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

АЙДЕМИР МУХАММЕД

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛЯТОРА ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТКС-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 _____ Айдемир Мухаммед
(подпись) (ФИО)

*Руководитель ВКР доцент _____ Кулло И.Г.
(должность) (подпись) (ФИО)

М.П.

Консультант _____
(должность) (подпись) (ФИО)

*Рецензент _____
(должность) (подпись) (ФИО)

М.П.

Зав. кафедрой, д.т.н. _____ Кишкин В.Л.
(подпись) (ФИО)

*Подписи руководителя и рецензента заверяются отделом кадров соответствующего предприятия.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

Институт ядерной физики и технологий (ИЯФиТ)

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ **14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»**

КАФЕДРА **«Автоматика»**

ГРУППА **С16-162**

«УТВЕРЖДАЮ»
И.о. зам. зав. кафедрой «Автоматика»

_____И.Г. Кулло

« » _____ 2021 г.

ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

(заполняется в 2-х экземплярах)

1. Фамилия, имя, отчество студента Айдемир Мухаммед

2. Тема выпускной квалификационной работы

Разработка и исследование модели системы управления регулятора технической системы ТКС-01 ВВЭР-1000 на базе ПТК ТПТС НТ

3. Срок сдачи работы: собеседование:

защита:

4. Руководитель выпускной квалификационной работы

Кулло Иван Геннадьевич, НИЯУ МИФИ, доцент

(Ф.И.О. полностью, ученая степень, место работы, должность)

5. Рецензент выпускной квалификационной работы

(Ф.И.О. полностью, ученая степень, место работы, должность)

Москва, 2021 г.

1. Предметная область (например, автоматизация физико-энергетических установок, автоматизированные системы управления технологическими процессами АЭС, автоматизация физических установок и научных исследований, системы физической защиты ядерных материалов и установок) _____

Автоматизированные системы управления технологическими процессами АЭС

2. Исходные данные:

а) объект исследования _____

Технологические системы реактора ВВЭР-1000

б) предмет разработки _____

Система управления поддержания заданного технологического параметра в контуре регулирования реактора ВВЭР-1000.

в) ссылки на нормативно-техническую документацию _____

Выговский С. Б. Физические и конструкционные особенности ядерных энергетических установок с ВВЭР, Зверков, В. В. Автоматизированная система управления технологическими процессами АЭС, Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии», Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций»: НП-001-15

г) общие требования к результату ВКР _____

Полученные характеристики должны соответствовать реальным контурам регулирования реактора ВВЭР-1000

д) условия на выполнение работы (ограничения) _____

Модель объекта управления реализуется в виде разностных уравнений в системе реального времени. Модель системы управления реализуется на базе ПТК ТПТС в среде MWBridge.

3. Содержание ВКР:

а) обзор работ, связанных с темой ВКР

б) техническое задание

в) расчетно-конструкторская, теоретическая, технологическая часть

Необходимо разработать структурные математические модели объекта управления, регулирующего органа и системы управления.

г) экспериментальная часть

Реализация модели объекта управления в системе реального времени, реализация системы управления на базе ПТК – ТПТС НТ в системе MWBridge

д) экономико-организационная и информационная часть

е) охрана труда и техника безопасности, экологическая часть

4. Отчетный материал:

а) пояснительная записка (оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32-2017 «Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления».

б) презентация в формате PowerPoint.

в) макетно-экспериментальная часть

временные диаграммы работы модели объекта управления, работы регулятора по поддержанию заданного параметра используя архивные данные системы управления в режиме реального времени.

5. Консультанты ВКР

КОНСУЛЬТАНТ (Ф.И.О., место работы должность)	**Пункт(ы) задания**

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование этапов работы	Сроки выполнения этапов
1	Получение задания на ВКР	13.10.2021 г
2	Ознакомление с исходными данными задания на ВКР. Разработка структурных математических моделей объекта управления и исполнительного механизма.	20.10.2021г
3	Разработка и реализация модели объекта управления в системе Matlab. Проведение исследований системы управления. Выбор закона регулирования.	01.11.2021 г
4	Разработка и реализация модели объекта управления в системе в системе реального времени.	30.11.2021 г
5	Проверка алгоритмов функционирования системы управления и человеко-машинного интерфейса.	15.12.2021 г
6	Оформление отчета и защита ВКР	20.01.2022 г.

** Руководитель выпускной квалификационной работы _____ Кулло И.Г.
(подпись) (ФИО)

(контактная информация: +7 916 9419462, IGKullo@mephi.ru)

Задание принял к исполнению _____ Айдемир Мухаммед
(подпись) (ФИО)

«___»_____2021 г.

** Если руководитель ВКР не является сотрудником НИЯУ МИФИ, его подпись заверяется печатью отдела кадров по месту работы.

РЕФЕРАТ

Объём пояснительной записки 80 страниц, 32 рисунков, 1 таблица, 15 источников, 1 приложение.

ВВЭР-1000, ТКС-01, MATLAB, SIMULINK, MWBRIDGE, АЛГО ВУ, DISPLAY.

Цель работы: разработать и исследовать модели системы управления регулятора технической системы ТКС-01 ВВЭР-1000 на базе ПТК ТПТС НТ.

Объектом исследования является регулятор расхода продувочной воды на фильтры СВО низкого давления

Смоделирована система управления расхода продувочной воды на фильтры СВО низкого давления ВВЭР-1000 на MATLAB, где объект управления реализован в программе MWBridge и MATLAB в виде разностных уравнений. Регулятор реализован по ПИ закону. Этот регулятор смоделирован на Алго Ву. Через Display нарисован человеко-машинный интерфейс. Построена связь между MWBridge и человеко-машинным интерфейсом.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ 8

ВВЕДЕНИЕ 9

1 Литературный Обзор 13

1.1 Контуры автоматического регулирования систем 13

1.2 Основные элементы автоматического регулирования 13

1.3 Технологические контуры атомных станций 15

1.4 Система подпитки-продувки блока ВВЭР-1000; назначение, состав, принцип работы 17

1.5 Системы автоматического регулирования на АЭС с реактором ВВЭР-1000 21

1.6 Ситемы контроля и управления АЭС 22

1.7 Важные регуляторы СКУ РО 24

1.7.1 Регулятора ТКС-01 расхода продувочной воды на фильтры СВО низкого давления 26

1.8 Постановка задачи 27

2 Описание Технических Средств 29

2.1 Программно-технические средства ТПТС 29

2.1.1 Основная классификация модулей в ТПТС 30

2.1.2 Программно-технические средства ПКТ ТПТС-ЕМ 31

2.2 Описание ТПТС-НТ 33

2.3 Программно-технические средства ПКТ ТПТС-НТ 35

2.4 Системы контроля и управления на базе платформы ТПТС-НТ 37

2.5 Состав и функции компонентов платформы ТПТС-НТ 41

2.6 Системные интерфейсы ТПТС-НТ 44

2.7 Средства Коммуникации (Коммутаторы) 47

2.8 Самодиагностика 47
3 Построени Модели Расхода Продувочной Воды На Фильтры Сво Низкого Давления 49
3.1 Разработка модели объекта управления 49
3.1.1 Принципиальная схема и физические процессы на участке ОУ 49
3.2 Определение динамических параметров ОУ 53
3.3 Исполнительный механизм (регулирующий орган) 55
3.4 Реализация и проверка модели ОУ и ИМ в MatLab/Simulink 56
4 Исследование Модели Системы Управления В Реальном Времени 58
4.1 Системы управления с базами данных в реальном времени 58
4.2 Кодификация ОУ и ИМ в среде MikBASIC 59
4.3 Синтез регулятора в среде программирования АлгоВУ 61
4.4 Настройка и исследование влияния регулятора на качество регулирования 64
4.4.1 Пропорциональный компонент регулятора ТКС-01 65
4.4.2 Интегральный компонент регулятора ТКС-01 69
4.5 Исследование устойчивости системы при наличии возмущений 72
4.6 Разработка и описание ЧМИ 74
4.6.1 Этапы создания ЧМИ 76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 78
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 79
ПРИЛОЖЕНИЕ 81

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическими процессами

АЭС – атомная электростанция

БН – реактор на быстрых нейтронах

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор

ГЦК – главный циркуляционный контур

ГЦН – главный циркуляционный насос теплоносителя

ИМ – исполнительный механизм

КД – компенсатор давления

НЭ – нормальная эксплуатация

ОУ – объект управления

ФМ – функциональный модуль

ПТК – программно-технический комплекс

РБМК – реактор на тепловых нейтронах

РУ – реакторная установка

САПР – система автоматизированного проектирования

САУ – система автоматического управления

СКУ – система контроля и управления

СКУ РО – система контроля и управления реакторного отделения

ТП – технологический процесс

ТПТС – технологические программо-технические средства

ВВЕДЕНИЕ

Применение ядерной энергетики в мире началось несколько десятилетий назад. После первого пуска ее эксплуатация совершенно показала техническую возможность преобразования ядерной энергии в электрическую в промышленных масштабах. Применение атомной энергетики дало возможность и использовать чрезвычайно высокомощный источник энергии для производства электроэнергии в будущем и значительно сократить потребление традиционных ископаемых видов топлива. Кроме того, стоимость электроэнергии произведенной на атомных электростанциях гораздо выгоднее чем на других станциях.

Атомная энергетика- это не только отрасль занимающаяся производством электрической энергии, а также отрасль которая распространяется на другие области использования в цепи агропромышленного производства, здравоохранения, разработки промышленных материалов, строительства и военных технологий.

В настоящее время атомная энергетика относится к долгосрочным и сравнительно дешёвым видам энергии, и то и другое очень важные темы для современной цивилизации, уже сейчас испытывающей недостаток в энергетических ресурсах.

Потенциальное использование этой технологии для решения повседневных задач и безопасное использование ядерной энергии, требует повышенные технологических систем с большей степенью автоматизации и контроля. Решение нуждается в современных конструкциях ядерных установок и проектировании основных компонентов реактора. Россия играет важнейшую роль в мировой атомной отрасли.

Основные виды реакторов состовляют:

- РБМК- реактор большой мощности канальный, реактор на тепловых нейтронах;
- ВВЭР- водо-водяной энергетический реактор, реактор на тепловых нейтронах корпусного типа;

- БН- реактор на быстрых нейтронах с жидкометаллическим натриевым теплоносителем.

У каждого типа реактора есть свои особенности и общие особенности. Сравнив разные атомные электростанции, рассмотрим два наиболее часто используемых реактора в России и в мире: ВВЭР и РБМК. Водо-водяной корпусной энергетический ядерный 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 – кипящая вода. Параметры работы у этих реакторов разные, потому что эти реакторы имеют разные строения активных зон.

У этих реакторов есть множество систем и подсистем, которые регулируют физические параметры ядерной установки и ее компонентов. Управления этих процессов существенно выполняются с высокой степенью автоматизации. Главным преимуществом реакторов ВВЭР над РБМК является его большая безопасность, обладающие хорошей характеристикой саморегулирования, и больше подходящие их для эксплуатации в переменных режимах.

В развитии ядерной энергетики требуется решения широкого спектра важных научных и инженерных задач. К их числу относятся, в первую очередь, обеспечение и последующее повышение безопасности, надежности, эффективности и экономичности опять создаваемого и уже используемого основного оборудования ядерных электростанций с сильными водо-водяными реакторами (АЭС с ВВЭР), главенствующими в стратегии улучшения ядерной энергетики РФ. Для того чтобы развивать успешно в ядерной энергетике необходимо решать сложные, научные, инженерные задачи. Среди таких задач требует обеспечение безопасности, надежности и эффективности оборудования.

Реакторы типа ВВЭР обладают хорошей саморегулируемостью, поэтому они являются наиболее пригодными к работе в переменных режимах.

АЭС исполняют социально-экономическую функцию, цель заключается в том, чтобы производить эффективную и безопасную энергию. Для реализации функций контроля и безопасности АСУ ТП разделен на два основных компонента:

один для нормальной работы, а второй для обеспечения безопасности и защиты реактора в случае аварии.

Эксплуатация реакторов, а также дополнительного оборудования атомной станции требует включения систем для автоматизации задач управления (АСУ), цель таких систем состоит в том, чтобы управлять несколькими процессами, надежно, эффективно, быстро и с большой пропускной способностью, управления информацией. Все подсистемы предназначены для контроля и управления основными компонентами и устройствами: коммутаторами, датчиками, клапанами, двигателями и другими комплексами оборудования, выполняющими функцию регулирования физических параметров процессов. Примерно, СКУ НЭ, часть реакторного отделения, обеспечивает контроль и управление 30 и более системами, реализующими ряд алгоритмов, эти подсистемы и их алгоритмы иерархически организованный, каждая подсистема специфически предназначена для выполнения определенной задачи. Эти алгоритмы программируются на низком уровне, загружаются в соответствующие модули (входящие в состав ТПТС), организующие передачу информации (сигнала) между различными системами.

В рамках работы высшей квалификации, по направлению к автоматизированным системам управления, предлагается моделирование, например, вычислительных средах MATLAB и разработка компонентов САУ, для регулирования перепада давления на уплотнениях основного циркуляционного насоса реакторов, на основе реального времени программно-технические комплексы с системой автоматизированного проектирования GET-R, на базе аппаратуры ТПТС и комплекса программного обеспечения MWBRIDGE «МИКСИС».

В ядерном реакторе, и в других технических оборудованиях, происходят разные физические явления и процессы, требующие мониторинга и контроля всякого из этих процессов. Таким образом, чтобы непрерывна регулироваться физические параметры, связанные с такими процессами, в основном благодаря автоматическому регулированию. Скорость, с которой происходят эти физические

процессы, требуют применения высоконадежных компоновочных и других проектных решений, и еще требуют разработки и внедрения оптимизированных алгоритмов, для их применимости в автоматизированных программируемых технологических средах, которые должны управлять регулировкой физических параметров в режиме реального времени. Достижения сбалансированной динамики этих процессов и обеспечения поддержания параметров в допустимых пределах, для безопасной эксплуатации реакторов и их компонентов представляют основную задачу, таким образом, гарантируется эффективная работа реакторов в режимах с нормальных условий эксплуатации.

1 Литературный Обзор

1.1 Контуры автоматического регулирования систем

Основной задачей автоматического регулятора является совокупность устройств, в которых значение регулируемой переменной автоматически поддерживается с различной точностью в соответствии с заданным значением. На рисунке 1 нарисована структурная схема контура автоматического регулирования.

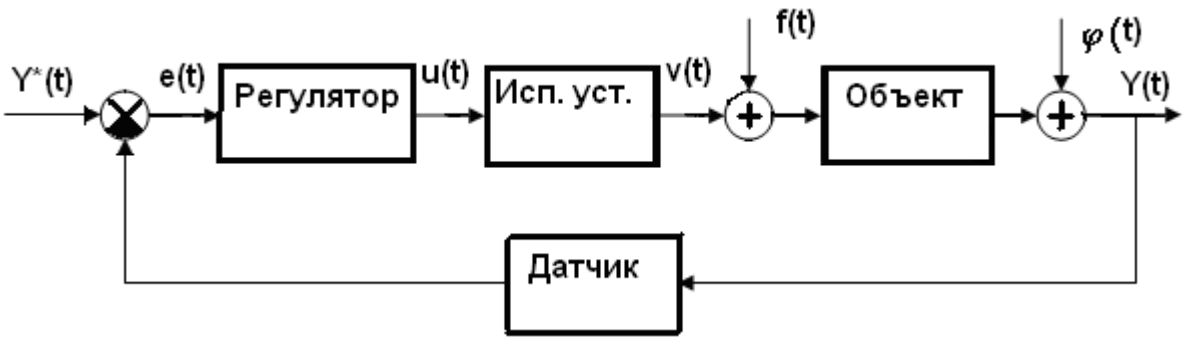

Рисунок 1 - Структурная схема контура автоматического регулирования с основными элементами управления.

Входной сигнал Y*(t) выдержит сравнение с текущим значением регулируемого параметра выходого сигнала Y(t). Итогом сравнения является сигнал ошибки, поступающий на регулятор. Регулятор формирует управляющий сигнал u(t) и подает его на исполнительное устройство на вход обьекта. За исключением управляющего воздействия v(t) на поведение обьекта покаывает влияние возмущение f(t). Функция и задача регулятора - обеспечивать изменение Y(t) в зависимости с характеристиками входного сигнала Y*(t), согласен с условиями действия нарушений f(t) b погрешности измерения $\varphi\ (t)$, где $\varphi\ (t)$ - выходной сигнал.

1.2 Основные элементы автоматического регулирования

В большинстве случаев, у этих систем есть следующие основные элементы:

- Регулятор;
- Исполнительный механизм;
- Объект управления;

- Датчики.

Регулятор или управляющее устройство следит за состоянием объекта управления и генерирует необходимые управляющие сигналы u(t). Он наблюдает за изменениями некоторых параметров объекта управления Y(t) с помощью датчиков и отвечает на их изменения, обрабатывая алгоритмы управления с заданным качеством управления.

Поскольку существуют разные алгоритмы, регулятор может генерировать управляющий сигнал. В зависимости от алгоритма существуют следующие типы регуляторов:

- Пропорциональный П;
- Интегральный И;
- Пропорционально-интегральный ПИ;
- Пропорционально-интегрально дифференциальный ПИД;
- Пропорционально-дифференциальный ПД;
- Релейные регуляторы (двух или трехпозиционные);
- 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;
- Регуляторы на основе искусственных нейронных сетей.

Исполнительный механизм - это устройство, предназначенное для перемещения регулирующего органа (RO) и непосредственного выполнения механического перемещения или вращения в системах автоматического управления (САР). Изменения положения РО вызывают изменение потока энергии или материала, подаваемого на объект управления (ОУ), устраняя отклонения контролируемого значения от заданного значения.

Объект управления - это процесс, характеризующийся одним или несколькими выходами параметров Y(t) по отношению к одному или более

действиям по контролю ввода Y*(t). Во время эксплуатации состояние объекта может измениться из-за нарушения ввода полезной нагрузки Y*(t) или других нежелательных внешних помех f(t) [6].

Датчик – он включает в себя задачи по преобразованию информации, поступающей на вход датчика, в форму, пригодную для дальнейшей обработки. Существуют множество различных типов датчиков: положения, скорости, ускорения, температуры, давления и т. д.

1.3 Технологические контуры атомных станций

Атомные электростанции отличаются не только типом реакторов, теплоносителей, но и устройством тепловых контуров. Задачей теплоносителя является отвод тепла, выделяющегося при выделении ядерной энергии в реакторе. Для того, чтобы удалить любое отложение в ТВЭЛах требуется очень высокая чистота теплоносителя, поэтому для этого необходим замкнутый контур. Основная систематизация АЭС зависит от количества в ней контуров [3].

Атомные станции бывают одноконтурными, двухконтурными, не полностью двухконтурными, а трехконтурными. Если контуры теплоносителя и рабочего тела совпадают, то такая АЭС называется одноконтурной. Схема одноконтурной АЭС показывана на рисунке 2.

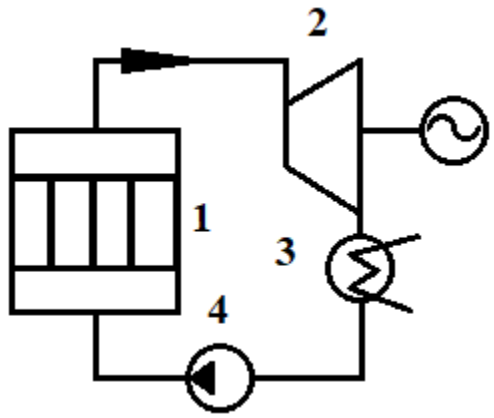

Рисунок 2 - Технологическая схема одноконтурной АЭС

На рисунке 2 имеет следующие элементы:

1. Реактор;
2. Турбогенератор;

3. Конденсатор;
4. Питательный насос.

Парообразование- пар поступает в турбину и в турбине расширяется, производит работу, превращается в электричество в генераторе. После конденсации всего пара в конденсаторе конденсат насосом подается снова в реактор. Этим способом, контур рабочего тела- это еще и контур теплоносителя, а иногда и замедлителя, и он оказывается замкнутым.

Если контуры теплоносителя и рабочего тела (пара) отдельные, то такая АЭС называется двухконтурной. На рисунке 3 нарисована Технологическая схема двухконтурной АЭС.

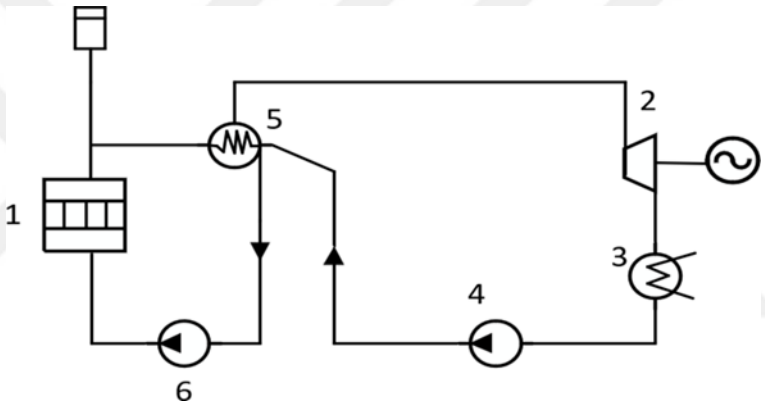

Рисунок 3 - Технологическая схема двухконтурной АЭС

На рисунке 3 изображены следующие элементы:

1. Реактор;
2. Турбогенератор;
3. Конденсатор;
4. Питательный насос;
5. Парогенератор;
6. Циркуляционный насос.

Таким образом, контур теплоносителя называется первым контуром, а контур рабочего тела называется вторым контуром. Такой реактор охлаждается теплоносителем, прокачиваемым через него и парогенератор циркуляционным насосом. Образованный таким образом контур теплоносителя является

радиоактивным. Второй контур включает оборудование, которые работают в отсутствии радиационной активности, это упрощает эксплуатацию станции.

Трехконтурную схему применяется на АЭС с натриевым теплоносителем. Чтобы предотвратить контакт радиоактивного натрия с водой, создается второй контур с нерадиоактивным натрием. Таким образом, такая АЭС получается трехконтурной. Схема трехконтурной АЭС показана на рисунке 4.

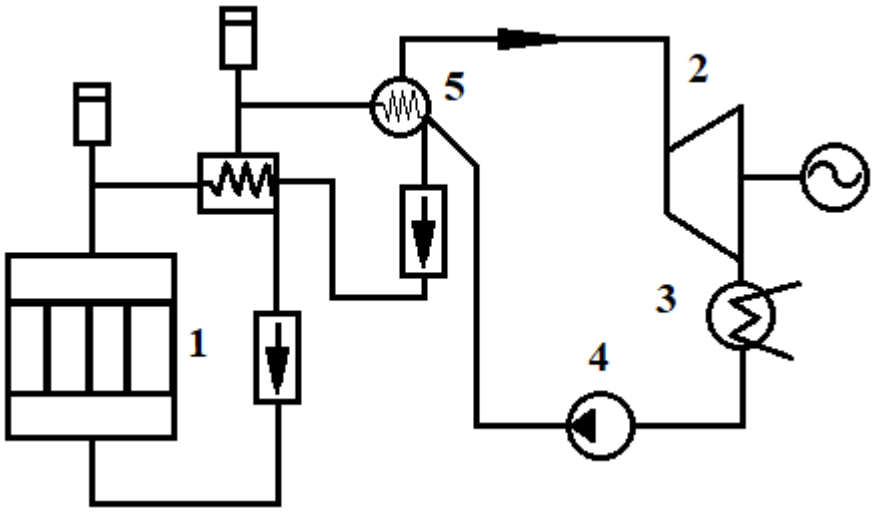

Рисунок 4 - Технологическая схема трехконтурной АЭС

На рисунке 4 изображены:

1. Реактор;
2. Турбогенератор;
3. Конденсатор;
4. Питательный насос;
5. Парогенератор.

1.4 Система подпитки-продувки блока ВВЭР-1000; назначение, состав, принцип работы

Назначение:

- Заполнение системы 1-го контура раствором борной кислоты;
- Поддержка материального баланса теплоносителя;

- Компенсация медленных изменений реактивности из-за того что выгорание и отравление топлива, и компенсация изменений реактивности в случае пусках и остановах и еще изменении назрузки реактора;
- Дегазация и возвращения организованных протечек теплоносителя первого контура;
- Исправление показаний водно-химического режима в соответствии с нормами;
- Гидроиспытания 1-го контура;
- Впуск запирающей воды на уплотнение ГЦН;
- Расхолаживание КД при неработающих ГЦН;
- Первичное заполнение гидроемкостей САОЗ;

Система состоит из следующих функциональных групп:

- Дегазации и деаэрации теплоносителя;
- Подпиточных агрегатов;
- Магистралей подпитки и подачи запирающей воды на уплотнения ГЦН;
- Вывода теплоносителя первого контура;
- Подачи дистиллята.

Система подпитки-продувки самая важная система для безопасности. Эта система функционирует в режимах нормальной эксплуатации, когда включая переходные режимы энергоблока. В аварийных случаех, которые связаны с разуплотнением 1-го или 2-го контуров, которые работоспособностью системы по проекту не требует.

Принимая к сведению, что система подпитки-продувки нужна функционировать все время в режиме нормальной эксплуатации блока на мощности, насосные агрегаты дублируя: рабочий, резервный и ремонтный.

Забором теплоносителя из холодных ниток петель главного циркуляционного контура ГЦН приводит в испонение продувка 1- ого контура. Продувочная вода собирается в общем коллекторе и охлаждается впервые регенеративном теплообменнике продувки благодаря регенеративного теплообмена с подпиточной водой и дальше еще охлаждается в доохладителе

продувки водой промконтура до 40-50С^{o}. После того, что продувочная вода поступит на специальную водоочистку, с названием СВО-2. Расход продувки являет 25-30 т/час. А после СВО-2 очищенная вода падается в деаэратор подпитки, в котором происходит ее дегазация. После того вода охлаждается и подается на всас подпиточных насосов и потом возвращается в 1-ый контур.

Протечки которые организованные из бака насосами через фильтры СВО-2 отпраляются в деаэратор подпитки, там дегазируются, еще охлаждаются и дальше с помощью подпиточных насосов возвращаются в 1-ый контур. Компенсация протечек неорганизованных 1-го контура выполняется за счет подачи в деаэратор подпитки дистиллята/борного концентрата. Регулирование подпитки выполняется либо оператором либо регулятором.

Компенсация медленного изменения реактивности выполняется с изменением концентрации борной кислоты в 1-ом контуре. В процессе ввода бора в 1-ый контур, борная кислота с концентрацией 40г/кг подается на всас подпиточных насосов от насосов борного концентрата которые с расходом до 60 м3 /час. Теплоноситель, который выводимый из 1-го контура, сливается в баки боросодержащей воды. Поддержание уровень в деаэраторе подпитки в этом режиме с регулятором обеспечивают. В режиме вывода бора из 1-го контура дистиллят который с расходом до 60 м^{3}/час поступает в деаэратор борного регулирования, а затем на всас подпиточных насосов. Регулятор обеспечиает поддержка уровень дистиллята в деаэраторе борного регулирования. Теплоноситель, который выводимый из 1-го контура, после деаэратора подпитки направляется в баки боросодержащей воды.

Перепад давление между первым контуром и напором подпиточного насоса равен 2.5-3 МПА. Поддержание заданного водно-химического режима выполняется подачей в 1-ый контур специальными насосами-дозаторами химических реагентов: щелочь – КОН, аммиак – NH3, гидразин – N2H4. В процессе нормальной эксплуатации, когда изменение концентрации борной кислоты не требуется, через деаэратор борного регулирования предусмотрена циркуляция дистиллята без добавления бора для поддержания деаэратора в разогретом

обстоятельстве. Во всех режимах работы системы подпитки-продувки первого контура давление в деаэраторах подпитки и борного регулирования регулируются с помощью регуляторов на греющем паре. На рисунке 5 показана принципиальная схема системы подпитки и продувки ВВЭР-1000.

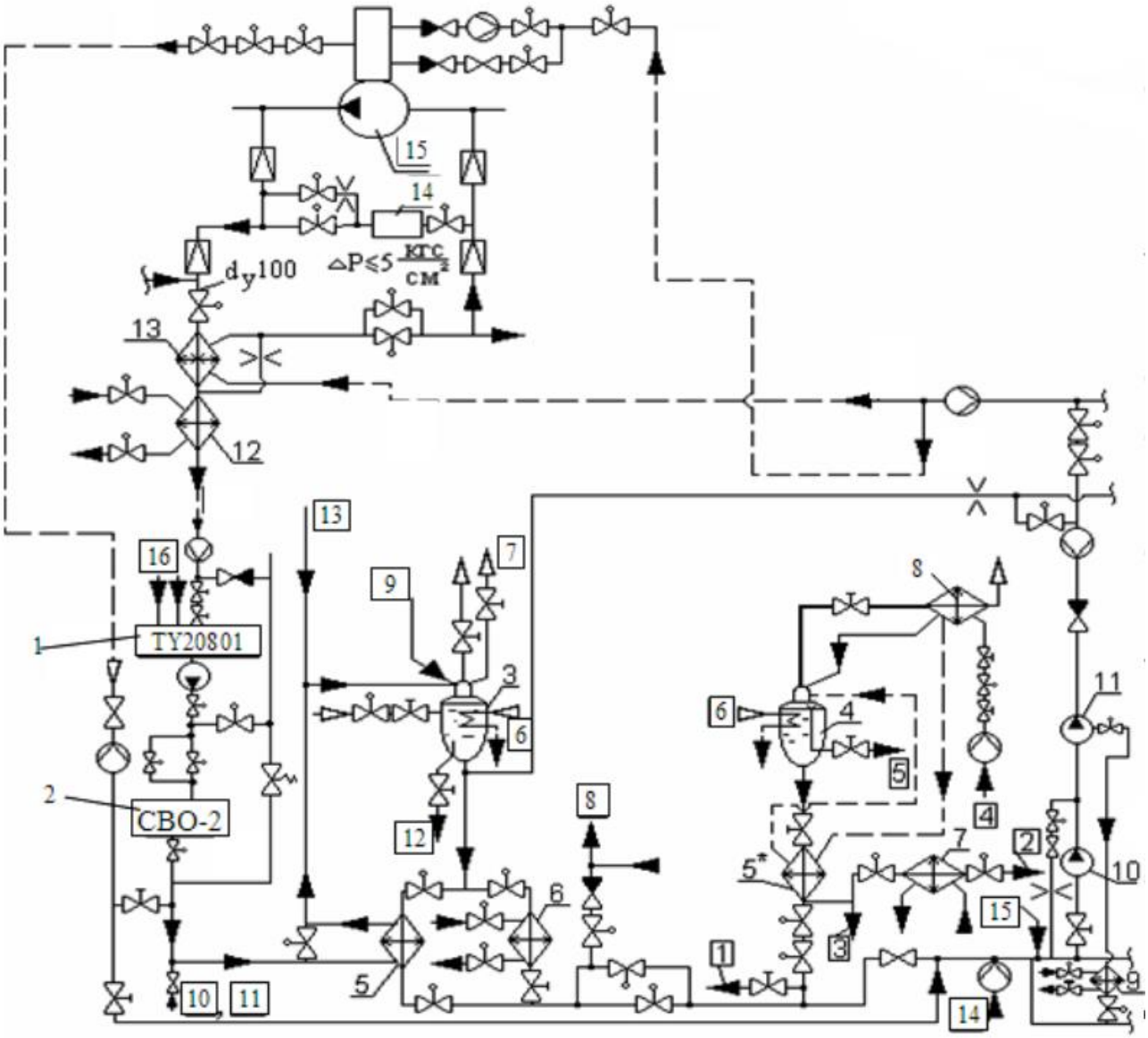

Рисунок 5 - Принципиальная схема системы подпитки и продувки ВВЭР-1000

1-бак организованных протечек, 2-система очистки продувочной воды СВО-2, 3-деаэратор подпиточной воды (ДП), 4-деаэратор борного регулирования (ДБР), 5-регенеративный теплообменник, 6-доохладитель подпиточной воды, 7-охладитель

чистого конденсата, 8-охладитель выпара ДБР, 9-теплообменник охлаждения гидропяты подпиточного насоса, 10-предвключённый подпиточный насос, 11-основной подпиточный насос, 12-доохладитель продувки 1-го контура, 13-регенеративный теплообменник продувки 1 контура, 14-СВО №1, 15–ГЦН.

Линии связи: 1-к насосу гидроиспытаний,2-в бак чистого конденсата, 3-на заполнение баков гидрозатворов в системе спецгазоочистки,4-вода для дегазации ДБР,5-сброс избыточной воды при переполнении ДБР,6-греющий пар из машзала, 7-выпар деаэратора подпитки,8-вывод борного раствора из 1 контура, 9-возврат конденсата выпара,10, 11-от насосов заполнения 1 контура и от насосов дистиллята для поддержания уровня в деаэраторе подпитки, 12-слив из деаэратора подпитки,13- от насосов гидроиспытаний, 14-подача борного концентрата,15-подача химических реагентов,16- оргпротечки.

1.5 Системы автоматического регулирования на АЭС с реактором ВВЭР-1000

Стабильность и поддержание технологических параметров в заранее установленных пределах контролируются САУ в любой момент. Кей может выполнять контрольные действия в соответствии с законами, регулирующими физические процессы. Таким образом, обеспечивается надежный автоматический ответ [2].

Регулирующие органы на атомных электростанциях связаны в соответствии с их подсистемами и параметрами, которые они контролируют, и могут напрямую влиять на производство энергии. Регулирование определенного параметра вызывает реакцию или изменение другого параметра в зависимости от физического процесса, который их включает.

На атомной электростанции имеется достаточное оборудование для мониторинга и контроля значений наиболее важных параметров (нейтронный поток, температура, давление, уровень теплоносителя в корпусе реактора и т. Д.). Как в активной зоне, так и в остальной части установки и ее узлов. Для адекватной организации и управления регулирующими органами TPTS может выполняться на основе устройств с базой данных в реальном времени. Его смысл заключается в

том, чтобы передать основные функции обработки и управления микропроцессорам, установленным в каждом модуле. на самом деле, отдельные функциональные модули способны принимать и обрабатывать разнообразные сигналы, транслировать как аналоговые, так и дискретные воздействия, а также осуществлять автоматическое управление технологическим процессом. Также возможна связь с внешними устройствами по шинам между функциональными модулями в в пределах одного шкафа, между шкафами и по нескольким различным системным шинам.

Приборы и оборудование, используемые на АЭС, должны соответствовать следующим фундаментальным принципам с целью безопасной эксплуатации [2].

1. Принцип разнообразия- диверситетами "А" и "Б" с разными аппаратным и программным обеспечением
2. Принцип независимости- физическое и гальваническое разделение между ПТК разных каналов управляющей системы блокировки (УСБ), между диверситетами в канале УСБ, между ПТК УСБ и ПТК управляющей системой нормальной эксплуатации (УСНЭ) [2].

1.6 Ситемы контроля и управления АЭС

Система контроля и управления АЭС (СКУ АЭС)- это система для обеспечения контроля и управления основным и вспомогательными технологическими процессами и еще предназначена для обеспечения безопасности во всех режимах работы энергоблока при нарушениях нормальной эксплуатации и авариях. Представленный физический процесс довольно сложен и происходит с большой скоростью для того, чтобы управлять каждым из процессов, которые происходят с использованием атомной энергии. Системы управления и контроля разработаны для нормальной работы энергоблоков.

Системы управления и контроля нормальной эксплуатации состоят из 4-х групп технологических систем [2]:

1. Системы реакторного отделения (СКУ РО)
2. Системы турбинного отделения (СКУ ТО)
3. Системы вентиляции (СКУ В)

4. Системы спецводоочистки (СКУ СВО)

СКУ РО состоит из более чем 30-40 подсистем, как например, главные циркуляционные насосы (ГЦН), система подпитки-продувки, система очистки воды бассейна выдержки, система газовых сдувов, система сжигания водорода и другие. СКУ ТО состоит из более чем 40-50 подсистем, как например, система паропроводов свежего пара, система основной питательной воды, подогреватели высокого давления, система основного конденсата и другие. СКУ В состоит из подсистем, как например, вентиляция реакторного отделения, вентиляции турбинного отделения, системы вентиляции зданий и сооружений обще станционного характера. СКУ СВО состоит из подсистем, как например, системы очистки воды первого контура, системы очистки продувочной воды парогенераторов, системы хранения и переработки теплоносителя, системы переработки трапных вод, системы спецканализации и другие.

Атомная электростанция (АЭС)– критически важный объект, к высокорадиоактивному безопасности которого предъявляются повышенные требования. Теплоноситель, который активируется при прохождении через активную зону реактора, учитывая, что процесс деления приводит к выделению высокорадиоактивных продуктов деления, того же элемента, который используется в качестве ядерного топлива. Обеспечение противорадиационной защиты АЭС ведется в течение всего жизненного цикла объекта и этот процесс должен проводиться в полностью герметичной закрытой среде (контур), чтобы избежать выброса радиоактивных элементов в окружающую среду. В этом смысле полностью замкнутое регулирование представляет собой сложную задачу для проектирования и систематизации атомных электростанций.

Принимая во внимание, для регулирования технологических параметров САУ должны обладать определенным минимумом свойств для применения в процессах автоматического управления: надежность, высокая степень точности и стабильность.

1.7 Важные регуляторы СКУ РО

Системы автоматического управления должны обеспечивать, чтобы при всех возможных режимах нормальной работы и режимах отклонения от нормальных условий эксплуатации основные технологические параметры сохранялись в допустимых пределах или изменялись по определенному закону без возникновения автоколебаний за счет взаимодействия регуляторов в процессе регулирования.

На атомных электростанциях системы автоматического управления выполняют задачи управления через подсистемы или группы регуляторов, связанные с определенным технологическим параметром. Эти группы можно классифицировать по тому, где они выполняют свои функции управления, или по контролируемым параметрам. Наиболее важные параметры, как например, температура, расход теплоносителя, впрыск химических добавок, другие химические параметры, измерение радиации, контроль положения контрольные стержни и другие.

В СКУ РО имеются следующие регуляторы:

- УР04, регулятор охлаждения для отключения;
- YPC01 регуляторы давления в АЗ;
- YPC02, регулятор уровня КП
- YPC03, стартовый регулятор КП
- YPC05, регуляторы давления в АЗ;
- TKC01, регулятор первого уровня потока системы продувки
- TKS02, регулятор расхода второго уровня системы продувки
- TKC13, регулятор работы деаэраторной системы
- TKS14, регулятор наполнения деаэраторной системы
- TKC20, регулятор работы с бором из деаэрационной системы
- TKC10, регулятор давления деаэратора
- TKC12, регулятор начального давления в деаэраторе
- TKC70, регулятор давления в деаэраторе с бором;
- TKS71, регулятор уровня деаэратора с бором;

- TKC21, регулятор падения давления между линией подачи деаэратора и первым контуром № 1;
- TKC22, регулятор перепада давления между линией подачи деаэратора и первым контуром № 2;
- TKC23, регулятор падения давления между линией подачи деаэратора и первым контуром № 3;
- TKC24, регулятор расхода деаэратора № 1;
- TKC25, регулятор расхода деаэратора № 2;
- TKC26, регулятор расхода деаэратора № 3;
- YDC11, регулятор перепада давления для уплотнений главного циркуляционного насоса № 1;
- YDC12, регулятор перепада давления для уплотнений главного циркуляционного насоса № 2;
- YDC13, регулятор перепада давления для уплотнений главного циркуляционного насоса № 3;
- YDC14, регулятор перепада давления для уплотнений главного циркуляционного насоса № 4;
- RYC01, регулятор парогенераторов № 1 системы продувки;
- RYC02, регулятор парогенераторов № 2 системы продувки; Регуляторы системы химических добавок теплоносителя.
- TBC01, аммиачный регулятор системы химических добавок;
- TVS02, регулятор щелочности;
- Регуляторы, организованные утечки первого контура и газа (воздух, кислород, водород и т.д.)
- TEC20-10, регулятор давления фильтров системы химических добавок;
- TS10C01, регулятор концентрации кислорода; - TS21C01, регулятор давления газа № 1.
- TS22C01, регулятор давления газа № 2
- TS23C01, регулятор давления газа № 3

- TYC01, регулятор уровень бака организованных утечек № 1;
- TYC02, регулятор уровень бака организованных утечек № 2;
- TYC03, регулятор уровень бака организованных утечек № 3;
- UV06C01-3, регулятор температуры воздуха в герметичной зоне.

На рисунке 6 показана упрощенная схема системы продувки и подпитки ТК.

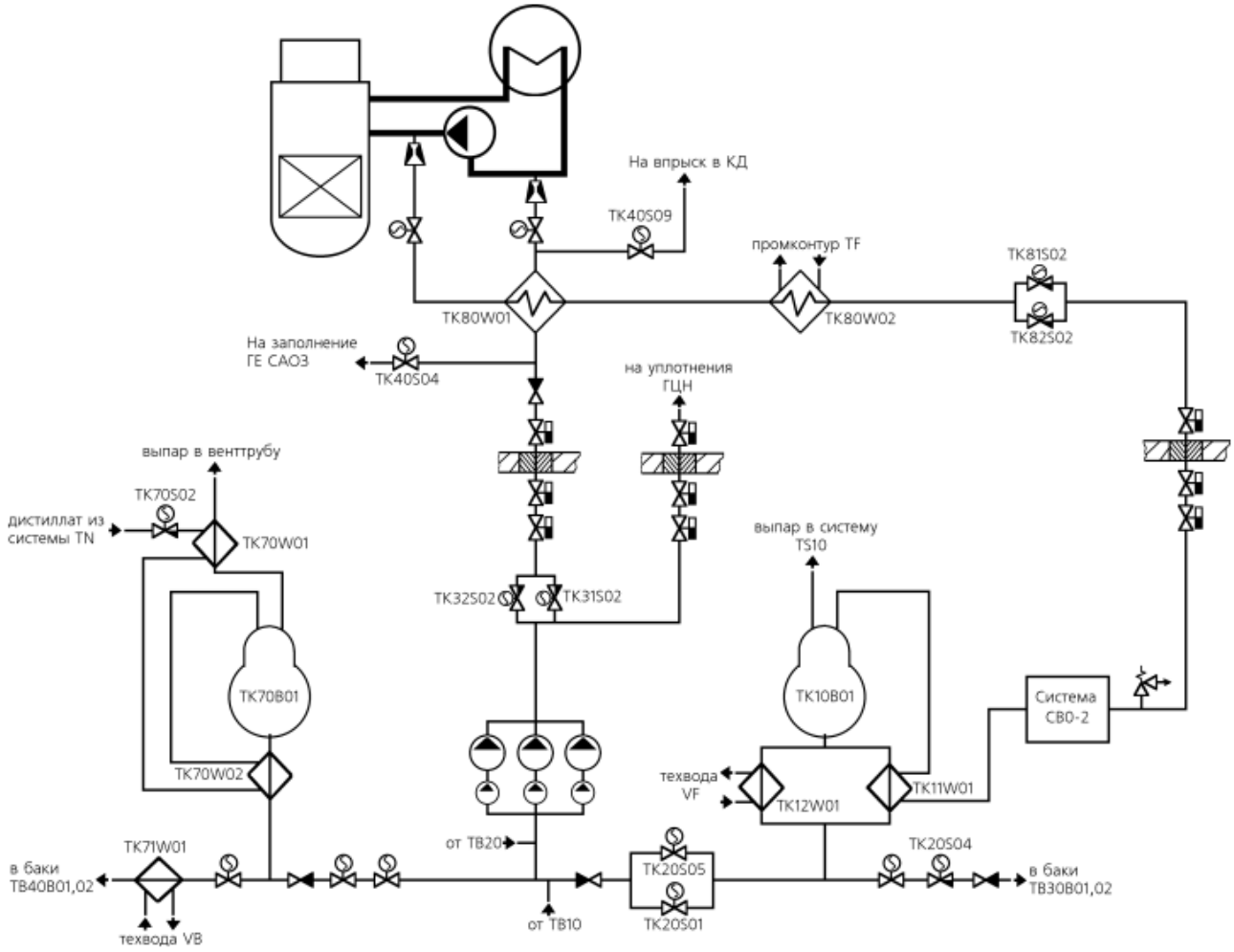

Рисунок 6 - Упрощенная схема системы продувки и подпитки ТК

1.7.1 Регулятора ТКС-01 расхода продувочной воды на фильтры СВО низкого давления

Функция этого регулятора состоит в том, чтобы обеспечивать необходимый расход посредством действия регулирующего клапана. Продувка первого контура выполняется от петель No^2 и No^3 из холодных ниток ГЦК с напора ГЦН, а для

блока No^4 продувка первого контура осуществляется от всех 4-х петель из холодных ниток. Продувочная вода из петель ГЦК накапливается в общем коллекторе и охлаждение продувочной воды происходит в регенеративном теплообмене TK80W01 за счет регенеративного теплообмена с подпиточной водой и доохладителе TK80W02 водой промконтура до температуры 40-50 °С. После того, как охлаждается, продувочная вода направляется на СВО-2 через регулирующие клапаны TK81S02 и TK82S02. На рисунке 5 нарисована принципиальная схема системы продувки.

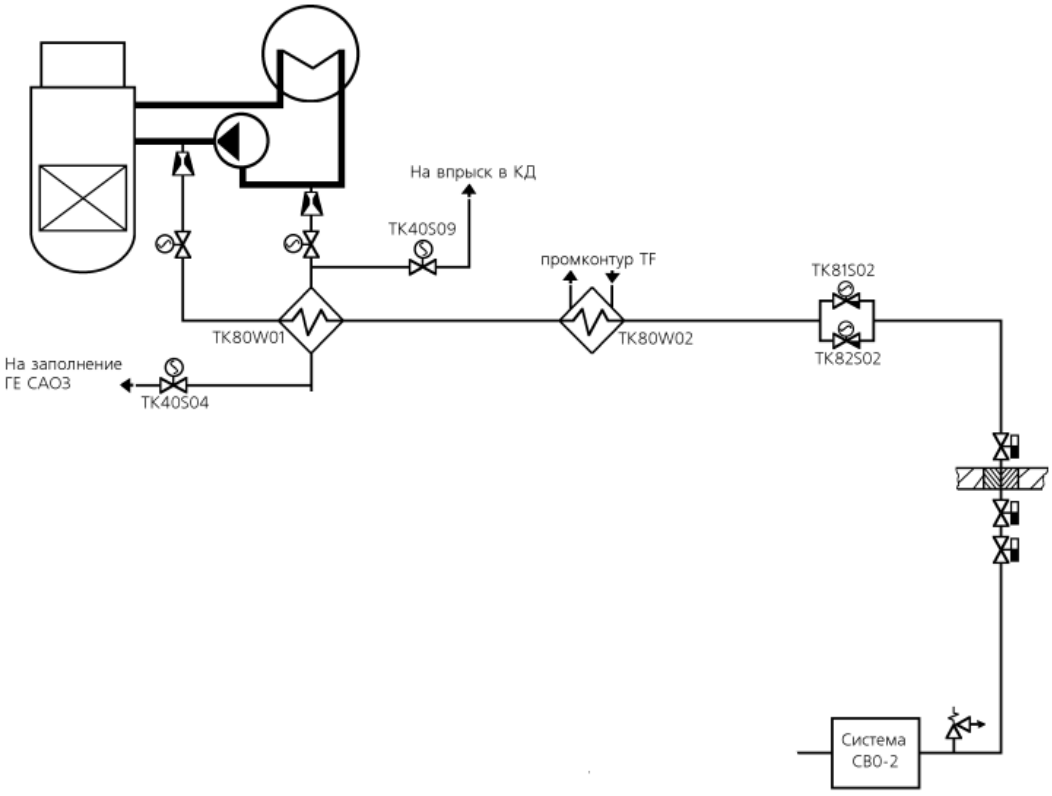

Рисунок 7 - Принципиальная схема системы продувки

1.8 Постановка задачи

В данной работе для проведения исследования модели системы управления регулятора расхода продувочной воды на фильтры СВО низкого давления ВВЭР-1000 необходимо изучить свойства объекта управления, свойства и характеристики исполнительного механизма, а также структуру и физические характеристики

процесса. Для этого следует построить структурную математическую модель регулятора, исполнительного механизма и объекта управления. Моделирование проводилось в компьютерной среде с использованием программы «Mathlab» и инструмента моделирования «Simulink». Затем перейти от структурно-математической модели исполняющего механизма и объекта управления к разностным уравнениям и моделирование в среде "Simulink" продолжается с задачей моделирования в среде программирования в реальном времени ПТК "УМИКОН" через интерфейсы программирования для ОС Windows "MWBridge", компьютерная платформа с базой данных в реальном времени. Потом, проектирование регулятора осуществляется в среде программирования АлгоВУ, которая является программным интерфейсом системы технологического комплекса. Последние два этапа исследовательской работы состоят в реализации регулирования в различных режимах и создании мнемосхемы на платформах Display.

2 Описание Технических Средств

2.1 Программно-технические средства ТПТС

Системы контроля и управления (СКУ) предназначены для выполнения задач автоматизированного и автоматического управления различным оборудованием технологических процессов. Это относится к технологическому комплексу управления и контроля, программируемому на основе аппаратуры. Комплекс технических средств (КТС)-совокупность изделий, реализующих соответственно функции сервера, рабочей станции, коммутатора, распределительных устройств, линий связи, регуляторы и др. Каждое изделие включает набор устройств и компонентов, необходимых для реализации своих функций, и соответствует стандартам и сертификатам качества. В настоящее время существуют различные технологические комплексы, которые выполняют поставленные задачи и объединяет несколько автоматические системы управления и контроля [11].

Одним из самых распространенных средств построения современных СКУ на электрических станциях является аппаратура ТПТС. ТПТС представляет собой мультимикропроцессорный программно-технический комплекс распределенного управления, который позволяет решать весь комплекс задач управления тепломеханическим и электротехническим оборудованием. Программно-технические средства ТПТС реализуют принцип распределенного управления, когда каждый модуль связи с объектом содержит собственный микропроцессор и способен самостоятельно выполнять функции управления, независимо от состояния всей системы [2].

Системы контроля и управления, построенные на базе ТПТС, хорошо зарекомендовали себя, как на российских, так и на зарубежных тепловых электростанциях, что дало впоследствии возможность применения ТПТС для реализации СКУ на АЭС.

Обмен информацией между устройствами, входящими в программно-технический комплекс (ПТК) АСУ ТП, обеспечивается за счет коммуникационной системы.

На рисунке 8 показаны компоненты аппаратуры ТПТС: модуль, крейт, шкаф.

Рисунок 8 - Компоненты аппаратуры ТПТС: модуль, крейт, шкаф

АСУ ТП, построенные на компонентах типовые программно-технические средства ТПТС, программируемый комплекс, который на сегодняшний день разработан следующим поколением [2].

- Поколение–ТПТС;
- Поколение–ТПТС–ЕМ;
- Поколение–ТПТС–НТ;
- Поколение–ТПТС–СБ.

Каждое из этих поколений все еще обновляется для использования на атомных станциях с различными целями. Для достижения целей данной исследовательской работы был использован программируемый технический комплекс ТПТС–НТ.

2.1.1 Основная классификация модулей в ТПТС

Модули различаются по функциям, которые они выполняют, наиболее распространенных среди, они классифицируются следующим образом.

Модули:

- S регуляторных циклов ТПТС51-2.1411;
- К регуляторных циклов ТПТС51-2.14;
- Контроль заряда турбины ТПТС51-2.1413;

- Аварийный контроль ТПТС51-2.1414;
- Приоритетный контроль ТПТС51-2.1716;
- Сплиттер цифрового сигнала ТПТС51-2.1719;
- Процессор аналоговых сигналов ТПТС51-2.1722;
- Обработка цифровых сигнала ТПТС51-2.1723;
- Счетчик импульсных сигналов ТПТС51-2.1724;
- Управление подгруппами ТПТС51-2.1726; - преобразователь частоты ТПТС51-2.1728;
- Контроль групп ТПТС51-2.1725;
- Аналоговый вход ТПТС51-2.1732;
- Связь ТПТС52.1333 [2].

2.1.2 Программно-технические средства ПКТ ТПТС-ЕМ

Микропроцессоры выполняют все функции вычисления и двоичной логики, таким образом, они обрабатывают все данные, полученные в портах ввода, через обменную память. После обработки данные возвращаются в исходную систему или направляются в другие системы по мере необходимости. Микропроцессоры для обработки сигналов требуют, чтобы они были в двоичной форме, чтобы в качестве части дополнительных микросхем ФМ преобразователей аналоговых сигналов и модулей двоичного шифрования были реализованы. Таким образом, микропроцессоры могут анализировать любой сигнал.

Инструменты, доступные в ТПТС, позволяют выполнять основные задачи, такие как проектирование и сборка других функциональных блоков ПТК, считывание сигналов датчика, прием и выполнение команд, алгоритмы загрузки и запуска, управление информационными шинами, управление порты и устройства входа и выхода, доступ для чтения и записи в память, разработка и применение функциональных контроллеров и другие задачи [11]. Связь между функциональными модулями поддерживается через шину управления.

ТПТС-ЕМ состоит из:

Базовое оборудование для работы приборных шкафов (с двунаправленным доступом к сервисному обслуживанию).

- Приборные стойки (ПС);
- Коммутационное оборудование;
- Стойки питания для работы;
- Панель периферийных портов, датчиков, переключателей, ключей и устройств;
- Панель соединений для серверов и пользовательских компьютеров;
- Специализированные стойки, специальных модулей для дополнительных задач управления [2].

Средства связи для информационной системы- шина EN:

- Оптические коммутаторы;
- Интерфейсные модули;
- Трансиверы для удаленного подключения;
- Коммутаторы O SM/ESM (в составе ПС);
- Оптоволоконные кабели для передачи данных;

Инструменты для настройки, отладки и проверки ТПТС:

- Инженерная станция ТПТС 54.3403 (ПС), (основное устройство конфигурации);
- Программатор ТПТС54.3310 (ПС), для настройки функциональных модулей; Сервисные устройства:
- Симулятор ТПТС54.330X (S);
- Тестер функциональных модулей ТПТС54.3500 (ТФМ).

Конфигурация функциональных модулей используется для проверки и настройки отдельных параметров регуляторов.

Программатор позволяет моделировать сигналы на входах и выходах модулей, загружать коды, алгоритмы и выполнять команды.

Однако настройка ПТК выполняется только инженерной станцией с соответствующей документацией, а не программистом, поскольку в этом случае изменения не будут записаны в документации.

Устройство ТПТС-ЕМ имеет диспетчерский процессор, который координирует работу с микропроцессорами. ФМ ТПТС-ЕМ выполняет следующие функции.

- Адрес канала связи.
- Адресация коммуникационной шины
- Обеспечить подключение контроллера канала связи с другой системой связи;
- Диагностический анализ системы связи;
- Управление резервами.

В устройстве ТПТС-ЕМ используется система связи – волоконно-оптическая шина EN, которая имеет кольцевую структуру для того чтобы, обменить информации между отдельными ПТК, а также между ПТК [2].

Все ПТК на основе ТПТС-ЕМ имеют общую систему электропитания, заземления и экранирования.

ТПТС-ЕМ основан на модульном принципе, который допускает избыточную структуру, горячее резервирование и масштабируемость.

Эти характеристики позволяют модернизировать САУ, не прерывая ее работу.

Авторегулирование и контроль дефектов в модулях ТПТС-ЕМ осуществляется непрерывно, немедленно приостанавливая задачи, которые выполняются в этом модуле, и перенося их в другие доступные модули.

2.2 Описание ТПТС-НТ

Оборудованные ТПТС предназначены для выполнения задач автоматического регулирования, посредством связывания технических программируемых комплексов (ПТК). Регуляторы, реализованные в функциональных модулях, образуют базовую структуру компонентов системного комплекса ПТК ПТК. ФМ оснащены цифровыми и аналоговыми портами ввода, в дополнение к микропроцессорам и вспомогательным микросхемам [2].

Микропроцессоры выполняют все функции вычисления и двоичной логики, таким образом, они обрабатывают все данные, полученные в портах ввода, через

обменную память. После обработки данные возвращаются в исходную систему или направляются в другие системы по мере необходимости. Микропроцессоры для обработки сигналов требуют, чтобы они были в двоичной форме, чтобы в качестве части дополнительных микросхем ФМ преобразователей аналоговых сигналов и модулей двоичного шифрования были реализованы. Таким образом, микропроцессоры могут анализировать любой сигнал.

К минусам ТПТС-ЕМ можно отнести следующее:

- Для удовлетворения требований к скорости (менее 20 мс) требуются специальные технические решения для решения отдельных задач, которые ограничивают возможности конструктора и приводят к увеличению номенклатуры технических средств;
- Необходимость использования аппаратных передач между функциональными модулями, если алгоритм реализован в разных функциональных модулях и необходимо обеспечить время реакции менее 200 мс;
- Резко ограничить возможности реализации территориального распределение оборудования для сбора информации о состоянии объекта управления;
- По причине ограниченного количества сигналов, принимаемых одним функциональным модулем, возникают трудности при проектировании некоторых алгоритмов управления (необходимость создания достаточно большого количества передач, разделения функции между несколькими функциональными модулями и т. д.);
- Функциональные модули ТПТС-ЕМ обеспечивают возможность разрешения последовательности входных дискретных сигналов, различающихся по времени появления более чем на 10 мс и не отвечающих современным требованиям (1 мс);
- Недостаточно получать возможности данные от интеллектуальных датчиков и управлять интеллектуальными исполнительными механизмами.

Основные задачи разработки комплекса средств автоматизации ТПТС-НТ:

- Сокращение времени реакции алгоритмов с использованием сигналов до 100 ... 200 мс;
- Предоставляет возможность решать локальные проблемы с ограниченным количеством входных сигналов (10 ... 30) со временем реакции до 5 ... 10 мс;
- Обеспечить возможность региональной раздачи оборудования, решающего задачи сбора и первичной обработки информации и индивидуального контроля;
- Обеспечить возможность централизовать решение задач автоматизированного управления на технологической основе;
- Обеспечение возможности решения задач автоматизации технологических процессов как с большим, так и с малым количеством сигналов и исполнительных механизмов;
- Сокращение цикла измерения комбинированных аналоговых сигналов до 5… 20 мс и повышение качества измерений в условиях значительного технологического шума;
- Обеспечение возможности декодирования серии входных дискретных сигналов, различающихся по времени появления более чем на 1 мс;
- Обеспечить возможность взаимодействия с интеллектуальными устройствами через полевые шины;
- Позволить подключать все виды полевых кабелей, используемых в промышленной автоматизации.

2.3 Программно-технические средства ПКТ ТПТС-НТ

ТПТС представляет собой программно-технический комплекс распределенного управления, который позволяет решать весь комплекс задач управления тепломеханическим и электротехническим оборудованием.

Начиная с 2006 года, используется комплекс программно-технических средств ТПТС-Е, который является дальнейшим развитием аппаратуры ТПТС. В 2009 году проведена дальнейшая модернизация аппаратуры- генерация ТПТС-ЕМ.

Применение аппаратуры ТПТС-Е(-ЕМ) в АСУ ТП АЭС обеспечивает существенное сокращение номенклатуры оборудования в составе АСУ ТП. Весь технологический контроль и каналы системы безопасности, регулирование турбины и температурный контроль генератора могут быть выполнены на аппаратуре одного типа.

Высокие технические и эксплуатационные характеристики ТПТС-Е(-ЕМ) обеспечивают применять эти средства практически во всех отраслях промышленности для автоматизации технологических процессов, в том числе и для ответственных производств.

Аппаратура характеризуется рекордной надежностью, фактически полученная в эксплуатации наработка на отказ модуля любого типа, на котором установлено до 1000 компонентов, превышает 70 млн. часов.

Разработанные и изготовленные системы управления проходят тщательную отработку на полигоне с участием заказчика и надзорного органа. При этом одновременно производится подготовка эксплуатационного персонала заказчика.
В 2011 году начинается серийный выпуск нового поколения аппаратуры, который называется комплексом средств автоматизации (КСА) ТПТС-НТ.

КСА ТПТС-НТ представляет собой комплекс аппаратуры, отвечающий самым современным требованиям в построении нижнего уровня АСУ ТП атомных и тепловых электростанций, КСА ТПТС-НТ вобрал в себя опыт автоматизации более 40 объектов атомной и тепловой энергетики в сочетании с современными достижениями электронных технологий. КСА ТПТС-НТ является эволюционным продолжением типов ТПТС, информационно совместимым с предыдущими поколениями ТПТС-Е и ТПТС-ЕМ. Все поколения ТПТС, включая ТПТС-НТ, объединены единым, постоянно развивающимся инструментом проектирования GET-R, который значительно облегчает адаптацию конструкторов к новым автомобилям.

Характеристики и ключевые особенности КСА ТПТС-НТ открывают перед проектировщиками новые возможности, позволяющие значительно повысить

эффективность АСУ ТП и снизить трудоемкость ее проектирования. Наиболее существенными отличиями КСА ТПТС-НТ являются:

- Время реакции системы в пределах 100- 200 мс;
- Возможность решения локальных задач с ограниченным количеством входных сигналов (10- 30) и повышенными требованиями ко времени реакции (5- 10 мс);
- Территориальное распределение аппаратуры по объекту автоматизации;
- Организация местных постов управления;
- Удаленные контроллеры, встраиваемые в оборудование других изготовителей;
- Подсоединение любых полевых кабелей сечением от 0,1 до 2,5 мм^2;
- Реализация функциональных шкафов с одно- и двусторонним обслуживанием;
- Гибкие схемы компоновки, обеспечивающие рациональность применения аппаратуры для автоматизации объектов различных масштабов- от отдельных технологических установок до атомных энергоблоков;
- Малый цикл измерения унифицированных аналоговых сигналов- от 5 мс;
- Временное разрешение последовательности входных дискретных сигналов- 1 мс;
- Связь с интеллектуальными устройствами посредством локальных сетей RS-485 по стандартным сетевым протоколам

2.4 Системы контроля и управления на базе платформы ТПТС-НТ

На АЭС ТПТС-НТ используется в составе следующих подсистем АСУ ТП:

- Контроля и управления оборудованием нормальной эксплуатации (СКУ НЭ);
- Нормальной эксплуатации, важной для безопасности (СНЭ ВБ);
- Электронной части собственных защит турбины и генератора (ЭЧСЗ);
- Электронной части системы регулирования турбины (ЭЧСР);
- Контроля и управления вспомогательным оборудованием турбогенератора (ПТК СКУ ТГ);

- Контроля и управления водоочисткой и водоподготовкой (СКУ ВП);
- Инициирующей части предупредительной защиты (ИЧ ПЗ);
- Вспомогательных систем (переработка ЖРО, ТРО, береговые насосные и т.д.).

Платформа ТПТС-НТ построена по модульному принципу и позволяет создавать структуры резервирования разной степени в зависимости от требований путем резервного копирования функционально важных элементов и структура ТПЦ-НТ позволяет легко увеличивать количество оборудования в системе управления.

Функциональная структура взаимодействия компонентов ТПТС-НТ имеет двухуровневую организацию, на нижнем уровне осуществляется сбор данных, трансляция управляющих воздействий, а также ряд базовых стандартных функций (таких как фильтрация, индивидуальное управление, регулирование) на станциях ввода-вывода (СВВ). СВВ включает в себя набор модулей связи с процессом (СПМ), которые позволяют принимать и выводить сигналы, а также выполнять основные функции автоматизацииВся цифровая информация от модулей связи процесса собирается интерфейсным модулем (ИМ) и передается на высший уровень процесса через локальную шину ENL. Информация, поступающая на станцию ввода-вывода по шине ENL, распределяется между модулями связи одним и тем же ИМ с соответствующим процессом адресации.

Связь СВВ через коммутаторы по локальным шинам ENL с ПА показана на рисунке 9.

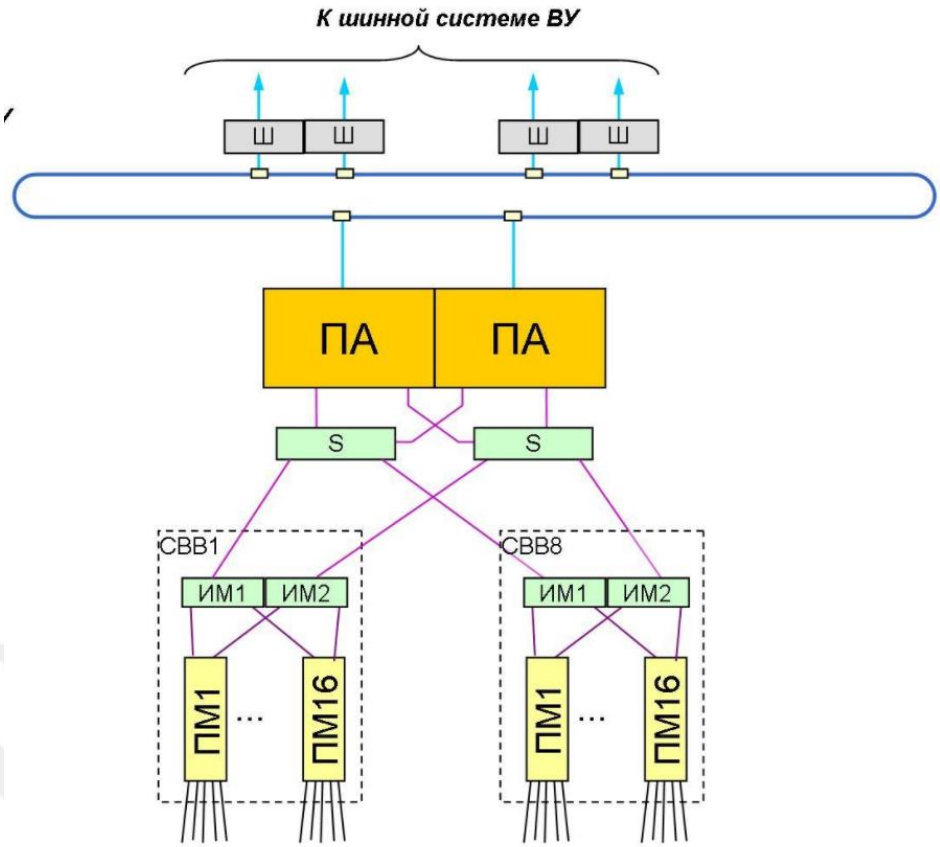

Рисунок 9 - Функциональная структура резервирования

ПА осуществляют реализованные функции управления и характеризуются программируемыми, как раз ПА выполняют прикладные алгоритмы, функции защиты, блокировки, а также функционально-групповое управление. ПА соединены между собой локальной сетью EN, а связь с верхним уровнем системы управления технологическим процессом АСУТП осуществляется через шлюзы, соединяющие шину EN и локальную сеть СВБУ.

Эта структура облегчает обработку данных транзакции, поскольку каждый параметр транзакции легко доступен каждому ПА, этот результат высокоскоростных информационных каналов и высокоскоростного опроса в СВВ. Соответственно, заметность при проектировании и сопровождении, а также при последующих модификациях системы значительно увеличивается. Номенклатура СП-модулей и выполняемые ими функции показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики СП-модулей

Тип модуля	Функции
Модуль ввода и вывода дискретных сигналов	Прием дискретных сигналов; питание дискретных датчиков, индивидуальное управление, обслуживание табло и ламповой сигнализации, разрешение последовательности входных дискретных сигналов
Модуль ввода унифицированных сигналов тока	Фильтрация, диагностика измерительных каналов, питание датчиков, прием сигналов интеллектуальных датчиков (протокол HART)
Модуль ввода сигналов термоэлектрических преобразователей, термометров сопротивления и унифицированных сигналов тока и напряжения	Измерение температуры, фильтрация (помеха промышленной частоты нормального и общего видов), диагностика измерительных каналов, питание датчиков (термометр сопротивления), измерение сигналов тока и напряжения
Модуль вывода унифицированных аналоговых сигналов	Вывод сигналов напряжения и тока, ввод сигналов напряжения, диагностика каналов воспроизведения
Модуль индивидуального управления	Управление с исполнительными механизмами
Модуль ввода импульсных сигналов	Измерение частоты входного сигнала, счёт входных импульсов, измерение скорости изменения частоты
Модуль регулирования	Реализация закона регулирования (PI, PID, P), управление регулирующим клапаном

2.5 Состав и функции компонентов платформы ТПТС-НТ

Комплекс автоматизации ТПТС-НТ включает в себя следующие основные компоненты:

а) Стойки приборные (ПС)- шкаф с содержающими в нем СВВ, ПА, БШС и еще другими компонентами на основании с проектом. В соотвествии от названия и распределения приборные стойки осуществляются в отделных конструктивных исполнениях;

- Станции ввода-вывода (СВВ), состоит из следующих оборудования:
  - Модули связи с процессом (СПМ), которые выполняющие основные функции приема и обработки сигналов, а также контроля и управления исполнительными механизмами, регулирования и т.д.;
  - Интерфейсные модули, которые обеспечивают коммуникационные связи СВВ с процессором автоматизации;
- Процессор автоматизации (ПА) или контроллер автоматизации (КА), в котором выполнены алгоритмы вычисления технологических параметров, функции ТЗиБ и еще автоматического управления, а также функции обмена данными со станциями ввода-вывода и другими ПА и функции диагностики;
- Блок шлюза сопряжения (БШС);
- Комплект распределения питания, который включает автоматические выключатели 24 В клеммники, через которые отдается питание на компоненты ПС;
- Коммуникационное оборудование шин EN, ENL (коммутаторы, оптические кроссы, экранированные витые пары, волоконно-оптические кабели);
- Объединитель для подключения электрических сигнальных кабелей от датчиков и преобразователей технологического процесса, исполнительных механизмов, а также другого периферийного оборудования.

Станция ввода-вывода, процессор автоматизации и контроллер автоматизации имеет крейты с поставишими в них модулями.

б) Стойки приборные автономные (ПСА) напольного исполнения, двухстороннего обслуживания, которые содержают следующие элементы:

- Станции ввода-вывода, который включающие следующее оборудование:
  - Модули связи с процессом (СПМ), которые совершают базовые функции приема и обработки сигналов, контроля и управления исполнительными механизмами, регулирования и т.д.;
  - Интерфейсные модули, которые предоставляют коммуникационные связи станций ввода-вывода с процессором автоматизации;
- Процессор автоматизации, в котором созданы алгоритмы вычисления технологических параметров, функции ТЗиБ и автоматического управления, а также функции обмена данными со станциями ввода-вывода и другими процессорами автоматизации и функции диагностики;
- Блок питания, который превращает напряжение внешних резервированных сетей стабильного или переменного тока 220 В в напряжение постоянного тока 24 В;
- Комплект распространение питания, у которого автоматические выключатели 24 В клеммники, сквозь которых подается питание на компоненты ПСА;
- Коммуникационное оборудование;
- Соединители для подключения электрических сигнальных кабелей от датчиков и преобразователей технологического процесса, исполнительных механизмов, другого периферийного оборудования.

Стойки приборные автономные ТПТС-НТ имеют два случая применения:

- ТПТС55.2020 с монитором с сенсорным экраном на передней правой створке двери и с блоком контроллера, который установлен внутри ПСА ТПТС-НТ и который обеспечивает функционирование монитора с сенсорным экраном;
- ТПТС55.2021 без участия монитора.

в) Стойки питания (СП)- шкаф с созданными в нем на основе с проектом источниками питания 220/24 В, в зависимости от типа сети внешнего питания СП может быть содержить следующие исполнения:

- Стойка питания «~220V» –внешнее питание от двух сетей однофазного переменного тока 220 В;

- Стойка питания «=220V» –внешнее питание от двух сетей постоянного тока 220 В;
- Стойка питания «~=220V» –внешнее питание от сети переменного однофазного тока 220 В и от сети постоянного тока 220 В.

Главными функциональными устройствами СП представляет собой блоки питания (БПМ), которые преобразуют либо внешнее напряжение питания переменного либо постоянного тока в напряжение постоянного тока с значением 24 В, 220 В или в зависимости от стуации типов БПМ в диапазоне от 50 до 150 В.

г) Стойки сопряжения (СС), шкаф, который с установленными устройствами сопряжения (модулями гальванического разделения, промежуточными реле, контакторами и т.п.), компонентами, объязательными для организации сигнализации, элементами, определенным для закрепления и подключения кабелей.

Стойка сопряжения обеспечивает следующие стуации:

- Переход из одного типа кабеля в другой кабель;
- Распространение жил одного внешнего кабеля по отдельным кабелям, который подключаемым к разным ПС ТПТС;
- Гальваническое разделение цепей ПС ТПТС и присоединяемых цепей периферийных устройств;
- Размножение общих сигналов;
- Повышение тока сквозь контактов внешних устройств, для которых необходимо требуется повышенная токовая нагрузка;
- Преобразование типа электрического сигнала и т.д.

Для того, чтобы выполнить этих функций в интерфейсной стойке имеются соответствующие оконечные элементы и интерфейсные модули: модули нагрузки, модули реле, усилители, преобразователи и еще другие необходимые устройства.

д) Средство конфигурирования- инженерная станция (ИС) который установлен системой автоматизированного проектирования GET-R1, применяется для того, чтобы разработать прикладные алгориты, схемы соединений, выпуск документации, загрузка прикладных программ.

Структурная схема комплекса средств автоматизации ТПТС-НТ показана на рисунке 10.

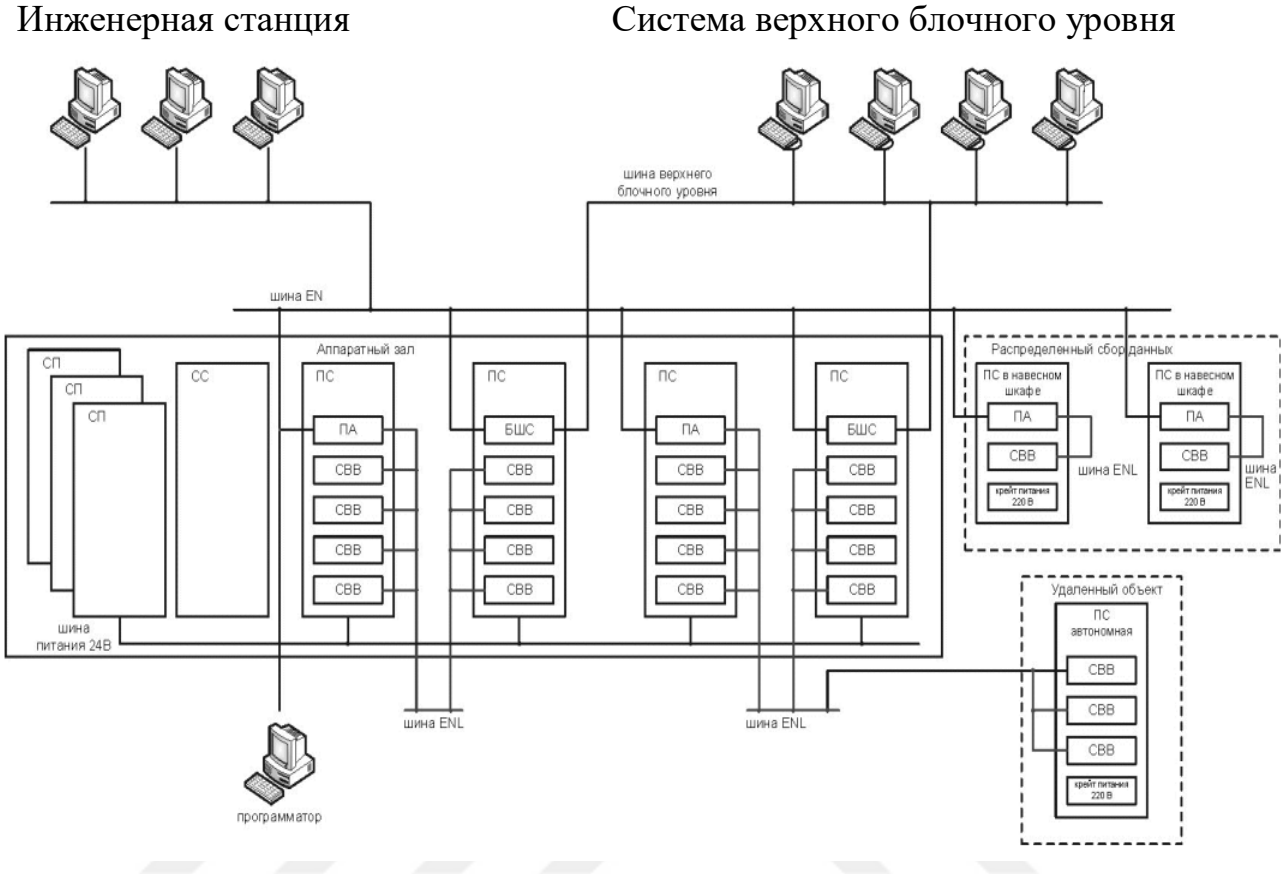

Рисунок 10 - Структурная схема комплекса средств автоматизации ТПТС-НТ: СП − стояка питания; СС − стойка сопряжения; ПС − приборная стойка; ПА − процессор автоматизации; СВВ − стация ввода-вывода; БШС − блок шлюза сопряжения

2.6 Системные интерфейсы ТПТС-НТ

Передача информации в комплексах средств автоматизации на базе платформы ТПТС-НТ осуществляет информационную связь между устройствами комплекса программно-технических средств нерезервированной (УСБ) и резервированной (СКУ НЭ) на уровне устройств системы автоматизации, в состав коммуникационной системы ТПТС-НТ входят шины передачи данных: шина EN, шины ENS, шины ENL и шина ввода/вывода.

Шина EN предназначена для выполнения передачи данных технологического процесса и результатов их обработки между процессорами автоматизации (ПА) при

выполнении задач автоматического управления, передачи данных технологического процесса и результатов обработки из ПА в систему верхнего уровня для архивирования и отображения на экранах операторов, передачи диагностической информации о состоянии технологического процесса и системы автоматизации из ПА в систему верхнего уровня для регистрации и оповещения операторов.

Это основное средство связи для ПТК, Физические средства передачи сигнала, дискретные и оптические аналоги в соответствии с уровнем связи, каналы противодействия могут достигать скоростей (неоптических), могут достигать скоростей порядка 100 Мбит/с, практически не зависящая от расстояния и количества пользователей [2].

Шина обеспечивает: передача сигналов между ПС, передача сигналов с системой верхнего блочного уровня (СВБУ), передача сигналов между разными устройствами, порты подключения к основной шине связи; - порты для индивидуальных пользователей.

Шина EN имеет кольцевую конструкцию, устойчивую к повреждениям, изготовлена из оптоволокна.

Главной особенностью шины является то, что отсутствие сбоев в передаче и приеме и несанкционированное использование шины, вызывает ее блокировку. В более неблагоприятных условиях только его мощность уменьшается на 10%. Скорость шины обеспечивает предложение пропускной способности за счет снижения ее скорости для отдельных пользователей.

Шины ENS предназначены для выполнения передачи данных технологических транзакций и результатов транзакций между ПА каналов безопасности, а также передачи параметров технологических операций, данных диагностики и управления между ПА каналов безопасности и ПА блочного и резервного пультов управления управляющей системы безопасности. Шины ENS используют протоколы и принципы связи и передачи данных, и различаются шины EN только наборами телеграмм и возможностями резервирования. Шина реализована на базе интерфейса IndustrialEthernet 100 Мбит / с в виде стандартной

кольцевой структуры из гирляндных коммутаторов, у каждого ПА есть до 6 каналов для подключения максимум к 6 отдельным шинам ENS, один канал подключен к каждой шине ПА. Шина не является резервной, но имеет возможность восстановить работоспособность путем реконфигурации кольцевой структуры в случае отказа магистральных соединений между коммутаторами.

Шины ENL предназначены для циклических сбор процессором автоматизации параметров технологического процесса, организованных интерфейсными модулями (ИМ) станций ввода/вывода (СВВ), передачи управляющих команд процессором автоматизации через шину ввода/вывода в ИМ станций ввода/вывода для последующей передачи в модули СП, циклических сбор диагностической информации процессором автоматизации, отражающей состояние модулей СП и технологический процесс, подготовленный опросом интерфейсными модулями и также для управляемой событиями прямая передача данных между интерфейсными модулями на фоне централизованной передачи данных под управлением пользовательского агента.

Шина ввода/вывода (ШВВ) предназначена для выполнения обмена данными в границах СВВ между интерфейсным модулем и модулями связи с процессом.

Шина EN построена на базе современного интерфейса Industrial Ethernet, основанного на использовании для организации локальной сети сетевых коммутаторов и соединений типа «точка-точка». Шина EN имеет кольцевую отказоустойчивую структуру. Передающая среда выполнена на оптоволокне, что обеспечивает потенциальную развязку всех абонентов шины.

Шина ENL является территориально-распределённой шиной обмена данными между процессорами автоматизации и станциями ввода-вывода. Связь процессора автоматизации с модулями связи с процессом осуществляется опосредованно через интерфейсный модуль, входящий в состав станции ввода-вывода.

ШВВ состоит из отдельных последовательных интерфейсов с дуплексным режимом передачи данных, по которым к интерфейсному модулю могут быть подключены до 16 СПМ в станции ввода-вывода.

Все средства коммуникационной системы ТПТС-НТ обеспечивают работу в режиме резервирования.

Коммутаторы соединены гирляндной цепочкой через главные порты, образующие виртуальное кольцо. Один из коммутаторов, определенных диспетчером резервирования, управляет резервированием шины, изменяя конфигурацию кольца, оставляя один из каналов в кольце открытым и закрывая его в случае нарушения связи в магистрали.

2.7 Средства Коммуникации (Коммутаторы)

Коммутаторы позволяют объединять ПК, ФМ и пользователей в системную шину.

Коммутаторы представлены в двух вариантах с двумя типами портов: индивидуальные каналы связи «абонентского» и массивные каналы связи «магистрального».

Через «абонентские» порты он подключается к интерфейсным модулям. А через «магистральные» порты можно объединять коммутаторы и пользователей.

Коммутаторы выполняют функции проверки (суммы и сравнения) при передаче и получении данных. Ограничение передачи ошибочных данных.

Задержка передачи между портами коммутатора не превышает нескольких микросекунд.

Коммутатор, назначенный администратором резервирования, контролирует целостность связи. Во время нормальной работы оборудования магистрального порта оно сохраняет канал в резерве (открытое соединение), но закрывается при обрыве, восстанавливая связь. Коммутаторы настраиваются из любой точки системы и предоставляют статистические данные об их работе.

2.8 Самодиагностика

Все элементы платформы ТПТС-НТ управляются в течении работы. Количество оперативного контроля позволяет обнаружить неисправности типового элемента замены.

Найденный отказы представляется насколько ближе к месту возникновения неисправности:

- Напрямую на модуле, в котором прошел отказ благодаря светового индикатора модуля);
- На приборной стойке, где создан модуль, в котором прошел отказ благодаря лампы сигнализации стойки.

Сведения об отказах достовляют в систему верхнего блочного уровня. Приборная стойка в каждом отказе, появляющем в ПС, наяинают светить сигнальные лампы стойки. В верхней части на передней и задней сторонах ПС установили сигнальные лампы.

Модуль связи с процессом, все время выполняет самодиагностику. Когда отказ обнаружен в самом модуле начинается светить светодиод ошибки (ERR) на передней панели модуля, и по шине ввода-вывода дается сведения об ошибке в интерфейсные модули своей СВВ.

Интерфейсный модуль, постоянно проводит самодиагностику и собирает диагностическую свидению от всех СПМ своей станции ввода-вывода.

Процессор автоматизации, все время проводит самодиагностику, а резервированный ПА также следует наблюдения за состоянием ПА-партнера. Когда возникает какой-то отказ ПА образует сигнал неисправности на сигнальном индикаторе модуля питания и индикации и передает сообщение в систему верхнего уровня об найденной неисправности.

Также в ПС обеспечивает контроль состояние коммутаторов, блоков шлюзов сопряжения и состояние дверных контактов.

Инструменты платформы ТПТС-НТ позволяют работать в режиме резервирования на всех уровнях, а именно: ПА, ИМ, СПМ, БШС, шины ввода-вывода, шины EN, шины ENL.

3 Построени Модели Расхода Продувочной Воды На Фильтры Сво Низкого Давления

3.1 Разработка модели объекта управления

3.1.1 Принципиальная схема и физические процессы на участке ОУ

Продувка первого контура выполняется от петель No^2 и No^3 из холодных ниток ГЦК с напора ГЦН, а для блока No^4 продувка первого контура осуществляется от всех 4-х петель из холодных ниток. Продувочная вода из петель ГЦК накапливается в общем коллекторе и охлаждение продувочной воды происходит в регенеративном теплообмене TK80W01 за счет регенеративного теплообмена с подпиточной водой и доохладителе TK80W02 водой промконтура до температуры 40-50 °С.

После того, как охлаждается, продувочная вода направляется на СВО-2 через регулирующие клапаны TK81S02 и TK82S02. Автоматически поддерживается регулятор TKC01,с влиянием на регулирующие клапаны TK81S02 и TK82S02, автоматически поддерживает расход продувки 15-25 $^{\text{тонн}}/_{\text{час}}$. На рисунке 11 показана принципиальная схема системы продувки.

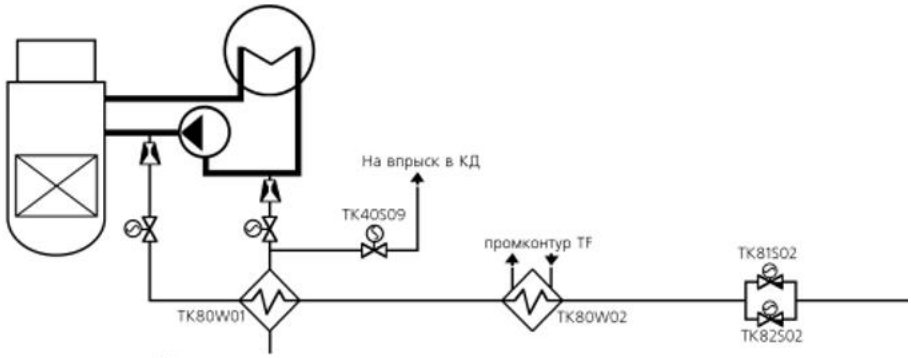

Рисунок 11 - Принципиальная схема системы продувки

3.1.2 Динамические характеристики участка при регулировании расхода жидкости

В нашей системе регулируемой величиной служит расход М, изменяющееся вдоль трубопровода. Если мы считаем что, расход в трубопроводе перед клапаном постоянным, то мы будем регулировать расход после клапана.

Если пренебрежём силой тяжести и перейдем от баланса сил к балансу давлений, и так получим уравение

$$\frac{L}{S_{\text{тр}}}\frac{dM}{dt} = P_e - P_a - \Delta P_T, \quad (2.1)$$

Где ΔP_T- перепад потери давления на трение.

В прикращениях получим:

$$\frac{L}{S_{\text{тр}}}\frac{d\Delta M}{dt} = \Delta P_e - \Delta P_a - \Delta\Delta P_T, \quad (2.2)$$

где L- суммарная длина трубопровода на участке, [м];

$S_{\text{тр}}$- сечение трубопровода, [м^2].

Потери давления на трения состоят из двух компонентов: потери в трубопроводе $\Delta P_{\text{л}}$ и потери в регулирующем клапане $\Delta P_{\text{рк}}$.

$$\Delta P_T = \Delta P_{\text{л}} + \Delta P_{\text{рк}}, \quad (2.3)$$

Если не применяться внешный перепад $P_e - P_a$, то можно взять постоянным или не зависящим от расхода. Так как можно не учитывать, т.е. $\Delta P_e - \Delta P_a = 0$.

Потери давления в трубопроводе выражают по облегченному уравнению

$$\Delta P_{\text{л}} = \text{К}_{\text{л}}\text{М}^m, \quad (2.4)$$

При турбулентном движении часто получают показатель степени m=2.

Если принимаем постоянные коэффициенты расхода для регулирующего клапана, и так зависимость между потерей давления в клапане Δ, расходом М и проходным сечением S_{pk} определяется по такой формуле:

$$\Delta\text{P}_{\text{рк}} = K_{pk}\left(\frac{M}{S_{pk}}\right)^2, \quad (2.5)$$

$$K_{pk} = \frac{1}{\text{а}_{\text{рк}}{}^2.2\rho} = \frac{\xi_{pk}}{2\rho}, \quad (2.6)$$

Где ξ_{pk} - коэффициент сопротивления клапана;

$\text{а}_{\text{рк}}$ – коэффициент расхода клапана;

S_{pk} – проходное сечение дроссельного клапана.

Следовательно, исходная математическая модель участка имеет систему нелинейных уравнений:

$$\frac{L}{S_{\text{тр}}}\frac{d\Delta M}{dt} = \Delta P_e - \Delta P_a - \Delta\Delta P_{\text{рк}} - \Delta\Delta P_{\text{л}}, \tag{2.7}$$

$$\Delta \text{P}_{\text{рк}} = K_{pk}\left(\frac{M}{S_{pk}}\right)^2, \tag{2.8}$$

$$\Delta P_{\text{л}} = \text{К}_{\text{л}}\text{М}^2, \tag{2.9}$$

Изменение потерь на трение в трубопроводах представляет собой уравнение дифференцирования (2.4) (при m=2):

$$\Delta\Delta P_{\text{л}} = \frac{\partial \Delta P_{\text{л}}}{\partial M}\Delta\text{М}=2\text{К}_{\text{л}}\ \bar{M}\Delta\text{М}, \tag{2.10}$$

$$\text{К}_{\text{л}} = \frac{1}{2\rho S_{\text{тр}}^2}\left(\frac{\lambda_{\text{тр}}L}{d_{\text{тр}}} + \Sigma\xi_{\text{мс}}\right), \tag{2.11}$$

$$\lambda_{\text{тр}} = 0{,}11\left(\frac{K_{\text{Э}}}{d_{\text{тр}}} + \frac{68}{Re}\right)^{0{,}25};\ K_{\text{Э}} = 0{,}05 \div 0{,}5\ \text{мм}, \tag{2.12}$$

Если турбулентного течения Re>2000

$$Re = \frac{\omega d_{\text{тр}}}{\nu};\ \omega = \frac{\bar{M}}{S_{\text{тр}}\rho};\ \nu = \frac{\mu}{\rho}, \tag{2.13}$$

где $\Sigma\xi_{\text{мс}}$- сумма местных сопротивлений трубопровода;

$\lambda_{\text{тр}}$- коэффициент трения;

$K_{\text{Э}}$- эквивалентная шероховатость трубы ($0{,}05 \div 0{,}5$ мм);

ν,μ- кинематическая и динамическая вязкости среды соотвественно.

Изменение перепада давлений на регулирующем клапане является результатом изменения расхода или продвижения клапана. Соответственно с этим путем дифференцирования (2.4) определяем

$$\Delta\Delta P_{\text{рк}} = \frac{\partial \Delta P_{\text{рк}}}{\partial M}\Delta M + \frac{\partial \Delta P_{\text{рк}}}{\partial M}\Delta S_{\text{рк}} = \frac{2K_{\text{рк}}\ \bar{M}}{S_{\text{рк}}^2}\Delta M - \frac{2K_{\text{рк}}\ \bar{M}^2}{S_{\text{рк}}^3}\Delta S_{\text{рк}}, \tag{2.14}$$

вводим обозначения $a_{pk} = \frac{2K_{pk}M}{\bar{S}_{pk}^2}$; $b_{pk} = \frac{2K_{pk}M^2}{\bar{S}_{pk}^3}$, и получаем для регулирующего клапана

$$\Delta\Delta P_{\text{рк}} = a_{pk}\Delta M - b_{pk}\,\Delta S_{\text{рк}}, \quad (2.15)$$

обозначим $\text{а}_{\text{ин}} = \frac{L}{S_{\text{тр}}}$. Исходя из этого, находим линейную аналитическую модель участка расхода

$$\text{а}_{\text{ин}}\frac{d\Delta M}{dt} = \Delta P_e - \Delta P_a - \Delta\Delta P_{\text{рк}} - \Delta\Delta P_{\text{л}}, \quad (2.16)$$

$$\Delta P_{\text{рк}} = \text{а}_{\text{рк}}\Delta M - b_{\text{рк}}\,\Delta S_{\text{рк}}, \quad (2.17)$$

$$\Delta P_{\text{л}} = \text{а}_{\text{л}}\Delta M, \quad (2.18)$$

Если поставим найденные формулы для потерь давления в первое уравнение (2.16) , то получим

$$\text{а}_{\text{ин}}\Delta M' + \left(\text{а}_{\text{л}} + \text{а}_{\text{рк}}\right)\Delta M = \Delta P_e - \Delta P_a + b_{\text{рк}}\Delta S_{\text{рк}}, \quad (2.19)$$

Это дифференциальное уравнение первого порядка показывает в общем виде динамические особенности системы по расходу жидкости. В отдельных особых случаях некоторые члены этого уравнения может быть отсутствуют. Примерно, внешный перепад давлений может быть остается постоянным. При этом $\Delta P_e - \Delta P_a = 0$.

Если принимаем в качестве управляющего воздействия $\Delta S_{\text{рк}} = 0$ (изменение сечение клапана- регулируемое гидравлического сопротивление) и в качестве выходного параметра ΔM, то дифференциальное уравнение участка принимает форму

$$\text{а}_{\text{ин}}\Delta M' + \left(\text{а}_{\text{л}} + \text{а}_{\text{рк}}\right)\Delta M = b_{\text{рк}}\Delta S_{\text{рк}}, \quad (2.20)$$

Получаем это выражение из уравнения (2.19). Если разделим все члены уравнения на выражение в скопках $\left(\text{а}_{\text{л}} + \text{а}_{\text{рк}}\right)$, то уравнение принимает вид

$$T_1\Delta M' + \Delta M = K_1\Delta S_{\text{рк}}, \quad (2.21)$$

Где

$$T_1 = \frac{\text{а}_{\text{ин}}}{\text{а}_{\text{л}} + \text{а}_{\text{рк}}}, \quad (2.22)$$

$$K_1 = \frac{b_{\text{рк}}}{\text{а}_{\text{л}} + \text{а}_{\text{рк}}}, \quad (2.23)$$

Как полагается из полученного уравнения, переходная функция является экспонентом с постоянной времени T_1.

Из уравннения (2.21) можно естественно получить передаточную функцию (инерционное звено 1-го порядка)

$$W_{1_{\Delta S_{\text{рк}} \to \Delta M}}(S) = \frac{K_1}{T_1 S + 1} \qquad (2.24)$$

3.2 Определение динамических параметров ОУ

На рисунке 12 показана упрощенная схема участок.

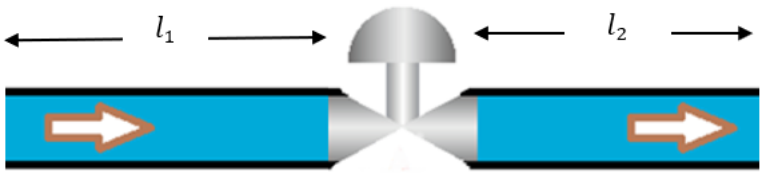

Рисунок 12 - Упрощенная схема участок

Геометрические характеристики участка

Трубопровод:

$$l_1 = 4 \text{ м} \qquad l_2 = 4 \text{ м} \qquad l = l_1 + l_2 = 8 \text{ м}$$

$$D_{\text{т}} = 0{,}12 \text{ м}$$

$$S_{\text{т}} = \frac{\pi . {D_{\text{т}}}^2}{4} = 0{,}013 \text{ м}^2$$

Где l- длина трубопровода;

$D_{\text{т}}$-диаметр трубопровода;

$S_{\text{т}}$ −сечение трубопровода.

Регулирующий клапан:

$$D_{\text{к}} = 0{,}12 \text{ м}$$

$$S_{\text{к}} = \frac{\pi . {D_{\text{к}}}^2}{4} = 0{,}011 \text{ м}^2$$

Где $D_{\text{к}}$- диаметр регулирующего клапана;

$S_{\text{к}}$- сечение клапана при полном открытии.

Режимние характеристики:

$$M = 6{,}92\ \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Где M- расход участка.

Теплофизические свойства жидкости(для воды):

$$\rho = 997\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \qquad \nu = 1{,}006.10^{-6}\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Режим течения жидкости в трубопроводе:

$$R_e = \frac{M.D_\text{т}}{\rho.S_\text{т}.\nu} \qquad R_e = 6{,}761.10^4$$

Поскольку $R_e > 2000$, то $\lambda_\text{тр}$ надо определять по формуле турбулентного течения.

$$\lambda_\text{тр} = \frac{0{,}3164}{{R_e}^{0{,}25}} = 0{,}02$$

$$\xi_\text{тр} = \frac{\lambda_\text{тр}.\,l}{D_\text{т}}$$

$\xi_\text{тр} = 1{,}2 \qquad \xi_\text{кл} = 15{,}7 \qquad \xi = \xi_\text{тр} + \xi_\text{кл} \qquad \xi = 16$

Определение коэффициентов, характеризующих потери и в линии и в клапане:

$$K_l = \frac{\xi.{S_\text{к}}^2}{2.\rho.} \qquad K_l = 14{,}823$$

$$K_\text{рк} = \frac{\xi_\text{кл}}{2.\rho} \qquad K_\text{рк} = 0{,}002$$

Определение коэффициентов дифференциального уравнения участка:

$$\text{a}_i = \frac{l}{S_\text{т}} \qquad \text{a}_i = 602\,,717$$

$$\text{a}_p = \frac{2.K_\text{рк}.M}{{S_\text{к}}^2} \qquad \text{a}_p = 217{,}179$$

$$\text{a}_l = 2.K_l.M \qquad \text{a}_l = 205{,}275$$

$$b_p = \frac{2.K_\text{рк}.M^2}{{S_\text{к}}^3} \qquad b_p = 1{,}33.10^5$$

Коэффициенты передачи:

$$K = \frac{b_p}{\text{a}_l + \text{a}_p} \qquad K = 275,$$

$$T = \frac{\text{a}_i}{\text{a}_l + \text{a}_p} \qquad T = 0{,}5$$

Выражание передаточной функции:

$$W(S) = \frac{275}{0{,}5.S + 1}$$

3.3 Исполнительный механизм (регулирующий орган)

Продувочная вода из петель ГЦК собирается в общем коллекторе и перед фильтрами охлаждается в регенеративном теплообмене TK80W01 за счет регенеративного теплообмена с подпиточной водой и доохладителе TK80W02 водой промконтура до температуры 40-50 °С. После того, как охлаждается, продувочная вода направляется на СВО-2 через регулирующие клапаны TK81S02 и TK82S02. Автоматически поддерживается регулятор TKC01, с влиянием на регулирующие клапаны TK81S02 и TK82S02, автоматически поддерживает расход продувки 0,007 $^{м^3}/_{с}$.

При этом входные сигналы характеризуются степенью открытия проходного сечения клапана, с размерностью % и выходные сигналы являются расходом рабочей жидкости, с размерностью $^{м^3}/_{с}$.

Имея в виду, что при малых значениях постоянной времени для клапана $Т_{ИМ}$ инерционность исполнительного механизма существенно мала, и в этом случае можно рассмотреть, как пропорциональное звено.

Передаточная функция для регулирующего клапана:

$$W(s) = K_{ИМ}$$

Таким образом, регулирующий клапан управляется командой открытия из регулятора расхода продувочной воды TKC01 и является пропорциональным исполнительным механизмом. При полном открытии клапана на 100% расход воды равняется 0,007 $^{м^3}/_{с}$. Тогда коэффициент $К_{ИМ}$ регулирующего клапана высчитывается следующим образом:

$$W(s) = K_{ИМ} = 0.007 \frac{м^3}{\%c},$$

3.4 Реализация и проверка модели ОУ и ИМ в MatLab/Simulink

Основная задача автоматических систем регулирования обратной связи является поддержание технологических параметров (аналоговых или дискретных сигналов) в соответствии с заданными значениями. В целом, системы автоматического управления с обратной связью, как на рисунке 8, состоят из определенного числа представительных элементов, по которым циркулируют рассматриваемые сигналы.

Для исследования возможности применении регулирующего клапана с инерционностью сделаны моделирования с изменением передаточной функции исполнительного механизма.

На рисунке 13 показана схема моделирования с изменением передаточной функции исполнителного механизма с помощью регулятора в симулинке.

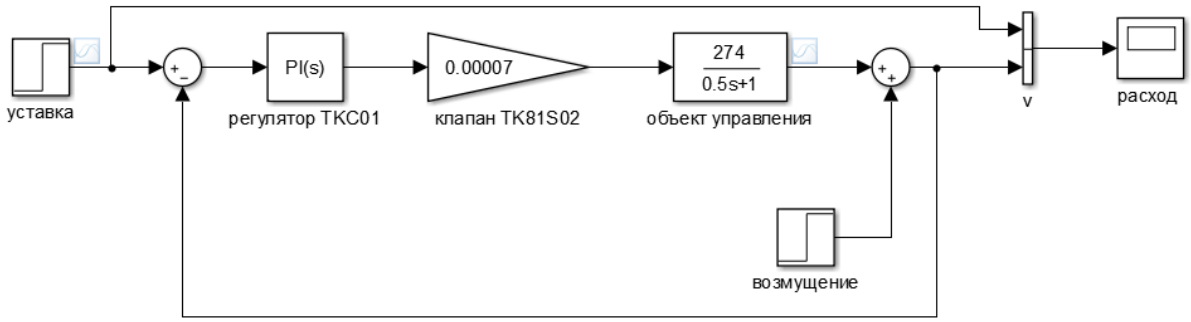

Рисунок 13 - Схема моделирования ОУ и ИМ в матлабе

Конструкция регулятора была рассмотрена в соответствии с типом стандартного ПИ-регулятора. На рисунке 14 показана реакция системы на ступенчатую функцию.

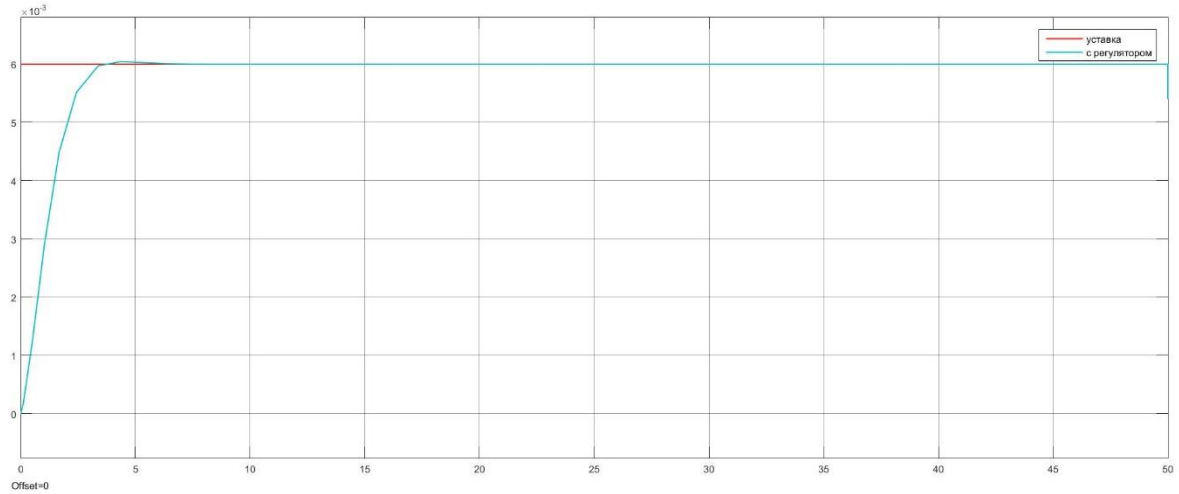

Рисунок 14 - Реакция системы на ступенчатую функцию

На рисунке 15 показана Реакция системы на ступенчатую функцию с возмущением.

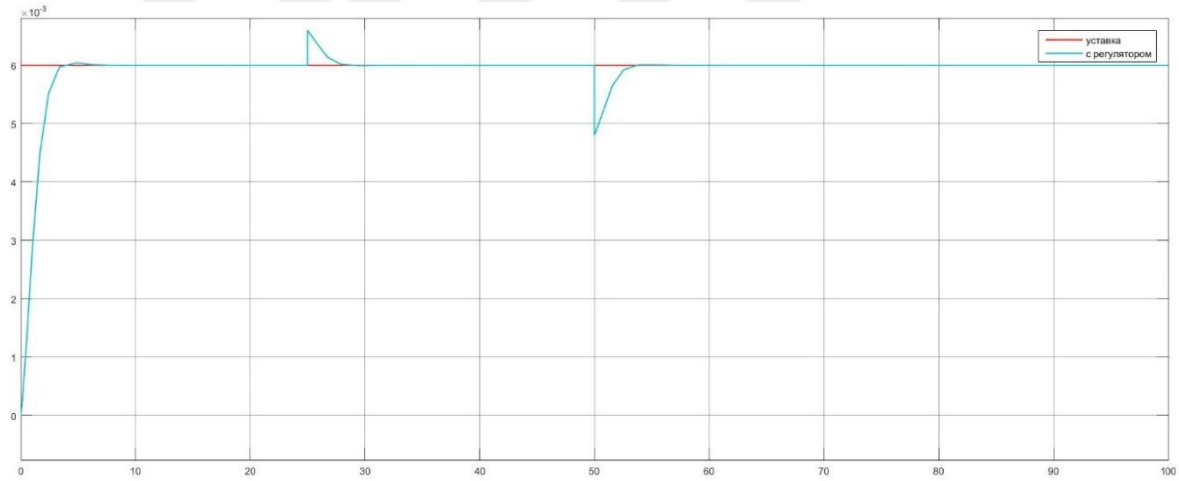

Рисунок 15 - Реакция системы на ступенчатую функцию с возмущением

По результатам видно на рисунке 14, что регулятор улучшает качество регулирования. И на рисунке 15 показали, что вводя и положительное и отрицательное возмущение, система стабилизируется и регулируется в течение нескольких секунд. Принцип возмущения заключет в том, чтобы подать сигнал помех на регулятор и объект управления, чтобы действие регулятора определялось величиной возмущения, которое воздействует на объект управления, так как , действие регулятора направлена на минимизацию влияния возмущения на контролируемую переменную, ограничение ее отклонения.

4 Исследование Модели Системы Управления В Реальном Времени

4.1 Системы управления с базами данных в реальном времени

База данных реального времени в САУ, как правило, обработка данных в которой происходит по принципу реального времени. Общее пространство памяти ядра процесса (среда программирования или физическое устройство, которое выполняет одну или несколько задач за ограниченное время), где агрегируют переменные (параметры), отслеживаемые технологическим процессом.

В общем, это пространство может представлять следующие общие характеристики: одновременный и двунаправленный множественный доступ; горячее бронирование; мгновенное обновление во всех модулях; заданное время для каждого рабочего цикла; 100% поддержание целостности данных; системы резервного копирования и безопасности данных.

Системы управления, основанные на базе данных реального времени, имеют общее назначение, могут выполнять несколько задач одновременно, наиболее распространенными задачами являются запись данных, чтение и запись, расчет переменных, прогнозирование трендов, адресация процессов, активация индикаторов и др.

Эти системы предоставляют возможность оперативной обработки данных по мере их получения, генерирования изнутри (ручной ввод из интерфейса) или генерирования извне (ввод из программируемого устройства, чтение из ПЛК, РТК и т.д.).

Помимо примечательной особенности этих систем, это высокая емкость хранения, свобода масштабирования оборудования и самой системы, широкая поддержка работы с различными протоколами и другими системами обработки в реальном времени, интерфейсы множественного доступа, возможность ручного управления, параметров, процессов или контролируемых устройств.

4.2 Кодификация ОУ и ИМ в среде MikBASIC

Программно-технический комплекс имеет графическую среду, в которой представлено множество инструментов для обработки данных в режиме реального времени, MWBridge также является инструментом для конфигурирования, а программирование модулей ПТК MIKKON, его дизайн позволяет работать с данными вручную и в среде программирования [12].

MWBridge предоставляет язык программирования MikBasik на котором легко получить доступ к параметрам, регулируемым в режиме реального времени, а также к предыдущему значению контролируемого параметра.

Эта функция позволяет кодировать математическую модель объекта управления с учетом уравнения переноса (или дифференциальное уравнение), который представляет ОУ [12].

Для этого необходимо применить определение производной как предела функции, смещенной во времени. Это представлено следующим образом.

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

$$W(s) = \frac{K}{TS+1} = \frac{X_{\text{вых}}(S)}{X_{\text{вх}}(S)}; \quad (3.1)$$

$$K \cdot X_{\text{вх}}(S) = X_{\text{вых}}(S) \cdot (TS + 1); \quad (3.2)$$

$$T \cdot S \cdot X_{\text{вых}}(S) + X_{\text{вых}}(S) = K \cdot X_{\text{вх}}(S); \quad (3.3)$$

При $S \to \frac{d}{dt}$;

$$T\frac{d}{dt}X_{\text{вых}}(t) + X_{\text{вых}}(t) = K \cdot X_{\text{вх}}(t); \quad (3.4)$$

$$\text{X}^I = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{X_{\text{вых}}(t) - X_{\text{вых}}(t-\Delta t)}{\Delta t}; \quad (3.5)$$

$$T\left(\frac{X_{\text{вых}}(t) - X_{\text{вых}}(t-\Delta t)}{\Delta t}\right) + X_{\text{вых}}(t) = K \cdot X_{\text{вх}}(t); \quad (3.6)$$

$$\left(\frac{T}{\Delta t}X_{\text{вых}} + 1\right)X_{\text{вых}}(t) - \frac{T}{\Delta t}X_{\text{вых}}(t - \Delta t) = (K \cdot X_{\text{вх}}(t) - X_{\text{вых}}(t)); \quad (3.7)$$

$$\text{X}_{\text{вых}}(t) = \frac{K \cdot X_{\text{вх}}(t) + \frac{T}{\Delta t}X_{\text{вых}}(t-\Delta t)}{(\frac{\Delta t}{T}+1)} \quad (3.8)$$

Представленное уравнение имеет форму, подходящую для кодирования и моделирования в среде MWBridge с использованием интерпретатора MikBasik, который обеспечивает регистрацию и получать доступ к текущим и предыдущим значениям временной функции.

В уравнении вы можете увидеть текущее значение функции, например величину смещенной во времени функции, сохраненное под именем A[n].VALUE в адресе памяти MikBasik интерпретатора (внутренняя переменная), в то время как предыдущее значение хранится во внутренней переменной с именем A [n + 1] .VALUEOLD, где (n) можно импортировать целые значенияиз MWBridge.

Интерпретатор MikBasik также предоставляет все документированные функции, которые могут быть использованы для программирования. Интерфейс интерпретатора и интерфейсы базы данных реального времени MWBridge показаны на рисунке 16.

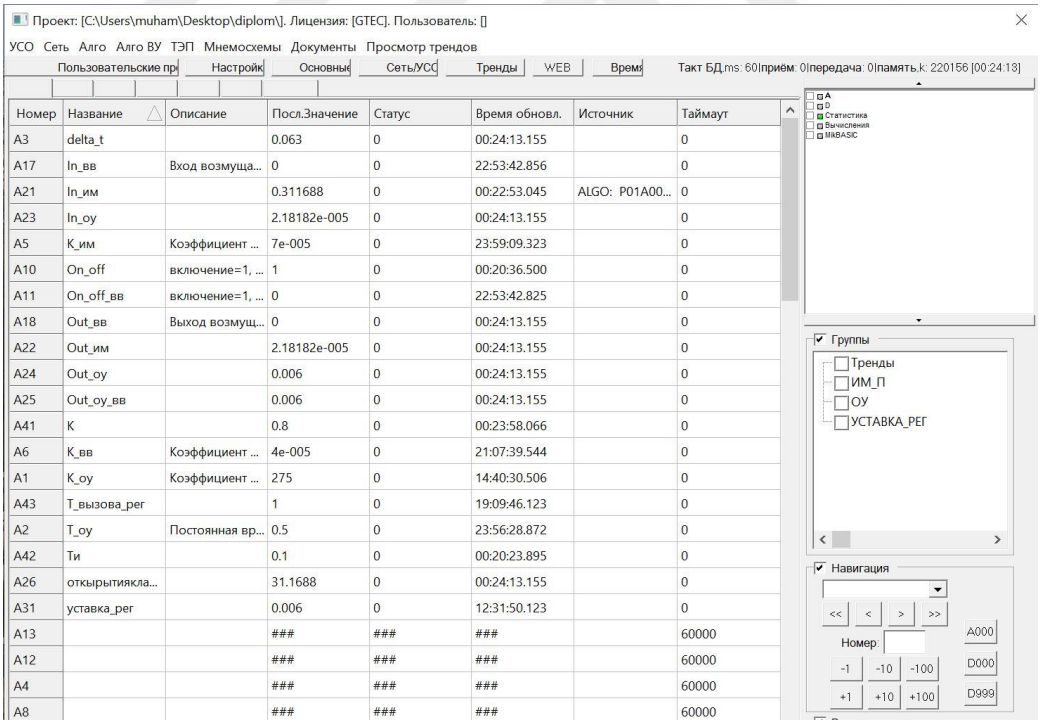

Рисунок 16 - База данных программы MWBridge

На рисунке 17 показаны выполнения кодирования и моделирования в среде MWBridge с помощью интерпретатора MikBasik, который позволяет регистрацию и получать доступ к текущим и предыдущим значениям временной функции.

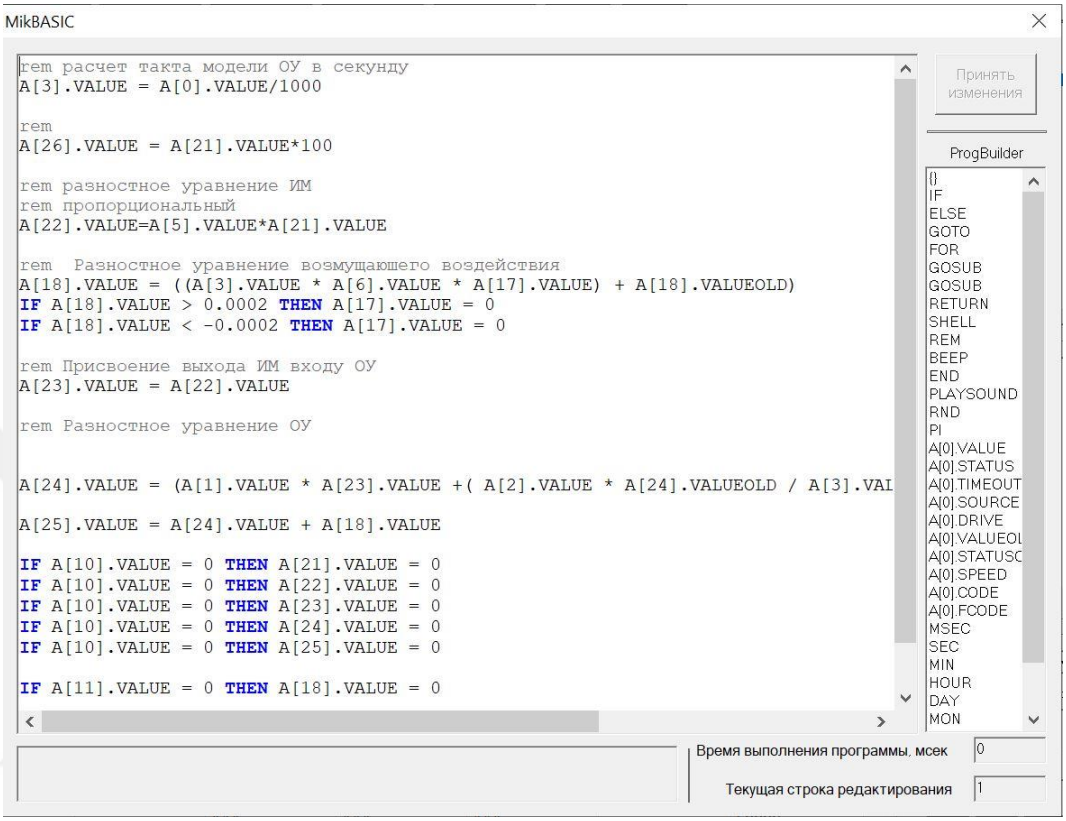

Рисунок 17 - Окно программы MikBasic

4.3 Синтез регулятора в среде программирования АлгоВУ

Система программирования на языке алгоблоков предназначена для создания пользовательских процедур, которые исполняются программой MWBridge в режиме реального времени.

Алгоблок - это набор двоичных данных, определяющих требуемую операцию следующим образом:

- Операнды алгоблока (один или два в зависимости от типа операции);
- Результат исполнения операции;
- Тип операции;
- Условия выполнения операции;
- Условия использования операндов;

- Результат (логический) выполнения операции.

Каждый набор данных также включает в себя дополнительные флаги, уточняющие режимы использования данных наборов данных.

Процедуры представляют собой набор алгоблоков, исполняемых последовательно друг за другом.

Исполнение процедур производится по специальному циклическому алгоритму разделения времени.

Процедуры, входящие в цикл исполнения, называются циклами обхода. Количество циклов обхода (т.е. постоянно выполняющихся процедур) определяется оператором на этапе конструирования алгоблоков (циклы обхода образуют первые процедуры). Первая процедура присутствует всегда и образует быстрый цикл обхода, безусловно исполняемый на каждом такте работы ядра реального времени. Для организации вычислительного процесса оператору предоставляется специальный алгоблок цикла Переход на предыдущий цикл обхода, который позволяет прервать исполнение текущего цикла обхода (кроме первого) и перейти к исполнению предыдущего более быстрого цикла обхода (исполняется процедура с меньшим номером). Данный алгоблок может быть сделан условным (по значению определенной переменной или времени), т.о. алгоритм организации вычислительного процесса может быть изменен во время работы программы. [14]

На рисунке 18 показано окно программы АЛГО ВУ. Окно программы АЛГО ВУ состоит из этих следующих параметров:

- Панель инструментов;
- Такты и времена;
- Текущее состояние исполнения;
- Список;
- Параметры инициализации и управление;
- Просмотр, редактирование баз и групп.

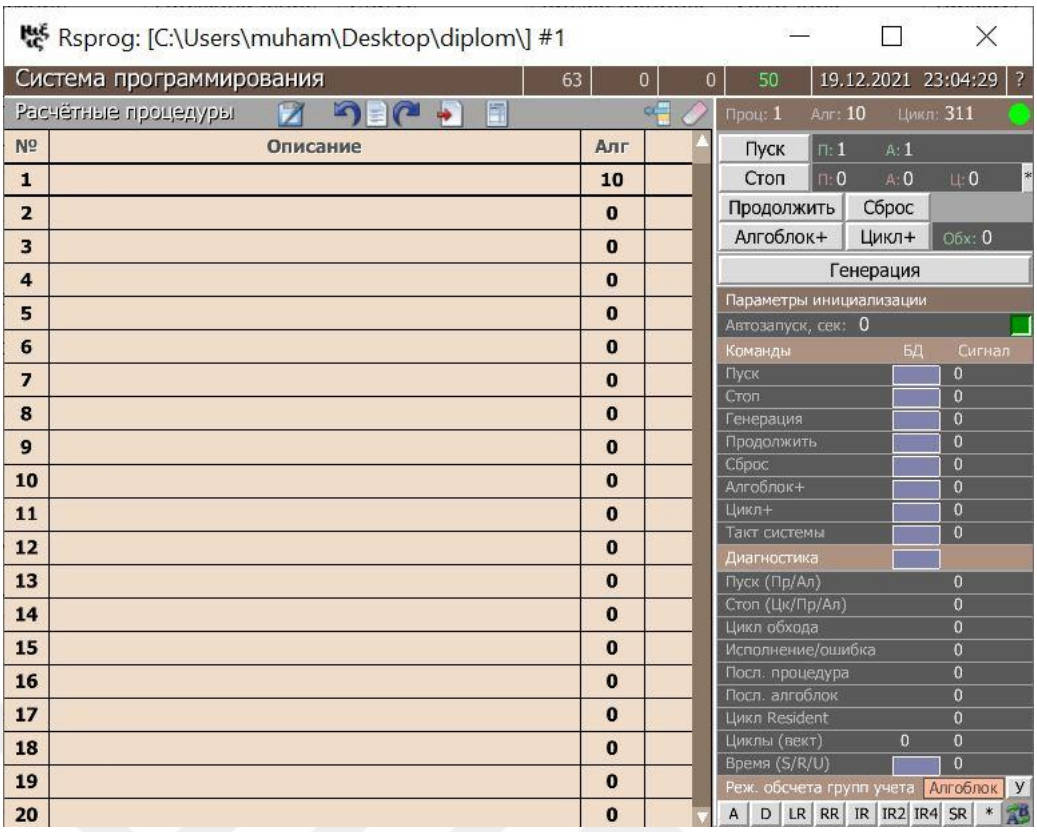

Рисунок 18 - Главное окно программы АЛГО ВУ

На рисунке 19 показано окно алгоблока. На рисунке 14 окно алгоблока включает в себя:

- Операнд 1 - уставка;
- Операнд 2 - регулируемая величина;
- Условие операнда 1:

  1-й элемент - режим работы регулятора:

  = 0 - ручной режим;

  = 1 - автоматический режим.
- Условие операнда 2:

  1-й элемент - режим безударного включения;

  2-й ... - флаги учета возмущения.

Интеграл ошибки и предыдущее значение интегрального коэффициента хранятся внутри алгоблока.

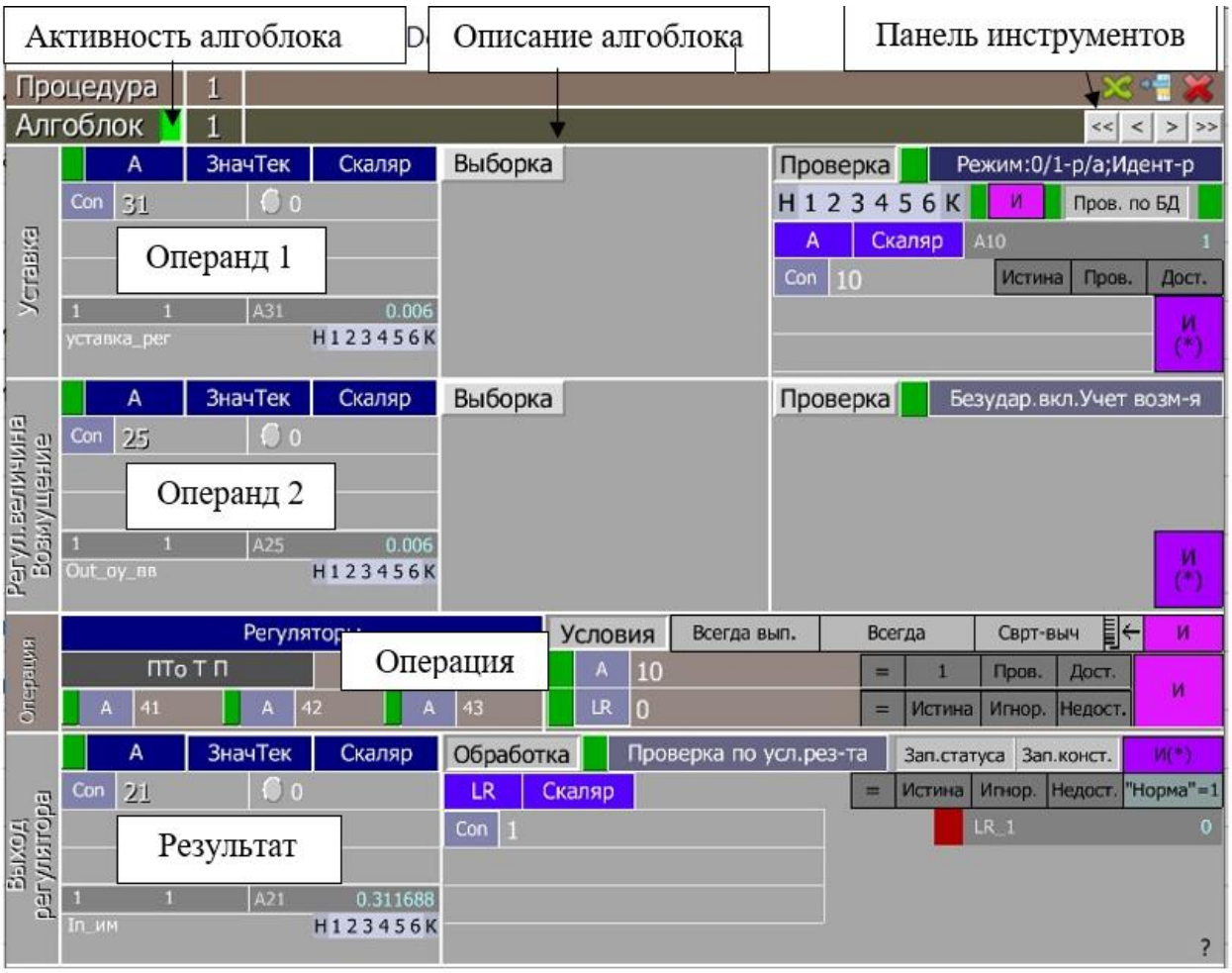

Рисунок 19 - Окно алгоблока

4.4 Настройка и исследование влияния регулятора на качество регулирования

ТКС-01 представляет собой пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор. Управляющее воздействие является изменением расхода продувочной воды.

При ПИ регулировании сигнал управления зависит от разницы между измеренным параметром и заданным значением, от интеграла и от разности параметров.

В результате ПИ-регулятор обеспечивает такое состояние исполнительного устройства (промежуточное между включен и выключен), при котором измеренный параметр равен заданному. Поскольку состояние исполнительного устройства стабилизируется, точность поддержания параметра в системе повышается в десятки раз, таким образом, закон регулирования обеспечивает точность.

Сигнал управления, который вырабатывает регулятор, определяется тем, насколько велико рассогласование (пропорциональная компонента), и насколько долго сохраняется рассогласование (интегральная компонента).

Качество управления, которое обеспечивает ПИ регулятор, в значительной мере определяется точностью настройки его параметров. Существует множество способов настройки параметров регулятора, в основе большинства из них лежит анализ переходной характеристики.

4.4.1 Пропорциональный компонент регулятора ТКС-01

Регулятор П указывает для противодействия отклонению контролируемого параметра, значение управляющего воздействия можно сравнить со значением отклонения контролируемого параметра. Он тем больше, чем больше это отклонение. Если входной сигнал равен заданному значению, то выходной равен нулю.

Введем понятие «зона пропорциональности» следующим образом:

$X_{\text{п}} = \frac{1}{K_{\text{п}}}$, где $\text{К}_{\text{п}}$, коэффициенты усиления пропорциональной

Зона пропорциональности задается в единицах контролируемой величины. Зона пропорциональности называется так, потому что только в ней пропорциональная составляющая ПИД-регулятора может формировать мощность выходного сигнала управления пропорционально ошибке. А за ее пределами мощность будет равна либо 0%, либо 100%. Таким образом, чем уже эта зона, тем быстрее отклик регулятора, но слишком высокое быстродействие может ввести систему в автоколебательный режим.

Временная характеристика при значении Хр ~ 0

Нам необходимо установить зону пропорциональности равной размаху колебаний перепада давления. Это значение служит первым приближением для зоны пропорциональности. Следует проанализировать переходные характеристики еще раз и при необходимости скорректировать значения зоны пропорциональности.

На рисунке 20 показана переходная характеристика при значении Кп = 100. Расход продувочной воды не подходит к установившемуся значению в переходной характеристике на рисунке 20 и наблюдаются колебания. Система находится в не устойчивом состоянии. С точки зрения теории автоматического управления переходная характеристика далека от оптимальной. Это объясняется тем, что зону пропорциональности следует значительно уменьшить.

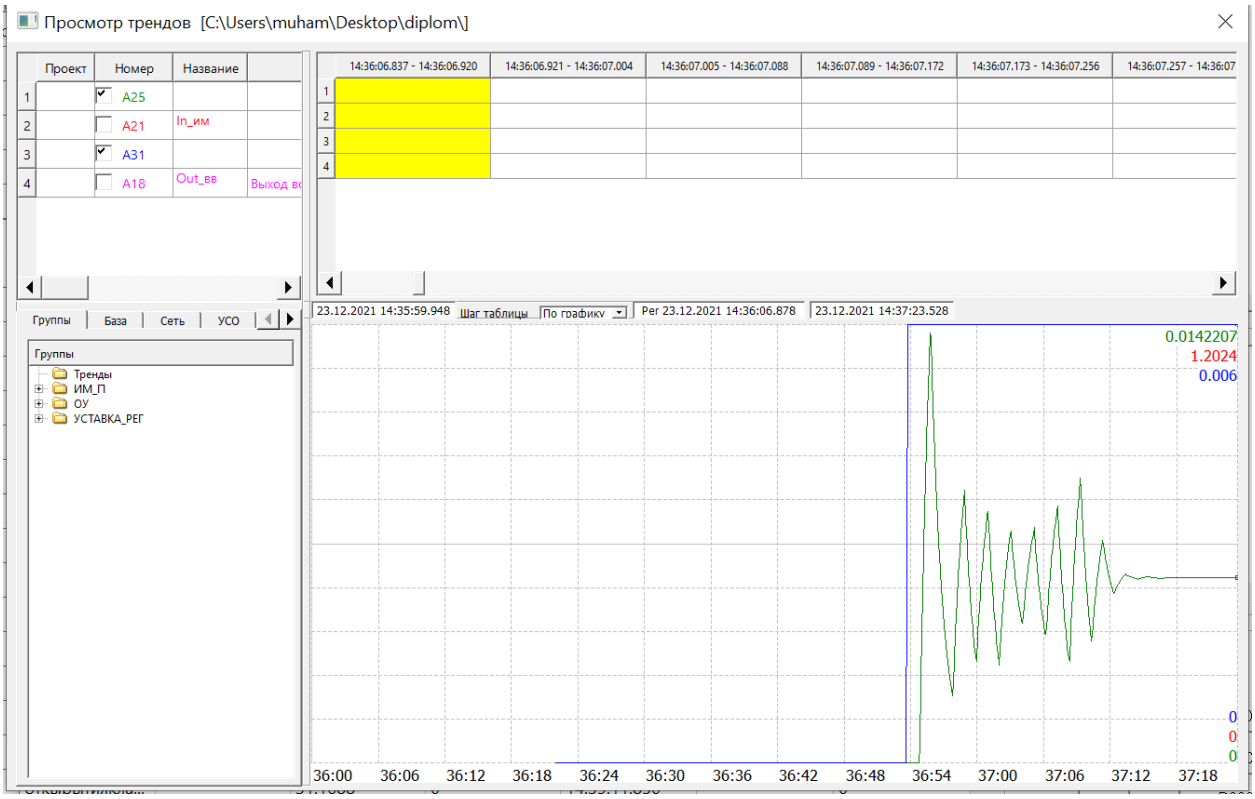

Рисунок 20 - Переходная характеристика при значении Кп = 100

На рисунке 21 показана переходная характеристика при значении Кп = 50. В переходной характеристике 21 наблюдаются большой выброс (перерегулирование) и быстро затухающие колебания. Этот тип переходной характеристики обеспечивает хорошее быстродействие и быстрый выход на заданную уставку. Его можно считать оптимальным, если в системе допускаются выбросы при переходе с одного в другое.

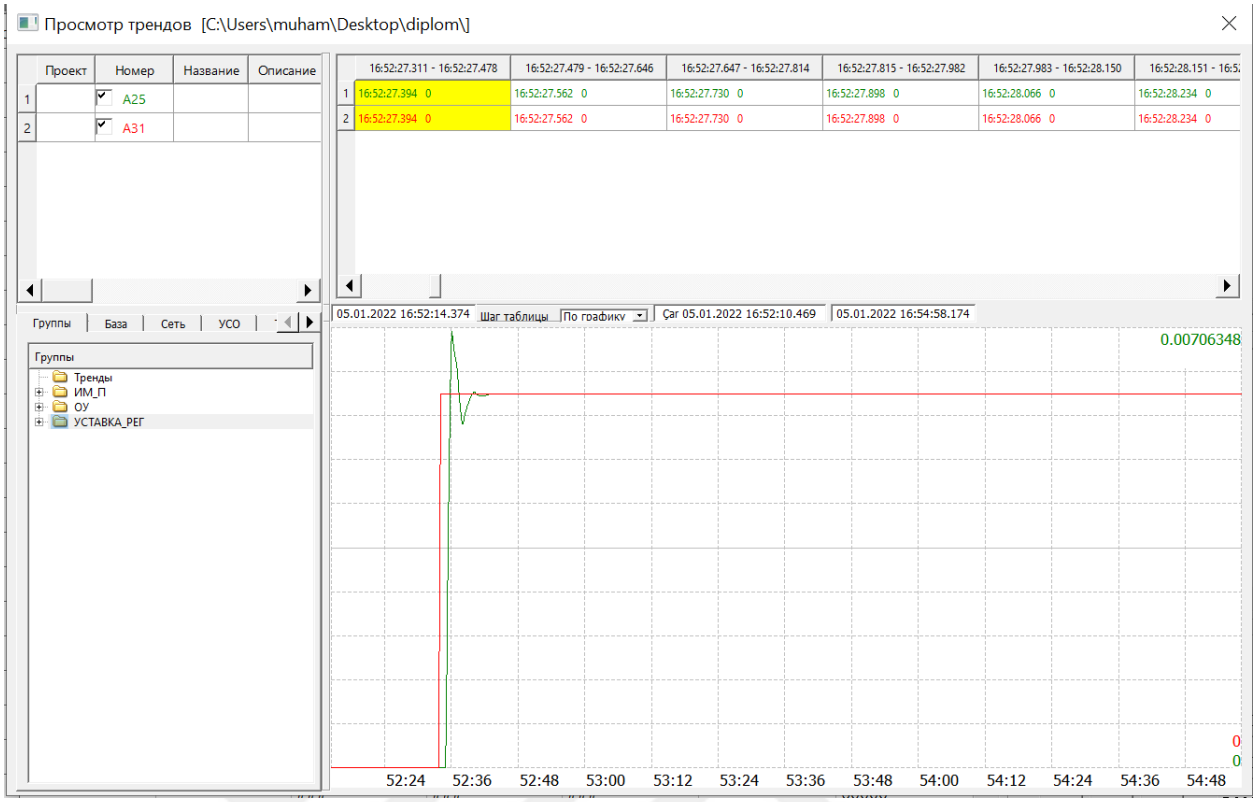

Рисунок 21 - Переходная характеристика при значении Кп =50

На рисунке 22 показана переходная характеристика при значении Кп = 1. В переходной характеристике 22 наблюдаются небольшой выброс (перерегулирование) и быстро затухающие колебания. Этот тип переходной характеристики обеспечивает хорошее быстродействие и быстрый выход на заданную уставку, если в системе допускаются выбросы при переходе с одного в другое его можно считать оптимальным.

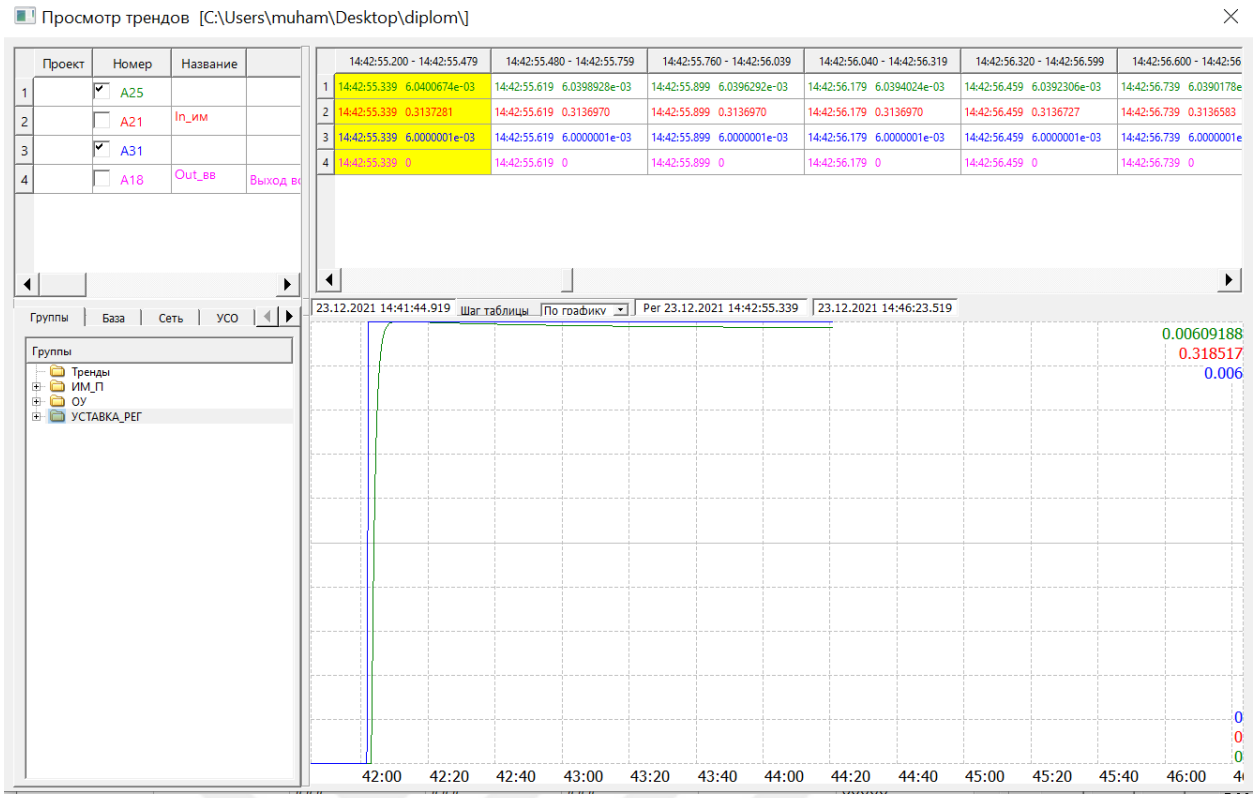

Рисунок 22 - Переходная характеристика при значении Кп = 1

На рисунке 23 показана переходная характеристика при значении Кп = 0,8. Расход воды подходит к установившемуся значению в переходной характеристике на рисунке 23. На рисунке 23 не имеют выброс и колебания в переходной характеристике. Этот тип переходной характеристики в большинстве случаев можно считать оптимальным.

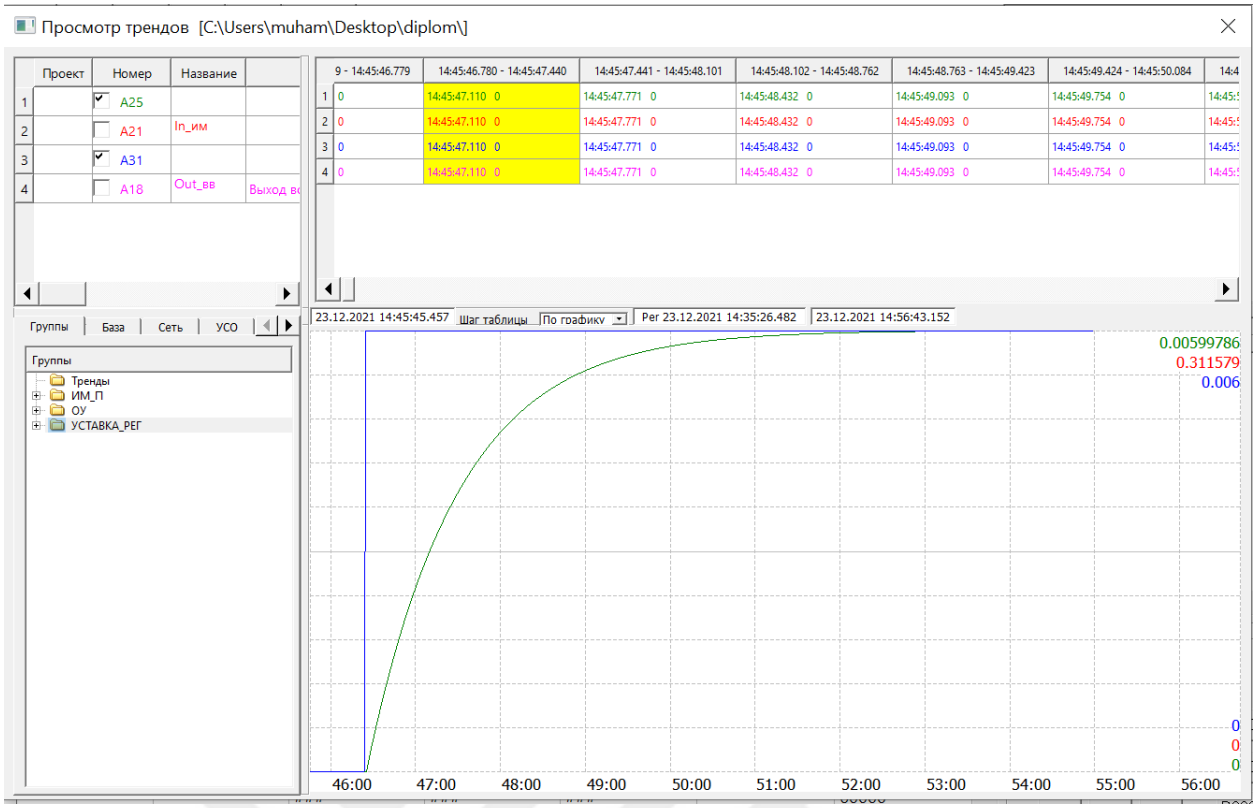

Рисунок 23 - Переходная характеристика при значении Кп = 0,8

4.4.2 Интегральный компонент регулятора ТКС-01

Интегральный компонент И собирает ошибку управления, что позволяет регулятору устранять статическую ошибку в течение временного интервала (Т). Эта интегральная связь всегда вносит некоторую задержку , и если система склонна к постоянным ошибкам, она их компенсирует. Но если эти ошибки отсутствуют или ими можно пренебречь, эффект будет противоположным, и сама интегральная составляющая будет генерировать ошибку компенсации.

На рисунке 24 показна переходная характеристика при значении Кп =50 Ти=0.1. При большом значении Кп и при маленьком значений Ти наблюдается колебание и расход не идет к установившемуся значению. Так как эта переходная характеристика считается неустойчивым. Это объясняется тем, что следует компоненты регулятора изменить.

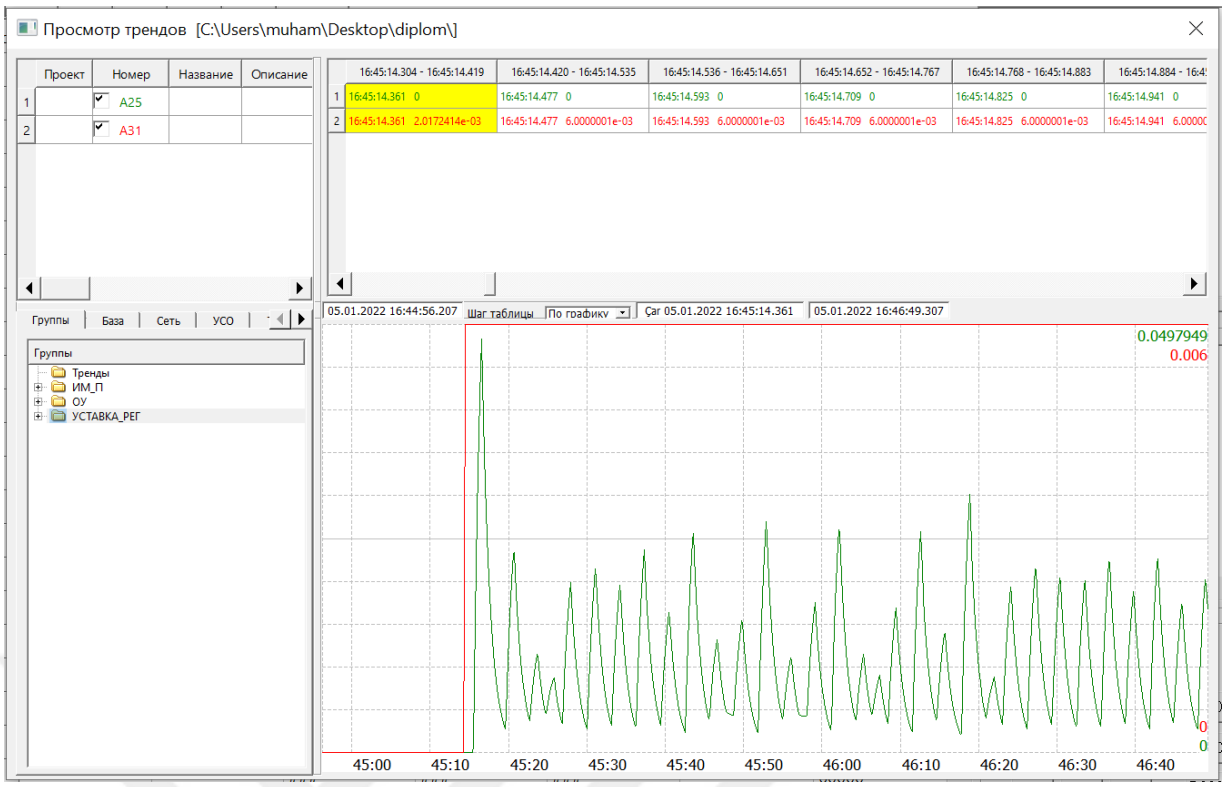

Рисунок 24 - Переходная характеристика при значении Кп =50 Ти=0.1

Переходная характеристика на рисунке 25 получается при величине 0.8 постоянной времени интегрирования. Это объясняется тем, что следует интегральный компонент уменьшить.

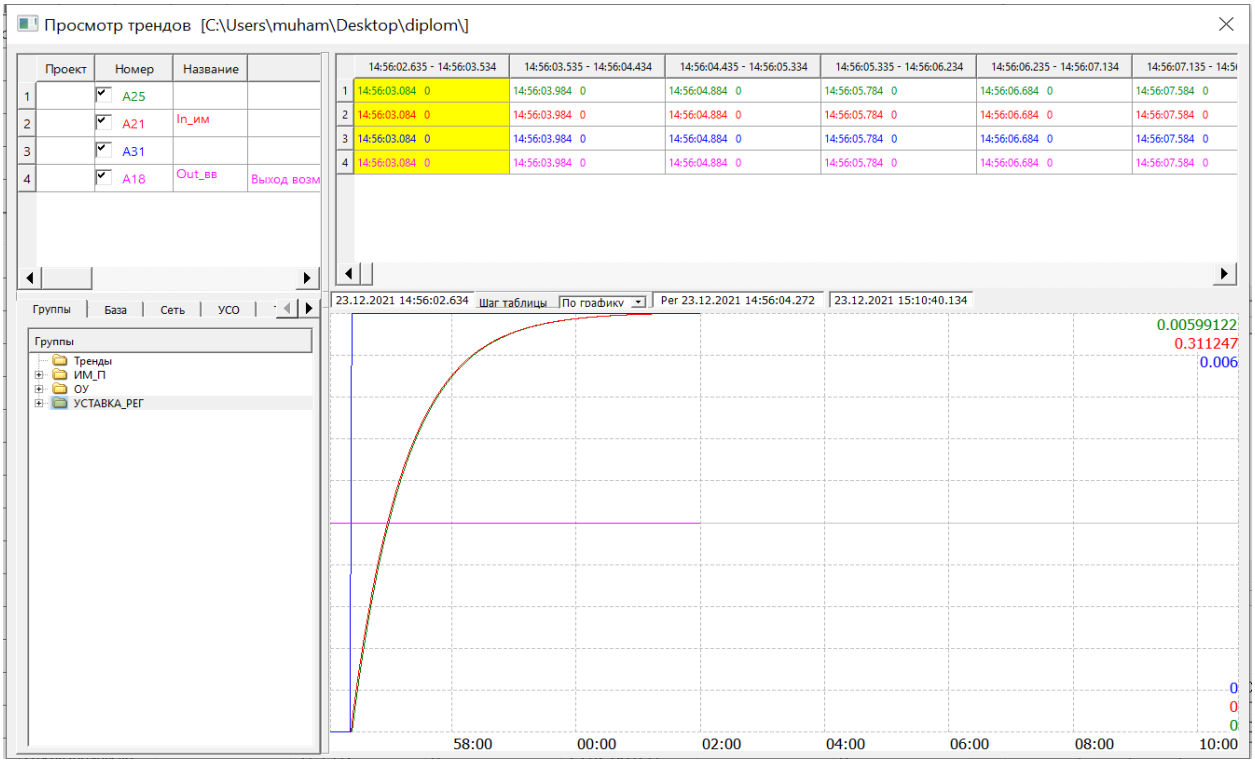

Рисунок 25 - Переходная характеристика при значении ТИ = 0.8

Переходная характеристика на рисунке 26 получается при повышенной величине постоянной времени интегрирования. Если постоянную времени интегрирования уменьшить еще, то система становится более оптимальной.

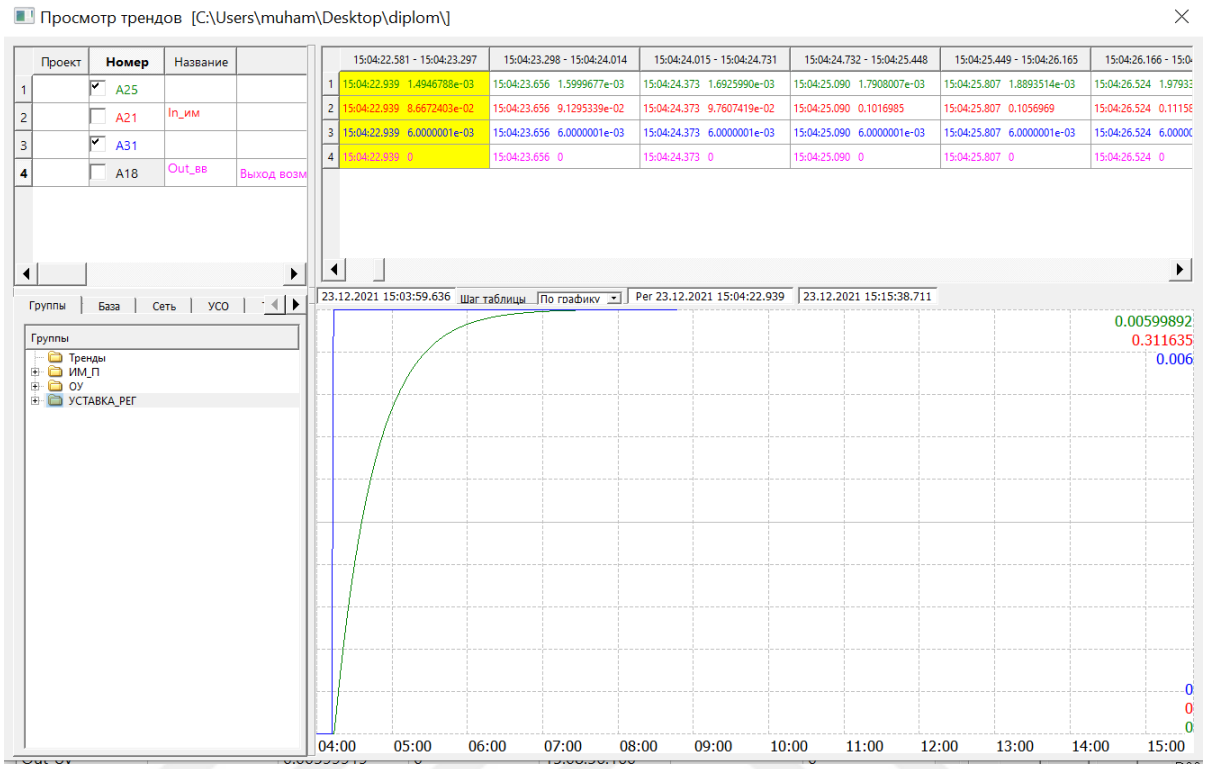

Рисунок 26 - Переходная характеристика при значении ТИ = 0.5

Переходная характеристика на рисунке 27 не только обеспечивает хорошее быстродействие, но и высокую динамическая и статическая точность регулирования. По критериям оценки качества регулирования теории автоматического управления этот тип переходной характеристики считается оптимальной.

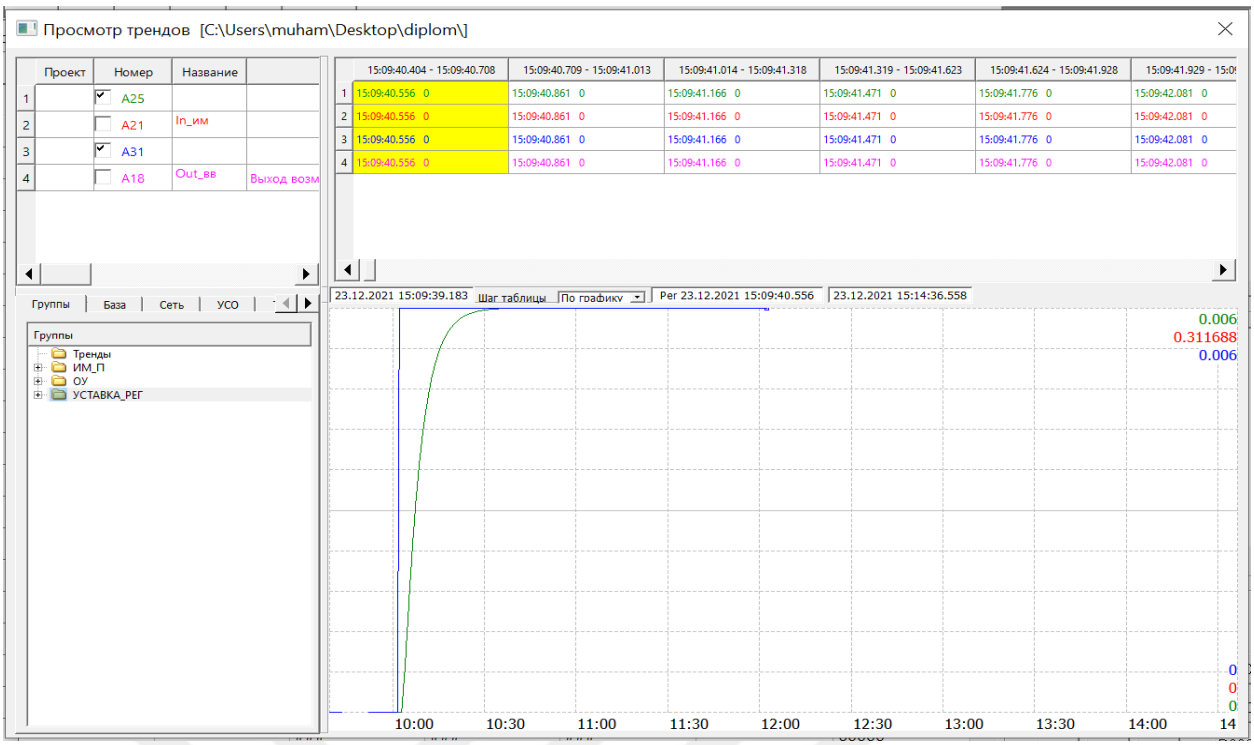

Рисунок 27 - Переходная характеристика при значении ТИ = 0,1

Можно сказать, что регулятор П обеспечивает быстрый подход к заданному значению в виде ступенчатой функции, а регулятор И отвечает за точное регулирование этого значения во временном интервале.

4.5 Исследование устойчивости системы при наличии возмущений

Важной функцией обратной связи в системах управления является частичная компенсация влияния возмущений. Возмущение—это нежелательный сигнал, который оказывает влияние на качество регулирования системы. Многие системы управления подвержены влиянию внешних воздействий, приводящих к отклонению выходного сигнала от желаемого значения. Так, в электронных усилителях всегда имеет место шум, возникающий в транзисторах или интегральных схемах; на антенны радиолокаторов влияют порывы ветра; во многих системах также возникают искажения за счет присутствия в них нелинейных элементов. Системы с обратной связью обладают тем преимуществом, что в них влияние всех этих негативных факторов может быть существенно снижено. В следующей странице приведены результаты, полученные в среде MWBridge, при моделировании возмущающих сигналов.

На рисунке 28 показана реакция системы на положительным возмущающии.

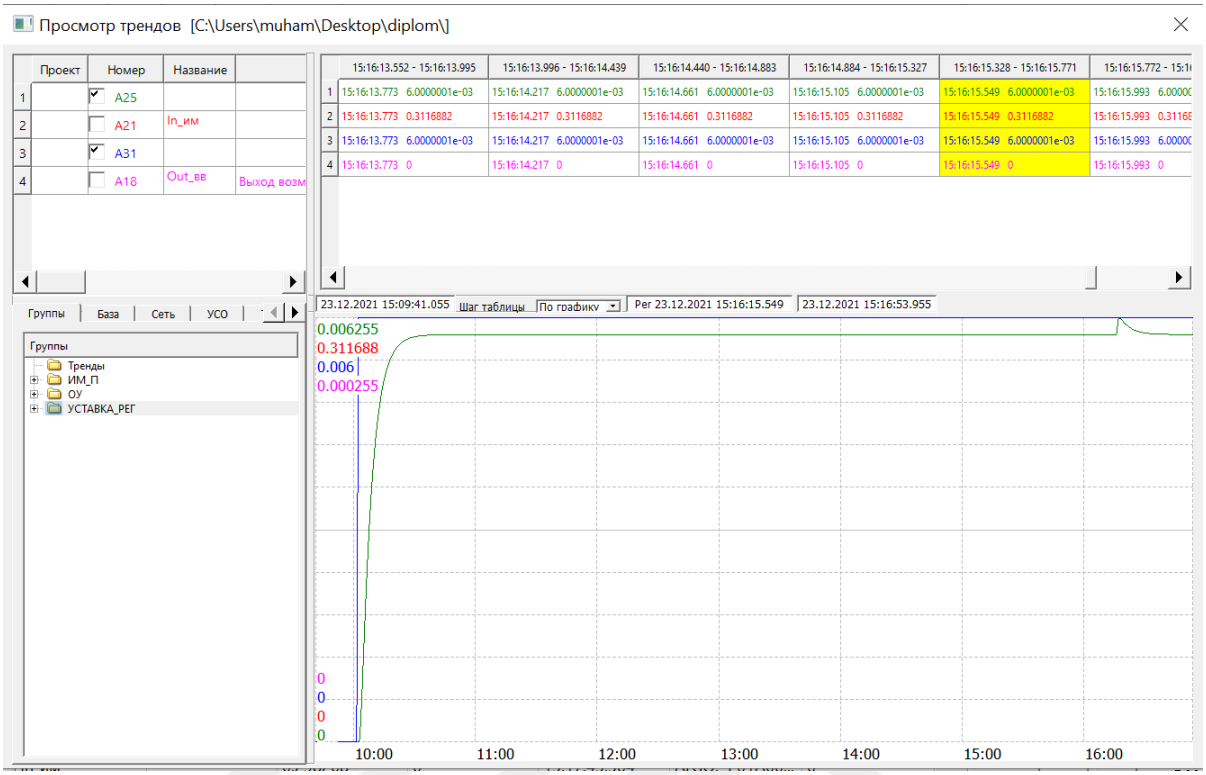

Рисунок 28 - Реакция системы на положительном возмущающии

На рисунке 29 показана реакция системы на отрицательном возмущающии.

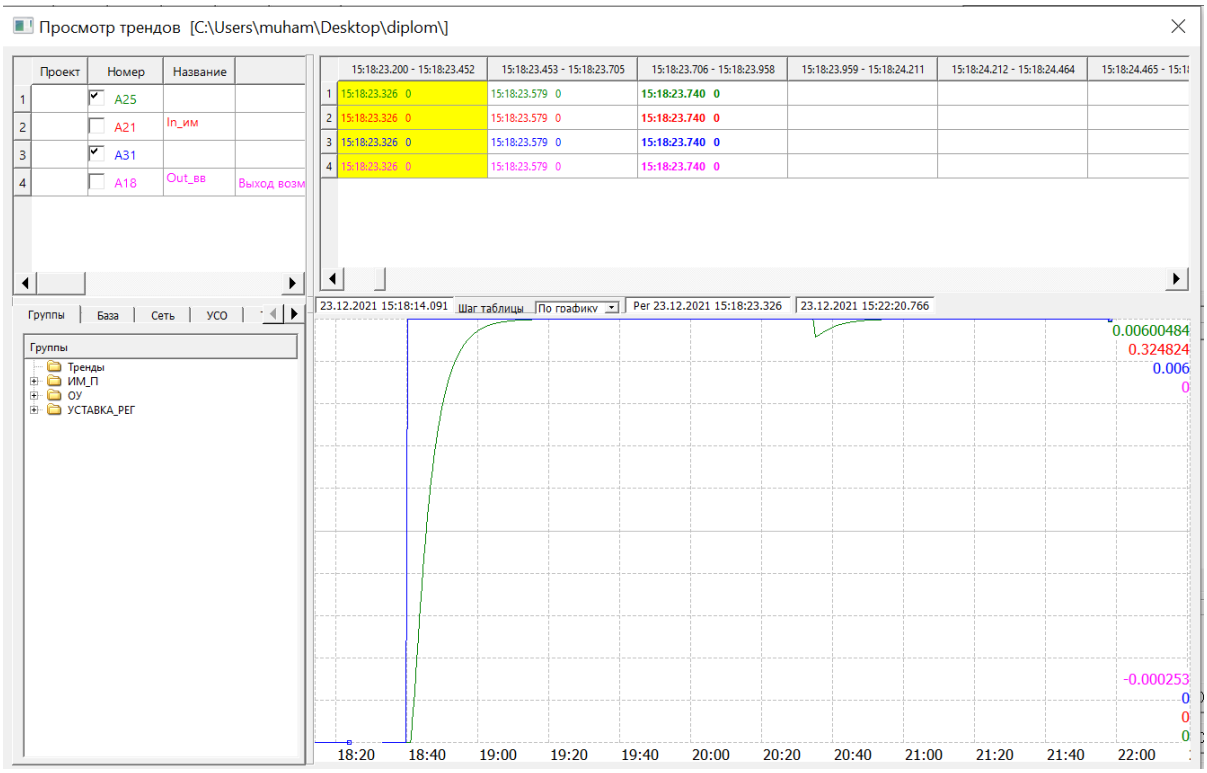

Рисунок 29 - Реакция системы на отрицательном возмущающии

Анализировав графики 28,29 и значения данных, расположенных в этих графиках, можно сделать следующие выводы:

Такт работы (прямо определяется периодом возмущающих сигналов) влияют на устойчивость. При этих значениях Ттак обратная связь (более точно, регулятор) хорошо обеспечивает выходные значения, т.е поддерживает расход воды в в установившемся значении. Это объясняется тем что, если возмущающие сигналы изменяются, регулятор (далее замкнутая система) способен компенсировать эти изменения возмущения.

На рисунках 28,29 изоброжено возмущение. Мы подали сигнал помех на регулятор и объект управления, чтобы действие регулятора определялось величиной возмущения, которое воздействует на объект управления, таким образом, действие регулятора направлена на минимизацию влияния возмущения на контролируемую переменную.

4.6 Разработка и описание ЧМИ

Для создания мнемосхем, работающая с программой MWBridge, существует программа Display, которая обеспечит нам выполнять все шаги, необходимые для создания мнемосхемы. В окне «Элементы» описывается дерево объектов в порядке их сбора, элементом корневого дерева является сама мнемосхема, родами которой являются объекты, которые она содержит. Когда область мнемосхемы выбрана в окне «Элементы», ее свойства показывается в окне «Свойства». Каждое свойство элемента можно связать с параметром базы данных в MWBridge и изменить в соответствии с изменением значения этого параметра, при нажимая пункта «Привязка» появляется окно БД, в котором нужно выбрать требуемый параметр из MWBridge.

С помощью Display рисован человеко-машинный интерфейс. Построена связь между MWBridge и человеко-машинным интерфейсом. На рисунке 30 показан вид мнемосхемы ЧМИ.

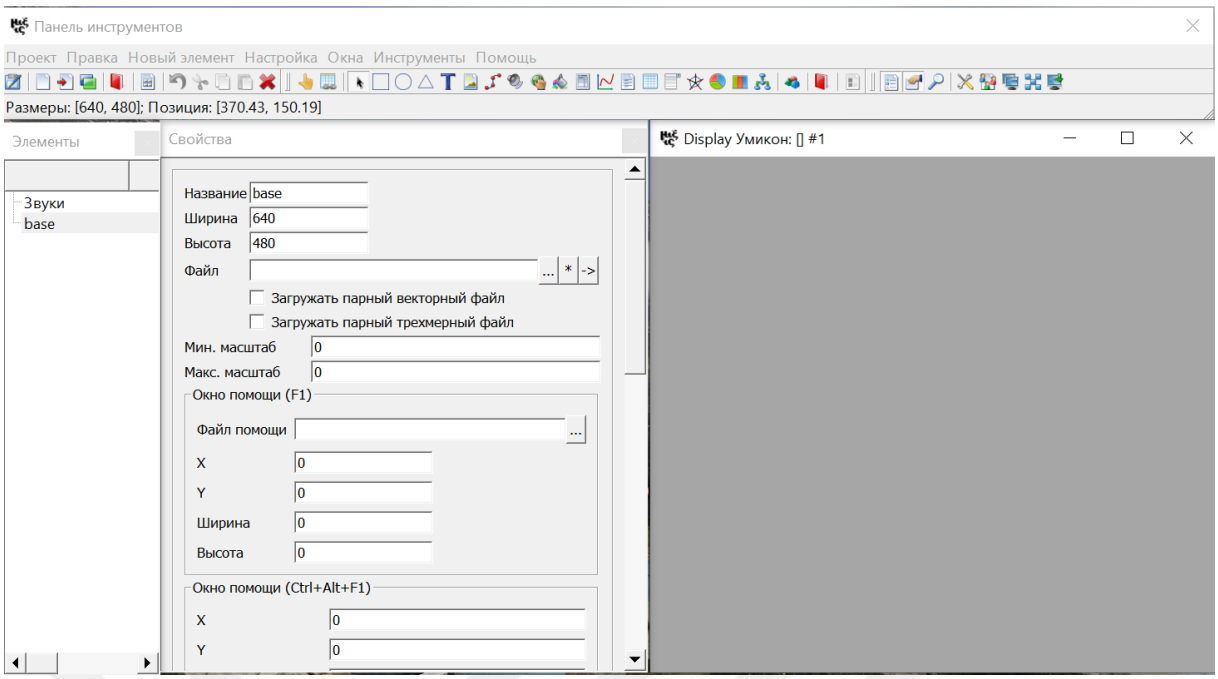

Рисунок 30 - Вид мнемосхемы ЧМИ

Для удобства использования системы разработан человеко-машинный интерфейс (ЧМИ) [15].

На рисунке 31 показано конструирование ЧМИ.

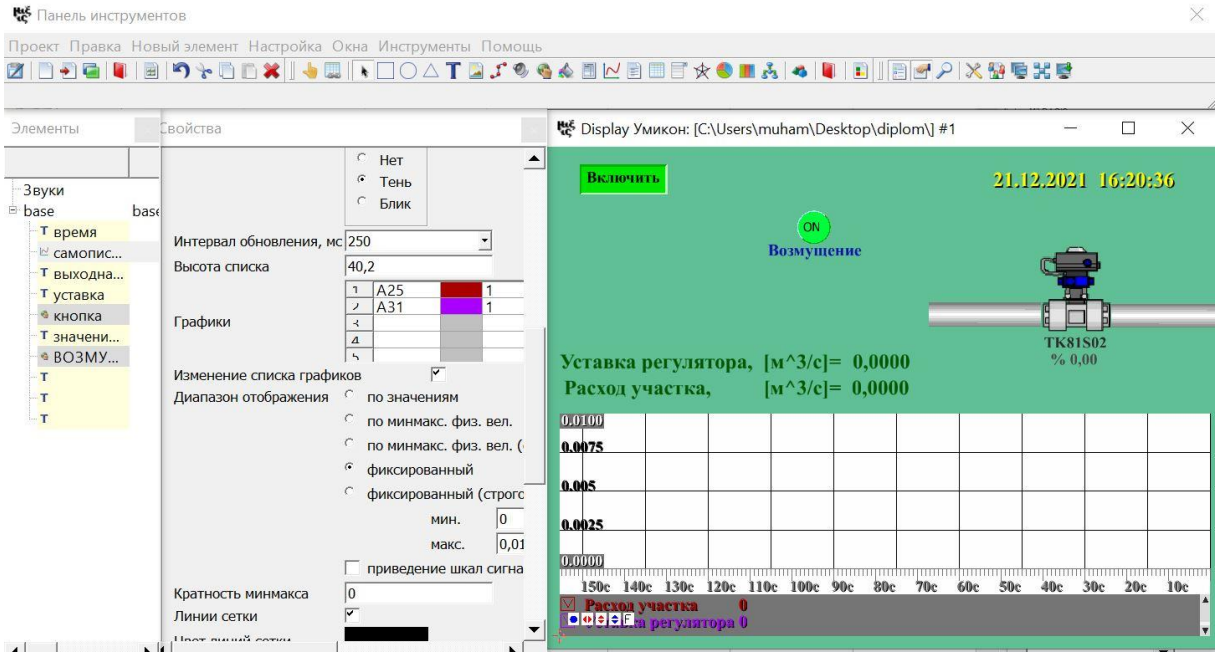

Рисунок 31 - Конструирование ЧМИ

Система отображения Display (далее – программа) предназначена для графического отображения технологических параметров, сигнальной и иной информации, осуществления контроля и управлениями.

На рисунке 31 представлена привязка кнопки «Включить – Отключить» к БДРВ. Кнопки назначены действия: включение и отключение системы. И еще на рисунке 31 представлена привязка кнопки «ON – OFF» к БДРВ. Кнопки назначены действия: возмущение системы.

4.6.1 Этапы создания ЧМИ

Этапы создания ЧМИ включают в себя:

1) Выбор спокойного цвета. Цвета шрифта и фона подобраны таким образом, чтобы их контрастность обеспечивала читаемость. Основной задачей при выборе являлось обеспечение возможности комфортной длительной работы оператора с ЧМИ.
2) Добавление на мнемосхему текущей даты и времени, текущие время и дата находятся в мнемосхеме в правом верхнем углу. Для этого на панели инструментов, расположенной в правом верхнем углу мнемонической диаграммы, выбирается текстовый объект. В свойствах текстового объекта соответствующий формат выбирается из раскрывающегося списка напротив свойства «Формат даты / времени». На мнемосхеме отображены текущие время и дата в формате «ДД.ММ. ГГГГ ЧЧ: ММ: СС»
3) Добавление на мнемосхему самописца, который отображает в реальном времени графики уставки регулятора (синий) и расхода участка (зеленый). Для этого был использован объект «Самописец», для которого выполняется привязка к ячейкам БД, в которую выводится графики соответствующего параметра уставки и расхода.
4) Добавление кнопки «Включить – Отключить». Для этого в программе MWBridge была осуществлена привязка параметра «включение» к ячейке А. Для того чтобы по нажатию кнопки происходило включение, в «Действие 1» вводили значение «1», а для выключения в «Действие 2» проведены число «0».

5) Добавление кнопки «ON – OFF» для того, чтобы обеспечить возможность возмущение системы. Для того чтобы по нажатию кнопки происходило «Включить – Отключить», выполняется привязка к ячейкам БД аналогично предыдущему пункт. Состояние системы (включен или выключен) отображается на самой этой кнопке (зеленый и красный цвет). Кнопка для возмущение находится в ценральном верхнем углу.

На рисунке 32 показана мнемосхема с технологическими параметрами представлена мнемосхема с характеристиками системы регулирования, человеко-машинный интерфейс.

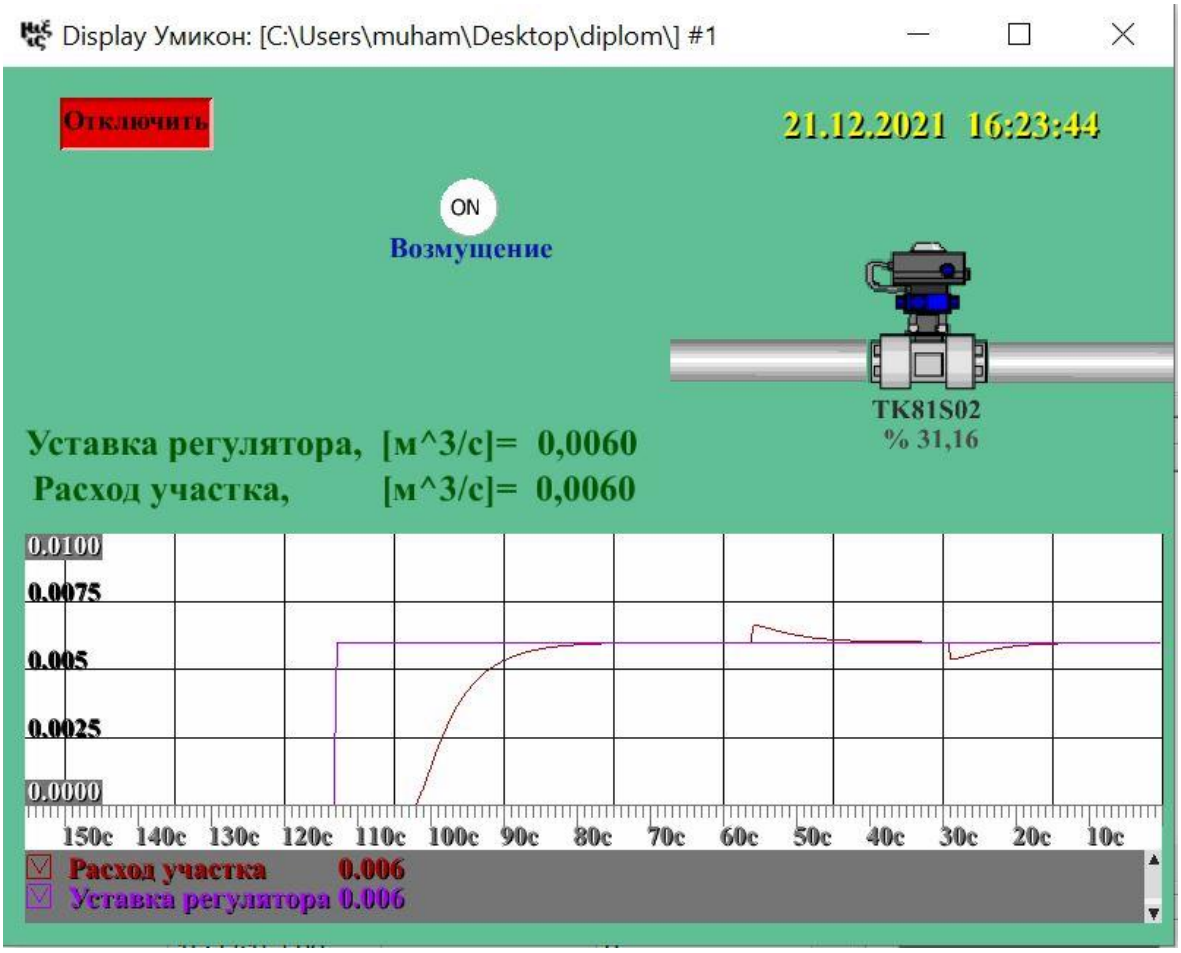

Рисунок 32 - Мнемосхема с технологическими параметрами

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для разработки и исследования модели системы управления регулятора технической системы ТКС-01 ВВЭР-1000 была изучена техническая документация на систему, получены математическая модель объекта управления расхода продувочной воды, передаточная функция объекта управления расхода продувочной воды. Разработаны и реализованы алгоритм функционирования модели объекта управления в системе Matlab, алгоритм кодирования для исполнительного механизма на языке программирования «MikBasic» с базой данных в реальном времени системе реального времени, алгоритм кодирования для регулятора на языке программирования «АлгоВУ» с базой данных в реальном времени.

Смоделирована система управления регулятора ТКС-01 расхода продувочной воды на фильтры СВО низкого давления ВВЭР-1000 в MATLAB, где объект управления реализован в программе MWBridge и MATLAB. Регулятор реализован по закону ПИ и этот регулятор смоделирован на Алго Ву. Разработаны и реализованы управления оборудованием системы регулирования и построение человеко-машинного интерфейса. Построена связь между MWBridge и человеко-машинным интерфейсом. Проведены алгоритмы оборудованием системы управления и человеко-машинного интерфейса.

В конце, можно сделать вывод, что цели, поставленные для разработки выпускной квалификационной работы, были успешно выполнены.

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. Зверков, В. Автоматизированная система управления технологическими процессами АЭС. – Москва: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2013. – 558с.
3. Теплообмен в ядерных энергетических установках / Б. С. Петухов [и др.]. – Москва : Издательство МЭИ, 2003. – 548 с.
4. Зорин В.М. Атомные электростанции - учебное пособие. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2012. – 672с.
5. Денисов В.П. Драгунов Ю.Г. Реакторные установки ВВЭР для атомных электростанций. – Москва: ИздАТ, 2002. – 480с.
6. Макаров, И.М. Линейные автоматические системы (элементы теории, методы расчета и справочный материал) - учебное пособие. – Москва: Машиностроение, 1982. – 504с.
7. Андрушечко С.А., Афров А.М., Васильев Б.Ю., Генералов В.Н., Косоуров К.Б., Семченков Ю.М., Украинцев В.Ф. Логос, АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 - От физических основ эксплуатации до эволюции проекта. – Москва: 2010. – 604с.
8. Выговский С.Б., Рябов Н.О., Семенов А.А., Чернов Е.В., Богачек Л.Н. Физические и конструкционные особенности ядерных энергетических установок с ВВЭР - учебное пособие. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2011. – 376с.
9. Министерство Российской Федерации. Технологические системы реакторного отделения –Основное оборудование реакторного отделения. – Москва: Росэнергоатом. – 187с.
10. Министерство Российской Федерации. Технологические системы реакторного отделения - Вспомогательные системы. – Москва: Росэнергоатом. – 288с.

11. Зверков В.В. Программно-технические комплексы АСУТП АЭС. Функциональные и структурные решения - Учебное пособие. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2018. – 132с.

12. MWBRIDGE- MLB. Руководство пользователя. – Москва: Умикон, 2019. – 246с.

13. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС/. –Одесса. –2001. –305с.

14. RSPROG Система алгоблочного программирования верхнего уровня Руководство Пользователя. – Москва: Умикон, 2020. – 156с.

15. DISPLAY Система отображения Руководство пользователя. – Москва: Умикон, 2019. – 60с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

```
rem расчет такта модели ОУ в секунду
A[3].VALUE = A[0].VALUE/1000

rem разностное уравнение ИМ
rem пропорциональный
A[22].VALUE=A [5].VALUE*A [21].VALUE

rem Разностное уравнение возмущаюшего воздействия
A[18].VALUE = ((A[3].VALUE * A[6].VALUE * A[17].VALUE) + A[18].VALUEOLD)
IF A[18].VALUE > 0.0002 THEN A[17].VALUE = 0
IF A[18].VALUE < -0.0002 THEN A[17].VALUE = 0

rem Присвоение выхода ИМ входу ОУ
A[23].VALUE = A[22].VALUE

rem Разностное уравнение ОУ
A[24].VALUE = (A[1].VALUE * A[23].VALUE +( A[2].VALUE * A[24].VALUEOLD / A[3].VALUE)) / ((A[2].VALUE / A[3].VALUE) + 1 )
A[25].VALUE = A[24].VALUE + A[18].VALUE

rem Начальные условия
IF A[10].VALUE = 0 THEN A[21].VALUE = 0
IF A[10].VALUE = 0 THEN A[22].VALUE = 0
IF A[10].VALUE = 0 THEN A[23].VALUE = 0
IF A[10].VALUE = 0 THEN A[24].VALUE = 0
IF A[10].VALUE = 0 THEN A[25].VALUE = 0
IF A[10].VALUE = 0 THEN A[31].VALUE =0
IF A[11].VALUE = 0 THEN A[18].VALUE = 0
```