

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА АВТОМАТИКИ

На правах рукописи

УДК 681.5

БАЛКАЯ ЯВУЗ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
РЕГУЛЯТОРА ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РУС-01 ВВЭР-1000 НА БАЗЕ
ПТК ТПТС НТ

Выпускная квалификационная работа специалиста

Специальность 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Выпускная квалификационная работа
защищена «___» _____ 2022 г.

Оценка _____

Секретарь ГЭК _____

г. Москва

2022

Студент-дипломник Балкая Явуз

(подпись)

(ФИО)

*Руководитель ВКР

ст. преподаватель

(должность)

(подпись)

Лобашев Д.А.

(ФИО)

М.П.

Консультант _____

(должность)

(подпись)

(ФИО)

*Рецензент _____

(должность)

(подпись)

(ФИО)

М.П.

Зав. кафедрой, д.т.н.

(подпись)

Кишкин В.Л.

(ФИО)

Подписи руководителя и рецензента заверяются отделом кадров соответствующего предприятия.

РЕФЕРАТ

Объём пояснительной записки 84 страниц, рисунков 34, таблиц. 1, источников 9.

MATLAB, MWBRIDGE, DISPLAY, АЛГО ВУ

Цель работы: разработать структурные математические модели объекта управления, регулирующего органа и системы управления. Назначение: выполнение заданной программы регулирования уровня в расширителе продувки парогенератора ВВЭР-1000. Регулируемый параметр – уровень в расширителе. В основу работы положен сравнительный анализ динамических свойств различных схем АСР. По результатам этого анализа были сделаны выводы о преимуществах и недостатках тех или иных вариантов построения АСР и выбрана наиболее эффективная схема.

На MATLAB сформирована система регулирования и получены коэффициенты объекта управления. С помощью полученных коэффициентов смоделирована система управления уровня в расширителе продувки парогенератора в MWBridge. В MWBridge и на MATLAB смоделирована система в виде апериодического звена и получены графики для без регуляторной системы. Регулятор, который реализован ПИ законом, смоделирован с помощью Алго Ву (MWBridge). Налажена периферийная связь между объектом управления и регулятором. На MATLAB построена система управления уровня в расширителе с регулятором. С помощью изменения пропорциональных и интегрирующих коэффициентов, получены разные графики с разными характеристиками. После реализации регулятора, чтобы поменять уставку системы и коэффициенты регулятора и даже наблюдать регулирующую величину, значение выхода регулятора смоделирован человеко-машинный интерфейс на Display. Создана связь между MWBridge и Display. Значение регулирующей величины и значений уставки построены на графике человеко-машинном интерфейсе. Уставка по уровню задается из человеко-машинного интерфейса.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
Глава 1	10
1.1 Теоретические основы необходимости продувки ПГ	10
1.2 Типы регуляторов на АЭС	10
1.2.1 Регулятор давления в первом контуре	11
1.2.2 Регулятор уровня теплоносителя в компенсаторе давления	11
1.2.3 Регулирование уровня воды в парогенераторе	12
1.2.4 Регулирование давления пара во втором контуре (БРУ-К).....	13
1.3 Расширитель продувки парогенераторов	18
1.4 Регулятор уровня в расширителях продувки ПГ	23
1.5 Постановка задачи	34
Глава 2	36
2.1 Программно-технические средства ТПТС- ЕМ.....	36
2.2 Приборные стойки	38
2.2.1 Виды функциональных модулей	42
2.2.2 Устройство функциональных модулей.....	43
2.3 Служебные модули.....	47
2.4 Стойки питания	48
2.5 Стойки сопряжения	50
2.6 Средства Коммуникации.....	52
2.6.1 Шина EN	52
2.6.2 Интерфейсные модули	53
2.6.3 Коммутаторы	54
Глава 3	56
3.1 Контур автоматического регулирования систем	56
3.2 Описание объекта управления	57
3.3 Представление объекта управления в виде разностных уравнений	59
3.4 Программа MikBASIC базы данных реального времени MWBridge.....	60

3.5 Результаты моделирования объекта управления в среде реального времени	63
Глава 4	66
4.1 Реализация регулятора на Алго Ву	66
4.2 Графики ПИ регулятора	67
4.3 Реализация регулятора на MATLAB	77
4.4 Человеко-машинный интерфейс	78
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	81
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	82



ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АРМР	–	автоматический регулятор мощности реактора
АСУ ТП	–	автоматизированная система управления технологическими процессами
АЭС	–	атомная электростанция
БН	–	реактор на быстрых нейтронах
БРУ	–	быстродействующие редукционные установки
ВВЭР	–	водо-водяной энергетический реактор
ГПК	–	главный предохранительный клапан
ГЦК	–	главный циркуляционный контур
ГЦН	–	главный циркуляционный насос
ГЦТ	–	главный циркуляционный трубопровод
ИМ	–	исполнительный механизм
ИПУ	–	импульсно-предохранительные устройства
КД	–	компенсатор давления
ОУ	–	объект управления
ПГ	–	парогенератор
ПТК	–	программно-технический комплекс
РБМК	–	реактор большой мощности канальный
РУ	–	реакторная установка
САПР	–	система автоматизированного проектирования
СВБУ	–	система верхнего блочного уровня
СКУ НЭ	–	система контроля и управления нормальной эксплуатации
СКУ РО	–	система контроля и управления реакторного отделения
ТП	–	технологический процесс
ТПТС	–	технологические программно-технические средства
ТЭН	–	термоэлектрические нагреватели
УСБ	–	управляющая система блокировки

ВВЕДЕНИЕ

Атомная энергия - один из важнейших источников энергии сегодня и в будущем. Вместо нефти и природного газа, которые являются не возобновляемыми источниками энергии, страны инвестируют в возобновляемые источники энергии, такие как ядерная энергия. Сегодня более 400 АЭС в эксплуатации в разных странах мира. Благодаря тому, что это экологически чистый и возобновляемый источник энергии, определенно считается, что в ближайшие годы это число увеличится. 15 процентов всей потребляемой мощности (2250 тераватт в час) обеспечивается ядерной энергией.

В США действует 99 АЭС, которые обеспечивают 19,3 процента вырабатываемой электроэнергии. Во Франции 58 (71,7 % от вырабатываемой электроэнергии), в Китае 46 (4,2% от вырабатываемой электроэнергии), в России 37(17,9% от вырабатываемой электроэнергии), в Южной Корее 24 (23,7% от вырабатываемой электроэнергии), в Канаде 19 (14,9% от вырабатываемой электроэнергии), в Украине 15 (53,0% от вырабатываемой электроэнергии), в Германии 7 (11,7% от вырабатываемой электроэнергии), в Великобритании 15 (17,7 % от вырабатываемой электроэнергии), в Швеции 8 (40,3 % от вырабатываемой электроэнергии) АЭС. [1]

Этот список может показать нам, насколько велика роль ядерной энергии в мире. В результате прошедшего времени и развития технологий в странах были разработаны разные типы АЭС. После всех этих технологических разработок сейчас находятся в эксплуатации несколько типов АЭС.

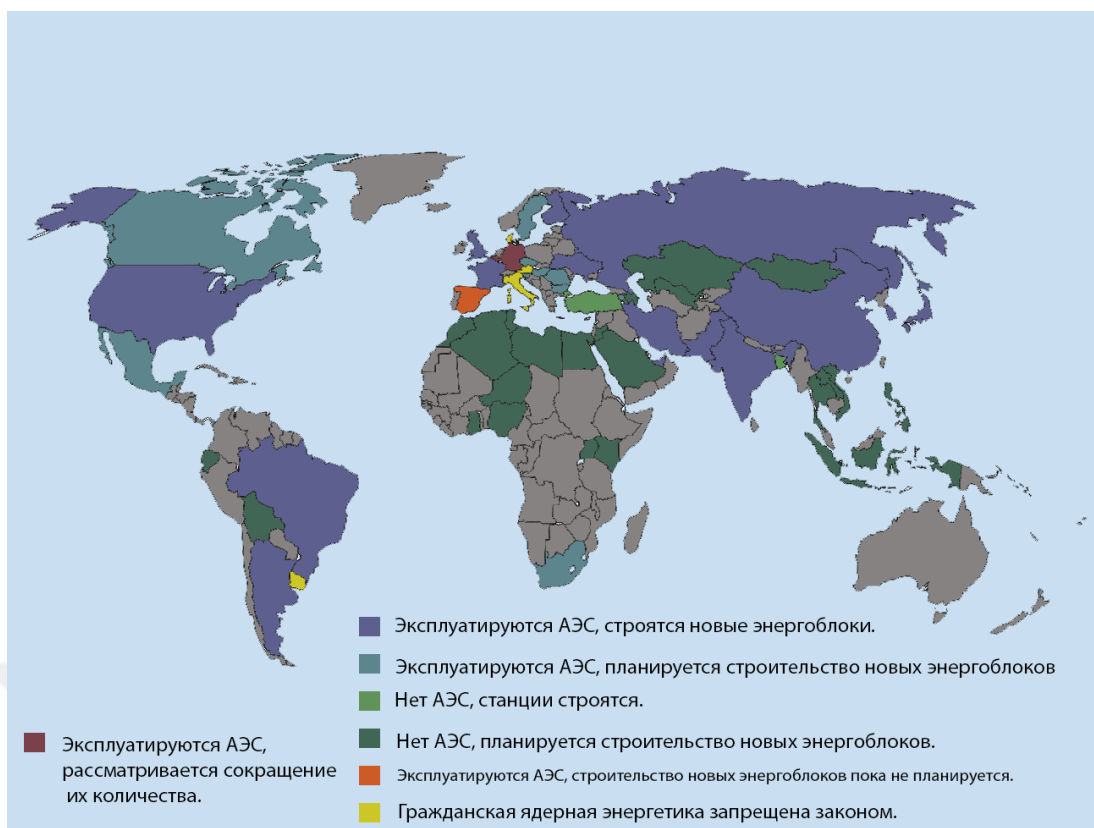


Рисунок 1-Мировая карта ядерных реакторов

В Российской Федерации, одной из пионеров атомной энергетики, действуют 3 основных АЭС;

1. РБМК – реактор на тепловых нейтронах, водографитовый;
2. ВВЭР – реактор на тепловых нейтронах корпусного типа;
3. БН – реактор на быстрых нейтронах с жидкометаллическим натриевым теплоносителем.

Основные разновидности реакторов составляют:

У каждого типа реактора есть уникальная конструкция, которые отличают его от разных реакторов, хотя, некоторые элементы конструкции похожие на других типов.

Сравнивая различные ядерные реакторы, остановимся на двух наиболее используемых в России и в мире: ВВЭР и РБМК. ВВЭР – корпусной реактор, давление в нем держится корпусом реактора, теплоносителем и замедлителем является одна и та же вода. РБМК – канальный реактор, давление держится независимо в каждом канале, замедлителем является графит, а теплоносителем – вода. Из-за разного строения активных зон параметры

работы у этих реакторов также разные. Главное преимущество реакторов ВВЭР перед РБМК состоит в их большей безопасности.[2]

Активные зоны этих АЭС отличаются, как и их конструкция. Безопасность и надежность ВВЭР- по сравнению с РБМК- особенность, которые делают его уникальным.

Основными требованиями АЭС являются:

- безопасность;
- надежность;
- эффективность;
- экономичность.

ВВЭР обеспечивает все эти требования. Одним из важнейших факторов, позволяющих иметь все эти характеристики, является парогенератор.

Парогенератор (ПГВ-1000) - теплообменный аппарат на АЭС (ВВЭР 1000), вырабатывающий водяной пар с давлением выше атмосферного за счет тепла теплоносителя первого контура, поступающего из активной зоны АЭС. Давление теплоносителя может достигать до 15,6 МПа, при скорости воды в трубе 4,2 м/с. Теплоноситель поступает в парогенератор с температурой 320 °С и выходит с температурой 290 °С. Пар выходит из парогенератора с 6,27 МПа и температурой 278 °С.

Чтобы увеличить надежность, безопасность и эффективность продувка парогенераторов необходима на ВВЭР1000, а для продувки предназначена система RY. Это система состоит из 2 расширителей. (RY10B01 и RY10B02)

Глава 1

1.1 Теоретические основы необходимости продувки ПГ

Допустимая величина отложений на трубчатке ПГВ 150 г/м^2 (толщина-60 мкм) и предположении, что отложения состоят из магнетита и имеют пористость 50%, расчетное значение кратности упаривания достигает трех порядков, а при отложениях $300\text{-}400 \text{ г/м}^2$, достаточно часто встречающихся на практике, нельзя не считаться с возможностью упаривания с кратностью 5-6 порядков. Особую роль в коррозионном повреждении коллекторов ПГВ играют зоны недовальцовки теплопередающих трубок в корпусе коллектора, образующие щелевые зазоры. Если они к тому же покрыты пористыми отложениями, то могут стать идеальным местом возможного концентрирования агрессивных примесей.

При концентрировании наиболее типичных примесей воды парогенераторов - хлоридов и сульфатов, в частности, двойной соли $(\text{NH}_4)\text{NaSO}_4$, весьма характерной для принятого до настоящего времени гидразинного режима, последняя подвергается гидролизу с образованием кислой среды. Снижение pH в щелях, зазорах и под отложениями в присутствии активаторов коррозии хлора и сульфатов резкого возрастания скорости коррозионных процессов, наличие же напряжений в конструкционных материалах многократно ускоряет этот процесс с концентрациями до $10\text{-}30 \text{ мг/кг}$ создал условия для резкого возрастания скорости коррозионных процессов, наличие же напряжений в конструкционных материалах многократно ускоряет этот процесс.

1.2 Типы регуляторов на АЭС

Регуляторы, оказывающие непосредственное влияние на выработку электроэнергии на АЭС, являются основными регуляторами станции. Регуляторы реализуются в основном на базе средств ТПТС.

1.2.1 Регулятор давления в первом контуре

Данный регулятор предназначен для выполнения заданной программы регулирования давления в первом контуре АЭС. Выходное значение давления из реактора является регулируемым параметром. Закон регулирования регулятора давления - пропорциональный. Исполнительным органом является инжекторный клапан управления. Входными сигналами являются выходное значение давления из реактора и уровень открытия впрыскивающего клапана управления. Регулирующий клапан на линии впрыска охлаждающей жидкости открывается в зависимости от величины давления при работе на мощности КД. (Полное открытие клапана - 16,7 МПа, полное закрытие при 16,5 МПа)

1.2.2 Регулятор уровня теплоносителя в компенсаторе давления

Этот регулятор предназначен для поддержания заданного уровня в КД в зависимости от средней температуры теплоносителя в первом контуре АЭС. Уровень теплоносителя в КД является регулируемым параметром. Закон регулирования регулятора - пропорционально-интегральный. Клапаны управления на питающей линии попытки контура являются исполнительными органами. Следующие регуляторы необходимы для регулирования уровня теплоносителя в КД;

- при работе на мощности – штатным регулятором уровня;
- в режимах пуска и останова – пуско-остановочным регулятором;
- Следующие аналоговые сигналы поступают на вход штатного регулятора уровня;
- уровень в КД;
- средняя температура теплоносителя горячих и холодных петель I контура;
- расходы продувки и подпитки I контура.

На вход пуско-остановочного регулятора уровня поступают аналоговые сигналы:

- уровень в КД;

- расходы подпитки и продувки первого контура.[2]

Сигнал средней температуры формируется по сигналам термопар на горячих и на холодных нитках петель I контура. Значение задания штатному регулятору уровня в КД является функцией средней температуры теплоносителя I контура. Значение задания пусковому регулятору уровня в КД определяется уставкой, выбранной оператором.

1.2.3 Регулирование уровня воды в парогенераторе

Регулятор уровня воды в парогенераторе служит для поддержания номинального уровня воды в ПГ. Он используется при расходах питательной воды от 15–20 до 100 % от номинального значения, при расходах питательной воды менее 15–20 % пуско-остановочный регулятор.

Закон регулирования регулятора (основного и пуско-остановочного регуляторов) - пропорционально-интегральный.

Закон регулирования пуско-остановочного регулятора уровня обуславливается введением обратной связи по положению пуско-остановочного клапана через реально-дифференцирующее звено.

Уровень воды в парогенераторе является регулируемым параметром.

Входные сигналы для основного регулятора уровня; уровень воды в ПГ, расход питательной воды, заданный уровень воды в ПГ, расход пара из ПГ.

Входные сигналы для пуска-остановочного регулятора уровня; уровень воды в ПГ, заданный уровень воды в степень открытия пуска-остановочного регулирующего клапана.

Исполнительными органами являются: основной регулирующий клапан и пуска-остановочный регулирующий клапан на байпасе основного клапана. Включение основных регуляторов на поддержание уровня в парогенераторах производится по факту увеличения расхода питательной воды выше 20 % от номинального, включение пуска-остановочных регуляторов – по факту снижения расхода питательной воды ниже 15 % от номинального.

1.2.4 Регулирование давления пара во втором контуре (БРУ-К)

При сбросах и набросах нагрузки отклонения давления во втором контуре в допустимых пределах должны ограничиваться:

- автоматическим регулятором мощности реактора АРМР;
- при значительном повышении давления – путем сброса пара из парогенератора через БРУ-К, БРУ-А, САР ПГ;
- при понижении давления – работой ЭЧСР.

Регулятор давления пара БРУ-К предназначен для регулирования давления в ГПК за счет сброса свежего пара в конденсатор турбины.

давление пара в ГПК является регулируемым параметром.
Исполнительный орган: регулирующий клапан БРУ-К.

Входные сигналы:

- давление пара в ГПК;
- заданное давление пара;
- величина ступенчатой разгрузки турбины;
- положение регулирующего клапана.

БРУ-К должна осуществлять:

- сброс пара из ГПК в конденсатор турбины с целью ограничения давления в ГПК или снижения скорости роста давления (в пределах пропускной способности БРУ-К) с последующим поддержанием заданного давления в режимах энергоблока без запрета на сброс пара в конденсатор турбины (стерегущий режим работы БРУ-К);
- сброс пара в конденсатор турбины в режимах пуска и расхолаживания энергоблока с целью поддержания заданного давления в ГПК (режим авторегулирования).

Выбор режима работы БРУ-К осуществляется оператором. В стерегущем режиме при полностью закрытых в течение 20 с клапанах БРУ-К, вводится запрет открытия клапанов, который снимается в следующих случаях:

- при повышении давления пара в ГПК до 7,3 МПа;
- по сигналу «Сброс нагрузки». Если величина разгрузки менее 20%, то сигнал «Сброс нагрузки» не формируется.

Закон регулирования: пропорциональный за счёт введения отрицательной обратной связи по положению регулирующего органа. При давлении выше заданного на 0,4 МПа и более степень открытия по статической характеристике составляет 100 %. Давлению, равному заданному и менее заданного соответствует полное закрытие клапана по статической характеристике. При поступлении сигнала «Сброс нагрузки» к сигналу разбаланса по давлению добавляется дополнительная составляющая ΔN , пропорциональная величине сброса нагрузки, что приводит к дополнительному открытию клапанов БРУ-К. Регулирование расхолаживания компенсатора давления

Регулятор расхолаживания КД предназначен для поддержания заданной разности температур теплоносителя в КД и в горячих нитках петель в режимах разогрева-расхолаживания РУ. Заданное (номинальное) значение разности температур $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Заданная точность регулирования $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Входными сигналами для регулятора расхолаживания КД являются:

- максимальная температура горячих ниток петель;
- температура теплоносителя в КД;
- заданное значение разности температур. Исполнительным механизмом является регулирующий клапан «тонкого» впрыска в КД.

Управление и контроль исполнительными механизмами регуляторов может осуществляться с дисплея и дистанционно с панели управления СИУР.

В SKU РО имеются следующие регуляторы:

- Регулятор разности температур между теплоносителем в горячих нитках петель и в компенсаторе давления в режиме планового расхолаживания УР04.

- Регулятор давления в I контуре (над активной зоной) YPC05;

- Регулятор давления в I контуре (над активной зоной) YPC01;

Назначение: поддержание заданного давления над активной зоной во всех эксплуатационных режимах с помощью АР YPC01, YPC05 и разности температур теплоносителя в КД и в горячих нитках петель в режимах разогрева и расхолаживания с помощью АР YPC04.

- Регулятор уровня в компенсаторе давления, штатный YPC02;

Штатный регулятор YPC02 поддерживает уровень в КД в зависимости от средней максимальной температуры теплоносителя в циркуляционных петлях I контура, а также от материального баланса теплоносителя I контура.

- Регулятор уровня в компенсаторе давления, пусковой YPC03;

Пусковой регулятор YPC03 поддерживает заданное значение уровня в КД в режимах пуска и расхолаживания.

- Регулятор расхода продувочной воды на фильтры СВО низкого давления ТКС01 и регулятор давления перед клапанами продувки (гидравлика) ТКС02;

Поддерживает заданный расход продувочной воды из I контура на СВО-2 во всех эксплуатационных режимах и заданного давления перед клапанами продувки в режиме гидравлики.

- Регулятор уровня в деаэраторе подпитки в нормальном режиме ТКС13;

Поддерживает заданное значение уровня в нормальном режиме работы реактора.

- Регулятор уровня в деаэраторе подпитки в режиме заполнения ТКС14;

Поддерживает заданное значение уровня в режиме заполнения I контура при пуске реактора.

- Регулятор уровня в деаэраторе подпитки в режиме борного регулирования ТКС20;

Поддерживает заданное значение уровня в деаэраторе подпитки в режиме борного регулирования.

- Регулятор давления в деаэраторе подпитки ТКС10 и ТКС12. Регулятор давления в деаэраторе борного регулирования ТКС70;

Регуляторы ТКС10 и ТКС12 поддерживают заданное значение давления пара в деаэраторе подпитки. Регулятор ТКС70 поддерживает заданное значение давления пара в деаэраторе борного регулирования.

- Регулятор уровня в деаэраторе борного регулирования ТКС71;

Поддерживает заданное значение уровня в деаэраторе борного регулирования во всех режимах работы реактора.

- Регулятор перепада давления между напорным трубопроводом подпиточных насосов и давлением в I контуре ТКС21 (ТКС22, ТКС23). Регулятор расхода подпиточного насоса ТКС24 (ТКС25, ТКС26);

Поддержание заданного перепада давлений между трубопроводом подпиточных насосов и давлением в I контуре во всех режимах работы реактора и расхода подпиточной воды в напорном трубопроводе подпиточного насоса.

- Регулятор перепада давления на уплотнения ГЦН YDC11 (YDC12, YDC13, YDC14);

Поддержание заданного перепада давлений на уплотнения ГЦН.

- Регулятор уровня в расширителе продувки парогенераторов RYC01;

- Регулятор давления в расширителе продувки парогенераторов RYC02;

- Регулятор дозировки аммиака TBC01;

- Регулятор щелочности теплоносителя TBC02;

- Регулятор давления за фильтрами установки TEC20 (TEC10);

- Регулятор концентрации кислорода перед контактным аппаратом TS10C01;

- Регулятор давления газа на всасе газодувки TS21C01 (TS22C01, TS23C01);
- Регулятор уровня в приемке организованных протечек TYC01 (TYC02, TYC03);[9]
- Регулятор температуры приточного воздуха системы UV06 UV06C01 (UV06C03).



1.3 Расширитель продувки парогенераторов

Расширители продувки сосуда вертикального типа, цельносварные, состоявшие из цилиндрической обечайки, двух штампованных эллиптических днищ и патрубков. Материал изготовления углеродистая сталь 20.

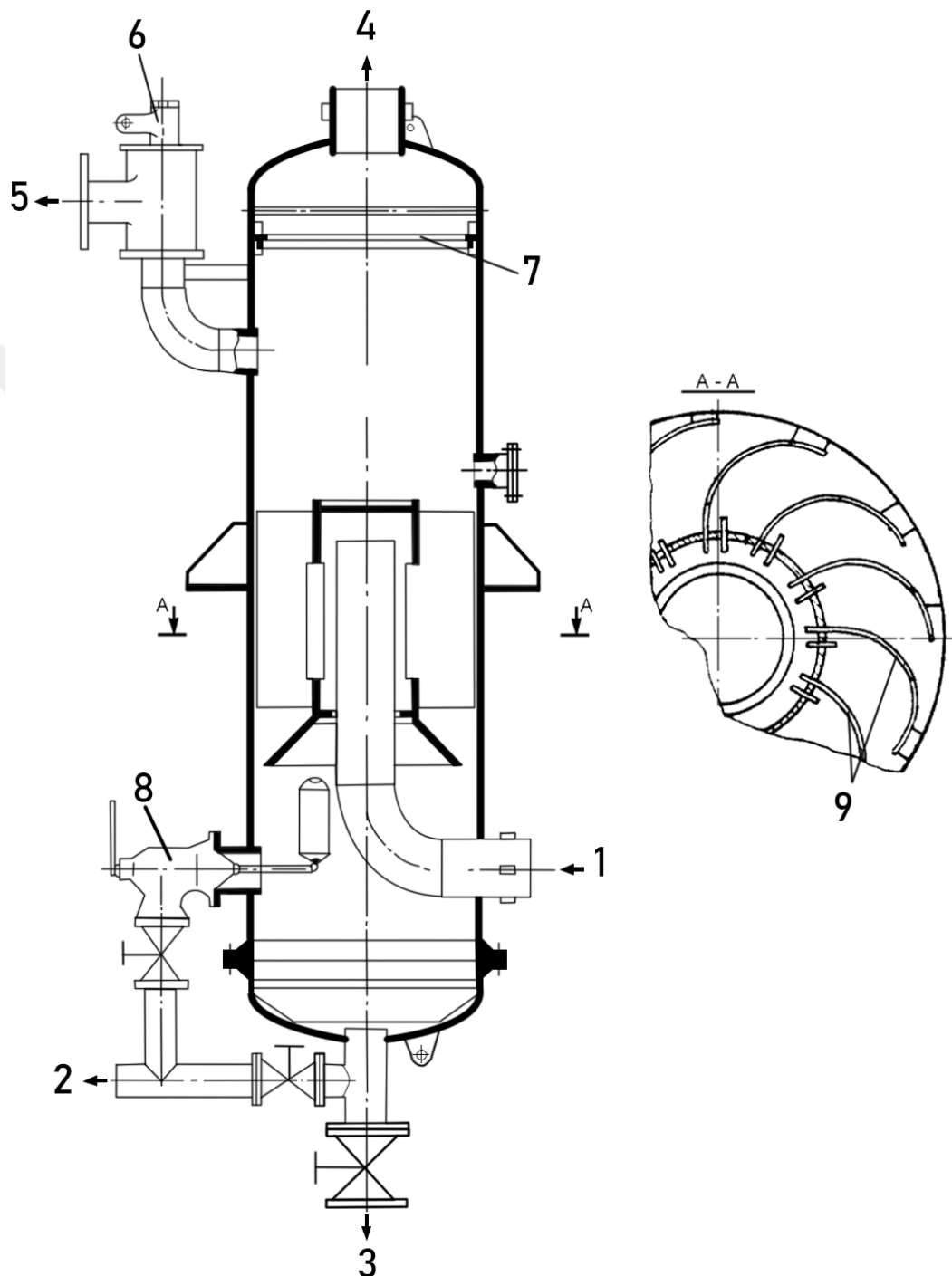


Рисунок 2-конструкция расширителя продувки типа СП-1,5У

На рисунке 2 рисована конструкция расширителя продувки, где 1- вход пароводяной смеси Ду200; 2-отвод отсепарированной воды Ду80; 3-отвод

отсепарированной воды Ду150; 4-выход отсепарированного пара Ду200; 5-в атмосферу Ду200; 6-предохранительный клапан; 7-дырчатый щит; 8-встроенный поплавковый регулятор уровня; 9-сепарующие лопатки.

Расширители продувки предназначены для разделения продувочной воды на пар и воду, которая подается через патрубки, расположенные тангенциально. Продувочная вода разделяется на пар и воду за счет расширения, а также центробежного эффекта. Отсепарированный пар по трубопроводу направляется в паровую магистраль деаэраторов турбинного отделения. Отсепарированная продувочная вода поступает из расширителей продувки в теплообменник регенеративной продувки парогенераторов.

Давление поддерживается RY10S17 (регулирующим клапаном), установленном на трубопроводе отвода пара к деаэраторам турбинного отделения на уровне 8 кгс/см^2 . Один предохранительный клапан, настроенный на работу при давлении $8,8 \text{ кгс/см}^2$, защищает каждый расширитель продувки от избыточного давления. Давление в РППГ поддерживается на уровне 8 кгс/см^2 , RY10S17(регулирующим клапаном), установленным на патрубке отвода пара в деаэраторы турбинного отделения. От превышения давления каждый расширитель продувки защищен одним предохранительным клапаном, настроенным на срабатывание при давлении $8,8 \text{ кгс/см}^2$. Однако на некоторых блоках Балаковской АЭС установлены по 2 клапана с каждым расширителем продувки. Фактически, это полностью технический требования производителя предохранительного клапана может быть заменен двумя клапанами допускается заменять на два клапана с управлением N132, при необходимости замене патрубка под установку клапана с Ду200 на Ду150. Когда тогда место установки второго клапана на трубопроводе за расширителем.

Уровень продувочной воды поддерживается на 700 мм с помощью RY10S17, установленный на линии отвода продувочной воды от РППГ на СВО-5.

Таблица 1

Техническая характеристика расширителя продувки RY10B01(02)	
рабочее давление, кгс/см ²	8,0
давление гидроиспытаний, кгс/см ²	11,0
температура среды, °С	170
полный объем корпуса, м ³	1,5

На таблице 1 показана техническая характеристика расширителя продувки.

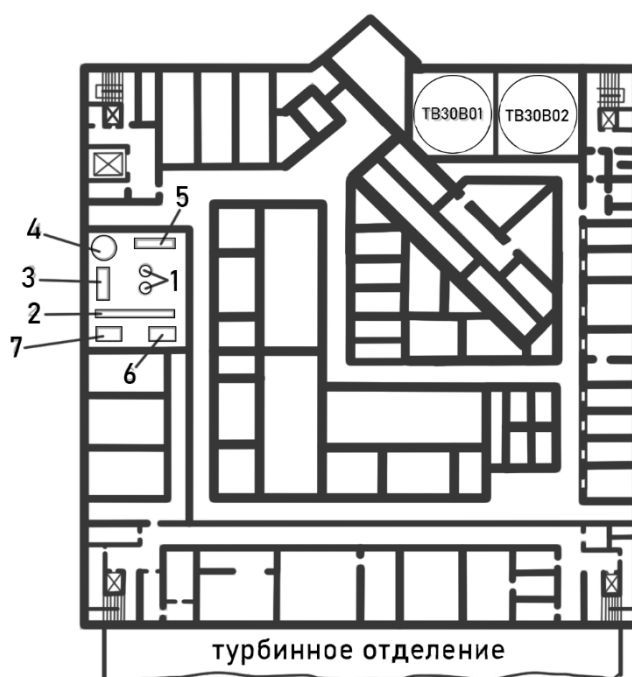


Рисунок 3- расположение оборудования системы продувки ПГ в здании РО

На рисунке 3 рисовано расположение оборудования системы продувки ПГ в здании, где 1-расширители продувки; 2-регенеративный теплообменник продувки RY10W01; 3-доохладитель продувки RY10W02; 4- бак RY30B01; 5-охладители дренажей RY30W01,02; 6-насос гидроиспытаний ПГ и продувки датчиков КИП UE40Д01; 7-насос RY30Д01.

Система продувки ПГ состоит из двух технологических подгрупп:

- подгруппы продувки парогенераторов RY10;
- подгруппы дренирования ПГ RY 30.

Подгруппа RY10 предназначена для поддержания качества воды ПГ включает в себя:

- трубопроводы непрерывной и периодической продувки с дроссельными устройствами;
- расширители продувки RY10B01,02;
- регенеративный теплообменник продувки RY10W01;
- доохладитель продувки RY10W02;
- регулятор уровня в расширителях продувки с регулирующим клапаном RY10S05;
- регулятор давления в расширителях продувки с регулирующим клапаном RY10S17;
- арматуру и трубопроводы, КИП.

В настоящее время после проведения реконструктивных работ продувка ПГ осуществляет 2 линии:

- через свободные штуцера метровых уровнемеров на "холодном" днище ПГ из "солевых" отсеков двумя трубами ф28х3;
- через четыре трубы ф28х3 из "карманов" коллекторов (по 2 трубки из каждого "кармана") и две трубы ф89х6 из мест приварки днищ к корпусу ПГ.

Непрерывная продувка ПГ осуществляется по обоим линиям через дроссельные шайбы RY11-14E01,02, арматуру RY11-14S05,10 и объединяется в коллектор ф159х9 с арматурой RY10S13 и дроссельной шайбой RY21E03, ограничивающей расход непрерывной продувки до заданной величины(30 т/час).[3]

Периодическая продувка ПГ осуществляется также по обоим линиям через арматуру RY11-14S01,02 и объединяется в коллектор ф159х9 с арматурой RY10S06 и дроссельной шайбой RY21E04, ограничивающей расход периодической продувки 30 т/час.

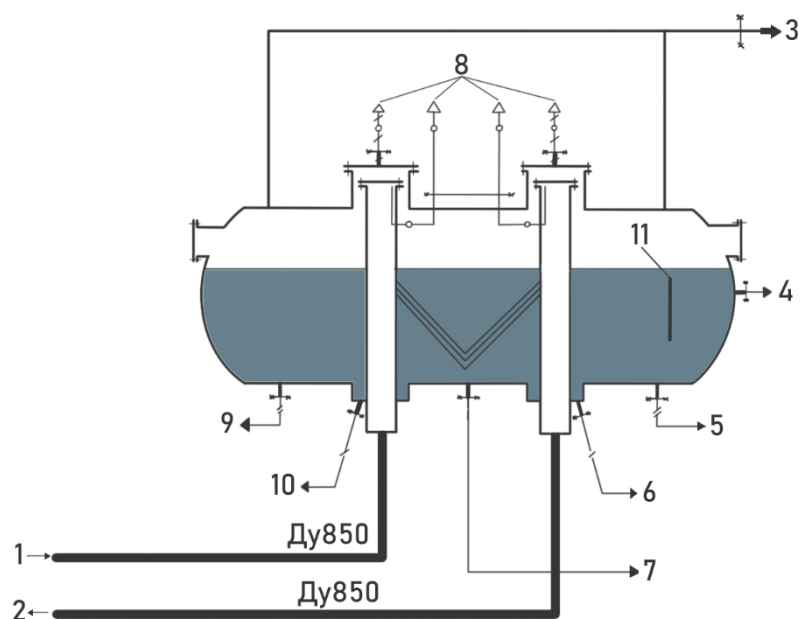


Рисунок 4- схема отбора котловой воды из ПГ для продувки и дренирования

На рисунке 4 показана схема отбора котловой воды из ПГ для продувки и дренирования, где 1-от реактора; 2-к ГЦН; 3-пар на турбину; 4-продувка из солевого отсека; 5 и 9-продувка из днищ; 6 и 10-продувка из карманов коллекторов; 7-дренаж; 8-воздушники; 11-перегородка.

Подгруппа RY30 предназначена для дренирования ПГ и включается в себя:

- охладители дренажа RY30W01,02;
- бак слива воды из ПГ RY30B01;
- насос бака слива воды из ПГ RY30D01;
- арматуру и трубопроводы, КИП.

Дренирование ПГ осуществляется через штуцер Ду100, расположенный в средней нижней части корпуса каждого ПГ.

1.4 Регулятор уровня в расширителях продувки ПГ

RY - технологическая система для парогенератора, которая предназначена для удаления агрессивных примесей с периодической и непрерывной продувкой. RY10B01 и RY10B02 предназначены для поддержания норм водно-химического режима котловой воды в парогенераторах и поддержания заданных значений уровня и давления в расширителях продувки во всех режимах работы ПГ.

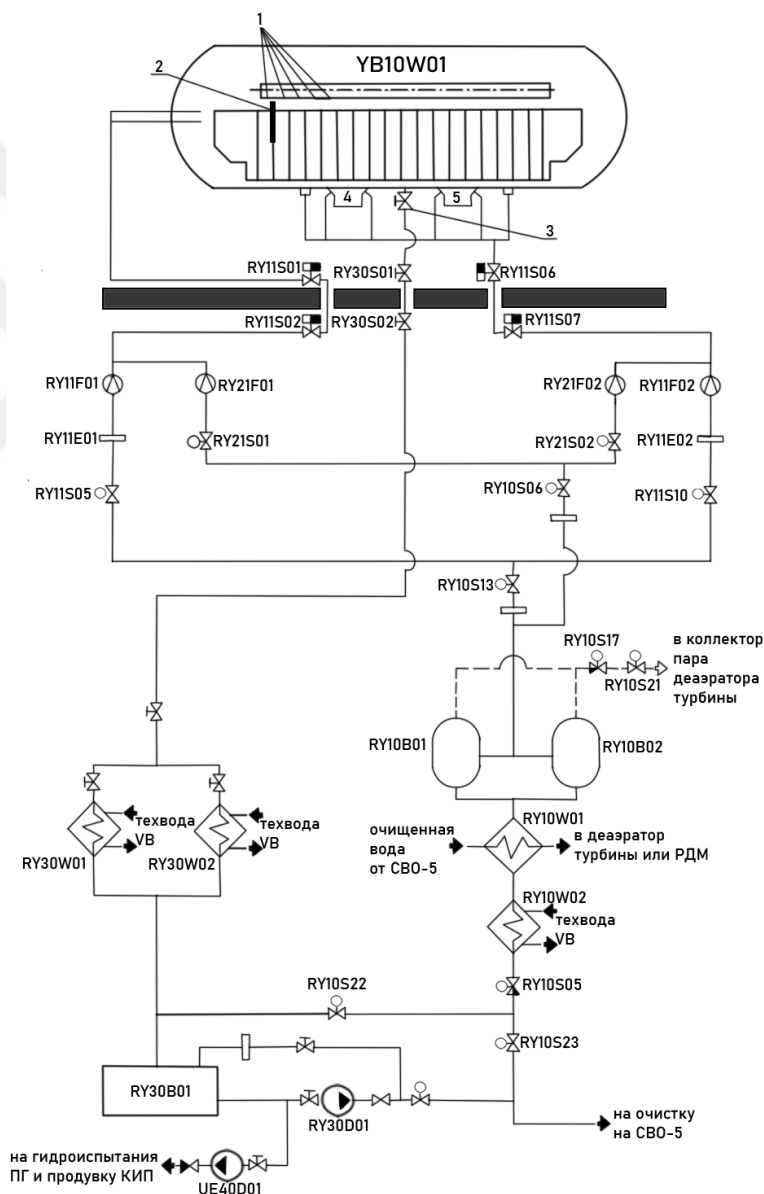


Рисунок 5- схема продувки регуляторов

На рисунке 5 показана схема продувки парогенератора, где 1-отглушенные раздающие коллекторы питательной воды; 2-прегородка "солевого" отсека; 3-дренаж парогенератора; 4-"холодный" коллектор 1 контура; 5-"горячий" коллектор 1 контура.

Система обеспечивает во всех режимах работы:

- расход 7,5-16 м³/ч с каждого ПГ. (непрерывная продувка всех четырех парогенераторов);
- при наличии парогенераторов суммарный расход не более 50-80 м³/ч периодическая продувка одного парогенератора с расходом 20-30 м³/ч и непрерывную продувку всех четырех парогенераторов. м³/ч;
- режим дренирования каждого ПГ с расходом не менее 30 м³/ч
- поддержание заданных значений уровня и давления в расширителях продувки во всех режимах работы ПГ. (RY10B01 и RY10B02)

Расход непрерывной продувки 7,5 ÷ 16 т/ч и она производится из «солевого» отсека ПГ. Непрерывная продувки YB10W01, YB20B01, YB30B01 и YB40B01 регулируется с помощью запорно-регулирующих клапанов, и они имеют обозначение RY11(12,13,14)S12 регулирующие с диапазоном расхода от 0 до 30 т/ч. Расходомеры RY11F01, RY12F01, RY13F01 и RY14F01 используются для контроля расходов непрерывной продувки. Периодическая продувка производится из карманов коллекторов. (днища и дренажного патрубка ПГ) Запорно-регулирующие клапана на линиях периодической продувки имеют обозначения RY11(12,13,14)S13; RY21S03. Чтобы изменить общего расхода периодической продувки (в диапазоне 0 до 40 т/ч) используются запорно-регулирующие клапана RY21S03. Для контроля расходов периодической продувки осуществляется расходомерами RY21(22,23,24)F01. С помощью запорно-регулирующие клапана RY11(12,13,14)S13 прогреют трубопроводы продувки и изменяют расход в диапазоне от 0 до 10 т/ч. Контроль расходов на прогрев трубопроводов периодической продувки осуществляется расходомерами RY11(12,13,14) F02.

Системы продувки парогенераторов и регулирования параметров среды в расширителях продувки являются нормальной эксплуатации, важные для безопасности. Продувка производится в соответствии с утвержденным регламентом. Необходимо выполнить большое количество переключений в процессе периодической продувки коллекторных карманов, днища и дренажных патрубков ПГ. Управление ЗРК (RY11,12,13,14S12, RY21S03) выполняется в ручном режиме по месту. Время периодической продувки карманов, днища, дренажа парогенераторов строго регламентировано.

Система регулирования уровня и давления в расширителях продувки RY10B01 и RY10B02 реализованы на базе аппаратуры «Каскад-2», морально устаревшей и выработавшей ресурс (регулятор RYC01, регулирующий клапан RY10S05; регулятор RYC02, регулирующий клапан RY10S17). Большое значение имеют задачи автоматизации продувки ПГ. Благодаря повышению качества регулирования, снижается вероятность появления отказов САР, повышается безопасность и эффективность работы энергоблока.

Для автоматизации системы продувки парогенераторов и систем регулирования уровня (RYC01) и давления (RYC02) в расширителях продувки RY10B01 и RY10B02 предлагается выполнить на программно-технических средствах (ПТС). Программно-технические средства (ПТС), построенные на базе универсальных контроллеров, используются для решения задач управления и регулирования, требующих высоких показателей надежности, точности и позволяют реализовать системы локального управления и регулирования технологических процессов на АЭС. При этом используется принцип «адаптивной» модернизации, предполагающий максимальную адаптацию внедренных средств к существующим конструктивам, кабельным связям, датчикам, исполнительным механизмам. Представляется возможность сопряжения вновь вводимой системы с существующими автоматизированными системами и информационно-вычислительной сетью. Программная поддержка в каждом из контроллеров предусматривает формирование базы данных для передачи в информационно-вычислительную

систему (ИВС) по установленному протоколу обмена через интерфейс. На рисунке 6 показана типовая конфигурация контроллера.

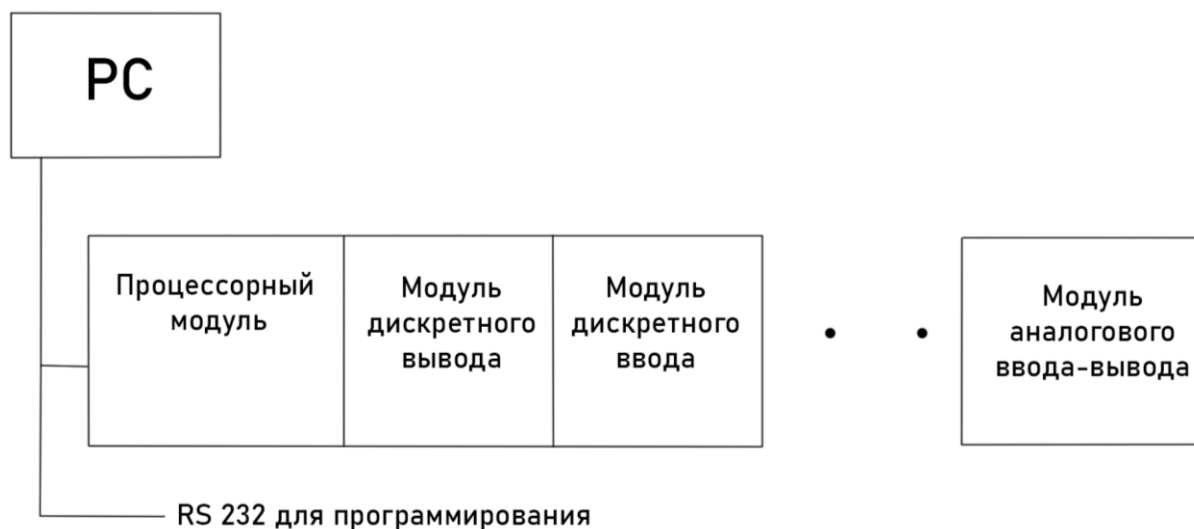


Рис. 6- Типовая конфигурация контроллера.

Номенклатура стандартных модулей состоит из модулей:

- процессора;
- расширения;
- дискретного ввода-вывода;
- аналогового ввода-вывода.

Модули дискретно-аналогового ввода-вывода позволяют обрабатывать с цифро-аналоговыми сигналами любого типа, когда тогда обеспечивает высокая помехоустойчивость. После определения важности решаемой задачи необходимо зарезервировать узлы структуры, такие как процессорный модуль, модули магистральных-сетевых связей, модули ввода-вывода и т.д. Набор программных модулей, с помощью которых можно реализовать схему любого регулятора, в том числе самого сложного. Данный набор стандартных программных модулей достаточен не только для реализации базового регулятора, но и для построения любых сложных систем управления. Для реализации систем управления, кроме этого набора, возможно управление системами с последовательным управлением ПК, с пошаговой синхронизацией ПК и вводом ПК в диапазон настройки.

Программно-информационное обеспечение ПТС основано на единой системе программных средств (программных библиотек), имеющая единая структура и организация базы данных. Его предоставление через встроенные программные средства для информационной и справочной поддержки персонала и соответствующей программной документации. Программное обеспечение предоставляет возможность реализации требуемой информационно-управляющей задачи, обеспечивая при этом реализацию открытости и доступности ее фрагментов при модернизации алгоритмов управления. Все локальные средства управления и регулирования энергоблока могут быть объединены в информационную сеть с сохранением автономности в части управляющих функций. Кроме инструментальных компьютеров, распределенные АРМ могут быть подключены к информационной сети.[3]

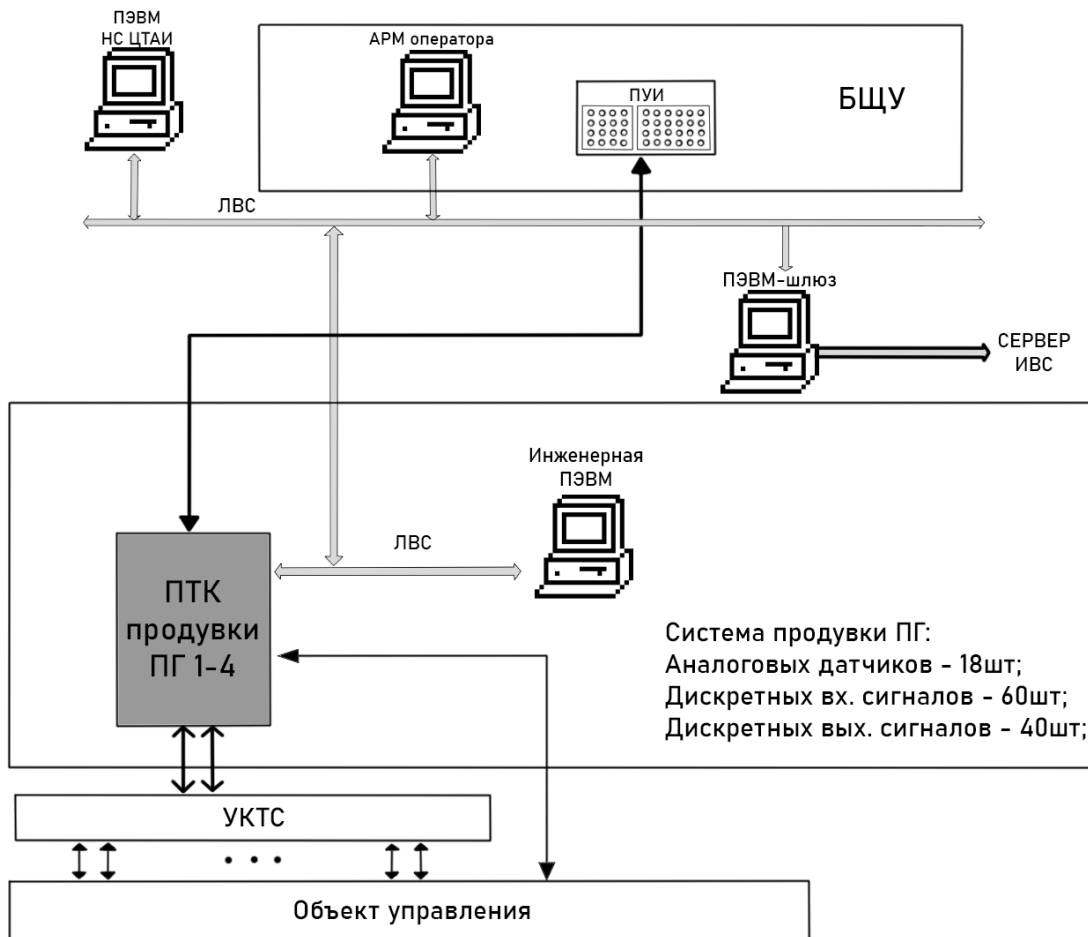
Функциональное программное обеспечение (ФПО), программное обеспечение, построенное с максимальным использованием стандартных алгоритмических модулей для управления и регулирования:

- контроля датчиков, питания задвижки, закрытия-открытия исполнительного механизма;
- режима слежения;
- модуля динамического звена;
- логики подключения ПК;
- первого включения регулятора;
- формирования обратной связи, коррекции уставок, закона регулирования;
- управления ПК.

Кроме этого, в ФПО есть инструменты для диагностики, самопроверки, защиты от несанкционированных действий персонала. При необходимости можно разработать средства моделирования оборудования на программном уровне (эмуляторы внешней среды). Этот инструмент особенно актуален при

анализе нарушений в работе автоматизированной системы управления, который сопровождается регистрацией потока событий в реальном времени.

Предлагаемая структурная схема автоматизации продувки ПГ приведена на рисунке 7.



Рисунке 7- Структурная схема автоматизации продувки ПГ

Состав системы:

- АРМ (автоматизированное рабочее место оператора);
- ПУИ (пульт управления и индикации);
- ПТК (аппаратура логического управления арматурой);
- внешние кабельные связи с другими системами, задействованными

в продувке.

АРМ управление продувкой, предназначенное для активного (двустороннего) обмена информацией с оборудованием логического управления, необходимо для выполнения следующих основных функций:

- для предоставления оператору текущей информации о состоянии системы продувки в форме видео кадров (таблиц и мнемосхем);
- для изменения уставок и настроечных параметров системы автоматической продувки; регистрация параметров работы системы продувки.

Включение и отключение автоматической продувки ПГ производится с пульта управления, расположенного на рабочем месте инженера управления реактором.

Для управления циклом продувки ПГ на пульте управления должны быть предусмотрены следующие органы управления:

- кнопка для выбора ПГ, включенных в цикл периодической продувки;
- кнопка для остановок работы алгоритма продувки;
- кнопка для возврата арматуры в состояние, соответствующая режиму постоянной продувки;
- кнопка пропуска одного шага в цикле продувки;
- кнопка для выбора длительности цикла продувки ПГ.

Удаление выходных команд, влияющих на приводы, системой автоматического управления необходимо, когда цикл продувки выключен или остановлен. Предусматривается выдача на пульт управления звуковой сигнализации различной тональности, сообщающая о начале очередного шага продувки или о нарушении в работе цикла автоматической продувки. Когда тогда происходит возникновения нарушения работы автоматической периодической продувки, в алгоритме должно быть предусмотрено блокирование работы автоматизированной системы по инициативе оператора или автоматически по факту формирования признака неисправности управляемой арматуры. Определение исправности клапана определяется по наличию информации с концевых выключателей положения и по времени его хода открытия / закрытия.

Для обеспечения безударности, перехода алгоритма продувки к следующему шагу, управление исполнительных механизмов выполнено импульсными командами, с возможностью регулировки длительности команды и паузы. Кроме этого, в течении всего цикла продувки контролируется расход общего количества продувочной воды. Алгоритм продувки блокируется, когда расход превышает установленное значение. С помощью этой функции позволяет операторе выяснить и устранить причину для нарушения, после чего продолжить алгоритм продувки с достигнутого шага. При переводе клапанов постоянной продувки в исходное состояние, соответствующее значению открытия на момент включения алгоритма продувки, выполнение цикла автоматической продувки всех ПГ завершается.

Текущая информация о состоянии продувки выдается оператору в форме видеок кадров на автоматизированном рабочем месте системы продувки. Диагностическое сообщение о неисправностях датчиков и арматуры выдается на видеок кадр мнемосхемы продувки, в виде смены подсветки неисправного положения на желтую. Распытанное состояние арматуры и отклонение расхода продувочной воды за установленные максимальные и минимальные значения отображается подсветкой их позиций красным цветом. Как уже было отмечено ранее, информация о нарушениях в работе автоматической продувки дублируется выдачей звуковой сигнализации на пульт управления. Для обеспечения функций защиты от несанкционированного вмешательства в работу системы автоматической продувки изменение параметров настройки и ввода / вывода замков необходимо производить на отдельном видеок кадре.

Непрерывная продувка выполняется постоянно и одновременно на всех четырех ПГ. Периодическая включается один раз в сутки. Оператор выбирает время, в зависимости от состояния водно-химических параметров. Для производства периодической продувки уменьшается расход непрерывной продувки. После этого выполняется периодическая продувка, последовательно каждого ПГ в отдельности. Логическое управление системой продувки заключается в выполнении последовательной периодической

продувки с первого по четвертый ПГ. Алгоритм цикла продувки разбивается на этапы, каждый этап соответствует определенному ПГ. Этап продувки ПГ разделен на четыре шага. Продувка ПГ производится последовательно: ПГ1 – ПГ2 – ПГ3 – ПГ4, за исключением тех ПГ, которые были исключены из цикла продувки оператором. Цикл продувки одного ПГ состоит из четырех равных по времени шагов:

1. открытие задвижки RY21(22, 23, 24) S02 соответственно для ПГ1(ПГ2, ПГ3, ПГ4) и продувка карманов коллекторов;
2. открытие задвижки RY31(32, 33, 34) S04 и продувка карманов коллекторов совместно с дренажными патрубками;
3. закрытие задвижки RY31(32, 33, 34)S04, с последующим открытием задвижки RY11(12, 13, 14) S11 и продувкой карманов коллекторов совместно с днищем ПГ;
4. закрытие задвижки RY11(12, 13, 14) S11 и продувка карманов коллекторов.

По окончании времени четвертого шага производится закрытие задвижки RY21(22, 23, 24) S02, после чего реализуется этап продувки следующего по очереди ПГ. Система автоматической продувки должна иметь два основных режима работы:

- Режим «Расход»: работа системы с контролем расхода продувочной воды и заданием по расходу котловой воды через ЗРК;
- Режим «Положение»: работа системы с заданием по степени открытия ЗРК (по УП RY11÷14S12).

Перед включением системы автоматической продувки арматура, задействованная в управлении, должна быть запитана и переведена в соответствие с начальными условиями.

Выбор режима производится на кадре настроечных параметров ПЭВМ САП ПГ до включения автоматической продувки в работу. После включения в работу алгоритм логического управления продувкой производит проверку соответствия начальным условиям: состав ПГ, включенных в цикл

автоматической продувки, длительность цикла продувки, состояние арматуры, степень открытия ЗРК RY11÷14S12 (по УП или по расходу воды в зависимости от выбранного режима). В случае несовпадения начальных условий с заданными или отсутствия информации о выбранных ПГ и времени цикла продувки формируется признак «Не соответствие». Алгоритм продувки в этих случаях блокируется и переходит в состояние «Стоп»). Степень открытия ЗРК RY11÷14S12 (по УП или расходу) запоминается и является заданием для подпрограммы «Исходное». Далее производится последовательное импульсное прикрытие ЗРК RY11(12, 13, 14)S12 до уставки, соответствующей режиму периодической продувки. После чего включается счетчик времени цикла продувки и реализуется первый шаг цикла автоматической продувки (с уставкой по времени выбранной оператором до включения автоматической продувки).

После завершения продувки всех включенных ПГ, осуществляется переход к подпрограмме «Исходное», которая поочередно импульсными командами, переводит ЗРК RY11÷14S12 в исходное состояние, соответствующее уставкам по расходу или по УП, сформировавшимся в момент включения алгоритма периодической продувки (выполняется последовательное приоткрытие ЗРК). В случае возникновения нарушения в алгоритме управления продувкой должно быть предусмотрено блокирование цикла продувки на время, позволяющее оператору принять решение о прекращении или продолжении продувки ПГ. Блокирование продувки должно производиться по команде оператора либо автоматически в случаях возникновения несоответствия управляемой арматуры (задействованной в продувке) требуемому положению, неисправности датчиков или повышения общего расхода котловой воды более установленного значения. При возникновении таких ситуаций алгоритм управления продувкой переходит в состояние «Стоп», со снятием выходных команд на арматуру и блокированием счетчика времени продувки. Приостановка алгоритма сопровождается выдачей индикации с миганием и звуковой сигнализации на пульт управления.

После выявления причины, вызвавшей блокирование алгоритма, разблокирование остановки автоматической продувки осуществляется только оператором, одним из следующих способов:

а) повторным нажатием кнопки «Стоп», в случае устранения причины нарушения. Алгоритм продувки выполняется с места возникновения сбоя;

б) нажатием кнопки «Продолжить». При этом система переходит к следующему шагу алгоритма продувки (реализуется пропуск достигнутого шага);

в) нажатием кнопки «Исходное». В этом случае арматура переводится в состояние постоянной продувки.

Для завершения работы автоматической продувки ПГ из состояния «Стоп» и возврата арматуры в состояние, соответствующее режиму постоянной продувки, в программу продувки должен быть включен алгоритм работы по условию «Исходное». Условие формируется по инициативе оператора (при нажатии кнопки «Исходное»), либо автоматически (после завершения последнего шага цикла продувки всех ПГ). По алгоритму «Исходное» отключается состояние «Стоп» и далее последовательно импульсными командами закрывается арматура периодической продувки (RY11÷14S11, RY21÷24S02, RY31÷34S04), после чего последовательно импульсными командами приоткрываются ЗРК на линиях постоянной продувки RY11÷14S12 (на величину, соответствующую уставкам по расходу или по положению УП в зависимости от выбранного режима).

RYC01 предназначен для поддержания заданного уровня в продувке расширителях (RY10B01 и RY10B02) для всех режимов работы ПГ. После перевода переключателя БРУ-32 в положение автоматического управления, регулятор уровня в расширителе продувки включается. Панель управления (табло «RYC01 в РПУ») и видеокадра ПЭВМ САП ПГ выводят информацию о работе регулятора. При включении регулятора, он безударно включается на текущее значение уровня в расширителе. После этого регулятор с заданной скоростью приводит уровень в соответствие с заданным: 700 ± 50 мм.

Регулятор реализован ПИ законом регулирования с обратной связью по уровню в расширительном баке RY10L01B1 и по положению клапана RY10S05.

RYC02 предназначен для поддержания заданного давления в продувке расширителях (RY10B01 и RY10B02) для всех режимов работы ПГ. После перевода переключателя БРУ-32 в положение автоматического управления, регулятор давления в расширителе продувки включается. Панель управления (табло «RYC01 в РПУ») и видеокадра ПЭВМ САП ПГ выводят информацию о работе регулятора. При включении регулятор безударно включается на текущее значение давления в расширителе, после чего с установленным темпом приводит регулируемый параметр в соответствие с заданным: $7,8 \pm 0,2 \text{ кгс/см}^2$. Регулятор реализован ПИ законом регулирования с обратной связью по давлению в расширительном баке RY10P01B1 и по положению клапана RY10S17.

1.5 Постановка задачи

В данной работе для проведения исследования модели регулятора уровня в расширителе продувки парогенератора ВВЭР-1000 необходимо изучить свойства объекта управления, свойства и характеристики исполняющего механизма, а также структуру и характеристики регулятора уровня в расширителе продувки парогенератора ВВЭР-1000. Для этого следует построить структурную математическую модель регулятора, исполнительного механизма и объекта управления. Провести моделирование контура регулирования в среде Simulink пакета MATLAB. Затем перейти от структурно-математической модели исполняющего механизма и объекта управления к разностным уравнениям и реализовать их в MWBridge.

Полученные разностные уравнения исполняющего механизма и объекта управления протестировать в среде реального времени и сравнить с результатами моделирования, полученными в среде MATLAB. Регулятор уровня в расширителе продувки парогенератора ВВЭР-1000 реализовать в Алго

Ву (MWBridge). Параметры ПИ-регулятора рассчитаны при помощи инструмента Response Optimization Simulink (MATLAB). Посредством УСО с входом исполняющего механизма и модели объекта управления MWBridge. Выход модели объекта регулирования необходимо посредством УСО соединить со входом регулятора, построенного на MWBridge.

Необходимо провести испытания полученной модели регулятора уровня в расширителях продувки ПГ на базе MWBridge и провести сравнение с характеристиками реальной системы регулирования. На основании проведенных исследований необходимо будет сделать выводы о проведенных результатах выполненной работы.



Глава 2

2.1 Программно-технические средства ТПТС- ЕМ

Для автоматизации технологических процессов в составе автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) используются программно-технические средства типовые программно-технические средства типа ЕМ. Типовые программно-технические средства типа ЕМ выполняют функции низовой автоматики:

- сбор и обработку сигналов от датчиков технологических параметров, измерение технологических параметров, выполнение необходимых вычислений;
- прием и выполнение дистанционных команд оператора;
- выполнение заданных прикладных алгоритмов технологических защит и блокировок, автоматического регулирования, автоматического ввода резерва, функционально-группового управления, алгоритмов индивидуального дистанционного и автоматического управления.
- выдачу данных в СВБУ для архивирования.

К типовым программно-техническим средствам типа ЕМ относится:

а) основное оборудование шкафного исполнения (шкафы двухстороннего обслуживания):

- приборные стойки, в состав которых входят процессорные модули и коммутационное оборудование;
- стойки питания, обеспечивающие необходимое напряжение питания приборных стоек;
- стойки сопряжения, необходимые для связи ПС с датчиками и исполнительными механизмами.

б) средства коммуникации, включающие оборудование коммуникационной системы – шины EN:

- что бы объединить абоненты на единую систему к шине EN предназначены коммутаторы OSM / ESM (в составе ПС);

- что бы подключить удаленные пользователи к шине EN предназначены трансиверы (в составе ПС);

- что бы подключить абоненты к шине EN используются интерфейсные модули;

- для передачи данных используются промышленные витые пары и оптоволоконные кабели;

- оптические кроссы предназначены для сопряжения оптических кабелей разных диаметров;

в) средства конфигурирования, использующиеся для конфигурирования, наладки и проверки типовые программно-технические средства:

- инженерная станция ТПТС54.3403 (ИС) - основное устройство, предназначенное для настройки ПТК и документирования конфигурации;

- для настройки функциональных модулей используется программатор ТПТС54.3310 (ПГ).

Он используется при настройке РТС, в основном для проверки и настройки отдельных параметров. Программатор может использоваться для имитации сигналов на входах и выходах модулей. Изменения конфигурации ПТК не будут отражены в документации, поэтому программатор не используется для изменения конфигурации ПТК. Для этой задачи должна использоваться инженерная станция.[4]

г) сервисные устройства:

- имитаторы ТПТС54.330Х (И), которые позволяют в процессе тестирования и наладки ПТК имитировать аппаратные входные (выходные) дискретные сигналы и исполнительные механизмы различных типов, включая возможные их неисправности.

- что бы тестировать и наладить ПТК используются тестер функциональных модулей ТПТС54.3500 (ТФМ). Это необходимо для проверки настройки модулей или работоспособность исполнительного механизма без применения средств оперативно-диспетчерского управления.

Аппаратура типовые программно-технические средства типа ЕМ связана с датчиками, исполнительными механизмами, средствами оперативно-диспетчерского управления и другими системами энергоблока при помощи проводных связей. Кроме того, предусмотрены подключения по шине RS-485 к интеллектуальным периферийным устройствам и подсистемам сторонних производителей. Что бы изменить обмен информацией между отдельными ПТК нормальной эксплуатации, используется коммуникационная система – оптоволоконная шина EN, имеющая кольцевую структуру. А также между ПТК и СВБУ. Все ПТК на базе типовые программно-технические средства типа ЕМ имеют общую типовую систему питания, заземления и экранирования. Аппаратура типовые программно-технические средства типа ЕМ построена по модульному принципу. Это позволяет создавать, в зависимости от требований, различные по степени избыточности структуры путем резервирования модулей и устройств передачи данных. Распределенная обработка данных позволяет легко наращивать объем аппаратуры в системе управления.

Непрерывный самоконтроль работающих компонентов, который позволяет выявлять дефекты в момент их возникновения и замены отказавших узлов, не выводя аппаратуру ТПТС-ЕМ из работы, выполняется с помощью аппаратуры типовые программно-технические средства типа ЕМ

2.2 Приборные стойки

Приборные стойки (ПС), на которых реализованы заданными алгоритмами контроля и управления технологическим оборудованием энергоблока, являются основными функциональными элементами ПТК. В зависимости от типов функциональных модулей (ФМ), входящих в его состав, определяющих функциональные возможности конкретной ПС.[5]

Функции назначения ПС осуществляют:

- для сбора и первичную обработку входных дискретных сигналов;
- для измерения технологических параметров;

- для выполнения необходимых вычислений;
- для автоматического и дистанционного управления исполнительными механизмами следующих видов: запорная арматура (задвижка), электродвигатель (насос, вентилятор и т.д.), регулирующая арматура, соленоидный клапан, выключатель;
- для реализации технологических защит и блокировок;
- для автоматического регулирования;
- для группового и подгруппового управления;
- для выдачи аналоговых и дискретных сигналов на средства оперативно-диспетчерского управления (ТС ОДУ) или в другие системы управления энергоблока;
- прием команд дистанционного управления и обмен информацией с СВБУ.

Состав, устройство и конструктивные характеристики приборных стоек. «Интеллектуальной» основой ПС являются функциональные модули (ФМ). Кроме них, в ПС может быть установлены:

а) средства коммуникации:

- центральный коммуникационный модуль ЦМ-Е (в ПС системы нормальной эксплуатации) или ЦМ-СБ в ПС канала системы безопасности (ПС, укомплектованные модулем ЦМ-Е или ЦМ-СБ, являются «основными ПС», а ПС без указанных модулей являются «ПС расширения»);
- блоки шлюзов сопряжения (БШС);
- коммутаторы и оптические кроссы;

б) служебные модули

в) средства подключения кабелей (клеммники, соединители).

ФМ подключены к шине ввода-вывода. Это организует внутри шкафа и находится под управлением модуля ЦМ-Е (или ЦМ-СБ). По шине ввода-вывода осуществляется:

- обмен данными между ФМ;

- передача дистанционных команд оператора от СВБУ (БПУ, РПУ) в ФМ через модуль ЦМ-Е (ЦМ-СБ);
- передача данных из ФМ в СВБУ (или БПУ, РПУ) с помощью сообщений, формируемых модулем ЦМ-Е (ЦМ-СБ).
-

Структурная схема приборной стойки канала системы безопасности показана на рисунке 8.

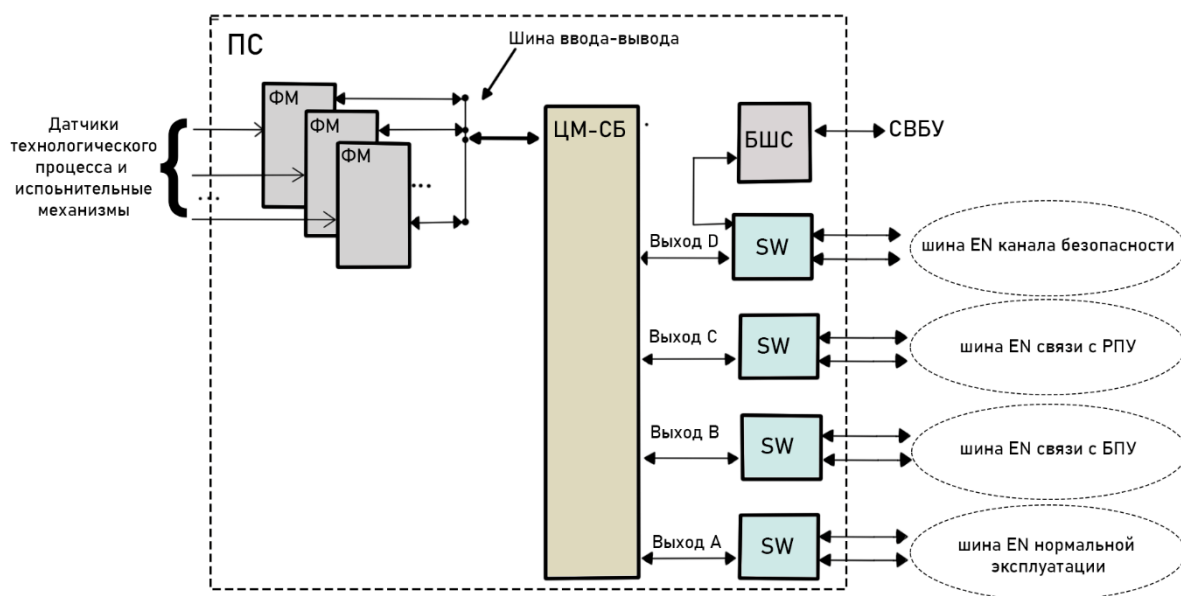


Рисунок 8 - структурная схема приборной стойки канала системы безопасности.

ФМ устанавливаются в рейты, в четырех ПС. 52 ФМ находится в ПС, это максимальное количество. 52 находится в основной ПС. А 56 находится в ПС расширения. в ПС необходимо установить до 40 функциональных модулей, когда тогда разработает проект. А остальные места используются для возможного расширения функций в процессе проектирования и в процессе эксплуатации. Функция связи осуществляется модулем ЦМ-Е, или ЦМ-СБ, занимает 2 слота. Это всегда располагается в рейте крайним справа. Резервный модуль ЦМ-Е (или ЦМ-СБ) размещается крайним справа во втором сверху рейте.

Наличие в ПС коммутатора или блока шлюза сопряжения (БШС) и оптического кросса не является обязательным и определяется схемой шинной системы. Для подключения кабелей процесса в ПС имеется клеммная панель (соединитель SAE), которая состоит из 32-контактных клеммных блоков и обеспечивает возможность подключения проводов сечением 0,5 мм² по технологии Maxi-Termi-Point (внешний монтаж). Внутренний монтаж проводов к этой клеммной панели выполняется накруткой. Максимальная мощность, рассеиваемая приборной стойкой – 350 Вт.

Это имеет габаритных размеров, длина 1020 мм, ширина 500 мм, высота 2285 мм (с боковыми стенками, дверьми и сигнальными лампами шкафа) и масса не более 350 кг.

Приборная стойка ТПТС51 представлена на рисунке 9.

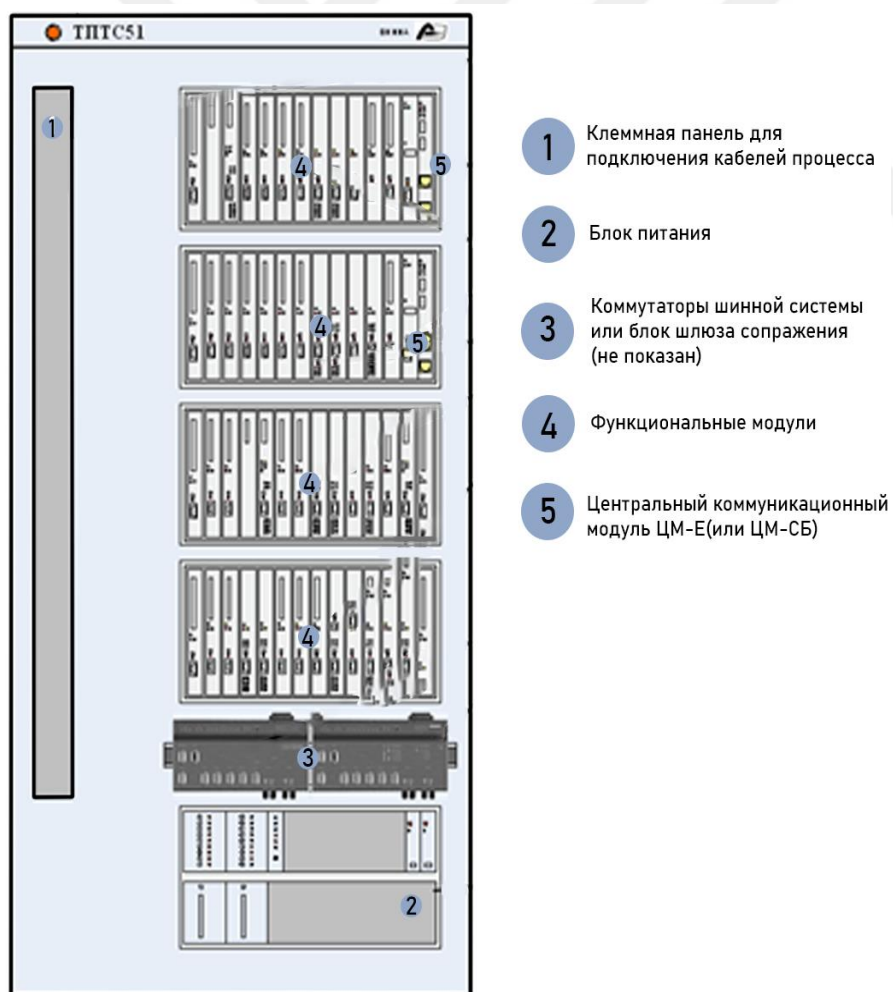


Рисунок 9 - Приборная стойка ТПТС51

2.2.1 Виды функциональных модулей

В состав ПС могут входить следующие функциональные модули (ФМ):

- модуль для S-регулятора - ТПТС51-2.1411;
- модуль для К-регулятора - ТПТС51-2.1412;
- модуль для управления нагрузкой турбины - ТПТС51-2.1413;
- модуль для противоаварийной автоматики ТПТС51-2.1414;
- модуль для индивидуального управления (приоритета) - ТПТС51-2.1716;
- модуль для расширения двоичных сигналов (для модуля ТПТС51-2.1717) - ТПТС51-2.1719;
- модуль для обработки аналоговых сигналов - ТПТС51-2.1722;
- модуль для ТПТС51-2.1723 – модуль обработки двоичных сигналов;
- модуль для счета импульсов - ТПТС51-2.1724;
- модуль для подгруппового управления - ТПТС51-2.1726;
- модуль для преобразования частоты - ТПТС51-2.1728;
- модуль для группового управления - ТПТС51-2.1725;
- модуль для аналогового ввода (приема и обработки сигналов от термоэлектрических преобразователей и термопреобразователей сопротивления с гальваническим разделением до 1000 В) - ТПТС51-2.1732;
- модуль для расширения аналогового ввода (для модулей ТПТС51-2.1731) - ТПТС51-2.1703;
- модуль для расширения аналогового ввода (для модулей ТПТС51-2.1732) - ТПТС51-2.1704;

Базовые коммуникационные модули ТПТС52.1333, предназначены для приема и обработки сигналов от интеллектуальных технологических устройств, выполняющие обмен данными с другими абонентами шины EN (поскольку в их состав входят интерфейсные модули).[6]

2.2.2 Устройство функциональных модулей

ФМ выполнены на печатных платах формата 6U, ширина передней панели 30 мм. На передних панелях расположены светодиоды индикации состояния и неисправностей, плавкие предохранители и соединитель последовательного интерфейса. Некоторые ФМ имеют на своих передних панелях дополнительные соединители и контрольные гнезда. На тыльной части печатных плат ФМ расположены базовые соединители X1 и X2.

ФМ имеют следующие интерфейсы:

- интерфейс шины ввода/вывода (базовый соединитель X1);
- аппаратный интерфейс для связи с периферийными устройствами (базовый соединитель X2);
- последовательный интерфейс «токовая петля» (соединитель на передней панели модулей).

Интерфейс шины ввода/вывода представляет собой параллельную шину, которую состоит из 8-разрядной шины данных, 12-разрядной адресной шины и шины управления. Что бы обменять данные между ФМ на границе ПС с модулем ЦМ-Е (или ЦМ-СБ). Обменять данные по шине ввода/вывода с помощью соответствующего драйвера в модуле ЦМ-Е (или ЦМ-СБ) через передающую оперативную память ФМ, доступ для чтения и записи, к которой имеют как процессор самого ФМ, так и процессор модуля ЦМ-Е (или ЦМ-СБ).

Кабели подключаются к ФМ с помощью аппаратного интерфейса. Эти кабели идут из датчиков и исполнительных механизмов, а также из щитов и панелей управления (напрямую или через кроссовые шкафы или шкафы промежуточных реле).

Интерфейс «токовая петля» предусмотрен для подключения:

- тестер, который для функциональных модулей;
- устройства что бы конфигурировать (программатор).

Электропитание ФМ осуществляется из источника питания, которого имеет напряжение +24 В (L+). У каждого ФМ собственный встроенный блок питания. Из каждого блока питания вырабатывается из напряжения питания

L+ все необходимые для ФМ и электрически развязанные номиналы напряжений (+5 В и т.д.). Внутренняя структура функционального модуля представлена на рисунке 10.

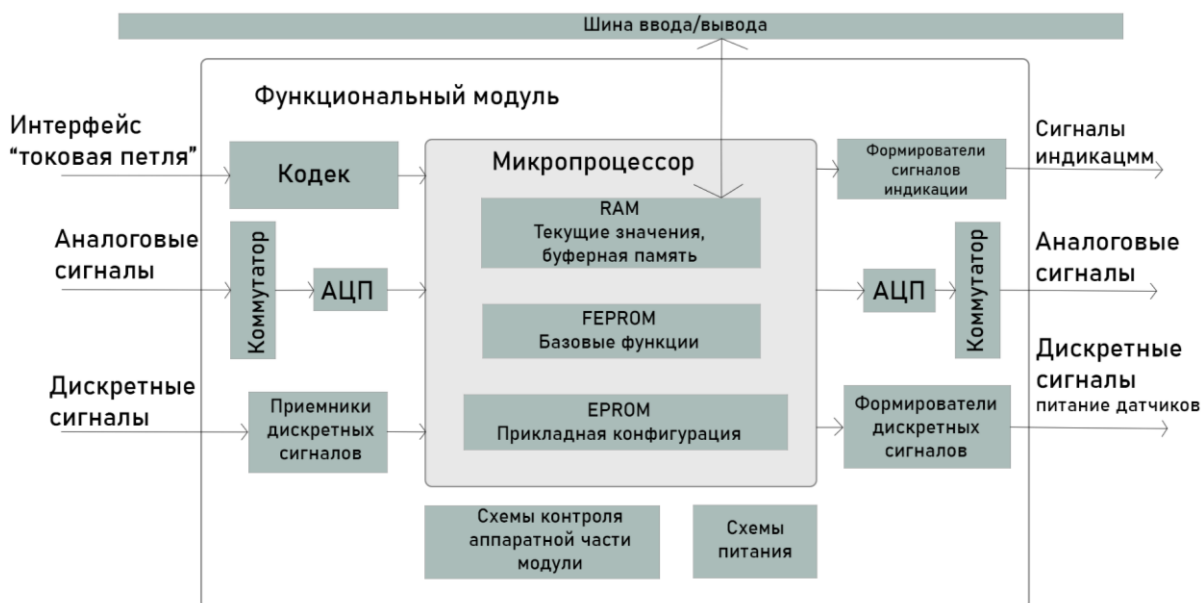


Рисунок 10 – Внутренняя структура функционального модуля

Функционирование ФМ определяется содержанием трех видов процессорной памяти. Набор базовых функций (встроенных подпрограмм) определяет назначение и тип модуля. Они "зашиваются" в постоянную "флэш-память" (FEPR0M) на заводе-изготовителе и недоступны для изменения разработчику прикладных алгоритмов и эксплуатирующему персоналу. Базовые функции разработаны и верифицированы разработчиком функционального модуля, являются неотъемлемым свойством модуля данного типа и гарантируются изготовителем в рамках гарантии функционального модуля. Базовые функции сохраняются в модуле в течение всего срока службы во всех оговоренных в документации условиях хранения и эксплуатации.

Прикладные алгоритмы располагаются в постоянной электрически перепрограммируемой памяти (EEPROM). Прикладные алгоритмы представлены в модуле в виде таблицы, определяющей связи между базовыми функциями. Данная таблица формируется средствами конфигурирования и

помещается в EEPROM модуля на завершающем этапе проектирования прикладных алгоритмов. Возможна корректировка прикладных алгоритмов в период наладки и эксплуатации ПТК на объекте.

Память с произвольным доступом (RAM) служит для хранения текущих значений переменных, а также для приема/передачи информации по шине ввода/вывода.

Всё адресное пространство модуля жестко распределено. Динамическое выделение памяти не используется. Все настраиваемые параметры объединены в массивы и для них выделена отдельная область памяти. То есть, адрес каждого параметра определяется явно на этапе формирования программной компоненты модуля. Часть ячеек памяти жестко привязана к конкретной базовой функции (это функции ввода-вывода и др.), часть может быть использована произвольно с функциями, не имеющими фиксированных ячеек памяти (арифметические, логические функции и др.).

Базовые функции делятся на алгоритмические, обеспечивающие выполнение заданных алгоритмов работы, и служебные, необходимые для организации работы модулей в системе автоматизации.

В состав алгоритмических базовых функций входят функции общего назначения, которые имеются в каждом функциональном модуле. К ним относятся:

- функции вычислений (сложение, вычитание, деление, умножение, максимум, минимум, квадратный корень, логарифм, экспонента и т.п.);
- функции вычислений, зависящие от времени (инерционное звено, интегрирующее звено, дифференцирующее звено и т.п.);
- логические функции (И, ИЛИ, ИЛИ-НЕ, И-НЕ, исключающее ИЛИ, эквивалентность и т.д.);
- запоминающие элементы (триггеры с различными входами и приоритетами);
- функции формирования импульсов и задержек;
- функции выбора и замещения;

- функции интерполяции;
- интерфейсные функции и др.

Кроме этого, имеется набор специализированных, «технологических» функций, которые являются характерными для тех областей применения, в которых используется программно-технические средства типовые программно-технические средства типа ЕМ. К ним относятся:

- функции переключения агрегатов;
- функции управления отдельными исполнительными механизмами;
- функции регулирования;
- функции отбора сигналов, поступающих от нескольких резервированных аналоговых и дискретных датчиков;
- функции формирования уставок;
- функции расчета коррекции измерения уровня и расхода;
- функции формирования сигнализации на средства оперативно-диспетчерского управления др.

К служебным базовым функциям относятся: функция инициализации, функция обновления данных, функция резервирования, функция обмена данными, функция организации циклической работы модуля, функция самоконтроля и т.д.

В модулях постоянно (циклически) выполняется исчерпывающий самоконтроль аппаратных средств, памяти, базовых функций и прикладных конфигураций. При обнаружении неисправности сигнал об этой неисправности немедленно направляется оператору с указанием места возникновения этой неисправности. Помимо этого, возникшая неисправность индицируется аппаратными средствами индикации, имеющимися на передней панели модуля, а также передается на средства индикации ПС.[3]

2.3 Служебные модули

Состав ПС содержит от служебных модулей, выполненных вспомогательным функциям:

- ТПТС52.1932, модуль контрольный;
- ТПТС52.1014, модуль питания;
- ТПТС52.1004, модуль диодный;
- ТПТС52.1941, модуль усилителя мощности;
- ТПТС52.1032, модуль питания усилителя мощности;

С помощью контрольного модуля устанавливают в блоке питания и выполняют следующие функции:

- отобразит сигналы о неисправностях;
- выводы для аварийных сигналов;
- контролировать автоматы блока защиты в блоке питания шкафа;
- формировать, контролировать и синхронизировать "мигающий" напряжение;
- контролировать наличие стыковки модулей с соединителями блока питания шкафа;
- обработать сигналы о неисправности, поступающие из центрального модуля и других устройств шкафа;
- управлять сигналы лампы шкафа и лампы шкафа групповые.

Модуль питания, устанавливавший в блоке питания, осуществляет преобразование напряжения из 24 В к напряжению 5 В. Это преобразование необходимо для питания интерфейсов шины ввода/ вывода функциональных модулей;

Модуль диодный, устанавливавший в блоке питания, используются для обеспечения объединениях внешних источников питания приборной стойки при резервированной схеме питания напряжением 24 В постоянного тока.

Модуль усилителя мощности используются что бы усилить управляющий сигнал, который формировал в модуле ПАА (ТПТС51-2.1412).

Преобразование токового сигнала с ПАА в диапазоне от 0 до 20 мА в выходной сигнал в диапазоне от 0 до 1 А на нагрузке 24 В происходит с помощью этого модуля. Использование модуля погружных резисторов (ТПТС52.1941.010) совместно с модулями 42.1941 необходимо при работе в резервированном режиме. Этот модуль обеспечивает эквивалент нагрузки для усилителя мощности, находящегося в состоянии “резервный”.

Что бы усилить мощность используются модуль питания ТПТС52.1032, с помощью которого напряжение постоянного тока 24В преобразуются в стабилизированное напряжение постоянного тока 32 В.

2.4 Стойки питания

Что бы преобразовать внешнее напряжение 220В постоянный или переменный ток в напряжение 24В постоянного тока используются стойки питания (СП). Это используется для питания ПС, а также панелей и пультов технических средств оперативно диспетчерского управления (ТС ОДУ) блочного и резервного пунктов управления.

СП имеют две модификации эти модификации зависят от вида внешнего напряжения:

- при преобразовании внешнего переменного напряжения 220 В используется ТПТС52.2300;
- при преобразовании постоянного напряжения 220 В используется ТПТС52.2301.

Внешнее электропитание СП осуществляется от двух автономных сетей электропитания:

а) для переменного однофазного тока с параметрами каждой сети СП ТПТС52.2300:

- напряжение от 176 до 242 В с номинальным значением 220 В;
- допустимый перерыв питания не более 20 мс;
- с периодом следования перерывов не менее 2 с или со снижением напряжения до 50 % от номинального значения на время не более 100 мс;

б) для постоянного тока с параметрами каждой сети СП ТПТС52.2300:

- напряжение от 176 до 242 В с номинальным значением 220 В;
- допустимый перерыв питания не более 20 мс;
- с периодом следования перерывов не менее 2 с.

Модуль питания основное функциональное устройство СП, с помощью которого преобразуется напряжение питающих сетей 220В в напряжение постоянного тока 24В с максимальным током 20А. Он даже имеет защиту от превышения тока нагрузки и выходного напряжения.

В СП могут быть установлены до 12 модулей питания.

В СП модули питания делятся на четыре группы, каждая из них содержит до 3 модулей. Он образует канал питания. На этих каналах допускается параллельная работа модулей питания путем объединения их выходов. При этом нагрузочная способность каждого канала питания кратна количеству модулей питания в канале.

В СП имеется возможность изменения выходного напряжения в каждом канале питания $-5\% \div +12\%$ от номинального значения 24 В при помощи тумблеров на модуле выдачи команд.

Внешнее напряжение подается через автоматические двухполюсные выключатели. Один сетевой выключатель подает питание на один канал питания. Выходное напряжение 24 В с модулей питания подается на выходные клеммы - по две на каждый модуль питания («+» и «-»).

Чтобы обеспечить нормальный тепловой режим работы, в шкафу СП устанавливаются три блока вентиляторов (по три вентилятора в каждом блоке).

С целью защиты модулей питания от электрических воздействий в сетях внешнего питания, а также с целью снижения эмиссии помех в сеть питания применяются блоки подавления помех.

Имеющийся в стойке питания узел диагностики позволяет выдавать сигнализацию в следующих ситуациях:

- при пропадании или снижении внешнего напряжения ниже допустимого;
- при отказе, превышении тока потребления, превышении выходного напряжения или перегреве модуля питания;
- при открывании дверей шкафа;
- при снижении числа оборотов крыльчаток вентиляторов ниже допустимого;
- в любой из вышеперечисленных ситуациях (обобщенный сигнал).

2.5 Стойки сопряжения

Стойки сопряжения ТПТС52.2110-XX.XX используются при построении ПТК, когда тогда необходимо осуществить:

- а) переход с одного типа кабеля (внешнего) на другой (внутренний, использующийся в аппаратуре ТПТС-ЕМ и подключаемый методом «Maxi-Termi-Point»).
- б) гальваническое разделение цепей ПС и цепей периферийного устройства;
- в) токовая подгрузка «сухих» контактов внешних устройств, для которых требуется повышенная токовая нагрузка;
- в) преобразование входного сигнала с напряжением 220 В в дискретный сигнал в виде коммутации «сухих контактов» цепи с низким напряжением 24 (48) В;
- г) преобразование выходного потенциального сигнала 24 В в дискретный сигнал в виде коммутации «сухих контактов» цепи с напряжением 220 В;
- д) преобразование выходного аналогового сигнала ПС [0(4) - 20 мА; 0 (2) - 10 В] в аналоговый сигнал другого уровня;

Для выполнения этих функций в стойках сопряжения имеются соответствующие соединительные и клеммные элементы, модули подгрузки а также релейные модули.

Стойки сопряжения используются для сопряжения сигнальных цепей ПС с внешними кабелями и проводами, передающими:

а) входные аналоговые и дискретные сигналы следующих видов:

- унифицированный потенциальный сигнал с диапазоном от 0 (2) до 10 В,
 - унифицированный токовый сигнал с диапазоном от 0 (4) до 20 мА,
 - сигнал от термоэлектрического преобразователя (термопары), имеющего номинальную статическую характеристику преобразования по ГОСТ Р 8.585-2001;
 - сигналы от термопреобразователя сопротивления по ГОСТ Р 8.625-2006 с автоматической компенсацией сопротивления соединительных проводов;
 - потенциальный сигнал 24 (48) В;
 - коммутация «сухих контактов», питаемых напряжением 24 (48) В
- от типовые программно-технические средства типа ЕМ;

в) выходные сигналы к периферийным устройствам – приемникам выходных сигналов типовые программно-технические средства типа ЕМ

Для подключения кабелей, идущих от ПС, в стойке сопряжения используются клеммные блоки (32-контактные), обеспечивающие возможность подключения проводов сечением 0,5 мм² по технологии присоединения накруткой (внутренний монтаж) и по технологии Maxi-Termi-Point (внешний монтаж).

Для подключения кабелей, идущих от периферийных устройств, используются клеммные колодки UDMTK 5-P/P, 727-222/022-000, 727-220/021-000.

Колодка клеммная UDMTK 5-P/P обеспечивает возможность подключения проводов от периферии сечением от 0,2 до 1,5 мм². К одному контакту клеммной колодки может быть присоединено два провода одинакового сечения в указанном диапазоне. Клеммные колодки содержат размыкатели, предназначенные для коммутации подключаемых цепей, и

контрольные гнезда, предназначенные для подключения измерительных приборов к подключаемым цепям.

Колодки клеммные 727-222/022-000, 727-220/021-000 обеспечивают возможность подключения провода сечением от 0,2 до 1,5 мм². К одному контакту клеммной колодки может быть присоединено два провода указанного сечения.

При необходимости сопряжения аппаратуры ТПТС-ЕМ с контактами внешних устройств, для которых требуется повышенная токовая нагрузка, в стойках сопряжения предусмотрена возможность установки модулей подгрузки, что позволяет обеспечить дополнительную токовую нагрузку подключенных цепей до следующих величин токов: 5 мА, 10 мА, 20 мА, 50 мА, 100 мА. Для подключения заземляющих цепей от модулей токовой подгрузки используются колодки клеммные UK 10 N, к которым можно подключать провода сечением от 0,5 до 10 мм².

Для сопряжения входных и выходных цепей ПС с периферийными устройствами в стойках сопряжения могут быть установлены модули сопряжения, преобразующие вид электрического сигнала.

2.6 Средства Коммуникации

2.6.1 Шина EN

Шина EN используется для обмена цифровыми данными между отдельными устройствами системы контроля и управления. Это высокоскоростная шина (100 Мбит/с), для которой транспортное время практически не зависит от удаленности абонентов и их количества.

Шина EN обеспечивает:

- информационную связь между ПС;
- обмен информацией между ПС и СВБУ;
- возможность подключения устройств конфигурирования для ввода и корректировки прикладных алгоритмов функциональных модулей;
- возможность синхронизации времени всех подключенных абонентов.

Шина EN имеет кольцевую отказоустойчивую структуру. Передающая среда реализуется на оптоволокне, что обеспечивает идеальную потенциальную развязку всех абонентов шины.

Отводы от кольца к абонентам выполнены витой парой. Скорость передачи в отводах – 10 Мбит/с. Снижение скорости передачи в отводах обеспечивает с запасом пропускную способность для каждого отдельного абонента и реализует важнейшую особенность шины EN, заключающуюся в том, что никакой отказ отдельного абонента (включая нерегламентированную передачу информации в максимальном темпе) не приводит к блокированию шины. В этом случае происходит лишь потеря 10% ее производительности. Шина EN представлена на рисунке 11.

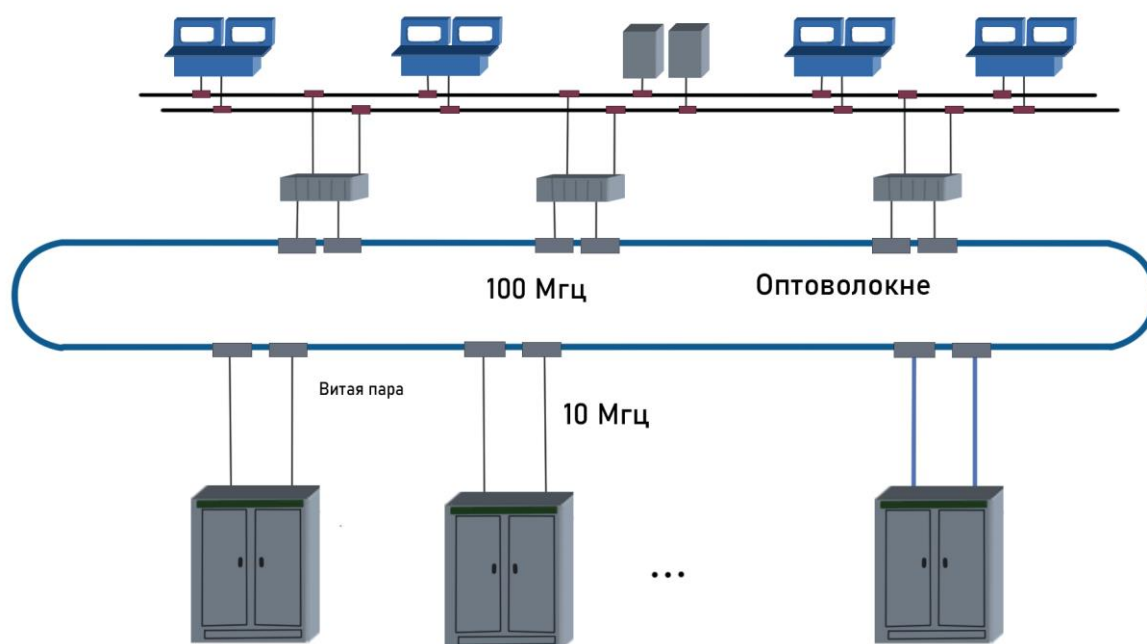


Рисунок 11 – Шина EN

2.6.2 Интерфейсные модули

Интерфейсные модули используются для подключения отдельных абонентов к шине EN. Существует следующие типы интерфейсных модулей, которые соответствуют разным подключаемым устройствам:

а) модуль EN-ЦМ (в составе модуля ЦМ-Е ТПТС52.1335) применяется в ПТК нормальной эксплуатации и предназначен для подключения ПС к шине EN нормальной эксплуатации по одному резервированному каналу (А и В);

б) EN-СБ (в составе модуля ЦМ-СБ ТПТС52.1336) применяется в ПТК системы безопасности и предназначен для подключения ПС по четырем независимым нерезервированным каналам к четырем отдельным шинам EN:

- канал А – к шине EN нормальной эксплуатации;
- канал В – к шине EN для внутрисистемного обмена (ВСО) в границах системы безопасности;

- канал С - к шине EN блочного пункта управления (БПУ);
- канал D – к шине EN резервного пункта управления (РПУ);

в) EN-PCI (ТПТС52.1227) – компактный сетевой адаптер для подключения БШС.

г) EN-PCI (ТПТС52.1226) – сетевой адаптер Ethernet, служащий для подключения к шине EN персонального компьютера.

д) базовый коммуникационный модуль ТПТС52.1333 - применяется для связи с интеллектуальными датчиками по шине 485RS. ТПТС52.1333 выполняет обработки принятой от датчиков информации и осуществляет связь с шиной EN.

2.6.3 Коммутаторы

Коммутаторы предназначены для объединения абонентов шины в единую систему. Коммутаторы имеют в своем составе два типа портов – “абонентские” и “магистральные”. Через “абонентские” порты осуществляется подключение модулей интерфейса. Через “магистральные” порты осуществляется объединение коммутаторов в единое магистральное кольцо.

Коммутатор, получив данные, прежде чем передавать их дальше, осуществляет их проверку (контрольная сумма, размер и т.д.). Ошибочные данные дальше не передаются, что уменьшает нагрузку на коммуникационную систему.

Задержка передачи информации от порта к порту в коммутаторе не превышает нескольких микросекунд.

Коммутатор, назначенный менеджером резервирования, следит за целостностью связи. Когда оборудование магистрали исправно, он держит одну из связей в кольце разомкнутой, а при нарушении связи в магистрали замыкает эту резервную связь, восстанавливая целостность шины.

Имеется возможность осуществлять настройку коммутаторов под требуемые задачи с любого места, а также удаленно собирать статистические данные о работе коммутаторов.



Глава 3

3.1 Контурные автоматического регулирования систем

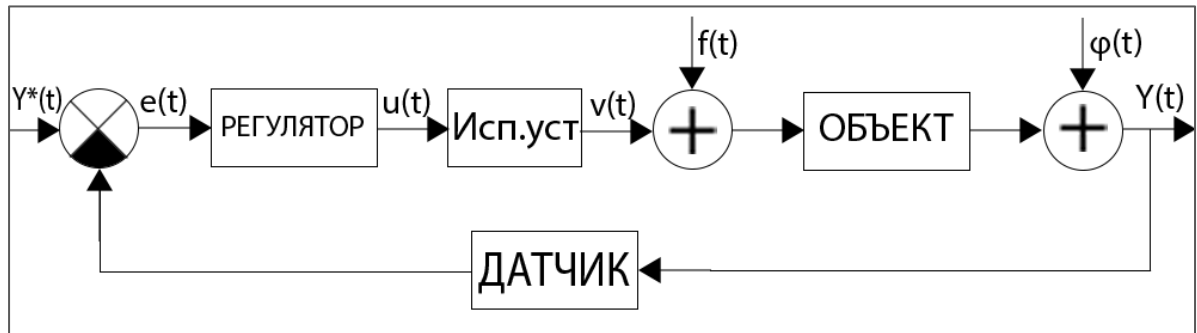


Рисунок 12 - Структурная схема контура автоматического регулирования

На рисунке 12 показана структурная схема контура автоматического регулирования. Системы автоматического регулирования (САР) используются для управления отдельными параметрами (температура, давление, уровень, расход и др.) в объекте управления.

Входной сигнал - $Y^*(t)$ сравнивается с текущим значением $Y(t)$, выходной сигнал (регулируемый параметр). После этого сравнения сигнал рассогласования формулируется следующей формулой;

$$e(t) = Y^*(t) - Y(t)$$

, который поступает в регулятор. Выработывавший управляющий сигнал $u(t)$ подан на исполнительное устройство регулятором. Управляющее воздействие $v(t)$ от исполнительного устройства поступает на вход объекта. Помимо управляющего воздействия $V(t)$ на поведение объекта влияет возмущение $f(t)$. Задача регулятора – обеспечить изменение выходного сигнала $Y(t)$ в соответствии с заданием входного сигнала $Y^*(t)$ в условиях действия возмущений $f(t)$ и погрешностей измерения выхода $\phi(t)$. Из-за различных типов регуляторов алгоритмы могут разделяться на множество различных типов;

- Релейные (позиционные) регуляторы (двух-или трехпозиционные);
- Типовые промышленные регуляторы непрерывного действия;
 - пропорциональный (П-регулятор);
 - интегрирующий (И-регулятор);

- дифференцирующий (Д-регулятор);
- пропорционально-интегрирующий (ПИ-регулятор);
- пропорционально-дифференцирующий (ПД-регулятор);
- пропорционально-интегрально-дифференцирующий (ПИД-регулятор).
- Типовые промышленные регуляторы непрерывного действия;
- типовые регуляторы с выходом на импульсный исполнительный механизм (с амплитудной, широтной, частотной или фазовой модуляцией выходной последовательности импульсов);
- регуляторы состояния динамической системы (в непрерывном и дискретном вариантах);
- регуляторы на основе нечеткой логики (fuzzy logic);
- регуляторы на основе искусственных нейронных сетей.[7]

3.2 Описание объекта управления

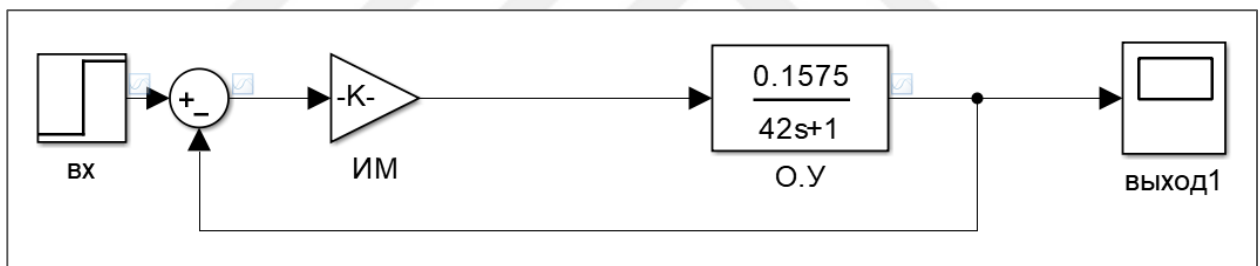


Рисунок 13 - Структурная схема системы управления, отвечающая за повышение/понижение уровня расширителях продувки ПГ

Объект управления представлен на рисунке 13. В данной работе объект управления будет рассматриваться как объект с самовыравниванием первого порядка. Это решение обусловлено тем, что уровень в расширителях обладает свойствами самовыравнивания.

Временная диаграмма САУ с использованием объекта управления первого порядка представлена на рисунке 14.

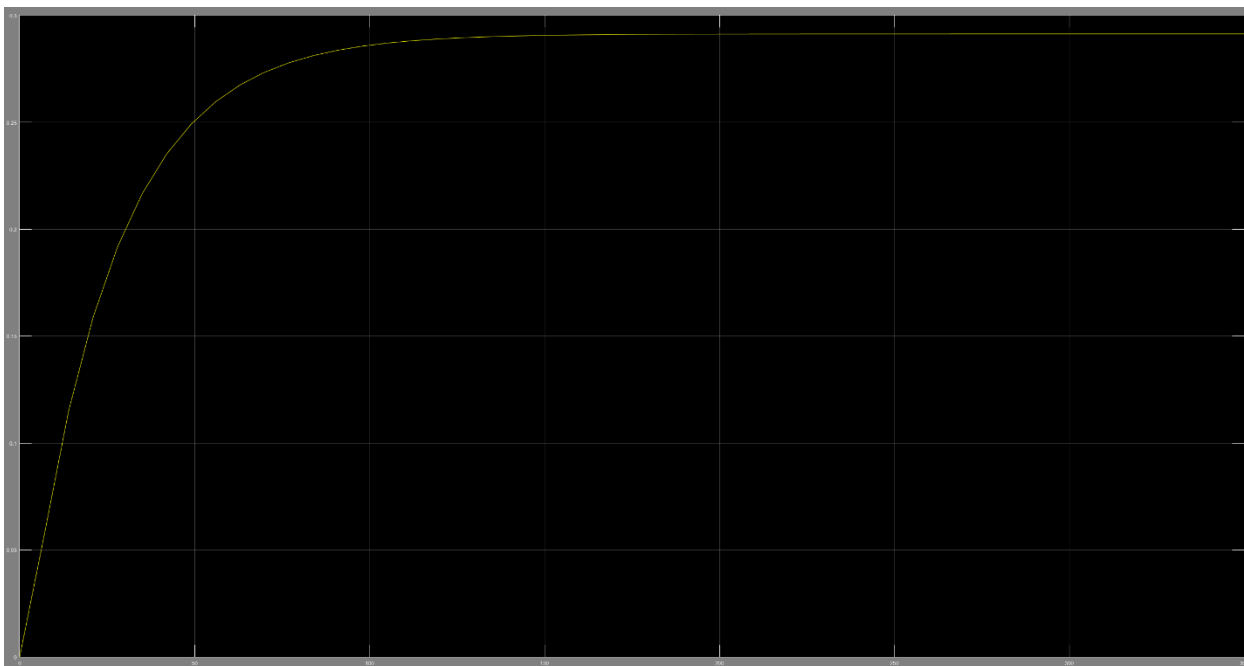


Рисунок 14 – Временная диаграмма с использованием объекта управления первого порядка.

Объект обладает самовыравниванием в том случае, если нагрузка объекта (приток или сток, или оба вместе) зависит от регулируемой величины. Такие объекты называются статическими. Они могут быть представлены в виде апериодического звена.

Объекты, не имеющие самовыравнивания, называются астатическими или нейтральными. Их динамические свойства могут быть представлены интегрирующим звеном.

Объекты могут обладать большей или меньшей способностью к самовыравниванию, поэтому вводится понятие «степень самовыравнивания» (коэффициент самовыравнивания):

$$\rho = \frac{Y_{\text{в}}}{\Delta X_{\text{вых}}} = K_c \cdot \frac{\text{вел. возмущ. возд. \%}}{\text{откл. регулир. велич. \%}}$$

Степень самовыравнивания – это отношение величины возмущения к отклонению регулируемой величины, вызванное этим возмущением.

Чем больше ρ , тем меньше отклонение регулируемой величины, больше способность к самовыравниванию. Большим самовыравниванием обладают объекты регулирования уровня и расхода в расширителе.

Для проведения исследований в практической части выпускной квалификационной работы возьмем апериодические объекты первого и второго порядка

3.3 Представление объекта управления в виде разностных уравнений

Для создания модели объекта управления будем использовать разностные уравнения модели, которые составляются с помощью передаточных функций.

Так как исследуемый объект управления обладает свойством самовывравнивания, то для создания разностных уравнений рассмотрим апериодического звено первого порядка.

$$W(s) = \frac{L[X_{\text{ВЫХ}}(t)]}{L[X_{\text{ВХ}}(t)]}, \text{ при нулевых начальных условиях}$$

$$W(s) = \frac{K}{TS+1} = \frac{X_{\text{ВЫХ}}(S)}{X_{\text{ВХ}}(S)};$$

$$K \cdot X_{\text{ВХ}}(S) = X_{\text{ВЫХ}}(S) \cdot (TS + 1);$$

$$T \cdot S \cdot X_{\text{ВЫХ}}(S) + X_{\text{ВЫХ}}(S) = K \cdot X_{\text{ВХ}}(S);$$

$$\text{При } S \rightarrow \frac{d}{dt};$$

$$T \frac{d}{dt} X_{\text{ВЫХ}}(t) + X_{\text{ВЫХ}}(t) = K \cdot X_{\text{ВХ}}(t);$$

$$X^I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{X_{\text{ВЫХ}}(t+\Delta t) - X_{\text{ВЫХ}}(t)}{\Delta t};$$

$$T \left(\frac{X_{\text{ВЫХ}}(t+\Delta t) - X_{\text{ВЫХ}}(t)}{\Delta t} \right) + X_{\text{ВЫХ}}(t) = K \cdot X_{\text{ВХ}}(t);$$

$$X_{\text{ВЫХ}}(t + \Delta t) - X_{\text{ВЫХ}}(t) = \frac{\Delta t}{T} (K \cdot X_{\text{ВХ}}(t) - X_{\text{ВЫХ}});$$

$$X_{\text{ВЫХ}}(t + \Delta t) = \frac{\Delta t}{T} (K \cdot X_{\text{ВХ}}(t) - X_{\text{ВЫХ}}) + X_{\text{ВЫХ}}(t).$$

Аналогично, для создания разностных уравнений для объекта управления в виде апериодического звена второго порядка, можно использовать два последовательно соединенных апериодических звена первого порядка

3.4 Программа MikBASIC базы данных реального времени MWBridge

Ядро реального времени поддерживает несколько типов технологического программирования:

- алгоблочное программирование (средний и верхний уровни);
- модуль вычислений;
- MikBASIC.

Наиболее удобный тип технологического программирования, которым можно описать объект управления с помощью разностных уравнений является инструмент MikBASIC. [8]

Для получения теоретических данных о переходных процессах, протекающих в регуляторе, производится моделирование в программной среде MWBridge. С помощью инструмента MikBASIC в MWBridge запишем систему разностных уравнений, которые включают объект управления в виде аperiodического звена первого порядка, а также зададим входное воздействие по уровню и пронаблюдаем переходные процессы, происходящие на выходе объекта управления. Окно программы MikBASIC представлено на рисунке 15. Для построения разностных уравнений описывающих объект управления необходимо знать значения переменных реального времени на текущем и предыдущем такте работы системы, в которой реализуется модель управления. Такую возможность предоставляет интерпретатор MikBASIC ядра реального времени MWBridge. При чтении параметра с предыдущего шага необходимо воспользоваться командой $A[i].VALUEOLD$, где i – номер переменной в базе данных реального времени, а при чтении параметра с текущего шага необходимо воспользоваться командой $A[i].VALUE$. В переменной $A[71].VALUE$ осуществляется расчет выходной переменной модели первого порядка, а в переменную $A[72].VALUE$ осуществляется расчет выходной переменной модели второго порядка. В переменные $A[71].VALUE$ - $A[80].VALUE$ осуществляется запись параметров моделей объектов управления и нормировочные коэффициенты исполнительного

механизма, который считается с некоторыми допущениями безынерционным звеном.[9]

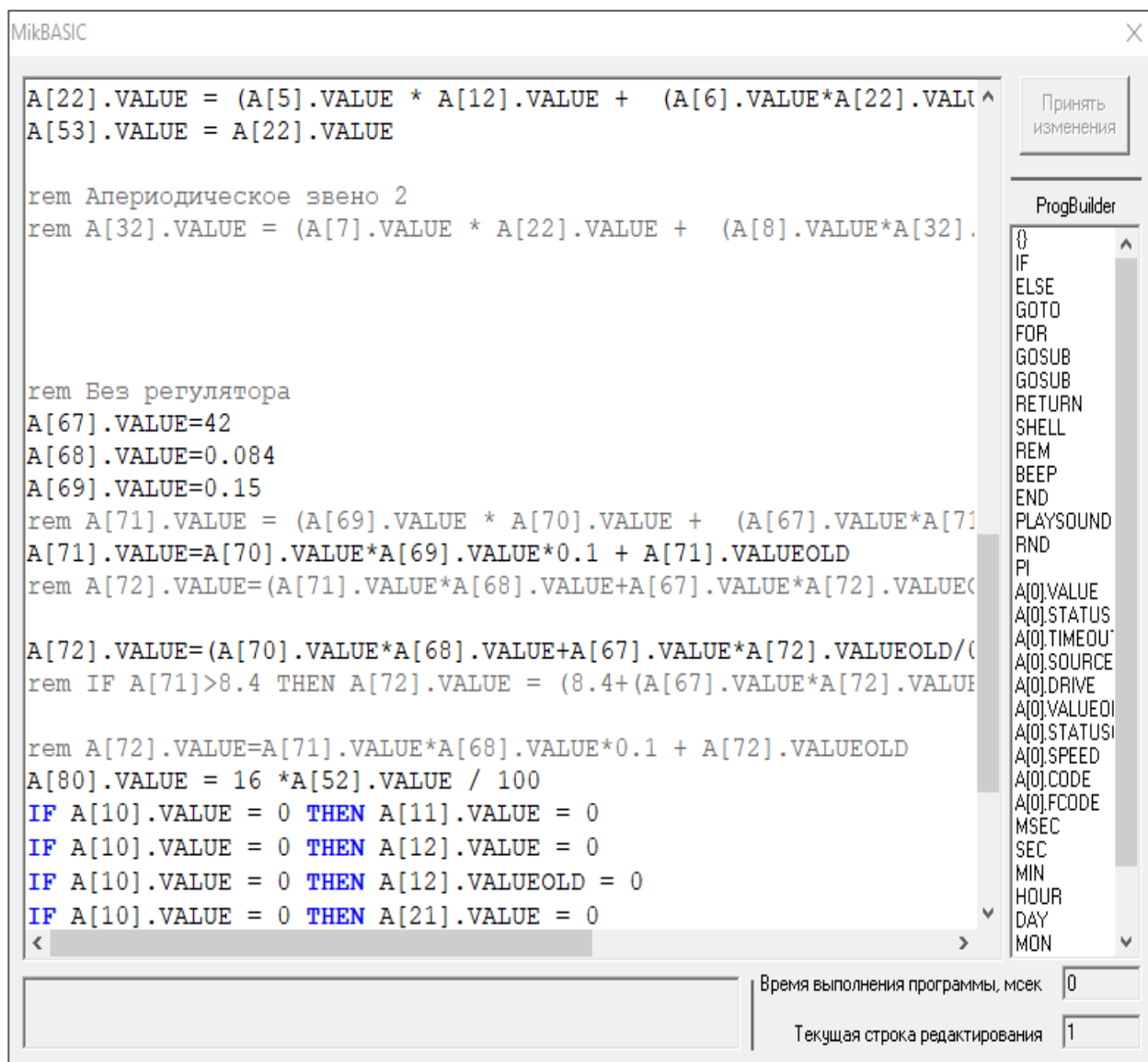


Рисунок 15 – Окно программы MikBASIC с записанными разностными уравнениями

На рисунке 16 представлена база данных, в которую записаны расчетные параметры модели объектов управления первого и второго порядков, а также входные и выходные величины модели объекта управления.

Проект: [C:\RYC01\]. Лицензия: [ГТЕС]. Пользователь: [???

УСО Сеть Алго Алго ВУ ТЭП Мнемосхемы Документы Просмотр трендов

Пользовательские профили Настройки Основные Сеть/УСО Тренды WEB Такт БД.ms: 102Прием: 0Передача: 0Память.k: 192968 [13:49:21]

Основные Значения Усреднения Все Уставки Статусы Синхронизация НСИ

Номер	Название	Описание	Посл.Значе...	Статус	Время обно...	Источник	Таймаут
A39			###	###	###		60000
A40			###	###	###		60000
A41	K_вход_обь...	Входная физическая ...	###	38	19:59:05.126		60000
A42	K_выход_об...	Выходная физическа...	2	0	13:49:21.902		60000
A43			###	###	###		60000
A44			###	###	###		60000
A45	K+интеграт...	W= K + K/S	6.66667	0	13:49:21.902		60000
A46			###	###	###		60000
A47			###	###	###		60000
A48			###	###	###		60000
A49			###	###	###		60000
A50			###	###	###		60000
A51	Уставка	Уставка регулятора	0.7	0	13:48:25.042		0
A52	Выход	Выход регулятора	56.225	0	13:49:21.796	ALGO: P01A0002	0
A53	Рег_величина	Регулируемая велич...	0.7	0	13:49:21.902		0
A54			###	###	###		60000
A55			###	###	###		60000
A56	K	Коэффициент пропо...	0.65	0	13:48:15.947		0
A57	Ti	Интегральный	0.07	0	13:47:03.091		0
A58	Td	Дифференциальный	0	0	19:41:45.543		0
A59			###	###	###		60000
A60			0	0	16:30:01.387		0
A61			###	###	###		60000
A62			###	###	###		60000
A63			###	###	###		60000
A64			###	###	###		60000
A65			###	###	###		60000
A66			###	###	###		60000
A67	T_OY	T_OY	42	0	13:49:21.902		0
A68	K_OY	K_OY	0.084	0	13:49:21.902		0
A69	K_ИМ	K_ИМ	0.15	0	13:49:21.902		0
A70	Вход_им	Вход для им	0	0	13:48:04.401		0
A71	Выход_им	Выход для им	0	0	13:49:21.902		0
A72	Выход_оу	Выход для оу	0	0	13:49:21.902		0
A73			###	38	13:48:04.401		60000
A74			###	###	###		60000

☐ A
☐ D
☐ Статистика
☐ Вычисления
☐ MikBASIC

☒ Группы

- ☐ Тренды
- ☐ Объект управления
- ☐ Аперiodика
- ☐ Аперiodика 2 порядка
- ☐ K+K1/S
- ☐ Регулятор
- ☐ Без регулятора
- ☐ Уровень

☒ Навигация

<< < > >>

Номер:

A000

-1 -10 -100

+1 +10 +100

D000 D999

☒ Редактирование

Копир. Встав. C

A51

Вырез. Отмена По

A51

Поиск

Замена

Искать в отмеченном

Искать Поиск и замена

☒ Настройки просмотра

☐ Открывать с места последнего просмотра

Запомнить позицию

3.5 Результаты моделирования объекта управления в среде реального времени

С помощью Response Optimization Simulink сформированы коэффициенты объекта управления. Объект управления формулирован в виде апериодического звена. А исполнительный механизм формулирован в виде пропорциональности. Исполнительный механизм и объект управления поставлены в MWBridge и реализованы в MikBASIC.

Для получения переходных характеристик системы задается уставка 0,7 м по уровню. В качестве объекта управления выбрано апериодическое звено 1 порядка. В результате получим зависимости степени открытия клапана и изменения уровня в регуляторе во времени. Вид переходной характеристики представлен на рисунке 17, где видно, что при полном открытии клапана уровень достигается 0,3 м.

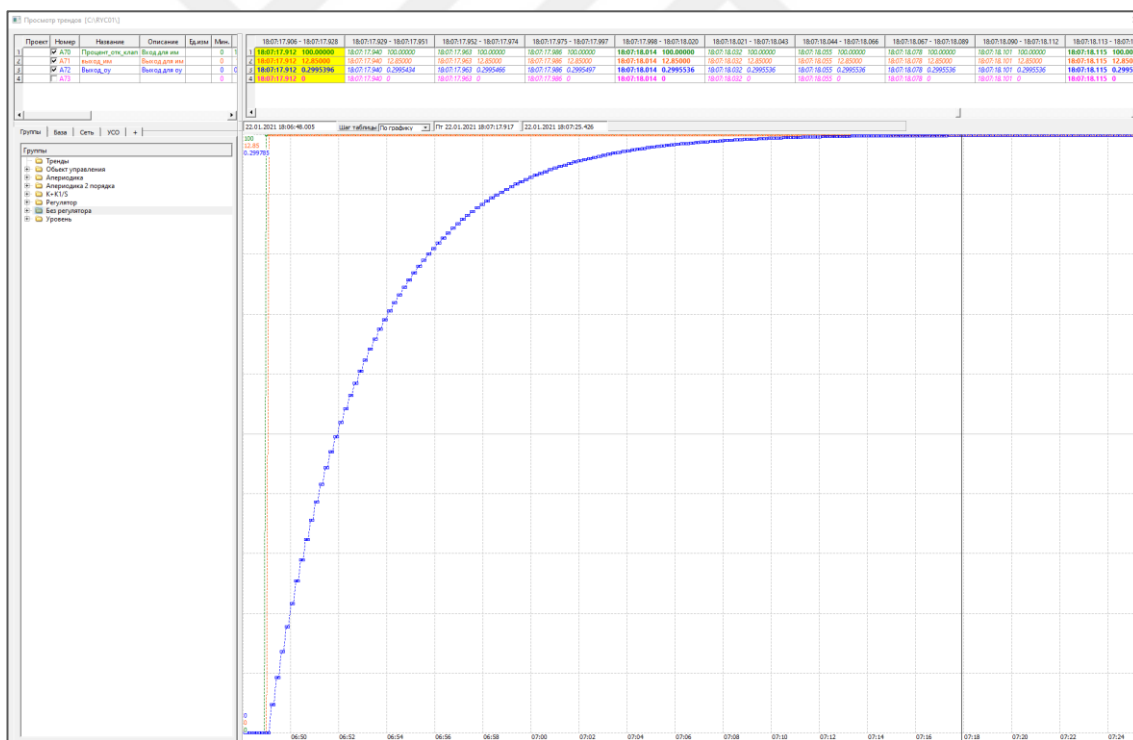


Рисунок 17 – Переходные характеристики уровня расширителях продувки ПГ и степени открытия на 100% для объекта управления, представленного в виде апериодического звена 1 порядка.

На рисунке 18 представлена общая переходная характеристика при изменении степени открытия клапана с полного открытия до 50% открытия клапана. Уровень падает из 0,35м на 0,175м в этом случае.

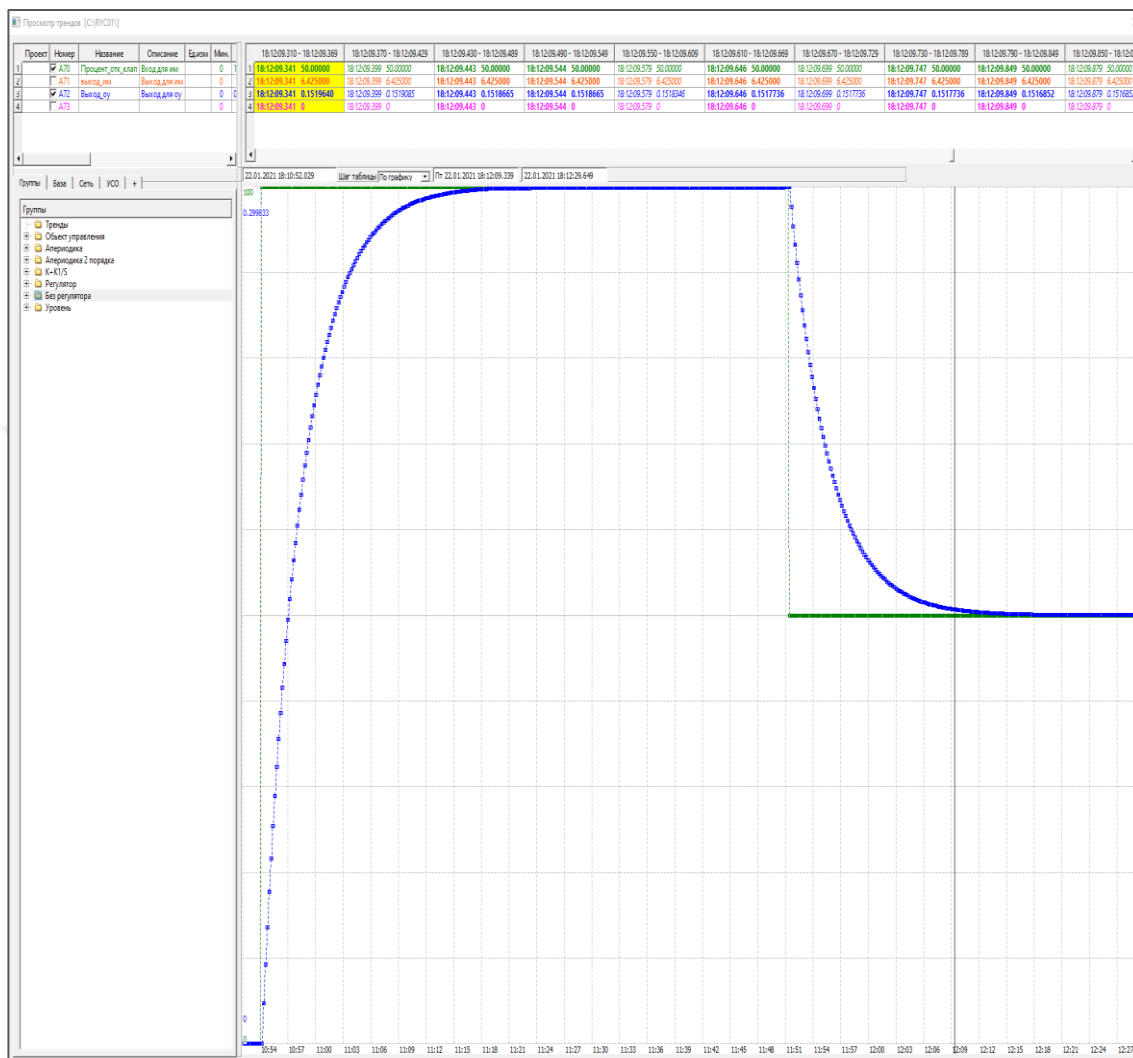


Рисунок 18 – Переходные характеристики уровня расширителях продувки ПГ и степени открытия на 50% для объекта управления, представленного в виде апериодического звена 1 порядка.

На рисунке 19 представлена общая переходная характеристика при изменении степени открытия клапана с полного открытия до 50% открытия клапана.

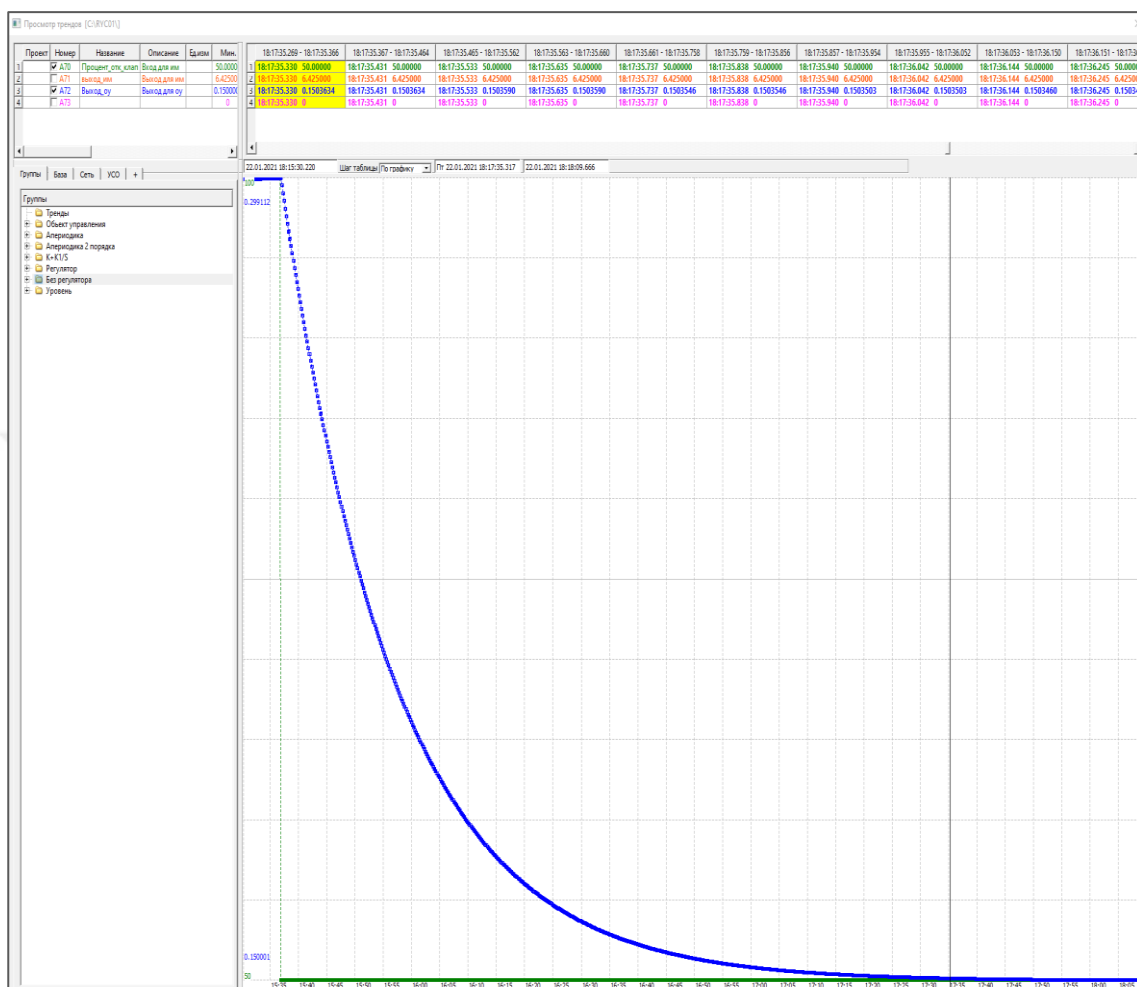


Рисунок 19 – Переходная характеристика уровня расширителях продувки ПГ при изменении степени открытия клапана от 100 до 0% для объекта управления, представленного в виде апериодического звена 1 порядка.

Глава 4

4.1 Реализация регулятора на Алго Ву

Регулятор уровня расширителя продувки ПГ реализует ПИ закон регулирования. С помощью все этими данными регулятора моделировали регулятор RYC01 на Алго ВУ.

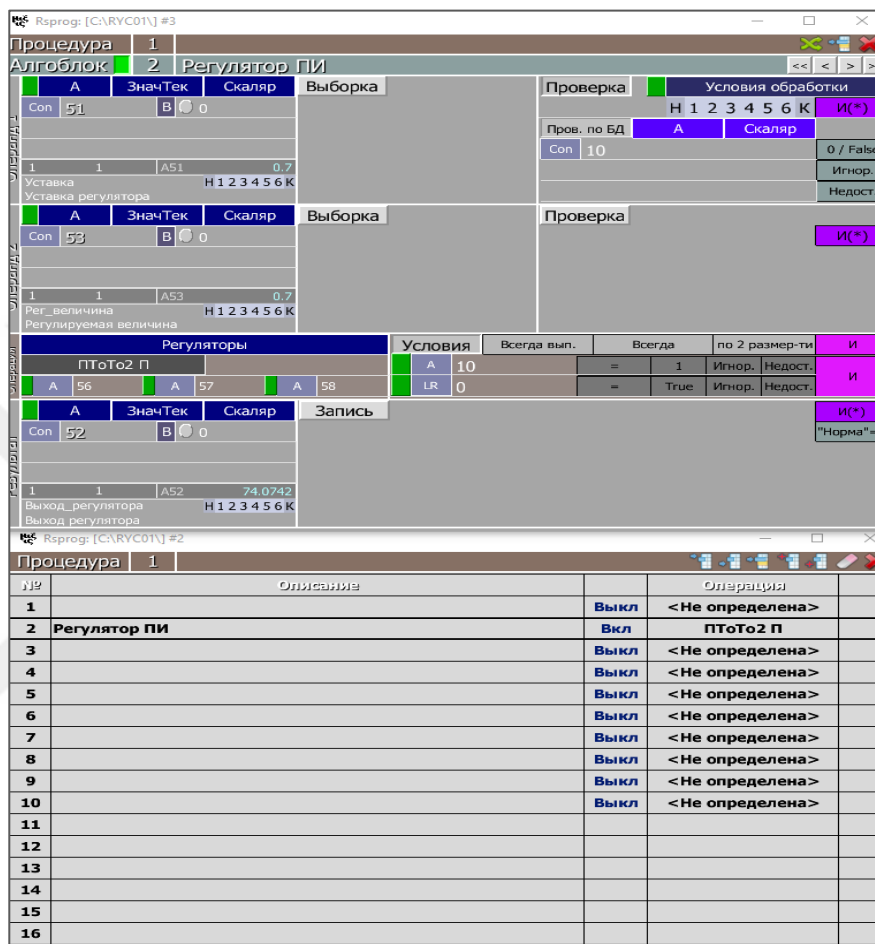


Рисунок 20-Интерфейс Алго ВУ

4.2 Графики ПИ регулятора

После получения нашего регулятора, мы начинаем исследование с помощью проставления разных значений на месте пропорционального и интегрального коэффициентов. В начале поставляем $T_i = 0,1$ и поменяем K_p :



Рисунок 21.а- $T_i = 0,1$ и $K_p = 50$ значение выхода регулятора ($U_{уст} = 0.7$)

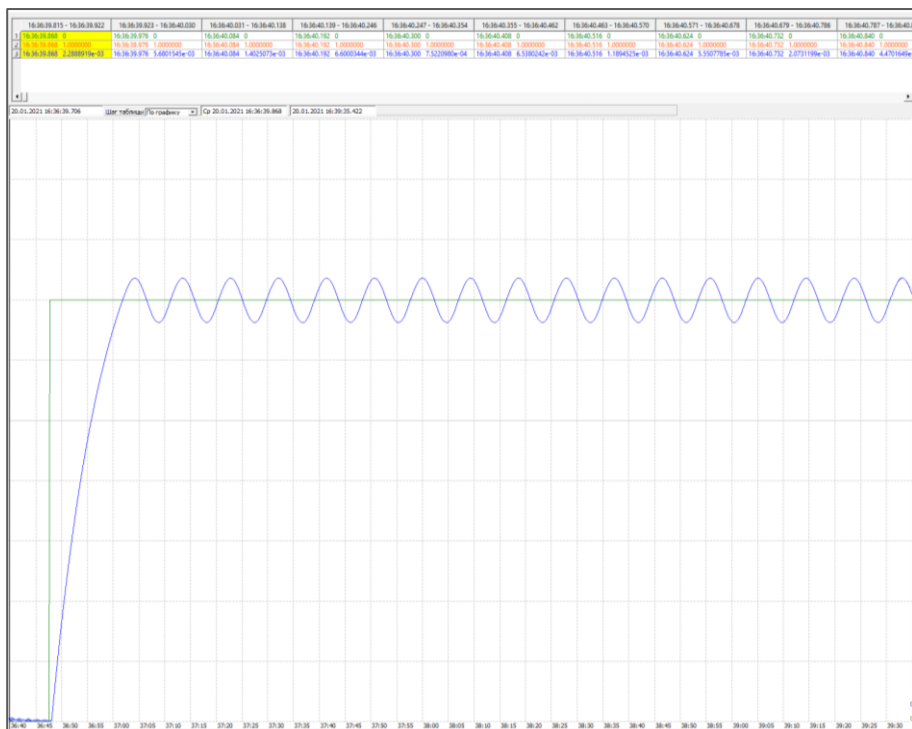


Рисунок 21.б- $T_i = 0,1$ и $K_p = 50$ значение уставки и значение регулируемой величины при ($U_{уст} = 0.7$)

На рисунке 21 представлен график регулируемой величин при $T_n = 0,1$ и $K_n = 50$. Из-за того, что у регулятора такая большая величина для K_n выходной сигнал становился неустойчивым и начинался колебаться. Система становилась ненадежной поэтому такую систему принять для работы не логично.

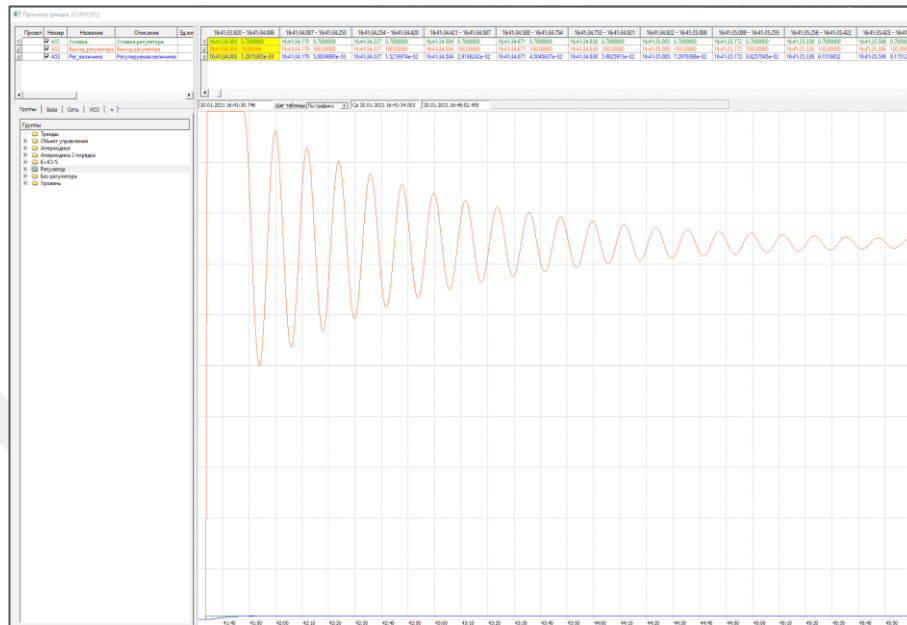


Рисунок 22.а- $T_n = 0,1$ и $K_n = 30$ значение выхода регулятора ($U_{уст} = 0.7$)

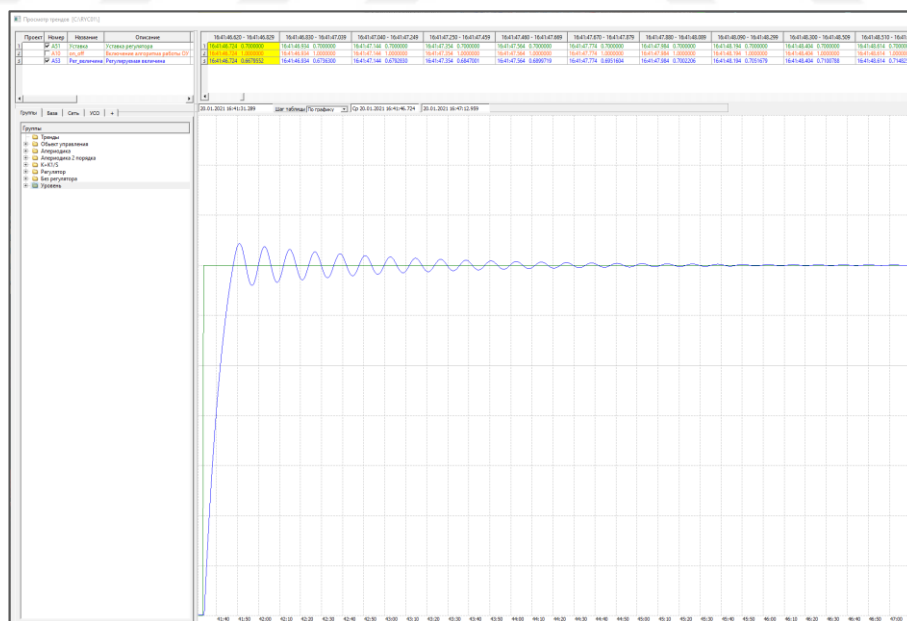


Рисунок 22.б- $T_n = 0,1$ и $K_n = 30$ значение уставки и значение регулируемой величины при ($U_{уст} = 0.7$)

На рисунке 22 представлен график регулируемой величин при $T_{и}=0,1$ и $K_{п}=30$. Система имеет перерегулирование с $U_{\max}=0.77$ и время регулирования $T_{рег}=600с$

$$\sigma_{\max} = \frac{|0.77 - 0.7|}{0.7} \times 100 = 10,0\%$$

С $\sigma_{\max} = 10,0\% > 5\%$ и время регулирования $T_{рег}=135с$. Значит такую систему с коэффициентами $T_{и}=0,1$ и $K_{п}=30$ не могут принять для работы.

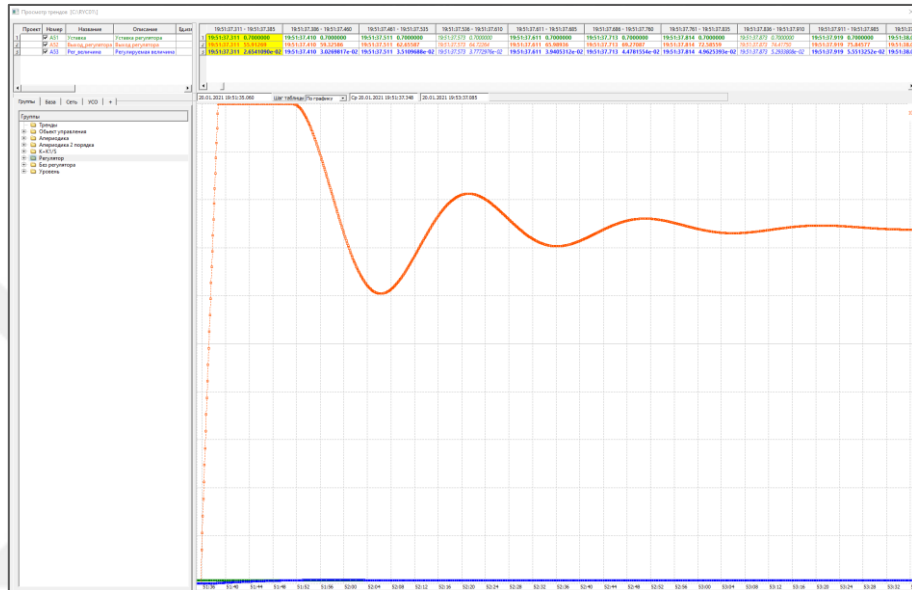


Рисунок 23.а- $T_{и}=0,1$ и $K_{п}=5$ значение выхода регулятора ($U_{уст}=0.7$)

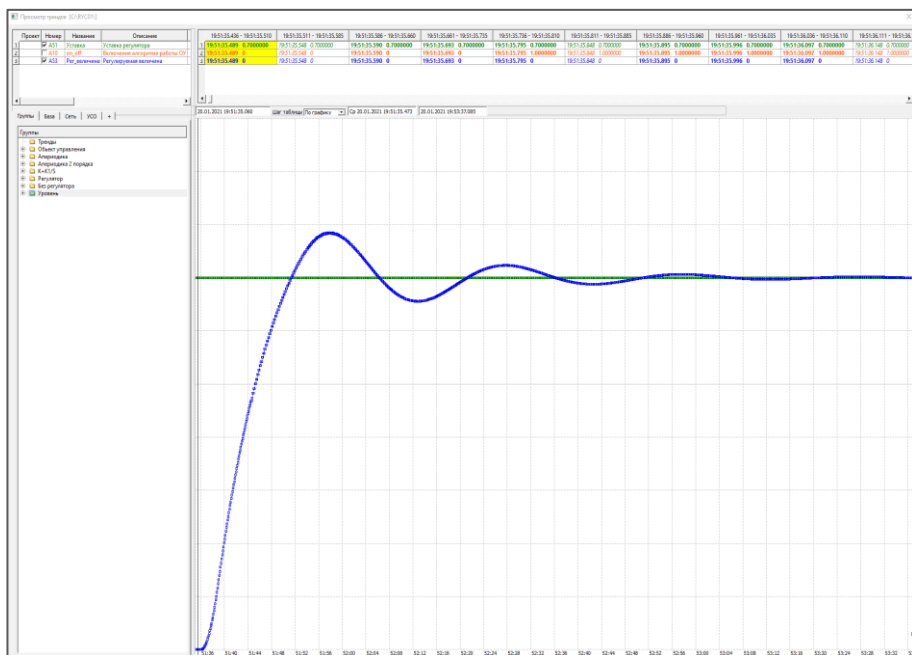


Рисунок 23.б- $T_{и}=0,1$ и $K_{п}=5$ значение уставки и значение регулируемой величины при ($U_{уст}=0.7$)

Для $K_{\Pi}=5$ и $T_{\Pi}=0,1$ получились графики на рисунке 23. Система имеет перерегулирование с $U_{\max}=0.813$ и время регулирования $T_{\text{рег}}=135\text{с}$

$$\sigma_{\max} = \frac{|0.813 - 0.7|}{0.7} \times 100 = 15,7\%$$

С $\sigma_{\max} = 15,7\% > 5\%$ и время регулирования $T_{\text{рег}}=135\text{с}$.

Значит такую систему с коэффициентами $T_{\Pi}=0,1$ и $K_{\Pi}=5$ не могут принять для работы. Коэффициент пропорциональности надо ещё раз уменьшаться.

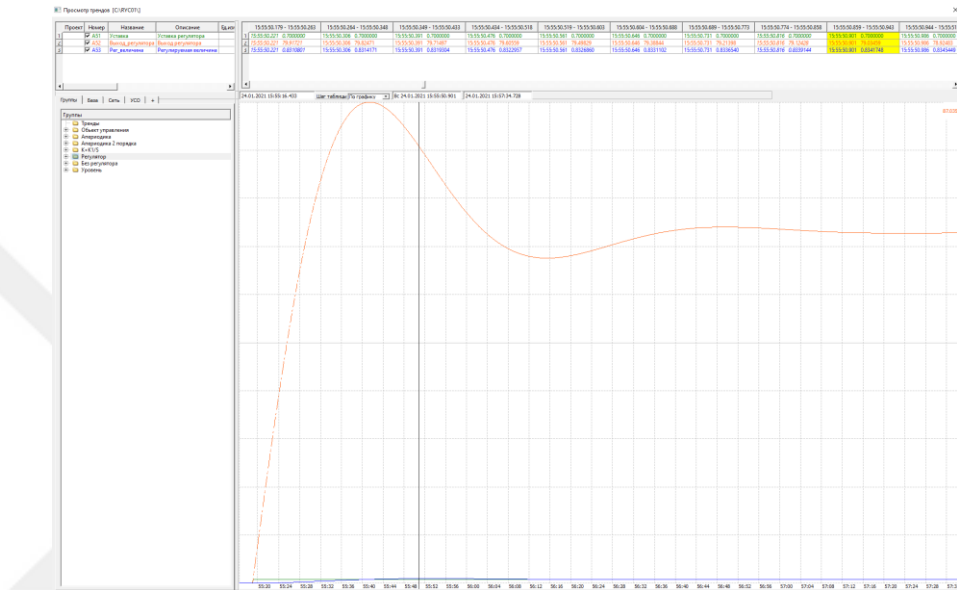


Рисунок 24.а - $T_{\Pi}=0,1$ и $K_{\Pi}=1$ значение выхода регулятора ($U_{\text{уст}}=0.7$)

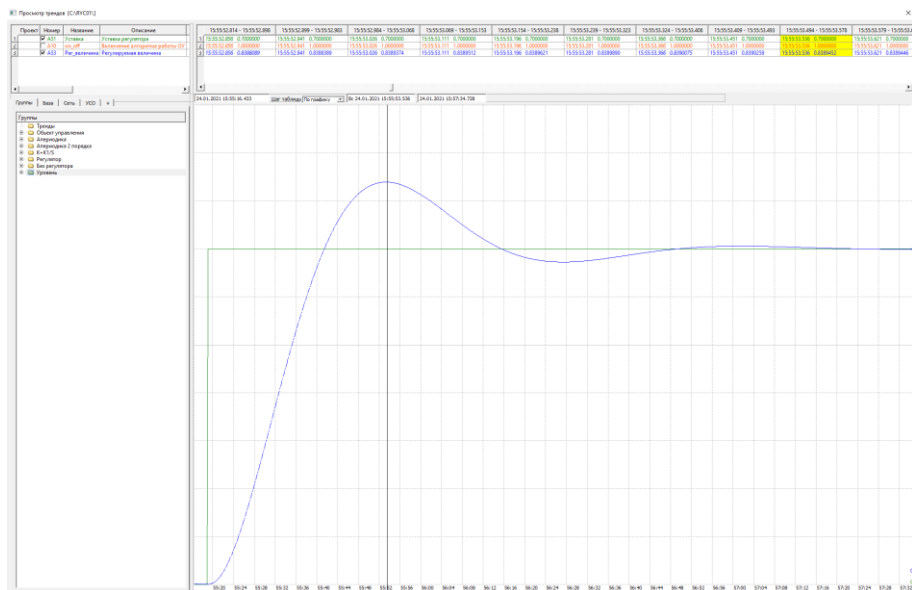


Рисунок 24.б- $T_{\Pi}=0,1$ и $K_{\Pi}=1$ значение уставки и значение регулируемой величины при ($U_{\text{уст}}=0.7$)

Для $K_p=1$ и $T_i=0,1$ получились графики на рисунке 24. Система имеет перерегулирование с $U_{\max}=0.838$ и время регулирования $T_{\text{рег}}=120\text{с}$

$$\sigma_{\max} = \frac{|0.838 - 0.7|}{0.7} \times 100 = 19,714\%$$

С $\sigma_{\max} = 19,714\% > 5\%$ и время регулирования $T_{\text{рег}}=120\text{с}$.

Значит такую систему с коэффициентами $T_i = 0,1$ и $K_p=1$ не могут принять для работы.

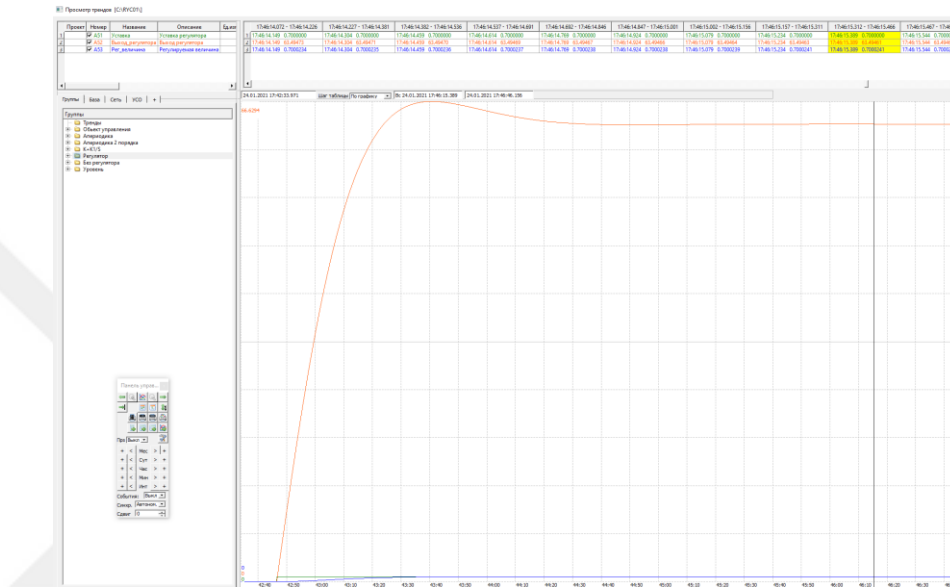


Рисунок 25.а - $T_i = 0,1$ и $K_p=0,4$ значение выхода регулятора ($U_{\text{уст}}=0.7$)

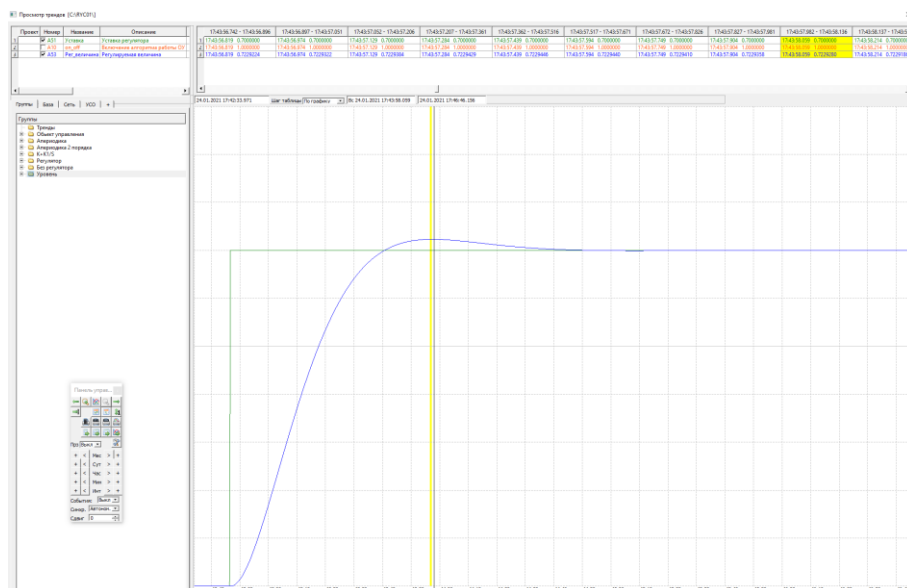


Рисунок 25.б- $T_i = 0,1$ и $K_p=0,4$ значение уставки и значение регулируемой величины при ($U_{\text{уст}}=0.7$)

Для $K_p=0,4$ и $T_i=0,1$ получились графики на рисунке 25. Система имеет перерегулирование с $U_{\max}=0.722$ и время регулирования $T_{\text{рег}}=130\text{с}$

$$\sigma_{\max} = \frac{|0.722 - 0.7|}{0.7} \times 100 = 3,142\%$$

С $\sigma_{\max} = 3,142\% < 5\%$ и время регулирования $T_{\text{рег}}=130\text{с}$. Значит такую систему с коэффициентами $T_i = 0,1$ и $K_p=0,4$ могут принять для работы.

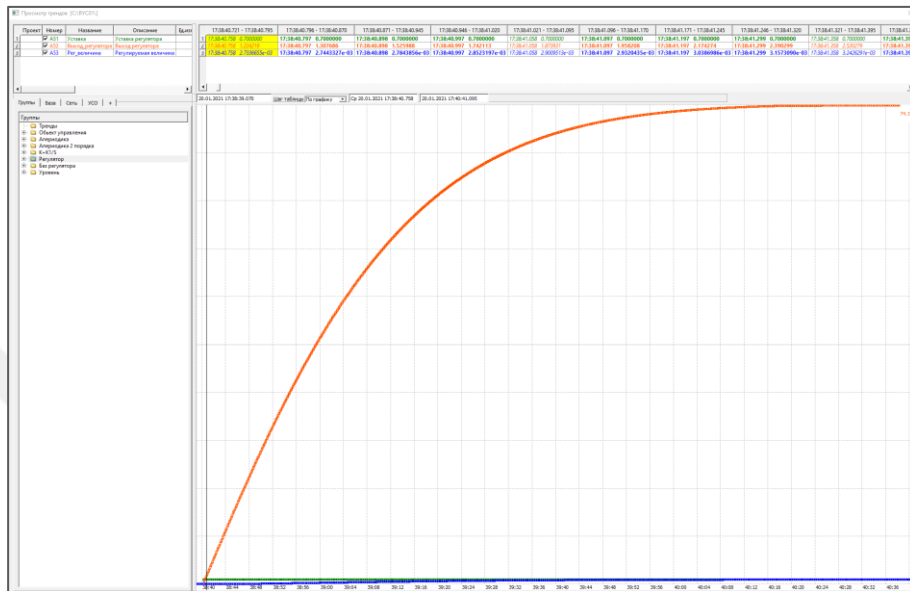


Рисунок 26.а- $T_i = 0,1$ и $K_p=0,31$ значение выхода регулятора ($U_{\text{уст}}=0.7$)

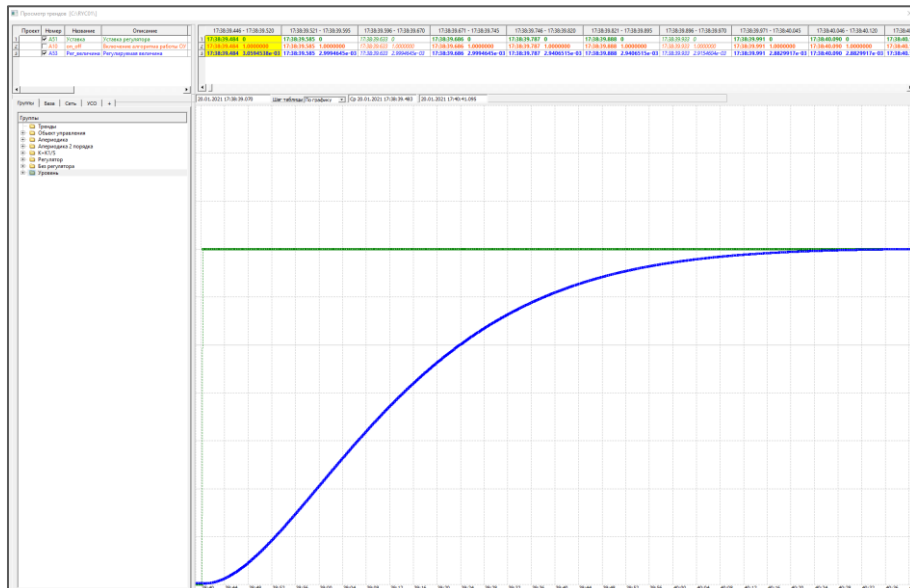


Рисунок 26.б- $T_i = 0,1$ и $K_p=0,31$ значение уставки и значение регулируемой величины при ($U_{\text{уст}}=0.7$)

Для $K_p=1$ и $T_n=0,31$ получились графики на рисунке 26. Этот регулятор устойчивый и такую систему можно принять для работы. Когда K_p имеет больше, чем значение $K_p=0,31$, регулятор начнет колебаться. А наоборот, когда меньше, чем значение $K_p=0,31$, регулятор становится устойчивым, но работает медленнее.

После этого для $K_p=0,1$ поменяем значение T_n :

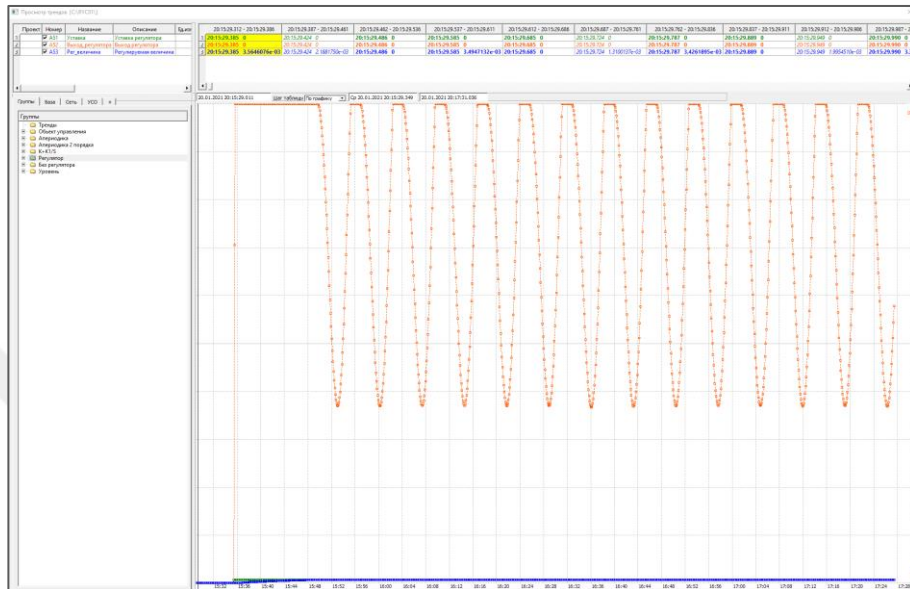


Рисунок 27.а- $T_n= 0,0001$ и $K_p=0,1$ значение выхода регулятора ($Y_{уст}=0.7$)

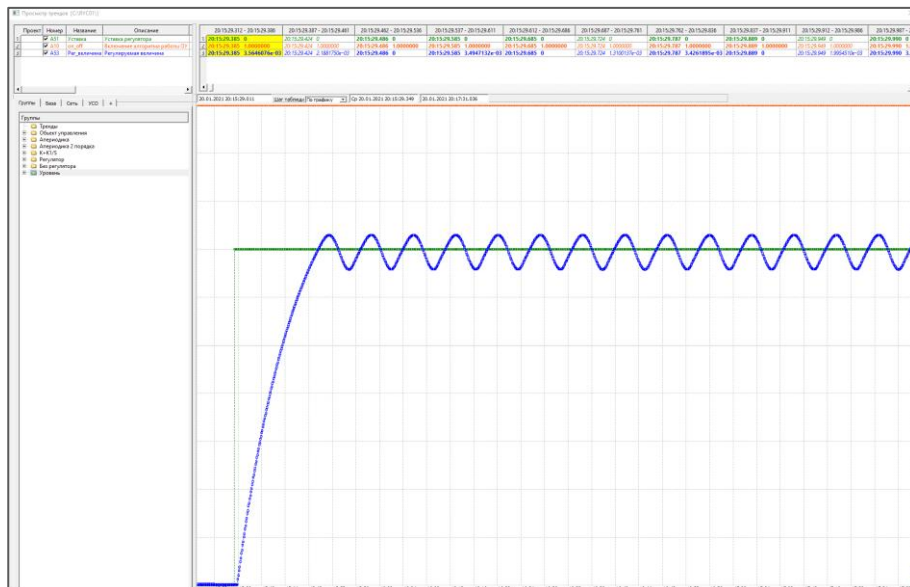


Рисунок 27.б- $T_n= 0,0001$ и $K_p=0,1$ значение уставки и значение регулируемой величины при ($Y_{уст}=0.7$)

На рисунке 27 представлен график регулируемой величин при $T_{и}=0,0001$ и $K_{п}=0,1$. Из-за того, что у регулятора такая большая величина для $K_{и}$ выходной сигнал становился неустойчивым и начинался колебаться. Система становилась ненадежной поэтому такую систему принять для работы не логично.

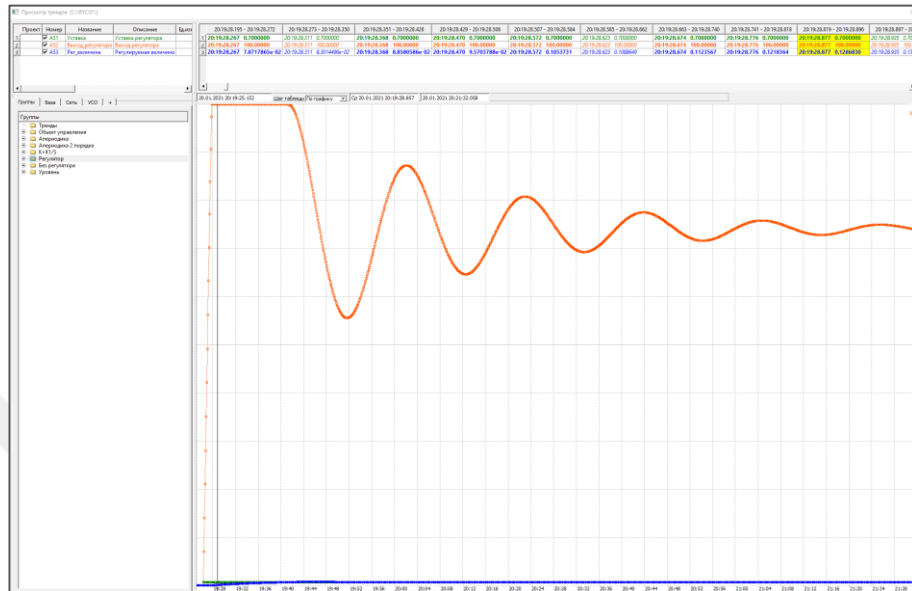


Рисунок 28.а- $T_{и}=0,001$ и $K_{п}=0,1$ значение выхода регулятора ($U_{уст}=0.7$)

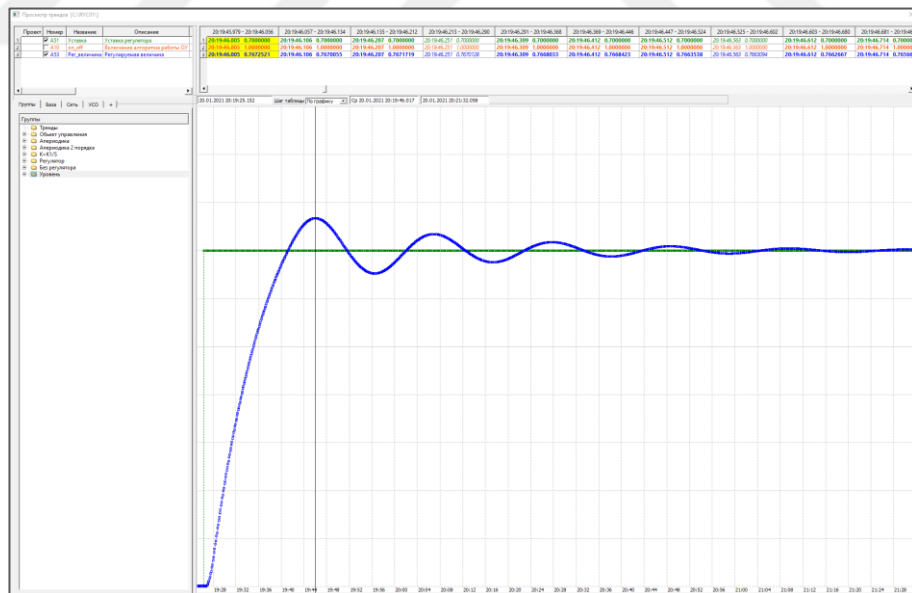


Рисунок 28.б- $T_{и}=0,001$ и $K_{п}=0,1$ значение уставки и значение регулируемой величины при ($U_{уст}=0.7$)

На рисунке 28 представлен график регулируемой величин при $T_{и}=0,04$ и $K_{п}=0,1$. Система имеет перерегулирование с $U_{\max}=0,804$ и время регулирования $T_{\text{рег}}=200\text{с}$

$$\sigma_{\max} = \frac{|0.804 - 0.7|}{0.7} \times 100 = 14,85\%$$

С $\sigma_{\max} = 14,85\% > 5\%$ и время регулирования $T_{\text{рег}}=200\text{с}$. Значит такую систему с коэффициентами $T_{\text{и}} = 0,04$ и $K_{\text{п}}=0$ не могут принять для работы.



Рисунок 29.а- $T_{\text{и}} = 0,025$ и $K_{\text{п}}=0,1$ значение выхода регулятора ($U_{\text{уст}}=0.7$)

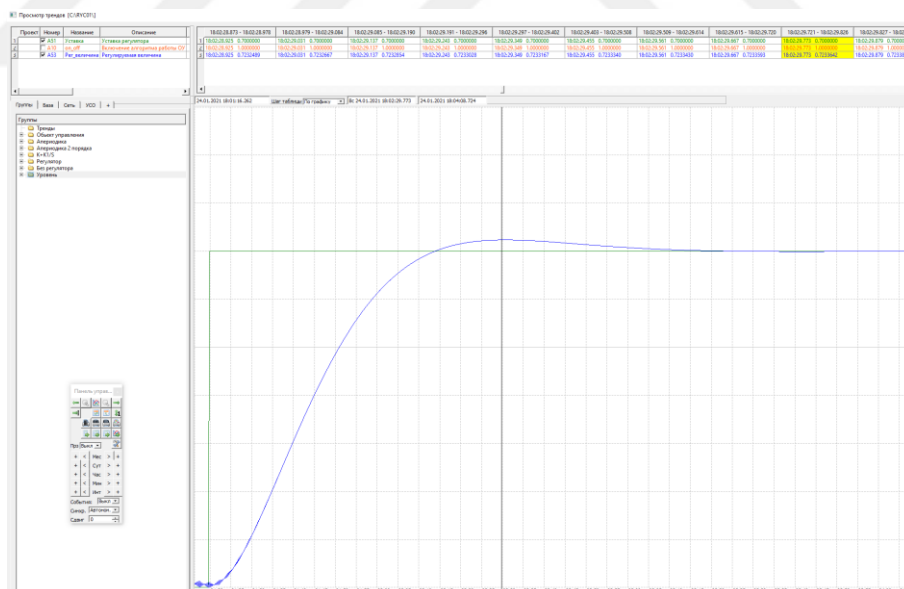


Рисунок 29.б- $T_{\text{и}} = 0,025$ и $K_{\text{п}}=0,1$ значение уставки и значение регулируемой величины при ($U_{\text{уст}}=0.7$)

Для $K_{\text{п}}=0,1$ и $T_{\text{и}}=0,025$ получились графики на рисунке 25. Система имеет перерегулирование с $U_{\text{мак}}=0.724$ и время регулирования $T_{\text{рег}}=125\text{с}$

$$\sigma_{\max} = \frac{|0.724 - 0.7|}{0.7} \times 100 = 3,42\%$$

С $\sigma_{\max} = 3,42\% < 5\%$ и время регулирования $T_{\text{рег}}=125\text{с}$. Значит такую систему с коэффициентами $T_{\text{и}}= 0,025$ и $K_{\text{п}}=0,1$ могут принять для работы.

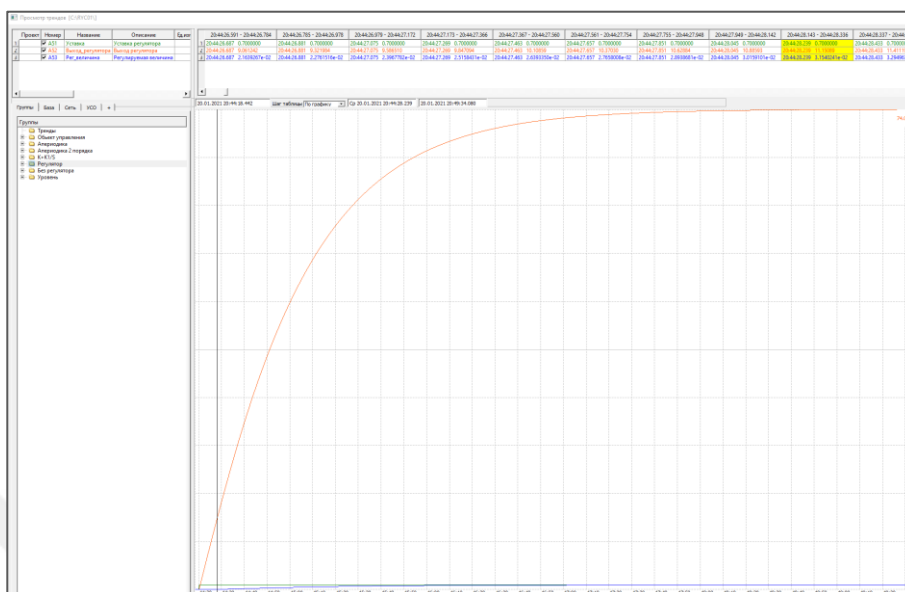


Рисунок 30.а- $T_{\text{и}}= 0,04$ и $K_{\text{п}}=0,1$ значение выхода регулятора ($Y_{\text{уст}}=0.7$)

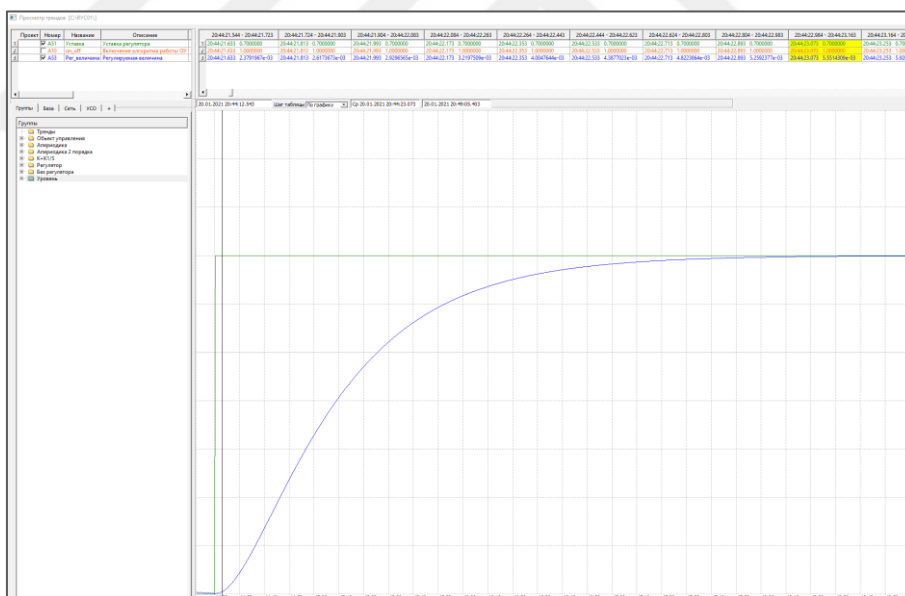


Рисунок 30.б- $T_{\text{и}}= 0,04$ и $K_{\text{п}}=0,1$ значение уставки и значение регулируемой величины при ($Y_{\text{уст}}=0.7$)

Для $K_{\text{п}}=0,1$ и $T_{\text{и}}=0,04$ получились графики на рисунке 30. Этот регулятор устойчивый и такую систему можно принять для работы. Из всех этих систем, самый быстрый и устойчивый вариант — это система при $K_{\text{п}}=0,31$ $T_{\text{и}}=0,1$, потому что такая система является быстрым и надежным

4.3 Реализация регулятора на MATLAB

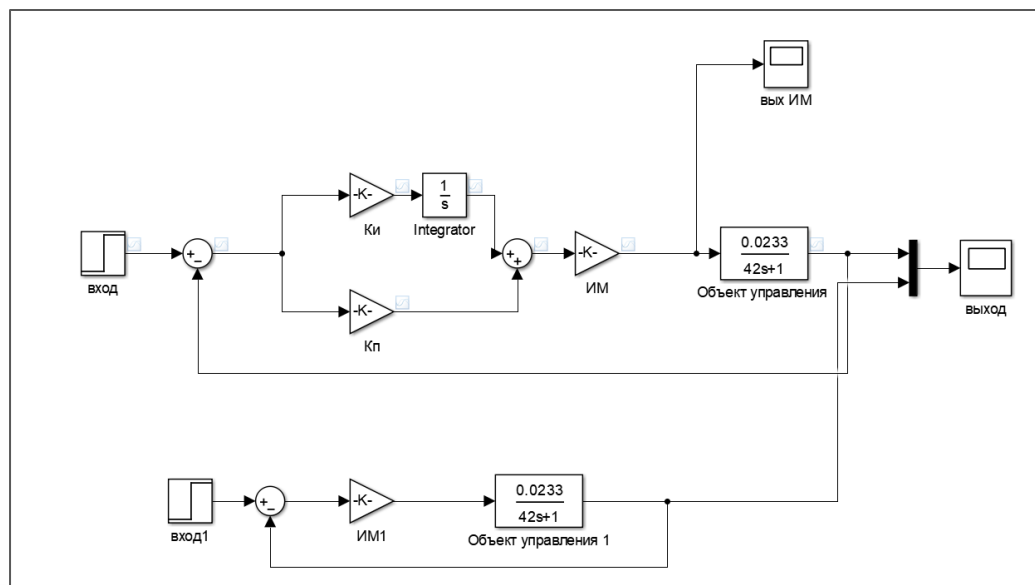
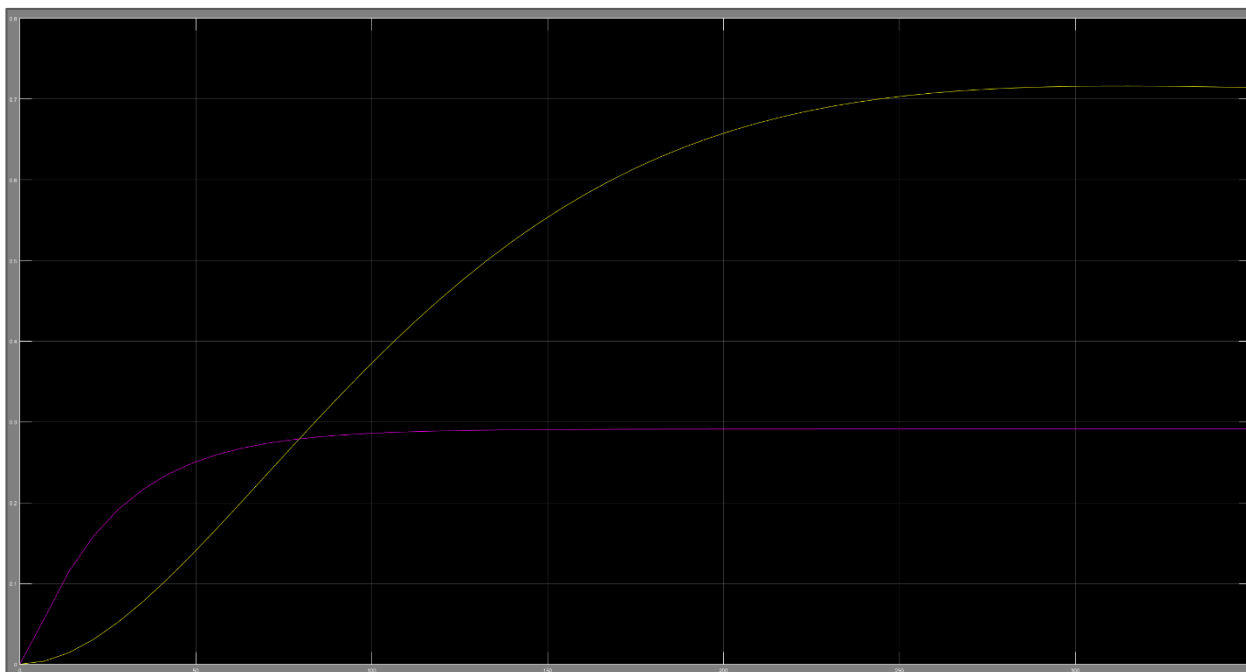


Рисунок 31-Реализация ПИ-регулятора на MATLAB

Регулятор уровня в расширителе продуквки ПГ реализован ПИ-законом. На рисунке 31 представлена математическая модель объекта управления с ПИ регулятором и без регулятора. Регулятор моделирован на MATLAB и вычислены коэффициенты для регулятора и поставлены на модели.



На рисунке 32 выход объекта управления без регулятора представлен с фиолетовым светом достигается до 0,3м но это не желаемая величина. А выход объекта управления с ПИ регулятором представлен с желтым светом достигается на уставку, 0.7 м. С помощью ПИ-регулятором выход объекта управления достигает на желаемую уставку.

Очевидно, что без регулятора выход без регулятора не достигается на уставку. С помощью ПИ-регулятором выход объекта управления достигает на желаемую уставку, 0,7 м.

4.4. Человеко-машинный интерфейс

После реализации регулятора уровня расширителя продувки ПГ, необходимо реализовать человеко-машинный интерфейс. Что бы реализовать эту задачу исползнана программа Display. Человеко-машинный интерфейс является пакетом программ, используемых для обработки данных в системе управления процессами. Основное назначение интерфейса – реализация автоматической системы управления, обеспечивающего все функции мониторинга процессов.

Человеко-машинный интерфейс включает в себя следующие основные компоненты:

- исполняющая система;
- система визуализации и регистрации технологических данных;
- система конфигурирования технологических данных.

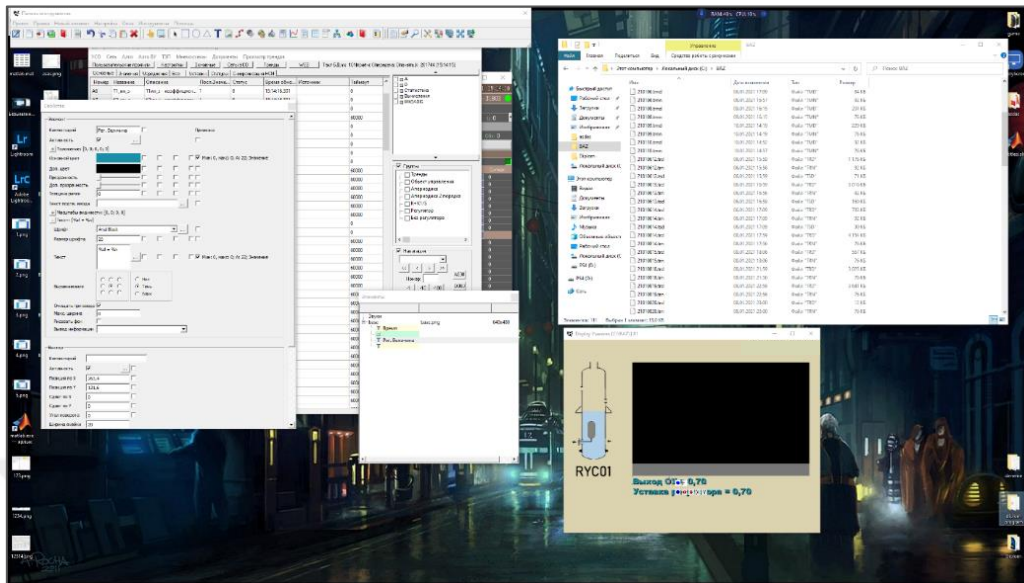


Рисунок 33 - обработка человеко-машинного интерфейса с помощью Display.

На рисунке 33 показана обработка человеко-машинного интерфейса. При обработке этого интерфейса использованы 3 значения из реализации регулятора. Эти значения:

- выход ОУ;
- уставка регулятора;
- регулирующая величина.

Что бы видеть изменение этих значениях добавлен график, и дана возможность к оператору для изменения уставки и на конец добавлены значения для пропорционального, интегрирующего и дифференциального коэффициентов.

В ходе выполнения данной выпускной квалификационной работы необходимо реализовать верхний уровень АСУ ТП, через человеко-машинный интерфейс обеспечивающего все функции процессов в системе управления для проведения сравнения с характеристиками реальной системы регулирования.

Мнемосхема с характеристиками системы регулирования представлена на рисунке 34.

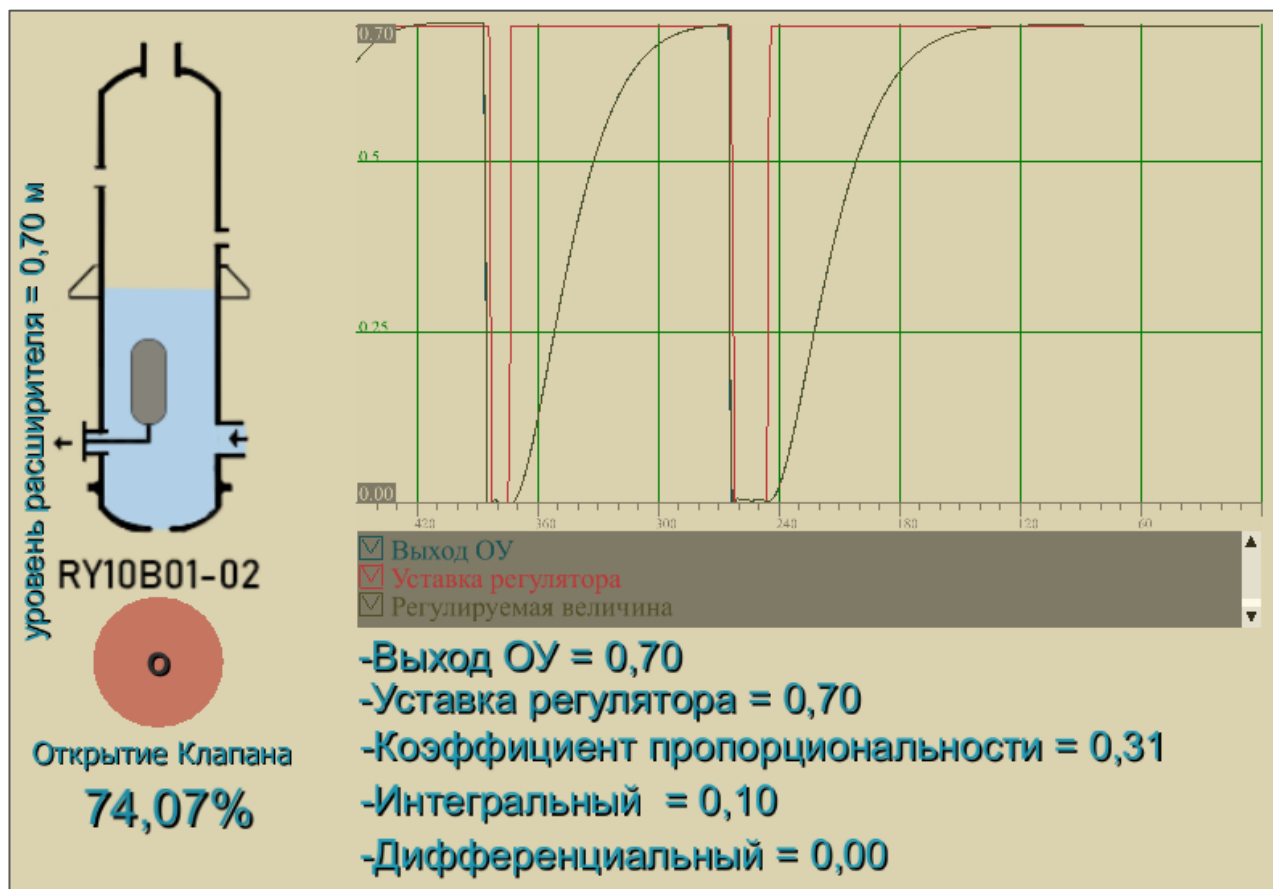


Рисунок 34 – Мнемосхема с характеристиками системы регулирования.

Мнемосхема, представленная на рисунке 34 отображает значения системы регулирования уровня в расширителе продувки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для исследования и моделирования системы управления уровня в расширителе продувки парогенератора ВВЭР-1000 была изучена техническая документация на систему, подобраны коэффициенты модели, необходимые для построения системы разностных уравнений. Разработаны и реализованы алгоритмы функционирования модели объекта управления в системе реального времени, изучена документация оборудования (программного комплекса MWBridge, MATLAB, Алго Бу).

С помощью полученных коэффициентов система управления уровня в расширителе продувки парогенератора ВВЭР-1000 смоделирована на MATLAB. В MWBridge и на MATLAB смоделирована система в виде апериодического звена и получены графики для без регуляторной системы. Регулятор реализован ПИ законом с помощью Алго Бу (MWBridge). Налажена периферийная связь между объектом управления и регулятором. Параметры регулятора рассчитаны при помощи инструмента Response Optimization Simulink (MATLAB). На MATLAB построена система управления уровня в расширителе с регулятором. С помощью изменения пропорциональных и интегрирующих коэффициентов, получены разные графики с разными характеристиками. После реализации регулятора, чтобы поменять уставку системы и коэффициенты регулятора и даже наблюдать регулируемую величину, значение выхода регулятора смоделирован человеко-машинный интерфейс на Display. Создана связь между MWBridge и Display. Значение регулирующей величины и значений уставки построены на графике человеко-машинном интерфейсе. Уставка по уровню задается из человеко-машинного интерфейса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аксенов, В. Автоматизированные системы управления технологическим процессом атомных электростанций / В. Аксенов, С. Батраков, В. Василенко. – Москва: Издательство Политехнического университета, – 2007. – 309 с.
2. Теплообмен в ядерных энергетических установках / Б. С. Петухов [и др.]. – Москва: Издательство МЭИ, 2003. – 548 с.
3. Штапова, А. Г. Моделирование системы автоматического регулирования уровня воды в парогенераторе атомной электростанции / А. Г. Штапова, Ю. А. Мефедова. — 2015. — С. 53-56.
4. Маргулова Т.Х., Подушко Л.А. Атомные электрические станции: Учебник для техникумов. – М. Энергоиздат, 1982. – 264 с.
5. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта / С. А. Андрушечко [и др.]. – Москва : Логос, 2010. – 604 с.
6. Зорин В.М. Атомные электростанции: учебное пособие /В.М. Зорин. – М.:Издательский дом МЭИ, 2012, – 672 с.
7. Система контроля, управления и диагностики реакторной установки для ВВЭР-1000 / М. Н. Голованов [и др.]. // Ядерные измерительно-информационные технологии. – 2002. – №2. – С. 20-35.
8. MWBRIDGE / MLB. Руководство пользователя. – Москва: Умикон. – 246 с.
9. Система контроля, диагностики и управления для ядерной энергоустановки большой мощности с водо-водяными реакторами. / А. Е. Калинушкин [и др.]. // Атомная энергия. – 2009. Т. 106. Вып. 1.