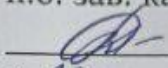


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

и.о. зав. кафедрой

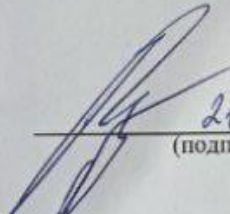
 О.В. Скрипко
« 26 » июня 2025 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: «Автоматизированная система регулирования частоты и мощности
турбоагрегата Т110/120-130 Благовещенской ТЭЦ»

Исполнитель

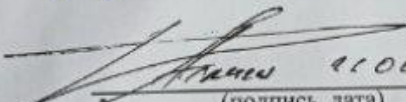
студент группы 141-об

 21.06.2025
(подпись, дата)

В.Д. Rogoznyak

Руководитель

доцент, канд. техн. наук

 11.06.2025
(подпись, дата)

Д.А. Теличенко

Консультант по безопасности
и экологичности

доцент, канд. техн. наук

 24.06.2025 А.Б. Булгаков
(подпись, дата)

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль

профессор, д-р техн. наук

 25.06.2025 О.В. Скрипко
(подпись, дата)

О.В. Скрипко

Благовещенск 2025

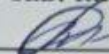
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

УТВЕРЖДАЮ

И. о. зав. кафедрой


подпись

О.В. Скрипко
И.О. Фамилия

« 26 » июня 2025 г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Рогозняк Владислав Дмитриевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Автоматизированная система регулирования частоты и мощности турбоагрегата Т110/120-130 Благовещенской ТЭЦ

(утверждена приказом от 29.04.25 № 1104-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) 26.06.2025
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: 1) Рабочая и конструкторская документация Благовещенской ТЭЦ; 2) Приказ об утверждении темы бакалаврской работы; 3) Материалы, собранные в ходе практики.
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

- 1) Описание объекта автоматизации;
- 2) Обзор технических средств автоматизации;
- 3) Разработка принципиальной электрической схемы;
- 4) Разработка визуализации в среде Astra IDE;
- 5) Разработка алгоритмической и программной части системы;
- 6) Безопасность и экологичность.

5. Перечень материалов приложения:

Лист 1: Функциональная схема автоматизации

Лист 2: Полная принципиальная электрическая схема

Лист 3: Принципиальная электрическая схема с использованием двигателя

постоянного тока

Лист 4: Структурно-функциональная схема программно-технического комплекса

Лист 5: Визуализация разработанной SCADA-системы в среде разработки Astra IDE

Лист 6: Алгоритмическая схема работы разработанной SCADA-системы
6. Консультанты по выпускной квалификационной работе:

Безопасность и экологичность – Булгаков А. Б., доцент, канд. техн. наук

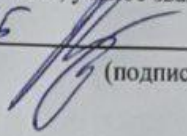
7. Дата выдачи задания 10.04.2025

Руководитель выпускной квалификационной работы:

Теличенко Денис Алексеевич, профессор, канд. техн. наук

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

Задание принял к исполнению (дата): 10.04.2025


(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа объёмом в 116 страниц, содержит 50 рисунков, 11 таблиц, 6 приложений, 26 использованных источника

ТЭЦ, ТУРБОАГРЕГАТ, РЕГУЛИРУЮЩИЙ КЛАПАН, ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС, РЕГУЛИРОВАНИЕ, КОНТРОЛЛЕР, SCADA-СИСТЕМА, ВИЗУАЛИЗАЦИЯ, ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ, МОДЕРНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ, ЧАСТОТА, АВТОМАТИЗАЦИЯ

Цель выпускной работы заключается в разработке полномасштабной системы управления частотой и активной мощностью турбоагрегата Т110/120-130 №2, включая необходимые электрические схемы (выбор контрольно-измерительных приборов, исполнительных устройств и контроллеров), разработку верхнего уровня (SCADA-систему с визуализацией) и алгоритмы регулирования и защиты.

Для разработки автоматизированной системы требуется осуществить принципиальную и техническую реализацию (проектирование аппаратной части с выбором и обоснованием датчиков, исполнительных механизмов и другого оборудования, создание соответствующих схем). Позднее необходимо внедрить систему регулирования с разработкой управляющих программ, и визуализацией процесса регулирования.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Описание объекта автоматизации и существующих решений	10
1.1 Сведения о предприятии	10
1.2 Состав и технические характеристики технологического объекта	11
1.3 Описание технологического процесса турбоагрегата-прототипа	12
1.4 Действующие принципы регулирования частоты и активной мощности турбоагрегатов БТЭЦ	14
1.5 Обоснование автоматизации	20
2 Разработка аппаратной части проектируемой системы	23
2.1 Разработка структурной схемы устройства	23
2.2 Выбор ТСА СРЧМ	25
2.2.1 Выходные элементы кипиа	25
2.2.2 Выбор датчиков	26
2.2.3 Выбор исполнительных механизмов	36
2.2.4 Выбор программируемого логического контроллера	41
2.2.5 Альтернативный вариант подбора исполнительных механизмов	43
3 Разработка принципиальной электрической схемы	49
3.1 Подключение датчиков к Regul R500	49
3.2 Подключение им к Regul R500	52
3.3 Подсчёт тса, портов и модулей Regul R500	55
4 Разработка алгоритмической части СРЧМ	57
4.1 Обозначение задач алгоритмической блок-схемы	57
4.2 Реализация пуска и остановки системы	57
4.3 Реализация теста плотности автоматического стопорного клапана высокого давления (АСКВД)	59
4.4 Реализация теста плотности регулирующего клапана цилиндра высокого давления (РК ЦВД)	61
4.5 Реализация теста п-регулятора скорости на холостом ходу	62

4.6 Реализация режима опробования генератора	63
5 Разработка визуализации	65
5.1 Введение в визуализацию	65
5.2 Особенности SCADA-системы Astra IDE	66
5.3 Описание проектируемой визуализации	66
5.4.1 Описание видеогаммы «турбинный контроллер»	74
5.4.2 Описание видеогаммы «структурная видеогамма»	81
5.4.3 Описание видеогаммы «тесты срчм»	82
5.5.1 Подпрограмма запуска турбины в автоматическом режиме с изначальным выбором параметров запуска	87
5.5.2 Подпрограмма вывода текста предупреждения или ошибки	88
5.5.3 Подпрограмма переключения между окнами визуализации	91
6 Безопасность и экологичность	93
6.1 Безопасность	93
6.1.1 Техника безопасности при работе с регулирующими системами	93
6.1.2 Безопасность при работе с гидравликой	94
6.1.3 Безопасность модернизированной системы регулирования	96
6.1.4 Блектробезопасность	98
6.2 Экологичность	98
6.3 Чрезвычайные ситуации	99
Заключение	103
Библиографический список	104
Приложение А. Техническое задание на разработку	107
Приложение Б. Функциональная схема автоматизации	
СРЧМ Т110/120-130 №2	111
Приложение В. Принципиальная электрическая схема СРЧМ	112
Приложение Г. Принципиальная электрическая схема СРЧМ с использованием ДПТ	113
Приложение Д. Структурно-функциональная схема программно-технического комплекса	

Приложение Е. Визуализация разработанной SCADA-системы в среде разработки Astra IDE

Приложение Ж. Алгоритмическая схема работы разработанной SCADA-системы

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АСУТП – Автоматизированная система управления технологическим процессом;

ОПРЧ – Общее первичное регулирование частоты;

ОЗ – Отсечной золотник;

ПЛК – Программный логический контроллер;

ПО – Программное обеспечение;

ПД – Поворотная диафрагма;

ПЧ – Преобразователь частоты;

ПТК – Программно-технический комплекс;

ПСТ – Подогреватель сетевой горизонтальный;

СРЧМ – Система регулирования частоты и мощности;

РК – Регулирующий клапан;

СРК – Сервопривод регулирующих клапанов;

СПД – Сервопривод поворотной диафрагмы ;

ТЭЦ – Тепловая электроцентраль;

УТЗ – Уральский турбинный завод;

ЭМП – Электромеханический преобразователь;

ЭЧСР – Электронная часть системы регулирования турбоагрегата;

КИПиА – Контрольно-измерительные приборы и автоматика;

СМ – Система мониторинга;

СОТИАССО - Система обмена технологической информацией с автоматизированной системой системного оператора.

ВВЕДЕНИЕ

Семейство турбин Т-110/120-130 предназначено для вновь строящихся и расширяемых ТЭЦ больших и средних городов. Турбина может работать на режимах теплового графика (с противодавлением) с охлаждением встроенных пучков конденсаторов как подпиточной, так и сетевой водой. Турбина имеет достаточно развитую низкопотенциальную часть, конденсаторную группу с оптимальным расходом охлаждающей воды, развитую систему регенерации. В турбине реализованы многие прогрессивные решения, разработанные для теплофикационных турбин, что способствует постоянному совершенствованию.

Система регулирования частоты и мощности турбоагрегата Т110/120-130 №2 необходимо модернизировать, поскольку турбина практически не участвует в ОПрЧ, она представляет собой турбину с гидравлической моделью регулирования с большим количеством недостатков. Сам турбоагрегат №2 по структуре и ЭЧСР изначально аналогичен ТА-3, однако в связи с тем, что по признакам Системного Оператора в ОПрЧ она участия не принимает, а аналогичный по изначальному конструктиву ТА-3 был спроектирован в том числе специалистами компании Emerson, закупившим для реализации проекта иностранное оборудование (купить которое в данный момент без прибегания к методам серой экономики невозможно), то было решено использовать иной подход к разработке автоматизированной СРЧМ.

С развитием КИПиА, а также с учетом сложившейся экономической ситуацией необходимо изменить подход к реализации СРЧМ, переработать существующую гидравлическую систему регулирования, расширять и модернизировать действующее АСУ, по возможности применяя опыт модернизации ТА-3, так как в данный момент модель показывает себя весьма и весьма успешно.

1. ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ И СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ

1.1 Сведения о предприятии

Благовещенская ТЭЦ – это ключевое предприятие энергетики Амурской области, история которого начинается в 1960-х годах. В 1970-х годах, в период активного развития промышленности и сельского хозяйства в Благовещенске, было принято решение о строительстве новой электростанции. В 1985 году первая очередь Благовещенской ТЭЦ была введена в эксплуатацию. Она имела установленную мощность 280 МВт, что обеспечивало электроэнергией не только город, но и промышленные предприятия.

С течением времени спрос на электроэнергию и тепло в городе и области продолжал расти. В связи с этим возникла необходимость в расширении Благовещенской ТЭЦ. В 2011 году было принято решение о строительстве второй очереди станции [15].

Вторая очередь станции позволила увеличить установленную электрическую мощность до 400 МВт, а тепловую – до 1005 Гкал/ч. Это позволило обеспечить надёжное и бесперебойное электроснабжение и теплоснабжение города и области.

Важной особенностью Благовещенской ТЭЦ является использование угля месторождения «Ерковецкий» в качестве топлива. Это позволяет снизить зависимость от импорта энергоресурсов и обеспечить экономическую эффективность работы станции.

Благовещенская ТЭЦ играет ключевую роль в жизни города и области, обеспечивая электроэнергией и теплом промышленные предприятия, жилые дома и социальные объекты. Без неё невозможно представить себе комфортную жизнь в этом регионе.

При изучении объекта автоматизации для разработки системы регулирования важно понимать специфику работы с каждым объектом, например в данном случае, когда мы рассматриваем СРЧМ второй турбины, то

стоит упомянуть, что изначально с момента выпуска на Уральском турбомоторном заводе ТА №2 и ТА №3 – были абсолютно идентичными друг другу, поэтому анализ стоит начинать именно с третьей турбины, поскольку она сравнительно недавно прошла модернизацию электрической и механической частей регулирования частоты и активной мощности.

1.2 Состав и технические характеристики технологического объекта

Турбина Т-110/120-130, производимая Уральским турбомоторным заводом, является паровым агрегатом с номинальной мощностью 110 мегаватт. Она предназначена для привода генератора переменного тока, мощность которого составляет 120 мегаватт [3].

Турбина разработана для работы с давлением 130 атмосфер и температурой 555 градусов Цельсия перед автоматическим стопорным клапаном. Охлаждающая вода на входе в конденсатор имеет температуру 20 градусов Цельсия. Номинальный расход охлаждающей воды составляет 16000 кубических метров в час.

Турбина состоит из трёх цилиндров с 27 ступенями. Свежий пар поступает от стопорного клапана к четырём регулирующим клапанам высокого давления через четыре перепускные трубы.

Из первой и второй каминных камер ЦВД (цилиндра высокого давления) пар отсасывается в первый и четвёртый отборы соответственно. Заднее концевое уплотнение ЦВД и переднее уплотнение ЦСД (цилиндра среднего давления) также имеют по четыре каминных камеры, из которых пар направляется в четвёртый отбор. Отсос пара из крайних камер каминов осуществляется в подогреватель сальников, а из остальных – в основные эжекторы типа ЭП-3.

Подогрев питательной воды осуществляется в четырёх подогревателях низкого и трёх высокого давления, которые питаются паром из разных отборов после 23-й, 21-й, 19-й, 17-й, 13-й, 11-й и 9-й ступеней.

Регенеративное устройство состоит из основных эжекторов, подогревателя уплотнений, сальникового подогревателя и четырёх поверхностных подогревателей низкого и трёх высокого давления. Подогреватели высокого

давления имеют быстродействующую групповую защиту, которая отключает всю группу при переполнении одного из них.

Конденсационное устройство включает конденсаторную группу с двумя поверхностными двухходовыми конденсаторами. Охлаждающая поверхность разделена на три пучка: два основных (85% поверхности) и один встроенный (15%). Гидравлическое сопротивление конденсатора при расходе охлаждающей воды 16000 кубических метров в час и чистых трубках составляет 4 метра водяного столба [22].

Отсос паровоздушной смеси производится эжекторами. При охлаждении конденсатора только подпиточной водой турбина должна работать с полностью закрытыми диафрагмами ЦНД (цилиндра низкого давления), а расход подпиточной воды должен быть в пределах 600–1500 тонн в час с температурой на входе 5–10 градусов Цельсия. Технические характеристики турбоагрегата Т-110/120-130 приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Технические характеристики турбоагрегата Т-110/120-130

Номинальная мощность, МВт	110 (120)
Частота вращения ротора, об/мин	3000
Тепловая нагрузка отопительных отборов, Гкал/час	175
Расчетное давление в конденсаторе, 0,05 кгс/см ²	0,05
Расход свежего пара на турбину, т/ч	485
Расход охлаждающей воды, т/ч	16000
Расход, т/ч:	
Свежего пара на турбину	485
Охлаждающей воды	16000

1.3 Описание технологического процесса турбоагрегата-прототипа

На турбине-прототипе (ТА-№3) после модернизации был реализован гибридный подход к реализации СРЧМ - исходя из задания электромеханический преобразователь, управляющий отсечным золотником с помощью изменения положения отсечного золотника открывает, закрывает или

держит в одном положении регулирующие клапаны, изменяющие количество поступающего в турбину пара. Такая система имеет над изначально реализованной на данном турбоагрегате ключевое преимущество – она полноценно справляется со всеми задачами регулирования [24].

На ТА-№2 стоит старая система регулирования – гидравлическая, что имеет определенные плюсы: система сама по себе надежна и за счет отсечного золотника, самостоятельно перемещающегося в буксе в зависимости от того, нужно будет приоткрыть РК или нет – она и регулирует количество поступающего пара на турбину. Однако система имеет ряд серьезных недостатков: низкая точность и быстроедействие системы из-за неуклучшаемости особенностей механики и гидравлики, кроме регулируемого количества пара (скорости вращения ротора турбины) данная система не обладает обратной связью по мощности, позиционированию ОЗ и так далее. Плюсом ко всему такого рода системы очень тяжело ремонтируются: нужно полностью разбирать блок управления, зачастую с привлечением узкопрофильных профессионалов, а порою и с помощью завода-изготовителя [24].

Вне зависимости от типа регулирования турбины свежий пар из парогенератора идет к стопорному клапану, затем - к регулирующим клапанам цилиндра высокого давления турбины. ЦВД имеет двухвенечную регулируемую ступень и восемь ступеней давления. Пар из ЦВД идет в цилиндр среднего давления. В ЦСД 14 ступеней. После 21 ступени пар направляется на подогреватель второй ступени, затем в подогреватель первой ступени и по трубам в ЦНД.

Турбина имеет два отопительных отбора: верхний с давлением 0,06 – 0,25 МПа и нижний с давлением 0,03 – 0,2 МПа. Оба обеспечивают подогрев воды в бойлерах. Давление в отборах регулируется диафрагмой после нижнего отбора.

Турбина имеет семь отборов для подогрева воды до 232°C. Подогреватели распределены по энергоблоку. Система регенерации высокого давления обеспечивает подогрев воды за счет конденсации пара. Подогреватели работают по принципу поверхностного нагревания. За счет термического сопротивления и

загрязнений температура воды всегда ниже температуры пара. Для повышения эффективности подогревателей используется дополнительная поверхность охлаждения в нижней части конденсатора [9].

На установленной турбине стоят датчики скорости вращения ротора, показывающие частоту вращения турбины, а также активную мощность генерируемого тока (по техническому заданию частота вращения турбины может находиться в диапазоне $50 \pm 0,15$ Гц) – данный процесс носит название ОПРЧ – общее первичное регулирование частоты.

Общее первичное регулирование частоты – это автоматический процесс, помогающий поддерживать стабильную частоту в электрической сети при внезапных изменениях нагрузки или генерации. В энергосистеме частота зависит от баланса между генерацией и потреблением – если нагрузка возрастает, то частота начинает падать и наоборот. Каждый генератор на электростанции оснащен регулятором скорости, отслеживающим частоту вращения, а значит и частоту генерируемого тока. Если частота падает – регулятор увеличивает подачу пара на лопасти турбины, открывая РК с помощью отсечного золотника и жестко присоединенному к нему ЭМП; аналогично работает и в обратную сторону. Чтобы эта система работала корректно часть генераторов как правило преднамеренно недогружена чтобы «подхватить» этот резерв при изменении частоты [21]. Эти данные затем отправляются в АО «СО ЕЭС» - Системный оператор Единой Энергетической Системы – специализированную организацию, единолично осуществляющую централизованное оперативно-диспетчерскую оценку и корректировку участия генерирующих предприятий и их оборудования в процессах регулирования частоты и мощности в Единой энергетической системе РФ, а также в технологически изолированных территориальных электроэнергетических системах.

1.4 Действующие принципы регулирования частоты и активной мощности турбоагрегатов БТЭЦ

В настоящее время «эталонный» турбоагрегат, а именно третий, работает на ПТК «Ovation 3.5» и, как уже упоминалось ранее, изначально планировалось,

что турбины №2 и №3 будут одинаковыми с точки зрения КИПиА и ЭСЧР, однако нынешняя экономическая ситуация внесла свои коррективы. Тем не менее, действующая модель будет взята как прототип, поскольку она хорошо себя показывает с точки зрения регулирования и участия в ОПРЧ.

Объектами управления в структурной схеме программного обеспечения управления ЭСЧР являются сервомоторы регулирующего клапана и поворотной диафрагмы, основными управляющими элементами которых в контексте турбоагрегата, являются сам шток сервомотора и отсечной золотник турбины, управляющий подачей масла в РК в зависимости от положения ОЗ, а также помимо вышеперечисленных объектов еще и соленоиды аварийного закрытия и закрытия регулирующих клапанов.

На рисунке 1.1 представлена структурная схема программного обеспечения управления ЭСЧР.

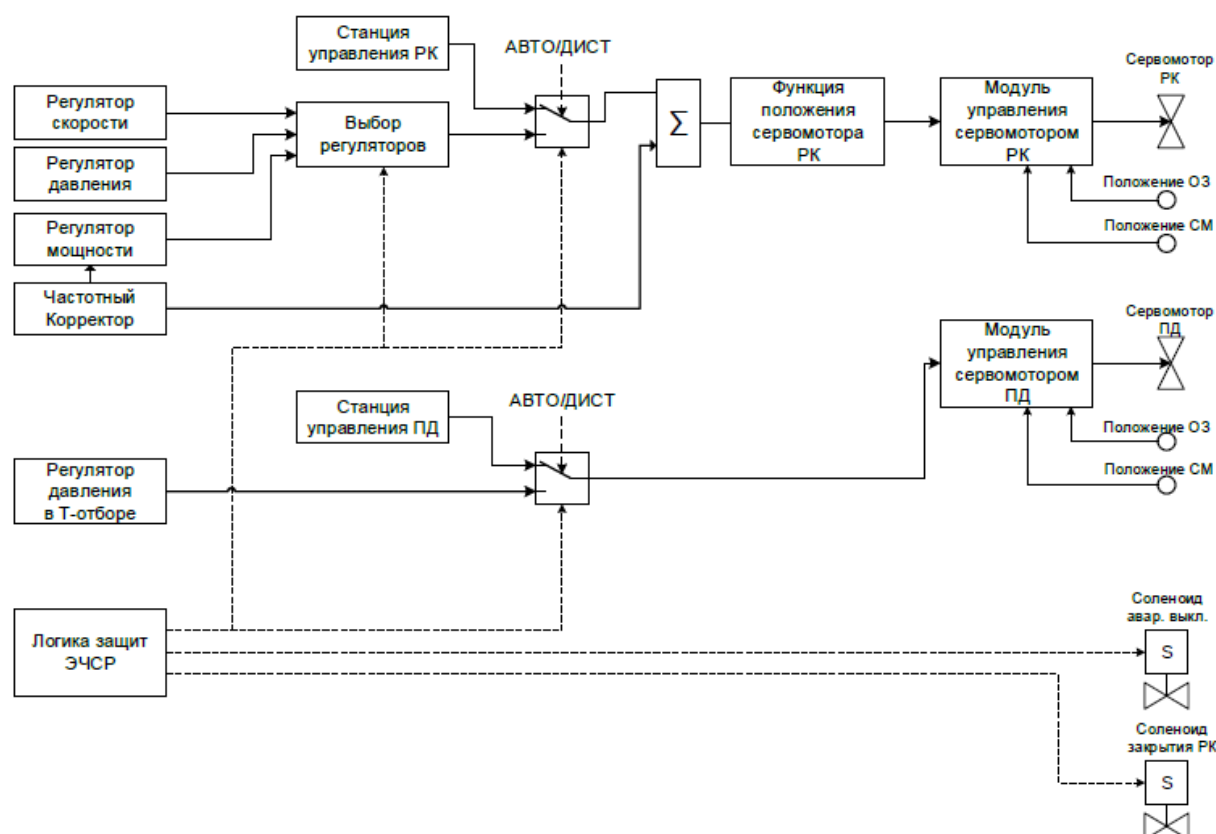


Рисунок 1.1 - Схема ПО управления ЭСЧР ТА-№3 [23]

Само регулирования происходит по скорости вращения ротора турбоагрегата, по давлению пара, по активной мощности турбины, а также с помощью частотного корректора. О каждом из них расскажем далее:

Режим регулирования положения СРК предназначен для выполнения точного позиционирования РК турбины в соответствии с заданием от оператора или автоматических регуляторов технологических параметров ЭЧСР.

Предусмотрена возможность изменения заданного значения по положению СРК турбины в сторону открытия или закрытия оператором с видеокadra турбинного контроллера (ТК) автоматизированного рабочего места.

Режим дистанционного регулирования положения РК может быть использован для проверки работоспособности СРК на остановленной турбине с возможностью их открытия на полный ход.

Режим автоматического регулирования положения сервомотора РК предназначен для выполнения их точного позиционирования в соответствии с заданием от вышестоящих автоматических регуляторов турбинного контроллера.

В основу архитектуры интеллектуального управления заложена философия упреждающего регулирования (Feed Forward) с учетом натурных характеристик объекта регулирования ($f(x)$), что повышает надежность и стабильность контура регулирования в целом.

Закон регулирования в режиме позиционирования СРК имеет вид:

$$Y = PI(H_{set} - H),$$

где: Y – сигнал управления на сервопривод ЭГП;

PI – функция ПИ-регулирования;

H_{set} – задание положения СРК;

H – положение СРК.

Режим дистанционного регулирования положения СРК включается:

- по команде оператора из видеокadra ТК АРМ ОТ;
- при срабатывании защит на остановку турбины;
- при закрытии стопорного клапана турбины.

Режим автоматического регулирования положения СРК включается:

- по команде оператора с видеокадра ТК АРМ ОТ;
- при включении одного из автоматических регуляторов турбины (частоты вращения, давления «ДО СЕБЯ», мощности);
- по команде включения режима мгновенного сброса нагрузки.

Режим регулирования положения СРД предназначен для выполнения точного позиционирования поворотной диафрагмы турбины в соответствии с заданием от оператора или автоматических регуляторов технологических параметров ЭЧСР.

Режим дистанционного регулирования положения СРД может быть использован для проверки работоспособности СРД на остановленной турбине с возможностью их открытия на полный ход или дистанционного управления параметрами теплофикационной установки при работе турбоагрегата под нагрузкой.

Режим автоматического регулирования положения СРД предназначен для выполнения точного позиционирования в соответствии с заданием от автоматического регулятора давления в теплофикационном отборе.

Для согласованного управления СПД и СРК во время пусковых операций, а также при изменениях нагрузки турбины в регулировочном диапазоне в схему управления СПД заводится сигнал $f_l(x)$ как функция от задания положения СРК. Закон регулирования в режиме позиционирования идентичен закону СРК, поэтому повторно описывать его я не вижу смысла.

Регулятор частоты вращения ротора турбины предназначен для точного поддержания заданной частоты вращения на пуске, синхронизации генератора с сетью, а также в аварийных режимах при отключении генератора от сети.

Контур регулирования частоты вращения состоит из задатчика частоты вращения, модуля измерения частоты вращения и регулятора частоты вращения.

Регулятор частоты вращения ротора турбины предназначен для поддержания заданной частоты вращения при пуске, синхронизации генератора с сетью и в аварийных режимах.

Контур регулирования частоты вращения состоит из задатчика частоты вращения, модуля измерения частоты вращения и регулятора частоты вращения. Задатчик частоты вращения управляется оператором при помощи АРМ, а также командами синхронизатора, который включает регулятор частоты вращения.

Модуль измерения частоты вращения формирует сигналы текущей частоты вращения турбины. Для оптимизации настроек ПИ-регулятора используется динамическая коррекция основных коэффициентов регулирования при отклонении давления свежего пара от номинального на пусковых режимах.

Режим регулирования мощности турбогенератора предназначен для формирования задания положения регулирующих клапанов паровой турбины. Регулятор мощности включается автоматически после синхронизации и включения генератора в сеть, а также может быть включен оператором в любое время.

Регулятор мощности автоматически отключается при отключении генератора от сети, срабатывании системы защит турбины, закрытии стопорного клапана, переключении ЭГЧСР в режим регулирования частоты вращения или давления свежего пара.

Контур регулирования мощности состоит из задатчика плановой электрической мощности, задатчика темпа изменения мощности, задатчика максимальной и минимальной мощности, регулятора электрической мощности.

Задатчик плановой электрической мощности формирует текущее значение планового задания регулятору мощности турбины, реализует ограничения, приостанавливает изменение планового задания нагрузки при смене задания, ограничивает величину скачка и темп изменения задания, ограничивает диапазон изменения планового задания нагрузки турбины.

Регулятор мощности реализует пропорционально-интегральный закон регулирования и корректирует текущее задание с учетом технологических ограничений.

Частотный корректор предназначен для первичного регулирования частоты и мощности энергоблока. Он определяет, насколько нужно изменить

заданное значение базовой нагрузки блока в зависимости от того, насколько фактическая частота сети отличается от нормализованной частоты в 50 Гц.

Коррекция задания по нагрузке зависит от текущего значения частоты вращения турбины и коэффициента неравномерности по частоте. Коэффициент неравномерности может меняться в диапазоне от 4 до 6%, что позволяет оперативно регулировать соотношение между изменением частоты и электрической нагрузкой.

Когда частотный корректор включён, его зона нечувствительности по отклонению частоты составляет ± 50 мГц. Однако эту зону можно оперативно изменить до ± 500 мГц.

Если частотный корректор отключен, алгоритм выполняет функцию пропорционального регулятора скорости с зоной нечувствительности ± 50 мГц и статизмом 5%. В этом случае регулятор участвует в общем первичном регулировании частоты и мощности.

Регулятор давления свежего пара поддерживает заданное значение давления пара перед турбиной. Регулятор может быть включён по команде оператора при работе в сети, если давление свежего пара отличается от номинального не более чем на +5%.

Задание регулятору давления свежего пара формируется алгоритмом задатчика давления с ограничениями по максимальному и минимальному значениям. Когда режим включён, задание по давлению приравнивается к текущему давлению свежего пара. Если регулятор давления свежего пара перед турбиной отключен, задатчик переходит в режим отслеживания текущего значения давления.

В случае отказа измерения давления свежего пара ЭЧСР автоматически переключается из режима регулирования давления в режим управления мощностью. Регулятор выключается автоматически в следующих случаях:

- генератор отключился от сети;
- частота сети вышла за пределы допустимых значений;
- неисправны датчики давления свежего пара;

- сработали защиты турбины;
- включен ручной режим управления СРК.

Рассогласование между заданием и текущим давлением свежего пара подаётся на регулятор давления свежего пара, который реализует пропорционально-интегральный закон регулирования – текущее давления свежего пара перед турбиной.

1.5 Обоснование автоматизации

На данный момент САРЧМ функционирующая на Благовещенской ТЭЦ автоматизирована и функционирует, но считается технически устаревшей из-за преимущественного регулирования не за счет ЭЧСР, а за счет встроенных на этапе производства и периодической модернизации решений (регулятор частоты и мощности турбины представлен преимущественно гидравлической системой, практически без использования электрических систем управления), кроме того, в процессе прохождения практики было установлено, что вторая турбина имеет существенный недостаток, поскольку ее участие в ОПРЧ является достаточно минорным относительно хорошо «укомплектованных» 4 и 3 турбин.

Вообще суть ОПРЧ заключается в том, что при аварийном отключении мощного генератора электроэнергии вся энергосеть испытывает повышенную нагрузку, которую остальные генераторы электрического тока компенсируют. Термин «Участствует в ОПРЧ» означает, что генератор (в нашем случае турбоагрегат), смог взять на себя нагрузку и скомпенсировать спрос энергии, а «Не участвует в ОПРЧ» обозначает противоположное – агрегат не реагирует на задание. Турбоагрегат передает данные о частоте, мощности и времени реакции в СО через SCADA-систему. При выявлении «непредставления информации» или несоответствия требованиям турбоагрегат должен быть готов предоставить архивные данные за период события (около двух минут от момента отклонения) [7].

По далее показанному графику видно, что турбина данное задание не формирует (точнее формирует не корректно), а значит – не справляется с ним и в ОПРЧ не участвует. Исправить подобное может модернизация САРЧМ

турбоагрегата Т110/120-130 №2, для последующего внедрения отечественной АСУТП, а также для более удобной и вариативной модернизации системы (как электрической, так и гидравлической) в будущем.

На рисунке 1.2 представлен график работы турбоагрегата Т110/120-130 №2 на момент 15 марта 2022 года в аварийном режиме при регулировании активной мощности, где ось абсцисс представлена временем, а ось ординат – заданием по мощности (оранжевая линия) и вырабатываемой мощностью (синяя линия).

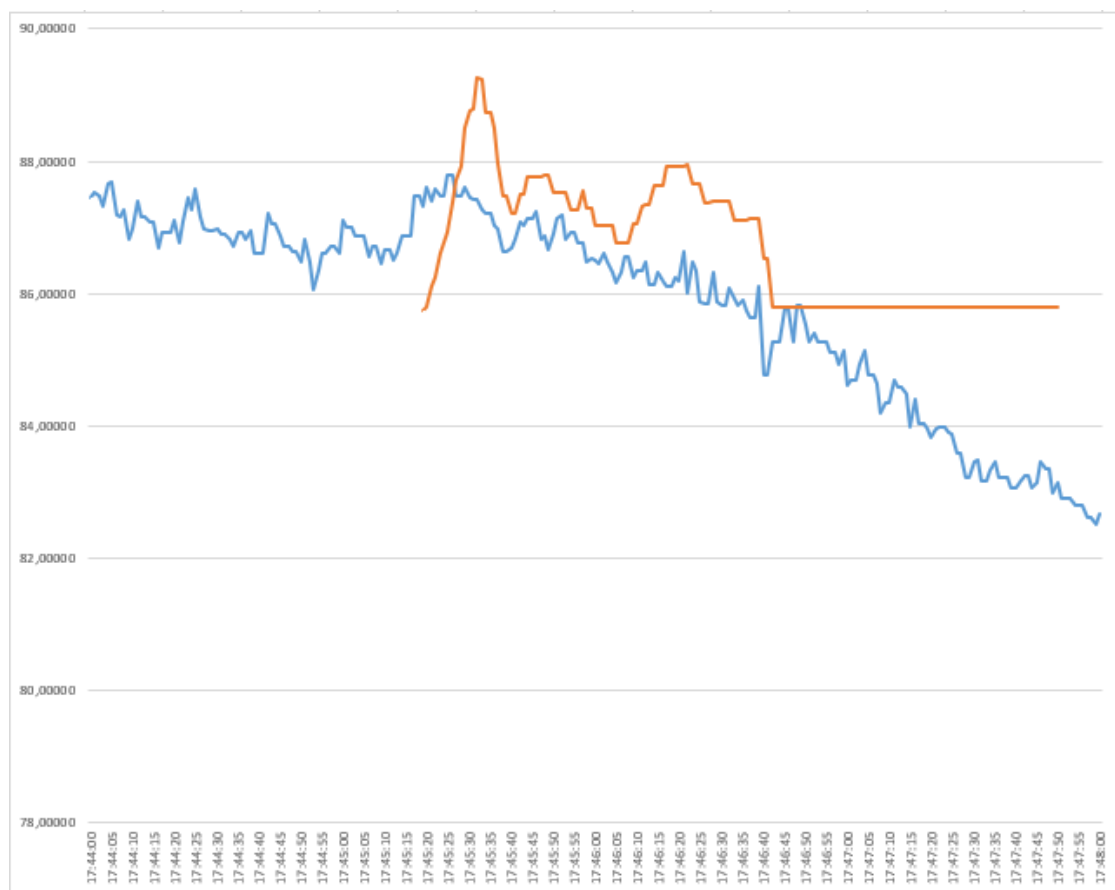


Рисунок 1.2 – График работы турбоагрегата Т110/120-130 №2 на момент 15 марта 2022 года в аварийном режиме при регулировании активной мощности

Задачи проекта:

1. Заменить действующее оборудование при необходимости (если оно не производится или не поставляется из-за рубежа, либо же поставлять параллельным импортом его не выгодно экономически) на отечественные аналоги.

2. Рассмотреть альтернативные варианты для модернизации СРЧМ, не опираясь на опыт разработки и внедрения аналогичной системы турбоагрегата №3. Описать преимущества и недостатки каждой из типов модернизаций.

3. Разработать алгоритмы для отечественного программного логического контроллера, призванного заменить устоявшееся импортное решение с учетом особенностей планируемого к установке оборудования.

4. Разработать полноценный человеко-машинный интерфейс, в данном случае SCADA-систему, для осуществления контроля за параметрами и возможностью ручным и автоматическим управлением установки.

Техническое задание на разработку автоматизированной системы см. Приложение А.

2. РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ

2.1 Разработка структурной схемы устройства

На данном этапе мы разрабатываем структурную схему устройства, которая будет использована в дальнейшем в работе. Необходимо учесть, что система регулирования состоит из:

- системы жестко связанных друг с другом регулирующих клапанов, выполняющих функцию впуска заданного количества перегретого пара, вращающего лопатки самой турбины. Как правило они располагаются на входе в цилиндр высокого давления;
- поворотной диафрагмы, выполняющей функцию поднятия и закрытия обойм турбины для регулирования проточной части сечения, регулируя количество пара, пропускаемого на лопатки турбины;
- отсечных золотников, расположенных перед сервомоторами регулирующих клапанов и поворотной диафрагмы, выполняющих функцию распределения масла в полости РК;
- золотниками АБ, состоящих из основного и импульсного, который находится внутри основного и воспринимает воздействие от рычага автомата безопасности. В рабочем положении основной золотник прилегает к верхнему упору. При воздействии на импульсный золотник рычага автомата безопасности, давление в линии дополнительной защиты падает из-за открытия сливных окон. Под действием напорного давления основной золотник перемещается вниз, образуя зазор между верхним торцом и крышкой. В камеру над золотником поступает напорное масло, увеличивая усилие на его смещение;
- соленоидов аварийного слива масла, а также отправляющего масло на регулирование. Они представляют собой нормально-закрытый клапан, выдерживающий сильное рабочее давление и способный быстро закрываться при необходимости;

- цилиндров высокого, среднего и низкого давления. В каждом из них располагается ротор турбины и лопатки, приводимые в движение перегретым паром, также их делают многопоточными;

- различных датчиков таких показателей как давление, температура, частота вращения, положения, активной мощности и др.

В соответствии с типовой инструкцией по эксплуатации СРЧМ [26] необходимо обеспечить измерение и контроль следующих технологических параметров: температура сетевой воды, давление свежего пара, давление пара перед турбиной, давление пара в теплофикационном отборе, давление масла в линии защиты, давление масла над поршне СРК, давление масла под поршнем СРК, давление масла в линии защиты СРК, давление масла на регулирование, активная мощность сети, частота вращения ротора, положение сервомотора РК, положение золотника РК, положение сервомотора ПД, положение золотника ПД. Исходя из этих данных можно составить схему подключения ТСА к ПЛК: аналоговые входы/выходы понадобятся для большинства датчиков – сколько напряжения/тока/ЭДС на входе датчика, столько и будет на входе ПЛК. Для управления сервоприводами используются преобразователи частоты, которые регулируются с помощью аналоговых выходов контроллера для точного позиционирования штока электромеханического привода, а значит и отсечного золотника регулируемого элемента. С помощью дискретных входов и выходов можно регулировать состояние аварийных соленоидов, а также соленоидов на регулирование, так со входа будет подаваться сигнал на закрытие и открытие, а на выход в виде логической единицы, если так можно выразиться, будет приходить информация о достижении крайнего положения соленоида. Кроме того, к дискретному входу должен подключаться и датчик скорости, поскольку сам датчик должен представлять собой фиксатор фронта импульсов, позволяя вычислить количество импульсов в единицу времени. На рисунке 2.1 изображена структурная схема подключения оборудования к ПЛК.

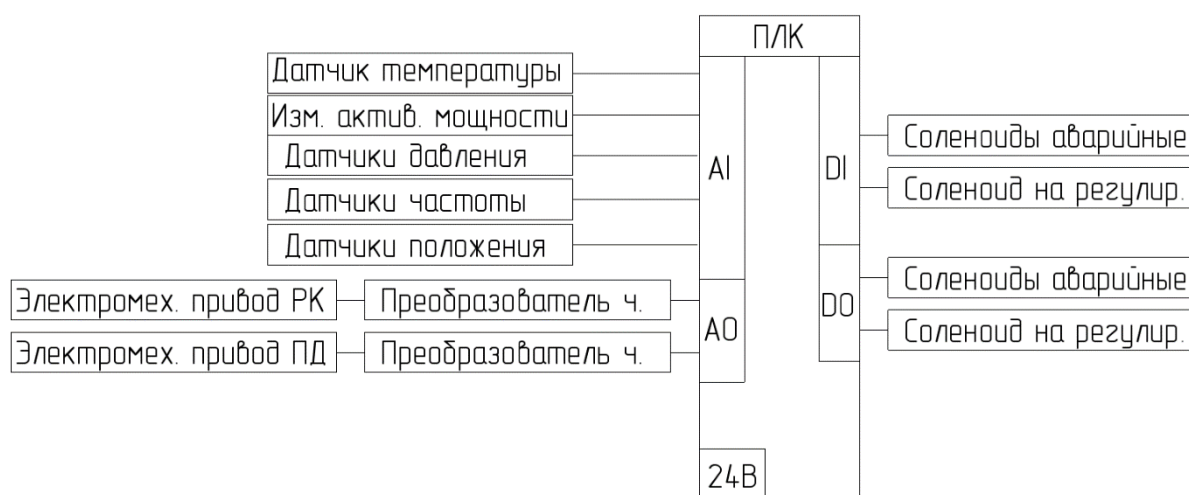


Рисунок 2.1 – Структурная схема подключения ТСА к ПЛК

Исходя из рисунка 2.1 и требуемых ТСА, была разработана функциональная схема приведённая в ПРИЛОЖЕНИИ Б

2.2 Выбор ТСА СРЧМ

2.2.1 Исходные элементы КИПиА

Исходя из технического задания необходимо заменить существующее оборудование иностранного производства на отечественное. В данном разделе указаны действующие датчики в СРЧМ, а также подобрал аналогичные в большинстве случаев датчики. К функционирующим на данный момент датчикам относятся: датчик давления «Метран-55-ДИ» от компании «Emerson», датчик температуры «Метран-2000» от тех же «Emerson», датчик положения сервомотора и золотника «Balluf-BTL7» от компании «Balluf», датчик скорости вращения от производителя «Braun» - «Braun A5S», а также датчик конечных положений «Turck BIM-UNT-AP6X» от компании «Turck», который в последствии заменить удастся только на зарубежные варианты (КНР) [22].

Далее определим специфику выбора каждого из необходимых элементов: на какие параметры стоит обратить внимание в первую очередь при закупке каждого из предустановленных на ТА-№3 видов оборудования. Датчик Метран-55-ДИ представлен в системе в трех исполнениях по максимально измеримому давлению: 505 (0,4 МПа), 515 (2,5 МПа) и 516 (16

МПа), с общим кодом точности 015 (наиболее точны, защищены от температурных и электромагнитных помех, устойчив к вибрациям) [23]. Метран-2000 – термопреобразователь сопротивления с диапазоном работ температур от -50 до +150 градусов, предназначен для отображения температуры обратной воды. Время термической реакции по маркировке A03 составит 20 секунд, устойчивость к воздействию окружающего воздуха от -55 до +85 градусов [23].

Датчики положения Balluf-BTL7 (в системе ТА-№3 используются модели E100-M0050-B-S32 и E512-M0250-P-S32) относятся к магнитострикционным и выделяются следующими техническими характеристиками: номинальный ход у них – 50 мм и 250 мм, подключаются по аналоговому входу, диаметр стержня – 10,2 мм, (позволяет выдерживать механические нагрузки до 600 бар), нелинейность составляет менее 50 мкм (т.к. у обоих датчиков длина хода составляет менее 500 мм).

Braun Sensor A5S08T48A – датчик скорости вращения ротора турбины с одним выходным сигналом, комплектуемой кабелем с изоляцией из тефлона и длиной резьбы 48 мм. Диапазон скоростей – до 25000 импульсов в секунду, быстрое время отклика до 20 мкс, подключается к дискретному выходу ПЛК.

Turck BIM-UNT-AP6X – магниторезистивный датчик положения с рабочим напряжением в 10-30 В, выходным PnP-сигналом, высокой точностью позиционирования ($\pm 0,1$ мм), реагирующий на магнит, установленный на подвижной части гидравлической системы.

2.2.2 Выбор датчиков

Для измерения температуры выбран датчик температуры ТПУ-205 от отечественного производителя ООО НПП «ЭЛЕМЕР». ТПУ-205 предназначены для измерений и непрерывного преобразования температуры твердых, жидких, газообразных и сыпучих веществ в унифицированный выходной сигнал постоянного тока от 4 до 20 мА. В качестве используемого датчика была выбрана модификация ТПУ-205-ТС-1088/8БГ-АГ11-PGM-t5070УХЛ1-Pt100-(-50...150)-

160-10-0,5-ГП-НКГЖ.411611.009-ТУ. Внешний вид ТПУ-205 представлен на рисунке 2.1.



Рисунок 2.2 – Внешний вид ТПУ-205

Принцип действия термометров сопротивления основан на явлении изменения сопротивления проводника в зависимости от его температуры. В процессе изменения температуры тепловые колебания кристаллической решетки металла изменяют свою амплитуду, соответственно, изменяется и электрическое сопротивление датчика. Чем выше температура, тем сильнее колеблется кристаллическая решетка и выше оказывается текущее сопротивление.

Технические характеристики ТПУ-205-ТС-1088/8БГ АГ11-PGM-t5070УХЛ1-Pt100-(-50...150)-160-10-0,5-ГП-НКГЖ.411611.009-ТУ приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики ТПУ-205

Параметр	Характеристика
1	2
Производитель	ООО НПП «ЭЛЕМЕР»
Модель датчика	ТПУ-205 с ТС-1088
Принцип действия	Термосопротивление
Измеряемая среда	Жидкие, твердые, газообразные и сыпучие
Номинальная статическая характеристика (НСХ)	Pt100
Диапазон измерения, °С	0 – 300 (Pt100)
Приведенная погрешность, %	±0,5
Наличие взрыво/искрозащиты	Exi, Exd

1	2
Пылевлагозащита	IP65, IP66, IP67
Климатическое исполнение	T5070УХЛ1: СЗ (- 50 – 70 °С)
Давление измеряемой среды, МПа	6,3
Выходной сигнал	4 – 20 мА

Давление рабочих сред, в данном случае масла и пара, в установках вроде рассматриваемого турбоагрегата считается очень высоким, соответственно датчик давления должен выдерживать высокие давления и быть устойчивым к агрессивным средам, или по крайней мере обладать повышенным к ним устойчивостью.

В качестве датчика давления выбран действующий на ТА-№3 – Метран-55, поскольку хоть изначальный производитель – это компания «Emerson», однако сейчас производством занимается АО ПГ «Метран», завод по изготовлению датчиков находится в России (г. Челябинск), поэтому требованиям импортозамещения он полностью соответствует. Такие датчики используются в промышленных системах автоматизации для непрерывного контроля и управления технологическими процессами. Они преобразуют различные виды давления - избыточное, абсолютное, вакуумметрическое (разрежение) и гидростатическое - в стандартизированный выходной сигнал.



Рисунок 2.3 – Внешний вид датчика Метран-55

Преобразователь предназначен для регулирования технологических процессов на промышленных предприятиях. Он измеряет давление в неагрессивных жидких и газообразных средах, а также может работать во взрывоопасных зонах.

Различные исполнения датчиков подходят для разных задач, так: Метран-55-ДИ-515-МП-t10-015-2,5МПа-42-С-Кбуст-Кр-QM-0106М-Т-12-С-В 11-2F-2 - предназначен для контроля давления в системе смазки, а также контроль давления низконапорного пара на входе в турбину (до 2,5 МПа)

Метран-55-ДИ-516-МП-t10-015-16МПа-42-С-Кбуст-Кр-QM-0106М-Т 12-С-В-11-2F-2 – нужен для мониторинга давления пара на входе ЦСД или гидравлических систем управления

Метран-55-ДИ-505-МП-t10-015-0,4МПа-42-С-Кбуст-Кр-QM-0106М Т 12-С-В-11-2F-2 – измерения давления конденсата, воздуха в системах уплотнений и т.д.

Функции датчика включают:

- Непрерывный мониторинг давления в технологических процессах;
- Передача данных в системы управления и контроля;
- Участие в автоматическом регулировании производственных циклов.

Технические характеристики ПД100-ДИ приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Технические характеристики Метран-55

Параметр	Характеристика
Производитель	АО ПГ «Метран»
Модель датчика	Метран-55
Выходной сигнал	4...20 мА, 2-проводная схема «токовая петля»
Класс точности	015 (0,15%)
Измеряемая среда	Жидкие и газообразные, неагрессивные
Тип преобразователя	Электронный преобразователь
Диапазон рабочих температур измеряемой среды	–40...+90 °С
Напряжение питания	12...42 В постоянного тока (номинальное 24 В)
Пылевлагозащита	IP65
Сопротивление нагрузки	0...3,2 кОм (в зависимости от напряжения питания)
Атмосферное давление рабочее	В зависимости от исполнения

Для измерения активной мощности решено было оставить уже существующий измеритель активной мощности E848M. Измерительные преобразователи E848 M предназначены для линейного преобразования активной мощности трехфазных трехпроводных (E848 M/6 — E848 M/14) и четырехпроводных (E848 M/1 — E848 M/5) цепей переменного тока в унифицированный аналоговый выходной сигнал постоянного тока.

Преобразователи измерительные E848 M широко используются в системах телемеханики на объектах электроэнергетики, таких как электрические сети и объекты генерации. Они предназначены для контроля активной мощности и находят применение на энергоёмких объектах различных отраслей промышленности. Преобразователи E848 M рассчитаны на эксплуатацию в диапазоне температур от -30 до +60 °С и относительной влажности до 95% при температуре 35 °С. Они могут быть подключены непосредственно к измерительной цепи или через измерительные трансформаторы напряжения и тока, в зависимости от требований системы.

Преобразователи E848 M предназначены для навесного монтажа на щитах и панелях, а также для установки на 35-миллиметровую DIN-рейку. Они относятся к стационарному оборудованию, предназначенному для использования в производственных помещениях [3]. Внешний вид аналогового преобразователя активной мощности E848 M представлен на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Внешний вид аналогового преобразователя активной мощности
E848 M

Аналоговые преобразователи активной мощности Е848М предназначены для преобразования активной мощности в переменном токе частотой 50 Гц. Они могут использоваться в трехфазных четырехпроводных (Е848М/1-5) и трехпроводных (Е848М/6-14) цепях.

Преобразователи Е848М/1, 3, 8, 9 выдают унифицированный выходной сигнал постоянного тока 0–5 мА. Преобразователи Е848М/2, 4, 6, 10, 11 выдают сигнал -5-0-5 мА. Преобразователи Е848М/5, 13 выдают сигнал 4-20 мА, а преобразователи Е848М/12, 14 - сигнал 0-2,5-5,0 мА.

ИП могут применяться для контроля параметров электрических сетей и установок в различных отраслях промышленности. Они предназначены для работы при температуре от -30 до +60 °С и относительной влажности до 95% при температуре 35 °С.

ИП устойчивы к воздействию промышленных помех и относятся к стационарному оборудованию, которое эксплуатируется в производственных помещениях вне жилых домов. Они могут включаться непосредственно или через измерительные трансформаторы тока или напряжения.

Преобразователи Е848М/13 предназначены для работы с питанием от измерительной цепи. Они относятся к преобразователям, построенным на основе импульсной модуляции. Технические характеристики Е848М/13 приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технические характеристики Е848М/13

Параметр	Характеристика
1	2
Производитель	ОДО «Энергоприбор»
Модель датчика	Е848М/13
Форма кривой тока и напряжения источника питания	Синусоидальная с коэффициентом гармоник не более 5%
Напряжение питающей сети переменного тока, В	220 ± 5
Частота питающей сети, Гц	$50 \pm 0,5$
Напряжение входного сигнала, В	$(U_n \pm 2) \%$
Ток входного сигнала, А	от 0 до I_n

1	2
Частота входного сигнала, Гц	50±0,5
Выходной сигнал	4 – 20 мА

Для измерения положения золотника и сервомотора регулирующего клапана был выбран аналог действующего датчика в нынешней СРЧМ, от отечественного производителя ООО «Трейслайн» ТЛ-С2-А10-01-005-Т1-25 - Н31-10-М18-ПК1-С40-0-0 которые предназначены для автоматического измерения линейного расстояния от начальной точки отсчета до одного или нескольких подвижных магнитных позиционеров. Внешний вид ТЛ-С2-А10-01-005-Т1-25 -Н31-10-М18-ПК1-С40-0-0 представлен на рисунке 2.6.



Рисунок 2.6 – Внешний вид ТЛ-С2-А10-01-005-Т1-25-Н31-10-М18-ПК1-С40-0-0

Микроконтроллер генерирует импульс для магнитного позиционера. Индуктивный датчик отвечает на импульс, время между ними показывает длину перемещения. Датчик состоит из магнитного стержня и электромагнита. Запускающий импульс создает магнитное поле, вызывая деформацию стержня. "Полезный" импульс используется для измерения, "паразитный" поглощается демпфером. Данный датчик применяется в системах гидравлики и пневматики, а также в робототехнике и электроэнергетике

Технические характеристики ТЛ-С2-А10-01-005-Т1-25-Н31-10-М18-ПК1-С40-0-0 приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Технические характеристики ТЛ-С2

Параметр	Характеристика
Производитель	ООО «Трейслайн».
Модель датчика	ТЛ-С2-А10-01-005-Т1-25-Н31-10-М18-ПК1-С40-0-0
Принцип действия	Магнитострикционный датчик линейного перемещения
Выходной сигнал	4 – 20 мА, RS-485
Верхний предел измерений, мм	25...5500
Рабочее избыточное давление, МПа	35-70
Относительная влажность воздуха, %	100
Пылевлагозащита	IP67

Для измерения частоты вращения ротора турбины был выбран аналог действующего датчика от отечественного производителя ООО НПП «Вибробит» Вибробит N342с-50–00.3STMН. Датчики предназначены для непрерывного стационарного измерения, контроля, мониторинга, частоты вращения валов паровых, газовых и гидравлических турбин, турбокомпрессоров, центробежных насосов и других машин во время их эксплуатации. Датчики измеряют и контролируют частоту вращения валов с контрольной поверхностью типа шестерня, паз или шпонка, выполненных из ферромагнитных материалов; Датчики имеют выходной импульсным сигнал по току или напряжению и предназначены для подключения к соответствующим контроллерам для дальнейшей обработки, контроля и индикации частоты вращения. По режиму работы датчики рассчитаны на длительное функционирование в непрерывном рабочем режиме без постоянного обслуживания [3]. Внешний вид Вибробит N342с-50–00.3STMН представлен на рисунке 2.7.



Рисунок 2.7 – Внешний вид Вибробит N342с-50–00.3STMН

Датчики состоят из измерительной части (чувствительного магнитного элемента) в корпусе с внешней резьбой и соединительного кабеля. Подключение датчиков осуществляется при помощи кабельных наконечников. Выходной сигнал датчика - импульсы напряжения прямоугольной формы и постоянной амплитуды с частотой следования профилей зубьев контрольной поверхности. Датчик не чувствителен к радиальным биениям вала. Также важно уточнить, что прямая замена датчика невозможна, так как у датчика Braup габариты корпуса составляют 48 мм, а у Вибробита – 50 мм, необходимо проверить посадочное место под него. С точки зрения диаметра резьбового соединения – оно абсолютно идентично у обоих датчиков (M18x1). Также длина заводского кабеля составляет 30 сантиметров и его необходимо будет удлинять (обязательно с экранированием во избежание помех).

Таблица 2.5 – Технические характеристики Вибробит N342c-50–00.3STMH

Параметр	Характеристика
Производитель	ООО НПП «Вибробит»
Модель датчика	Вибробит N342c-50–00.3STMH
Измеряемая характеристика	Частота вращения
Принцип действия	Эффект Холла
Выходной сигнал	0 – 30 мА
Диапазон измеряемых частот вращения, Гц	0...20000
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения частоты вращения, %	±0,1
Тип выходного сигнала	импульсный сигнал напряжения пропорциональный частоте вращения
Диапазон рабочих температур, °C	-40...+125
Степень защиты	IP67
Диапазон напряжений питания (Uп), В	+10...+30
Установочный (начальный) зазор, мм	0,5...2,5

В качестве альтернативы датчику конечных положений ЭМП Turck BIM-UNT-AP6X был выбран датчик китайского производителя Lanbao FT051EWPO-030E1. Предназначен он для контроля крайних положений ЭМП регулирующих клапанов и поворотной диафрагмы. Они сигнализируют о достижении крайних положений штока ЭМП. Внешний вид Lanbao FT051EWPO-030E1 представлен на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – Внешний вид Lanbao FT051EWPO-030E1

Датчик FT051EWPO-030E1 - это магниточувствительный бесконтактный датчик положения, работающий по принципу эффекта Холла. Он предназначен для контроля положения гидроцилиндров или других подвижных механизмов, оснащенных магнитным элементом (обычно постоянным магнитом). Работает он следующим образом: на цилиндре или подвижной части установлен магнит, при приближении магнита к датчику на определенное (до 3 мм) срабатывает чувствительный элемент. Датчик имеет PNP-транзисторный выход (нормально разомкнутый, NO), при обнаружении магнита выходной транзистор открывается, подавая сигнал +24 В (или другое напряжение в диапазоне 5–30 В DC) на контроллер или реле, после чего загорается желтый светодиод.

Таблица 2.6 – Технические характеристики вид Lanbao FT051EWPO-030E1

Параметр	Характеристика
1	2
Производитель	Lanbao
Модель датчика	FT051EWPO-030E1

1	2
Измеряемая характеристика	Концевое положение
Принцип действия	Эффект Холла
Выходной сигнал	0 – 30 мА
Габаритные размеры, мм	5x6x33
Точность повторения, %	<5
Тип выходного сигнала	PnP-транзисторный выход
Диапазон рабочих температур, °С	-25...+70
Степень защиты	IP67
Диапазон напряжений питания (Uп), В	+5...+30
Установочный (начальный) зазор, мм	0,5...2,5

2.2.3 Выбор исполнительных механизмов

При выборе исполнительных механизмов для действующей СРЧМ сложились ощутимые трудности в выборе оборудования ввиду отсутствия именно российских аналогов достаточно сложных компонентов системы регулирования, а именно действующего на третьей турбине преобразователя частоты Unidrive M700, поэтому решено было оставить его.

В качестве изменения более простых исполнительных механизмов было предложено заменить существующей прямооточный электромагнитный соленоид для высокого давления жидкости использующийся для аварийного слива уровня технического масла в сервоприводах на отечественный от компании АО «DNru» VS931-PT-NC-24VDC-Ду20 Ру6-100.

Нормально-закрытые электромагнитные клапаны серии VS931 используют на высокое давление до 60 бар для воды, воздуха, пара и других сред повышенного давления и температуры. Данные клапаны представлены различными типоразмерами соединений (от Ду15 до Ду50). Технические характеристики клапана VS931 приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.7 – Технические характеристики клапана VS931-PT-NC-24VDC-Ду20 Ру6-100

Параметр	Характеристика
1	2
Производитель	АО «DNru»
Модель клапана	VS931-PT-NC-24VDC-Ду20 Ру6-100

1	2
Исполнение	Нормально-закрытый
Диапазон допустимого давления, бар	5 – 60
Диапазон допустимых температур, °C	-5 – 80
Степень защиты	IP65
Проходное отверстие, мм	20
Материал корпуса	нержавеющая сталь AISI 304
Напряжение переменного/постоянного тока	AC 220V, DC 24V

Внешний вид клапана VS931-PT-NC-24VDC-Ду20 Ру6-100 представлен на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – Внешний вид клапана VS931-PT-NC-24VDC-Ду20 Ру6-100

При подаче напряжения клапан открывается, разрешая проход рабочего давления. Если на нормально закрытый клапан не поступает электричество, рабочее давление не проходит. В отключенном режиме катушка неактивна и запирающий элемент блокирует систему с помощью пружины. При подключении катушки клапан открывается для прохода рабочей среды, так как пружину удерживать не нужно. Это необходимо для дальнейшей реализации систем безопасности СРЧМ.

Как уже упоминалось ранее действующий сервопривод более не производится, а следовательно, должен быть заменен. В качестве действующего сервопривода был выбран продукт компании АО «Диаконт» DA99-W22-150-230-L5-C111, так как именно такие приводы в скором времени должны будут

появиться на БТЭЦ вместо действующих ранее D-99-W25. Электромеханические приводы (ЭМП) широко применяются в задачах, требующих точного линейного перемещения (управления положением) различных устройств, механизмов и их частей. Внешний вид ЭМП Диаконт D-99 представлен на рисунке 2.9



Рисунок 2.9 – Внешний вид ЭМП Диаконт DA99-W22-150-230-L5-C111

В основе конструкции электромеханического привода DA99-W22 производства «Диаконт» лежит электродвигатель с интегрированной в него роliko-винтовой передачей. В ходе работы привода вращательное движение ротора электродвигателя преобразуется в поступательное движение вала, которое под контролем системы управления обеспечивает линейное перемещение с нужными точностью, скоростью и усилием. Технические характеристики ЭМП Диаконт DA99-W22 приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.8 – Технические характеристики ЭМП Диаконт DA99-W22

Параметр	Характеристика
Производитель	АО «Диаконт»
Модель ЭМП	D-99-W22
Пиковые нагрузки, Н	22 000
Максимальная скорость мм/сек	300
Биение, мм	170
Степень защиты	IP65
Номинальная динамическая нагрузка, Н	56 000
Диапазон температур окружающей среды, °C	От 0 до +50
Напряжение, В	От 230 до 400

Изучив рынок существующих предложений, я не смог найти ни одного отечественного варианта, подходящего на роль аналога, а достойные зарубежные

варианты были представлены BoshRextorh и Leroy-Somer, поэтому решил оставить уже действующий вариант от американской фирмы Emerson, а именно ЧП Unidrive M700 в целях повышения экономии получившийся системы. ЧП обеспечивает управление асинхронными двигателями и синхронными серводвигателями с постоянными магнитами в замкнутом контуре, имеет встроенный Ethernet-модуль реального времени, обеспечивает поддержку всех типов энкодеров, резольвера. Unidrive M701 - Аналог Unidrive SP Control Techniques и Leroy Somer до 2,8 МВт при параллельном соединении, имеет опциональный CODESYS сопроцессор MCi, возможность поддержки двух сетей Ethernet, интегрированное ПО для электронных редукторов, систем пропорционального управления, намотчиков, подачи полотна, резки металла, летучих ножниц, роторных ножей, испытательных стендов, печати, упаковочных машин, текстильных станков, обработки древесины, изготовления шин.

M700 обеспечивает максимальную производительность оборудования за счет прецизионного управления двигателем, встроенного Ethernet реального времени (протокол IEEE 1588 V2) и высокоскоростных входов-выходов для регистрации положения.

Внешний вид ЧП Unidrive M700 представлен на рисунке 2.10.



Рисунок 2.10 – Внешний вид электропривод Unidrive M700

Unidrive M Connect представляет собой самый современный инструмент конфигурирования электропривода для пусконаладки, оптимизации и контроля работы электропривода/системы:

- быстрая пусконаладка;
- интуитивно понятный графический интерфейс;
- для опытных пользователей имеются динамические диаграммы электропривода и расширенные листинги с функцией поиска;
- производительность электропривода и двигателя может быть оптимизирована столько с самыми необходимыми знаниями;
- программное обеспечение можно расширять согласно потребностям системы;
- поддержка импорта файла от Unidrive SP, возможность полного копирования параметров и программ;
- несколько одновременно активных каналов связи для полного обзора системы;

- функция обнаружения позволяет автоматически искать электропривод в сети без указания адреса;
- автоматическое сканирование скорости.

При этом стоит отметить, что ПЧ в случае использования ЭМП «Диаконт» D-99-W2N нужен не для управления асинхронным двигателем (сам ЭМП в нашем случае имеет встроенную систему управления и позиционирования), а для формирования обратной связи по мощности и скорости вращения ротора, иными словами – он обеспечивает контур регулирования системы по ее ключевым параметрам. Кроме того он способен реализовывать ПИД-регулирования и компенсацию нелинейностей, в отличие от случая, если бы мы подключали ЭМП напрямую к контроллеру и сети. Также при отказе основного регулятора ПЧ может перейти на аварийный режим (поддержание ключевых параметров на допустимом уровне).

2.2.4 Выбор программируемого логического контроллера

Для модернизации существующей СРЧМ выбран ПЛК отечественного производства REGUL R500, внешний вид которого представлен на рисунке 2.11.



Рисунок 2.11 – Внешний вид ПЛК REGUL R500

Технические характеристики ПЛК REGUL R500 приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.9 – Технические характеристики ПЛК ПЛК REGUL R500

Параметр	Характеристика
Производитель	ООО «Прософт»
Диапазон температур, °C	1 – 60
Влажность, %	5 – 98 (без конденсата)
Количество разъемов	RS-232, RS-485, 2×Ethernet RJ45, 2×Ethernet SFP, 2×USB, DVI-D
Центральный процессор, частота	Intel Atom
ОЗУ	2 Гб (R500 CU 00071)
ПЗУ	4 Гб (R500 CU 00071)
Напряжение питания, В	85...264VAC/ 120...370VDC, 18...36 VDC
Встроенная операционная система	Операционная система реального времени
Быстродействие	1 мс

REGUL 500 подходит для:

- решений, требующих повышенную надежность оборудования (поддержка различных схем резервирования контроллеров и станций удаленного ввода/вывода);
- высокоточных измерительных систем ответственного применения (специальные измерительные модули повышенной точности);
- отказоустойчивых систем управления технологическими объектами с быстроменяющимися физическими процессами (резервированные системы управления с минимальным циклом исполнения программы, специализированные модули высокоскоростного измерения физических параметров);
- распределенных систем АСУТП.

Функциональные возможности:

- поддержка «горячего» резервирования центральных процессоров, источников питания, модулей ввода/вывода;
- дублированная высокоскоростная внутренняя шина данных;

- различные схемы резервирования контроллеров (100% резервирование, резервирование источников питания и центральных процессоров);
- «горячая» замена всех модулей контроллера (без отключения питания и прерывания прикладной программы);
- наборный крейт – возможность наращивания крейта с дискретностью в один модуль;
- подключение станций удаленного ввода/вывода к центральному процессору по топологии «двойное резервируемое кольцо», «звезда» и смешанной схеме;
- энергонезависимая память – до 3 Гб под архивы пользователя;
- исполняемая среда Astra IDE с поддержкой 5 языков стандарта IEC 61131-3;
- возможность web-визуализации.

Аппаратная конфигурация ПЛК:

- поддержка резервирования с расположением модуля центрального процессора в одном крейте и в разных крейтах;
- подключение до 255 крейтов расширения;
- до 40 модулей в одном крейте;
- возможность разнесения крейтов на расстояние до 10 км (по оптоволоконной линии связи).

Согласно всем вышеупомянутым характеристикам, особенностям и функциональности ПЛК REGUL R500 подходит для выполнения задач, связанных с управлением технологическим процессом установки турбоагрегата и СРЧМ, в частности.

2.2.5 Альтернативный вариант подбора исполнительных механизмов

В данном разделе будет затронуто исполнение СРЧМ не на базе сервопривода и преобразователя частоты, а на базе двигателей постоянного тока и контроллеров для них, кроме того, забегаая вперед, в такой системе все

оборудование будет отечественным, от компании «Электропривод». Объяснений для данного решения несколько: с экономической точки зрения это существенно дешевле, обслуживание такого двигателя обойдется также дешевле, в случае критической поломки такой двигатель легко подлежит замене, а кроме того, с точки зрения электрики, здесь можно обойтись без соединительных коробок. Данный блок несет скорее исследовательский характер, чем практический, и направлен на выяснение «жизнеспособности» данной системы. На самом деле существует еще один способ линейного управления перемещения штоком с расположенным на нем отсечным золотником, который активно применяется в ЧПУ и токарных станках, а именно – обратная связь по УЦИ на станине, длину и силу действия которой можно заказать под конкретную задачу, однако рассматриваться он не будет ввиду того, что полноценное промышленное применение в энергетике эта технология не возымела, а значит она нуждается в большем времени тестирования.

В целом система практически не меняется, однако теперь для реализации такой модификации системы необходимо использовать блок питания постоянного тока, который выбирался по мощности, необходимой контроллеру и двигателю постоянного тока для стабильной работы. Выбран был GST-H150 внешний вид которого представлен на рисунке 2.13



Рисунок 2.12 - Источник питания постоянного тока GST-H150

Все представленные источники питания, являются импульсными преобразователями входного напряжения до величины, необходимой для правильной и стабильной работы, электронных устройств и двигателей.

Выбор источника питания, заключается в подборе по требуемому входному и выходному напряжению, мощности и методике монтажа.

По методу монтажа большинство преобразователей рассчитаны на установку на стандартную DIN рейку (TS-35/7.5 или TS-35/15), остальные источники, снабжены резьбовыми отверстиями для крепления корпуса с применением уголков.

Для непосредственного регулирования двигателем постоянного тока был выбран контроллер BMSD-40Modbus. Управление контроллерами происходит через RS 485 интерфейс по протоколу Modbus (RTU или ASCII) или внешними сигналами, подаваемыми на входы контроллера.

- задание скорости вращения вала двигателя по Modbus
- задание величин ускорения и замедления
- задание максимального значения тока двигателя (защита двигателя от перегрузки)
- составление пользовательской программы управления, старт программы по команде по Modbus или автоматически при включении питания привода
- программирование входов IN1 и IN2, которые также можно использовать в качестве сигналов START/STOP и REVERSE/DIRECTION
- выбор логики работы входных сигналов IN1 и IN2 (START/STOP и REVERSE) – срабатывание по фронту или уровню сигнала
- использование операций сравнения, логических и математических функций в исполнительных программах

При работе с коллекторным двигателем с энкодером на основе датчика Холла, контроллер предоставляет расширенные возможности по управлению приводом:

- стабилизация скорости вращения на основании информации от датчиков Холла
- позиционирование в заданную координату или смещение на заданную величину по данным датчиков Холла в пределах от – 2 147 483 647 до + 2 147 483 647 переключений датчиков Холла

Внешний вид BMSD-40Modbus представлен далее, на рисунке 2.13



Рисунок 2.13 - Внешний вид BMSD-40Modbus

Начиная с версии прошивки 2.0, контроллеры коллекторных двигателей BMSD-40Modbus поддерживают дополнительные математические и логические функции и операции сравнения. Увеличено количество дополнительных системных регистров, доступных при программировании алгоритмов работы блока. Функциональный и гибкий программный код исполнительной программы пользователя позволяет реализовать большое количество алгоритмов.

К способам управления приводом относятся:

- автономная работа по предварительно записанной в память управляющей программе;
- управление от ПК или ПЛК по протоколу Modbus;
- комбинированный режим – выполнение заданного алгоритма работы и исполнение команд, переданных по Modbus.

Выбор остановился на нем, поскольку это достойный отечественный контроллер, поддерживающий протокол Modbus и RS-485, который можно подключать к модулю ЦПУ Regul 500, а также из-за того, что он

специализируется на датчиках Холла, которые используются для определения частоты вращения турбины.

Двигателем постоянного тока в такой системе будет являться WG1188. Мотор-редуктор серии WG1188 состоит из реверсивного коллекторного двигателя постоянного тока и червячного редуктора. Максимальный крутящий момент – 730 кг·см. Внешний вид ДПТ WG1188 представлен далее, на рисунке 2.14



Рисунок 2.14 - Внешний вид ДПТ WG1188

Мотор-редукторы представляют собой реверсивные электромеханические устройства, которые применяются в различных приборах. Они могут использоваться как самостоятельные устройства, так и в составе других машин и оборудования.

Таблица 2.10 – Технические характеристики ДПТ WG1188

Параметры	Характеристики
Напряжение питания, В	24
Номинальный крутящий момент двигателя (без редуктора), кг·см	20.3
Номинальная скорость, об/мин	2020
Номинальный ток, А	25
Скорость холостого хода, об/мин	2400
Мощность, Вт	600

Мотор-редуктор состоит из коллекторного двигателя постоянного тока и червячного редуктора. Вращение от двигателя передаётся к редуктору через червячную передачу.

Данная система может работать в тех случаях, когда рассматривается именно процесс регулирования системы: ОЗ перемещается относительно редко, скорость хода двигателя в таких случаях может быть не столь важной (особенно

учитывая то, что в таком случае важен скорее крутящий момент, максимальный при передаточном числе редуктора в 60). Если проводить прямое сравнение с изначальной системой регулирования, то альтернативный вариант, безусловно, проигрывает: скорость реагирования у DA-99 составляет 300 мм/сек, в то время как у WG1188 при передаточном числе редуктора 60 и шаге резьбы (в паспорте не указан, поэтому предположительно) 5 мм скорость составит примерно 1,6 мм/сек, иными словами – он не подойдет для аварийной остановки турбины, где требуется мгновенное реагирование и закрытие РК. Также ДПТ потребуются дополнительное охлаждение, поскольку работает он в режиме S1, т.е. непрерывно. Кроме того, DA99 имеет встроенный инкрементный энкодер, а WG1188 требует установки датчика положения (в системе таковой имеется), а также полноценного ПЧ для управления (эту функцию реализует BM5D-40Modbus).

Стоит отметить, что данный вариант модернизации рассматривается как дополнительный, поэтому он включится в вариант подключения системы к контроллеру Regul, однако дальнейшего развития эта система не получит.

3. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

3.1 Подключение датчиков к Regul R500

Для дальнейшей разработки принципиальной электрической схемы необходимо разобрать как именно производится подключение датчиков к нашему ПЛК.

Подключение датчиков и ИМ к ПЛК производится с помощью специальных модулей ввода-вывода. Для датчиков нам понадобится использовать модуль аналогового ввода R500 AI 16 011, показанный на рисунке 3.1

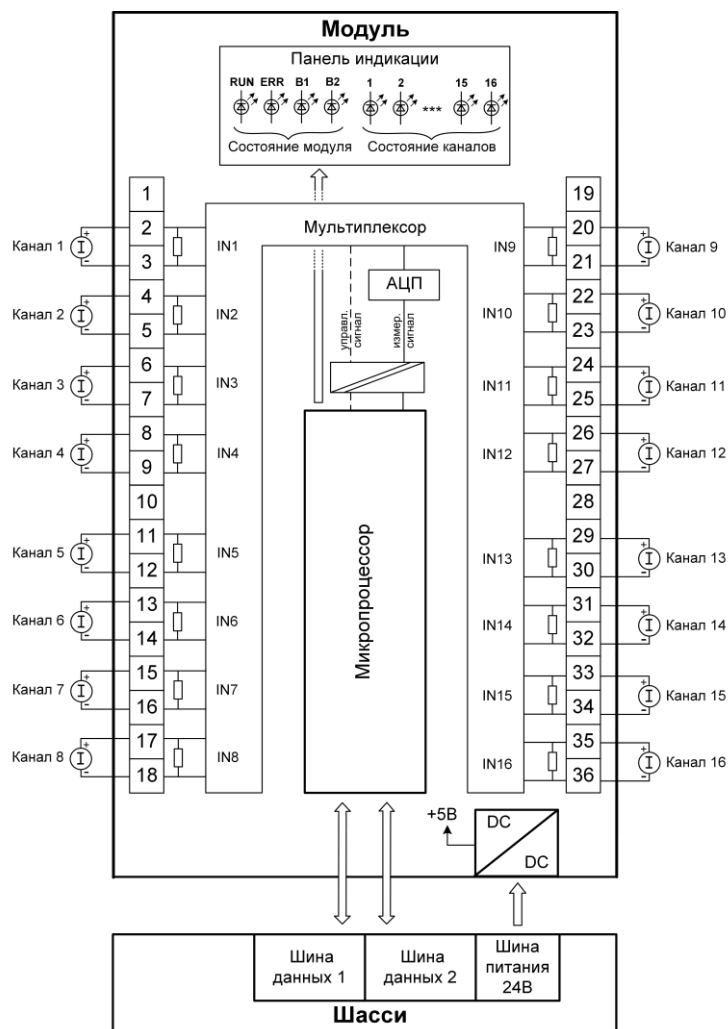


Рисунок 3.1 – Схема модуля аналогового ввода

На рисунке 3.2 показан пример подключения датчика температуры ТПУ-205 к ПЛК R500.

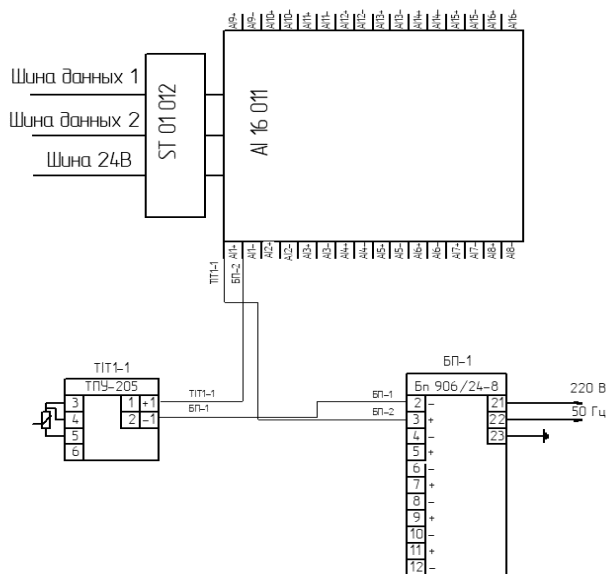


Рисунок 3.2 – Пример подключения датчика температуры к ПЛК

Помимо уже указанных ранее элементов в схеме был использовали внешний БП 906 от компании «ЭЛЕМЕР» [4] как источник питания для датчика температуры.

На рисунке 3.3 показан пример подключения датчика давления Метран-55 к ПЛК R500.

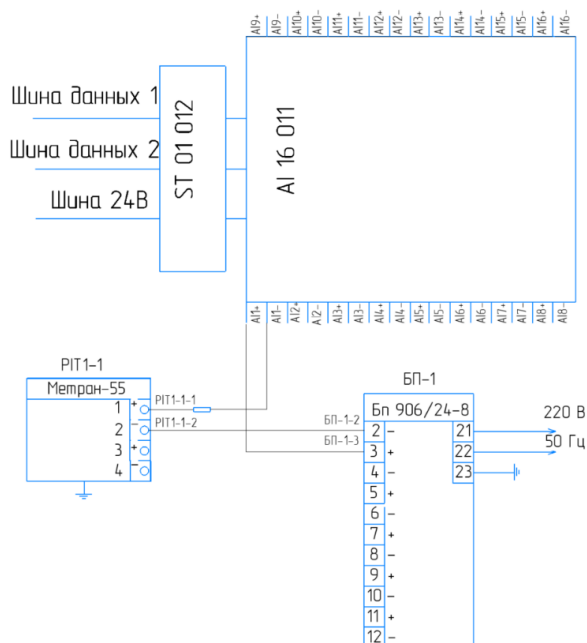


Рисунок 3.3 – Пример подключения датчика давления к ПЛК

На рисунке 3.4 показан пример подключения датчика скорости вращения Вибробит N342с-50-00.3STMН к ПЛК R500.

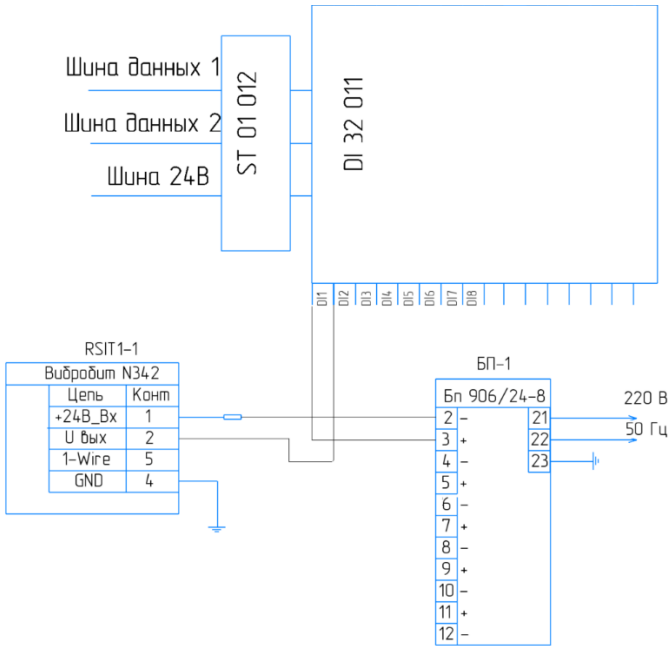


Рисунок 3.4 – Пример подключения датчика скорости вращения Вибробит N342с-50-00.3STMН к ПЛК

На рисунке 3.5 показан пример подключения датчиков положения ТЛ-С2-А10-01-005-Т1-25-Н31-10-М18-ПК1-С40-0-0 к ПЛК R500.

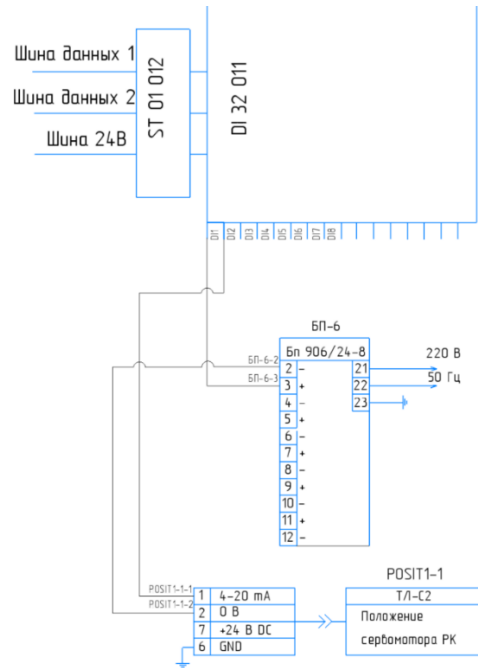


Рисунок 3.5 – Пример подключения датчиков положения ТЛ-С2-А10-01-005-Т1-25-Н31-10-М18-ПК1-С40-0-0 к ПЛК

На рисунке 3.6 показан пример подключения измерителя активной мощности к ПЛК R500.

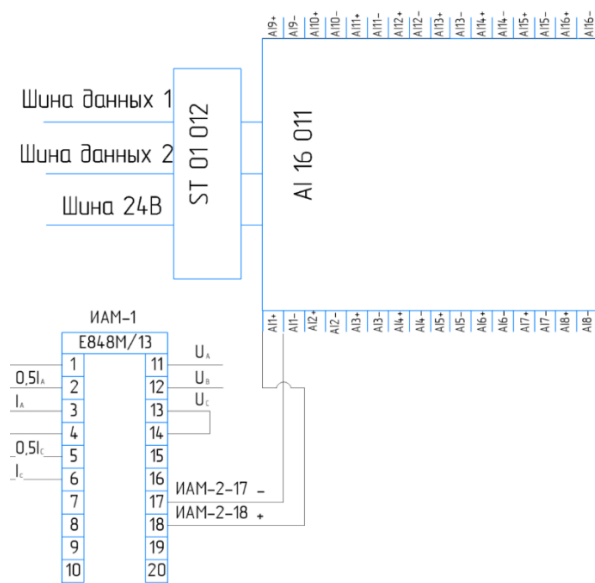


Рисунок 3.6 – Пример подключения измерителя активной мощности к ПЛК

3.2 Подключение ИМ к Regul R500

В данном пункте рассмотрим примеры подключения ИМ к ПЛК.

В нашей системе клапаны подачи масла могут управляться непосредственно от контроллера, а ЭМП DA-99 будет управляться с помощью ПЧ Unidrive M700 для обеспечения обратной связи по мощности. Присоединение к контроллеру будет осуществляться через модуль XT1, а также ввиду особенностей подключения, здесь будет указан датчик магнитного поля для Lanbao FT051EWPO-030E1, играющего роль определителя положения РК (закрыт и открыт соответственно).

На рисунке 3.7 показана схема подключения Unidrive M700

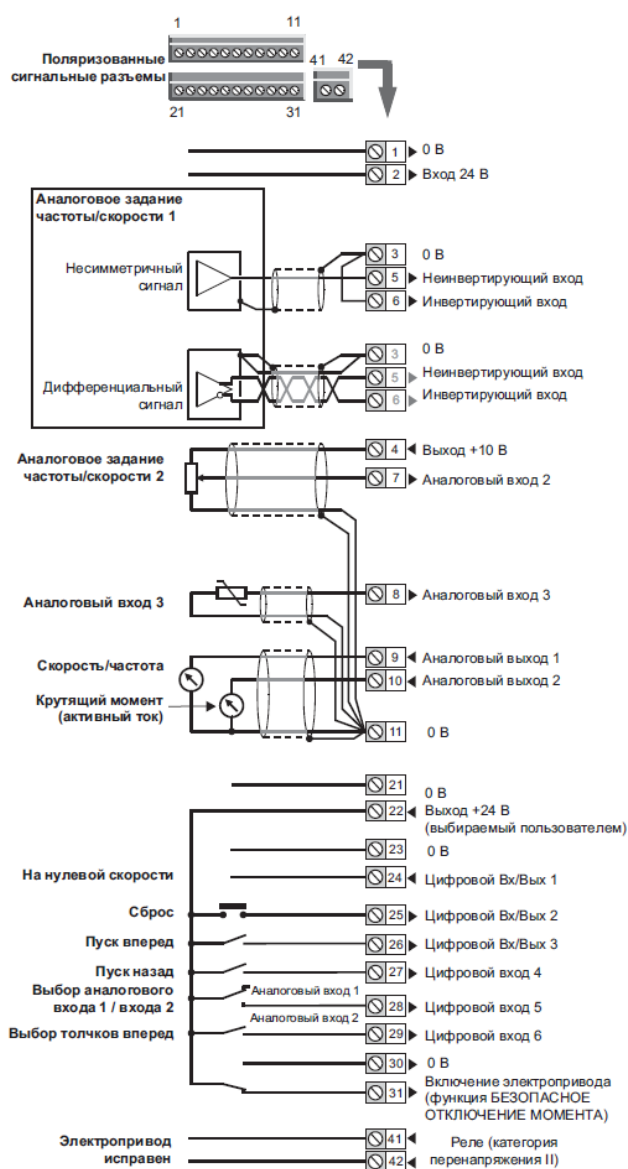


Рисунок 3.7 – Схема подключения Unidrive M700

На рисунке 3.8 показан пример подключения исполнительных механизмов к ПЛК R500, а также подключение ЭМП к ЧП и датчику магнитного поля Lanbao FT051EWPO-030E1.

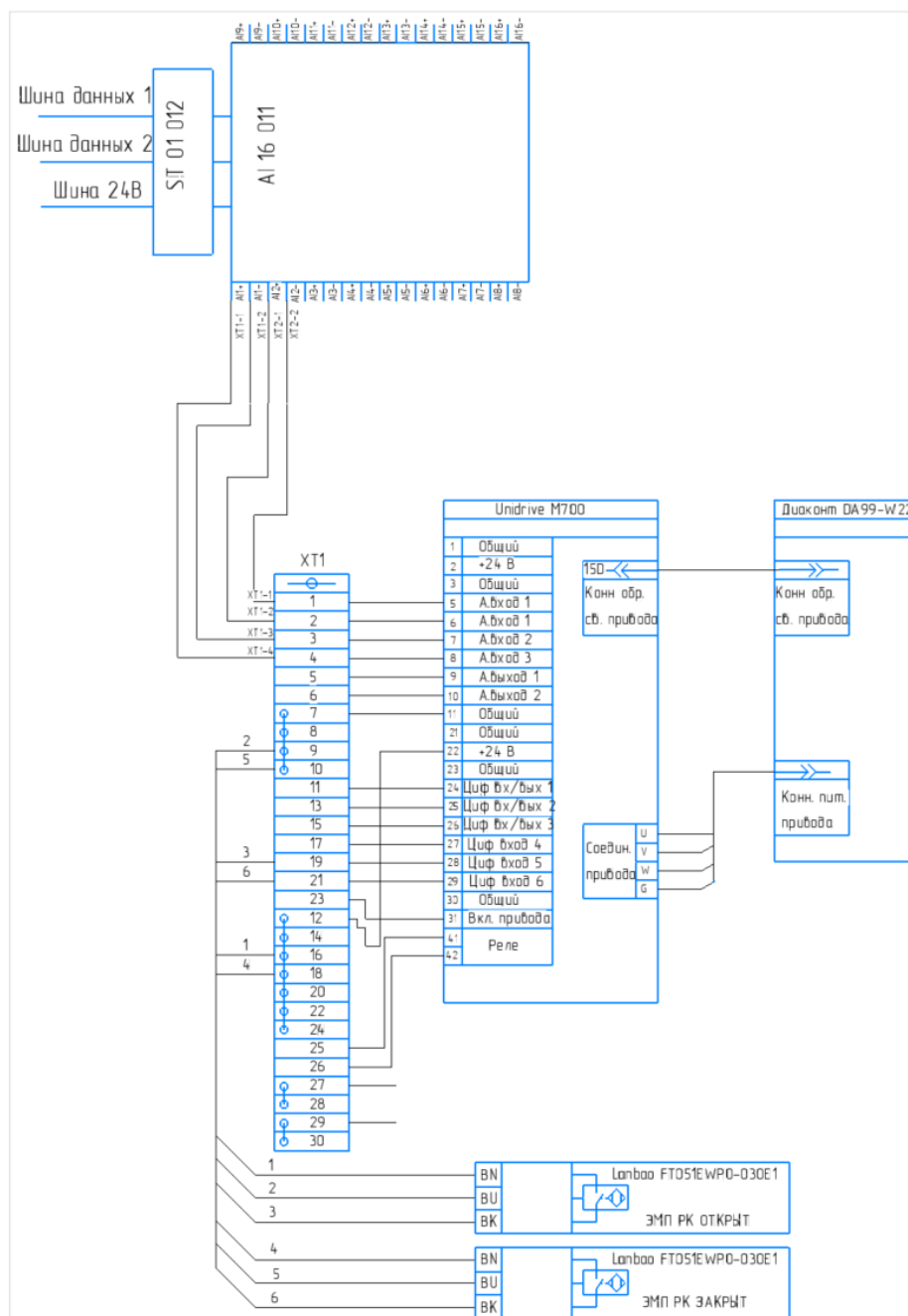


Рисунок 3.8 – Пример подключения исполнительных механизмов и датчика положения РК к ПЛК

Следующим, рассматриваемым ИМ, является электромагнитный клапан VS931-PT-NC-24VDC-Ду20 Ру6-100, выполняющим функцию соленоида. На рисунке 3.9 показан пример подключения клапана VS931-PT-NC-24VDC-Ду20 Ру6-100 к ПЛК R500.

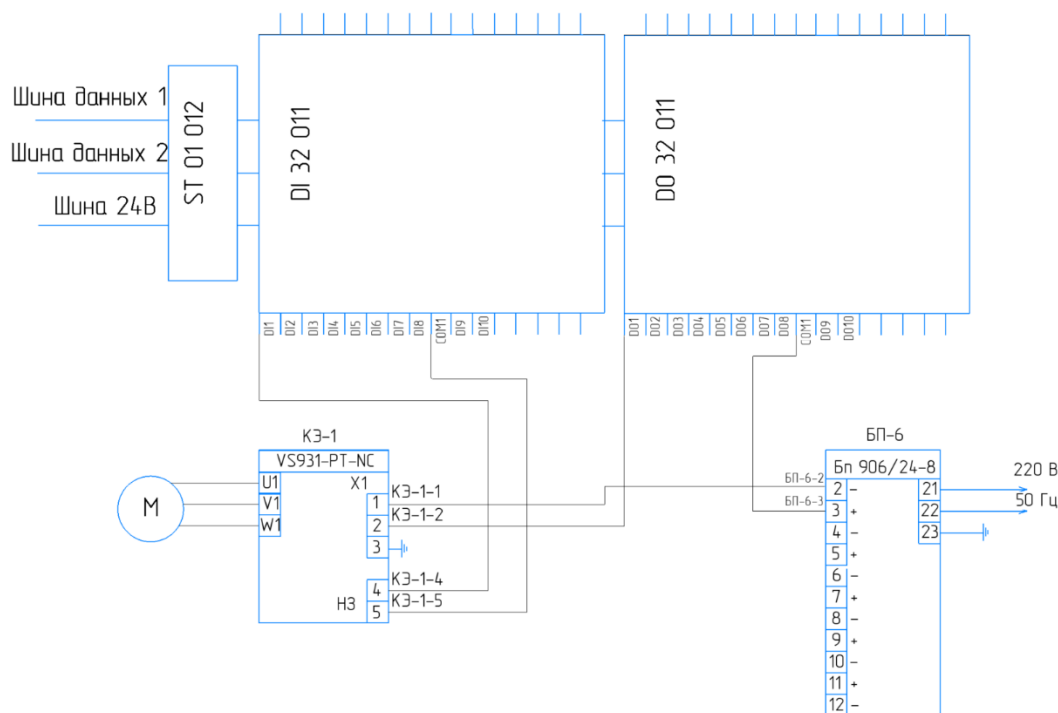


Рисунок 3.9 – Пример подключения клапана VS931-PT-NC-24VDC-Ду20 Ру6-100 к ПЛК

3.3 Подсчёт ТСА, портов и модулей Regul R500

В таблице 3.1 приведён расчёт кол-ва ТСА и расчёт необходимого кол-ва портов

Таблица 3.1 – Расчёт количества портов ввода-вывода

ТСА	Кол-во	AI	AO	DI	DO	RS485	Итого необходимо портов
Блок ИМ	2	2	2	-	-	-	AI-2, AO-2
Датчики давления	10	10	-	-	-	-	AI-10
Датчики температуры	1	1	-	-	-	-	AI-1
Измерители активной мощности	2	2	-	-	-	-	AI-2
Датчики положения	4	-	-	4	-	-	DI-4
Клапаны масл.	3	-	-	3	3	-	DI-3, DO-3
Датчик скорости вращения	3	-	-	3	-	-	DI-3
Итого: AI-15, AO-2, DI-10, DO-3							

Исходя из расчётов из таблицы 3.1, понадобится 2 модуля аналогового ввода с 16 портами каждый, 1 модуль дискретного ввода с 32 портами, 1 модуль

аналогового вывода с 8 портами, 1 модуль дискретного ввода с 32 портами, 1 модуль дискретного вывода с 32 портами и 1 модуль коммуникационного процессора с 4 портами. Такое большое количество портов дискретного ввода-вывода обуславливается дальнейшим внедрением компонентов в систему, например, серверных шкафов.

Также помимо модулей ввода-вывода необходимо внедрить в крейт ПЛК модуль источника питания R500 PP 00 031, модуль центрального процессора R500 CU 00 071, модуль, оконченный IN R500 ST 01 012 и модуль, оконченный OUT R500 ST 01 022 для коммутации крейтов между собой в составе одного контроллера [12].

Принципиальная электрическая схема подключения датчиков и ИМ к ПЛК REGUL R500 (Приложение В).

4. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ ЧАСТИ СРЧМ

4.1 Обозначение задач алгоритмической блок-схемы

Изначально прежде, чем писать код, необходимо составить алгоритмическую схему работы самой программы. В них будут описаны процессы пуска, останова и работы алгоритмов тестов ЭЧСР, а значит алгоритм будет состоять из 5 частей: «Пуск и остановка системы», «Тест плотности АСК ВД», «Тест плотности клапанов», «Тест П-регулирования» и «Режим опробования генератора» [20]. Необходимость каждого из алгоритмов заключается во-первых в невозможности регулирования системы без возможности ее запустить, из-за чего окна управления, выполненные в визуализации выше не будут иметь смысла, как и все создание человеко-машинного интерфейса, а во вторых без предварительной или своевременной диагностики базовых систем работы СРЧМ, указанных в окне видеограммы «Тесты ЭЧСР», существует риск выхода системы из строя при потенциально долгой эксплуатации.

4.2 Реализация пуска и остановки системы

Моделирование запуска системы необходимо начать с того, что система могла ранее остановиться из-за некоторых ошибок, неисправленных во время простоя турбины. Для предотвращения дальнейших аварийных ситуаций было решено не давать турбине запускаться, если прошлые ошибки или предупреждения не были исправлены. Затем проверяются параметры для пуска турбины, опять же, во избежание аварийных ситуаций, после чего включается окно «Автоматический запуск турбины», в котором выбираются параметры для запуска. На рисунке 4.1 показана алгоритмическая схема запуска турбины.

После проверки всех параметров турбины появляется возможность ручного управления турбиной при нажатии на соответствующие кнопки. Пока кнопка остается нажатой – оператор регулируется соответствующая величина в соответствующем окне визуализации, как только ее отпустили – турбина переходит в автоматический режим, из которого ее в любой момент можно перевести в ручной с соответствующим функционалом. На рисунке 4.3 показана алгоритмическая схема выбора режима регулирования турбины.

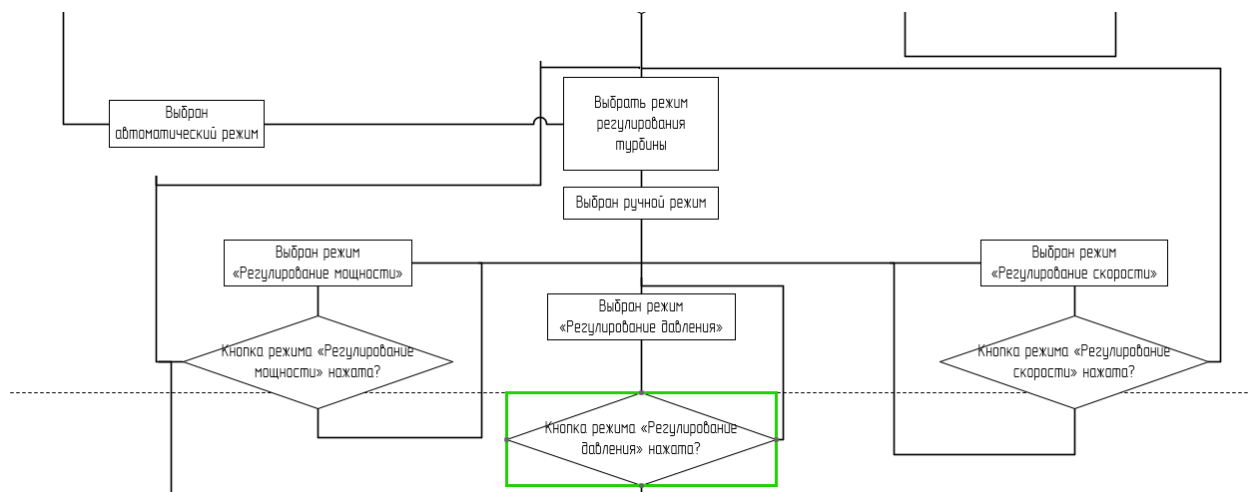


Рисунок 4.3 – Выбор режима регулирования турбины

4.3 Реализация теста плотности автоматического стопорного клапана высокого давления (АСКВД)

Назначение стопорного клапана – предотвращать попадание пара в проточную часть турбины в случае аварийной ситуации. В рабочем состоянии он срабатывает за доли секунды. Клапан может перемещаться вверх и вниз, перекрывая или открывая доступ к пару.

Основными элементами запорного устройства являются тарелка, стакан и седло. Для обеспечения герметичности в закрытом состоянии используются уплотнительные детали. Тарелка соединена со штоком электропривода. Электропривод представляет собой систему из пружин, тяг и коромысел, которая быстро перекрывает поток пара, то есть закрывает стопорный клапан. Он приводится в действие электрическим сигналом. Сигнал заставляет пружины привода сжиматься и опускать стопорный клапан вниз, создавая зазор.

В случае возникновения аварийной ситуации срабатывает электромагнитный выключатель, пружины возвращаются в исходное положение, клапан поднимается вверх и перекрывает доступ пара. После закрытия клапана постепенно останавливается ротор. Очевидно, что своевременная проверка плотности АСК ВД может помочь выявить критические в будущем поломки системы, дорого обходящиеся БТЭЦ. На рисунке 4.4 показан алгоритм теста плотности АСК ВД.

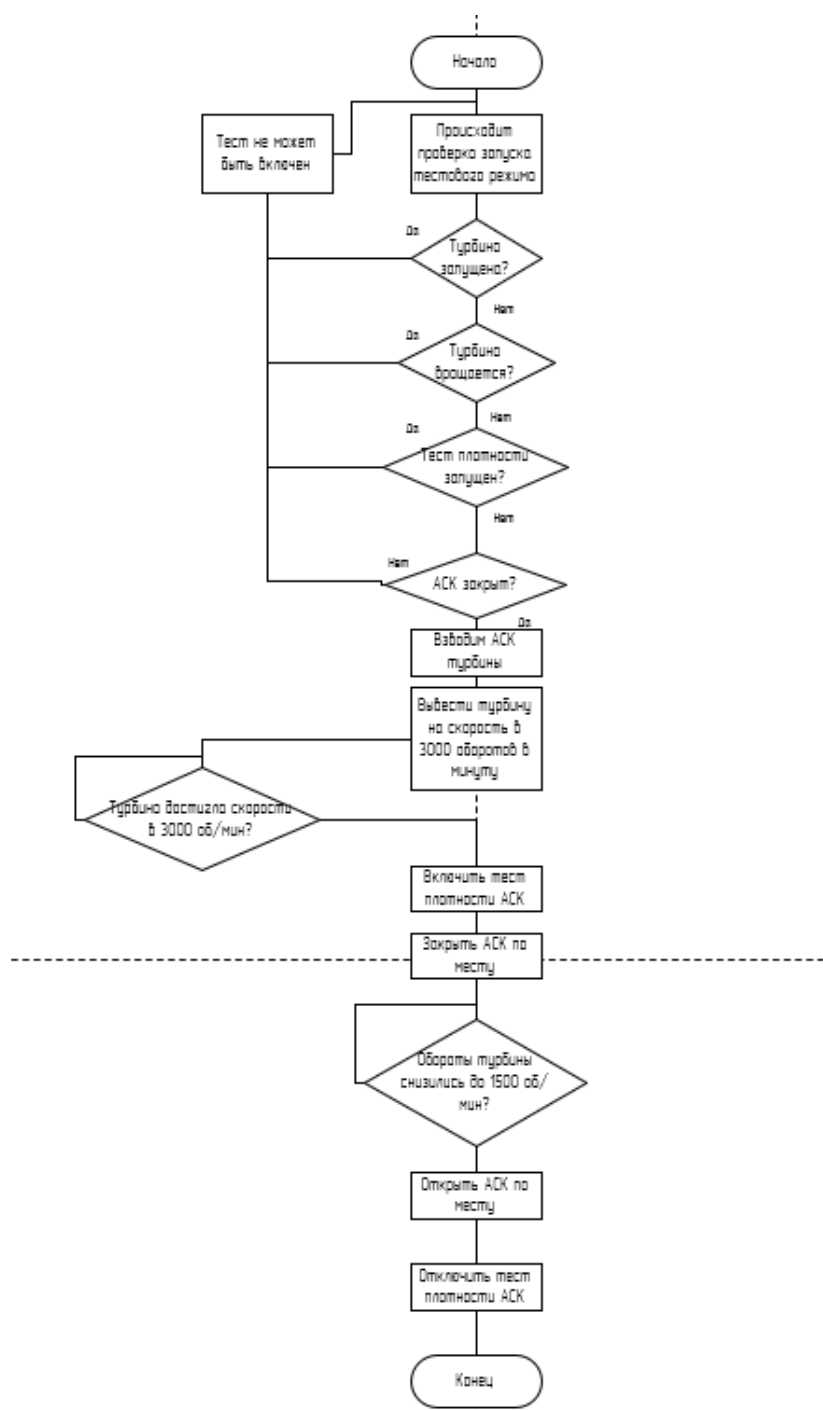


Рисунок 4.4 – Алгоритм теста плотности АСК ВД

4.4 Реализация теста плотности регулирующего клапана цилиндра высокого давления (РК ЦВД)

Регулирующий клапан цилиндра высокого давления используется для точной регулировки подачи пара в цилиндр, что позволяет контролировать мощность и эффективность работы турбины или другого оборудования. Клапан обеспечивает нужное количество пара в соответствии с требуемыми параметрами процесса, контролируя тем самым частоту вращения ротора турбоагрегата.

Проверка на плотность работы регулирующего клапана является важной задачей, поскольку любые утечки могут привести к снижению давления и температуры пара, что негативно скажется на эффективности работы цилиндра и выработке электроэнергии всей системы в целом, снижая КПД. Проверка на плотность помогает обеспечить безопасность и надежность всей системы, предотвращая возможные аварии и поломки. Алгоритм тестирования плотности РК ЦВД представлен на рисунке 4.5.

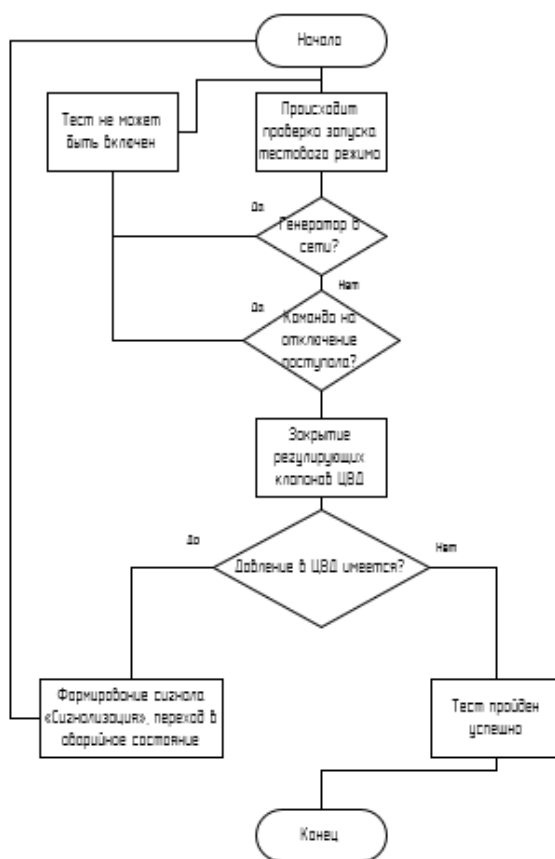


Рисунок 4.5 – Алгоритм тестирования плотности РК ЦВД

4.5 Реализация теста П-регулятора скорости на холостом ходу

Тестирование П-регулятора скорости вращения ротора на холостом ходу необходимо для обеспечения безопасности и надежности турбинного оборудования. Этот процесс позволяет проверить, насколько хорошо регулятор справляется с задачей стабилизации скорости при минимальной нагрузке на турбину. Это важно для:

1. **Безопасности:** Неспособность регулятора поддерживать стабильную скорость может привести к разрыву ротора и другим аварийным ситуациям.
2. **Предотвращения износа и аварий:** Работа П-регулятора помогает предотвратить чрезмерный износ и продлить срок службы оборудования. Тестирование на холостом ходу показывает, насколько хорошо он может справляться с изменениями в условиях эксплуатации.
3. **Оптимизации работы:** Тестирование дает возможность настроить регулятор таким образом, чтобы он обеспечивал максимально эффективную и экономичную работу турбины под различными рабочими нагрузками.

Подводя итог, проверка П-регулятора во время холостого хода – это очень важный этап обслуживания турбинного оборудования. Он помогает обеспечить безопасную и надёжную работу этого оборудования. Кроме того, стоит отметить, что помимо тестирования в режиме холостого хода, существует также режим, предусматривающим отключенное состояние турбины. Годится он для предварительного запуска, а также разгоняет турбину не на полную (3000 об/мин), а до показателя в 150 оборотов, потому что для оценки характеристики турбины этот режим более чем годится. На рисунке 4.6 представлен алгоритм работы тестирования П-регулятора скорости на холостом ходу.

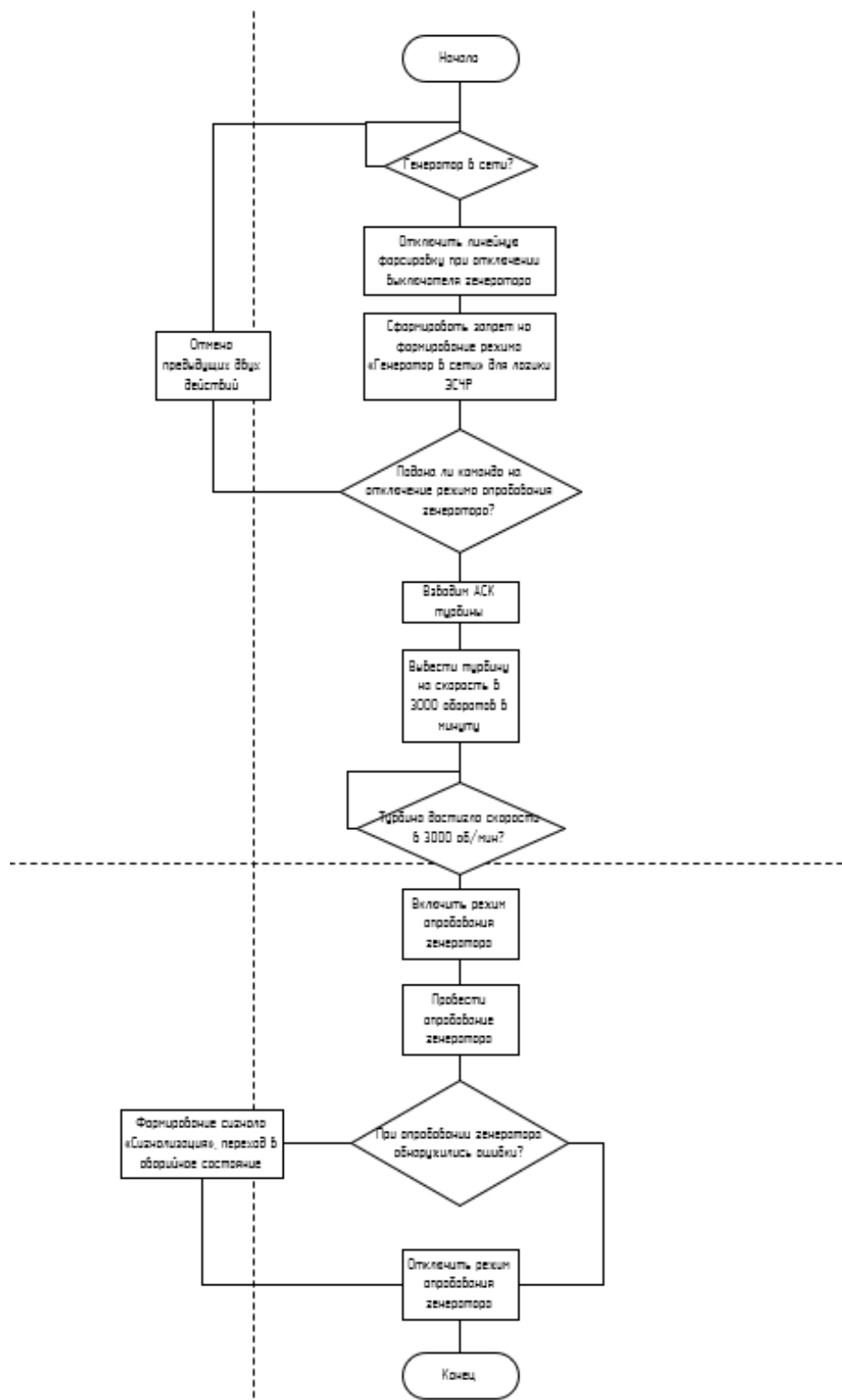


Рисунок 4.6 – Алгоритм тестирования П-регулятора на холостом ходу

4.6 Реализация режима опробования генератора

Опробование генератора на ТЭЦ – это важная процедура, которая позволяет проверить его работоспособность и безопасность в системе с турбиной.

Проверка интеграции систем, обнаружение неисправностей, подтверждение производительности, тестирование систем безопасности и обеспечение безопасности операций – вот ключевые аспекты, которые объясняют важность опробования генератора. Регулярное опробование гарантирует надёжную работу генератора и безопасность всей турбинной установки.

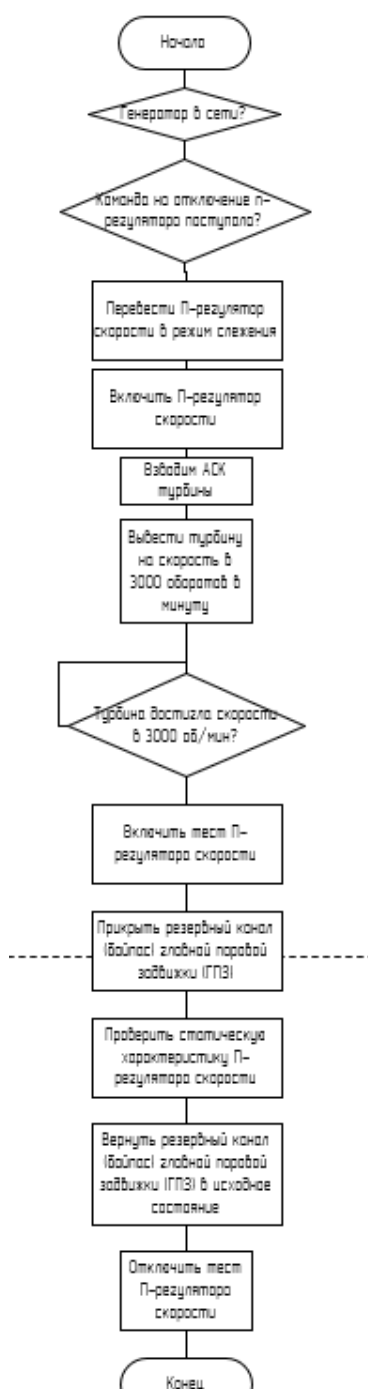


Рисунок 4.7 – Алгоритм режима опробования генератора ТА№2

5. РАЗРАБОТКА ВИЗУАЛИЗАЦИИ

5.1 Введение в визуализацию

Для разработки полноценной визуализации с последующим внедрением кода, виртуального контроллера и прочих элементов АСУ ТП, нам необходимо разработать SCADA систему, с помощью которой удастся собрать все в единую, работающую в реальном времени программу управления модернизируемой СРЧМ.

SCADA - специализированный программный комплекс, который предназначен для создания и обеспечения работы систем, собирающих, обрабатывающих, отображающих и архивирующих информацию о мониторинге или управлении объектами в реальном времени. Этот вид программного обеспечения может быть включен в системы автоматизированного управления технологическими процессами, контроля и учета электроэнергии, экологического мониторинга, научных экспериментов, управления зданиями и т. д. Системы SCADA применяются в различных отраслях промышленности, где требуется оперативный контроль оператора над технологическими процессами в реальном времени. Это программное обеспечение устанавливается на компьютеры и для взаимодействия с объектами использует драйверы ввода-вывода или OPC/DDE серверы. Программный код может быть написан на различных языках программирования или сформирован при помощи средств проектирования.

В целом главная цель системы SCADA – следить за работой автоматизированных устройств и реагировать на возможные проблемы сразу же с рабочего места диспетчера. При этом устройства могут быть удалены друг от друга на большом расстоянии, и возможности управления диспетчера автоматически меняются в зависимости от хода технологических процессов.

Разработка человеко-машинного интерфейса для модернизации системы регулирования частоты и активной мощности турбины представляет собой один из важнейших этапов по автоматизированию системы в целом, так как позволяет

удаленно воздействовать и следить за системой, чем на ТЭЦ занимаются операторы.

5.2 Особенности SCADA-системы Astra IDE

Опираясь для разработки системы мы будем на существующую на ТА №3, которую разработала компания Emerson, однако будем использовать среду разработки для контроллеров семейства Regul - Astra IDE. Причиной выбора именно Astra IDE, так как именно она сейчас является актуальной средой разработки SCADA-систем для работы с контроллерами REGUL, ее функционал крайне схож с CoDeSys (однако интерфейс куда как удобнее, а функционал - шире), что позволит модернизировать систему даже людям, которые не имели опыта работы с системами по типу Trace Mode или SIMATIC WinCC.

К основным функциональным возможностям Astra IDE можно отнести:

- встроенный редактор визуализации;
- настройка основных параметров системы;
- создание и редактирование прикладного программного обеспечения;
- настройка резервирования;
- загрузка и выгрузка проектов;
- пошаговая отладка прикладной программы;
- мониторинг работы контроллера.

Языки программирования включают в себя практически стандартный пакет CoDeSys 3.5, а именно: FBD - функциональные блочные диаграммы; LD - релейно-контактная логика; ST структурированный текст; SFC - последовательные функциональные диаграммы; CFC (Continuous Flow Chart).

5.3 Описание проектируемой визуализации

Разработанная на основе ПТК ЭСЧР SCADA-система будет являться программной частью электрогидравлической системы регулирования турбины и предназначен для управления нагрузкой турбоагрегата и обеспечения противоаварийной защиты турбины.

Управление осуществляется путём передачи электрических сигналов, вырабатываемых в ПТК ЭЧСР, в гидравлическую часть системы регулирования

через ЭМП. Информация на вход ПТК ЭЧСР поступает в виде аналоговых (непрерывных) сигналов от датчиков входных параметров и в виде дискретных команд от внешних устройств, в том числе через виртуальный контроллер REGUL R500, подключенный через виртуальную машину VMware Workstation 14.

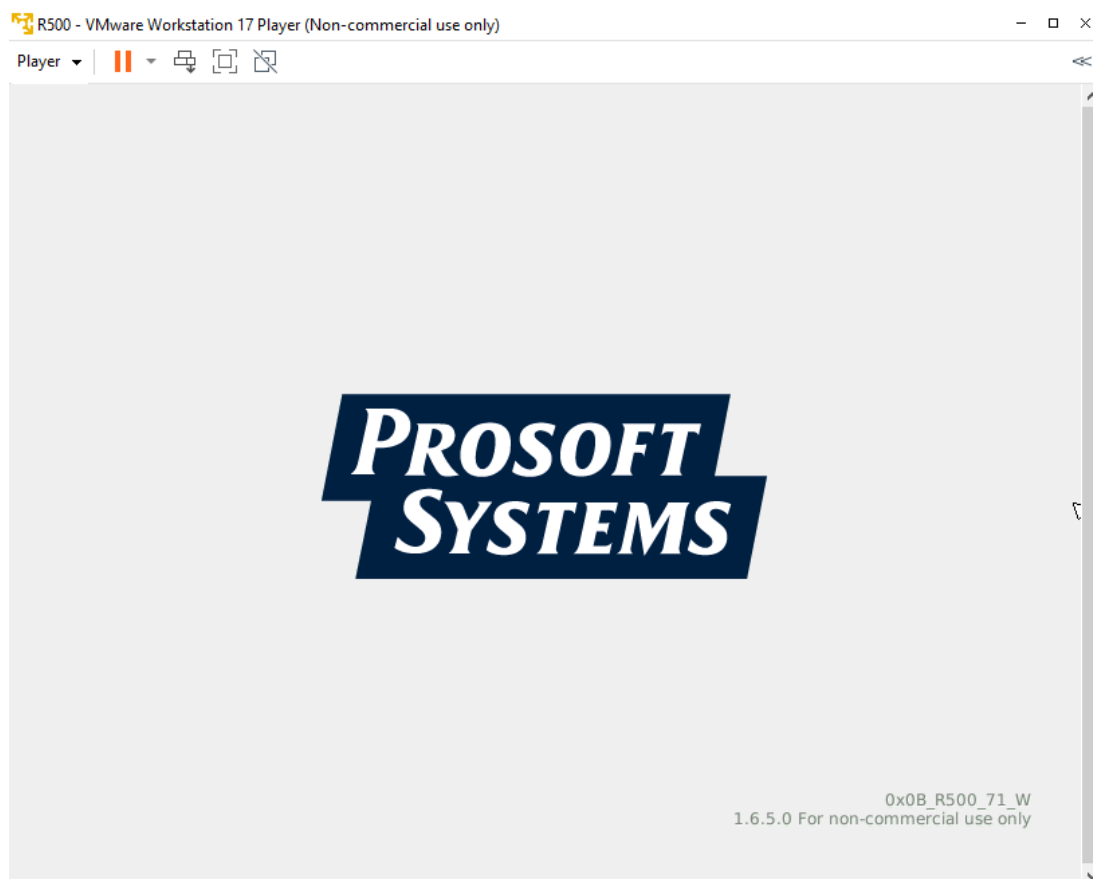


Рисунок 5.1 – Подключенный контроллер Regul R500

Далее необходимо дать понять будущей SCADA-системе, что мы будем работать именно с виртуальным контроллером R500, для чего нам нужно во вкладке «Инструменты» зайти в «Сканер сети», выбрать подключаемый Ethernet-интерфейс, и просканировать сеть на наличие виртуального ПЛК.

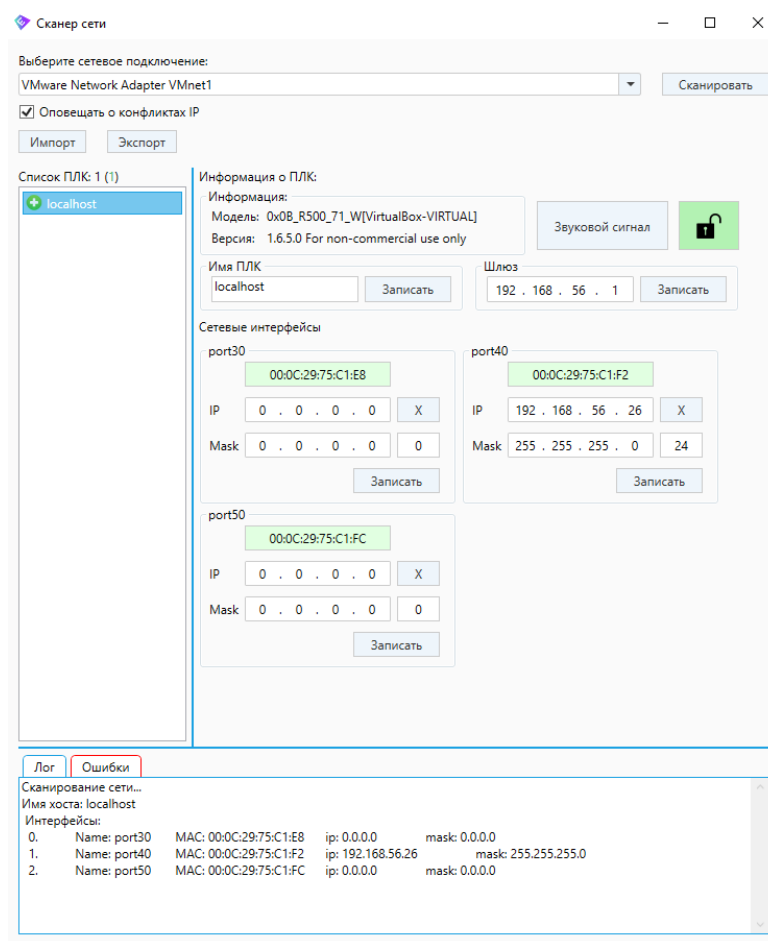


Рисунок 5.2 – Подключение контроллера к Astra IDE

Далее необходимо изменить IP-адрес шлюза, если он не соответствует системному, а также скорректировать сетевой интерфейс контроллера при необходимости.

Для быстрого создания проекта в среде Astra IDE лучше использовать мастер конфигурации, в котором можно выбрать серию ПЛК (R500 в нашем случае), модель ЦП (был выбран R500-71W), можно настроить поддержку резервирования и выбрать шину Regul, а также скорректировать настройки проекта. Выглядит окно мастера конфигурации следующим образом:

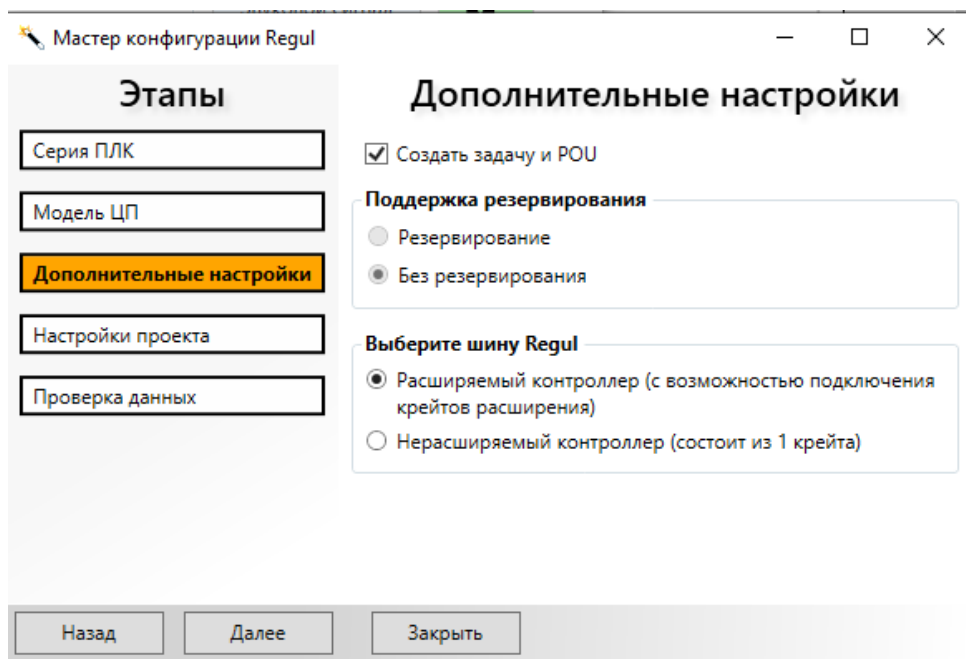


Рисунок 5.3 – Окно мастера конфигурации Regul

После создания самого проекта в окне «Устройства» появляется сам контроллер, причем в верхней его части находится программная составляющая, а в нижней – аппаратная. В аппаратной части не хватает модулей, которые мы обозначали в части 2, что решается добавлением модулей через контекстное меню крейта R500. Нам необходимы модули аналогового и дискретного входа/выхода, которые находятся в соответствующих вкладках. Вот так выглядит подбор модулей (рисунок 5.4).

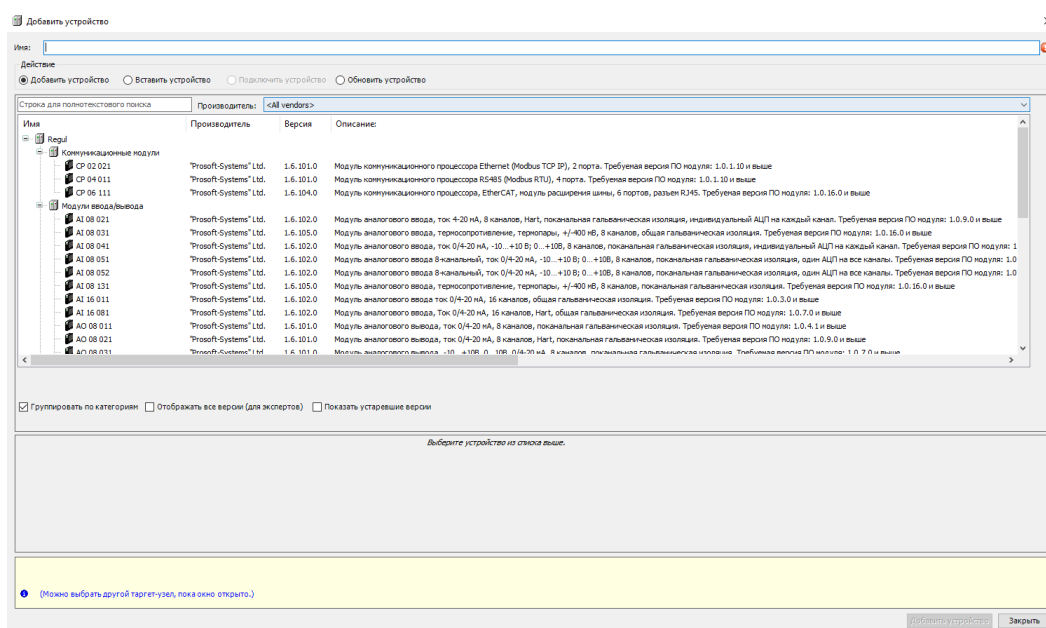


Рисунок 5.4 – Подбор модулей для ПЛК в среде Astra IDE

Однако сам виртуальный контроллер мы все еще не подключили. Для этого нужно зайти во вкладку «Сканер сети» во вкладке «Инструменты», после чего выбрать сетевое подключение виртуальной машины (VMnet1 в данном случае). После чего нам нужно уже в настройках сетевого подключения в компьютере найти это подключение и переписать данные шлюза в саму программу Astra IDE. Выглядит это следующим образом:

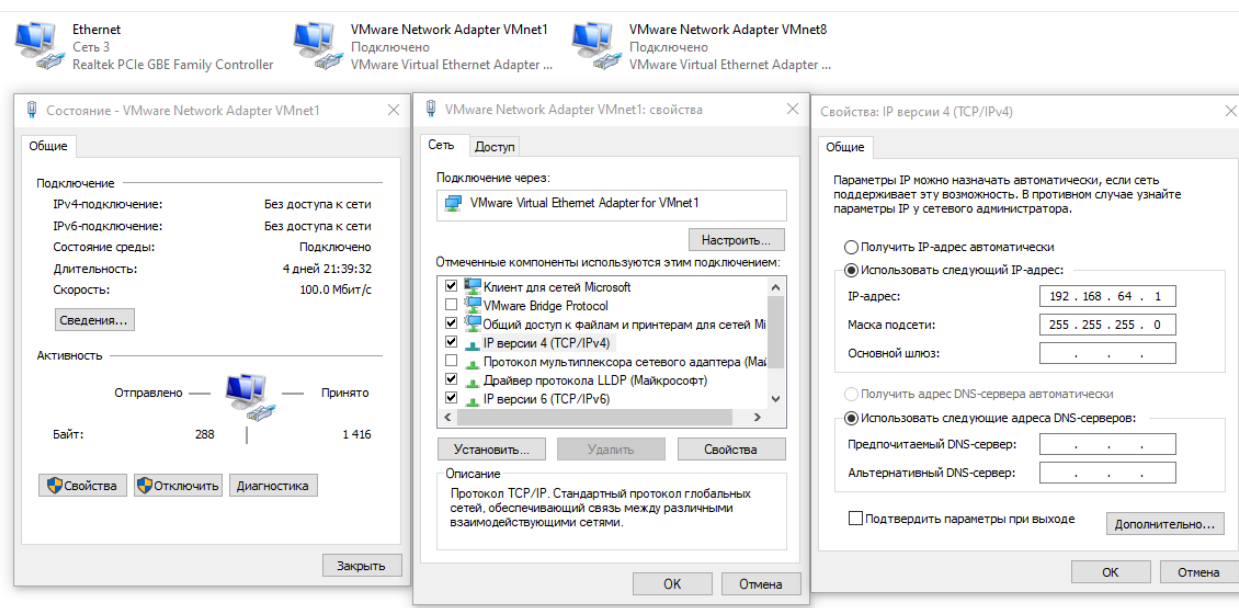


Рисунок 5.5 – Нахождение IP-адреса виртуального контроллера

Затем это подключение необходимо переписать в саму программу Astra IDE, поменяв при этом один из зеленых портов снизу на тот же самый IP-адрес с отличием в конечной цифре, что выглядит следующим образом:

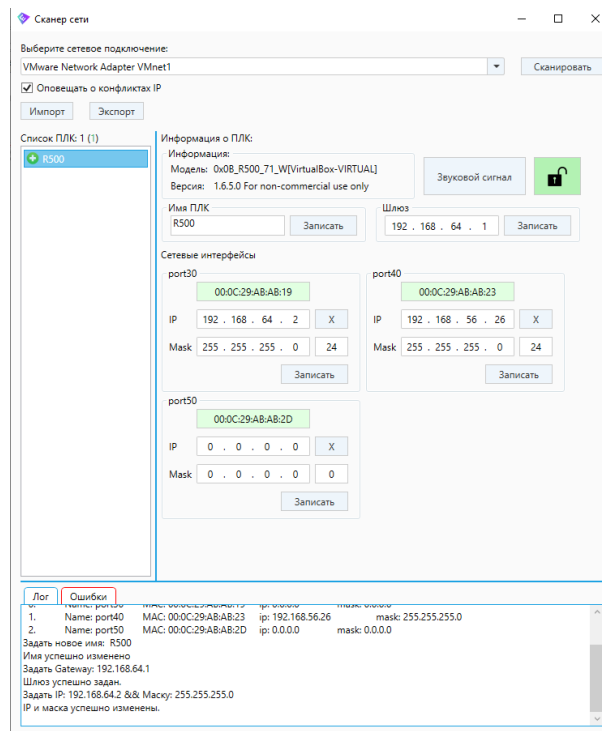


Рисунок 5.6 – Переписанные значения в шлюза и порта в программе Astra IDE

После этих манипуляций в меню самого контроллера в Astra IDE появится созданный нами виртуальный контроллер, к которому мы как пользователи уже можем подключиться. На рисунке 5.7 изображен процесс сопряжения виртуального ПЛК и SCADA-системы

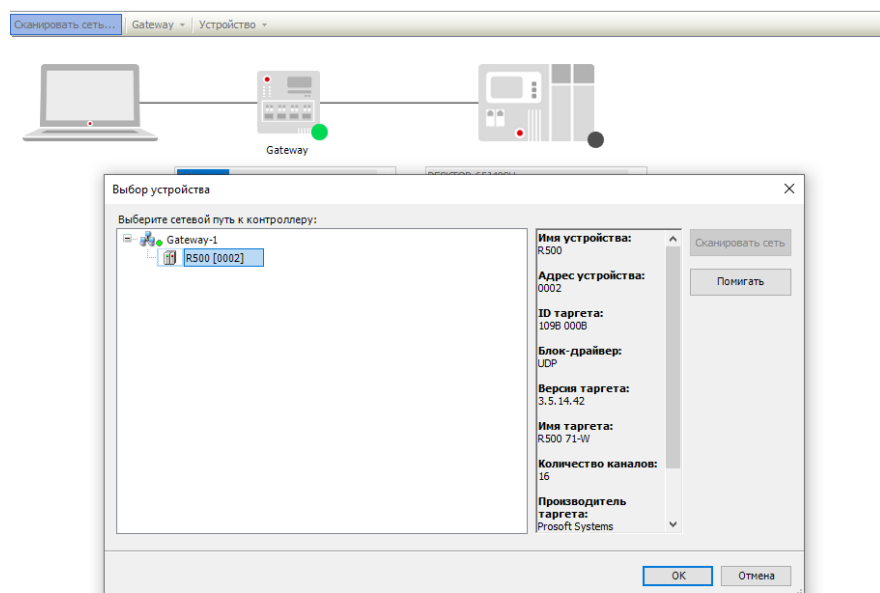


Рисунок 5.7 - Процесс сопряжения виртуального ПЛК и SCADA-системы

Далее после непосредственно подключения к нашему контроллеру вылезет окно доступа к нему. Логин и пароль будет слово «Administrator», которое в последствии система позволит заменить на любое удобное нам. После того, как этот этап будет пройден, контроллер считается полностью подключенным к SCADA-системе. Индикация этого показана на рисунке 5.8.

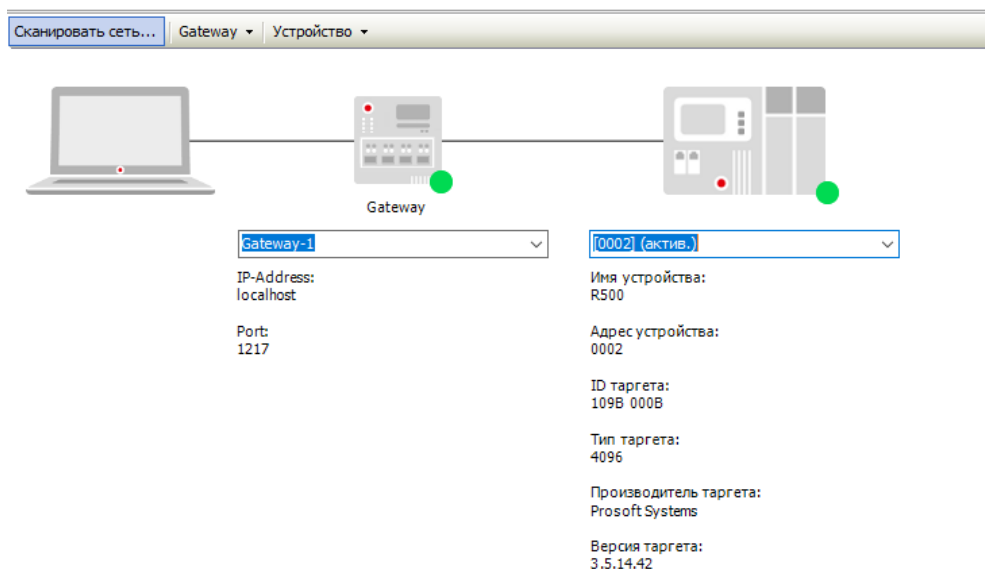


Рисунок 5.8 – Подключенный виртуальный контроллер R500 к Astra IDE

Далее в программной части мы создаем три окна визуализации: «Main_Programm», «Structure» и «Test», отвечающие за турбинный контроллер, структурную схему с видимыми параметрами, а также за тестирование ЭЧСР.

Забегая вперед, к тому моменту как бы будем обозначать и привязывать переменные в нашей системе, необходимо уточнить, что датчиками входных параметров являются:

1. Датчики давления свежего пара;
2. Датчики давления пара в регулирующей ступени ЦВД;
3. Датчики давления пара в теплофикационном отборе к ПСГ-1;
4. Датчики управляющего давления САР;
5. Датчики мощности генератора;
6. Датчики частоты вращения турбогенератора.

Помимо этих переменных нам необходимо будет привязать переменные и

для работы видеопрограмм. Для этого необходимо создать и объявить эти переменные. Эти переменные будут являться глобальными, что позволит, изменяя состояние наблюдать за изменениями системы при подключении внешнего контроллера, либо же создания OPC сервера и подключения его, например, к программе Matlab.

Чтобы создать список глобальных переменных, нужно нажать правой кнопкой мыши на «Application», во вкладке «Добавление объекта», нажать на строку «Список глобальных переменных». После заходим в список и начинаем создавать переменные (рисунок 5.9).

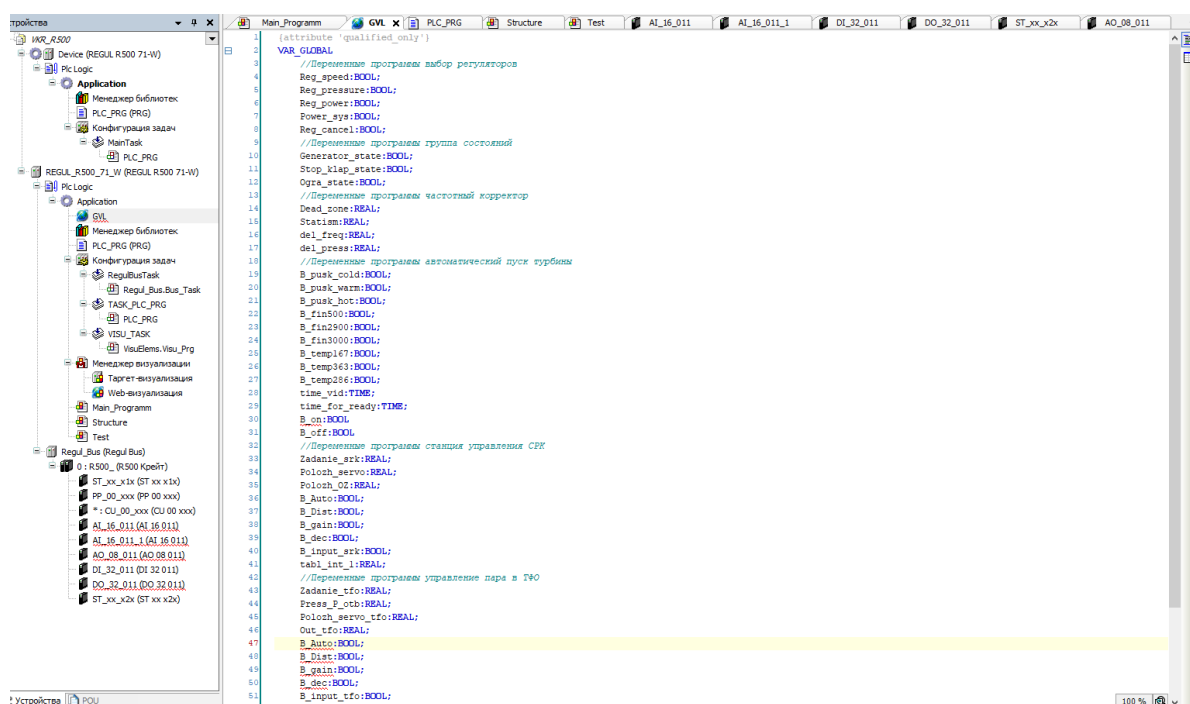


Рисунок 5.9 – Объявление глобальных переменных в среде разработки

Astra IDE

Быстродействующие контура управления предназначены для выполнения функций позиционирования сервомоторов РК и ПД турбины, обеспечения противоразгонной защиты турбины и реализации команд противоаварийной автоматики ПАА. Они воздействуют на электрогидравлические преобразователи ЭМП. Функция позиционирования РК и ПД предназначена для выполнения точного положения сервомоторов РК и ПД турбины в соответствии с заданием и сигналами обратной связи от датчиков положения. Канал релейной форсировки (РФ) при отключении генератора от сети формирует сигнал на ЭМП,

вызывающий кратковременное форсированное закрытие регулирующих клапанов. Канал дифференциатора частоты вращения ротора турбины предназначен для предотвращения разгона турбины. Он формирует сигнал, который через ЭМП воздействует на гидравлическую систему регулирования турбины.

Система отображения видеограмм позволяет пользователю просматривать схемы управления технологическим процессом. Система отображения позволяет перемещаться по видеограммам указанных технологических процессов, отображает параметры этих процессов и состояния исполнительных механизмов, а также позволяет управлять исполнительными механизмами и вводить численные задания.

5.4.1 Описание видеограммы «Турбинный контроллер»

На первой видеограмме осуществляется контроль всех основных параметров. На ней находится окно выбора параметров регулятора, группа состояний самого турбоагрегата, параметры частотного корректора, регуляторы турбины по таким параметрам как скорость вращения ротора, давления пара и активная мощность сети. Ниже располагается окно автоматического пуска турбины, станция управления сервомотором регулирующего клапана, а также регулятор давления в теплофикационном отборе. Сверху располагаются окна, сигнализирующие об аварийных ситуациях на турбоагрегате и предупреждающее о возможных ошибках. Далее подробнее разберем каждый элемент этого окна визуализации.

Видеограмма "Турбинный контроллер"

СИГНАЛИЗАЦИЯ

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Выбор регуляторов

Регулятор скорости

Регулятор давления

Регулятор мощности

Отмена

Группа состояний

Генератор в сети

Стопорный клапан взведен

Ограничения СРТ не активны

Частотный корректор

Зона нечувствительности %3.2f

Стабизм %3.2f

Изменение частоты, мГц %3.2f

Изменение давления, мПа %3.2f

Регулятор скорости

+ %4.2f Дат. Об/мин

- %4.2f Задат. Об/мин

ЦЕЛЬ: %3.2f Ввод

ТЕМП: %3.2f Ввод

СТОП СТАРТ

Автоматический пуск турбины

ТИП ПУСКА ТУРБИНЫ

Холодный Теплый Горячий

ЦЕЛЬ 500 2900 3000

ТЕМП 167 353 286

Время выдержки %3.2f Мин:сек

Отсчет автозап. %3.2f Мин:сек

Вкл Откл

Регулятор давления

+ %3.2f Дат. кг/см²

- %3.2f Задат. кг/см²

ЦЕЛЬ: %3.2f Ввод

ТЕМП: %3.2f Ввод

СТОП СТАРТ

Станция управления СРК

Задание %3.2f

Положение сервомотора РК, %

Положение отсечного золотника, %

АВТО ДИСТ +

%3.2f ВВОД -

Регулятор мощности

+ %4.2f Дат. МВт

- %4.2f Задат. МВт

ЦЕЛЬ: %3.2f Ввод

ТЕМП: %3.2f Ввод

СТОП СТАРТ

Регулятор давления в ТФО

Р пара в ТФ отбора, КПа

Задание %3.2f

Положение ПД, %

Выход, %

АВТО ДИСТ +

%3.2f ВВОД -

Переход на структурную видеограмму

Переход на видеограмму "Тесты ЭЧСР"

31 Дата/Время %[%d.MM.yyyy HH:mm:ss]

Рисунок 5.10 – Видеограмма «Турбинный контроллер»

Режим дистанционного управления положением регулирующих клапанов (РК) предназначен для точного управления положением сервомоторов РК высокого давления турбоагрегата по команде оператора.

Машинист центрального теплового щита управления (ЦТЩУ) может изменять положение сервомоторов РК ЦВД турбоагрегата, открывая или закрывая их. Положение РК ЦВД задаётся в соответствии с диаграммой парораспределения.

Режим дистанционного управления положением РК может использоваться для запуска турбоагрегата в технологическом режиме «скользящего» давления пара при пусках из холодного состояния.

Режим автоматического управления положением РК предназначен для точного позиционирования сервомоторов РК ЦВД турбоагрегата по команде от вышестоящих автоматических регуляторов, таких как турбинный контроллер. Индикация включения автоматического или дистанционного режимов управления положением РК ЦВД на видеокадре ЭЧСР АРМ машиниста ЦТЩУ осуществляется с помощью соответствующей надписи в строке предупреждений

турбинного контроллера (ТК) и окрашиванием кнопки управления в синий или зеленый цвет.

Режим дистанционного управления положением РК включается:

- по команде оператора из видеокадра ТК АРМ машиниста ЦТЩУ;
- при неисправностях в контурах позиционирования РК;
- при закрытии стопорного клапана турбоагрегата.

Режим автоматического управления положением РК включается:

- по команде машиниста ЦТЩУ из видеокадра ТК АРМ машиниста ЦТЩУ;
- при включении одного из автоматических регуляторов турбоагрегата (частоты вращения, давления, мощности);
- при включении режима мгновенного сброса нагрузки.

Окно регулятора скорости предназначено для автоматического поддержания заданной частоты вращения ротора турбогенератора. Оно работает по классической схеме авторегулирования.

Входными сигналами регулятора являются:

- сигнал частоты вращения ротора турбоагрегата, который получается, как среднее значение измерений по трём независимым каналам;
- сигнал конечного значения задания частоты вращения, который берётся из алгоритма ввода задания скорости от машиниста ЦТЩУ с учётом заданного темпа его изменения;
- сигнал конечного значения задания частоты вращения, который берётся из алгоритма автопуска турбоагрегата.

Если частота вращения ротора турбоагрегата находится в диапазоне критических частот (1350-2100 об/мин), то регулятор автоматически увеличивает темп изменения скорости до 500 об/мин для быстрого преодоления опасного диапазона скоростей.

Регулятор скорости автоматически включается, если выполняются два условия:

- управление положением РК в режиме «АВТО»;

- генератор не в сети.

Логическая схема регулятора автоматически переключает сигнал задания скорости в слежение за текущим значением частоты вращения ротора турбоагрегата при:

- включении генератора в сеть;
- закрытии АСК;
- факте включения режима дистанционного управления положением РК.

Для синхронизации турбогенератора с сетью предусмотрена возможность ступенчатого изменения задания по частоте вращения в диапазоне 2950-3050 об/мин по командам машиниста ЦТЩУ «Больше/Меньше». Управление заданием по частоте вращения турбоагрегата осуществляется с видеогаммы «Турбинный контроллер». Задание по частоте вращения меняется на +1 об/мин на каждую команду.

Включение в работу регулятора скорости сигнализируется окрашиванием его наименования и контурного прямоугольника панели управления задатчика скорости в синий цвет.

Функция автоматического пуска турбоагрегата позволяет автоматически регулировать его частоту вращения от 0 до 3000 оборотов в минуту. Скорость изменения частоты и время удержания на промежуточных оборотах регулируются в соответствии с режимной картой пуска и тепловым состоянием турбоагрегата. Текущие параметры задания отображаются на задатчике автопуска.

Машинист центрального щита управления может включить автоматический пуск турбоагрегата, если выполнены следующие условия: генератор не подключён к сети, автоматический стопорный клапан открыт, регулятор клапанов установлен в режим «Авто», регулятор скорости работает в режиме «Авто».

Когда автоматический пуск отключён, логическая схема задатчика следит за текущей частотой вращения ротора турбоагрегата, чтобы обеспечить его плавное включение на любой частоте.

В неактивном режиме органы управления задатчика окрашены в серый цвет и недоступны. Чтобы активировать задатчик, нужно нажать на поле активации в верхней части с надписью «Автоматический пуск турбины».

Заданное значение мощности в ЭЧСР формируется по следующим составляющим:

- задание, которое введено машинистом ЦТЩУ;
- неплановое задание, которое поступило от частотного корректора.

При работе ЭЧСР в режиме регулирования мощности уставку планового значения мощности должен задавать машинист ЦТЩУ. Текущее задание по мощности, которое формируется в ЭЧСР, приводится к заданному машинистом ЦТЩУ конечному значению с установленным темпом изменения задания. Темп изменения задания по мощности может задаваться машинистом ЦТЩУ. Диапазон темпа изменения задания составляет 0,15 МВт/мин.

Соотношение между изменением частоты и электрической нагрузки определяется статизмом, который может изменяться в пределах 4:10 %. Зона нечувствительности частотного корректора рассчитывается по отклонению частоты составляет +10 мГц при включенном в работу частотном корректоре и 530 мГц при отключенном частотном корректоре. Предусмотрена возможность изменения зоны нечувствительности по отклонению частоты 10-500 мГц, статизма регулирования в пределах 4=10 %, а также смещения номинальной частоты на +500 мГц в целях тестирования.

Режим регулирования мощности (РМ) турбогенератора предназначен для управления положением регулирующих клапанов ЦВД турбоагрегата в зависимости от текущего задания мощности.

Режим регулирования мощности может быть активирован по команде машиниста или автоматически при выполнении определённых условий:

- станция управления (РК) находится в режиме «АВТО»;

- генератор подключён к сети.

Режим регулирования мощности автоматически отключается в следующих случаях:

- генератор отключён от сети;
- сработала система защиты турбины;
- автоматический стопорный клапан (АСК) закрыт;
- электрогидравлическая система регулирования (ЭЧСР)

переключилась в режим регулирования частоты вращения или давления свежего пара.

Существуют два режима регулятора мощности: разомкнутый контур и замкнутый контур.

Замкнутый контур управления мощностью поддерживает заданное значение мощности, используя обратную связь по мощности. В качестве обратной связи используется сигнал среднего значения из двух измерений электрической активной мощности генератора.

Турбинный контроллер автоматически переключается из режима регулирования мощности в разомкнутый контур в случае отказа датчиков измерения мощности.

Разомкнутый контур управления мощностью, также известный как управление по нагрузочной характеристике, поддерживает заданное значение мощности без обратной связи по мощности. Регулирующие клапаны открываются в зависимости от задания в определённое положение, соответствующее заданной мощности при текущем давлении свежего пара.

Регулятор давления пара предназначен для поддержания заданного значения давления пара перед турбиной путём воздействия на регулирующие клапаны турбины (режим «ДО СЕБЯ»). Регулятор может быть активирован по команде машиниста при работе в сети, если давление свежего пара отличается от номинального не более чем на +5%.

Задание регулятору давления формируется алгоритмом задатчика давления с ограничениями по максимальному и минимальному значениям. В

момент включения режима задание по давлению приравнивается текущему значению давления свежего пара.

Если регулятор давления свежего пара перед турбиной отключён, задатчик переходит в режим отслеживания текущего значения давления. В случае отказа измерения давления свежего пара ЭЧСР автоматически переключается из режима регулирования давления в режим управления мощностью.

Регулятор выключается автоматически при следующих условиях:

- генератор отключён от сети;
- частота сети выходит за пределы допустимых значений;
- неисправны датчики давления свежего пара;
- сработали защиты турбины;
- АСК закрыт;
- ЭЧСР переключилась в режим регулирования мощности;
- включён ручной режим управления РК.

Регулятор давления пара поддерживает давление пара в теплофикационном отборе с помощью поворотных диафрагм. Регулятор может быть активирован по команде машиниста при работе в сети и повышении электрической мощности выше 50 МВт. В случае отключения задатчик переходит в режим отслеживания текущего давления пара в камере ТО турбины. Машинист ЦТЩУ может ввести значение задания давления пара в ТО в цифровой форме в диапазоне от 1 до 1200 кПа.

Включение режимов ЭЧСР осуществляется по командам логических схем технологических регуляторов или машиниста ЦТЩУ с учетом приоритетов, приведённых ниже.

При поступлении в ЭЧСР противоречивых сигналов, приоритет имеет сигнал, который стоит на более высокой ступени иерархии. Команды, которые не противоречат друг другу, выполняются одновременно.

Если поступает сигнал «Отказ ПТК ЭЧСР», формируется команда на отключение турбины. Предварительная защита, защита от превышения частоты

вращения или сигналы срабатывания защит останова турбины приводят к закрытию АСК, сервомоторов РК ЦВД и поворотной диафрагмы ТА.

Режим регулирования скорости турбины включается при сбросе электрической нагрузки, отключении генератора от сети, взведённых защитных устройствах турбины, автоматическом режиме работы станции управления турбиной.

Стерегущие регуляторы ЭЧСР включаются в режиме регулирования электрической мощности или давления свежего пара при отклонении технологического параметра за заданную уставку.

Режим регулирования электрической мощности турбогенератора включается при взведённых защитных устройствах турбины, автоматическом режиме работы станции управления турбиной и отключении генератора от сети. Режим регулирования давления свежего пара перед турбиной включается при включении генератора в сеть, взведённых защитных устройствах турбины, автоматическом режиме работы станции управления турбиной и отключении регулятора электрической мощности.

5.4.2 Описание видеограммы «Структурная видеограмма»

Название видеограммы отражает ее суть: на ней представлена структурно-функциональная схема действующей СРЧМ ТА 110/120-130 вместе с контролируемыми параметрами каждой из систем.

Сверху видеограмма представлена тремя цилиндрами: ЦНД, ЦСД и ЦВД соответственно, которые в самой системе подают пар в ротор турбины, генерируя активную мощность. Под цилиндрами находятся слева – сервомотор, отсечной золотник и их пневмоцилиндры. От них идут датчики давления под и над поршнем, а также датчики положения золотника и штока цилиндра. Кроме того, на линии подачи рабочей жидкости расположены датчики давления рабочего масла для поддержания работы всей системы. Ниже располагаются соленоиды отключения подачи масла в золотники РК и ПД, а также соленоиды аварийного слива АСК и ЗАБ, срабатывающие в случае критического снижения или превышения давления в системе маслоподачи.

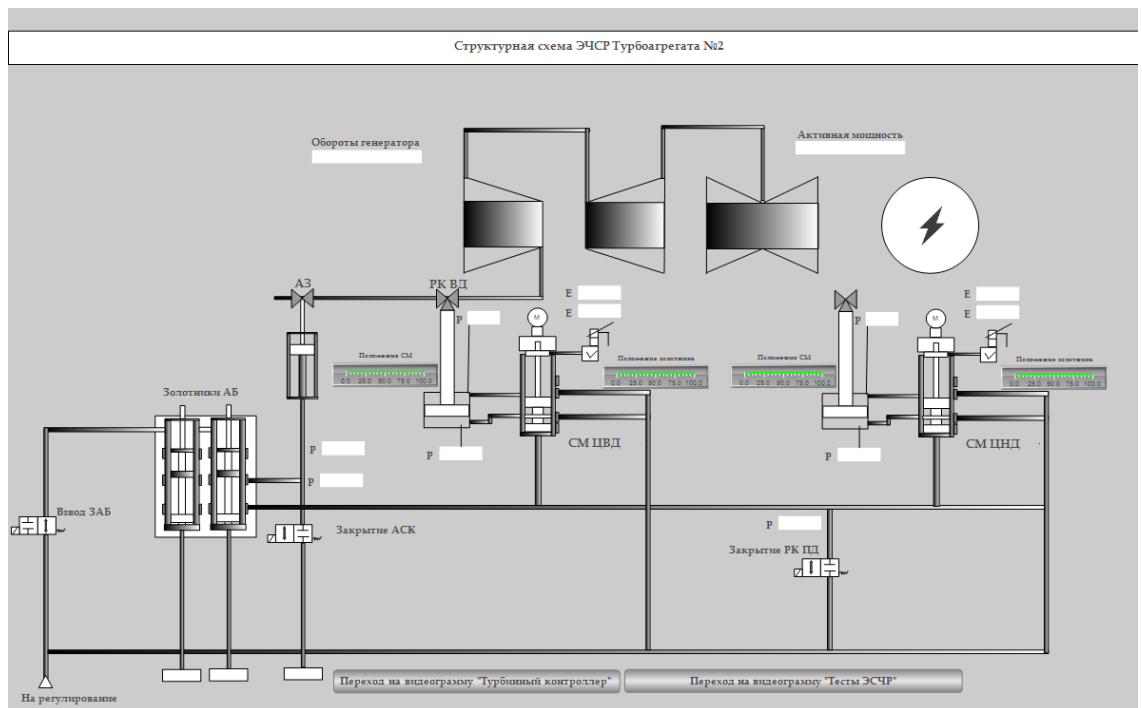


Рисунок 5.11– Видеogramма структурной схемы СРЧМ

5.4.3 Описание видеogramмы «Тесты СРЧМ»

Для отображения окна управления тестами ЭЧСР предусмотрено поле «ТЕСТЫ ЭЧСР» [20]. В окне управления отображается текущее состояние тестов, а также кнопки их включения и отключения. Кроме того, справа от выбора тестов есть окно, в котором при нажатии кнопок «Порядок проведения» или «Условия отключения» в списковом окне справа показывается текст в зависимости от нажатой кнопки. И конечно сверху представлены дублированные окна «СИГНАЛИЗАЦИЯ» и «ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ» для своевременного реагирования оператора ИТЦУ на возникающие неполадки.

Видеограмма "ТЕСТЫ ЭЧСР"

СИГНАЛИЗАЦИЯ

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

ТЕСТ ПЛОТНОСТИ АСК ВД ВКЛЮЧИТЬ ОТКЛЮЧИТЬ	Порядок проведения Условия отключения
ТЕСТ ПЛОТНОСТИ КЛАПАНОВ ВКЛЮЧИТЬ ОТКЛЮЧИТЬ	Порядок проведения Условия отключения
ТЕСТ П-РЕГ. СКОРОСТИ НА ХОЛ. ХОДУ ВКЛЮЧИТЬ ОТКЛЮЧИТЬ	Порядок проведения Условия отключения
РЕЖИМ ОПРОБОВАНИЯ ГЕНЕРАТОРА ВКЛЮЧИТЬ ОТКЛЮЧИТЬ	Порядок проведения Условия отключения

Переход на видеограмму "Турбинный контроллер"

Переход на структурную видеограмму

Рисунок 5.12 – Видеограмма «Тесты ЭЧСР»

****Тест плотности АСК****

Условия отключения теста:

- * команда на отключение теста плотности АСК;
- * генератор в сети;
- * сработали защиты ЭЧСР.

Действие теста: отключение действия по закрытию АСК.

Порядок проведения теста:

1. Взвести АСК турбины.
2. Вывести турбину на 3000 об/мин.
3. Включить тест плотности АСК.
4. Закрыть АСК по месту.
5. Дождаться снижения оборотов до величины менее 1500 об/мин.
6. Открыть АСК.
7. Отключить тест плотности АСК.

****Тест плотности РК ЦВД****

Условия отключения теста:

- * команда на отключение;
- * генератор в сети.

Действие теста: закрытие РК ЦВД.

Порядок проведения теста: выполнение теста плотности РК ЦВД.

****Тест П-регулятора скорости****

Условия для отключения теста:

- * команда на отключение теста П-регулятора скорости;
- * генератор в сети.

Действие теста:

- * переводит П-регулятор скорости в режим слежения;
- * включает П-регулятор скорости.

Порядок проведения теста на остановленной турбине:

1. Взвести АСК турбины.
2. Включить тест П-регулятора скорости.
3. С помощью задатчика регулятора скорости задать 150 оборотов в минуту с темпом 30 оборотов в минуту.
4. Проверить статическую характеристику П-регулятора скорости.
5. Отключить тест П-регулятора скорости.

Порядок проведения теста на холостом ходу:

6. Взвести АСК турбины.
7. Вывести турбину на 3000 оборотов в минуту.
8. Включить тест П-регулятора скорости.
9. Прикрывать байпас ГПЗ.
10. Проверить статическую характеристику П-регулятора скорости.
11. Вернуть байпас ГПЗ в исходное состояние.
12. Отключить тест П-регулятора скорости.

****Режим опробования генератора****

Условия для включения теста:

- * генератор не в сети.

Условия для отключения теста:

- * команда на отключение режима опробования генератора.

Действие теста:

* отключает релейную форсировку при отключении выключателя генератора;

* формирует запрет на формирование режима «Генератор в сети» для логики ЭЧСР.

Условия отключения теста

1. Команда на отключение режима опробования генератора.

Действие теста

1. Отключает релейную форсировку при отключении выключателя генератора.

2. Формирует запрет на формирование режима «Генератор в сети» для логики ЭЧСР.

Порядок проведения теста

1. Взвести АСК турбины.

2. Вывести турбину на 3000 об/мин.

3. Включить режим опробования генератора.

4. Провести опробование генератора.

5. Отключить режим опробования генератора.

****Режим теста бойков АБ****

Условия включения теста

1. Обороты вращения ротора турбины: 2950–3090 об/мин.

****Условия отключения теста****

1. Команда на отключение теста АБ.

2. Генератор в сети.

3. Отказ двух датчиков скорости.

4. АСК не взведены.

5. Обороты вращения ротора турбины менее 2950 об/мин.

Действие теста

1. Изменяет предел задания скорости вращения на 3361 об/мин.

2. В автоматическом режиме теста задание скорости вращения растёт до 3360 об/мин.

Порядок проведения теста

1. Взвести АСК турбины.
 2. Вывести турбину на 3000 об/мин.
 3. Включить тест АБ.
 4. Ввести задание по оборотам 3360 об/мин и нажать кнопку «СТАРТ», или перевести ст АБ в режим «АВТО».
- 6 Проконтролировать работу АБ на 3300 об/мин.

5.5 Программная реализация некоторых функций получившейся SCADA-системы

В данном пункте разрабатывается код программы, написанный на языке программирования ST (Structured Text) на основе имеющихся алгоритмических схем, а также уже готовой визуализации. В идеале программа должна состоять из 3-х частей по лекалам визуализации, а именно:

1. Турбинный контроллер – основная подпрограмма, занимающаяся запуском системы с возможностью перехода с автоматического на ручной режим управления, просмотром параметров, сигнализации о предупреждении об ошибках
2. Структурная схема (она же модель объекта) – подпрограмма для контроля показателей в важных частях турбоагрегата (давление в маслопроводах, генерируемая активная мощность ТА, частота вращения ротора турбины)
3. Тесты ЭСЧР – программа для осуществления диагностики критически важных компонентов системы регулирования

Наиболее важной частью управления является именно первая, так как именно с нее начинается запуск системы в полноценную эксплуатацию, там же происходит наглядное регулирование процессов. Частично реализовать подпрограмму удалось на уровне базовых функций, таких как запуск турбины в автоматическом режиме с изначальным вводом параметров запуска, переключение между слоями визуализации, переключение функционала в режим ручного управления с выбором режима регулирования, а также формирования

сигналов предупреждения и аварии из-за превышения ключевых параметров системы регулирования. О некоторых из них стоит рассказать подробнее.

5.5.1 Подпрограмма запуска турбины в автоматическом режиме с изначальным выбором параметров запуска

Суть данной подпрограммы заключается в том, чтобы предотвратить запуск турбины, остановка которой была вызвана ошибкой, связанной с аварийной ситуацией, если ошибка не была устранена. Система проверяет наличие аварий и предупреждений при запуске, проверяет нормальность параметров, имеющих критическое значение при запуске системы, а также формирует общее разрешение на запуск.

При нажатии кнопки «Пуск» устанавливается триггер запуска, соответственно при нажатии «Стоп» или потере разрешения триггер сбрасывается. Кроме этого, была добавлена задержка в одну секунду перед выдачей команды запуска для создания имитации подготовительных операций к запуску

Далее подпрограмма подразумевает выбор параметров от пользователя в окне «Автоматический пуск турбины», а именно:

- режим мощности - выбор одного из трех вариантов (холодный/теплый/горячий);
- заданные обороты - выбор одного из трех значений (500/2900/3000 об/мин);
- скорость наращивания оборотов - выбор одного из трех режимов ускорения наращивания оборотов системы (167/286/363 об/мин).

Защитными функциями данной подпрограммы является:

- блокировка запуска при невыбранных параметрах;
- гарантированное снятие команды пуска при потере разрешения;
- защита от одновременного выбора нескольких режимов.

```

1 PROGRAM TurbineAutoStart
2 VAR_INPUT
3     // Выбор режима мощности
4     B_pusk_cold: BOOL;    // Холодный режим
5     B_pusk_warm: BOOL;    // Теплый режим
6     B_pusk_hot: BOOL;    // Горячий режим
7     // Выбор заданного значения оборотов
8     B_fin500: BOOL;    // 500 об/мин
9     B_fin2900: BOOL;    // 2900 об/мин
10    B_fin3000: BOOL;    // 3000 об/мин
11    // Выбор скорости наращивания оборотов
12    B_temp167: BOOL;    // 167 об/мин
13    B_temp363: BOOL;    // 363 об/мин
14    B_temp286: BOOL;    // 286 об/мин
15    // Управляющие кнопки
16    B_on: BOOL;    // Пуск
17    B_off: BOOL;    // Останов
18    // Сигналы от системы мониторинга
19    Text_Signalis: STRING; // Аварийные сообщения
20    Text_Warning: STRING; // Предупреждения
21 END_VAR
22
23 VAR_OUTPUT
24     // Выходные параметры запуска
25     SelectedPowerMode: INT;    // Выбранный режим мощности (1-хол,2-тепл,3-гор)
26     SelectedSetpoint: REAL;    // Выбранное заданное значение
27     SelectedRampRate: REAL;    // Выбранная скорость наращивания
28     StartPermission: BOOL;    // Разрешение на запуск
29     StartCommand: BOOL;    // Команда запуска
30 END_VAR
31
32 VAR
33     // Внутренние флаги
34     bAlarmCondition: BOOL;    // флаг аварийного состояния
35     bWarningCondition: BOOL;    // флаг предупреждения
36     bParametersNormal: BOOL := TRUE; // флаг нормальных параметров
37     // Таймеры и временные переменные
38     tStartDelay: TON;
39     bStartTrigger: BOOL;
40 END_VAR

```

Рисунок 5.13 Задание переменных подпрограммы «Автозапуск турбины»

В данной подпрограмме помимо существующих в самой SCADA переменных были добавлены флаги состояния – аварийного, предупреждения и нормальных параметров. Первые два отвечают за наличие сообщений в окнах «Предупреждение» и «Сигнализация», а последний – за нормальные значения параметров запуска системы

```

2 // 1. Проверка аварийных состояний и предупреждений
3 bAlarmCondition := (Text_Signalis <> '');
4 bWarningCondition := (Text_Warning <> '');
5 // 2. Проверка параметров пуска (заглушка - должна быть заменена реальной логикой)
6 // Здесь должна быть реализована реальная проверка параметров
7 bParametersNormal := TRUE;
8 // 3. Формирование разрешения на запуск
9 StartPermission := NOT (bAlarmCondition OR bWarningCondition) AND bParametersNormal;
10 // 4. Обработка команд запуска
11 IF B_on AND StartPermission AND NOT bStartTrigger THEN
12     bStartTrigger := TRUE;
13 END_IF
14 IF B_off OR NOT StartPermission THEN
15     bStartTrigger := FALSE;
16     StartCommand := FALSE;
17 END_IF
18 // Задержка перед запуском (1 секунда - для примера)
19 tStartDelay(IN := bStartTrigger, PT := T#1s);
20 StartCommand := tStartDelay.Q;
21 // 5. Выбор режима мощности
22 SelectedPowerMode := 0;
23 IF B_pusk_cold AND NOT (B_pusk_warm OR B_pusk_hot) THEN
24     SelectedPowerMode := 1; // Холодный режим
25 ELSIF B_pusk_warm AND NOT (B_pusk_cold OR B_pusk_hot) THEN
26     SelectedPowerMode := 2; // Теплый режим
27 ELSIF B_pusk_hot AND NOT (B_pusk_cold OR B_pusk_warm) THEN
28     SelectedPowerMode := 3; // Горячий режим
29 END_IF
30
31 // 6. Выбор заданного значения оборотов
32 SelectedSetpoint := 0.0;
33 IF B_fin500 AND NOT (B_fin2900 OR B_fin3000) THEN
34     SelectedSetpoint := 500.0;
35 ELSIF B_fin2900 AND NOT (B_fin500 OR B_fin3000) THEN
36     SelectedSetpoint := 2900.0;
37 ELSIF B_fin3000 AND NOT (B_fin500 OR B_fin2900) THEN
38     SelectedSetpoint := 3000.0;
39 END_IF
40
41 // 7. Выбор скорости наращивания оборотов
42 SelectedRampRate := 0.0;
43 IF B_temp167 AND NOT (B_temp363 OR B_temp286) THEN
44     SelectedRampRate := 167.0;
45 ELSIF B_temp363 AND NOT (B_temp167 OR B_temp286) THEN
46     SelectedRampRate := 363.0;
47 ELSIF B_temp286 AND NOT (B_temp167 OR B_temp363) THEN
48     SelectedRampRate := 286.0;
49 END_IF
50
51 // 8. Блокировка запуска при неполном выборе параметров
52 IF (SelectedPowerMode = 0) OR (SelectedSetpoint = 0.0) OR (SelectedRampRate = 0.0) THEN
53     StartPermission := FALSE;
54     bStartTrigger := FALSE;
55     StartCommand := FALSE;
56 END_IF
57 END_PROGRAM

```

Рисунок 5.14 Основной код подпрограммы «Автозапуск турбины»

5.5.2 Подпрограмма вывода текста предупреждения или ошибки

При возникновении отклонений у датчика и задатчика турбины после 20 минут после пуска турбины более чем на 24 об/мин у датчика и задатчика скорости или 0.2 МПа у датчика и задатчика давления на выход

Text_Warning:STRING формируется текстовое предупреждение в зависимости от того, на каком входе датчиков появилось отклонение.

Для датчика и задатчика скорости текстовое предупреждение выглядит следующим образом: «Внимание! Превышена частота вращения турбины!» при превышении частоты вращения и «Внимание! Пониженная частота вращения турбины!» при пониженной частоте вращения.

Для датчика и задатчика давления текстовое предупреждение выглядит следующим образом: «Внимание! Превышено давление масла на регулирование!» при превышении давления «Внимание! Понижено давление масла на регулирование!» при пониженном давлении масла.

При возникновении отклонений у датчика и задатчика турбины после 40 минут после пуска турбины более чем на 50 об/мин у датчика и задатчика скорости или 0,4 МПа у датчика и задатчика давления на выход Text_Signalis:STRING формируется текстовое предупреждение в зависимости от того, на каком входе датчиков появилась аварийная ситуация.

Для датчика и задатчика скорости текстовое предупреждение выглядит следующим образом: «Внимание! Аварийно превышена частота вращения турбины!» при превышении частоты вращения и «Внимание! Аварийно пониженная частота вращения турбины!» при пониженной частоте вращения.

Для датчика и задатчика давления текстовое предупреждение выглядит следующим образом: «Внимание! Аварийно превышено давление масла на регулирование!» при превышении давления «Внимание! Аварийно пониженное давление масла на регулирование!» при пониженном давлении масла. Формируются данные отчеты для информирования оператора о проблемах, связанных с работой системы, а также для того, чтобы при аварийной остановке не дать оператору запустить турбину без устранения причин неполадок. Временные промежутки выбраны произвольно с учетом того, что на этапе запуска система может некоторое время «колебаться» в показаниях, однако это время не может быть слишком большим для сохранения работоспособности системы.

```

1  PROGRAM TurbineMonitoring
2  VAR_INPUT
3      Tspd_dat: REAL;      // Текущая скорость турбины [об/мин]
4      Tpres_dat: REAL;     // Текущее давление в трубопроводе [МПа]
5      Tspd_zad: REAL;      // Заданная скорость турбины [об/мин]
6      Tpres_zad: REAL;     // Заданное давление [МПа]
7  END_VAR
8  VAR_OUTPUT
9      Text_Warning: STRING; // Предупреждающие сообщения
10     Text_Signalis: STRING; // Аварийные сообщения
11 END_VAR
12 VAR
13     // Внутренние таймеры
14     tOperationTimer: TON := (PT := T#20m); // Таймер 20 минут
15     tAlarmTimer: TON := (PT := T#40m);     // Таймер 40 минут
16     // флаги состояния
17     bSystemStarted: BOOL := FALSE;         // флаг пуска системы
18     b20minPassed: BOOL := FALSE;          // флаг превышения 20 мин
19     b40minPassed: BOOL := FALSE;          // флаг превышения 40 мин
20     // Отклонения параметров
21     rSpeedDeviation: REAL;
22     rPressureDeviation: REAL;
23 END_VAR

```

Рисунок 5.15 – Задание переменных подпрограммы «Формирование сигналов ошибки»

На рисунке 5.16 представлено содержание программной части формирования сигналов ошибки и предупреждения

Рисунок 5.16 – Основной код подпрограммы «Формирование сигналов ошибки»

```

1  // 1. Определение момента пуска системы
2  IF NOT bSystemStarted THEN
3      bSystemStarted := (Tspd_dat > 0.1) OR (Tpres_dat > 0.01); // Порог срабатывания
4  END_IF;
5  // 2. Запуск таймеров при пуске системы
6  tOperationTimer(IN := bSystemStarted AND NOT b20minPassed);
7  tAlarmTimer(IN := bSystemStarted AND NOT b40minPassed);
8  // 3. Проверка достижения временных логов
9  b20minPassed := tOperationTimer.Q;
10 b40minPassed := tAlarmTimer.Q;
11 // 4. Расчет отклонений параметров
12 rSpeedDeviation := Tspd_dat - Tspd_zad;
13 rPressureDeviation := Tpres_dat - Tpres_zad;
14 // 5. Формирование предупреждений (после 20 минут)
15 Text_Warning := '';
16 IF b20minPassed THEN
17     // Проверка скорости
18     IF rSpeedDeviation > 24.0 THEN
19         Text_Warning := 'Внимание! Превышена частота вращения турбины!';
20     ELSEIF rSpeedDeviation < -24.0 THEN
21         Text_Warning := 'Внимание! Понижена частота вращения турбины!';
22     END_IF;
23     // Проверка давления
24     IF rPressureDeviation > 0.2 THEN
25         Text_Warning := CONCAT(Text_Warning, 'Внимание! Превышено давление масла на регулирование!');
26     ELSEIF rPressureDeviation < -0.2 THEN
27         Text_Warning := CONCAT(Text_Warning, 'Внимание! Понижено давление масла на регулирование!');
28     END_IF;
29 END_IF;
30 // 6. Формирование аварийных сообщений (после 40 минут)
31 Text_Signalis := '';
32 IF b40minPassed THEN
33     // Проверка скорости
34     IF rSpeedDeviation > 50.0 THEN
35         Text_Signalis := 'Внимание! Аварийно превышена частота вращения турбины!';
36     ELSEIF rSpeedDeviation < -50.0 THEN
37         Text_Signalis := 'Внимание! Аварийно понижена частота вращения турбины!';
38     END_IF;
39     // Проверка давления
40     IF rPressureDeviation > 0.4 THEN
41         Text_Signalis := CONCAT(Text_Signalis, 'Внимание! Аварийно превышено давление масла на регулирование!');
42     ELSEIF rPressureDeviation < -0.4 THEN
43         Text_Signalis := CONCAT(Text_Signalis, 'Внимание! Аварийно понижено давление масла на регулирование!');
44     END_IF;
45 END_IF;

```

5.5.3 Подпрограмма переключения между окнами визуализации

Логика возникновения необходимости такой подпрограммы следующая: на каждой из окон визуализации имеется 2 кнопки перехода на другие 2 окна визуализации, например в окне "Турбинный контроллер" имеются кнопки перехода на "Тесты ЭСЧР" и "Структурная схема" и так далее. Нужно чтобы при нажатии этих кнопок открывалось окно выбранной визуализации, а старое окно закрывалось или скрывалось. Реализовать это сравнительно нетрудно:

- При первом запуске системы активируется окно "Турбинный контроллер», остальные окна скрываются.
- Каждая кнопка перехода обрабатывается по фронту нажатия, при нажатии кнопки активируется соответствующее окно, все другие окна скрываются, используется обработка фронтов для предотвращения многократных переключений при удержании кнопки. Важно уточнить, что одновременно может быть активно только одно окно, переключение происходит мгновенно при нажатии кнопки, а текущее состояние сохраняется между переключениями

```
1  PROGRAM WindowManager
2  VAR_INPUT
3      Perehod_Controller: BOOL; // Переход на "Турбинный контроллер"
4      Perehod_TestSCHR:  BOOL; // Переход на "Тесты ЭСЧР"
5      Perehod_Structure:  BOOL; // Переход на "Структурную схему"
6  END_VAR
7
8  VAR_OUTPUT
9      bShowController: BOOL; // Показать окно контроллера
10     bShowTestSCHR:  BOOL; // Показать окно тестов
11     bShowStructure:  BOOL; // Показать структурную схему
12 END_VAR
13
14 VAR
15     // Для обработки фронтов нажатий
16     prev_Controller: BOOL;
17     prev_TestSCHR:  BOOL;
18     prev_Structure:  BOOL;
19 END_VAR
```

Рисунок 5.17 – Задание переменных подпрограммы «Переключение окон визуализаций»

На рисунке 5.18 представлено содержание программной части переключения между окон визуализации.

```
1 // Инициализация при первом запуске
2 IF FIRST_SCAN THEN
3     bShowController := TRUE; // По умолчанию показываем контроллер
4     bShowTestSCHR := FALSE;
5     bShowStructure := FALSE;
6 END_IF
7 // Обработка перехода на окно контроллера
8 IF Perehod_Controller AND NOT prev_Controller THEN
9     bShowController := TRUE;
10    bShowTestSCHR := FALSE;
11    bShowStructure := FALSE;
12 END_IF
13 // Обработка перехода на окно тестов
14 IF Perehod_TestSCHR AND NOT prev_TestSCHR THEN
15     bShowController := FALSE;
16     bShowTestSCHR := TRUE;
17     bShowStructure := FALSE;
18 END_IF
19 // Обработка перехода на структурную схему
20 IF Perehod_Structure AND NOT prev_Structure THEN
21     bShowController := FALSE;
22     bShowTestSCHR := FALSE;
23     bShowStructure := TRUE;
24 END_IF
25 // Сохранение предыдущих состояний для обработки фронтов
26 prev_Controller := Perehod_Controller;
27 prev_TestSCHR := Perehod_TestSCHR;
28 prev_Structure := Perehod_Structure;
29 END_PROGRAM
```

Рисунок 5.18 – Основной код подпрограммы «Переключение окон визуализаций»

6. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

Рассмотренные в данном проекте системы регулирования находятся в турбинном цехе Благовещенской ТЭЦ.

6.1 Безопасность

6.1.1 Техника безопасности при работе с регулирующими системами

Техника безопасности при работе с системами регулирования запрещает:

- прикасаться к подвижным и находящимся под напряжением частям системы;
- останавливать вручную двигающиеся механизмы;
- эксплуатировать неисправное оборудование, а также оборудование с неисправными или отключенными устройствами;
- опираться и становиться на корпуса механизмов и устройств, находящихся в работе;
- производить несанкционированные ремонтные или работы по обслуживанию систем.

Каждый сотрудник, работающий непосредственно с системами регулирования, если он сам не может принять меры к устранению нарушений правил, обязан немедленно сообщить вышестоящему руководству обо всех замеченных им нарушениях правил или неисправностях, представляющих опасность для жизни людей.

При несчастных случаях с людьми снятие напряжения для освобождения пострадавшего от воздействия электрического тока должно быть произведено без предварительного разрешения.

Производитель работ отвечает:

- за соответствие рабочего места нормам;
- за четкость и полноту инструктажа сотрудников;
- за наличие, исправность и правильное применение необходимых средств защиты, инструктажа, инвентаря и приспособлений;

- за безопасное проведение работ и соблюдение настоящих Правил ТБ;
- осуществляет постоянный надзор за сотрудниками.

Каждый рабочий обязан соблюдать настоящие Правила ТБ, а именно правилами по охране труда и эксплуатации электроустановок, Правилами техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей, Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, а также инструктивные указания, полученные при допуске к работе и во время работы, а также требования указаний по выполнению работ и местных инструкций по охране труда (далее по тексту все вышеперечисленные правила техники безопасности будут называться Правила).

Лица, нарушившие настоящие Правила, отстраняются от работ.

6.1.2 Безопасность при работе с гидравликой

В системе регулирования с использованием электромеханического привода «Диаконт ДА-99», используется маслонапорная установка высокого давления, таким образом необходимо рассмотреть технику безопасности при работе с гидравлическими системами, находящимися под высоким давлением.

При эксплуатации гидроприводов с высоким давлением (более 10 МПа) следует создать безопасные условия для обслуживающего персонала от поражения струей жидкости. Для этого необходимо ограждать кожухом все участки гидролиний, которые не заключены в общий корпус машины.

При обнаружении внешних утечек жидкости необходимо немедленно остановить насос и устранить утечки. Категорически запрещается для устранения утечек подтягивать соединения трубопроводов, штуцеры и т. п. при наличии высокого давления в гидросистеме.

Гибкие рукава и шланги не должны перекручиваться в процессе эксплуатации, что определяется по продольным надписям основных параметров (диаметра, давления и т. п.), наносимым на рукава заводами-изготовителями.

При обнаружении местных вздутий наружного покрова на рукавах и шлангах или появлении утечек, поврежденные участки должны быть немедленно заменены новыми.

Контроль за давлением в гидромагистрали осуществляется по манометру, установленному на насосной станции.

На шкале или корпусе манометра, постоянно показывающего давление в конкретной системе, должны быть выделены зоны, соответствующие наибольшему и наименьшему давлению в этой системе.

Запрещается эксплуатировать гидропривод высокого давления без манометра или при его неисправности.

Следует систематически проверять работу предохранительных клапанов. В случае отклонения давления срабатывания клапана от настроечного более чем на 10%, клапан должен быть заменен новым.

Запрещается настраивать клапаны в штатных условиях. Их настройка должна производиться только на специальных стендах. После настройки предохранительные клапаны и другая регулирующая гидроаппаратура должны быть опломбированы.

При работе с нефтяными маслами и другими жидкостями для гидроприводов необходимо соблюдение следующих правил безопасной работы. При длительной работе с маслами необходимо пользоваться перчатками или применять защитные мази, пасты для рук.

При вскрытии тары с маслом не применять инструменты, дающие при ударе искру. После окончания работы с маслами и перед принятием пищи необходимо вымыть руки теплой водой с мылом.

Не допускается эксплуатировать системы при возникновении хотя бы одной из следующих неисправностей, выход значения какого-либо параметра системы или устройства за пределы допустимого; появление повышенного шума, стука и вибраций в гидромоторах и насосах; появление наружных утечек жидкости; повреждение измерительных приборов и сигнальных устройств.

Не допускается эксплуатация манометра, если стрелка при его включении не возвращается к упорному штифту или, в случае отсутствия штифта, отклоняется от нулевого деления шкалы на значение, превышающее половину допускаемой погрешности, а также при любом повреждении манометра.

Не допускается производить подтягивание болтов, гаек и других соединений в системе, находящейся под давлением, и во время ее работы.

Элементы систем и устройств, разрегулировка которых может привести к аварийному состоянию, должны быть после регулировки запломбированы или заперты встроенным замком в соответствии с требованиями эксплуатационной документации.

Все вращающиеся и быстродвижущиеся элементы гидropневмоприводов, не помещенные в корпус машины, должны быть закрыты кожухами или иметь ограждения.

Не допускается эксплуатация гидромашин с заглушенным дренажным отверстием.

Лица, нарушившие настоящие Правила, отстраняются от работ.

6.1.3 Безопасность модернизированной системы регулирования

Проектируемая система управляет сложным и опасным объектом – турбоагрегатом, и должна иметь повышенную надёжность. В случае выхода из строя различных частей системы, может привести её к полному или частичному отказу. В случае отказа система защиты должна моментально остановить работу турбины.

Нужно отметить, что при отказе некоторых элементов системы, она останется функционировать. При выходе из строя ПК, система продолжит работать, однако невозможно будет управлять турбоагрегатом дистанционно, задавать вырабатываемую мощность и не будут отображаться необходимые его параметры.

Согласно Правилам технической эксплуатации частота электрической сети должна быть $50 \pm 0,1$ Гц во избежание самопроизвольного перераспределения мощности между потребителями, что может привести к значительным потерям

энергии и нарушению устойчивости системы вплоть до отключения отдельных потребителей.

При выходе из строя одного контроллера системы регулирования, выполнение программы автоматически продолжится на втором – резервном контроллере. При этом задержка переключения будет отсутствовать. При зависании всего блока ЭЧСР система безопасности отключит турбину.

В случае же выхода из строя системы контроля частоты вращения, турбоагрегат продолжит работу, находясь под управлением регулятора мощности, но, как только регулятор скорости включится, а произойдет это в случае рассогласования реальной частоты вращения с заданной, система защиты незамедлительно выключит турбину. Таким образом, можно считать, что, выход из строя системы контроля частоты вращения, приведет к полному отказу системы.

Выход из строя ЭМП Диаконт, приводит к полному отказу системы, так как воздействия на отсечные золотники моментально прекратятся, после чего система защиты закроет регулирующие клапана и остановит турбину. Так же, как и в случае падения давления или выхода из строя двигателя маслонапорной установки высокого давления.

При выходе из строя энкодеров сервомоторов низкого и высокого давления, система продолжит функционировать, при этом оповестив оператора о данной проблеме. Сигналы с энкодеров участвуют в процессе регулирования, но являются не обязательными, так как вносят только корректирующие данные. Так же, существует возможность недостоверных показателей датчиков активной мощности и датчиков давления на паровпуске и в отборах. Что бы этого избежать, необходимо вводить в программу регулирования специальные исключаяющие алгоритмы.

Измерительные преобразователи, использованные в проекте, выдают унифицированный сигнал 4 – 20 мА, что соответствует 0 – 100%, таким образом, показания меньше таких значений, соответствуют обрыву сигнального провода, что должно учитываться в алгоритмах работы.

6.1.4 Электробезопасность

Источником питающего напряжения является сеть переменного тока с напряжением 220 В, на которую распространяется ГОСТ 12.1.019-2017.

Для снижения вероятности возникновения аварийных ситуаций выполнены следующие рекомендации требований «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей»:

Подводка сети для подключения устройств трех проводная: ноль электропитания, фаза, защитное заземление;

Защитный заземляющий проводник не имеет выключателей и предохранителей, а также надёжно изолирован;

Исключена возможность доступа оператора к частям оборудования, работающим под опасным напряжением, неизолированным частям, предназначенным для работы при малом напряжении и не подключенным к защитному заземлению; Применена изоляция, служащая для защиты от поражения электрическим током, выполненная с применением прочного сплошного или многослойного изоляционного материала, толщина которого обусловлена типом обеспечиваемой защиты;

Устройства защищены от перегрузок по току, а также от короткого замыкания оборудования, встроенного в сеть здания.

Ввиду того, что места расположения операторских станций АСУ ТП известны заранее, помещение для расположения автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора в проектировании не нуждается.

Минимальная освещенность должна соответствовать зрительным условиям труда согласно гигиеническим нормам: на рабочей поверхности 300лк.

6.2 Экологичность

Работа с системами регулирования, рассмотренными в проекте, не сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких или твердых отходов. Так же он не требует использования ресурсов.

Утратившее работоспособность детали и компоненты передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования.

Кроме того, поддержание частоты и активной мощности турбоагрегата способствует повышению экологичности предприятия, так как оптимизирует расход двух энергоносителей: пара и угля, контролируя в последствии их выброс и способствуя разумному потреблению.

6.3 Чрезвычайные ситуации

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – состояние, в результате возникновения которого, возникает угроза жизни и здоровью людей, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природной среде.

В нашем случае в качестве ЧС рассматривается возникновение пожара. Под пожаром обычно понимают неконтролируемый процесс горения, создающий опасность для жизни людей и сопровождающийся уничтожением материальных ценностей. Пожар может принимать различные формы, однако все они, сводятся к химической реакции между горючими веществами и кислородом воздуха (или иным видом окислителя), возникающей при наличии инициатора горения или в условиях самовоспламенения.

Анализ пожарной опасности заключается в определении наличия горючих веществ и возможных источников поджига, вероятных путей распространения пожара, необходимых средств технической и конструктивной защиты, а также систем сигнализации и пожаротушения, имеющих параметры скорости и инерционности срабатывания, соответствующие динамике развития пожара на предприятии.

Противопожарные мероприятия предотвращения пожара разрабатываются исходя из требований об исключении источника зажигания и горючего вещества из системы, приводящей к возгоранию и пожару. Если источник зажигания и горючее вещество не могут быть изолированы, по условиям технологического процесса производства, объект должен быть обеспечен надежной системой противопожарной защиты.

Противопожарная защита на предприятии реализуется техническими (конструктивными) и пожарно-техническими мероприятиями и средствами. В зданиях и сооружениях необходимо предусмотреть технические средства (лестничные клетки, лифты, противопожарные стены, наружные пожарные лестницы, аварийные люки и т.п.), имеющие устойчивость при пожаре и огнестойкость конструкций не менее времени, необходимого для спасения людей при пожаре и расчетного времени тушения пожара.

Каждый объект должен иметь такое объемно-планировочное и техническое исполнение, чтобы эвакуация людей из него была завершена до наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара, а при нецелесообразности эвакуации была обеспечена защита людей в объекте. На каждом объекте должно быть обеспечено своевременное оповещение людей и(или) сигнализация о пожаре в его начальной стадии техническими или организационными средствами.

Требования к путям эвакуации.

Эвакуация людей - вынужденный процесс движения людей из зоны, где имеется возможность воздействия на них опасных факторов пожара.

Эвакуационный выход - выход, ведущий в безопасную при пожаре зону. Путь эвакуации - безопасный при эвакуации людей путь, ведущий к эвакуационному выходу.

Требования СНиП 2.01.02-85 «Противопожарные нормы»:

Эвакуационные пути должны обеспечивать безопасную эвакуацию всех людей, находящихся в помещениях зданий, через эвакуационные выходы. Выходы наружу допускается предусматривать через тамбуры. При устройстве эвакуационных выходов из двух лестничных клеток через общий вестибюль, одна из лестничных клеток кроме выхода в вестибюль должна иметь выход непосредственно наружу. Из зданий, с каждого этажа и из помещения следует предусматривать не менее двух эвакуационных выходов.

Ширина путей эвакуации в свету должна быть не менее 1 м, дверей не менее 0,8 м. Высота прохода на путях эвакуации должна быть не менее 2 м.

В общих коридорах не допускается предусматривать устройство встроенных шкафов, за исключением шкафов для коммуникаций и пожарных кранов.

Высота дверей в свету на путях эвакуации должна быть не менее 2 м. Высота дверей и проходов, ведущих в помещения без постоянного пребывания в них людей, а также в подвальные, цокольные и технические этажи, допускается уменьшать до 1,9 м, а дверей, являющихся выходом на чердак или бесчердачное покрытие, - до 1,5 м.

Наружные эвакуационные двери зданий не должны иметь запоров, которые не могут быть открыты изнутри без ключа.

Двери лестничных клеток, ведущие в общие коридоры, двери лифтовых холлов и тамбуров-шлюзов должны иметь приспособления для самозакрывания и уплотнения в притворах и не должны иметь запоров, препятствующих их открыванию без ключа.

Ширина марша лестницы должна быть не менее ширины эвакуационного выхода (двери) в лестничную клетку.

Ширина лестничных площадок должна быть не менее ширины марша, а перед входами в лифты с распашными дверями – не менее суммы ширины-марша и половины ширины двери лифта, но не менее 1,6 м.

В световых проемах лестничных клеток, заполненных стеклоблоками, следует предусматривать открывающиеся фрамуги площадью не менее 1,2 квадратного метра на каждом этаже.

Требования СНиП 2.02-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений».

Выходы являются эвакуационными, если они ведут:

а) из помещений первого этажа наружу: через коридор; непосредственно; через вестибюль (фойе); через коридор и вестибюль (фойе); через лестничную клетку; через коридор и лестничную клетку;

б) из помещений любого этажа, кроме первого: непосредственно в лестничную клетку или на лестницу 3-го типа; в холл (фойе), имеющий выход

непосредственно в лестничную клетку или на лестницу 3-го типа; в коридор, ведущий непосредственно в лестничную клетку или на лестницу 3-го типа;

в) в соседнее помещение (кроме помещения класса Ф5 категории А и Б) на том же этаже, обеспеченное выходами, указанными в «а» и «б»; выход в помещение категории А или Б допускается считать эвакуационным, если он ведет из технического помещения без постоянных рабочих мест, предназначенного для обслуживания вышеуказанного помещения категории А или Б.

Количество и общая ширина эвакуационных выходов из помещений, с этажей и из зданий, определяются в зависимости от максимального числа эвакуирующихся через них людей, и предельно допустимого расстояния от наиболее удаленного места возможного пребывания людей (рабочего места) до ближайшего эвакуационного выхода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассмотрены технические характеристики турбоагрегата Т110/120-130 №2, действующего на БТЭЦ кратко описан технологический процесс, а также представлены возможные решения по модернизации СРЧМ турбины с учетом сложившейся экономической ситуацией в стране. На основе описанного технологического процесса разработана функциональная схема автоматизации СРЧМ.

Проведен подбор ТСА для модернизации систем регулирования СРЧМ ТА №2 БТЭЦ в двух вариантах: уже действующий на аналогичной турбине №3, а также с помощью использования двигателя постоянного тока. Разработана принципиальная электрическая схема, в которой приведены подключения датчиков и ИМ к ПЛК REGUL R500. Разработаны алгоритмы программ для запуска СРЧМ, а также алгоритмы защит для функционирования оно, кроме того, создана SCADA-система, повторяющая функционал существующей системы, работающей на ПТК «Ovation 3.5».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 21.208-2013. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах – Введ. 2014-11-01. – М: из-во стандартов, 2014. – 28 с.
2. ГОСТ 21.408-2013. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов – Введ. 2014-11-01. – М: из-во стандартов, 2014. – 42 с.
3. Бойко, Е. А. Тепловые электрические станции: учебное пособие для вузов / Е. А. Бойко, К. В. Баженов, П. А. Грачев. - Красноярск: Энергетик, 2006. - С. 74-81.
4. Веллер, В. Н. Регулирование и защита паровых турбин: учебное пособие / В. Н. Веллер. — Москва: Энергоатомиздат, 1985. — 103 с.
5. 5. Иванов, В. А. Регулирование энергоблоков: учебное пособие / В. А. Иванов. — Ленинград: Машиностроение, 1984. — С. 119-124.
6. Официальный сайт компании «ЭЛЕМЕР» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.elemer.ru. – 14.05.2025.
7. Информационная система для обеспечения участия в ОПРЧ Благовещенской ТЭЦ / Д.А. Теличенко, Н.С. Безруков // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: Сборник трудов X Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2022. – С. 221-228.
8. Бравин, Л. С. Автоматизация крупных тепловых электростанций: учебное пособие / Л. С. Бравин, В. Н. Охотин, Д. И. Рабкина, М. Д. Трахтенберг, М. П. Шальман – Москва: Энергия, 1974– с. 92-93.
9. Трухний, А.Д. Стационарные паровые турбины: учебное пособие / А.Д. Трухний – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – с. 636.
10. Официальный сайт АО «Диаконт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// www.diakont.ru](https://www.diakont.ru). –14.05.2025.

11. Официальный сайт АО «DNru» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dn.ru/>. – 22.05.2025.
12. Официальный сайт ООО «Вибробит» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vibrobit.ru>. – 21.05.2025.
13. Официальный сайт ООО «Электропривод» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://electroprivod.ru>. – 21.05.2025.
14. Официальный сайт ООО «Энергоприбор» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energopribor.net/>. – 21.05.2025.
15. Баринберг, Г.Д. Паровые турбины и турбоустановки Уральского турбинного завода / Г.Д. Баринберг. – М.: Априо, 2010. – 488 с.
16. Благовещенская ТЭЦ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://blgtec.ru/>. – 02.05.2025.
17. «Техническое задание ЭЧСР ТА3 R3.7», разработанное для ПТК турбоагрегата №3 Благовещенской ТЭЦ для обеспечения общего первичного регулирования. – 124 с.
18. «235421.01.61000.ИОС.7.2 «Пояснительная записка», разработанная для ПТК турбоагрегата №3 Благовещенской ТЭЦ.-124 с.
19. «235421.01.61000.ИОС.7.2.5 «Перечень входных и выходных сигналов», разработанный для ПТК турбоагрегата №3 Благовещенской ТЭЦ.-124 с.
20. «235421.01.61000.ИОС.7.2.МО.1 САРЧМ Описание алгоритмов», разработанный для ПТК турбоагрегата №3 Благовещенской ТЭЦ.-124 с.
21. Официальный сайт АО «Системный Оператор» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.so-ups.ru/>. – 31.05.2025.
22. 235421.01.61000.АТХ.2.В4.1 Спецификация оборудования изделий и материалов КИПиА_Rev.3 №2
23. Официальный сайт АО ПГ «Метран» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.metran.ru/>. – 29.05.2025.

24. Теличенко, Д.А. Обеспечение гарантированного участия в ОПРЧ для турбоагрегата Т-110/120-130 ТЭЦ/ Д.А. Теличенко // Информатика и системы управления. – 2025. – №2(84) – С. 128-137.

25. «235421.01.61000.ИОС.7.2.МО.1 САРЧМ Описание алгоритмов», разработанный для ПТК турбоагрегата №3 Благовещенской ТЭЦ.-124 с.

26. «ИЭ-02-06-30-2019 Инструкция по эксплуатации ПТК ЭЧСР Турбины Т-110/120-130-4 ст.№3» -35с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА РАЗРАБОТКУ

Техническое задание на разработку.

Техническое задание разработано согласно требованиям ГОСТ-34.602- 89.

1. «Общие сведения»

Данная выпускная квалификационная работа посвящена модернизации системы регулирования частоты и мощности турбоагрегата Т110/120-130 Благовещенской ТЭЦ. Суть работы заключается в том, чтобы модернизировать имеющееся на турбоагрегате оборудование под современные реалии с условием, что практически все компоненты системы, а именно исполнительные механизмы, датчики и контроллеры, были отечественного производства.

В ходе выполнения работы, требуется разработать структурную схему и принципиальную схему системы, составить алгоритм программы запуска и диагностики, разработать электрические принципиальные схемы, подходящие под специфику подхода к автоматизации системы, написать программу для контроллера, провести компиляцию и отладку и разработать SCADA-систему СРЧМ

Срок начала выполнения работы – 05.02.2025

Срок окончания выполнения работы – 28.06.2025

2. «Назначение и цели создаваемой системы»

Цель системы – стабильное регулирование частоты вращения ротора турбины и активной мощности путем регулирования воздействия перегретого пара в цилиндр высокого давления с помощью регулирующих клапанов и поворотной диафрагмы.

Проект главным образом разрабатывается для изучения новых подходов к автоматизации действующей турбины, а также в целях импортозамещения оборудования, в том числе принципиально новых решений отечественной компании «Прософт Системы».

В процессе работы были получены знания и навыки в области разработки систем управления на основе программируемых логических контроллеров. Для этого были выполнены проектирование, подключение и программирование оборудования серии «Regul», а также работа с программным обеспечением Astra IDE для разработки SCADA-систем.

3. Характеристика объекта автоматизации

Устройство предназначено для работы в сухом помещении при температуре от +1°C до +50°C, а также в воздухе не должно присутствовать веществ, вызывающие коррозию металлических материалов.

4. Требования к системе

В системе необходим один ПЛК и нужное количество модулей ввода-вывода.

ПЛК будет работать в стандартном режиме, кроме того, необходимы датчики положения, скорости вращения, линейного перемещения, давления, температуры и активной мощности, а также исполнительные механизмы, такие как соленоиды, электромеханический привод и преобразователи частоты, либо же процессор работы для двигателя постоянного тока, если рассматривать альтернативное исполнение.

5.«Состав и содержание работ по созданию системы»

В таблице 1 представлены сроки выполнения работы по разделам.

Таблица 1 – График сдачи и проработка соответствующих разделов

Дата	Название	Содержание
05.02.2025	Предварительная работа	Обсуждение плана работ, уточнение задач на разработку, ТЗ, предварительное содержание, литературный и патентный поиск

10.02.2025	Раздел 1 ДП	Описание объекта автоматизации (о предприятии, о задаче, задачи подлежащие автоматизации)
24.02.2025	Раздел 2 ДП	Концептуальное проектирование системы: разработка структурных и функциональных схем с детальным анализом; итог должен помочь спроектировать эл.схему и выбрать контроллер
09.03.2025	Раздел 3 ДП	Изучение сетевого подключения оборудования
23.03.2025	Раздел 4 ДП	Разработка SCADA-системы проекта
06.04.2025	Раздел 5 ДП	Разработка программы проекта
20.04.2025	Раздел 6 ДП	Изучение документов по безопасности и экологичности и составление раздела
20.05.2025	Листы + Оформление ДП	Оформление листов и ДП
14.06.2025	Проверка раздела по безопасности	Сдача раздела по безопасности на проверку
16.06.2025	Проверка на антиплагиат	Сдача работы для проверки на антиплагиат
17.06.2025	Проверка работы и предварительная защита	Устранение замечаний и предзащита проекта
28.06.2025	Очная защита	

6 «Порядок контроля и приёмки системы»

Для проверки работоспособности устройства, должен быть выполнен ряд процедур, а именно:

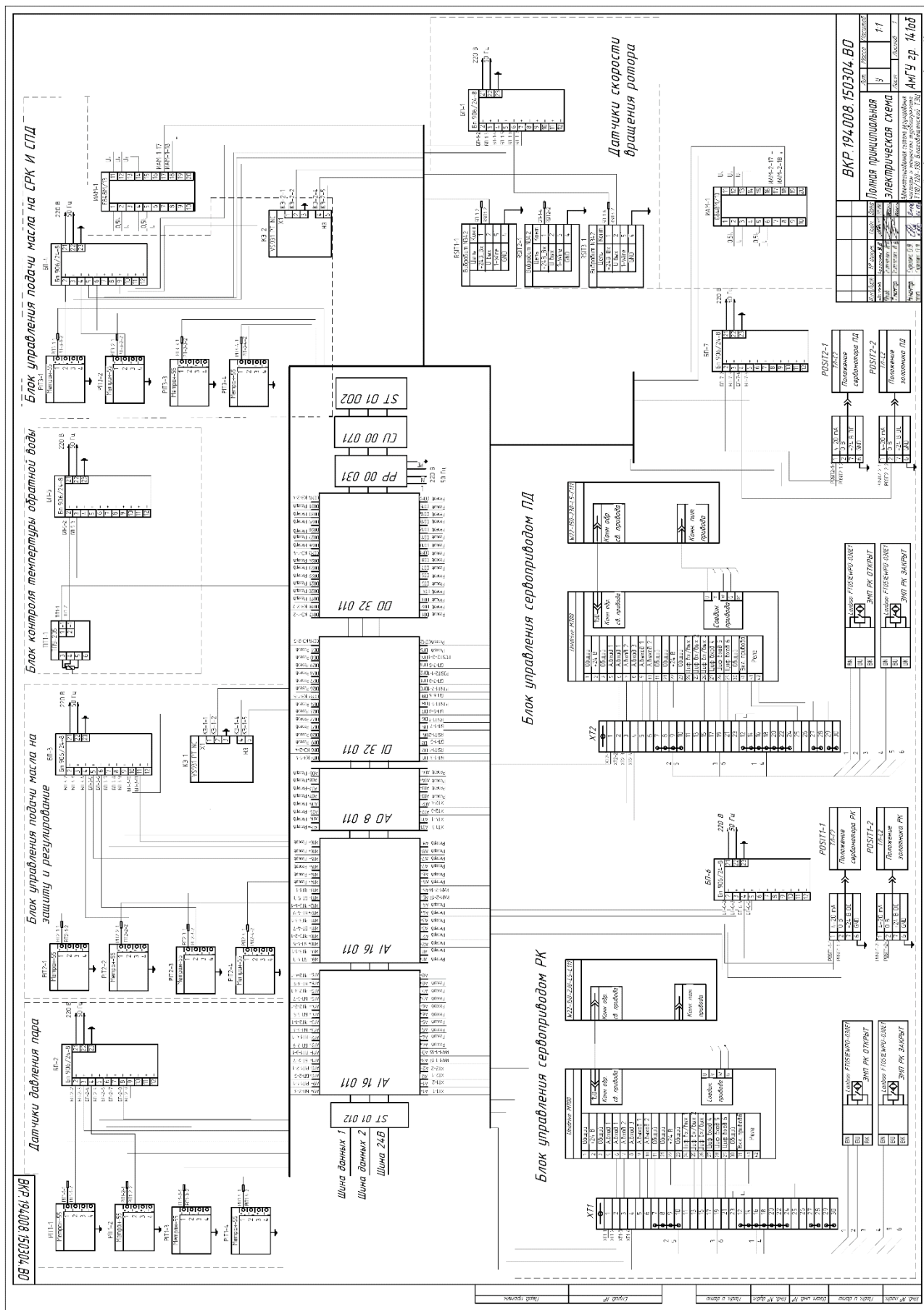
А) Создание проекта;

Б) Создание визуализации и написание кода программы

- В) Компиляция написанной программы;
- Г) Пошаговая отладка программы со слежением за правильностью выполнения алгоритма программы;
- Д) Тестирование работы в симуляционной среде
- Д) Предварительная защита работы;
- Е) Ввод в эксплуатацию.

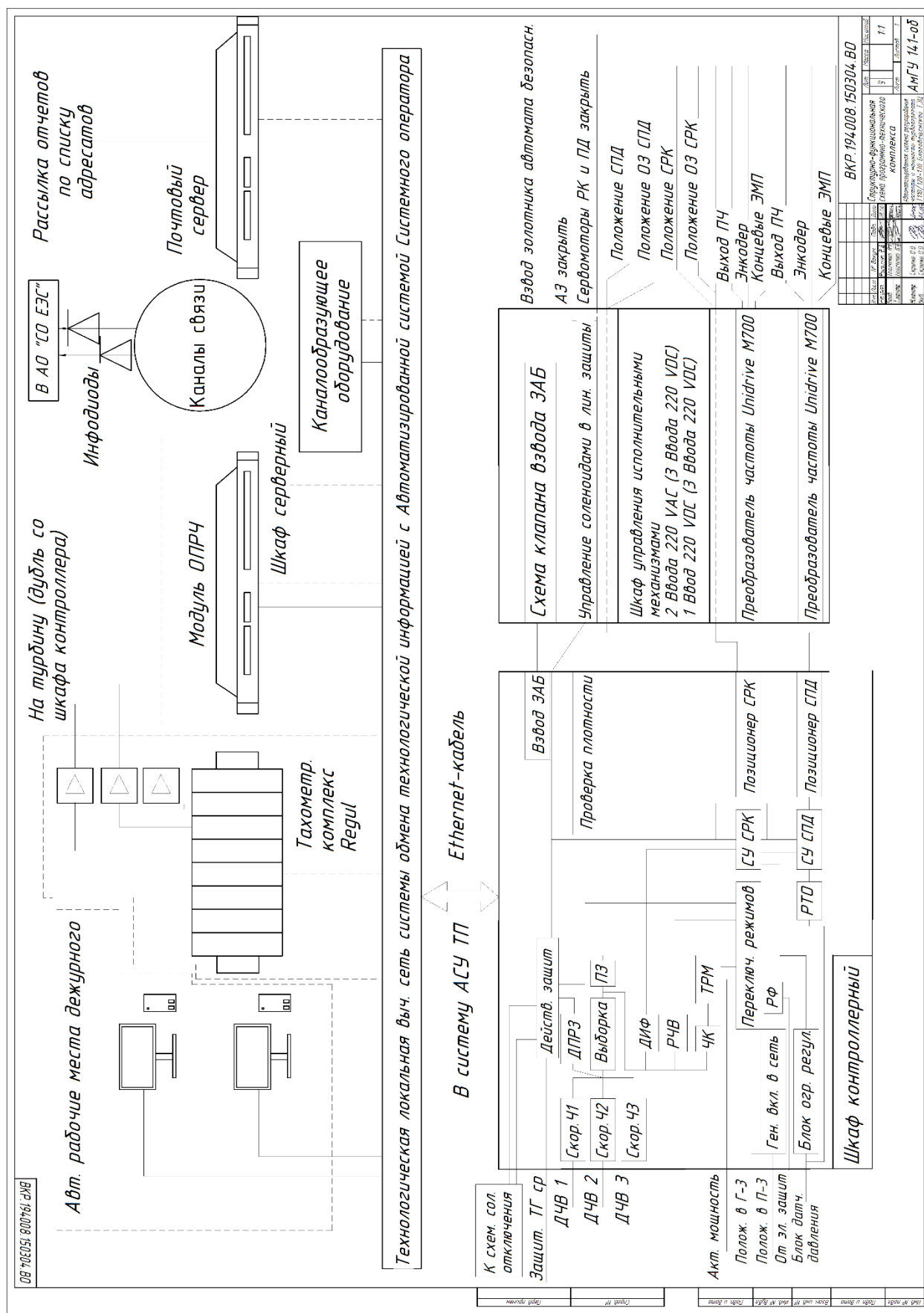


Принципиальная электрическая схема СРЧМ





Структурно-функциональная схема программно-технического комплекса



Визуализация разработанной SCADA-системы в среде разработки Astra IDE

ВКР 194.008.150304.В0

СИГНАЛИЗАЦИЯ

ЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ

Видеограмма "Турбинный контроллер"

Выбор регуляторов

Регулятор скорости

Регулятор давления

Регулятор расхода

Регулятор температуры

Остаток

Регулятор скорости

Дат. Сб/мин

Задат. Сб/мин

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор давления

Дат. кг/с²

Задат. кг/с²

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор мощности

Дат. МВт

Задат. МВт

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Степени управления СРК

Задание

Умножение отклонения Р/А

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Автоматический пуск турбины

Тип ПСМА Турбины

Скорость

Температура

Горючий

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Генераторная цепь

Сторонний источник энергии

Организация СРТ на актив

Частотный порог

Зона чувствительности

Степень

Изменение частоты, 1/с

Изменение давления, кг/с

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

ТЕМП.

СТОП

СТАРТ

Регулятор для защиты в ТФО

Р. пара в ТФО отбора, кг/ч

Цель

