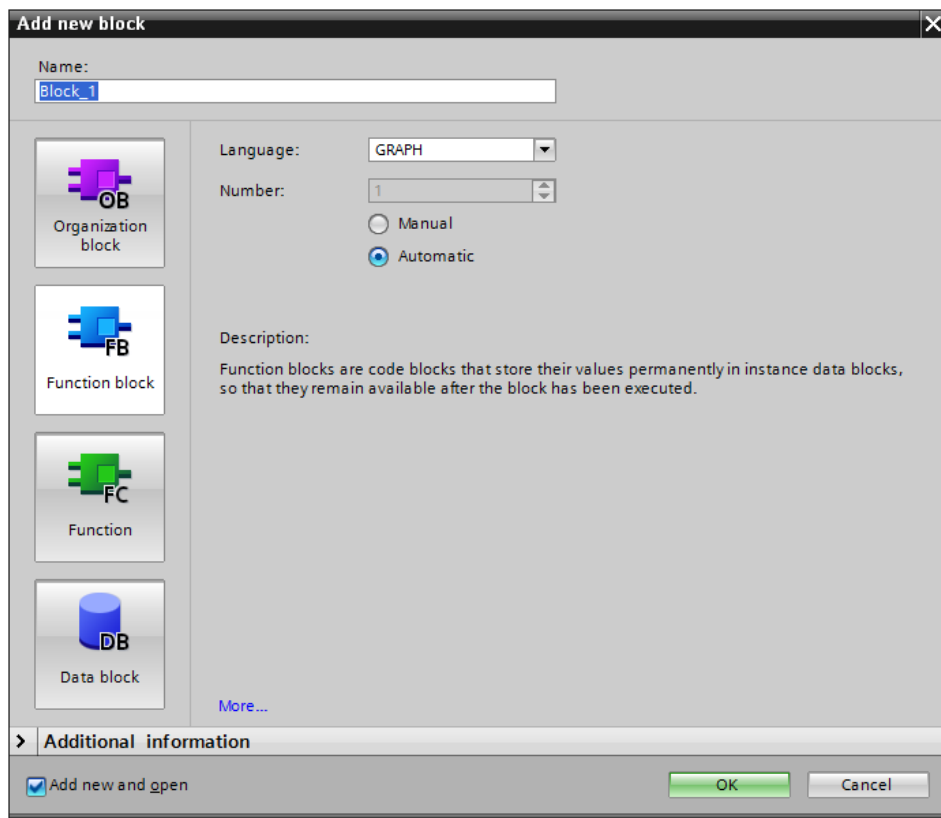


Рисунок 12 - Выбор языка GRAPH

Перед вами откроется следующее окно (рисунок 13):

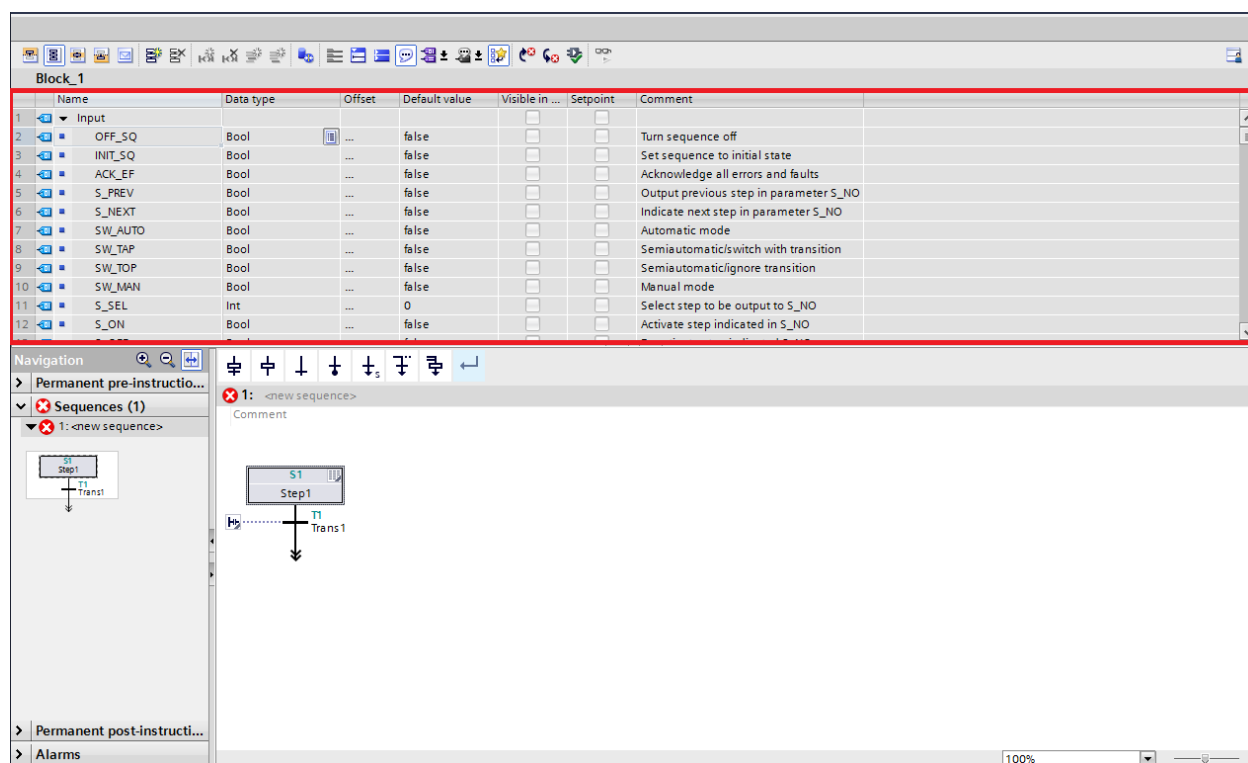


Рисунок 13 - Главное окно функционального блока

При написании программ на языке GRAPH можно использовать как глобальные переменные (PLC tags, Data block's tags) так и внутренние переменные, которые можно задать в выделенной области. При работе с внутренними переменными в последствии их необходимо будет привязать к глобальным (будет рассмотрено в примере).

В нижней области данного окна происходит непосредственное написание программы.

Блок Step1 – состояние системы. При двойном клике по нему откроется окно, в котором можно задать необходимые для исполнения действия.

Программа должна выполняться по нажатию кнопки «Старт», циклично. Время между сменой состояний равно 2 секунды. В любой момент при нажатии кнопки «Стоп» происходит прекращение работы программы и гаснут все лампочки.

Перейдем к реализации данной программы. Создаем необходимые теги (рисунок 14):

PLC tags							
	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Visibl...	Acces...
1	start	Default tag table	Bool	%M0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	stop	Default tag table	Bool	%M0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	lamp1	Default tag table	Bool	%M0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	lamp2	Default tag table	Bool	%M0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	lamp3	Default tag table	Bool	%M0.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	lamp4	Default tag table	Bool	%M0.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	lamp5	Default tag table	Bool	%M0.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	lamp6	Default tag table	Bool	%M0.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	<Add new>					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Рисунок 14 - Созданные теги

Для иллюстрации использования внутренних переменных создадим переменную «Start» (рисунок 15).

Block_1							
	Name	Data type	Offset	Default value	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Input						
2	OFF_SQ	Bool	...	false	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Turn sequence off
3	INIT_SQ	Bool	...	false	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Set sequence to initial state
4	ACK_EF	Bool	...	false	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Acknowledge all errors and faults
5	S_PREV	Bool	...	false	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Output previous step in parameter S_NO
6	S_NEXT	Bool	...	false	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Indicate next step in parameter S_NO
7	SW_AUTO	Bool	...	false	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Automatic mode
8	SW_TAP	Bool	...	false	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Semiautomatic/switch with transition
9	SW_TOP	Bool	...	false	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Semiautomatic/ignore transition
10	SW_MAN	Bool	...	false	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Manual mode
11	S_SEL	Int	...	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Select step to be output to S_NO
12	S_ON	Bool	...	false	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Activate step indicated in S_NO
13	S_OFF	Bool	...	false	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Deactivate step indicated S_NO
14	T PUSH	Bool	...	false	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Enable transition to switch in semi auto...
15	Start	Bool	...	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	<Add new>						
17	Output						
18	S_NO	Int	...	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Step number

Рисунок 15 - Создание внутренней переменной Start

В шаге добавляем вторую и пятую переменную для удобства зацикливания программы и выключаем первую и шестую переменную (рисунок 16).

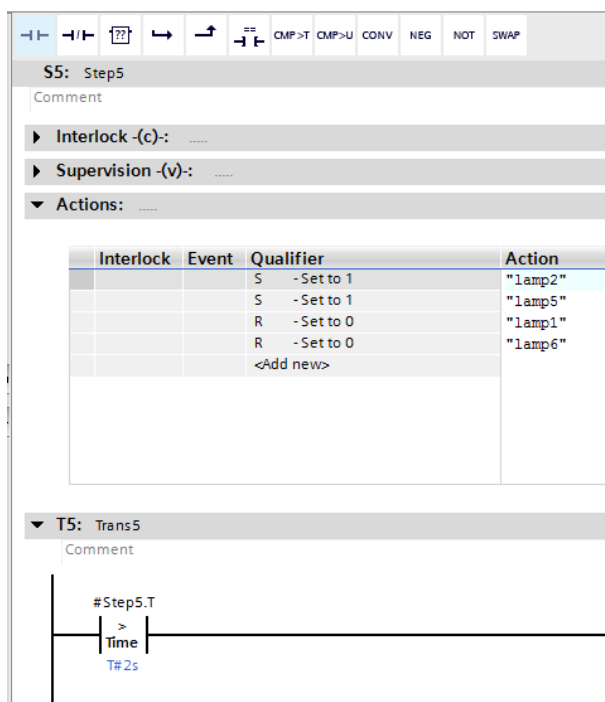


Рисунок 16 - Step5 и Trans5

В конце программы делаем возвращение к шагу 1 (зацикливаем программу 1) (Рисунок 17).

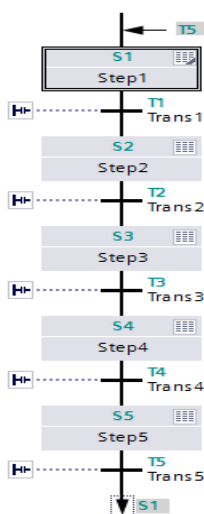


Рисунок 17 - Добавление возвращения к шагу 1

Добавим в программу реакцию на нажатие кнопки «Stop». Для этого добавим альтернативные условия перехода Trans7-10 и Stepб (Рисунок 18).

Необходимо привязать внутреннюю переменную «Start» к глобальному тегу (Рисунок 19).

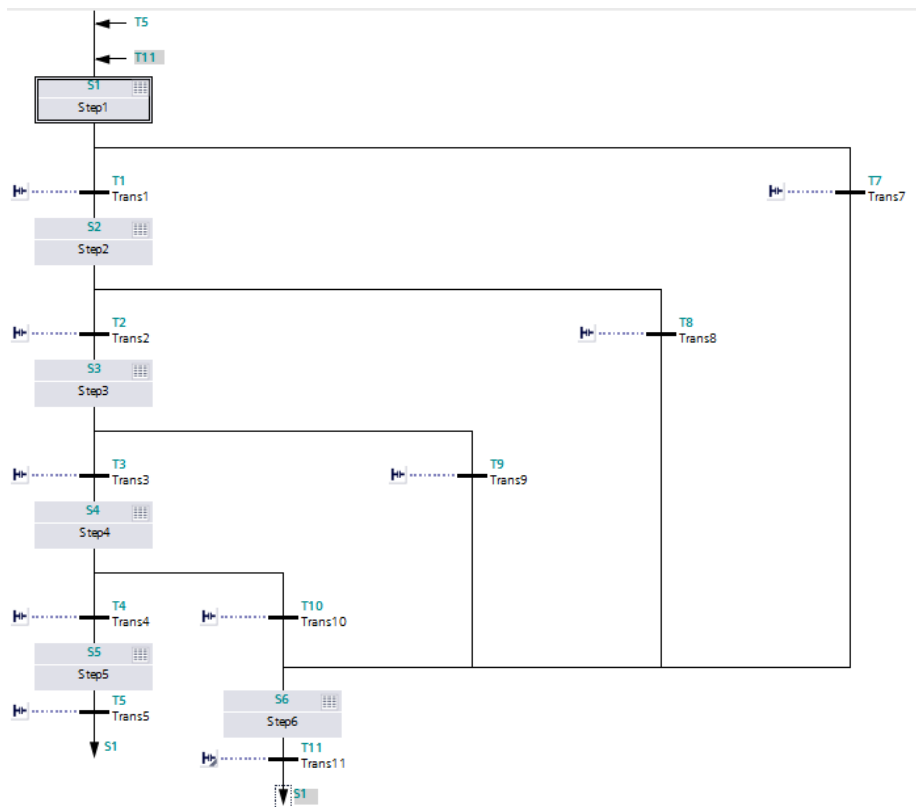


Рисунок 18 - Готовая программа

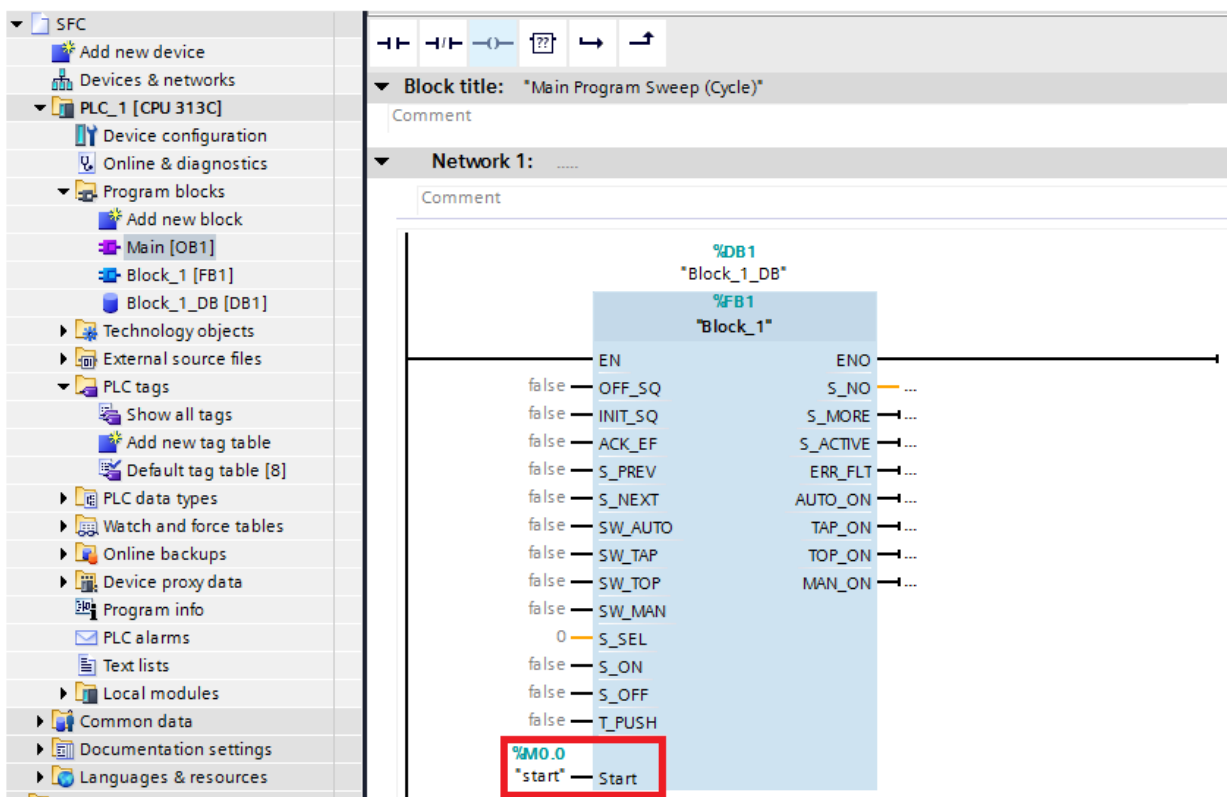


Рисунок 19 - Привязка внутренней переменной



В Trans 7-10 одно и то же условие перехода (рисунок 20).

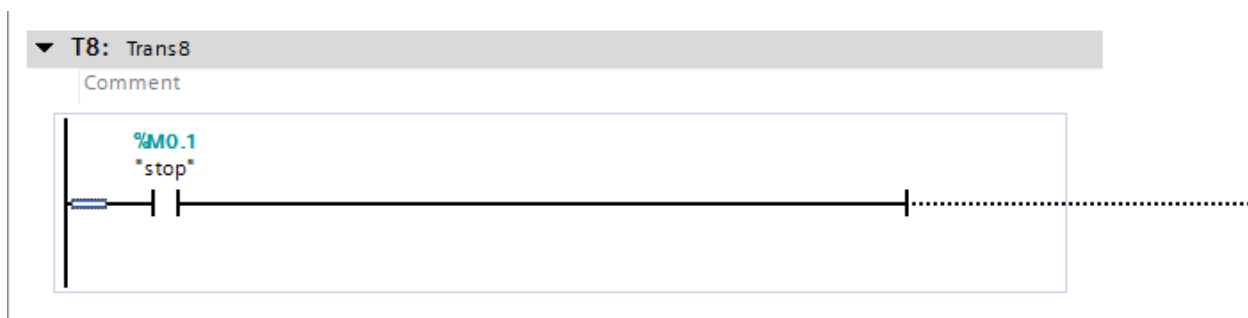


Рисунок 20 - Условие перехода

## 6.2 Создание аварийной программы в среде CoDeSys

Решение было принято мной для того, чтобы присвоить дипломному проекту статус универсальный, так как Tia Portal создан только для контроллеров Siemens, мне бы хотелось опробовать в будущем как поведет себя система с другим контроллером на другом софте.

Поэтому была создана аварийная система для моего дипломного проекта, и была подсоединена через OPC Сервер к SCADA-системе и работала стабильно.

Для начала в CoDeSys был создан функциональный блок alarm, дальше были введены входные и выходные величины (рисунок 21).

```

0001 FUNCTION_BLOCK alarm
0002 VAR_INPUT
0003     membrana: BOOL;
0004     pressure: BOOL;
0005     conductometr: BOOL;
0006     close: BOOL;
0007     nasos: BOOL;
0008     start: BOOL;
0009     stop: BOOL;
0010     avariya: BOOL;
0011 END_VAR
0012 VAR_OUTPUT
0013     pump_indicator: BOOL;
0014     membranaout: BOOL;
0015     pressureout: BOOL;
0016     conductometrout: BOOL;
0017     closeout: BOOL;
0018     nasos: BOOL;
0019     alarm_indicator: BOOL;
0020     teg_first_reason: STRING(20);
0021     volume1: BOOL;
0022     volume2: BOOL;
0023     volume3: BOOL;
0024
0025 END_VAR
0026 VAR
0027     blinker1: BLINK;
0028     blinker2: BLINK;
0029     blinker3: BLINK;
0030     blinker4: BLINK;
0031     blinker5: BLINK;
0032     blinker6: BLINK;
0033     blinker7: BLINK;
0034     blinker8: BLINK;
0035     TON1: TON;
0036     TON2: TON;
0037     membrana1: BOOL;
0038     TRIGR1: R_TRIG;
0039     TRIGR2: R_TRIG;

```

Рисунок 21 – Переменные в функциональном блоке alarm среда CoDeSys

Далее была написана программа, для основных параметров водоподготовительной установки которая подразумевала собой, аварийное оповещение, как световое, так и звуковое на щит оператора. Листинг представлен ниже.

```

0001 (*Давление в мембранах*)
0002 TRIGR1 (CLK:=temper);
0003 IF TRIGR1.Q
0004     THEN
0005         membrana1:=1;
0006 END_IF;
0007 IF temper (*AND handshake=0 AND pump_indicator=0*)
0008     THEN
0009         IF pump_indicator=0 THEN teg_first_reason:=' membrana'; END_IF;
0010         pump_indicator:=1;
0011 END_IF;
0012 IF membrana1
0013     THEN
0014
0015         blinker1 (ENABLE:=TRUE, TIMEHIGH:=#1s, TIMELOW:=#1s);
0016         temperout := blinker1.OUT;
0017     ELSE
0018
0019         blinker1 (ENABLE:=FALSE, TIMEHIGH:=#1s, TIMELOW:=#1s);
0020         IF temper THEN membranaout := 1; ELSE membranaout := 0; END_IF; (* костыль для тревожного цвета*)
0021 END_IF;

```

Рисунок 22 – Листинг программы давления

```

0023 (*давление в трубах*)
0024 TRIGR2 (CLK:=pressure);
0025 IF TRIGR2.Q
0026     THEN
0027         pressure1:=1;
0028 END_IF;
0029 IF pressure (*AND handshake=0 AND pump_indicator=0*)
0030     THEN
0031         IF pump_indicator=0 THEN teg_first_reason:=' Проблема с давлением в трубах'; END_IF;
0032         pump_indicator:=1;
0033 END_IF;
0034 IF pressure1
0035     THEN
0036
0037         blinker2 (ENABLE:=TRUE, TIMEHIGH:=#1s, TIMELOW:=#1s);
0038         pressureout := blinker2.OUT;
0039     ELSE
0040
0041         blinker2 (ENABLE:=FALSE, TIMEHIGH:=#1s, TIMELOW:=#1s);
0042         IF pressure THEN pressureout := 1; ELSE pressureout := 0; END_IF; (* костыль для тревожного цвета*)
0043 END_IF;
0044

```

Рисунок 23 – Листинг программы давления в трубопроводах

```

0045>(*Кондуктометр*)
0046 TRIGR3 (CLK:=Conductometr);
0047 IF TRIGR3.Q
0048     THEN
0049         HSA1:=1;
0050 END_IF;
0051 IF HSA (*AND handshake=0 AND pump_indicator=0*)
0052     THEN
0053         IF pump_indicator=0 THEN teg_first_reason:=' Проблема с кондуктометром'; END_IF;
0054         pump_indicator:=1;
0055 END_IF;
0056 IF Conductometr1
0057     THEN
0058
0059         blinker3 (ENABLE:=TRUE, TIMEHIGH:=t#1s, TIMELOW:=t#1s);
0060         Conductometrout := blinker3.OUT;
0061     ELSE
0062
0063         blinker3 (ENABLE:=FALSE, TIMEHIGH:=t#1s, TIMELOW:=t#1s);
0064         IF HSA THEN Conductometrout := 1; ELSE Conductometrout := 0; END_IF; (* костыль для тревожного цвета*)
0065     END_IF;
0066

```

Рисунок 24 – Листинг программы работы кондуктометра

```

0067>(* Проблема клапанов*)
0068 TRIGR4 (CLK:=close);
0069 IF TRIGR4.Q
0070     THEN
0071         close1:=1;
0072 END_IF;
0073 IF close (*AND handshake=0 AND pump_indicator=0*)
0074     THEN
0075         IF pump_indicator=0 THEN teg_first_reason:=' Клапан № 10GDF71AA102r'; END_IF;
0076         pump_indicator:=1;
0077 END_IF;
0078 IF close1
0079     THEN
0080
0081         blinker4 (ENABLE:=TRUE, TIMEHIGH:=t#1s, TIMELOW:=t#1s);
0082         closeout := blinker4.OUT;
0083     ELSE
0084
0085         blinker4 (ENABLE:=FALSE, TIMEHIGH:=t#1s, TIMELOW:=t#1s);
0086         IF close THEN closeout := 1; ELSE closeout := 0; END_IF; (* костыль для тревожного цвета*)
0087     END_IF;
0088

```

Рисунок 25 – Листинг программы работы клапанов

```

0089>(*Проблемы с насосом*)
0090 TRIGR5 (CLK:=nasos);
0091 IF TRIGR5.Q
0092     THEN
0093     nasos1:=1;
0094 END_IF;
0095 IF nasos(*AND handshake=0 AND pump_indicator=0*)
0096     THEN
0097     IF pump_indicator=0 THEN teg_first_reason:='Авария насоса'; END_IF;
0098     pump_indicator:=1;
0099 END_IF;
0100 IF nasos1
0101     THEN
0102
0103     blinker5 (ENABLE:=TRUE, TIMEHIGH:=t#1s, TIMELOW:=t#1s);
0104     nasosout := blinker5.OUT;
0105 ELSE
0106
0107     blinker5 (ENABLE:=FALSE, TIMEHIGH:=t#1s, TIMELOW:=t#1s);
0108     IF nasos THEN nasosout := 1; ELSE nasosout := 0; END_IF; (* костыль для тревожного цвета*)
0109 END_IF;
0110
0111>(*Включение мегафона*)
0112 IF membrana1 OR pressure1 OR conductometr1 OR close1 OR nasos1 THEN alarm_indicator:=1; ELSE alarm_indicator:=0; END_IF;
0113

```

Рисунок 26 – Листинг программы аварийной работы насоса

```

0114>(*Анимация мегафона*)
0115 IF alarm_indicator
0116     THEN
0117     blinker6 (ENABLE:=TRUE, TIMEHIGH:=t#0.2s, TIMELOW:=t#0.4s);
0118     volume1 := blinker6.OUT;
0119     TON1 (IN:=TRUE, PT:=t#0.2s);
0120     blinker7 (ENABLE:=TON1.Q, TIMEHIGH:=t#0.2s, TIMELOW:=t#0.4s);
0121     volume2 := blinker7.OUT;
0122     TON2 (IN:=TRUE, PT:=t#0.4s);
0123     blinker8 (ENABLE:=TON2.Q, TIMEHIGH:=t#0.2s, TIMELOW:=t#0.4s);
0124     volume3 := blinker8.OUT;
0125 ELSE
0126     blinker6 (ENABLE:=FALSE); blinker7 (ENABLE:=FALSE);
0127     blinker8 (ENABLE:=FALSE); TON1 (IN:=FALSE); TON2 (IN:=FALSE);
0128 END IF;

```

Рисунок 27 – Листинг программы звуковой серены

```

0131 IF avariya (*Аварийное включение *)
0132 THEN
0133     volume1:=0; volume2:=0; volume3:=0;
0134     membrana1:=0;
0135     conductometr1:=0;
0136     close1:=0;
0137     pressure1:=0;
0138     nasos1:=0;
0139 END_IF;
0140
0141 IF membrana OR pressure OR conductometr OR close OR nasos (* блокировка кнопки ВКЛ *)
0142 THEN
0143     block:=1;
0144 ELSE
0145     block:=0;
0146 END_IF;
0147
0148 IF start (* включаем насос *)
0149 THEN
0150     pump_indicator:=0;
0151 END_IF;
0152
0153 IF stop (* выключаем насос *)
0154 THEN
0155     pump_indicator:=1;
0156 END_IF;

```

Рисунок 28 – Листинг программы включения аварийного режима

Дальше была проделана визуальная работа в среде CoDeSys, данная функция была сделана для аварийного подхвата и мониторинга системы.

На рисунке 29 представлена нормальная работа аварийной системы, показателем этого служит зеленый индикатор.



Рисунок 29 – Визуализация нормальной работы системы в среде CoDeSys

На рисунке 30 представлена визуализация аварии, в данном случае аварии клапана, так же была прописана программа определитель какого именно клапана в данном случае проблема в клапане 10GDF71AA102.

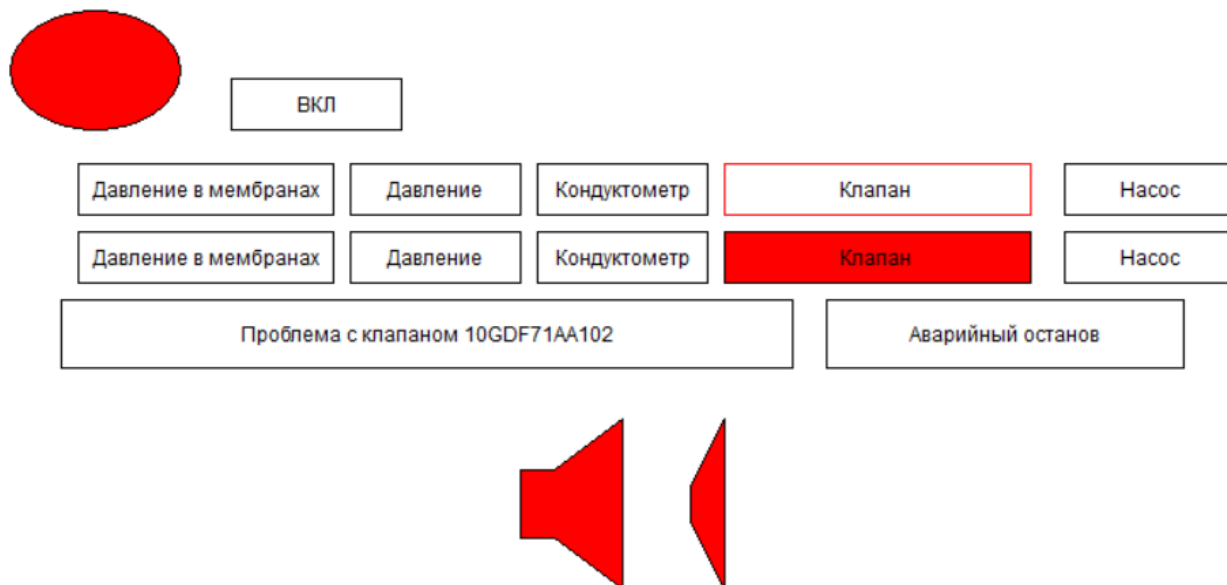


Рисунок 30 – Визуализация аварийной ситуации в среде CoDeSys

Далее была проделана операция аварийного останова всей установки, останов осуществляется вручную, но если в течении 10 секунд не будет нажата кнопка останова, то кнопка будет прожата автоматически (рисунок 31)



Рисунок 31 – Визуализация аварийного останова в среде CoDeSys

### 6.3 Математическое описание работы системы

Исследуемый объект обладает характеристиками, зависящими от времени, т.е. динамическими характеристиками. Это означает, что особое значение приобретает изучение динамики состояний данного объекта при различных возмущающих воздействиях. Основными параметрами системы являются давление воды, задаваемый насосом, и время фильтрации, который зависит от расхода воды.

На рисунке 32 представлена общая математическая модель участка водоподготовительной установки GDF71.

Стоит отметить тот факт, что все данные собранные мной по ВПУ засекречены, поэтому – эта информация достаточно важная для ЛАЭС.

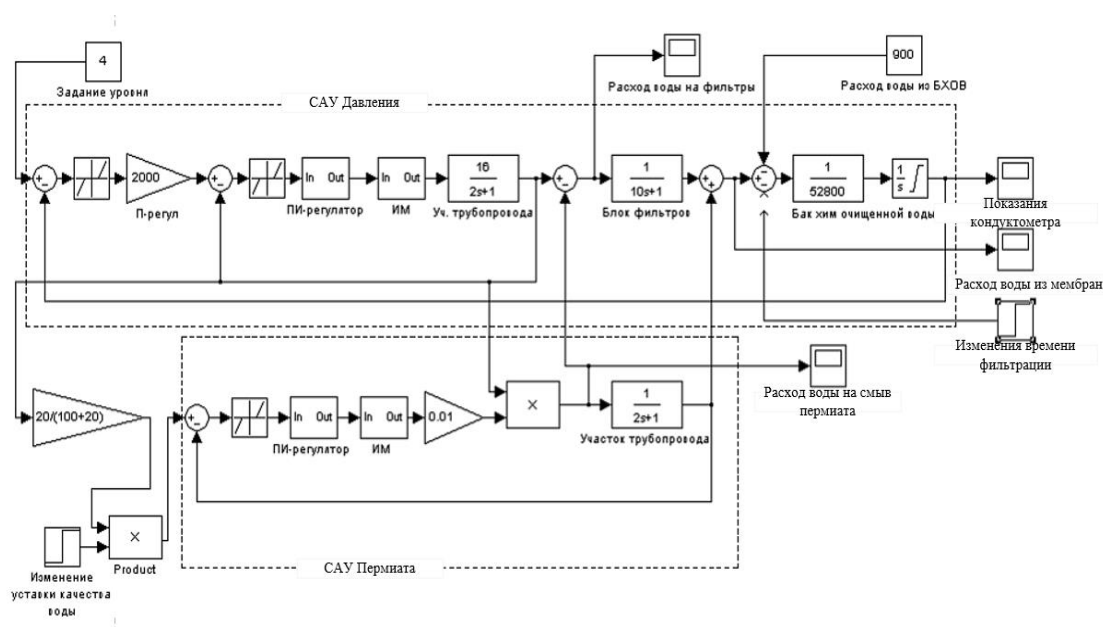


Рисунок 32 - Математическая модель GDF71 построенная в Matlab(Simulink)



### 6.3.1 Математическое описание насос

Главное характеристикой насоса является напорнорасходная характеристика. В математическом виде она примет вид:

$$H = h_0 \cdot \omega^2 + b \cdot \omega - r\mu \cdot q^2 \quad (6.3.1.1)$$

где  $h_0$  – приведенный напор насоса;

$b$  – коэффициент, характеризующий зависимость между напором и подачей насоса;

$r\mu$  - коэффициент, характеризующий внутренне гидравлическое сопротивление насоса.

Первые два члена показывают процесс передачи энергии от рабочих лопастей жидкости, а третий – определяет суммарные потери. Следует, что динамические характеристики и инерционность задается двумя первыми членами уравнения. Для получения динамических зависимостей, характеризующих поведение насоса, обозначим  $z$ :

$$z = h_0 \cdot \omega^2 + b \cdot \omega \quad (6.3.1.2)$$

где:  $z$  – динамическая составляющая

Динамическую характеристику насоса с учетом переходных процессов в нем можно представить в виде:

$$T_H \frac{dz}{dt} + z = h_0 \cdot \omega^2 + b \cdot \omega \quad (6.3.1.3)$$

или

$$z = \frac{1}{T_H p + 1} (h_0 \cdot \omega^2 + b \cdot \omega) \quad (6.3.1.4)$$

Стоит отметить, что насос с обратной связью по скорости представляет механизм, который обладает маховой массой, составленной ротором электродвигателя и рабочими лопастями насоса и имеет механическую постоянную времени.

Насос, на основе системы уравнений, примет следующий вид:

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{\beta T_M} (\Delta M - \Delta M_c) \quad (6.3.1.5)$$

$$T_3 \frac{d\Delta M}{dt} + \Delta M = \beta (\Delta\omega_0 - \Delta\omega) \quad (6.3.1.6)$$

$$T_{ПЧ} \frac{d\Delta\omega_0}{dt} + \Delta\omega_0 = k_{ПЧ} \Delta U_{PC} \quad (6.3.1.7)$$

$$T_{PC} \frac{d\Delta U_{PC}}{dt} = \Delta U_y - k_{PC} T_{PC} k_{OC} \frac{d\Delta\omega}{dt} - k_{PC} T_{PC} k_{OC} \Delta\omega \quad (6.3.1.8)$$

$$T_H \frac{dz}{dt} + z = h_0 \cdot \omega^2 + b \cdot \omega \quad (6.3.1.9)$$

Для удобства исследования переходных процессов динамики системы с обратной связью по скорости, после несложных преобразований, систему уравнений представим в следующем виде:

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{1}{\beta T_M} (x_2 - A), \quad (6.3.1.10)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{\beta}{T_3} x_3 - \frac{\beta}{T_3} x_1 - \frac{\beta}{T_3} x_2 \quad (6.3.1.11)$$

$$\frac{dx_3}{dt} = \frac{k_{ПЧ}}{T_{ПЧ}} x_4 - \frac{1}{T_{ПЧ}} x_3 \quad (6.3.1.12)$$

$$\frac{dx_4}{dt} = u - \frac{k_{PC} T_{PC} k_{OC}}{T_{PC}} \frac{dx_1}{dt} - \frac{k_{PC} T_{PC} k_{OC}}{T_{PC}} x_1 \quad (6.3.1.13)$$

$$\frac{dx_5}{dt} = \left( \frac{b}{T_H} + \frac{2h_0 x_0}{T_H} \right) x_1 - \frac{1}{T_H} x_5 \quad (6.3.1.14)$$

где:  $x_1 = \Delta\omega$ ,  $x_2 = \Delta M$ ,  $x_3 = \Delta\omega_0$ ,  $x_4 = \Delta U_{PC}$ ,  $x_0$  – коэффициенты линеаризации переменной  $\omega^2$ .

Ниже представлено решение системы уравнений, при следующих параметрах двигателя:

$$P_{ном}=7,5\text{кВт}; n=3000\text{об/мин}; \beta=5,085; T_3=0,05$$

Параметрах преобразователя частоты:

$$k_{ПЧ}=5; T_{ПЧ}=0,001$$

Параметрах регулятора скорости:

$$k_{PC}=0,86; T_{PC}=0,35; k_{OC}=0,3$$

А также параметрах центробежного насоса:

$$b=0,57; h_0=0,1; x_0=35; T_H=0,045$$

$$dx_1 = 1,96x_2 - 78,6x_1$$

$$dx_2 = 101,7x_3 - 101,7x_1 - 20x_2$$

$$dx_3 = 5000x_4 - 1000x_3$$

$$dx_4 = 5 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{3}}\right) - 0,74(1,96x_2 + 0,56x_1 - 80x_1^2) - 0,74x_1$$

$$dx_5 = 140x_1 - 20x_5$$

Динамику системы можно исследовать на структурной схеме модели, представленной на рисунке 5:

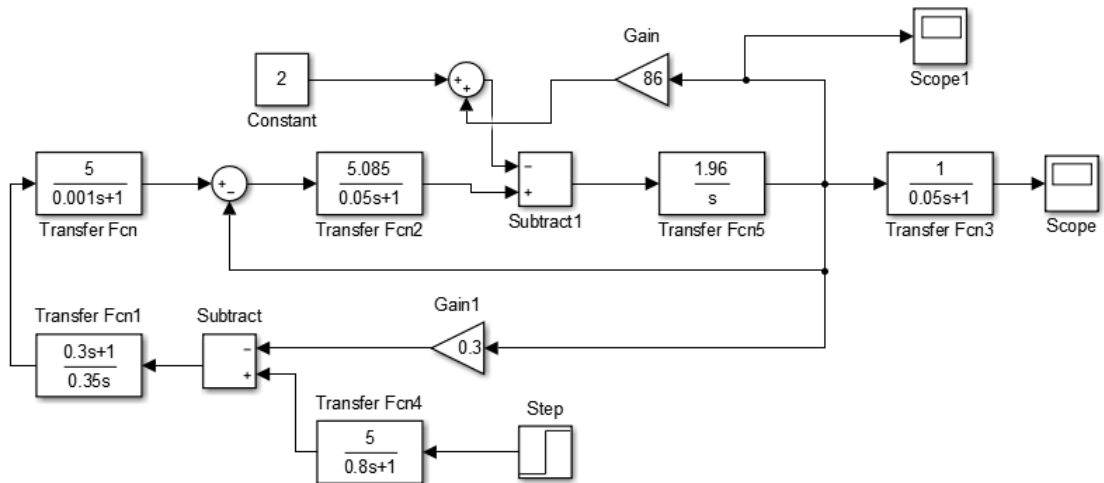


Рисунок 33 – Структурная схема математической модели

На рисунке 34 можно увидеть график зависимости времени фильтрации в системе от давления воды в трубопроводах. Эти данные были получены в начале.

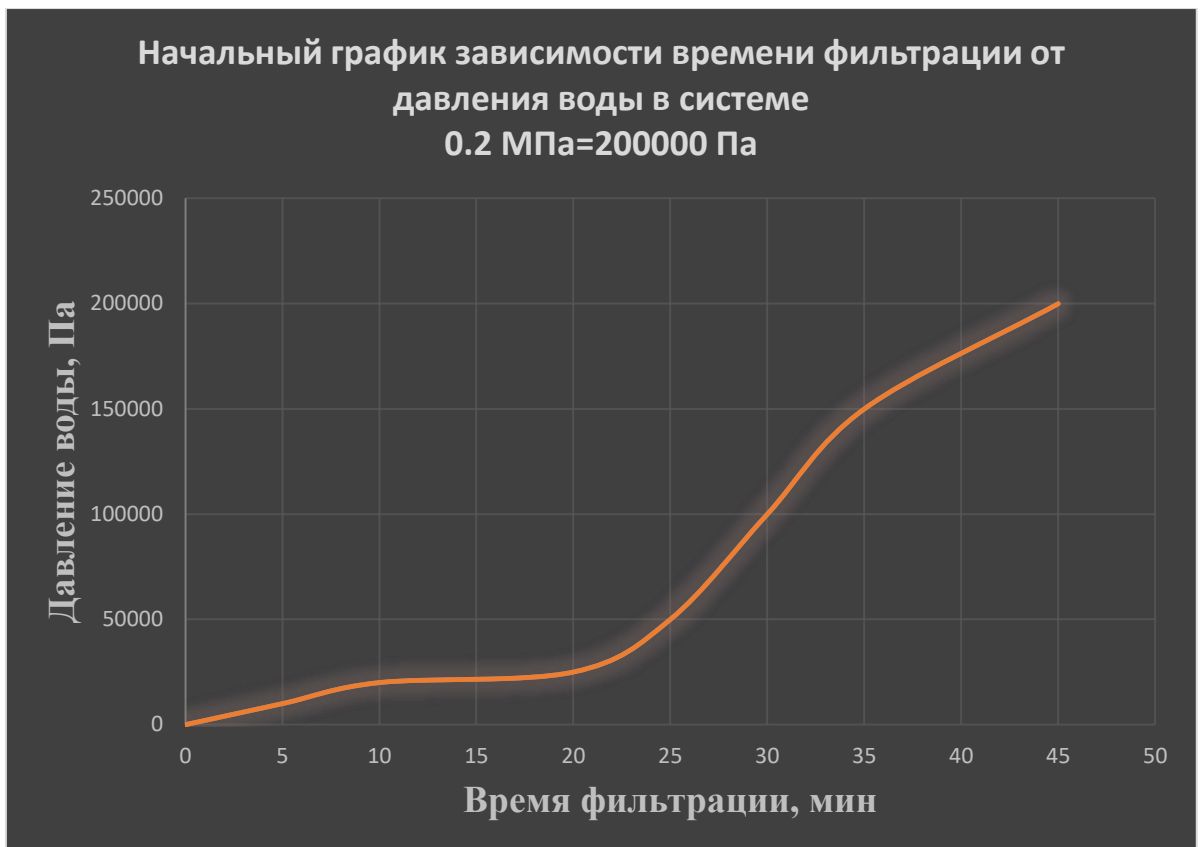


Рисунок 34 – График зависимости времени фильтрации от давления

Далее мною были проведены манипуляции с насосом, так как он является ключевой фигурой в контуре GDF71 и всей водоподготовительной утсановки, так как насос толкает воду с давлением не превышающая 0.2 Мпа, то было принято решение посмотреть, как поведет себя система при друних условиях, то бишь меняя давление посмотреть, что из этого выйдет.

На рисунке 35 представлен график работы системы и насоса с давлением 0.4 МПа или 4 атмосферы.

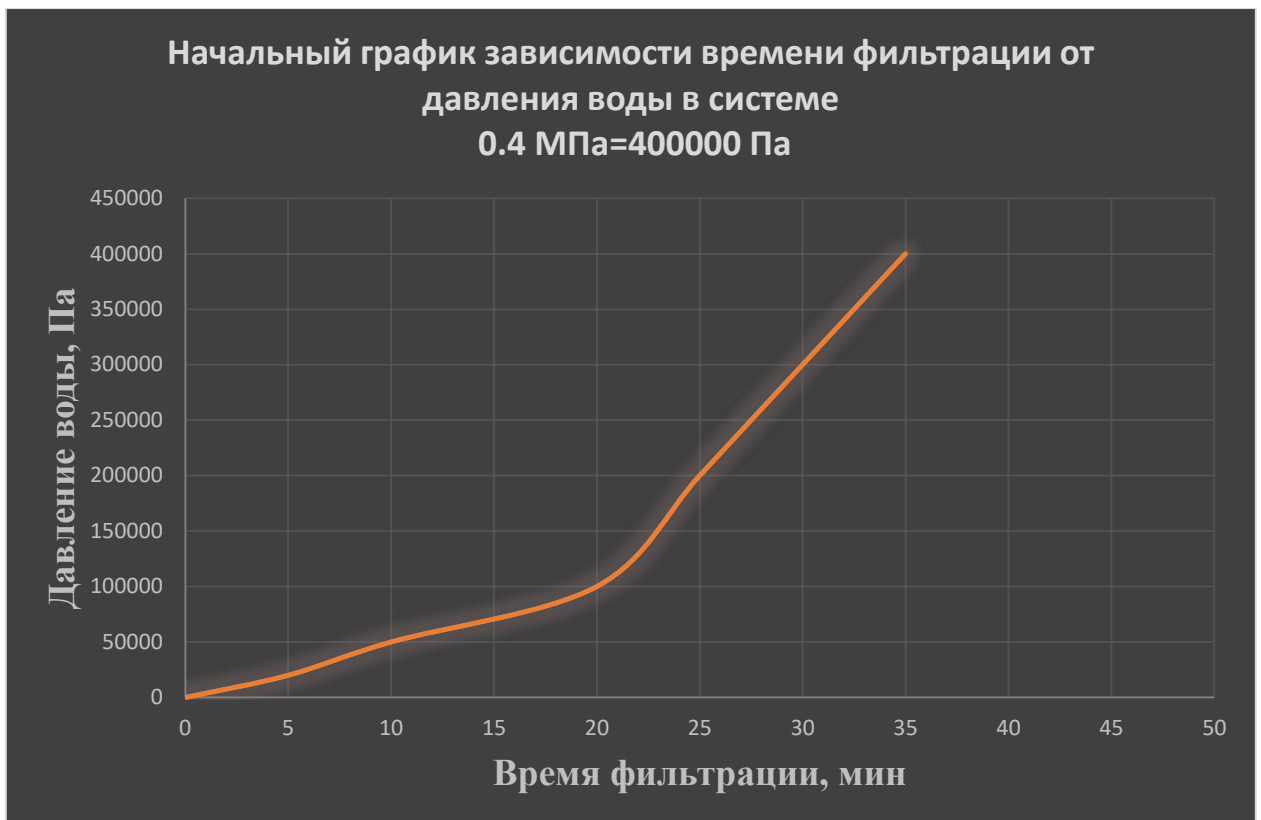
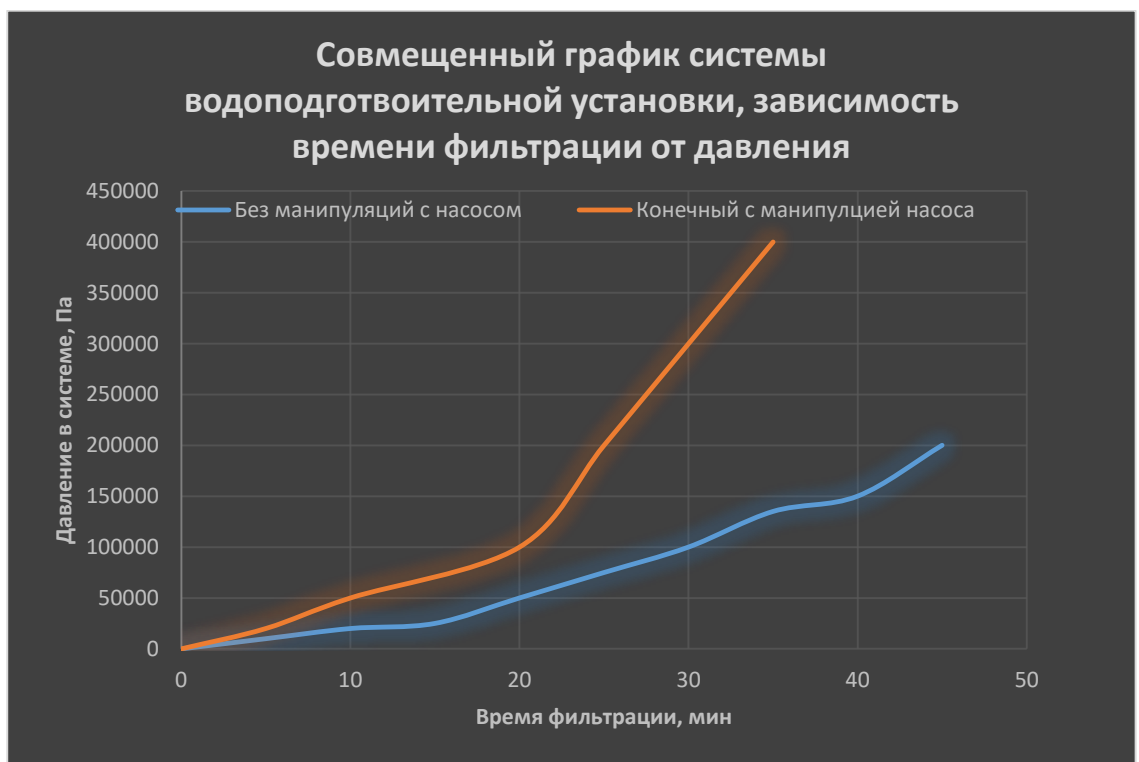


Рисунок 35 – График работы системы при давлении 0.4 МПа

Для наглядности совместим 2 графика (рисунок 36).



### Рисунок 36 – Общий график системы

Вывод: Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что чем выше давление воды в системе, тем быстрее процесс фильтрации ВПУ.

Дальше мне стало интересно, и я решил провести еще один опыт, именно аварийного плана, при каком давлении воды, система войдет в аварийный режим. В связи с этим опять были проведены манипуляции с насосом и вот такие данные были получены.



Рисунок 37 – Аварийный режим давления, отказ системы

Вывод: Система ВПУ при выполнении симуляции процесса фильтрации воды в аварийных условиях, остановилась на отметке в 458000 Па или 0.48 МПа, из чего следует вывод, что моя конечная система работает в 14.5% от аварийного отказа, я считаю, что этого достаточно для того, чтобы сделать вывод, что система может быть эксплуатирована с более высоким давлением.

### 6.3.2 SCADA-система

На рисунке 38 показана SCADA – система составленная в программном обеспечении TRACE MODE 6.

SCADA обладает:

- основными трендами;
- состояние насоса;
- аварийный останов;
- автоматический режим запуска системы.

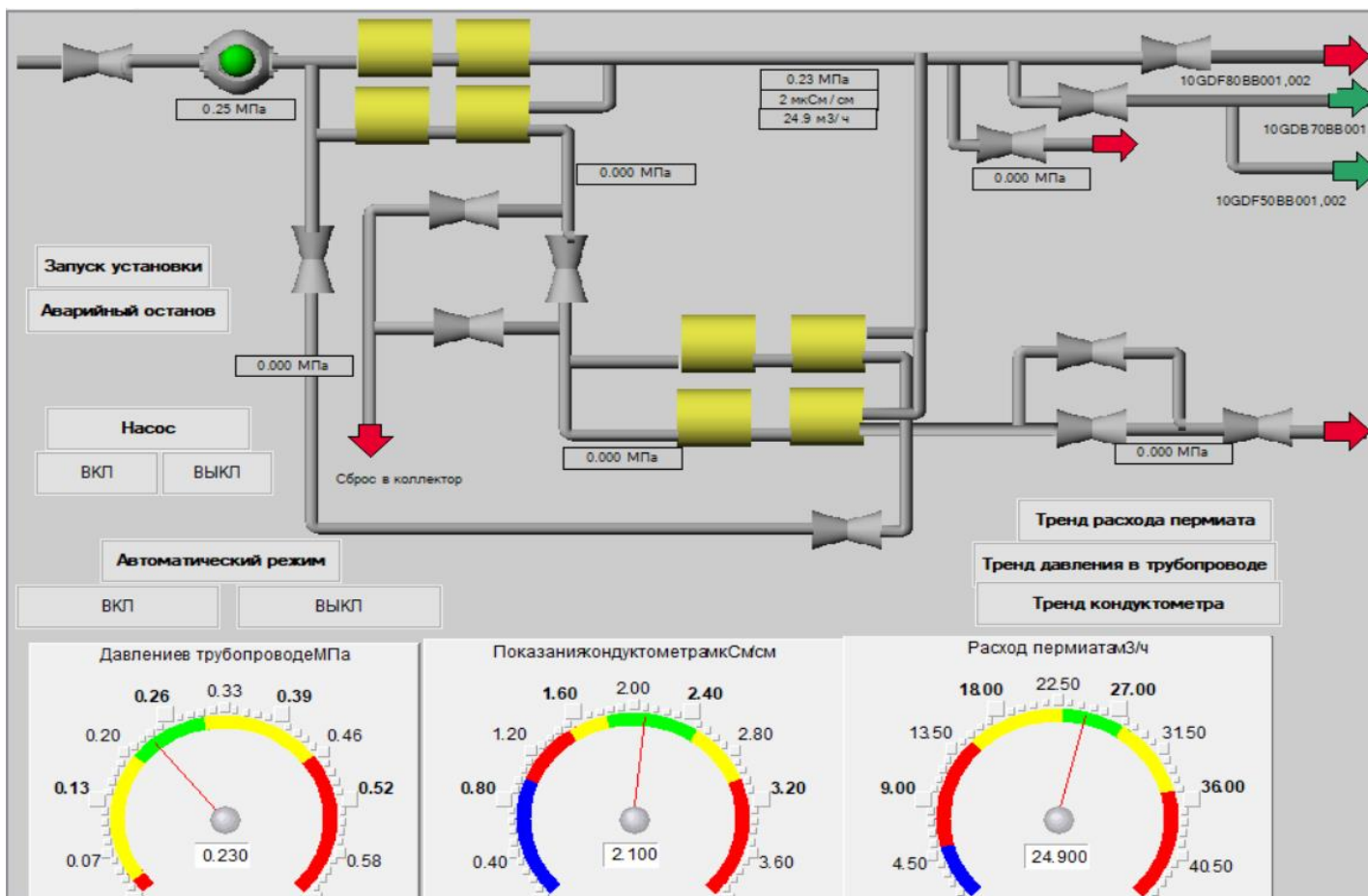


Рисунок 38 – SCADA система водоподготовительной установки GDF71

## 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данный раздел выпускной квалификационной работы предназначен для анализа конкурентоспособности, ресурсоэффективности и расчёта бюджета проводимой разработки. Настоящая работа проводится на ленинградской атомной электростанции и предполагает исследование эффективности способа решения поставленной инженерной задачи, а именно – применения программных пакетов, таких как Tia Portal, MATLAB, CoDeSys в качестве средства для модельного исследования и автоматного управления водоподготовительной установкой. Оценка перспективности, планирование и формирование бюджета научного исследования позволяют анализировать его экономическую эффективность.

### 7.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Объектом разработки является система водоподготовительной установки методом обратного осмоса. Потенциальными потребителями системы могут выступать промышленные предприятия (производство продуктов питания, химических веществ), объекты жилищно-коммунальной сферы (котельные), лаборатории. Сегментирование рынка проводится по сфере использования и по размеру компании-заказчика. Карта сегментирования приведена в таблице 7.1.1.

Таблица 7.1.1 – Карта сегментирования

		Сфера использования		
		Промышленные предприятия	Объекты ЖКХ	Лаборатории
Размер организации	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			



В приведённой карте сегментирования показано, что для реализации разработки подходят мелкие предприятия пищевой и химической промышленности, объекты ЖКХ, большие лаборатории. Для использования в более крупных организациях требуется внедрить в систему поддержку промышленных сетей и настроить взаимодействие со SCADA-системами.

## 7.2 Анализ конкурентных технических решений

На российском и зарубежном рынке в качестве производителей систем водоподготовительной установки выделяют несколько сегментов, основные лидеры борющиеся за тендер, это «ОВЕН» и «МЗТА»

Компания «ОВЕН» специализируется на изготовлении различного вида датчиков и контроллеров, в том числе и для САР температуры. Помимо поставок оборудования компания осуществляет разработку и внедрение проектов автоматизации на собственном оборудовании. Датчики давления компании «ОВЕН» способны производить автоматическую настройку параметров в зависимости от объекта автоматизации.

Московский завод тепловой автоматики «МЗТА» предлагает готовые решения, в частности для автоматизации котельных и тепловых узлов, на собственном программно-техническом комплексе (ПТК «Контар») и обеспечивает комплексную автоматизацию тепловых объектов.

Сравнительная таблица конкурирующих технических решений приведена в табл. 7.2.1.

Таблица 7.2.1 – Сравнение конкурирующих технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Удобство в эксплуатации	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
Долговечность	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2

Продолжение таблицы 7.2.1 – Сравнение конкурирующих технических решений

Надежность	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Безопасность	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
Точность измерений	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
Быстродействие	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
Цена	0,2	5	3	4	1	0,6	0,8
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
Послепродажное обслуживание	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Доступность	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>48</b>	<b>43</b>	<b>42</b>	<b>4,6</b>	<b>4,15</b>	<b>4,35</b>

По результатам расчётов табл. 7.2.1 можно заключить, что разрабатываемая система конкурентоспособна на рынке. Разработка проигрывает аналогичным системам в удобстве: компании «ОВЕН» за счёт отсутствия возможности автоматической идентификации и настройке объекта; компании «Инсат» за счёт отсутствия взаимодействия со SCADA-системами на данном этапе разработки. К сильным сторонам можно отнести точность измерения давления, надёжность (за счёт предварительного моделирования и возможности применения сложных алгоритмов управления), а также цену разработки (экономия за счёт переноса управляющих функций ПЛК на программный пакет MATLAB).

### 7.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ проводится для комплексной оценки внешней и внутренней среды проекта. В силу того, что разработка системы автоматического регулирования давления является лишь частным способом применения рассмотренного подхода, при SWOT-анализе рассматриваются сильные и слабые стороны, возможности и угрозы применительно к способу решения поставленной задачи. Итоговая матрица SWOT-анализа приведена в табл. 7.3.1.

Таблица 7.3.1 – Матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны:</b></p> <p>С1. Предварительное моделирование.</p> <p>С2. Возможность применения сложных алгоритмов управления.</p> <p>С3. Возможность быстрого программного изменения алгоритма управления.</p> <p>С4. Экономия на среднем уровне АСУ ТП за счёт переноса управляющей программы на верхний уровень (ПК).</p>	<p><b>Слабые стороны:</b></p> <p>Сл1. Затраты на ПО для моделирования.</p> <p>Сл2. Затраты на дополнительное обучение разработчика и/или оператора.</p> <p>Сл3. Необходимость проведения идентификации перед моделированием.</p> <p>Сл4. Сложность применения подхода для управления быстротекущими процессами.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Рост стоимости оборудования и, следовательно, рост цены ошибки без применения моделирования.</p> <p>В2. Рост спроса со стороны ответственных и/или опасных производств.</p> <p>В3. Разработка подсистемы автоматической идентификации</p> <p>В4. Использование пакета SimulinkRealTime</p>	<p>В1В2С1С2. Эффективность предварительного моделирования будет только возрастать.</p> <p>В3С3. Автоматическая идентификация ускорит разработку подобных систем с применением MATLAB</p>	<p>В1В2Сл1Сл2. Потенциальная стоимость вероятной ошибки значительно больше стоимости ПО для моделирования.</p> <p>В3Сл3. При реализации автоматической идентификации указанная слабая сторона нивелируется.</p> <p>В4Сл4. SimulinkRealTime позволит создавать из моделей приложения реального времени для управления быстротекущими процессами</p>

Продолжение таблицы 7.3.1 – Матрица SWOT-анализа

<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Рост спроса на адаптивные и интеллектуальные регуляторы и контроллеры.</p> <p>У2. Повышенные требования к безопасности данных</p> <p>У3. Оптимизация затрат на предприятии</p>	<p>У1С2С3. Введение адаптивной составляющей при разработке системы с использованием MATLAB позволит исследуемому подходу оставаться конкурентоспособным</p>	<p>У1Сл3. Приведёт к конкурентному отставанию, если не вводить в систему автоматическую идентификацию.</p> <p>У3Сл1Сл2. Возможен отказ от рассмотренного подхода.</p>
---	---	---

По итогам SWOT-анализа выявлены возможности для дальнейшего развития как настоящей системы автоматического регулирования, так и в целом подхода к созданию подобных систем.

1. Для противодействия угрозе У1 в систему следует ввести подсистему автоматической идентификации и автоматической настройки параметров датчика.

2. В случае предъявления повышенных требований к безопасности данных (угроза У2) разработка может получить конкурентное отставание, так как отечественных аналогов программному пакету MATLAB не существует. В этом случае следует отказаться от использования MATLAB и перенести управляющие функции на уровень SCADA-системы (например, MasterSCADA), либо использовать более дорогие контроллеры и реализовывать сложные алгоритмы управления в них.

3. Для противодействия угрозе У3 и сокращения затрат на разработку можно использовать более дешёвые ПЛК или сэкономить на датчике давления в ущерб точности измерения.

## 7.4 Планирование научно-исследовательской работы

### 7.4.1 Структура работ

Прежде чем начать работу над проектом, необходимо провести планирование этапов работы, обозначив при этом занятость каждого из участников, а также привести сроки выполнения каждого этапа. Структура работ и распределение занятости исполнителей приведены в табл. 7.4.1.1.

Таблица 7.4.1.1 – Структура работ

Этапы работы	Загрузка исполнителей
1. Постановка целей и задач исследования	НР – 80% И – 20%
2. Обзор объекта исследования	И – 100%
3. Разработка алгоритма ВПУ	НР – 20% К – 10% И – 70%
4. Разработка программного кода в Tia Portal	НР – 20% И – 80%
5. Разработка аварийного режима в CoDeSys	И – 100%
6. Создание модели в MATLAB	И – 100%
7. Сравнительный анализ методов настройки на модели системы	И – 100%
8. Установка связи ПО с объектом и проведение испытаний	К – 10% И – 90%
9. Математическое описание работы системы	К – 15% И – 85%
10. Оформление расчётно-пояснительной записки	И – 100%
11. Подведение итогов	НР – 100%

### 7.4.2 Разработка графика проведения научно-технического исследования

Трудоёмкость выполнения исследования оценивается экспертным путём в силу вероятностного характера величины. За единицу измерения трудоёмкости принимаются человеко-дни. Ожидаемая трудоёмкость рассчитывается по формуле [17]:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}, \quad (7.4.2.1)$$

где  $t_{ож}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения работы чел.дн;

$t_{\min}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы, чел.дн;

$t_{\max}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы, чел.дн.

Для построения графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта длительность каждого из этапов работ в рабочих днях переводится в календарные дни по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot K_{КД}, \quad (7.4.2.2)$$

где  $T_{КД}$  – продолжительность выполнения работы в календарных днях;

$T_{РД}$  – продолжительность выполнения работы в рабочих днях;

$K_{КД}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$K_{КД} = \frac{T_{КД}}{T_{КД} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (7.4.2.3)$$

где  $T_{КД}$  – количество календарных дней в году;

$T_{ВД}$  – количество выходных дней в году;

$T_{ПД}$  – количество праздничных дней в году.

Значение коэффициента календарности для 2021 года [18]:

$$K_{КД} = \frac{366}{366 - 66} = \frac{366}{300} = 1,22 \quad (7.4.2.4)$$

С учётом данных таблицы 7.4.1.1 и приведённых выше формул составляется расчётная таблица 7.4.2.1. Диаграмма Ганта, представляющая собой календарный график работ, приведена на рис. 7.4.2.1.

Таблица 7.4.2.1– Расчёт трудозатрат на выполнение работ

Наименование работы	Исполнители работы	Длительность работ, дн.			Трудоёмкость работ по исполнителям, чел.дн					
		$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{ож}$	$T_{РД}$			$T_{КД}$		
					НР	К	И	НР	К	И
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
1. Постановка целей и задач исследования	НР, И	3	4	3,4	2,72	0	0,68	3,318	0	0,83
2. Обзор объекта исследования	И	5	7	5,8	0	0	5,8	0	0	7,076
3. Разработка алгоритма ВПУ	НР, К, И	12	24	16,8	3,36	1,68	11,76	4,099	2,05	14,35
Разработка программного кода в Tia Portal	НР, И	3	6	4,2	0,84	0	3,36	1,025	0	4,1
4. Разработка аварийного режима в CoDeSys	И	6	12	8,4	0	0	8,4	0	0	10,25
5. Создание модели в MATLAB	И	12	18	14,4	0	0	14,4	0	0	17,57
6. Сравнительный анализ методов настройки на модели системы	И	6	10	7,6	0	0	7,6	0	0	9,272
7. Установка связи ПО с объектом и проведение испытаний	К, И	6	10	7,6	0	0,76	6,84	0	0,927	8,345
8. Математическое описание работы системы	К, И	6	10	7,6	0	1,52	6,08	0	1,854	7,418
9. Оформление расчётно-пояснительной записки	И	12	18	14,4	0	0	14,4	0	0	17,57
10.Подведение итогов	НР	2	4	2,8	2,8	0	0	3,416	0	0
<b>Итого:</b>				<b>93</b>	<b>9,72</b>	<b>3,96</b>	<b>79,32</b>	<b>11,86</b>	<b>4,831</b>	<b>96,77</b>

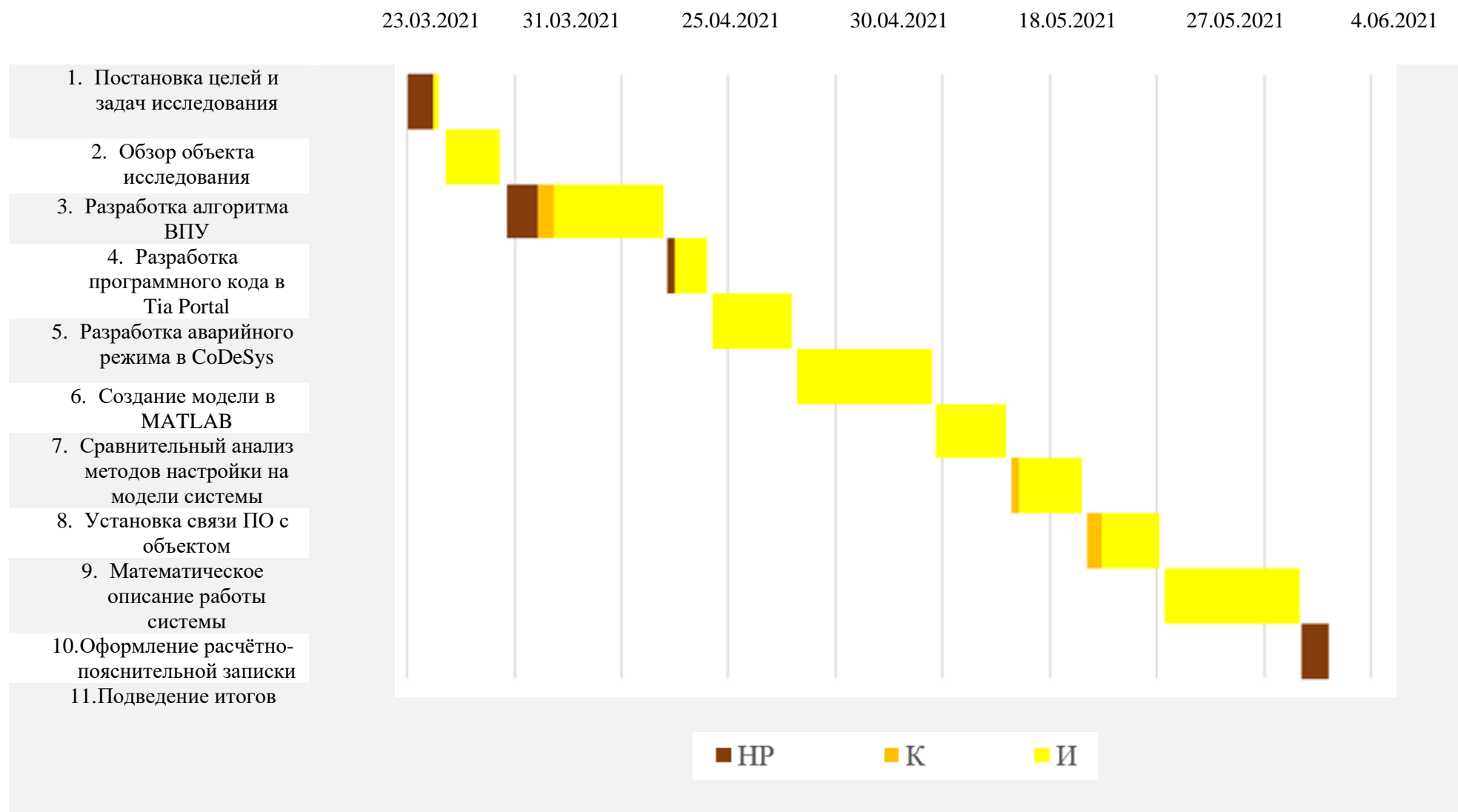


Рисунок 7.4.2.1 – Диаграмма Ганта



Из диаграммы на рис. 7.4.2.1 видно, что практическая часть всего исследования занимает порядка двух календарных месяцев. Сравнительно большой промежуток времени на составление технического задания выделен для лучшей его проработки и исключения необходимости возвращаться к этому этапу в дальнейшем.

## **7.5 Бюджет научно-технического исследования**

Планирование бюджета позволяет оценить затраты на проведение исследования до его фактического начала и позволяет судить об экономической эффективности работы. В данном разделе подсчитываются следующие статьи расходов:

- материальные затраты;
- амортизационные отчисления;
- заработная плата исполнителей;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

### **7.5.1 Расчёт материальных затрат**

В этом подразделе оценивается стоимость всех материальных ценностей, непосредственно расходуемых в процессе выполнения работ.

Теоретические исследования, а также моделирование системы требуют ряд программных продуктов: MicrosoftOffice, Mathcad, MATLAB, CODESYS и др. Большинство из них предоставляются бесплатно для студентов ТПУ, другие находятся в свободном доступе в сети «Интернет». Таким образом, затраты на материалы включают в себя расходы на канцелярские принадлежности, кабель для подключения к контроллеру лабораторного стенда. Для исследований используется персональный компьютер с бесплатным доступом к лицензии MATLAB. В материальные затраты также включаются транспортно-

заготовительные расходы (ТЗР) в пределах от 5% до 20% от общей цены материалов. Расчёт материальных затрат приведён в табл. 7.5.1.1.

Таблица 7.5.1.1 – Материальные затраты

Наименование	Цена за ед., руб.	Кол-во, шт.	Сумма, руб.
Офисная бумага, упак. 500 листов	310	1	310
Тетрадь общая, 48 л.	50	1	50
Шариковая ручка	30	3	90
Патч-корд RJ-45, кат. 5е, 2м	300	1	300
<b>Итого</b>			<b>750</b>
<b>Итого с учётом ТЗР (10%)</b>			<b>825</b>

### 7.5.2 Расчёт амортизационных отчислений

Написание выпускной квалификационной работы по плану занимает 5 месяцев. Для моделирования и проведения расчётов используется персональный компьютер первоначальной стоимостью 60000 рублей. Срок полезного использования для офисной техники составляет от 2 до 3 лет [19]

Норма амортизации  $H_A$  рассчитывается как [20]:

$$H_A = \frac{1}{T} \cdot 100\% , \quad (7.5.2.1)$$

где  $T$  – срок полезного использования, лет.

Если принять срок полезного использования равным 3 годам, тогда норма амортизации  $H_A$ :

$$H_A = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,3\% . \quad (7.5.2.2)$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_{год} = 60000 \cdot 0,33 = 19800 \text{ руб.} \quad (7.5.2.3)$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_{мес} = \frac{19800}{12} = 1650 \text{ руб.} \quad (7.5.2.4)$$

Итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 1650 \cdot 5 = 8250 \text{ руб.} \quad (7.5.2.5)$$

### 7.5.3 Расчёт заработной платы и отчислений во внебюджетные фонды

Оклад научного руководителя (в должности доцента) составляет 33 664 рублей, оклад консультанта (в должности ассистента) – 12 664 рублей. Оклад студента (инженера) принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации, т.е. ассистента и составляет 12 664 рублей. В 2020 году с учётом 48-дневного отпуска 252 рабочих дня. Среднее количество рабочих дней в месяце составит 21 день. Среднедневная заработная плата для руководителя составит 1603,05 рублей в день, для консультанта и инженера – 603,05 рублей в день.

Заработная плата включает в себя основную и дополнительную части. При этом основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{осн} = ЗП_{дн} \cdot T_{РД} \cdot (1 + K_{пр} + K_{\partial}) \cdot K_p, \quad (7.5.3.1)$$

где  $ЗП_{дн}$  – среднедневная заработная плата, руб.;

$T_{РД}$  – трудоёмкость выполнения работы в рабочих днях;

$K_{пр}$  – коэффициент премирования;

$K_{\partial}$  – коэффициент доплат;

$K_p$  – районный коэффициент.

Результаты расчёта основной заработной платы по формуле 7.5.3.1 приведены в табл. 7.5.3.1.

Таблица 7.5.3.1 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$ЗП_{дн}$	$K_p$	$K_{\partial}$	$K_{пр}$	$T_{РД}$	$ЗП_{осн}$ , руб
Руководитель	1603,05	0,1	0,2	1,3	9,72	26332,98
Консультант	603,05	0	0,2	1,3	3,96	3725,4
Инженер	603,05	0	0,2	1,3	79,32	74620,92
<b>Итого</b>						<b>104679,3</b>

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{доп} = ЗП_{осн} \cdot 0,12, \quad (7.5.3.2)$$

где  $ЗП_{осн}$  – основная заработная плата, руб.

Отчисления во внебюджетные фонды в соответствии с Налоговым кодексом РФ рассчитываются по формуле:

$$ЗП_{внеб} = (ЗП_{осн} + ЗП_{доп}) \cdot 0,3 , \quad (7.5.3.3)$$

где  $ЗП_{осн}$  – основная заработная плата, руб;

$ЗП_{доп}$  – дополнительная заработная плата, руб.

Результаты расчётов по формулам 7.5.3.2 и 7.5.3.3 приведены в табл. 7.5.3.2.

Таблица 7.5.3.2 – Расчёт дополнительной заработной платы и отчислений

Исполнители	$ЗП_{доп}$	$ЗП_{внеб}$
Руководитель	3159,96	8847,88
Консультант	447,5	1251,73
Инженер	8954,51	25072,63
<b>Итого</b>	<b>12561,97</b>	<b>35172,24</b>

Накладные расходы принимаются в размере 10% от величины всех остальных расходов.

#### 7.5.4 Расчёт общей себестоимости

Рассчитанные в пунктах 7.5.1-7.5.3 расходы сведены в таблицу 7.5.4.1.

Таблица 7.5.4.1 – Суммарные расходы

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты	825	0,464
Затраты на амортизацию	8250	4,64
Основная заработная плата	104679,3	58,93
Дополнительная заработная плата	12561,97	7,07
Страховые взносы	35172,24	19,8
Накладные расходы	16148,85	9,09
<b>Итого</b>	<b>177637,36</b>	<b>100</b>

В ходе подсчёта затрат на разработку проекта выявлено, что основная часть (63%) средств расходуется на заработную плату исполнителей.

## 7.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Эффективность разработки сравнивается аналогичными системами:

1. Система на основе программируемого логического контроллера «Siemens S7-1200» производства компании «Siemens» общей стоимостью 197152,98 руб.

2. Система на основе ПТК Контар (ПЛК «МС 12.3») производства «МЗТА» общей стоимостью 185441,11 руб.

Эффективность разработки определяется путём расчёта интегрального финансового показателя:

$$I_{фин}^i = \frac{\Phi_i}{\Phi_{max}}, \quad (7.6.1)$$

где  $I_{фин}^i$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_i$  – стоимость  $i$ -ого варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения проекта (зависит от сложности АСУ).

$$I_{фин} = \frac{177637,36}{197152,98} = 0,901, \quad (7.6.2)$$

$$I_{фин}^1 = \frac{197152,98}{197152,98} = 1, \quad (7.6.3)$$

$$I_{фин}^2 = \frac{185441,11}{197152,98} = 0,941, \quad (7.6.4)$$

Сравнительная оценка ресурсоэффективности рассматриваемых аналогов приведена в табл. 7.6.1.

Таблица 7.6.1 – Сравнительная оценка ресурсоэффективности

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Ресурсоэффективность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
Удобство в эксплуатации	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
Долговечность	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
Надежность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Безопасность	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
Точность измерений	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
Быстродействие	0,05	5	4	4	0,25	0,25	0,2
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>22</b>	<b>24</b>	<b>21</b>	<b>3,95</b>	<b>4,1</b>	<b>3,8</b>

Интегральный показатель эффективности разработки  $I^i$  вычисляется на основании рассчитанных выше интегрального финансового показателя  $I_{фин}^i$  (7.6.2 – 7.6.4) и показателя ресурсоэффективности  $I_p^i$  (табл. 7.6.1):

$$I^i = \frac{I_p^i}{I_{фин}^i}, \quad (7.6.5)$$

Для разрабатываемой системы:

$$I = \frac{3,95}{0,901} = 4,384, \quad (7.6.6)$$

Для рассматриваемых аналогов:

$$I^1 = \frac{4,1}{1} = 4,1, \quad (7.6.7)$$

$$I^2 = \frac{3,8}{0,941} = 4,038, \quad (7.6.8)$$

Сравнительная эффективность разрабатываемой системы и рассматриваемых аналогов рассчитывается как:

$$\mathcal{E} = \frac{I}{I^i}, \quad (7.6.9)$$

Сравнительная эффективность разрабатываемой системы с аналогами приведена в табл. 7.6.2.

Таблица 7.6.2 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог №1	Аналог №2
1	Интегральный финансовый показатель $I_{фин}$	0,901	1	0,941
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности $I_p$	3,95	4,1	3,8
3	Интегральный показатель эффективности $I$	4,384	4,1	4,038
4	Сравнительная эффективность $\mathcal{E}$ разработки к аналогам		1,069	1,086

Сравнение значений интегральных показателей эффективности показало, что разрабатываемая система автоматического регулирования температуры хотя и уступает аналогу №1 по ресурсоэффективности, однако превосходит его по интегральному показателю эффективности за счёт меньшей стоимости разработки.

### **Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

В данном разделе оценены экономические аспекты исследуемого подхода к построению системы автоматического регулирования температуры:

1. Выявлены потенциальные потребители результатов исследования. Разработка может быть применена на больших предприятиях пищевой, химической промышленности, объектах ЖКХ, а также в лабораториях (см. подраздел 7.1).

2. Проведён анализ конкурентных технических решений. Выявлено два конкурента: компания «ОВЕН» и Московский завод тепловой автоматики («МЗТА»). Разрабатываемая система на текущем этапе уступает конкурентам по удобству использования (см. подраздел 7.2), однако выигрывает за счёт применения программного пакета MATLAB, позволяя применять

математическое моделирование и сложные алгоритмы управления в совокупности со сравнительно дешёвым ПЛК.

3. В ходе SWOT-анализа основными угрозами обозначены: рост спроса на адаптивные и интеллектуальные системы; повышенные требования к безопасности; оптимизация затрат на предприятии. Возможные пути снижения влияния выявленных угроз представлены в подразделе 7.3.

4. Подсчёт затрат на разработку позволяет заключить, что основной статьёй расходов в научно-исследовательской работе является заработная плата исполнителей: основная – 104679,3 руб. (58,93%), дополнительная – 12561,97 руб. (7,07%). На втором месте страховые взносы – 35172,24 руб. (19,8%). Затем идут накладные расходы – 16148,85 руб. (9,09%). Меньше всего средств уходит на амортизацию оборудования – 8250 руб. (4,64%) и на материальные затраты – 825 руб. (0,464%). Общий бюджет разработки составил 177637,36 руб. При этом запланированная продолжительность работы составляет 114 дней.

5. В подразделе 7.6 оценена экономическая эффективность разработки. Разрабатываемая система уступает аналогу №1 по ресурсоэффективности в виду меньшего удобства эксплуатации на данном этапе, однако по сравнительному показателю эффективности разработка превосходит аналогичные системы за счёт меньшей стоимости. Экономия достигается за счёт использования менее производительного ПЛК, позволяя перенести управляющие функции на программный пакет MATLAB.

В целом, эффективность исследуемого подхода предварительного моделирования системы в каждом конкретном случае можно оценить исходя из вероятных затрат на восстановление работоспособности объекта при ошибке разработчика или оператора системы автоматического регулирования (зачастую стоимость промышленных систем составляет сотни тысяч, а иногда и миллионы рублей).



## 8 Социальная ответственность

### 8.1 Характеристика объекта исследования и области его применения

Установка обратного осмоса второй ступени 10GDF71 предназначена для приготовления обессоленной воды и для подачи её на ионообменную очистку.

Исходной водой для установки обратного осмоса второй ступени является частично обессоленная вода после установок обратного осмоса первой ступени (10GDF31 — 10GDF35), прошедшая блок мембранной декарбонизации (10GDF41 10GDF42) и блок предварительной очистки 10GDF60 (состоит из картриджных фильтров с номиналом фильтрации 5 мкм и установок ультрафиолетового обеззараживания). Также при необходимости предусмотрен блок корректировки pH частично обессоленной воды с помощью блока дозирования щелочи (10GDN40).

Исходная вода на установку обратного осмоса второй ступени 10GDF71 подается насосом высокого давления 10GDF61APOO1 насосной станции 10GDF61. Пермеат установки обратного осмоса 10GDF71 поступает в баки обессоленной воды 10GDF80BB001/002, откуда насосами обессоленной воды GDF90AP001/002 подается в систему ионообменной очистки пермеата GCF.

Работоспособность установки обратного осмоса характеризуется следующими основными показателями:

- удельной электропроводимостью пермеата;
- расходом пермеата;
- перепадом давления на установке.

При увеличении удельной электропроводимости пермеата установки на 10<sup>0</sup>/0, либо при снижении расхода пермеата на 10<sup>0</sup>/0, либо при увеличении перепада давления через установку на 1594 с целью восстановления характеристик обратноосмотических мембран проводится химическая мойка кислотными и щелочными растворами (ориентировочно 1 раза в год).

Химическую промывку установки обратного осмоса проводят с помощью блока промывки 10GDP30.

В соответствии с требованиями проекта установке обратного осмоса присвоен код обозначения по системе kKS:

-10GDF71.

Основные параметры установки приведены в таблице 8.1.2

Таблица 8.1.2 — Основные параметры установки

Наименование параметра		Значение
Количество мембранных элементов, шт.		36
Тип мембранного элемента		в»јзо-400
Площадь фильтрации мембранного элемента, м <sup>2</sup>		37
Количество ко п сов для мембранных элементов, шт		6
Производительность по пермеату , м <sup>3</sup> /ч		45,2
Количество питательной воды, номинальное, м <sup>3</sup> /ч		56,5
Количество дренируемой воды (концентрат), м3/ч		11,3
Напряжение, В		380/220
Частота, Гц		50
Габаритные размеры, мм	Длина	7085
	Ширина	1225
	Высота	1955
Основной конструкционный материал	Рама	AIS1304
	Трубопроводная обвязка	AIS1316, ПВХ
Масса, кг		1900
Масса в рабочем состоянии, кг		2400
Вода, поступающая на установку:	Мутность, NTU	не более

Параметр приведен для одного мембранного элемента BW30-400. Значение параметра «Задерживание солей» основано на следующих тестовых условиях: содержание NaCl в исходной воде — 2 г/л; давление - 1,55 МПа; температура исходной воды - 25 °С, рН=8, извлечение пермеата - 1594.

Вид климатического исполнения установки — УХЛ 4 по ГОСТ 15150. Установка рассчитана на эксплуатацию в закрытых помещениях при температуре от плюс 5 до плюс 45 °С.

Установка относится к классу безопасности 4 по ПНАЭ Г-01-011-97, категория сейсмостойкости III по НП-031-01.

Установка не должна подвергаться воздействию гидроударов резких кратковременных скачков давления в водяной магистрали. Ответственность за последствия гидроударов несет Заказчик.

Состав установки

В состав установки обратного осмоса RO 50 (10GDF71) входит:

—шесть мембранных корпусов (четыре в первом каскаде и два во втором);

—36 шт. мембранных элементов Filmtec BW30-400 (24 шт. в первом каскаде, 12 шт. во втором);

—комплект запорной и регулирующей арматуры;

—комплект соединительных трубопроводов;

—приборы и устройства системы контроля и управления, в том числе кабели; —штуцеры, бобышки для установки приборов контроля;

—ответные фланцы с прокладками и крепежом.

## **8.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

В процессе осуществления трудовой деятельности на оператора могут оказывать воздействие производственные факторы, такие как: шум, влажность

воздуха, температура воздуха, электромагнитное излучение, недостаточная освещенность. Для сохранения здоровья работника предусмотрен ряд мер, обеспечивающих безопасность трудовой деятельности.

Рабочее место оператора представляет собой закрытое, отапливаемое, вентилируемое помещение площадью 20 м<sup>2</sup>, в котором установлен персональный компьютер.

Рабочее место должно быть организовано в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78.

Рабочие места с персональными компьютерами по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, желательно слева. Стол может быть любой конструкции, отвечающей современным требованиям эргономики. Целесообразно применение столов, имеющих отдельную от основной столешницы специальную рабочую поверхность для размещения клавиатуры. Используются рабочие столы с регулируемой и нерегулируемой высотой рабочей поверхности. При отсутствии регулировки высота стола должна быть в пределах (680 – 800) мм.

Глубина рабочей поверхности стола должна составлять 800 мм (допускаемая не менее 600 мм), ширина – соответственно 1 600 мм и 1 200 мм. Рабочая поверхность стола не должна иметь острых углов и краев, иметь матовую или полуматовую фактуру. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Клавиатура должна располагаться на поверхности стола на расстоянии 100 – 300 мм от края, обращенного к пользователю.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии (600 – 700 мм), но не ближе 500 мм.

Для обеспечения физиологически рациональной рабочей позы, создания условий для ее изменения в течение рабочего дня применяются подъемно-

поворотные рабочие стулья с сиденьем и спинкой, регулируемые по высоте и углам наклона, а также расстоянию спинки от переднего края сидения.

Конструкция стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах (400 – 550) мм и углом наклона вперед до 15 ° и назад до 5 °;
- высоту опорной поверхности спинки (300 ± 20) мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах (0 ± 30) °;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сидения в пределах (260 – 400) мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной (50 – 70) мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах (230 ± 30) мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах (350 – 500) мм;
- поверхность сиденья, спинки и подлокотников должна быть полумягкой, с нескользящим не электризующимся, воздухопроницаемым покрытием, легко очищаемым от загрязнения.

Рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20 градусов. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

Трудовой кодекс Российской Федерации регулирует отношения между работником и работодателем на территории Российской Федерации. В нём изложены основные нормы и правила, которые обязаны соблюдать рабочий и работодатель в случае возникновения трудовых отношений. Наиболее подходящим является сменный режим рабочего времени. Сменный режим работ

обеспечивает непрерывное поддержание требуемых параметров микроклимата в производственном помещении.

Режим труда и отдыха предусматривает соблюдение определенной длительности непрерывной работы на ПК и перерывов, регламентированных с учетом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности. При 12-часовой рабочей смене регламентированные перерывы должны устанавливаться в первые 8 часов работы аналогично перерывам при 8-часовой рабочей смене, то есть при работе на ПК регламентированные перерывы следует устанавливать через 2 часа от начала смены и через 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый. В течение последних 4 часов работы, независимо от категории и вида работ, каждый час продолжительностью 15 минут.

### **8.3 Производственная безопасность**

#### **8.3.1 Анализ и выявление вредных и опасных факторов**

Разберем вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований процесса взаимодействия капли эмульсии с нагретой поверхностью (Таблица 8.3.1.1). Вредные и опасные факторы, влияющие на работника, устанавливаются в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [55].

Таблица 8.3.1.1 – Опасные и вредные производственные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работы			Нормативные документы
	Разраб.	Изгот.	Экспл.	
Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [56] ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [57]
Превышение уровня шума	-	+	+	ГОСТ 12.1.003-14 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [58] СН2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки [59]
Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [60]
Недостаток освещенности рабочей зоны	+	+	+	Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [61] СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [62]
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека	-	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [49]
Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	+	+	СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда" [47]
Повышенная температура поверхностей оборудования, образцов	-	+	+	ГОСТ Р 51337-99. Безопасность машин. Температуры касаемых поверхностей. [47]
Вещества, обладающие свойствами химического воздействия на организм человека	-	-	+	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [48]

Рассмотрим выявленные вредные и опасные факторы: их влияние на исследователя и допустимые нормы воздействия на организм человека.

Отклонение показателей микроклимата. Находясь на рабочем месте в лаборатории, человек подвергается влиянию микроклимата рабочего помещения. Микроклимат помещений создается искусственно с целью создания благоприятных условий для людей. Микроклимат в рабочей зоне определяется сочетанием температуры, влажности и скорости потока воздуха, действующих на человеческое тело, а также температуры окружающих поверхностей. В лаборатории при проведении исследований процесса взаимодействия капли эмульсии с нагретой поверхностью нагрев подложки проводится до заданной температуры, что может привести к повышению температуры воздуха в помещении.

При отклонении фактических параметров микроклимата от норм происходит нарушение терморегуляции. Накопление тепла в организме приводит к расстройствам нервной системы, секреторной деятельности желудка, печени, нарушению обмена веществ. Состояние микроклимата в рабочем помещении описано в СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [48]. Работа в лаборатории, как правило, выполняется сидя, реже стоя и не связана с ходьбой, не требует систематических физических нагрузок, подъема и ношения тяжестей. Установленные гигиенические нормативы для помещений для категории работы 1а приведены в таблице 8.3.1.2.

Таблица 8.3.1.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	1а (до 120 ккал/ч)	22-24	20-24	40-60	0,1
Теплый		23-25	21-25		

Превышение уровня шума. Шум оказывает на организм как местное, так и общее воздействие. Увеличение уровня шума может вызвать учащенный



пульс, высокое артериальное давление, головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление реакций. Повышенный уровень шума ухудшает самочувствие, снижает эффективность труда в среднем на 10%, приводит к профессиональным заболеваниям, таким как потеря слуха. Нормы уровня шума в помещении регламентируются в соответствии с [58]. Эквивалентный уровень звука при работе в лаборатории не должен превышать 60 дБ. Исследования проводятся при включенной вытяжной системе, нормальный уровень шума для стандартной вытяжки 45-55 дБ. Вытяжная система включается непосредственно при выполнении эксперимента, затем отключается, из этого можно сделать вывод о том, что исследователь не нуждается в СИЗ.

Отсутствие или недостаток естественного света и недостаточная освещенность рабочей зоны. Естественный свет исходит от прямых солнечных лучей и рассеянного света неба. Он варьируется в зависимости от времени суток, облачности. Недостаточное освещение, глубокие и резкие тени и другие неблагоприятные факторы вызывают быстрое утомление зрения, что приводит к дискомфорту, снижению концентрации внимания и симптомам усталости [70]. В соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями в лабораториях университета предусмотрено естественное, искусственное и комбинированное освещение.

### **8.3.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов на исследователя**

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека. При прикосновении к токоведущим частям, которые находятся под напряжением, на которых остается заряд или появляется напряжение из-за случайного включения в сеть, возможно поражение электрическим током [39].

На месте оператора источником поражения электрическим током являются поврежденные изоляционные кабели, неисправные выключатели, вилки, розетки и заземление.

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, биологическое и механическое воздействие. Тепловое действие тока проявляется ожогами отдельных частей тела, нагревом органов высокой температурой, что вызывает в них значительные функциональные нарушения. Электролитический эффект при разложении различных жидкостей организма (вода, кровь, лимфа) на ионы, что приводит к нарушению их состава и физико-химических свойств. Биологическое действие тока проявляется в виде раздражения и возбуждения тканей тела, судорожного сокращения мышц и нарушения внутренних биологических процессов. Опасность поражения электрическим током для человека оценивается по величине тока, проходящего через его тело, или по контактному напряжению. Для переменного тока частотой 50 Гц допустимое контактное напряжение 2 В, сила тока 0,3 мА; для тока частотой 400 Гц соответственно - 2 В и 0,4 мА; для постоянного тока - 8 В и 1 мА. Данные приведены для продолжительности воздействия тока не более 7 минут в сутки.

В соответствии с [35] существуют следующие виды защиты от перенапряжения в электрической цепи, замыкание которой может происходить через тело человека: изолирующие устройства и покрытия; защитное заземление и заземляющие устройства; устройства автоматического отключения; устройства для обеспечения безопасности; знаки безопасности

Повышенный уровень электромагнитного излучения. Щит является источником высокого уровня электромагнитного излучения, которое увеличивает риск сердечно-сосудистых заболеваний и отрицательно влияет на нервную систему. На практике при обслуживании даже мощных высоковольтных электрических систем магнитная напряженность намного ниже опасной (в 8 раз). Следовательно, достаточно оценить потенциальный риск воздействия электромагнитного поля на основе его величины. Для уменьшения

степени воздействия электромагнитных излучений от щит необходимо делать перерывы в работе – по 15 минут каждые 2 часа.

Повышенная температура поверхностей оборудования, образцов. Нагревательный элемент нагревается до температуры около 300 °С. Горячие поверхности, доступные оператору, представляют опасность ожогов. Прикосновение к горячей поверхности может быть намеренным (например, удаление нагретого носителя) или непреднамеренным. Чтобы оценить риск ожога горячей поверхностью, необходимо знать факторы, которые приводят к ожогам при контакте кожи с горячей поверхностью. Основными факторами являются: температура поверхности; материал поверхности; продолжительность контакта кожи с поверхностью. При времени контакта от 1 до 10 с металлическим покрытием, порога ожога составляет 48 °С. Чтобы избежать вероятности получения ожогов в качестве СИЗ используются брезентовые перчатки.

Вещества, обладающие свойствами химического воздействия на организм человека. Опасности при использовании установки для сжигания: это наличие вредных выбросов как в атмосферу, так и в окружающую среду, в которой установлена установка, в дополнение к высокому риску возгорания и взрыва. Для уменьшения загазованности в помещении установлена вытяжная система. Помещение оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией с нижним и верхним отсосом, что обеспечивает равномерный приток свежего воздуха и вывод загрязненного воздуха.

Рассмотрим решения, ограничивающие влияние выявленных опасных и вредных факторов на исследователя, а также требования безопасности работ, выполняемых в лаборатории, установках и устройствах, генерирующих опасные факторы.

Нормализация показателей микроклимата. В помещении работает естественная неорганизованная общеобменная вентиляция и система отопления, что позволяет поддерживать микроклиматические условия, соответствующие

нормативам. Вентиляция помещения происходит только между экспериментами. По созданию нормальных условий труда необходимо обеспечить не только комфортные условия, но и необходимую чистоту воздуха [57]. Допустимые нормы запыленности должны соответствовать санитарным нормам ПДК для веществ 4 класса опасности и поддерживаться вентиляцией и ежедневной влажной уборкой.

Уменьшение уровня шума. Для снижения этого вредного фактора на выхлопной трубе вытяжной вентиляции устанавливаются шумоглушители. Установленные в оконном проеме стеклопакеты поглощают определенное количество шума, поступающего в лабораторию с улицы.

Организация освещенности рабочей зоны. В качестве осветительных приборов в лаборатории установлены люминесцентные лампы типа ЛБ. Освещение на рабочем месте соответствует нормам.

Снижение вероятности влияния повышенного напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека. Используемое оборудование: нагревательная плита, видеокамера, перистальтический насос и персональный компьютер. Требования к нагревательному элементу по электробезопасности: перед началом работы приборы заземляют; запрещается допускать попадание жидких веществ в контакты соединения; во время эксплуатации необходимо следить, чтобы силовой кабель не касался нагретой поверхности; при длительном перерыве в работе необходимо отсоединить от розетки приборы; Особые требования предъявляются к обеспечению электробезопасности пользователей, работающих на ПК. К ним относятся: все узлы ПК и подключенные к ним периферийные устройства должны получать питание от одной фазы сети. Корпус системного блока и внешних устройств должен быть заземлен. Все соединения между ПК и внешними устройствами должны выполняться при отключенном питании.

По способу защиты человека от поражения электрическим током лабораторное оборудование относится к 1 классу электротехнической продукции, то есть все оборудование имеет защитную изоляцию, заземление

соответственно. Отключение всей сети, за исключением дежурного освещения, осуществляется общим выключателем.

Снижение уровня электромагнитных излучений. Основным методом защиты от негативного воздействия электромагнитного поля может быть рациональное размещение компьютерного оборудования на рабочих местах по основному принципу - соблюдения дистанции от пользователей ПК и других основных окружающих источников электростатических и электромагнитных полей (дисплей, система, устройство, элементы питания и др.).

Снижение температуры поверхностей оборудования и образцов. Все работы с нагревательным элементом необходимо проводить в условиях, исключающих возможность воздействия на человека высоких температур. Во избежание ожогов во время экспериментов необходимо выдерживать расстояние не менее 60 см от нагретой поверхности. Нагретые поверхности необходимо снимать в защитных очках и перчатках. Рядом с нагревательной пластиной должна быть металлическая поверхность, на которой можно разместить нагретые предметы для их охлаждения.

Обоснование мероприятий по защите окружающей среды. Чтобы снизить количество вредных выбросов, необходимо контролировать состав применяемых эмульсий. При нехватке того или иного компонента происходит недожог состава, что приводит к увеличению количества отходов. Важным аспектом является также регулирование температуры нагревательного элемента, так как от этого параметра зависит поведение эмульсии при взаимодействии с нагретой поверхностью и количество вредных выбросов. Уменьшить количество вредных выбросов возможно путем внедрения в систему уловителей и нейтрализаторов вредных веществ.

Гидросфера: Проблема загрязнения естественных поверхностных вод приобрела глобальный масштаб. Человечество пытается решить проблему разными способами. Ряд мероприятий позволяет довести до требуемых нормативов процесс очистки загрязненной воды.

– Механическая – по направлению потока устанавливаются фильтры, предотвращающие попадание вредных компонентов в водоем. Несовершенный метод, требует регулярной очистки фильтров.

– Специализированная – вода проходит многоэтапную систему очистки с применением коагулянтов. Принцип действия метода основан на ускоренном преобразовании мелких и эмульгированных загрязняющих частиц в более крупные образования, которые могут выпадать в осадок.

– Химическая – Реагенты вступают в реакцию с вредными загрязнениями и нейтрализуют их

Литосфера: в результате разлива воды с пермиатом. Небольшие объемы углеводов в почве быстро разрушаются бактериями и не представляют опасности, однако, когда большие объемы горюче-смазочных материалов попадают в почву, физические свойства почвы меняются. Участки, находящиеся под постоянным воздействием разливов ГСМ, не образуют дернового горизонта более пяти лет.

Федеральный закон № 89 от 1998 г. «Об отходах производства и потребления» [53] запрещает юридическим лицам осуществлять несанкционированное удаление опасных отходов. Данный вид деятельности согласно Постановлению Правительства РФ № 340 от 2002 года может осуществляться только специализированными структурами. Обращение с отходами регламентируется ГОСТ Р 53692-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами» [54]. При необходимости утилизировать эмульсии и ее компоненты наиболее безопасным для окружающей среды способом является обращение в специализированную компанию по утилизации.

#### **8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В работе с водоподготовительной установкой и щитом управления наибольшую опасность представляет возгорание. Поскольку, во-первых, пермиат должен храниться в отдельно отведенном месте (есть риск возгорания)

и, во-вторых, проводятся экспериментальные исследования при высоких давлениях.

Во время эксплуатации необходимо проверять состояние датчиков внешним осмотром и измерением температуры в помещении. Признаками самовозгорания являются повышение температуры, в месте фильтрации установки. Если есть признаки самовозгорания, необходимо устранить эти проблемы. Для устранения этих проблем используются специальные противопожарные составы для борьбы с возгоранием горючих веществ.

В качестве мер пожаротушения следует применять следующие меры:

- в помещении должны быть средства пожаротушения, средства связи;
- электрооборудование и электроприборы должны быть в рабочем состоянии;
- для всех сотрудников нужно периодически проводить мероприятия по технике безопасности;

При случае пожара разработан план действий:

- в случае возникновения пожара сообщить ответственному за ПБ, попытаться ликвидировать источник возгорания имеющимися силами, используя основные средства тушения пожара (порошковый, углекислотный огнетушитель);
- сообщить о пожаре в пожарную службу по телефону 01, 101 или 112, сообщите адрес, место и причину пожара;
- эвакуировать людей;
- встретить пожарную команду, при необходимости предоставить всю необходимую информацию и оказать помощь в выборе оптимального маршрута к месту пожара.

Рабочее помещение, в котором проводился эксперимент, оборудовано в соответствии с требованиями пожарной безопасности, которые были описаны в данном разделе.

## 8.5 Радиационная безопасность

Облучением называется воздействие на людей ионизирующего излучения, которое может быть вызвано внешним воздействием от источников, находящихся вне тела человека, или внутренним воздействием от источников, попавших внутрь организма.

Главной целью радиационной безопасности является охрана здоровья людей от вредного воздействия ИИ путём соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности, проведение работ под контролем ответственного лица.

Радиация при воздействии на организм человека может вызвать два вида эффектов, которые в клинической медицине относятся к болезням: детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой ожог и т.д.) и стохастические без пороговых эффектов (злокачественная опухоль, лейкозы, наследственные болезни).

Для обеспечения радиационной безопасности при нормальной эксплуатации необходимо руководствоваться следующими основными принципами:

- не превышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ИИ;
- запрещение всех видов деятельности по использованию источников ИИ, при которых полученная для человека и общества доза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным к естественному фону облучения;
- поддержание на возможном низком уровне с учётом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника ИИ.

Заключение по разделу «Социальная ответственность»



Как известно, автоматика является наиболее опасной производственной отраслью. Последствия аварий на электростанциях и на производствах могут нанести непоправимый ущерб окружающей среде и человечеству. Социальная роль экспериментального исследования заключается в устранении и предупреждении опасностей при использовании эмульсионного топлива и его утилизации.

Учитывая данные обстоятельства, необходимость совершенствования технологического процесса фильтрации воды становится более очевидной. Новые технологии производства и использования высокого давления приводит к экономии ресурсов, а также к снижению влияния вредных выбросов на окружающую среду. К таким пермиатам относятся составы, основанные на воде и декане в различных концентрациях. Результаты экспериментального исследования являются информационной базой для разработки и применения технологии эффективного использования для борьбы с недостатками ВПУ при взаимодействии с высоким давлением, пермиатом, а также поддержания помещения в чистом состоянии.

## **Заключение**

В результате выполнения преддипломной практики были выполнены и рассмотрены поставленные цели:

-были рассмотрены основные сегменты водоподготовительной установки;

-было выбрано программное обеспечение, которое удовлетворяет поставленным требованиям;

-был составлен алгоритм, водоподготовительной установки участка GDF71;

-написана программа аварийного режима в среде CoDesys

-разработана мнемосхема в SCADA TRACE MODE, которая удовлетворяет поставленным требованиям;

-были получены тренды зависимости времени фильтрации установки от давления;

-была получена математическая модель в Matlab водоподготовительной установки и насоса в целом;

-были сделаны выводы по проделанной работе.

## Литература

- 1 Терёхин В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учебное пособие / Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 320 с.
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 2005. – 480 с.
- 3 Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. / В.И. Денисенко. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2009. – 608 с.
- 4 Симановский А.Ю. Типы регуляторов. Методика настройки регуляторов. / А.Ю. Симановский – Ивано-Франковск: Изд-во «МИКРОЛ», 2011. – 63 с.
- 5 Копелович А.П. Инженерные методы расчета при выборе автоматических регуляторов / А.П. Копелович; ред. А.Л. Малый. – М.: Metallurgizdat, 2006. – 190 с.
- 6 Ротач В.Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов / В.Я. Ротач. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 396 с.
- 7 Охрана труда в электроустановках: Учеб. для вузов / Под. ред. Б.А. Князевского - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1983.
- 8 Безопасность жизнедеятельности. Белов С.В., Ильницкая А.В., Козьяков А.Ф. 7-е изд., стер. — М.: Высшая школа, 2007. – 240 с.
- 9 «TRACE MODE 6: Интегрированная среда разработки» - [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.adastra.ru/products/dev>
- 10 «Назначение и особенности программного комплекса TIA Portal» - [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://studfiles.net>
- 11 «Интеллектуальные датчики давления серии Метран-100» - [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://docviewer.yandex.ru/view/571874411>

12 «Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов» - [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/12001080>

13. Электронный фонд к правовой и технической документации: официальный сайт. – Москва. – Обновляется в течении суток. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200132465> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный. – Загл. с экрана.

14. Государственная система обеспечения единства измерений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.omegametall.ru/Index2/1/4294809/4294809391.htm> свободный. – Загл. с экрана.

15. Государственная система обеспечения единства измерений: официальный сайт. – Москва. – Обновляется в течении суток. – URL: <http://www.omegametall.ru/Index2/1/4294809/4294809391.htm> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

16. Техническое задание на АСУ ТП: электронный ресурс. – Москва. – Обновляется в течении суток. – URL: <https://automation-system.ru/spravochnik-inzhenera/34-glava7.html> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

17. Назначение и цели создания системы: электронный ресурс. – Москва. – Обновляется в течении суток. – URL: <https://automation-system.ru/spravochnik-inzhenera/34-glava7.html> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

18. Требования к видам обеспечения: электронный ресурс. – Москва. – Обновляется в течении суток. – URL: <https://automation-system.ru/spravochnik-inzhenera/34-glava7/307-7-7.html> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

19. Требования к системе: электронный ресурс. – Москва. – Обновляется в течении суток. – URL: [https://automation-system.ru/spravochnik-](https://automation-system.ru/spravochnik-inzhenera/34-glava7/307-7-7.html)

inzhenera/34-glava7/305-7-5.html (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

20. Требования к видам обеспечения: электронный ресурс. – Москва. – Обновляется в течении суток. – URL: <https://automation-system.ru/spravochnik-inzhenera/34-glava7/307-7-7.html>. (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

21. Промкомплект: официальный сайт. – Санкт-Петербург. – Обновляется в течении суток. – URL: <http://atompk.com/oprosnie-listi> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

22. Полтраф официальный сайт. – Санкт-Петербург. – Обновляется в течении суток. – URL: [https://poltraf.ru/raskhod/raskhodomery\\_gazov/ee771/](https://poltraf.ru/raskhod/raskhodomery_gazov/ee771/) (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

23. Волошенко А.В. Учебное пособие. Технологические измерения и приборы. Курсовое проектирование: Учебное пособие/ Волошенко А.В., Медведев В.В. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 120 с.

24. ГОСТ 21.403-80. СПДС. Обозначения условные графические в схемах. Оборудование энергетическое: дата введения 01.07.1981. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-21-403-80-spds> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

25. ГОСТ Р 53674-2009. Арматура трубопроводная. Номенклатура показателей. Опросные листы для проектирования и заказа: дата введения 01.01.2011. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53674-2009> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

26. Метран. Каталог продукции 2018: официальный сайт. – Москва. – Обновляется в течении суток. – URL: <http://mtn.nt-rt.ru> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

27. Овен. Каталог продукции: официальный сайт. – Москва. – Обновляется в течении суток. – URL: <https://www.owen.ru/catalog> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

28. Элемер. Каталог продукции: официальный сайт. – Москва. – Обновляется в течении суток. – URL: <https://www.elemer.ru/catalogs/свободный> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

29. Элеси Каталог продукции: официальный сайт. – Томск. – Обновляется в течении суток. – URL: <http://elesy.ru/products/> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

30. ПЛК63 Руководство по эксплуатации: официальный сайт. – Москва. – Обновляется в течении суток. – URL: [http://www.owen.ru/uploads/rie\\_plk63\\_1001.pdf](http://www.owen.ru/uploads/rie_plk63_1001.pdf) (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

31. SIMATIC-S7-1200 Руководство по эксплуатации: официальный сайт. – Москва. – Обновляется в течении суток. – URL: <https://www.siemens.ru.com/taxonomy/term/13> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

32. Метран: официальный сайт. – Москва. – Обновляется в течении суток. – URL: <http://mtn.nt-rt.ru> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

33. Волощенко А. В. Учебное пособие. Проектирование функциональных схем систем автоматического контроля и регулирования: учебное пособие / Волощенко А. В., Горбунов Д. Б. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2008. – 108 с.

34. Ильина И.Л. Учебное пособие. В 3 частях. Часть 1. Проектирование автоматизированных систем: Учебное пособие / Ильина И.Л. – Ангарский государственный технический университет. – Ангарск. – Изд. АГТА, 2005. – 308 с.

35. ГОСТ 2.785-70. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Обозначения условные графические. Арматура трубопроводная: дата введения 01.01.2011. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003851> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

36. Ильина И.Л. Учебное пособие. В 3 частях. Часть 2. Проектирование автоматизированных систем: Учебное пособие / Ильина И.Л. – Ангарский

государственный технический университет. – Ангарск. – Изд. АГТА, 2005. – 308 с.

37. Новый системный каталог продукции Rittal: официальный сайт. – Москва. – Обновляется в течении суток. – URL: [https://www.rittal.com/ru-ru/ebook/ru\\_cat35/index.html](https://www.rittal.com/ru-ru/ebook/ru_cat35/index.html) (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

38. Российская Федерация. Трудовой кодекс Российской Федерации : Федеральный закон № 197-ФЗ: [принят Государственной думой 30 декабря 2001 года]. - Москва, 2011. - 158 с.

39. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: дата введения 28.01.2021. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

40. ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя: дата введения 26.04.1979. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

41. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: дата введения 03.01.2017. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: Электронный.

42. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений

43. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: дата введения 26.04.1998. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 01.02.2020). – Текст: Электронный.

44. ГОСТ 12.1.003-14. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности: дата введения 01.11.2015. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606> (дата обращения: 01.02.2020). – Текст: Электронный.

45. СН2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки: дата введения 12.11.1996. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901703278> (дата обращения: 01.02.2020). – Текст: Электронный.

46. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение: дата введения 08.05.2016. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 01.02.2020). – Текст: Электронный.

47. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение: дата введения 01.01.1996. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001026> (дата обращения: 01.02.2020). – Текст: Электронный.

48. ГОСТ Р 54906—2012. Системы безопасности комплексные. Экологически ориентированное проектирование. Общие технические требования: дата введения 08.12.2012. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093401> (дата обращения: 01.02.2020). – Текст: Электронный.

49. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов: дата введения 07.01.1983. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения: 01.02.2020). – Текст: Электронный.

50. СП 2.2.3670-20. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда: дата введения 03.12.2020. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573230583> (дата обращения: 01.02.2020). – Текст: Электронный.

51. ГОСТ Р 51337-99. Безопасность машин. Температуры касаемых поверхностей. Эргономические данные для установления предельных величин горячих поверхностей: дата введения 01.07.2000. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200009083> (дата обращения: 01.02.2020). – Текст: Электронный.

52. ГОСТ 12.4.011-89. ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация: дата введения 01.07.1990. – URL:



<https://docs.cntd.ru/document/1200000277> (дата обращения: 01.02.2020). – Текст: Электронный.

53. Российская Федерация. Законы. Об отходах производства и потребления: Федеральный закон №89-ФЗ: [принят Государственной думой 24 июня 1998 года]. - Москва, 1998. - 79 с.

54. ГОСТ Р 53692-2009. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов: дата введения 15.01.2011. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200081740> (дата обращения: 01.02.2020). – Текст: Электронный.

55. Приказ МПС ЦУВСС-6/3. Создание оптимальных условий труда, работающий с дисплеями на железнодорожном транспорте (для работников административно-управленческого персонала): дата введения 20.02.97. – URL: <https://textarchive.ru/c-2070581-pall.html> (дата обращения: 01.02.2020). – Текст: Электронный.

56. СНиП 23-05-95\*. Естественное и искусственное освещение: дата введения 01.01.1996. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293747/4293747646.htm> (дата обращения: 01.02.2020). – Текст: Электронный.

57. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений: дата введения 01.01.1998. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001022> (дата обращения: 01.02.2020). – Текст: Электронный.

58. Назаренко О.Б. Учебное пособие. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ / Назаренко О.Б. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2008. – 20 с.

## Приложение А

(Reference)

Раздел ВКР выполненный на английском языке

### Problems of water treatment plants and their solution

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ92	Зайчиков Владислав Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сидоренко Татьяна Валерьевна	к.п.н.		

## **Introduction**

At present, the most urgent problem is the modernization of the existing equipment of thermal power plants and industrial enterprises in order to reduce operating costs and, accordingly, the cost of manufactured products.

In the field of water treatment, a promising direction is the conversion of existing water treatment plants (WPU) using the ion exchange method to the countercurrent principle of water ionization, which makes it possible to reduce the cost of demineralized or softened water obtained at the WPU by 2-3 times.

As you know, the counter-current technology, in comparison with the traditional direct-flow technology, allows:

- improve the quality of treated water;
- reduce the number of installed equipment (filters, pumps, tanks), fittings, pipelines by 2-3 times;
- reduce the costs of chemical reagents (acid, alkali, salt) for the needs of the WPU by 1.5-3 times;
- to reduce water consumption for auxiliary needs of the TLU and, accordingly, the volume of saline waste water by 2-6 times.

## **Experience of using countercurrent technology in water treatment plants**

At the same time, there is currently a positive experience of using the APCORE countercurrent technology at the TLU, which provides high technical performance of its operation after reconstruction [1].

The decisive arguments for the widespread introduction of APCORE technology in comparison with other well-known technologies (Germany, USA, Russia) were:

- the possibility of using domestic equipment (parallel-flow filters of the FIP-I type);

-simplicity of design and installation of internal (upper and lower) drainage and distribution devices of the collector-beam type with the use of polypropylene caps (Germany) and the possibility of manufacturing distribution devices at domestic factories;

-absence of strict requirements for the content of suspended solids in the source water before ion exchange counterflow filters;

-elimination of the dependence of the quality of purified water on changes in the load of ion-exchange filters, i.e. wide range of WPU performance;

-use of two-layer anionization in one filter without any separating devices.

At the same time, everyone knows that the financing of the reconstruction of the TLU is carried out, as a rule, according to the "leftover" principle with the obligatory provision of the payback period for the reconstruction costs less than three years.

It is impossible not to note the well-known fact that clarified water at the pretreatment of the TLU (clarifiers, mechanical filters) does not fully meet the requirements for the quality of water supplied to the subsequent ion-exchange unit, which causes a deterioration in the technological characteristics of the TLU operation and, accordingly, leads to increased operating costs.

Thus, it is traditionally accepted that when introducing practically any countercurrent ionization technology, it is necessary to first increase the efficiency of the pretreatment treatment by upgrading the installed equipment, improving technological processes and using modern filtrants (for mechanical filters) [2, 3].

This approach, in turn, entails additional costs for the modernization of the TLU, which, accordingly, leads to an increase in the limited payback period.

It is known that the greatest problem in the operation of the TPP TPP is the surface water preliminary treatment unit, which consists of clarifiers such as VTI or TsNII MPS and clarifying (mechanical) filters of the FOV type.

Clarifiers with a suspended bed are characterized by unstable operation (periodic removal of sludge) even in the presence of automation of the reagent dosing unit (lime, coagulant).

Serial mechanical filters using modern filtering materials (hydroanthracite, imported quartz sands) with a single-layer loading height of 0.9-1 m have a low dirt holding capacity and do not always provide the required quality of clarified water before subsequent ion exchange desalination or softening (iron and aluminum less than 100  $\mu\text{g} / \text{dm}^3$ , suspended solids less than 2  $\text{mg} / \text{dm}^3$ ).

As an alternative to the existing surface water pretreatment, various organizations are actively proposing an ultrafiltration unit using hollow fiber membranes with an inner diameter of 0.8 mm [4].

The insignificant experience in the implementation of ultrafiltration units at domestic TPPs (Zainskaya GRES since 2005 and Novocherkasskaya GRES since 2007) indicates a decrease in comparison with the source water of the following indicators:

- oxidizability by 40-50%;
- oil products by 80%;
- iron oxides by 60-80%.

At the same time, this method of surface water purification has a number of disadvantages:

- high cost of an ultrafiltration unit (150-200 thousand rubles per 1  $\text{m}^3 / \text{h}$  of installed capacity);
- short service life of membranes (less than 5 years);
- regular (once every 2-4 years) replacement or repair of valves, electric motors of flushing pumps, etc. due to intensive flushing of membranes (1-2 flushes / h or 7-15 thousand cycles / year);

significant water consumption for own needs 15-20% (according to the data of Zainsk SDPP for the second year of operation).

In order to reduce capital costs for the reconstruction of the pretreatment, specialists have developed a design of a pressure head clarifying filter (RF patent for utility model No. 64929), which has been implemented at JSC "Khimprom" (Novocheboksarsk) and JSC "Ammofos" (Cherepovets).

At the CHPP of JSC Ammophos, Cherepovets, there is a chemical water treatment (HWO) with a capacity of 400 m<sup>3</sup> / h, operating according to the following scheme: coagulation with aluminum sulfate in clarifiers of the Central Research Institute, mechanical filtration on FOV filters and two-stage sodium cationization.

The source water of the CWO is the water of the Suda River of the following quality:

- total hardness - 2-3 mg-eq / dm<sup>3</sup>;
- total alkalinity - 3-4 mg-eq / dm<sup>3</sup>;
- chlorides - 2-3 mg / dm<sup>3</sup>;
- permanganate oxidizability - 20-40 mg O<sub>2</sub> / dm<sup>3</sup>;
- chromaticity - 150-250 degrees;
- iron oxides - 400-1000 µg / dm<sup>3</sup>;
- aluminum - 100-300 µg / dm<sup>3</sup>.

Taking into account the high oxidizability and color in the source water, as well as the need to reduce alkalinity, the dose of the coagulant is 2-2.5 mg-eq / dm<sup>3</sup> and, accordingly, the quality of the coagulated water after the clarifiers is:

- permanganate oxidizability - 6-10 mg O<sub>2</sub> / dm<sup>3</sup>;
- iron oxides - 80-500 µg / dm<sup>3</sup>;
- aluminum - 500-1100 µg / dm<sup>3</sup>. Existing mechanical filters FOV-

3.0-0.6 have a cylindrical shell height of 1.6 m and are loaded with hydroanthracite with a particle size distribution of 0.8-2 mm to a height of 0.9 m. The quality of clarified water after mechanical filters is:

- permanganate oxidizability - 5-8 mg O<sub>2</sub> / dm<sup>3</sup>;
- iron oxides - 50-100 µg / dm<sup>3</sup>;
- aluminum - 100-450 µg / dm<sup>3</sup>.

From the above, it can be seen that the existing pretreatment is quite effective in reducing oxidizability and iron oxides by 70-80%.

The only drawback of the pretreatment operation is the high content of aluminum (100-450  $\mu\text{g} / \text{dm}^3$ ) in the clarified water due to the increased dose of coagulant, which does not meet the requirements [5] for limiting the aluminum concentration to less than 100  $\mu\text{g} / \text{dm}^3$  in the water supplied to the ion exchange unit.

To solve this problem, it was proposed that two ion exchange filters of the 1st stage, which were not used in the HVO circuit, with a shell height of about 3 m (FIP-I-3.0-0.6), should be reconstructed into mechanical filters.

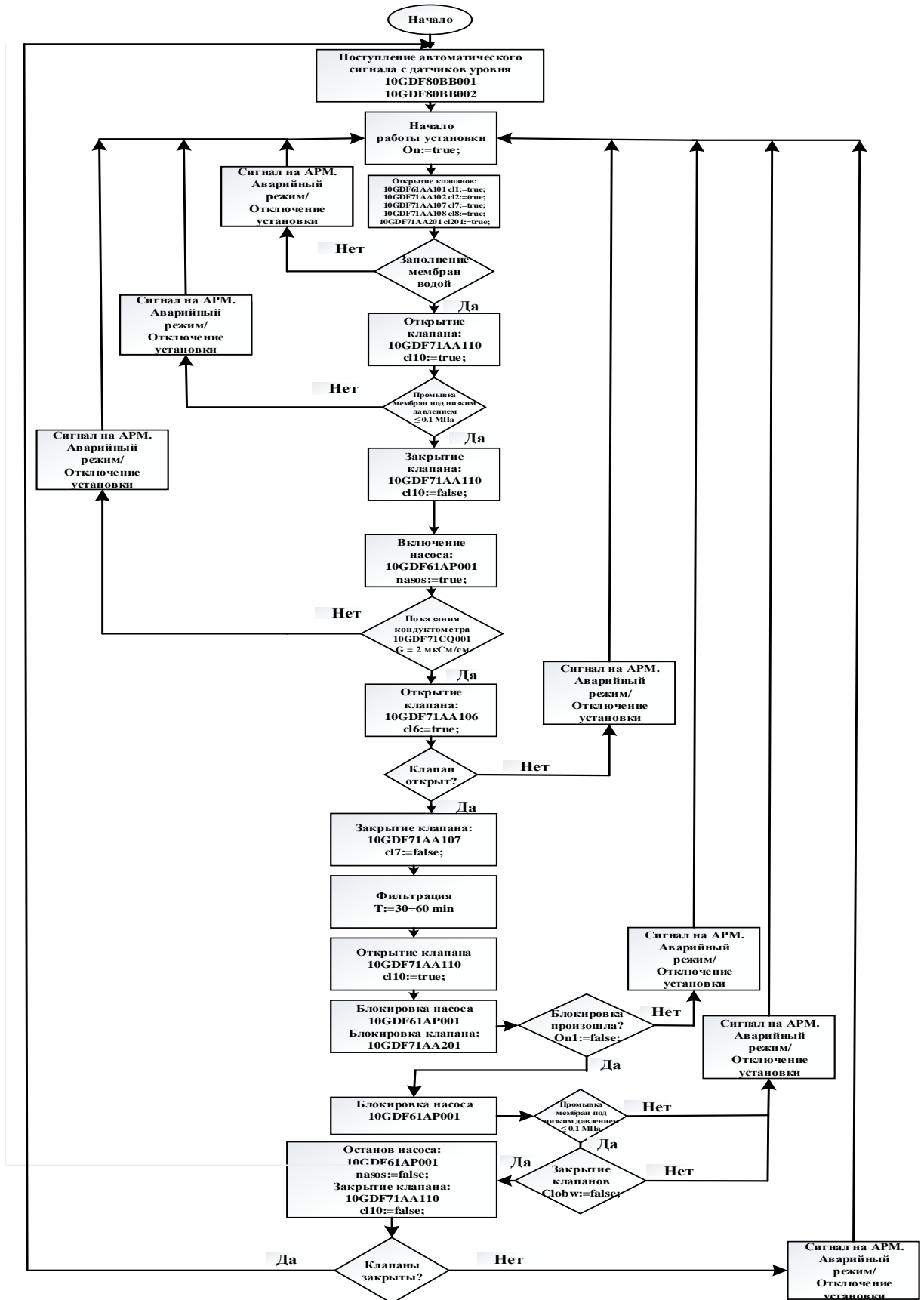
## Literature

1. Borovkova I.I., Balaev I.S., Gromov S.L., Shulyaev V.A., Sidorov V.A. Implementation of UP countercurrent technology. CO. RE at the WPU for water desalination at CHPP-12 Mosenergo // Electric stations. 2017. No. 5. S. 37-39.
2. Kuznetsova EV, Startsev VI, Rogovoy VA, Simkina VM, Volftrub LI Experience in improving the existing pretreatment of the WPU // Energetik. 2012. No. 5. S. 34-35.
3. Khodyrev B.N., Fedoseev B.S., Kalashnikov A.I., Shchukina M.Yu., Yamgurov F.F. Experience of implementing reverse osmosis unit UOO-166 at Nizhnekamsk CHPP-1 // Electric stations. 2012. No. 6. S. 60-61.
4. Introduction of membrane technologies at the stage of pretreatment of source water // Ecology of production. Bulletin "Energy". 2016. No. 3 (4). S. 8-9.
5. STO VTI 37.002-2005 "Basic requirements for the use of ion exchangers in water treatment plants of thermal power plants. Technological recommendations for the diagnosis of their quality and selection ", JSC" VTI ", M., 2016.



# Приложение Б (Обязательное)

## Алгоритм водоподготовительной установки GDF71



## Приложение В (Обязательное)

### Технологическая схема водоподготовительной установки

