

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

ЭРГЮЛЬ ХЮСЕЙИН АРИФ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
РЕГУЛЯТОРА ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УРС-03 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 _____ Эргюль Хюсейин Ариф
(подпись) (ФИО)

*Руководитель ВКР _____ доцент Зверков В.В.
(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.

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 Эргюль Хюсейин Ариф
2. Тема выпускной квалификационной работы Разработка и исследование модели системы управления регулятора технической системы УРС-03 ВВЭР-1000 на базе ПТК ТПТС НТ
3. Срок сдачи работы: собеседование:
защита:
4. Руководитель выпускной квалификационной работы Зверков Валерий Викторович, к.т.н., 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 _____ Зверков В.В.
(подпись) (ФИО)
 +7 916 4548063, VVZverkov@mephil.ru
(контактная информация: тел.,

Задание принял к исполнению _____ Эргюль Хюсейин Ариф
(подпись) (ФИО)

«__» _____ 2021 г.

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

РЕФЕРАТ

Дипломная работа 95 страниц, 56 рисунков, 4 таблицы, 13 источников.

ВВЭР-1000, АСУТП, КД, УРС-03, ПТК, MWBRIDGE, MATLAB, SIMULINK.

Цель работы: разработать и исследовать модель системы управления регулятора технической системы УРС-03 (в режиме пуска) ВВЭР-1000 на базе ПТК ТПТС-НТ, изучить и описать математическую структуру компонентов системы автоматического управления уровнем воды в компенсаторе давления (КД) в режиме пуска, математическую структуру регулятора уровня воды в КД в режиме пуска, механизм действия объекта управления и других дополнительных элементов системы.

Регулируемый параметр – уровень воды в КД в режиме пуска. В основе работы лежит сравнительный анализ динамических характеристик разработанной схемы автоматической системы регулирования (АСР). По результатам данного анализа были сделаны выводы о преимуществах и недостатках тех или иных вариантов построения АСР.

В процессе данного исследования была разработана и реализована математическая модель объекта управления, исполнительного механизма и алгоритм работы регулятора в среде Matlab/Simulink; моделирование системы управления уровнем воды в КД в режиме пуска, где объект управления реализован в «MWBridge» в виде разностных уравнений, а система управления построена в среде программирования «АлгоВУ». Между системой управления в «АлгоВУ» и моделью управления установлена связь, где выход регулятора является входом исполнительного механизма, а выход объекта управления является аналогом датчика уровня в КД, тем самым замыкая обратную связь системы. Область применения: АСУТП АЭС. Уставка по уровню воды компенсатора давления в режиме пуска задается на мнемосхеме, разработанной в Display.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	8
ВВЕДЕНИЕ	9
1 Литературный обзор	11
1.1 Общее назначение системы компенсации давления	11
1.2 Узлы компенсатора давления	15
1.3 Принцип работы компенсатора давления	23
1.4 Пусковой регулятор уровня в компенсаторе давления YPC03	25
1.5 Основные термины теории автоматического управления	28
1.5.1 Основные элементы автоматического регулирования	29
1.5.2 Основные понятия автоматического регулирования	31
1.5.3 Переходный процесс	33
1.5.4 Настройка регулятора	34
1.6 Постановка задачи	35
2 Принципы построения и технические характеристики комплекса средств автоматизации ТПТС-НТ	36
2.1 Назначение ТПТС-НТ	36
2.2 Номенклатура и место ТПТС-НТ в системе автоматизации энергоблока	38
2.2.1 Номенклатура программно-технических средств ТПТС-НТ	39
2.2.2 Место ТПТС-НТ в системе автоматизации энергоблока	41
2.3 Структура ПТК СНЭ	43
2.4 Процессор автоматизации	45
2.5 Линии передачи информации	46
2.6 Подготовка ПА	48
2.7 Исполнение прикладных программ в ПА	50
2.8 Схема заземления экранов контрольных и управляющих кабелей в ПТК	51
3 Построение модели уровня теплоносителя в КД	53
3.1 Разработка модели объекта управления	53
3.1.1 Общие сведения при описании аналитических моделях ОУ	53

3.1.2	Принципиальная схема и физические процессы на участке ОУ	54
3.1.3	Автоматическое регулирование ОУ	55
3.1.4	Определение динамических параметров ОУ	59
3.2	Исполнительный механизм (регулирующий орган)	59
3.3	Реализация и проверка модели ОУ и ИМ в MATLAB/Simulink.....	61
4	Исследование модели системы управления в реальном времени.....	69
4.1	Системы управления с базами данных в реальном времени.....	69
4.2	Кодификация ОУ и ИМ в среде «MikBasic»	71
4.3	Синтез регулятора в среде программирования АлгоБУ	74
4.4	Настройка и исследование влияния регулятора на качество регулирования.....	77
4.4.1.	Пропорциональный компонент регулятора YPC- 03	77
4.4.2.	Интегральный компонент регулятора YPC – 03.....	85
4.4.3.	Период вызова регулятора секунды YPC – 03	88
4.5	График результатов при регулировании.....	91
4.6.	Исследование системы при наличии возмущений	92
4.7.	Разработка и описание ЧМИ.....	95
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		98
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....		99
ПРИЛОЖЕНИЕ		100

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АЗ	– аварийная защита;
АСУ	– автоматизированная система управления технологическими
ТП	процессами;
АУ	– автоматическое управление;
АСР	– автоматическая система регулирования;
АЭС	– атомная электростанция;
ВВЭР	– водо-водяной энергетический реактор;
ГЦН	– главный циркуляционный насос;
ИМУ	– импульсно предохранительное устройство;
КД	– компенсатор давления;
КСА	– комплекс средств автоматизации
ПА	– противоаварийная автоматика
ПД	– пропорционально-дифференциальный закон регулирования;
ПИ	– пропорционально-интегральный закон регулирования;
ПИД	– пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования;
ПС	– приборная стойка;
ПТК	– программно-технический комплекс;
РЗ	– регулирующая задвижка;
РУ	– реакторная установка;
САР	– система автоматического регулирования;
СВБУ	– система верхнего блочного уровня;
СВВ	– станция ввода/вывода;
ТПТС	– типовые программно-технические средства;
ФМ	– функциональный модуль;
ЭИМ	– электронный исполнительный механизм.

ВВЕДЕНИЕ

При эксплуатации атомной электростанции очень важно, чтобы реактор работал с надлежащей точностью и безопасностью. Проектирование атомных электростанций и лицензирование требуют множество анализов. Анализировать — значит исследовать событие или ситуацию, упрощая их и разбивая на составные части.

В данной работе исследуется способность модели системы управления регулятора технические системы выдерживать заданное значение уровня воды в компенсаторе давления (далее КД) при нормальной эксплуатации в пусковом режиме. Основными задачами КД являются ограничение давления в первом контуре, вызванное изменением температурного режима при работе реакторной установки (далее РУ), поддержание давления в первом контуре при пуске РУ, снижение давления в первом контуре при расхолаживании и т. д. Указанные функции осуществляются задвижками на входе в КД, управляемыми регулятором (УРС-03, УРС-02, УРС-01). В ядерном реакторе, а также в другом техническом оборудовании происходят различные физические явления и процессы, которые требуют мониторинга и контроля каждого из этих процессов, так что физические параметры, связанные с такими процессами, постоянно регулируются, в первую очередь посредством автоматического регулирования. Быстрота, с которой происходят эти физические процессы, требует разработки и внедрения высоконадежных компоновочных и других проектных решений, а также оптимизированных алгоритмов для использования в автоматизированных программируемых технологических средах, которые должны контролировать настройку физических параметров в реальном времени. Таким образом, обеспечивается эффективное функционирование реакторов в четырех режимах от нормальных рабочих настроек, а также максимально раннее безопасное возвращение к нормальной эксплуатации (далее НЭ), в случае нарушения НЭ последует немедленная активация систем защиты реактора в аварийных сценариях.

Функциональная организация АСУ ТП диктуется требованиями работ, которые они должны выполнять, и сгруппирована в десять основных систем и подсистем. Все подсистемы предназначены для контроля и регулирования основных узлов и устройств: переключателей, датчиков, задвижек, и другого специализированного оборудования, выполняющего работу по управлению физическими параметрами процессов. В части реакторного отделения СКУ НЭ обеспечивает контроль и управление тридцатью и более системами, которые реализуют ряд алгоритмов, эти подсистемы так же, как и алгоритмы иерархически организованны, каждая подсистема специфически предназначена для выполнения определенной задачи. Эти алгоритмы программируются на низком уровне, загружаются в соответствующие модули (часть ТПТС), организующие передачу информации между различными системами. Объем всех этих задач, а также скорость их выполнения не должны превышать 0,1–0,2 секунды.

В рамках работы предлагается моделирование регулятора уровня в КД в режиме пуска, в вычислительных средах MATLAB, и разработка компонентов АСУ на основе программно-аппаратных комплексов реального времени с автоматизированным проектированием на базе оборудования ТПТС-НТ и программного комплекса MWBRIDGE «МИКСИС», чтобы увидеть совпадают ли полученные результаты с реальной работой регулятора на АЭС.

1 Литературный обзор

1.1 Общее назначение системы компенсации давления

В первом контуре АЭС с ВВЭР-1000 циркулирует теплоноситель не кипящая вода под давлением около 16 МПа (160 кгс/см²). Теплоноситель поступает в реактор с температурой около 290 градусов и нагревается в нем до 320 градусов, и по 4 циркуляционным петлям направляется в парогенераторы («горячие» нитки), где передает свое тепло теплоносителю второго контура. Из парогенераторов вода главными циркуляционными насосами возвращается в реактор («холодные» нитки). Для поддержания стабильности давления и компенсации изменений уровня теплоносителя при его разогреве или расхолаживании используется КД.

Система компенсации давления предназначена для корректировки объема теплоносителя при тепловом расширении, для установления и поддержания давления в I-контуре в пределах заданного интервала, а также для уменьшения колебаний давления в аварийных или переходных режимах.

Система компенсации давления выполняет следующие функции безопасности:

- оборудование первичного контура защищено от превышения установленного давления.
- отвод остаточного тепла от активной зоны с помощью импульсных предохранительных устройств компенсатора давления;
- прием и конденсация парогазовой смеси системы аварийного пар газоотвода;
- при нормальном функционировании система компенсации давления выполняет следующие функции;
- компенсация объема теплоносителя при температурном расширении первого контура;
- плавная регулировка незначительных колебаний давления в первом контуре;
- создание давления в первом контуре при запуске реакторной установки;

-снижение давления в первом контуре при охлаждении реакторной установки;

-компенсация возмущений давления в первом контуре при переходных процессах реактор;

-сбор и конденсация протечек с помощью импульсных предохранителей компенсатора давления при нормальной работе;

-прием и конденсация выходящего пара при срабатывании импульсных предохранителей компенсатора давления;

На рисунке 1 изображена функциональная схема системы регулирования давления первого контура.

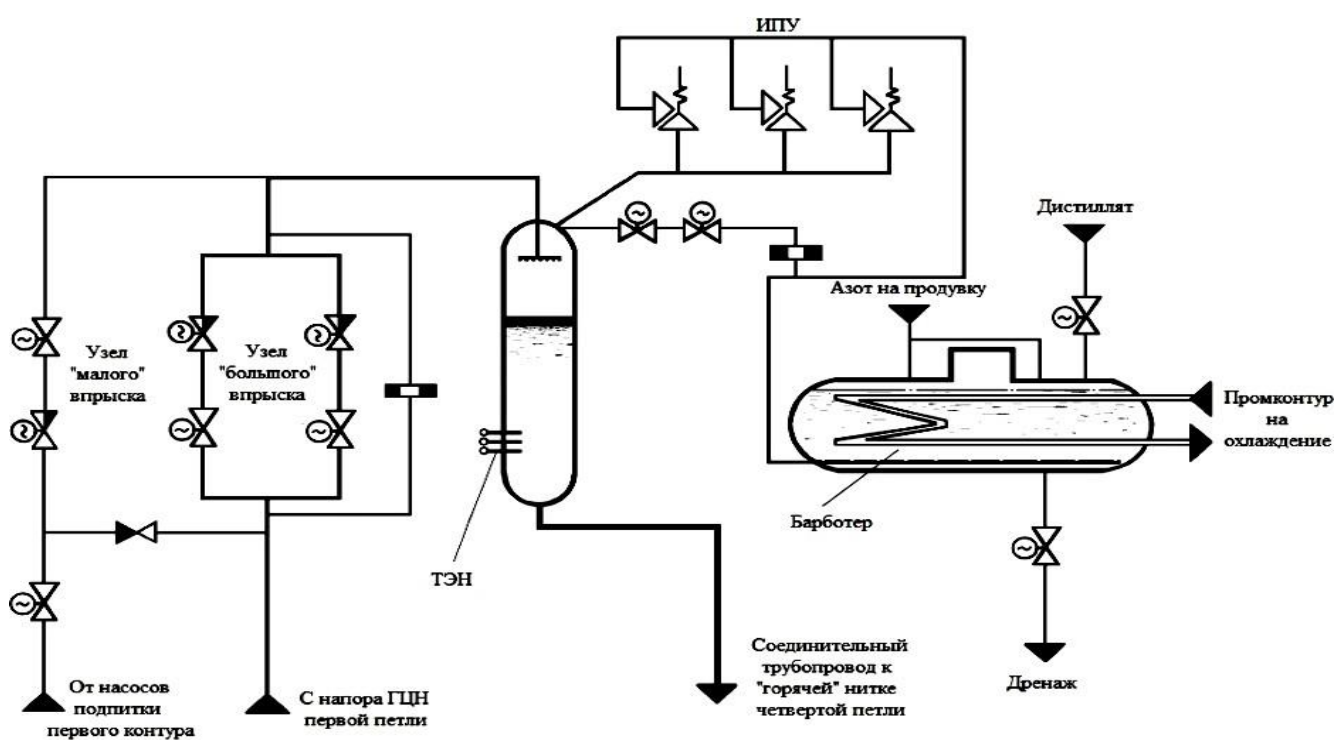


Рисунок 1 - Функциональная схема системы регулирования давления первого контура

Трубопровод диаметром 400 мм без арматуры соединяет компенсатор давления с «горячей» ниткой четвертой петли основного циркуляционного контура. При изменении температуры первичного контура теплоноситель течет из первичного контура в компенсатор давления и обратно.

В верхнем днище компенсатора давления прорезан «холодный» нагнетательный трубопровод, соединяющий напорный трубопровод первичного

циркуляционного насоса первого контура с верхним парогазовым объемом компенсатора давления. Впрыск предназначен для понижения давления в компенсаторе давления и, следовательно, в первом контуре, а также для охлаждения компенсатора давления. Трубопровод входит в компенсатор давления через форсунку и соединяется с коллектором форсунки внутри компенсатора.

«Холодный» впрыск традиционно разделяют на два блока: «маленький» нагнетательный с трубопроводом 100 мм и «большой» нагнетательный блок с трубопроводом 200 мм.

«Большой» впрыск представляет собой две одинаковые параллельные линии, каждая из которых имеет запорную и регулируемую арматуру.

При работе четырех основных циркуляционных насосов «большая» линия нагнетания имеет байпас диаметром 15 мм с дроссельной шайбой, обеспечивающий падение давления 0,6 МПа и расход 1,5 м³/ч. Обводная линия предназначена для организации непрерывной циркуляции теплоносителя по нагнетательному трубопроводу с целью поддержания его в горячем состоянии, а также для перемешивания среды с целью выравнивания концентрации борной кислоты и реагентов в первом контуре и компенсаторе давления.

Обратная задвижка, регулирующие задвижки и запорные задвижки составляют «малый» узел впрыска. От напорного коллектора системы подпитки-продувки первичного контура линия впрыска врезается между обратной задвижкой и регулирующей задвижкой в компенсатор давления. Когда главные циркуляционные насосы отключены, этот трубопровод используется для охлаждения компенсатора давления. В этой ситуации обратная задвижка предотвращает перетекание подпиточной воды в I-контур.

Коллектор импульсных предохранителей соединен с верхней половиной компенсатора через патрубок диаметром 200 мм с тремя присоединенными импульсными предохранителями. Первичная задвижка и две импульсные задвижки включены в каждое импульсное предохранительное устройство. Одно из импульсных предохранительных устройств — это устройство управления. В его состав входит дополнительное устройство с якорем электропривода для

дистанционного открывания с пульта управления блоком. Среда от компенсатора давления подается к магистральной задвижке по трубкам диаметром 200 мм, а к импульсным задвижкам по трубопроводам диаметром 32 мм. Каждая импульсная задвижка имеет запорную задвижку, которая позволяет отключать его от компенсатора давления и основной задвижки.

Трубопровод для отвода аварийного пара и газа из компенсатора, а также трубопровод для отбора проб из парового объема компенсатора давления врезаны в коллектор, соединив объем компенсатора давления и импульсные предохранительные устройства.

При срабатывании импульсных предохранительных механизмов среда из компенсатора сбрасывается в нижнюю часть барботера, где проходит через слой дистиллята и конденсируется. Лишний конденсат в этой ситуации удаляется в систему организованных протечек. Азот подается в барботажный резервуар по шлангу диаметром 32 мм для предотвращения образования взрывоопасной газовой смеси в объеме барботажного резервуара. Газы из пузырькового бака отводятся в систему продувки газа. Пузырьковый резервуар оборудован дренажной системой для организованных протечек, а также специальной канализационной системой.

Для установления начального давления в первом контуре азот подается по трубопроводу диаметром 32 мм в верхнюю половину компенсатора давления. Этот трубопровод содержит воздух отводчик компенсатора давления, который предназначен для удаления воздуха во время заполнения. Линия выпуска азота в барботажный бак также связана с трубопроводом подачи азота в компенсатор вместе с фитингами и дроссельной шайбой. Ограничение расхода до 60 м³/ч. Выпускной трубопровод азота подсоединяется к выпускному коллектору импульсных главных задвижек.

Для обеспечения нормальной работы главных циркуляционных насосов начальное давление в первом контуре устанавливается путем подачи азота в компенсатор давления под давлением 2,0 МПа. Азот был выбран потому, что он имеет преимущества перед другими газами в том, что он не способствует

коррозии конструктивных элементов, не взрывоопасен и легко извлекается из воздуха. Когда первый контур нагревается, и температура теплоносителя достигает насыщения при определенном давлении, компенсатор давления переключается с газового режима на паровой. В этом сценарии парогазовая комбинация выпускается из компенсатора давления в барботажный резервуар через линию продувки газа. При охлаждении происходит обратная процедура подачи азота в компенсатор давления. В результате компенсатор может работать в двух режимах: газовом и паровом.

При колебаниях средней температуры теплоносителя первого контура в переходных режимах, вызванных поломками оборудования, а также при изменении мощности, часть его течет из компенсатора в первый контур или обратно по «дышащему» трубопроводу. За счет сжатия или расширения паровой подушки в компенсаторе давления отклонения давления от номинального значения ограничиваются. Счет образования азотной подушки в компенсаторе давления, которая затем заменяется паровой подушкой.

1.2 Узлы компенсатора давления

КД является главной составной частью системы компенсации давления и представлен на рисунке 2. Основные технические характеристики КД для ВВЭР-1000 представлены в таблице 1 [1].

КД в сборе представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд с эллиптическими днищами, установленный и закрепленный на нижней опоре и фиксируемый от горизонтальных перемещений в верхней подвижной опоре.

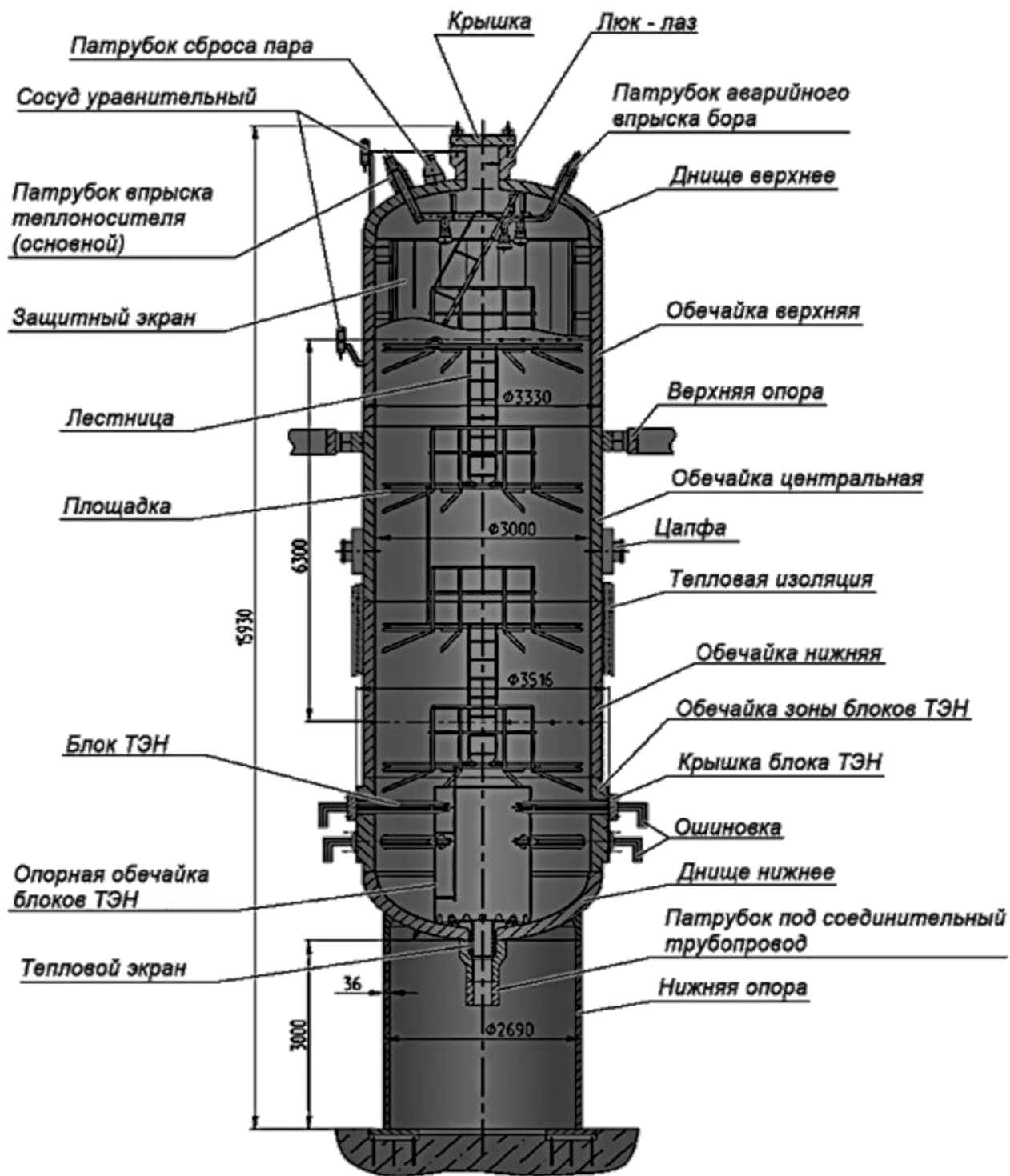


Рисунок 2 - Конструкция компенсатора давления

На торцевой поверхности горловины выполнены кольцевые прямоугольные проточки под установку уплотнительных прокладок из расширенного графита прямоугольного сечения с контролем протечек между ними.

Таблица 1-Основные технические характеристики КД

Наименование	Значение
Рабочая среда	Вода и паровая смесь
Давление рабочее, МПа	16
Давление расчетное, МПа	18
Температура теплоносителя в КД при номинальном стационарном режиме, С	346±2
Температура расчетная, °С	356
Полный объем КД, м ³	79
Объем воды в номинальном режиме, м ³	55
Объем пара в номинальном режиме, м ³	24
Давление гидравлических испытаний, МПа	24,5±0,39
Максимальный расход рабочей жидкости, м ³ /с	5
Габариты:	
- высота, м	13,49
- диаметр, м	3,875
- внутренний диаметр, м	3
Высота заполнения водой, м	9,23
Удельный вес воды, Н/м ³	10 ⁴

состоящую из четырех цилиндрических кованных обечаек и двух штампованных эллиптических днищ.

Внутренняя поверхность корпуса, контактирующая со средой первого контура, плакирована наплавкой из антикоррозионных материалов.

На горловине люка-лаза расположены два штуцера для подсоединения к уравнительным сосудам и один для сброса парогазовой смеси в барботер, подвода азота и отвода в систему газовых сдувок.

На верхнем днище размещаются:

- патрубок впрыска теплоносителя;
- патрубок сброса пара из компенсатора давления в барботер;
- патрубок аварийного впрыска бора;
- бобышка с чехлом под установку термометра сопротивления для измерения наружной температуры стенки корпуса.

На верхнем днище выполнены малоуглеродистые наплавки для приварки стоек уравнивательных сосудов.

На верхней обечайке расположено шесть штуцеров для подключения к уравнивательным сосудам и один погружной чехол для установки термометра сопротивления для измерения температуры среды в КД.

На упорной обечайке приварены две накладки с грузоподъемными цапфами. Цапфы установлены по обе стороны обечайки.

В верхней части обечайки имеется площадка с буртом для установки упорного кольца КД.

На нижней обечайке расположены:

- семь штуцеров для подключения к преобразователям разности давления;
- три погружных чехла под установку термометров сопротивления для измерения температуры среды в КД;
- бобышка с чехлом под установку термометра сопротивления для измерения наружной температуры стенки корпуса;
- четыре малоуглеродистые наплавки для приварки волноводов акустических датчиков.

В обечайке с торцов отверстий выполнены кольцевые прямоугольные проточки под установку уплотнительных прокладок из расширенного графита прямоугольного сечения с контролем протечек между ними.

К нижнему днищу приварены:

- штуцер для отбора проб;

- патрубок, соединяющий КД с главным циркуляционным трубопроводом через вставку;

Внутри корпусные устройства состоят из следующих составных частей:

- разбрызгивающих устройств;
- защитного экрана;
- теплового экрана патрубка подвода теплоносителя;
- площадок и лестниц.

Разбрызгивающие устройства предназначены для распыления в паровом объеме компенсатора давления впрыскиваемого теплоносителя и концентрированного раствора борной кислоты, на каплях которых происходит конденсация пара, что приводит к снижению давления в первом контуре.

Впрыск теплоносителя производится от четырех форсунок, размещенных на двух коллекторах, соединенных через переходник, вставленный по посадке в патрубок впрыска теплоносителя.

Впрыск концентрированного раствора борной кислоты производится от одной форсунки, труба которой по посадке входит в патрубок аварийного впрыска бора.

Ниже посадочных мест в патрубках имеется зазор между днищем и трубой с впрыскиваемым теплоносителем, исключающий непосредственный контакт днища и трубы.

Крепление коллекторов и трубы выполнено с помощью хомутов и подвесок, которые болтами соединяются с пластинами, приваренными к верхнему днищу.

Каждая форсунка крепится на резьбе с втулкой, приваренной к трубе коллектора. Форсунка котится шайбой с отгибаемыми лапками, одна из которых приварена к втулке, а другая к форсунке.

Защитный экран служит для защиты корпуса компенсатора давления от попадания «холодного» теплоносителя из разбрызгивающих устройств, при котором возможны термоциклические нагрузки на внутренние стенки корпуса.

Для обеспечения возможности диагностирования и ремонта корпуса КД экран выполнен из съемных пластин, которые крепятся на кронштейнах кницах, приваренных к корпусу. Каждая пластина имеет два продольных окна, которыми она устанавливается на кницы и фиксируется в вертикальных пазах за счет собственной массы. Для облегчения установки и съема пластин на торцах книц выполнены фаски.

Верхняя часть обечайки крепится к цилиндрической части корпуса направляющими планками, один конец которых приварен к обечайке, а другой соединен болтом с пластиной, приваренной к корпусу. Тепловой экран патрубка предназначен для защиты днища и патрубка от резкого перепада температур.

Тепловой экран выполнен из двух концентрических обечаек, соединенных в верхней части фланцем. На фланце имеется отверстие для выхода пара. Внизу, на корпусной части, имеется отверстие для циркуляции теплоносителя.

Площадки и лестницы размещены внутри корпуса и служат для проведения осмотра и ремонта внутренней поверхности корпуса, конструкций КД. Площадки выполнены из прутков, приваренных к кольцевым опорам, которые установлены на восьми кронштейнах, приваренных к корпусу. На площадках установлено ограждение. Из люка-лаза на верхнюю площадку ведет наклонная лестница, закрепленная на днище и площадке. К остальным трем площадкам и внутрь опорной обечайки установлены вертикальные лестницы.

В качестве устройства измеряющего уровень теплоносителя в компенсаторе давления применяется преобразователь типа «Сапфир-22-ДИ».

Схема датчика приведена на рисунке 3 [1].

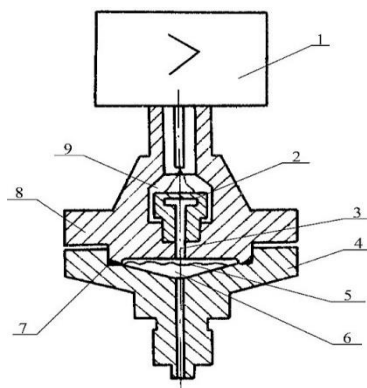


Рисунок 3 – «Сапфир-22-ДИ»

1 – измерительный блок; 2 – тензопреобразователь; 3 – полость; 4 – фланец; 5 – гофрированная мембрана; 6 – камера; 7 – прокладка; 8 – основание; 9 – полость

Технические характеристики датчика представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики датчика «Сапфир-22-ДИ» [1]

Характеристика	Значение
Пределы измерения, МПа	16
Класс точности, %	1.5
Выходной сигнал датчика, мА	0...20
Напряжение питания, В	24...36
Относительная влажность, %,	98
Предел измерений, мм	1000

В качестве регуляторов расхода воды применяются регулирующие задвижки Ду 100 серии 1059, предназначенные для работ под оболочкой и вне оболочки первого контура блоков ВВЭР-1000 в качестве регулятора расхода подпиточной и продувочной воды. Изображение задвижки приведено на рисунке 4 [1].

Задвижка может управляться автоматически и дистанционно от электропривода или вручную от маховика. Регулирование расхода среды обеспечивается за счет изменения проходного сечения, определяемого профилем каналов и ходом. Технические характеристики данной задвижки приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики задвижки [1]

Характеристики	Значение
Диаметр, мм	100
Давление, МПа	20
Температура, С	300
Материал корпуса(сталь)	08X18H10T
Максимальное осевое усилие на	37930

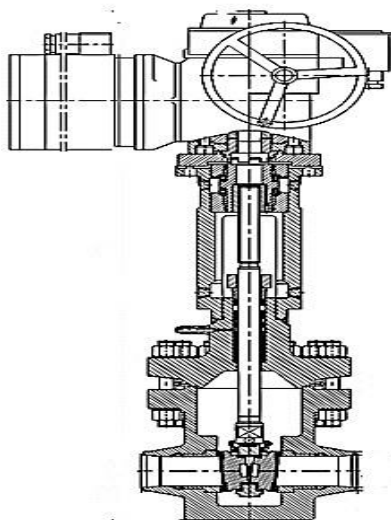


Рисунок 4 - Задвижка 1059-100-Э

Регулятор задвижками и электронагревателями реализован с помощью аналого-дискретного преобразователя АДП2-М. Каждый канал АДП2-М имеет свою уставку срабатывания, которая сравнивается с токовым сигналом, отражающим давление в I контуре.

На корпусе компенсатора давления устанавливаются восемь уравнильных сосудов, из которых:

- шесть уравнильных сосудов, позволяющих производить замер;
- уровня в КД от 3,2 до 9,5 м; один уравнильный сосуд, позволяющий производить замер уровня в КД от -2,8 до 13,2 м, минусовая линия которого приварена к штуцеру на прямом участке «холодной» нитки 4 петли;
- один уравнильный сосуд, позволяющий производить замер уровня в КД от 3,2 до 13,2 м;
- элементы крепления состоят из нижней и верхней опор, воспринимающих статические и динамические нагрузки на корпус КД;
- нижняя опора выполнена из вальцованных обечаек и состоит из двух частей.

Одна часть приваривается к нижнему днищу и поставляется вместе с КД. Другая часть приваривается к закладному кольцу, закрепленному в фундаменте. После установки КД на монтаже обе части опоры соединяются сваркой. В нижней части опоры возле закладного кольца имеется два круглых отверстия для вывода трубопроводов и осмотра днища.

Верхняя опора конструктивно выполнена таким образом, что не препятствует тепловым перемещениям КД в вертикальном направлении, ограничивая его перемещения в горизонтальном направлении, и предназначена для восприятия горизонтальных нагрузок.

В верхнюю опору входит упорное кольцо, внешнее упорное кольцо, кронштейны, швеллеры, упоры. Кольцо упорное охватывает корпус КД и зафиксировано буртом на корпусе от смещения вниз.

От смещения вверх по корпусу КД и проворачивания кольцо упорное удерживается шестью ребрами, приваренными к кольцу и корпусу. Кольцо упорное выставляется на корпусе клиньями, которые входят в наклонные пазы кольца между корпусом и кольцом.

К кольцу упорному приварены двенадцать сваренных из ребер кронштейнов со шпонками, которые входят в пазы, образованные упорами, приваренными к внешнему упорному кольцу. Боковые зазоры между шпонками и упорами регулируются вставками, которые устанавливаются с каждой стороны шпонки и привариваются к упорам. Толщина вставок определяется по фактическим размерам пазов с учетом обеспечения требуемых зазоров для перемещения шпонок в радиальном направлении. Внешнее упорное кольцо раскрепляется в бетонной строительной конструкции через короба, выполненные из сваренных между собой швеллеров, соединенных с закладными пластинами.

1.3 Принцип работы компенсатора давления

Принцип работы КД, который представлен на рисунке 2, заключается в следующем. При постоянном режиме в нормальных условиях все задвижки, кроме запорной, закрыты. При изменении температурного режима, например, при повышении температуры воды в контуре, некоторое дополнительное количество воды из горячего трубопровода поступает в корпус, сжимая пар, давление которого возрастает. Вследствие этого срабатывает регулирующая задвижка на линии впрыска. За счет нагрева этой воды часть пара парового объема корпуса конденсируется, давление уменьшается до нормального, при котором

регулирующая задвижка автоматически закрывается, прекращая подачу воды на впрыск [2].

При незначительных изменениях температуры давление поддерживается без впрыска холодной воды. Так, с незначительным ростом температуры и давления пара происходит частичная конденсация пара, а при снижении температуры и давления частичное испарение воды водяного объема корпуса за счет работы электронагревателей. В связи с этим КД поддерживает постоянное давление в контуре с очень большой точностью. Скорость разогрева КД ограничена для предотвращения значительных температурных напряжений в металле. Начальное давление в КД создается азотом, который к концу разогрева полностью удаляется образующимся паром.

Основная функция системы КД состоит в создании давления в первом контуре, поддержания его в стационарных режимах и ограничения отклонений давления в переходных и аварийных режимах, в связи с температурными изменениями объема теплоносителя. КД заполнен частично теплоносителем, частично его паром. Разогрев КД, кипение и поддержание температуры среды в нем производится с помощью электрических нагревателей, расположенных в нижней части компенсатора давления.

Образующийся при кипении воды пар находится в верхней части КД, создавая паровую подушку требуемого давления. Так как компенсатор давления трубопроводом соединен с главным циркуляционным контуром, то давление во всем контуре поддерживается собственно КД.

Водяной объем так же участвует в процессе компенсации объема. При расширении пара воды в КД испаряется, способствуя тем самым поддержанию давления, а при сжатии паровой фазы происходит ее конденсация на поверхности воды, что ограничивает рост давления.

При работе в стационарном режиме в работе находится одна из групп электрических нагревателей, необходимая для компенсации тепловых потерь и подогрева воды, используемой для прогрева трубопроводов впрыска.

В режимах разогрева первого контура и КД в работе могут находиться все группы электронагревателей. Поддержание давления в этом случае в первый период разогрева осуществляется за счет создания в КД газовой подушки, которая в дальнейшем заменяется на паровую.

В режиме расхолаживания КД первого контура воздействие на арматуру впрыска производится регулятором расхолаживания, который поддерживает заданную разность температур между КД и первым контуром. Подача теплоносителя в КД в этом случае осуществляется по линии, содержащей регулируемую арматуру, с напора главного циркуляционного насоса, либо от системы подпитки первого контура. В первом случае температура впрыскиваемой воды соответствует температуре «холодной» нитки циркуляционной петли, во втором – температуре после регенеративного теплообменника системы подпитки, которая не отличается от температуры теплоносителя в петле более чем на 15–30 градусов.

Регулирование уровня теплоносителя в КД обеспечивается:

- штатным регулятором уровня в стационарном и переходных режимах, получающим сигналы по уровню в КД и по средней температуре теплоносителя в первом контуре и воздействующим на регулирующие задвижки, установленные на линии подпитки первого контура от подпиточных насосов, таким образом, чтобы количество теплоносителя в первом контуре сохранялось постоянным при температурных изменениях его объема вследствие изменения мощности РУ от 10 до 100 процентов;

- пусковым регулятором уровня в режимах разогрева или расхолаживания РУ на уровне заданного значения, таким образом, чтобы объем теплоносителя в первом контуре сохранялся постоянным при его температурных изменениях [1].

1.4 Пусковой регулятор уровня в компенсаторе давления YPC03

Регулятор YPC03 представляет собой регулятор, который поддерживает заданные (дискретные) значения уровня в КД и обеспечивает режимы пуска и расхолаживания. Входные сигналы ТО коррекции уровня

для температуры, настраиваемым параметром и управляющим действием на YPC03 так же, как и на YPC02.

Контроллеры YPC02, YPC03 выполняют одни и те же функции и управляют одними и теми же задвижками, только в разных режимах. Таким образом, они могут быть заменены одним всережимным регулятором, если будет осуществлена идентификация текущего режима работы ТБ (Идентификация технологических состояний процесса ручной дуговой сварки на основе математических моделей и методов нелинейной динамики"). Входным эффектом регулятора будет уровень КД, материальный баланс контура охлаждения 1 и максимальная средняя температура контуров, а также заданное значение для работы в Т режимах запуска и охлаждения (рисунок 5).

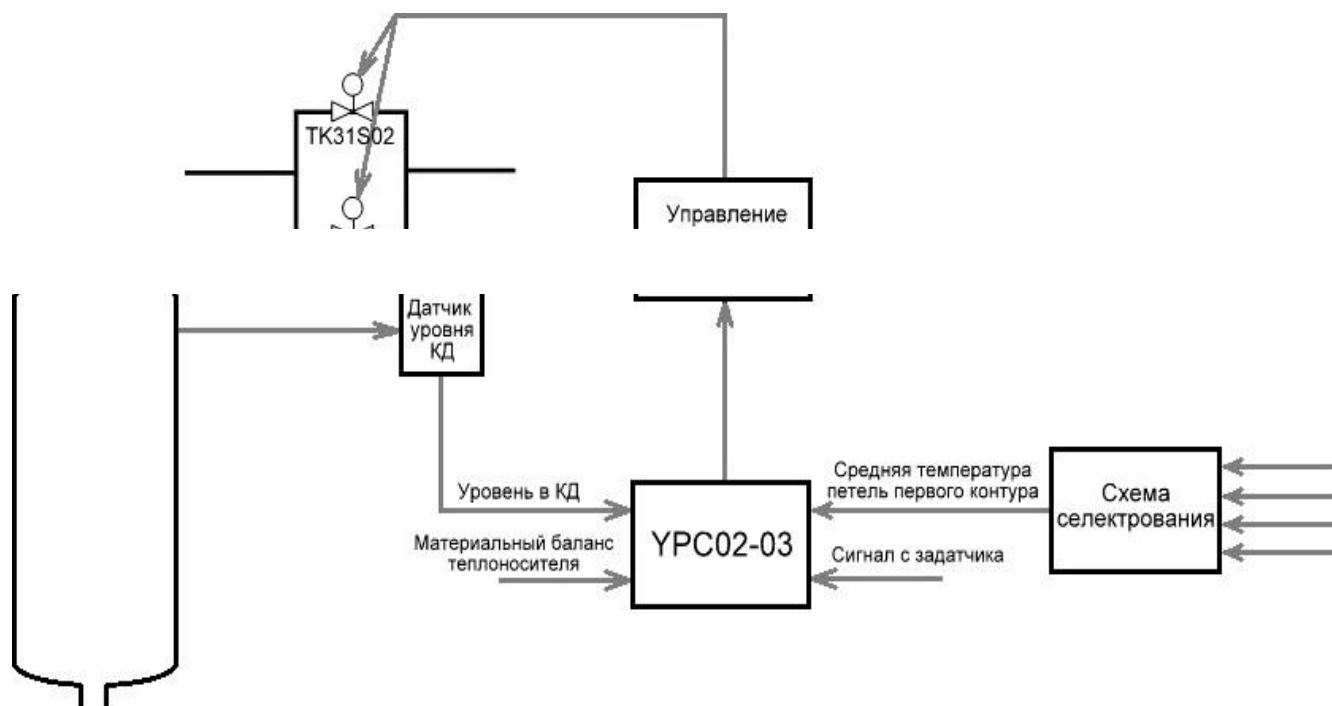


Рисунок 5 - Модернизированный регулятор YPC02-03

Разработанный с целью первичного контроля уровня воды в КД предназначен для поддержания номинального уровня воды в КД при затратах питательной воды от 15–20 до 100% от номинального значения, пусконаладочные работы контроллера - при затратах питательной воды менее 15–20 %.

Закон регулирования главного регулятора уровня: пропорционально-интегрированный за счет реализации обратной связи по массовому балансу расхода питательной воды и пара.

Регулирование, регулирование уровня пуска-остановки: пропорционально-интегрированное посредством ввода обратной связи о состоянии пуско-остановочного задвижки с использованием реального дифференциального звена. Регулируемый параметр: уровень воды в КД
Входные сигналы с целью основного регулятора уровня:

- уровень воды в ПГ;
- заданный уровень воды в ПГ;
- расход питательной воды;
- расход пара из ПГ (данный параметр рассчитывается косвенно по разнице температур первого контура и питательной воды). Входные сигналы с целью пуско-остановочного регулятора уровня:

- уровень воды в ПГ;
- заданный уровень воды в степень открытия пуско-остановочного регулирующей задвижки.

Исполнительные органы: главный регулирующей задвижка и пусковой регулирующей задвижка на байпасе главной задвижки. Точность поддержания номинального уровня воды в парогенераторах в стационарном режиме должна быть не менее +0,50 м от номинального значения уровня, а в переходном и аварийном режимах +0,12 м от номинального значения уровня. Включение ключевых регуляторов для поддержания уровня в парогенераторах производится в связи с увеличением расхода питательной воды выше 20% от номинального, включение стартовой шины - регуляторов - фактически снижение расхода питательной воды ниже 15% от номинального. при работе регулятора уровня старт-стоп и выхода, регулирующей задвижки старт-стоп от 25 до 75%, главный регулирующей задвижка открывается или закрывается импульсными командами до

возвращения регулирующей задвижки в диапазон 25-75% (1 с - им - импульс, 30 с - пауза). при работе главного регулятора пуск- стоп задвижка перемещается в положение 2-55% (2 с - импульс)[s - импульс паузы, 18 - команды пуска].

Исходные данные для расчета: диапазон измерения уровня $D_i=8,9$ (нулевому сигналу датчика соответствует уровень $\alpha_0=3,81\text{м}$).

Состав регулятора YPC03: задвижки ТК31S02, ТК32S02.

- сигнал уровня в КД с коррекцией по температуре;
- датчик поз. YP10L03B1 типа “Сапфир-22ДД” с базой 0–10 м;
- сигнал температуры в КД, термосопротивление ТСП-8053, поз. YP1002B1 с нормирующим преобразователем Ш79;
- материальный баланс теплоносителя, сформированный суммой сигналов;
- расход подпиточной воды, датчик поз, ТКС40F03B1 типа “Сапфир-22ДД” модель 2444, пределы измерений 0–100 м³/час. Расход продувки, датчик поз.;
- ТКС8F03B1 типа “Сапфир-22ДД” модель 2444, пределы измерений 0–80 м³/час;
- расход уплотняющей воды к ГЦН, датчик поз, ТК50F01B1 типа “Сапфир-22ДД” модель 2444, пределы измерений 0–16 м³/час;
- расход уплотняющей воды от ГЦН, датчик поз, ТК60F01B1 типа “Сапфир-22ДД” модель 2430, пределы измерений 0–12,5 м³/час;
- сигнал задания ЗУ-05;
- регулятор на аппаратуре “Каскад-2” и УКТС.[3].

1.5 Основные термины теории автоматического управления

Структура автоматизированных систем управления состоит из основных элементов, которые часто представлены блоками функций, организованными определенным образом, чтобы соответствовать техническим процессам, которые необходимо регулировать.

Существует два наиболее часто используемых принципа регулирования для представления САУ: принцип возмущением и принцип отклонением.

Основным принципом возмущения является передача сигнала помехи на регулятор и объект управления, так что действие регулятора определяется величиной возмущения, воздействующего на объект управления; таким образом, действие регулятора направлено на минимизацию влияния возмущения на контролируемую переменную, тем самым ограничивая ее отклонение.

Основным принципом отклонения является передача сигнала датчика (обратной связи) на вход регулятора и сравнение этого сигнала с его определенным значением. Если обнаруживается, что эти значения в системе различаются, предпринимаются регулирующие действия для устранения этой разницы путем уменьшения ее значения [3].

Для проектирования регулятора рассмотрены следующие условия:

- регулятор должен реагировать на отклонение контролируемого параметра, независимо от его причины;
- автоматическая система управления должна наблюдать и реагировать в соответствии с результатами мониторинга его параметра вывода;
- обеспечить стабильную долгосрочную эксплуатацию объекта и стабилизацию контролируемого параметра с приемлемой точностью;

Рассматривая эти характеристики для проектирования АСУ в соответствии с требованиями, был выбран принцип отклонения регулируемой величины, с обратной связью.

1.5.1 Основные элементы автоматического регулирования

Одной из основных задач автоматических систем регулирования замкнутого цикла (обратной связи) является поддержание заданных значений технологических параметров (аналоговых или дискретных сигналов). Системы автоматического управления с обратной связью, как правило, состоят из заранее определенного числа представительных элементов (блоков), по которым циркулируют соответствующие сигналы.

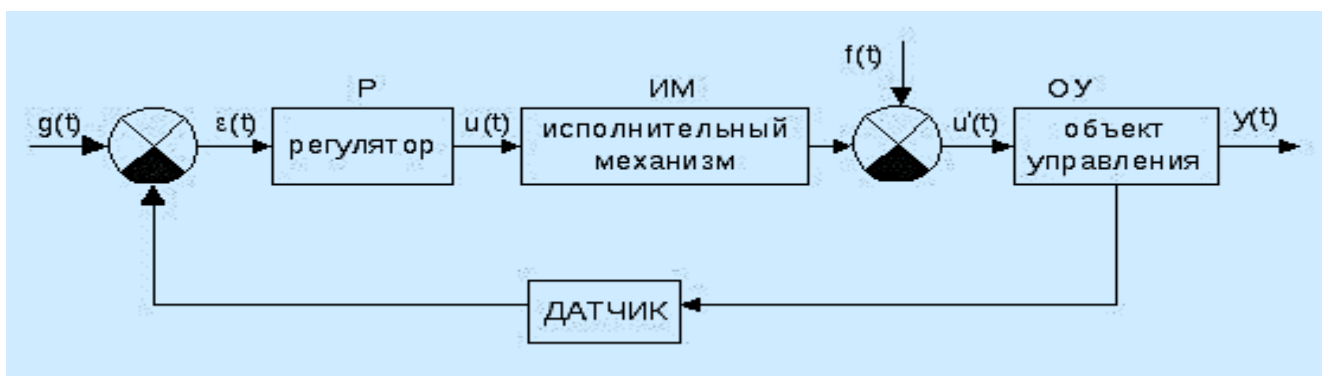
Как правило, эти системы имеют следующие основные элементы:

- регулятор;

- исполнительный механизм;
- объект управления;
- датчики.

Регулятор или управляющее устройство отслеживает состояние объекта управления и генерирует соответствующие управляющие сигналы $u(t)$. Он отслеживает изменения некоторых параметров объекта управления $y(t)$ (с помощью датчиков) и реагирует на них, обрабатывая алгоритмы управления с заданным качеством управления.

Исполнительный механизм является механическое устройство, предназначенные для перемещения регулирующего органа (РО) в системах автоматического регулирования (САР), непосредственно осуществляющее механическое перемещение (или поворот). Изменения положения РО вызывают изменение потока энергии или материала, поступающего на (ОУ) объект управления $u'(t)$, тем самым устраняя отклонения контролируемого значения от



заданного значения.

Рисунок 6 - Структурная схема контура автоматического регулирования с основными элементами управления

Объект управления является процессом, который характеризуется одним или более выходами контролируемых параметров $y(t)$ по отношению к одному или более действиям по контролю ввода $g(t)$. Состояние объекта может измениться во время операции в результате нарушения ввода полезной нагрузки $g(t)$ или другого внешнего вмешательства $f(t)$ [3].

1.5.2 Основные понятия автоматического регулирования

Любой производственный процесс отличается множеством показателей, которые представляют различные физические, химические и другие параметры, такие как скорость, температура, давление, уровень и так напряжение, концентрация и потребление далее.

Во время технологической операции это часто требуется. Некоторые из этих номеров были либо изменены в результате установленного закона, либо оставался постоянным независимо от внешних обстоятельств. Поддержание постоянного значения регулируемого параметра $X(t)$ или для расчета значений по определенному закону используется система автоматических расчетов. Управление (САР)

Объект управления и автоматический контроллер составляют систему автоматического управления.

Управление регулятором состоит из следующих этапов:

-Выбор режима дистанционного управления режим работы регулятора, при котором управляющие воздействия формируются и осуществляются путем непосредственного участия «человека-оператора» [3];

-Выбор охранного режима работы АУ режим работы автоматический режим, при котором управляющие воздействия формируются не постоянно, а осуществляются только при наступлении определенных условий (изменение температуры, аварийная защита) [3], который предусмотрен для авторегуляторов, которые переходят в режим автоматического управления и подключаются к цепям управления задвижками по сигналам технологической защиты и безопасности;

Функция закона регулирования заключается в переводе алгебраической суммы (с учетом знаков) управляющих входов, нарушений технологических параметров и обратных связей в управляющее воздействие (движение задвижки, изменение ссылки на «подчиненный» контроллер в управлении. системы).

Согласно регулируемому закону, регулятор должен изменять состояние электронных приводов (ЭИМ) (перемещать регулирующей задвижка) в направлении, соответствующем уменьшению результирующего отклонения.

Основные законы регулирования:

- пропорциональный (П) закон регулирования;
- интегральный (И) закон регулирования;
- дифференциальный (Д) закон регулирования;
- пропорционально-дифференциальный (ПД) закон регулирования;
- пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон регулирования.

Наиболее используемый в АСУ является пропорционально интегральный (ПИ) регулятор, который формирует управляющий сигнал, состоящий из двух независимых эффектов, пропорциональный и интегральный.

Принимая во внимание характеристики процесса, подлежащего контролю (контроль уровня воды в КД), и в соответствии с литературным обзором об устройствах управления, применяемых в контрольно-измерительных приборах ядерной промышленности, конструкция регулятора была рассмотрена в соответствии с типом стандартного П-регулятора.

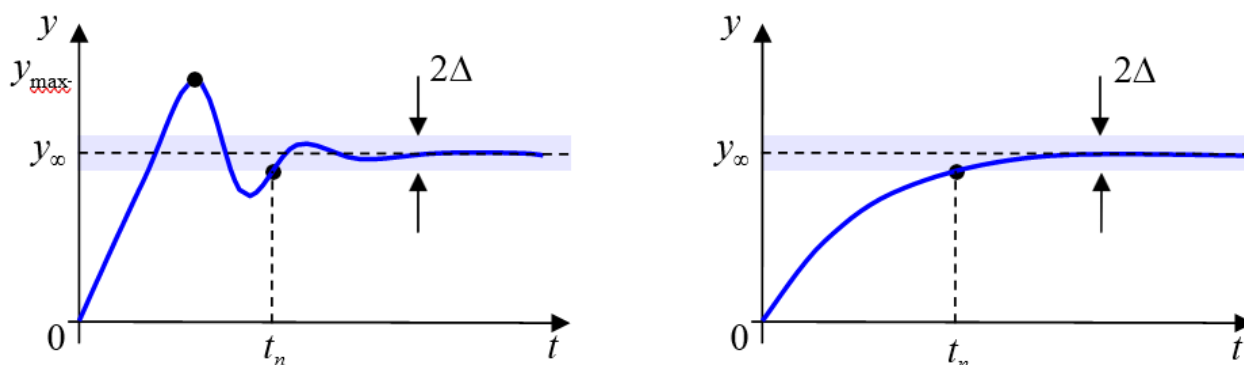
Регулятор типа П отвечает за противодействие отклонению контролируемого параметра, значение управляющего воздействия сопоставимо со значением отклонения регулируемого параметра. Компонент П не вносит фазовую задержку в сигнал, однако действие этого компонента недостаточно для стабилизации эталонного значения, и, если коэффициент пропорциональности увеличивается, это вызовет скачок сигнала. Поэтому, в дополнение к закону пропорционального управления, почти во всех приложениях необходимо сочетать с интегральным, или дифференциальным законом, в отношении требований и качества автоматического управления [3].

Интегральный компонент И накапливает (интегрирует) ошибку регулирования, что позволяет контроллеру устранить статическую ошибку (ошибку стационарного состояния), действующую в течение временного

интервала (T). Эта интегральная связь всегда вносит некоторую задержку (смещение), и, если система подвержена постоянным ошибкам, она компенсирует их (за счет своего смещения). Но если этих ошибок нет или они пренебрежимо малы, эффект будет противоположным и сам интегральный компонент внесет ошибку компенсации. Можно сказать, что часть Π обеспечивает быстрое приближение к заданному значению, в виде ступенчатой функции, а часть I отвечает за точное регулирование этого значения во временном интервале.

1.5.3 Переходный процесс

При изменении выходной уставки (уставки) грамотно спроектированная система должна не только быть устойчивой и сохранять требуемую точность в установившемся режиме, но и плавно адаптироваться к новому режиму. Переходная характеристика обычно используется для оценки качества переходных процессов (отклик системы на одноступенчатый входной сигнал). В



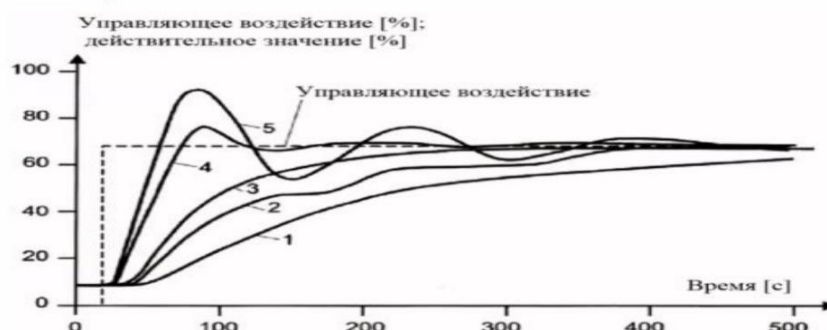
первую очередь нас интересует, насколько быстро заканчивается переход на другой режим (время переходного процесса t_n). Оно определяется как время, через которое регулируемая величина «входит в коридор» шириной 2Δ вокруг установившегося значения y_∞ . Это значит, что при $t > t_n$ значение выхода отличается от установившегося не более, чем на Δ . Обычно величина Δ задается в процентах от установившегося значения, чаще всего 2% или 5%. Заметим, что для апериодического звена с постоянной времени T время переходного процесса равно $t_n = 3T$ (с точностью 5%) [4].

Рисунок 7- Переходной процесс (а) и (б)

$$\sigma_{\max} = \frac{y_{\max} - y_\infty}{y_\infty}$$

1.5.4 Настройка регулятора

На рисунке 8 представлены графики выходного сигнала с регулятора в



зависимости от управляющего воздействия.

Рисунок 8 – Управляющее воздействие

В случае 1 действительно значение приближается к уставке очень медленно. Возможной причиной может быть очень маленькое значение K_p (Пропорциональный) и/или очень большое значение K_i (интегрированный). Сначала следует увеличить сначала следует увеличить K_p и если это даст улучшение, то можно уменьшить значение K_i ю

В случае 2 действительно значение приближается к уставке несколько медленно. При этом наблюдается волнообразный процесс действительного значение. Возможно K_p очень маленький K_d очень большое значение. сначала следует увеличить K_p . Если это даст улучшение, то можно уменьшить значение K_d (дифференциальный)

В случае 3 действительно значение приближается к уставке осторожно, без существенного перерегулирование. Это оптимальная характеристика управления регулированием для процессов, которые не допускает перерегулирования.

Противоположность этому в случае 4 действительно значение быстро приближается к уставке. В случае 3 действительно приближается к уставке и немного переходит ее. Это оптимальная характеристика управления регулированием для процессов, которые не требуется быстрой отработки.

В случае 5 на действительно очень быстро приближается к уставке и очень далеко переходит ее. Регулятор еще можно стабильным, но для оптимальной характеристики регулятор он настроен слишком агрессивно, следит уменьшить K_p если это даст улучшение, то можно увеличить значение K_i [4]

1.6 Постановка задачи

В настоящей выпускной квалификационной работы предлагается исследование системы управления уровнем воды в компенсаторе давления ВВЭР-1000. Для выполнения этой задачи предлагаются следующие этапы разработки:

- необходимо изучить свойства объекта управления, явления и физические параметры процесса;

- определить свойства и характеристики исполнительного механизма (ИМ); установить характеристики регулятора, а также реализовать его функциональную структуру;

- промоделировать САУ в виртуальной среде Matlab/Simulink;

- промоделировать САУ в программируемой технологической среде с базой данных реального времени.

С этой целью должна быть предложена, сначала реализация математической модели САУ, которая представляет каждый из элементов (регулятор, исполнительный механизм и объект управления) и систему в целом, разрабатывая дифференциальные уравнения процесса.

Моделирование контура регулирования провести в среде Simulink пакета Matlab. После определения дифференциальных уравнений, которые характеризуют систему, моделирование в среде Simulink продолжается с задачей моделирования в среде программирования в реальном времени MWBridge, компьютерная платформа с базой данных в реальном времени.

Проектирование регулятора осуществляется в среде программирования АлгоВУ, которая является программным интерфейсом системы технологического комплекса. Имитация работы алгоритма регулирования уровня в КД будет проведено в среде Display.

2 Принципы построения и технические характеристики комплекса средств автоматизации ТПТС-НТ

2.1 Назначение ТПТС-НТ

Комплекс средств автоматизации ТПТС-НТ представляет собой комплекс программно-технических средств, отвечающий самым современным требованиям в построении нижнего уровня АСУ ТП атомных и тепловых электростанций.

ТПТС-НТ впитали в себя опыт автоматизации более 40 объектов атомной и тепловой энергетики, в сочетании с современными достижениями электронных технологий.

При этом ТПТС-НТ являются эволюционным продолжением линии ТПТС, являясь информационно совместимым с предыдущими поколениями ТПТС-Е и ТПТС-ЕМ. Все поколения ТПТС, включая ТПТС-НТ, объединены единым, постоянно развивающимся средством проектирования GET-R1, что существенно упрощает адаптацию проектировщиков к новым средствам.

В частности, наиболее существенными отличиями 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 с сечением проводов до 2,5 мм²;
- реализация функциональных шкафов с одно- и двухсторонним 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 по локальным сетям RS-485 по стандартным сетевым протоколам. [5]

Программно-технические средства ТПТС-НТ предназначены для

- создания программно-технических комплексов (ПТК), которые выполняют автоматический контроль и управление технологическим оборудованием в составе автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) тепловых и атомных электростанций и других объектов энергетики;

- реконструкции АСУ ТП энергоблоков эксплуатируемых АЭС.

ТПТС-НТ может применяться в АСУ ТП нормальной эксплуатации. ТПТС-НТ могут быть так же использованы для автоматизации любых технологических процессов на предприятиях промышленности.

ТПТС-НТ позволяют:

- создать распределенные и централизованные структуры в АСУ ТП с территориальным распределением аппаратуры управления по объекту (в т. ч. и путем встраивания в оборудование других производителей);

- создать местные посты управления на базе ТПТС-НТ, интегрированные в общую систему;

- использовать наряду с традиционным технологическим оборудованием интеллектуальные датчики и исполнительные механизмы (связь с ТПТС-НТ по локальным сетям RS485 со стандартными сетевыми протоколами).

По сравнению с существующими в настоящее время техническими средствами автоматизации применение ТПТС-НТ позволяет:

- применить гибкие схемы компоновки, обеспечивающие рациональность применения аппаратуры для автоматизации объектов различных масштабов – от отдельных технологических установок до атомных энергоблоков;

- осуществить подключение полевых кабелей сечением до 2,5 мм² непосредственно к ПС без применения стоек промежуточных реле и кроссовых стоек;

- существенно снизить площади, занятые оборудованием систем автоматизации;
- существенно снизить расход кабелей, стоимость прокладки кабелей, монтажа оборудования;
- значительно уменьшить объем работ, связанных с эксплуатацией оборудования автоматизации;
- повысить быстродействие и другие качественные характеристики систем автоматизации [6].

2.2 Номенклатура и место ТПТС-НТ в системе автоматизации энергоблока

Высокое качество разработки и изготовления оборудования ТПТС-НТ.

Номенклатура и место ТПТС-НТ в системе автоматизации энергоблока обеспечивается действующей во ФГУП «ВНИИА» системой качества и подтверждается соответствующими сертификатами.

Измерительные средства, входящие в состав аппаратуры ТПТС-НТ, включены в реестр средств измерений Российской Федерации.

Аппаратура ТПТС-НТ и средства конфигурирования имеют сертификат соответствия и необходимые разрешения со стороны надзорных органов Российской Федерации для применения в АСУ ТП АЭС в системах нормальной эксплуатации.

Аппаратура ТПТС-НТ строится по модульному принципу и позволяет создавать, в зависимости от требований, различные по степени избыточности структуры путем резервирования функционально важных элементов. Распределено-централизованная обработка данных позволяет легко наращивать объем аппаратуры в системе управления [5].

В аппаратуре ТПТС-НТ выполняется непрерывный самоконтроль работающих компонентов, позволяющий оперативно выявлять дефекты и заменять отказавшие узлы, не выводя оборудование из работы.

Все программно-технические средства ТПТС-НТ изготавливаются в виде стандартных крейтов, которые могут быть установлены как в стойках ТПТС-НТ,

так и встроены в технологическое оборудование. Варианты конструктивного исполнения стоек ТПТС-НТ обеспечивают их размещение в помещениях как оснащенных средствами кондиционирования (помещения АСУ ТП), так и в помещениях, предназначенных для технологического оборудования, или в помещениях стендов датчиков.

Приборные стойки ТПТС-НТ имеют свободно проектируемую компоновку и состав в зависимости от решаемых задач и объема контролируемых и управляемых технологических объектов.

Наряду с возможностью свободной компоновки стоек имеется несколько вариантов базовой компоновки, в достаточной степени покрывающих необходимое пространственное и функциональное распределение элементов комплекса программно-технических средств ТПТС-НТ. В том числе разработана базовая компоновка, ориентированная на создание в рамках комплекса АСУ ТП автономных подсистем или подсистем с экстремальным быстродействием в условиях ограниченного объема принимаемых и формируемых сигналов технологического процесса.

2.2.1 Номенклатура программно-технических средств ТПТС-НТ

К программно-техническим средствам ТПТС-НТ относится:

а) базовые исполнения средств автоматизации в виде стандартных крейтов формата 19” с установленными в них необходимыми модулями (крейты могут эксплуатироваться автономно или размещаться в приборных стойках):

- станции ввода-вывода (СВВ), содержащие модули связи с технологическим процессом (СПМ) и интерфейсные модули (ИМ), выполняют базовые функции измерения аналоговых сигналов, приема и обработки дискретных сигналов, индивидуального управления, регулирования (набор функций, выполняемых СВВ, определяется составом установленных в ней СПМ;

- процессоры автоматизации (ПА) в исполнениях для систем нормальной эксплуатации (СНЭ) и для управляющих систем безопасности (УСБ) выполняют функции обмена данными с СВВ, с другими ПА; выполняют алгоритмы

вычисления технологических параметров, алгоритмы автоматического и автоматизированного управления с использованием данных от подключенных к нему СВВ и (или) других ПА;

- блок шлюза сопряжения – выполняет сопряжение ТПТС-НТ с системой верхнего блочного уровня;

б) стойки приборные (ПС) (двухстороннего обслуживания), выполняющие функции контроля и управления технологическим оборудованием, являющиеся основными функциональными устройствами ПТК и содержат СВВ, ПА, коммутаторы, а также модули сопряжения, необходимые средства коммуникации, клеммники связи с процессом и т. д.;

в) стойки питания (СП) напольного исполнения двухстороннего обслуживания, применяемые в ПТК для электропитания ПС (обеспечивает питание до 12 ПС) или электропитания пультов блочного пункта управления (БПУ);

г) стойки сопряжения (СС) напольного исполнения двухстороннего обслуживания, осуществляющие связь ПС с датчиками и исполнительными механизмами, и другими периферийными устройствами в тех случаях, когда требуется переход с одного типа кабеля на другой или преобразование вида сигнала;

е) средства коммуникации, включающие:

1) шину EN, которая обеспечивает в ПТК СНЭ связь ПА между собой и связь с информационно-управляющей СВБУ;

2) шину EN-L, которая обеспечивает в ПТК связь ПА с СВВ;

3) шины RS-485, которые обеспечивают связи ПТК с интеллектуальными датчиками и исполнительными механизмами:

ж) средства конфигурирования - инженерная станция (ИС), используемая для конфигурирования (т. е. загрузки кодов прикладной программы в программируемые модули ПА и настроечных параметров СПМ), наладки и проверки, а также документирования конфигурации;

и) сервисные устройства:

- имитаторы различных видов, позволяющие в процессе тестирования и наладки ПТК имитировать входные (выходные) дискретные сигналы и работу исполнительных механизмов различных типов, включая возможные их неисправности, а также имитировать процесс управления исполнительными механизмами с блочного и местного щитов управления;

- диагностическая станция, представляющая собой вспомогательное средство, которое используется при наладке ПТК, для диагностики состояния программно-технических средств, для имитации сигналов на входах и выходах СПМ и для загрузки кодов прикладных программ, сформированных на инженерной станции.

СВВ, а также ПА могут размещаться в оборудовании других производителей, например, в силовых шкафах НКУ, КРУЗА, щитах управления и т. д. [6].

2.2.2 Место ТПТС-НТ в системе автоматизации энергоблока

На рисунке схематично показан пример структурной схемы системы контроля и управления энергоблока, позволяющая показать взаимодействие аппаратуры ТПТС-НТ в составе системы контроля и управления, а также место, которое в этой структуре занимает оборудование ТПТС-НТ.

В БПУ системы нормальной эксплуатации (СНЭ) установлена СВВ (ТПТС-НТ), которая обеспечивает передачу команд в цифровом виде с панелей управления в ПТК СНЭ.

ПТК СНЭ имеют общую цифровую коммуникационную оптоволоконную шину EN, которая обеспечивает обмен данными между отдельными ПТК СНЭ, связи с СВБУ и с устройством конфигурирования - ИС.

Для обеспечения функции приоритетного управления исполнительными механизмами СБ предлагается применить ПТК приоритетного управления (ПТК ПУ). Связь панелей управления БПУ СБ и РПУ СБ с ПТК ПУ СБ (на ТПТС-ЕМ) выполняется традиционным способом по проводным линиям связи.

ПТК ПУ СБ обеспечивает приоритетное управление исполнительными механизмами:

- по дистанционным командам от СБ (БПУ, РПУ), принимаемым по проводным связям, и по дистанционным командам от СНЭ (СВБУ), принимаемым по шине EN;

- по автоматическим командам СБ (от аппаратуры ТХС), принимаемым по проводным связям, по автоматическим командам СНЭ (ПТК СНЭ), принимаемым по шине EN.

Обмен данными ПТК ПУ каналов СБ с ПТК СНЭ, а также связь с СВБУ и ИС осуществляется по шине EN.

Аппаратура ТПТС-НТ и ТПТС-ЕМ связана с датчиками и исполнительными механизмами при помощи проводных линий связи. Связь с интеллектуальными приводами и датчиками осуществляется при помощи полевых сетей на базе интерфейса RS485 [6].

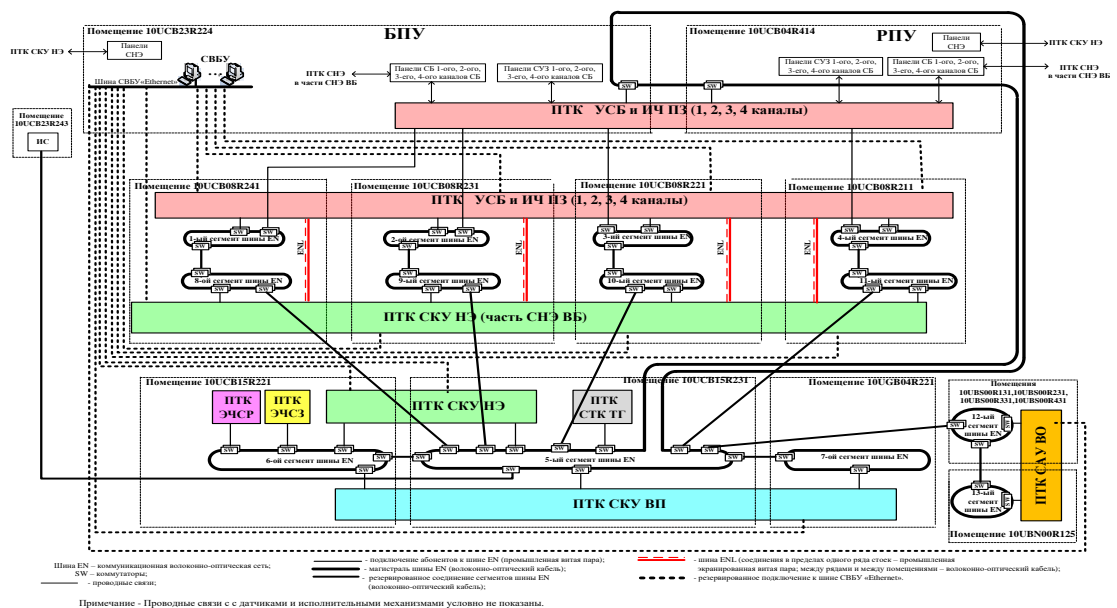


Рисунок 9 - Структурная схема системы контроля и управления энергоблока на средствах автоматизации ТПТС-НТ

2.3 Структура ПТК СНЭ

Оборудование ТПТС-НТ используется в составе АСУ ТП энергоблока для выполнения задач, возлагаемых на низовую автоматику, и объединяется в отдельные ПТК по технологическим и компоновочным признакам.

Структурная схема ПТК СНЭ на ТПТС-НТ показана на рисунке.

В ПТК СНЭ сбор данных, выдача управляющих воздействий, а также ряд стандартных функций (таких как фильтрация, индивидуальное управление, регулирование) реализуются в СВВ, которые включают до 16 СПМ, обеспечивающих прием и выдачу сигналов, а также выполнение базовых функций автоматизации.

Связь ПТК НЭ с интеллектуальными датчиками и исполнительными механизмами осуществляет ПА по шинам RS485.

СВВ через локальные шины EN-L (Industrial Ethernet, 100МГц) связаны с ПА.

Максимальное количество СВВ, подключаемых к одному ПА, - 16.

Максимальная длина связи (абонентское звено) между СВВ и коммутатором шины EN-L – не более 100 м.

Максимальная суммарная длина линий связи между ПА и СВВ - не более 1000 м.

ПА выполняют прикладные функции управления и являются программируемыми. Именно ПА выполняют прикладные алгоритмы, функции защиты, блокировки, функционально-групповое управление и т. д.

ПА связаны друг с другом локальной сетью – волоконно-оптической шиной EN, построенной на технологии Industrial Ethernet 100 МГц.

Через шину EN обеспечивается информационная связь между всеми ПТК СНЭ и ПТК ПУ СБ.

Связь с СВБУ осуществляется через блоки шлюза сопряжения (БШС), которые являются одновременно абонентами шины EN и сети СВБУ. Каждый БШС способен обеспечить связь до 15 ПА с СВБУ.

ТПТС-НТ обеспечивают работу в режиме резервирования на всех уровнях, а именно: ПА, БШС, ИМ, СПМ, шины ввода-вывода (внутренняя шина СВВ), шины EN, шины EN-L [7].

Такая структура обеспечивает удобство обработки данных процесса, т. к. каждый параметр процесса легко доступен каждому ПА. Это – следствие высокого быстродействия информационных каналов и высокой скорости опроса в СВВ. Соответственно существенно повышается наглядность при проектировании и сопровождении, а также последующей модификации системы.

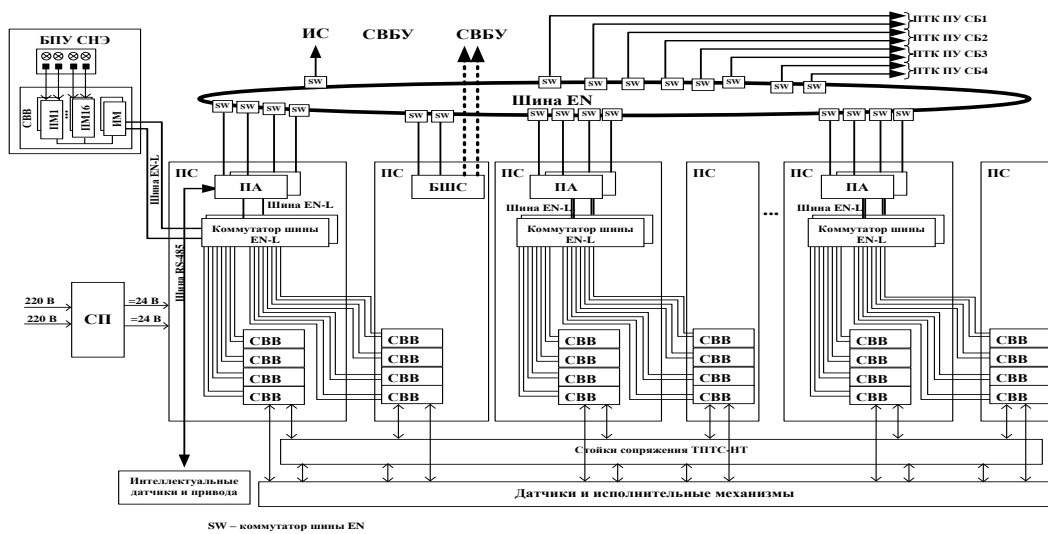


Рисунок 10 - Пример структурной схемы ПТК СНЭ

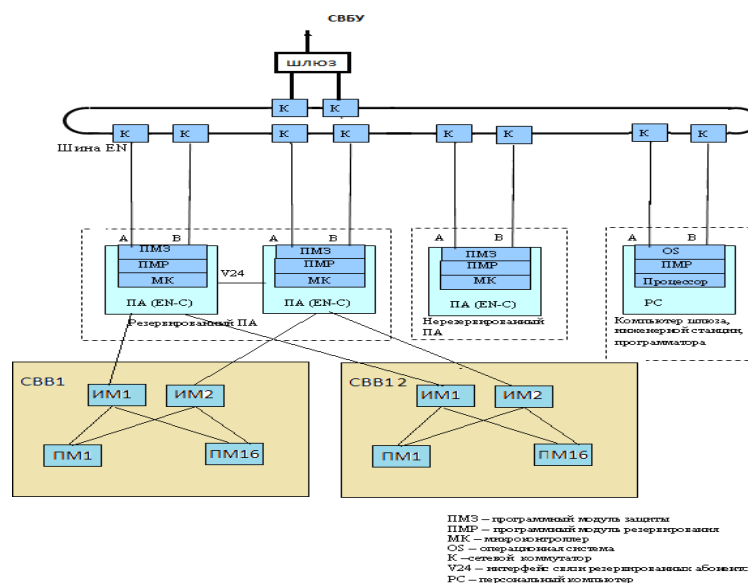


Рисунок 11- Типовая структура связей в системе автоматизации ТПТС-НТ

2.4 Процессор автоматизации

ПА включает от трех до шести модулей, связанных быстродействующей информационной шиной. Все модули выполнены на высокопроизводительном 32-разрядном микропроцессоре, что позволяет эффективно обрабатывать как коммуникационные, так и прикладные функции при подключении к ПА до 16 СВВ.

Функциональный модуль FM-C, реализует системную и прикладную логику и вычисления, и взаимодействует со станциями ввода-вывода по шине ENL.

Центральный модуль связи EN-C, организует связи по шине EN с другими ПА и шлюзами СВБУ. При работе в резервированном режиме участвует в управлении резервом по последовательным интерфейсам V24 между резервируемыми ПА. Имеет также интерфейс USB для связи с инженерным пультом.

В резервированном режиме модули EN-C резервируемых ПА обеспечивают работу в горячем резерве с безударным переключением на резервный ПА при однократных отказах без потери управления.

Связь ПА с интеллектуальными датчиками и исполнительными устройствами осуществляется с помощью модулей RS-L.

Модуль RS-L имеет 2 шины интерфейса RS-485, к каждой из которых может подключаться до 32 интеллектуальных датчиков и приводов. Модуль RS-L выполняет на шинах RS-485 функции мастера, являясь инициатором передачи данных по шинам, остальные абоненты шины передают и принимают данные по шинам только по запросу мастера.

Модуль RS-L подключается к модулю FM-C по шине EN-L и выполняет функции связи с интеллектуальными датчиками и приводами, аналогичные функциям связи модуля ИМ с модулями СПМ. Шина EN-L обеспечивает подключение до 16 модулей RS-L вместо интерфейсных модулей ИМ и соответственно до 16×32 интеллектуальных датчиков и приводов [7].

Модуль RS-L в отличие от других модулей ПА не является абонентом внутренней информационной шины и требует от крейта только подвода

напряжения питания 24 В. В крейте ПА системы нормальной эксплуатации могут быть установлены до 2 модулей RS-L в каждом канале резервированного ПА или в каждом автономном нерезервированном ПА. В крейте системы безопасности может быть установлен 1 модуль RS-L в каждом автономном ПА.

Каждая шина RS485 соединяется с модулями RS-L двух каналов ПА, но только модуль RS-L активного канала ПА управляет передачей данных по шинам. При переключении на резервный ПА функция управления шиной, передается другому модулю RS-L [7].

Кроме того, в состав ПА входит модуль питания РМ, получающий напряжение $=24В$ (возможно резервированное) от внешних фидеров, и вырабатывающий необходимые напряжения для питания модулей. Модуль РМ обеспечивает защиту внешнего питания от короткого замыкания в ПА.

2.5 Линии передачи информации

Предназначена для выполнения следующих функций:

- 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.

- Шина EN

Основными аппаратными компонентами шины EN являются:

- сетевой коммутатор, имеющий два магистральных порта и несколько абонентских портов, работающих в полнодуплексном режиме;

- конвертер, обеспечивающий преобразование сигналов витой пары в сигналы для волоконно-оптического кабеля и наоборот;

- электрические и оптоволоконные соединения типа «точка-точка», выполненные в виде витой пары или оптоволоконного кабеля;
- центральный коммуникационный модуль EM-C процессора автоматизации (ПА), обеспечивающий подключение ПА к абонентским портам коммутаторов шины ЕК;
- интерфейсные модули EM-PC1, предназначенные для подключения к шине ЕК компьютеров программатора и инженерной станции;
- интерфейсный модуль EM-PC1, предназначенный для подключения к шине ЕК компьютеров шлюзов.

Коммутаторы последовательно соединяются друг с другом по магистральным портам, образуя так называемое виртуальное кольцо. Один из коммутаторов, назначаемый менеджером резервирования, управляет резервированием шины посредством реконфигурации кольца, поддерживая одну из связей в кольце разомкнутой и замыкая ее в случае нарушения связи в магистрали.

- Шины ENS

Предназначены для передачи данных технологического процесса и результатов обработки между ПА каналов безопасности, а также передачи параметров технологического процесса, данных диагностики и управления между ПА каналов безопасности и ПА блочного и резервного пультов управления управляющей системы безопасности. Шины EN₂ используют те же протоколы и принципы связи и передачи данных, что и шина ЕЫ, и отличаются от шины ЕК только наборами телеграмм и возможностями резервирования.

- Шина ENL

Предназначена для выполнения следующих функций:

- циклический сбор процессором автоматизации параметров технологического процесса, подготовленных интерфейсными модулями (ИМ) станций ввода/вывода (СВВ);
- передача процессором автоматизации команд управления в ИМ станций ввода/вывода для последующей передачи в ПМ-модули по шине ввода/вывода;

- циклический сбор процессором автоматизации диагностической информации, отражающей состояние ПМ-модулей и технологического процесса, подготовленной интерфейсными модулями путем опроса ПМ-модулей по шине ввода/вывода, и состояние собственно интерфейсных модулей;
- ациклический обмен данными с ИМ станций ввода/вывода для выполнения параметрирования ПМ-модулей и расширенной диагностики;
- событийная прямая передача данных между интерфейсными модулями на фоне централизованной передачи данных под управлением ПА.

Шина ENL может использоваться в нерезервированном и резервированном варианте исполнения. В системе безопасности шина ENL, как и другие устройства комплекса, не резервируется, и каждый абонент подключается к шине по одному каналу. В системе нормальной эксплуатации шина ENL резервируется. Резервирование выполняется путем введения двух отдельных шин, к каждой из которых подключаются оба резервируемых ПА и по одному из каждой пары резервируемых ИМ станций ввода/вывода.

- Шина ввода/вывода (ШВВ)

Предназначена для выполнения следующих функций:

- циклического сбора интерфейсным модулем параметров технологического процесса и диагностических данных от ПМ-модулей станции ввода/вывода;
- циклической передачи интерфейсным модулем в ПМ-модули данных управления;
- ациклического обмена данными между интерфейсным модулем (инициатором обмена) и ПМ-модулями для передачи в ПМ-модули их параметров и приема от ПМ-модулей данных расширенной диагностики;
- инициативной передачи ПМ-модулями в ИМ дискретных данных технологического процесса при изменении входных данных.

2.6 Подготовка ПА

Поскольку, КСА ТПТС-НТ является универсальным комплексом, который может решать самые разные задачи управления ТП, большинство модулей КСА

ТПТС-НТ, для выполнения ими каких-либо полезных функций управления ТП, требуют настройки параметров работы их ВПО - параметрирования а модули EMS, составляющие ПА требуют как настройки ВПО, так и загрузки в них прикладных алгоритмов управления ТП - программирования (структурирования).

Загружаемые в модули программы, содержащие алгоритмы работы КСА, предназначенные для выполнения задач управления ТП, а не для функционирования самого КСА, относятся к прикладному программному обеспечению (ППО) модулей.

Для выполнения задач управления КСА, в один ПА могут быть загружены только две программы, относящиеся к ППО, причем, в каждый из двух модулей ПА загружается своя часть ППО:

- программа автоматического обмена данными по шине EN - коммуникационное ППО, загружается в КМ ПА (модуль EMS, работающий в режиме ENC);

- программа управления ТП - функциональное ППО, загружается в ФМ ПА (модуль EMS, работающий в режиме FMC).

Кроме программ, в ПА должны быть загружены файлы данных параметризованной модулей, подключенных к ПА: СП, ИМ, RSL, также относящиеся к ППО.

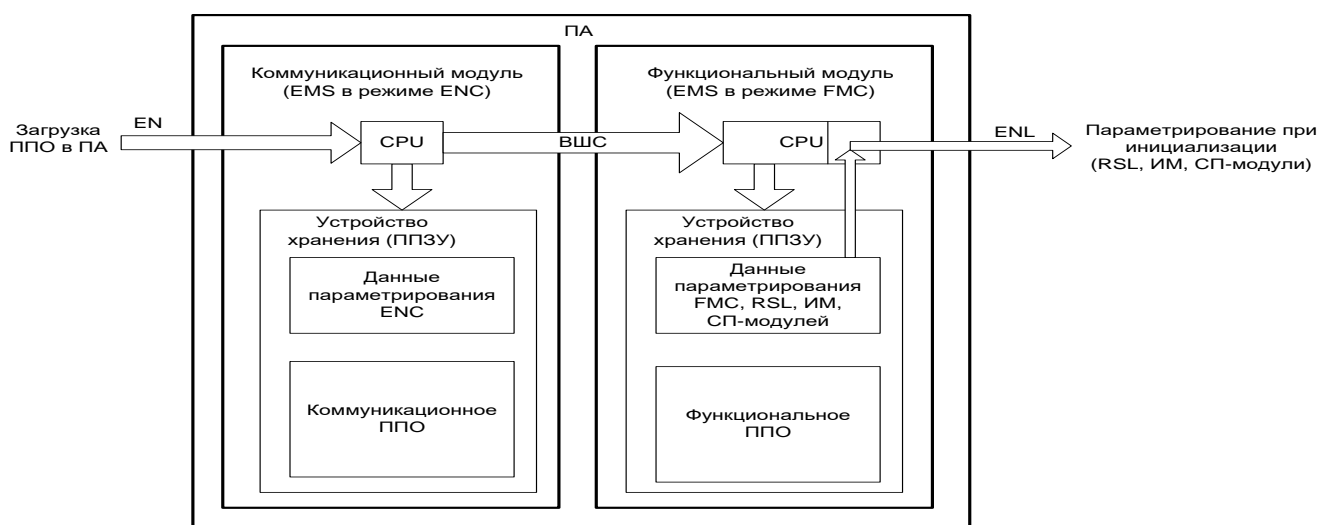


Рисунок 11 – Схема подготовка ПА

Таким образом, для подготовки ПА к выполнению прикладных задач управления ТП необходимо:

- создать структуру параметризованное, в которой задать значения настраиваемых параметров всех параметризуемых модулей, входящих в КСА;
- создать прикладную программу управления ТП (функциональное ППО);
- создать прикладную программу коммуникаций по шине EN (коммуникационное ППО) для автоматического обмена данными между ПА, входящими в КСА, СВБУ и другими системами, подключенными к КСА ТПТС-НТ;
- загрузить полученные файлы параметризованное, коммуникационное и функциональное ППО в ПА.

Файлы ППО могут быть созданы и загружены в ПА при помощи САПР GET-R1, установленного на ПК рабочей станции или ДС, подключенных к шине EN.

Загруженное в ПА ППО сохраняется в энергонезависимой памяти модулей EMS, и в дальнейшем автоматически используется для параметрирования модулей RSL, ИМ, СП при их замене или после отключения питания, и для выполнения прикладной задачи.

Переход ПА к исполнению ППО производится автоматически по включению питания ПА или дистанционно, командами оператора, поступающими от СВБУ, диагностической или рабочей станции [7].

2.7 Исполнение прикладных программ в ПА

ПА способен выполнять прикладные программы, написанные на языке STEP-M VG. В процессе работы ПА, специальная программная функция, входящая в состав ВПО модулей ПА, последовательно обрабатывает операторы ППО, загруженного в модули ПА и вызывает соответствующие коммуникационные или вычислительные функции, входящие в состав ВПО. Каждый оператор ППО соответствует определенной функции ВПО модулей ПА.

Текущее состояние ППО модулей КМ и ФМ при работе ПА отображается на дисплее модуля МПИ.

КМ ПА может находиться в одном из трех состояний:

«FREI,0» – ППО не выполняется;

«FREI,1» – ППО выполняется;

«FREI,2» – переход из состояния «FREI,0» в состояние «FREI,1».

ФМ ПА может находиться в одном из трех состояний:

«FR,0» – ППО не выполняется;

«FR,1» – ППО выполняется;

«FR,2» – переход из состояния «FR,0» в состояние «FR,1».

В состоянии «0» ППО переходит при подаче соответствующей команды из ДС или при возникновении ошибок выполнения ППО. Переход в состояние «0» могут вызвать следующие ошибки:

- номер исполняемой строки ППО превышает максимально допустимое количество строк ППО;

- контрольная сумма ППО, пересчитываемая в фоновом цикле, не совпала с изначальной контрольной суммой ППО.

При подаче команды запуска ППО переходит в состояние «2» - перезапуск.

В этом состоянии выполняются следующие действия:

- проверка ППО на ошибки;

- подсчет контрольной суммы ППО и вычисление служебных параметров;

- построение служебных таблиц для выполнения интерпретатором ППО инструкций перехода и подпрограмм.

При успешном выполнении вышеперечисленных действий и отсутствии ошибок ППО переходит в состояние «1», в противном случае ДС выдается сообщение об ошибке, а ППО переходит в состояние «0».

При успешном переходе из состояния «0» в состояние «1» ППО записывается в энергонезависимую память КМ или ФМ. Также в энергонезависимой памяти хранится информация о текущем состоянии ПА и контрольная сумма ППО.

2.8 Схема заземления экранов контрольных и управляющих кабелей в ПТК

Все элементы конструкции шкафа ТПТС-НТ, схема которой представлена на рисунках 12 и 13, (СП, ПС, стойки сопряжения) образуют контур заземления

шкафа с общей клеммой заземления в виде болта М8 в правом нижнем углу шкафа (с лицевой стороны шкафа).

При монтаже шкафа ТПТС-НТ в помещении постоянной эксплуатации клемма заземления должна быть подсоединена к закладным элементам в полу (к системе защитного заземления) с помощью внешнего заземляющего провода. В конструкции шкафов ТПТС-НТ предусмотрены экранирующие планки, которые предназначены для заземления экранов контрольных и управляющих кабелей, идущих от периферийных устройств. Во всех шкафах ТПТС-НТ экранные планки соединены с контуром заземления шкафа. Заземление экранов контрольных и управляющих кабелей выполняется на одном конце кабеля для исключения низкочастотных помех.

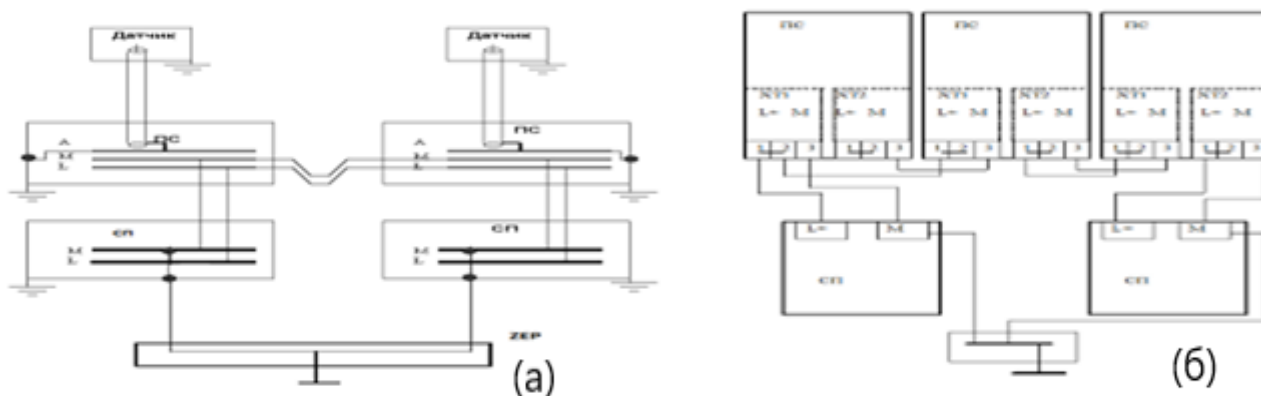


Рисунок 12 – Схема заземления экранов контрольных (а) и управляющих (б) кабелей в ПТК

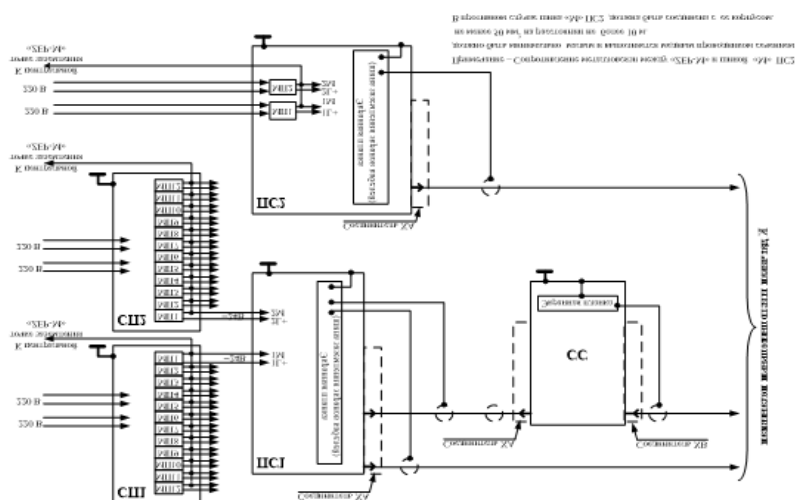


Рисунок 13- Схема заземления экранов контрольных и управляющих кабелей в ПТК на ТПТС-НТ

3 Построение модели уровня теплоносителя в КД

В этой главе создается математическая и имитационная модель уровня воды в режиме пуска компенсатора давления и выполняется ее линеаризация для создания передаточных функций для использования в динамическом моделировании и проектировании систем с автономным контролем отдельных физических параметров.

3.1 Разработка модели объекта управления

3.1.1 Общие сведения при описании аналитических моделях ОУ

Система, это совокупность компонентов, упорядоченных определенным образом, которые действуют вместе для достижения конкретной цели. Более того, систем могут характеризовать акушерское или реальное физическое явление природы [8]. Это набор деталей, которые расположены в определенной последовательности и работают вместе для выполнения определенной задачи. Для характеристики естественных физических явлений могут быть применены другие системы.

Чтобы разработать соответствующую модель, которая представляет изучаемую систему, можно априори определить, является ли система динамической или статической. Статические системы претерпевают постоянные изменения в зависимости от изменения входных переменных, а динамическая система изменяется, если она не находится в равновесии.

В этом исследовании предлагается модель для представления физических явлений и взаимодействия переменных в управляемом объекте, который проявляет динамические свойства.

При создании исходной математической модели необходимо учитывать следующие аспекты:

- предложить упрощенную модель;
- рассмотреть влияние большего влияния на систему;
- поддерживать баланс в соответствии с поставленными целями, между точностью и простотой системы.

Следовательно, должна быть построена система дифференциальных уравнений, отражающая изменения системы в зависимости от времени. Этим способом, в зависимости от степени вмешательства, последствия изменения каждой переменной в системе вносят свой вклад в изменение системы. Такие уравнения могут быть выражены как линейная комбинация переменных системы [9].

3.1.2 Принципиальная схема и физические процессы на участке ОУ

На рисунке 14 изображена схематическая диаграмма управления уровнем на КД. Поскольку разница между уровнем и заданным значением указывает изменение массы воды в цепи, требуется регулятор уровня. Регулятор получает импульс от указателя уровня 3, и при падении уровня с помощью логических устройств активирует подпиточные насосы 6. При повышении уровня регулятором 8 открывается сливной задвижка 7. Импульсы от термопар, установленных на датчике. холодная и горячая линии каждого контура через сумматор 9 подаются в регулятор 8 для изменения установленного значения уровня в зависимости от средней температуры воды. Восемь термопар сумматора генерируют сигнал средней температуры. Этот сигнал направляется через схему выбора, где выбирается максимальный сигнал из четырех, а затем через регулятор уровня [10].

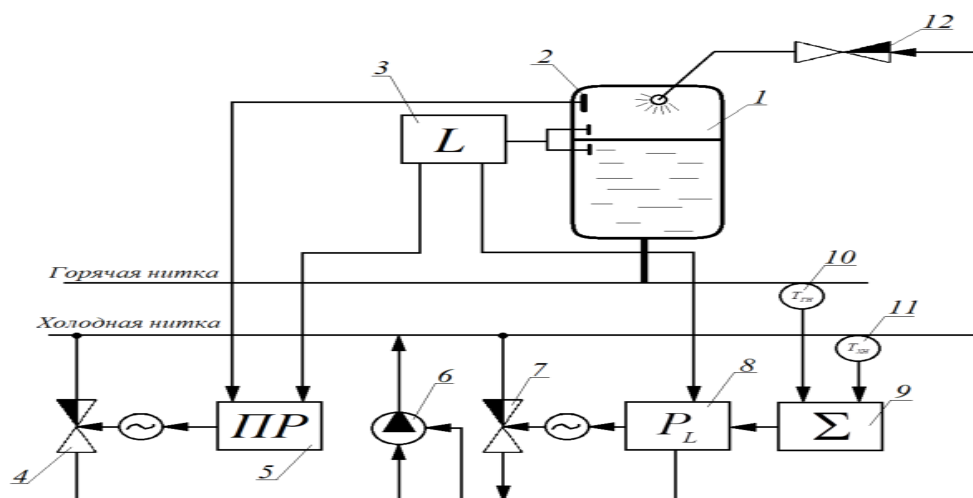


Рисунок 14 - Принципиальная схема автоматической системы регулирования уровня в КД

Где 1-компенсатор давления, 2- термопара, 3-уровнемер, 4- задвижка, 5- пусковой регулятор, 6- подпиточные насосы, 7- задвижка слива, 8- регулятор уровня, 9-сумматор, 10- температура горячей нитки с термопары, 11- температура с холодной нитки с термопары, 12- задвижки впрыска воды

В пусковых режимах задача системы регулирования уровня заключается в поддержании постоянного объема теплоносителя и уровня в КД. Это осуществляется путем слива части воды через задвижку 4. Для этого имеется пусковой регулятор 5, который получает импульс от уровнемера 3 и воздействует на задвижку 4. В процессе пуска сильно меняется температура воды в КД. Это влияет на показания уровнемера 3, которые при том же геометрическом уровне пропорциональны плотности воды в КД. Для исключения этого влияния в регулятор 5 вводится корректирующий сигнал от термопары 2, измеряющего температуру среды в КД. Сильное снижение уровня воды в КД может привести к оголению электронагревателей. Для пускового регулятора база уровня выбирается большей, чем для основного. Уровень воды контролируется регулирующим задвижкой ТК31S01 (ТК31S02). Сильное снижение уровня воды в КД может привести к оголению электронагревателей. Для пускового регулятора регулятор уровня выбирается больший, чем для основного

3.1.3 Автоматическое регулирование ОУ

Регулятор уровня компенсатора давления работает следующим образом: при изменении нагрузки энергоблока изменяется и средняя температура воды. В результате уровень компенсатора давления колеблется.

Установленное значение для уровня h изменяется в зависимости от средней температуры воды в горячей и холодной струях, чтобы гарантировать, что масса воды в компенсаторе давления не превышает установленное значение для уровня h .

В усовершенствованном механизме автоматического контроля уровня компакт-диска используются следующие входные сигналы: – уровень в КД;

– задание уровня;

– материальный баланс КД.

Сигнал материального баланса воды состоит из четырех сигналов:

- расход подпитки;
- расход продувки;
- расход уплотняющей воды на главном циркуляционном насосе (ГЦН);
- расход из уплотнений ГЦН.

Сигнал подпитки представляет собой регулятор уровня сигнала обратной связи с высокой степенью точности. Внутренне ПИ-закон используется для стабилизации подпиточного потока, тогда как П-закон используется во внешнем контуре управления. Остальные сигналы — это сбои, обеспечивающие инвариантность системы.

3.1.4 Составление математической модели ОУ

Процесс построения систем дифференциальных уравнений, описывающих движение объекта, сводится к следующему. Определите материальный или энергетический баланс объекта, выявив его кинетические законы, гидродинамические условия и т. д. Кроме того, абсолютные значения входных и выходных величин преобразуются в безразмерные приращения [8].

Далее на рисунке 15 показано изображение системы регулирования уровня теплоносителя в компенсаторе давления.

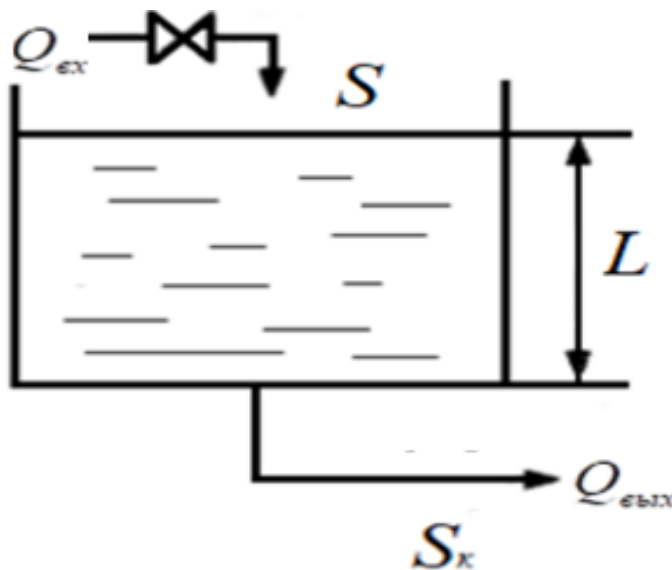


Рисунок 15 - Резервуар с регулируемым уровнем

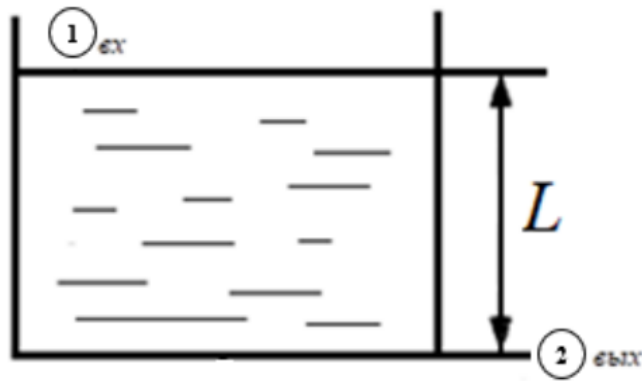


Рисунок 16 – Статическая модель системы уровней

Применяя закон Бернулли между точками 1 и 2:

$$P_1 + \frac{1}{2}mv^2 + mgL = P_2 + \frac{1}{2}mv^2 + mgL \quad (1)$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgL \quad (2)$$

Получается уравнение скорости:

$$v = \sqrt{2gL} \quad (3)$$

Расход на выходе из бака для случая сечения S:

$$Q_{\text{ВХ}} = S\sqrt{2gL} \quad (4)$$

Расход через задвижку

$$Q_{\text{ВЫХ}} = KS_k \sqrt{\Delta P} \quad (5)$$

Можно сделать вывод, что поток через задвижку пропорционален площади открытия задвижки в том случае, если перепад давления постоянный. На практике мы берем задвижку с интеллектуальным поведением, при котором можно сделать более или менее линейное приближение между расходом $Q_{\text{ВЫХ}}$ и открытием задвижки.

Тогда:

$$Q_{\text{ВЫХ}} = K_2 \alpha_2 \sqrt{2gL}, \quad (6)$$

где: $Q_{\text{ВЫХ}}$ - расход выхода; K_2 – констант; α_2 – открытие выходной задвижки.

Предположим, что входной расход (поток) пропорционален открытию входной задвижки, учитывая постоянную подачу.

Тогда:

$$Q_{ВХ} = K_1 \alpha_1 \quad , \quad (7)$$

где: $Q_{ВХ}$ - расход входа; K_1 – констант; α_1 – открытие входной задвижки Бака, управляемый впускной задвижкой (1), считая « α_2 » возмущение.

Тогда:

$$A \frac{dL}{dt} = Q_{ВХ} - Q_{ВЫХ} \quad (8)$$

Замена значений из уравнений 6 и 7 на 8.

$$A \frac{dL}{dt} = K_1 \alpha_1 - K_2 \alpha_2 \sqrt{2gL} \quad (9)$$

Устанавливаем точку безубыточности:

$$A \frac{dL}{dt} = 0$$

Тогда:

$$Q_{ВХ} = Q_{ВЫХ} \quad (10)$$

$$K_1 \alpha_1 = K_2 \alpha_2 \sqrt{2gL} \quad (11)$$

Равновесный уровень:

$$L_0 = \left(\frac{K_1 \alpha_1}{K_2 \alpha_2 \sqrt{2g}} \right)^2 \quad (12)$$

Линеаризовать по Тейлору (α_2 - постоянный) : $\bar{L} = L_0$

$$f(\alpha_1, L) = A \frac{dL}{dt} \quad (13)$$

$$f(\alpha_1, L) = f(\bar{\alpha}_1, \bar{L}) + \frac{\partial f}{\partial \alpha_1} \Delta \alpha_1 + \frac{\partial f}{\partial L} \Delta L \quad (14)$$

$$\Delta \alpha_1 = \alpha_1 - \bar{\alpha}_1; \Delta L = L - \bar{L}$$

$$f(\alpha_1, L) = K_1 \bar{\alpha}_1 - K_2 \alpha_2 \sqrt{2g\bar{L}} + K_1 \Delta \alpha_1 - \frac{K_2 \alpha_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{\bar{L}}} \Delta L \quad (15)$$

$$f(\alpha_1, L) = A \frac{dL}{dt} : (\bar{\alpha}_1; \bar{L}) + K_1 \Delta \alpha_1 - \frac{K_2 \alpha_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{\bar{L}}} \Delta L \quad (16)$$

$$f(\alpha_1, L) = A \frac{dL}{dt}$$

$$A \frac{dL}{dt} = A \frac{dL}{dt} : (\bar{\alpha}_1; \bar{L}) + K_1 \Delta \alpha_1 - \frac{K_2 \alpha_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{\bar{L}}} \Delta L \quad (17)$$

$$A \frac{dL}{dt} - A \frac{dL}{dt} : (\bar{\alpha}_1; \bar{L}) = K_1 \Delta \alpha_1 - \frac{K_2 \alpha_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{\bar{L}}} \Delta L \quad (18)$$

$$A \frac{d\Delta L}{dt} = K_1 \Delta \alpha_1 - \frac{K_2 \alpha_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{\bar{L}}} \Delta L \quad (19)$$

Применить преобразование Лапласа

$$AsL(s) = K_1\alpha_1(s) - \frac{K_2 \alpha_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{L}} \Delta L(s) \quad (20)$$

$$\frac{L(s)}{\alpha_1(s)} = \frac{K_1}{As + \frac{K_2 \alpha_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{L}}} \quad (21)$$

$$W(S) = \frac{L(s)}{\alpha_1(s)} = \frac{\frac{K_1}{\frac{K_2 \alpha_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{L}}}}{\frac{A}{\frac{K_2 \alpha_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{L}}}S + 1} \quad (22)$$

$$K = \frac{K_1}{\frac{K_2 \alpha_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{L}}}; T = \frac{A}{\frac{K_2 \alpha_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{L}}} \quad (23)$$

3.1.4 Определение динамических параметров ОУ

После получения формулы (22), (23) К и Т поставляем значения

L – Уровен воды(11.6);

S – Площадь бака (6.58 м²);

S_К – Площадь сечения задвижки (0.14 м²);

$$K = \frac{1}{\frac{0.141 * 1 * \sqrt{2 * 9.81}}{2\sqrt{11.6}}} = 10.95 \text{ с/м}^2;$$

$$T = \frac{6.58}{\frac{0.141 * 1 * \sqrt{2 * 9.81}}{2\sqrt{11.6}}} = 72 \text{ с};$$

Передаточная функция ОУ имеет вид (24).

$$W(S) = \frac{K}{Ts + 1} \quad (24)$$

При $\bar{L} = 8.77$ м, $K = 10,6$ - коэффициент усиления апериодического звена, $T = 70$ - параметр динамической настройки апериодического звена.

Тогда:
$$W_{Oy}(S) = \frac{10,95}{72s + 1}.$$

3.2 Исполнительный механизм (регулирующий орган)

Задвижка — это устройство, которое регулирует, направляет или контролирует поток текучей среды, открывая, закрывая или частично блокируя различные проходы (газы, жидкости, псевдооживленные твердые вещества и др.).

Электромагнитный задвижка (также называемый соленоидным задвижкой) — это тип электромеханического устройства, используемого для управления потоком рабочей жидкости. Электромагнитный соленоидный задвижка состоит из двух Расходы на притоке и на стоке (q_i и q_o), а также изменения количества жидкости в резервуаре связаны следующей зависимостью (в приращениях) (поршнем) и задвижки со сквозным отверстием, в котором установлен диск или поршень для открытия или закрытия потока. Магнитного сердечника, который втягивается в соленоид, когда на катушку подается питание, открывает или закрывает задвижка.

Задвижки ТК31,32S02 служат для регулирования уровня в КД и работают в режиме синхронизации (после открытия 1-й задвижки открывается второй, после закрытия второго закрывается первый).

Технические характеристики на задвижку, регулирующей ТК31,32S02: Обозначение 1074-100-Э-01:

- полный ход задвижки, мм 50+2;
- время полного открытия (закрытия) задвижки не более, сек 35 DN:100;
- рабочая среда: давление, 24,5 МПа; температура: 100 °С;
- материал корпуса (сталь): 08Х18Н10Т;
- рабочий перепад давления, МПа, не более: -
- максимальный перепад давления, МПа: 4,4;
- максимальная пропускная способность K_v100 , т/ч: 6,4 Максимальное осевое усилие на штоке, Н: 33000 Масса, кг: 414.

Классификационное обозначение по НП-068-05:3СШа Место установки: В обслуживаемых помещениях

Таблица 4. - Ход-расходная характеристика на РЗ

Ход, мм	6	11	16	26	36	46	52
Пропускная способность K_v , т/ч	0	1	1.8	3.1	4.6	6	7.3

Где ΔQ - изменение поступающего потока;

$\Delta\%$ – изменение степени открытия задвижки (в процентах).

Чтобы осуществить возможность регулирования поступающего потока:

$$Q = 1.0 \cdot K_v \cdot \sqrt{\Delta P \rho}, \quad (25)$$

где Q – расход среды, т/ч;

$K_v = 6.4$ т/ч – пропускная способность, т/ч

$\Delta P = 4.4$ Мпа = 44.867 кгс/ см² – перепад давления на задвижке,

$\rho = 0.96578$ г /см³ - плотность среды при рабочих параметрах,

$$\Delta Q = K_v \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}; \quad (26)$$

$$K_{\text{ИМ}} = \frac{K_v \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}}{\Delta 100\%} \quad (27)$$

подставим значение в формулу (49) и получим значение

$$K_{\text{ИМ}} = \frac{\frac{4.4 \cdot 1000}{3600} \sqrt{\frac{44.896}{965.78}}}{0.1 \cdot 100\%} = 0.012 \text{ м}^3/\text{с} \quad (28)$$

$K_{\text{ИМ}} 0.012 \text{ м}^3/\text{с} = 42.87 \text{ м}^3/\text{ч}$ – коэффициент усиления регулирующего органа.

Передаточная функция регулирующего задвижки без инерционности согласно формуле (29).

$$W(s) = K_{\text{ИМ}} \quad (29)$$

Таким образом, регулирующей задвижкой управляется командой открытия из регулятора уровня воды УРС-03 и является пропорциональным исполнительным механизмом.

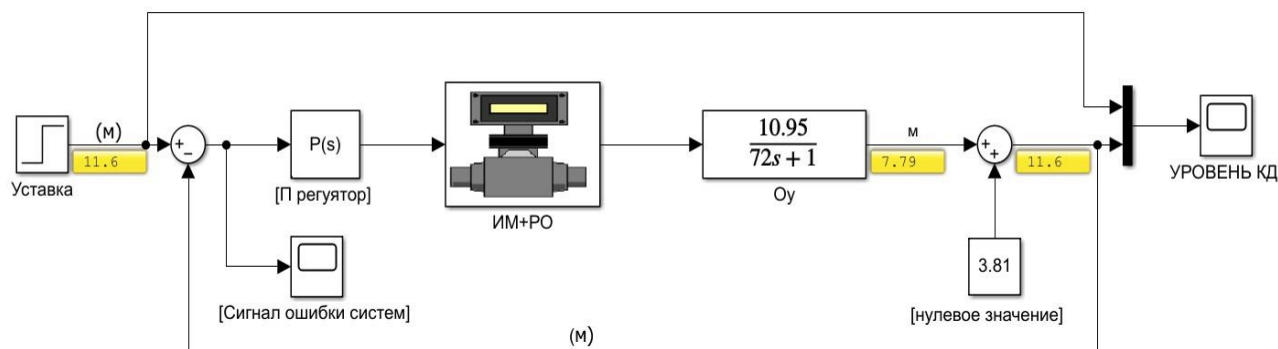
При полном открытии задвижки на 100% расход воды равняется 42.24 м³/ч. Тогда коэффициент $K_{\text{ИМ}}$ регулирующей задвижки высчитывается следующим образом:

$$K_{\text{ИМ}} = 0.00012 \frac{\text{м}^3}{\% \cdot \text{с}}. \quad (30)$$

3.3 Реализация и проверка модели ОУ и ИМ в MATLAB/Simulink

Для исследования возможности применения регулирующей задвижки с инерционностью сделаны моделирование с изменением передаточной функции исполнительного механизма.

Все элементы системы показаны с единицами измерения, что обозначает что при уставке обрабатывается и выходит значение в то же единице измерения, как показано на рисунках 17 и 18. На рисунке 17 видно нулевое значение. Это значение подставлено из-за того, что нулевому сигналу датчика соответствует



уровень $\alpha=3,81\text{м}$

Рисунок 17 - Структурная схема моделирования с регулятором П

Из рисунка 18 видно, что система находится при полуоткрытом задвижке и эта возможность информирует о том, что система может измениться при возмущающем воздействии (при снижении воды).

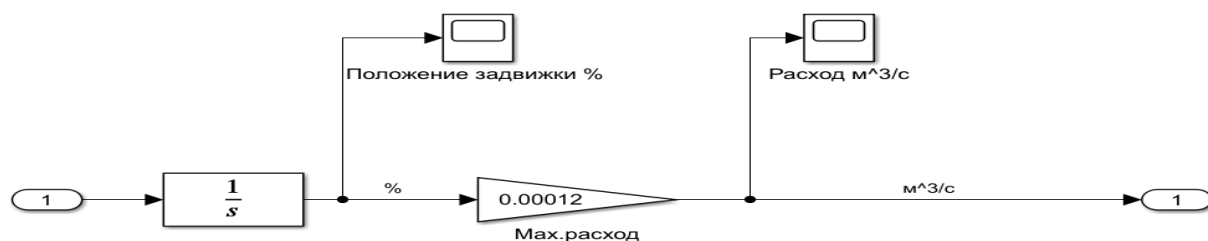


Рисунок 18 - Структурная схема моделирования ИМ и РО

По рисунку 19 видно, что регулятор улучшает качество регулирования при подстановке $\text{П} = 2.89$.

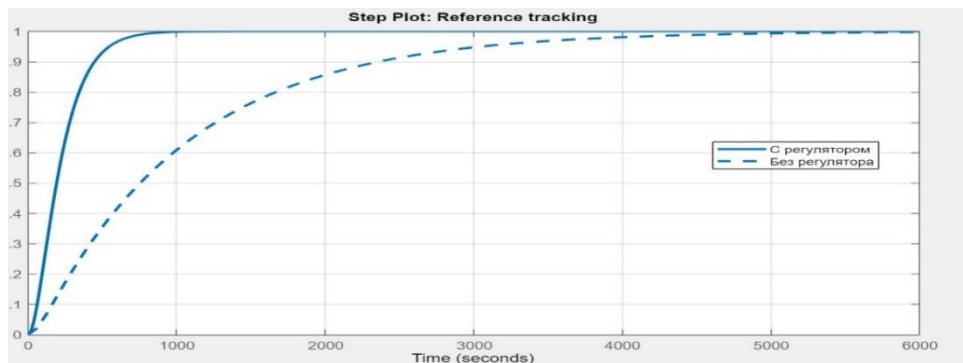


Рисунок 19 - Реакция системы на ступенчатую функцию

Как на рисунке 20 видно, что задвижки открыт на 50% от уставки без возмущения.

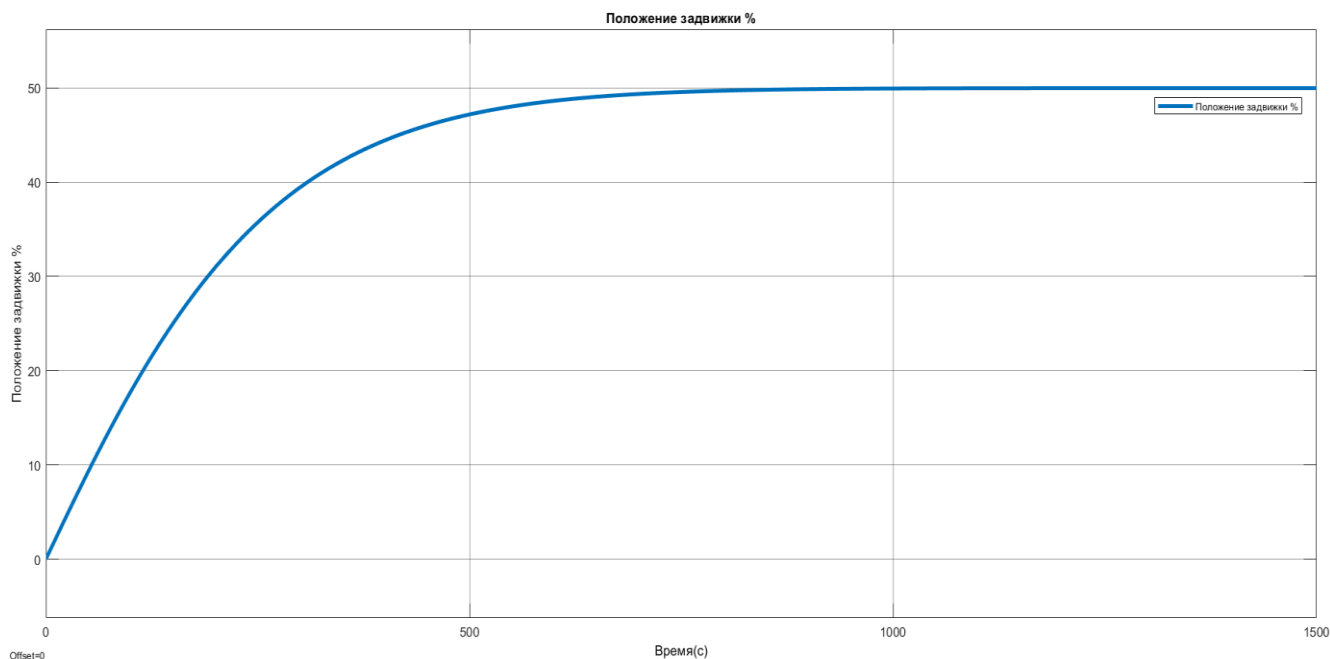


Рисунок 20 - Положение задвижки % ОУ и ИМ с регулятором

На рисунке 21 показано при полуоткрытом задвижке проходящий расход равен значению $0.12/2\text{м}^3/\text{с}=0.006\text{м}^3/\text{с}$.

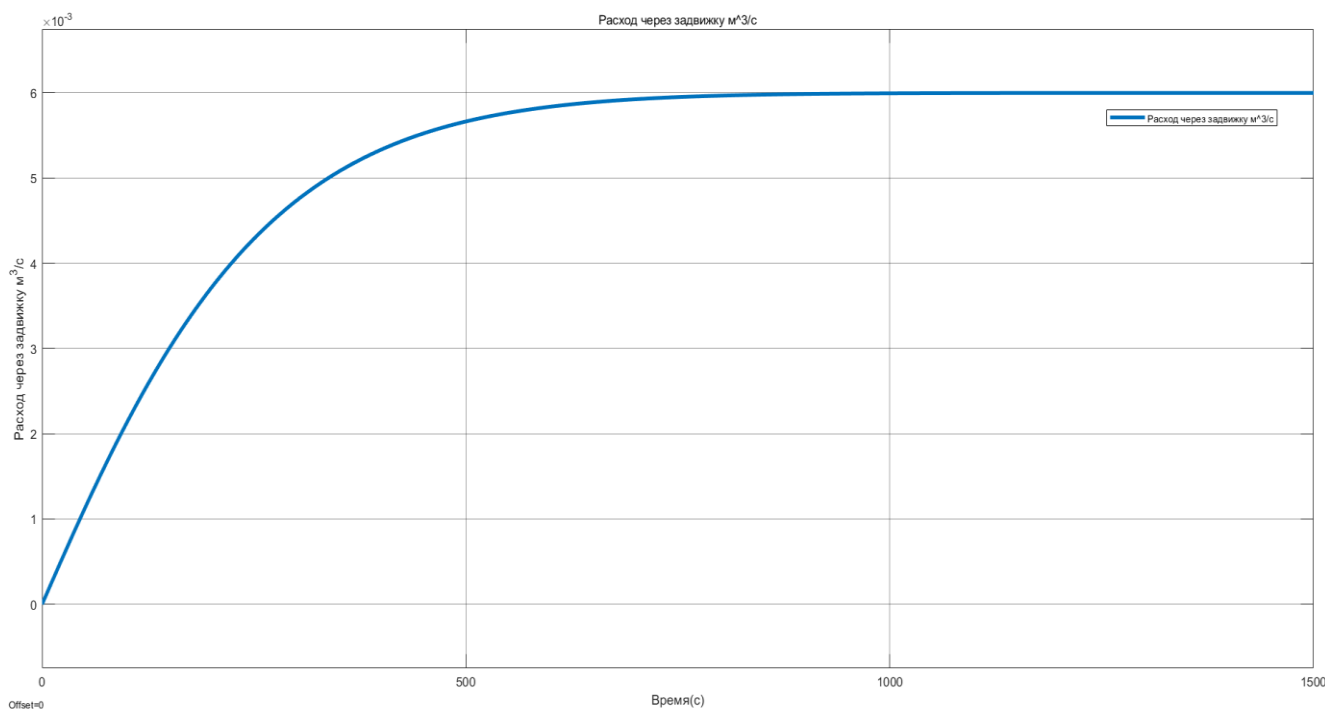


Рисунок 21 - Расход через задвижку м³/с ОУ и ИМ с регулятором

На рисунок 22 показан результат моделирования регулятора уровня УРС03 в КД -изменение расхода воды подаваемой в ТК31S02 через задвижку и открытие задвижки как функция времени.

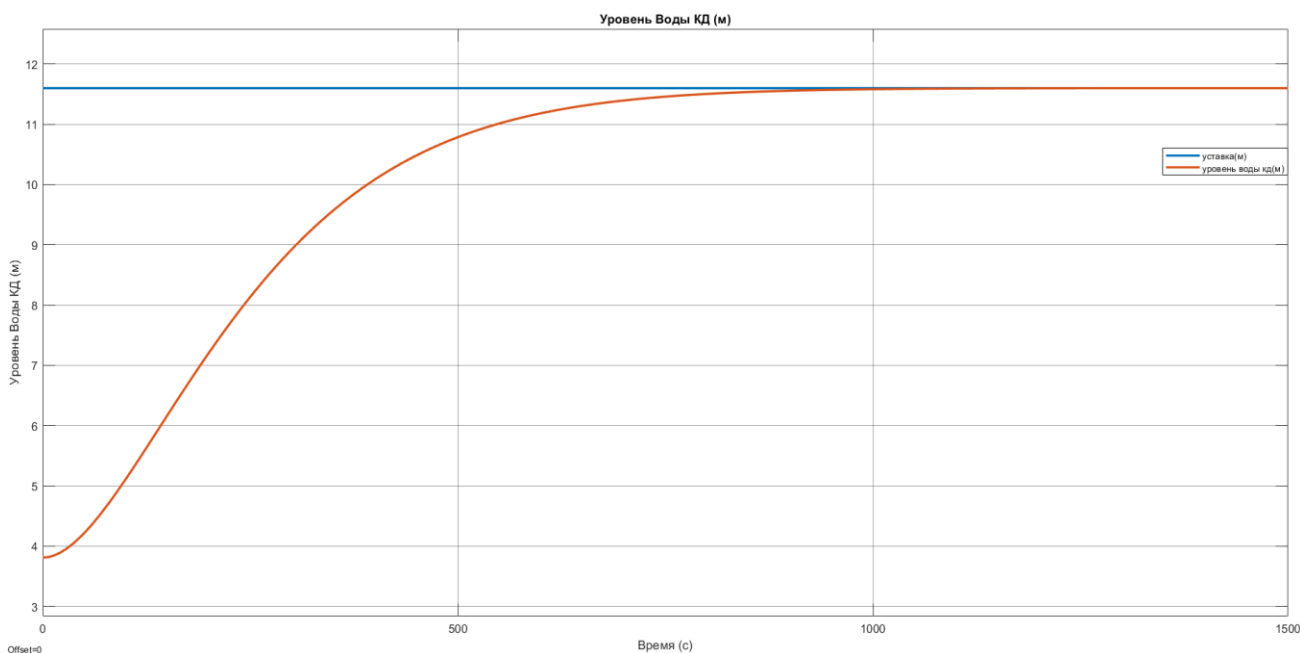


Рисунок 22 - Временные характеристики ОУ и ИМ с регулятором П.
(Уровень воды 11.6 м)

Возмущения — это внешние или внутренние сигналы, которые вмешивают процессу, что приводит к нестабильности сигнала задвижки,

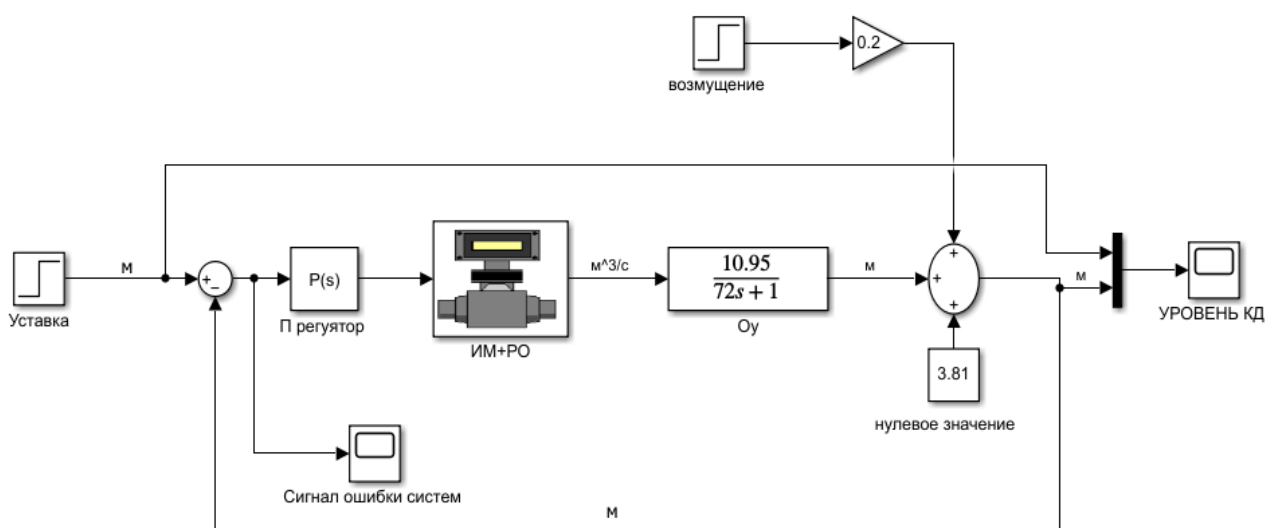
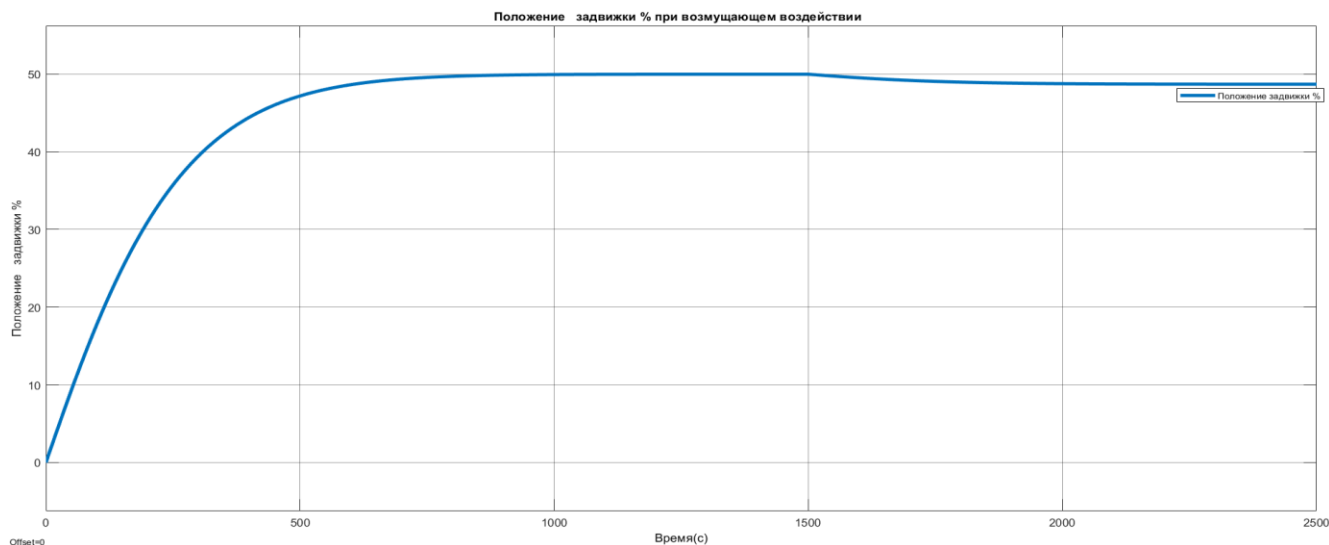


Рисунок 23 - Структурная схема моделирования с регулятором П и с возмущением (+0.2)

На рисунке 24-видно, что при возмущающее воздействием при случи если



уровень воды поднялся 0.2м

Рисунок 24 - Положение задвижки % ОУ и ИМ с регулятором при возмущающем воздействии

На рисунке 25 показана реакция системы на возмущение +0.2м и видно, что изменилось положение задвижки. Изменение расхода подаваемой в ТК31S02 через задвижку и степень открытие задвижки, как функция времени, это изменение можно наблюдать в поведении, показанном на рисунке 25 и 26. На рисунках видно, что и расход воды уменьшаются по мере увеличения уровня воды с эффектом возмущения

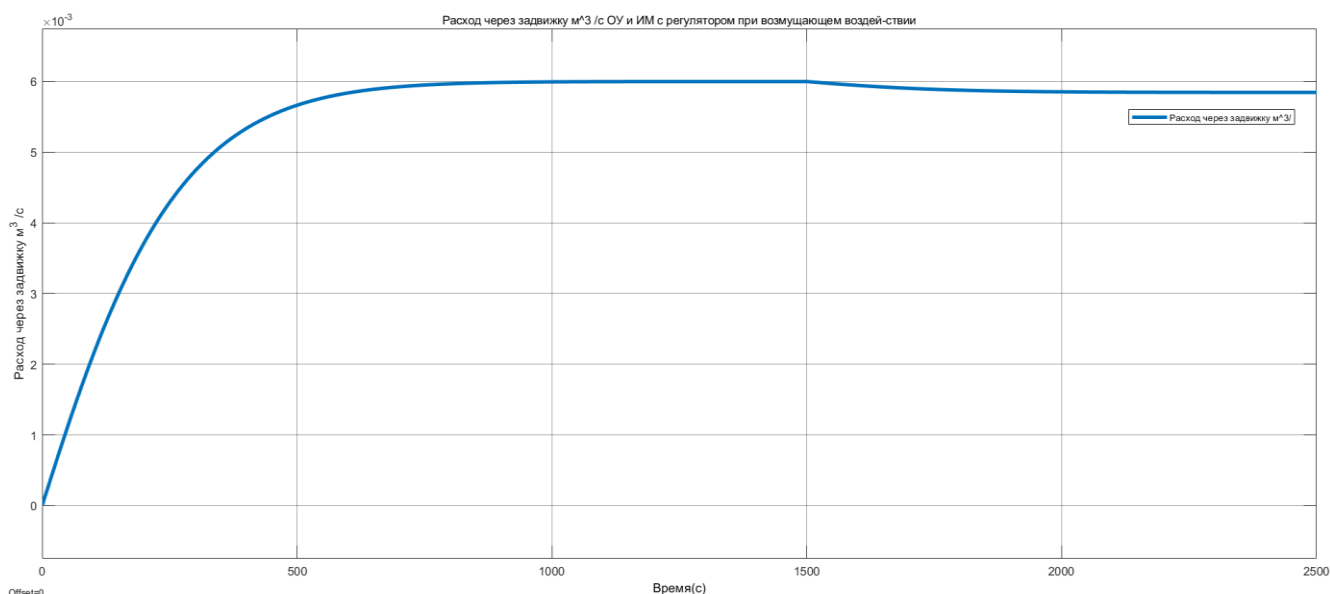


Рисунок 25 - Расход через задвижку м³/с ОУ и ИМ с регулятором при возмущающем воздействии

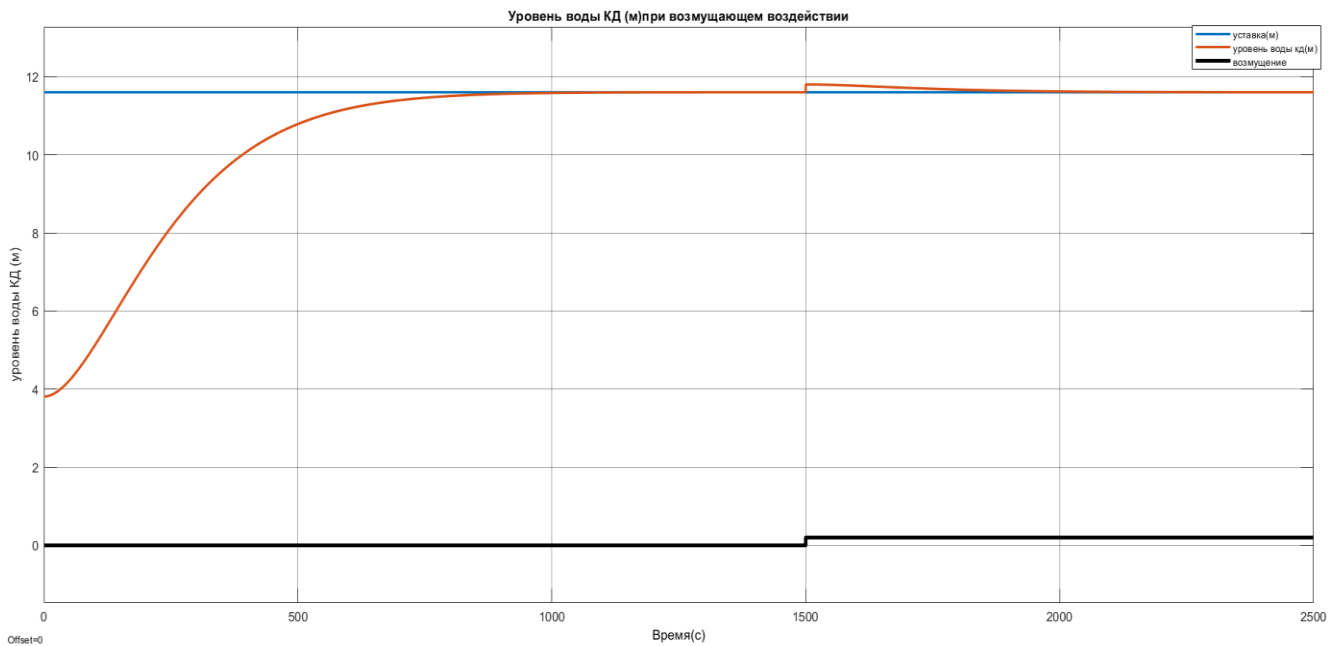


Рисунок 26 - Временные характеристики ОУ и ИМ с регулятором П при возмущающем воздействии (Уровень воды 11.6м)

На рисунке 27 показана реакция системы при возмущении (-2 м) и видно, что изменилось положение задвижки

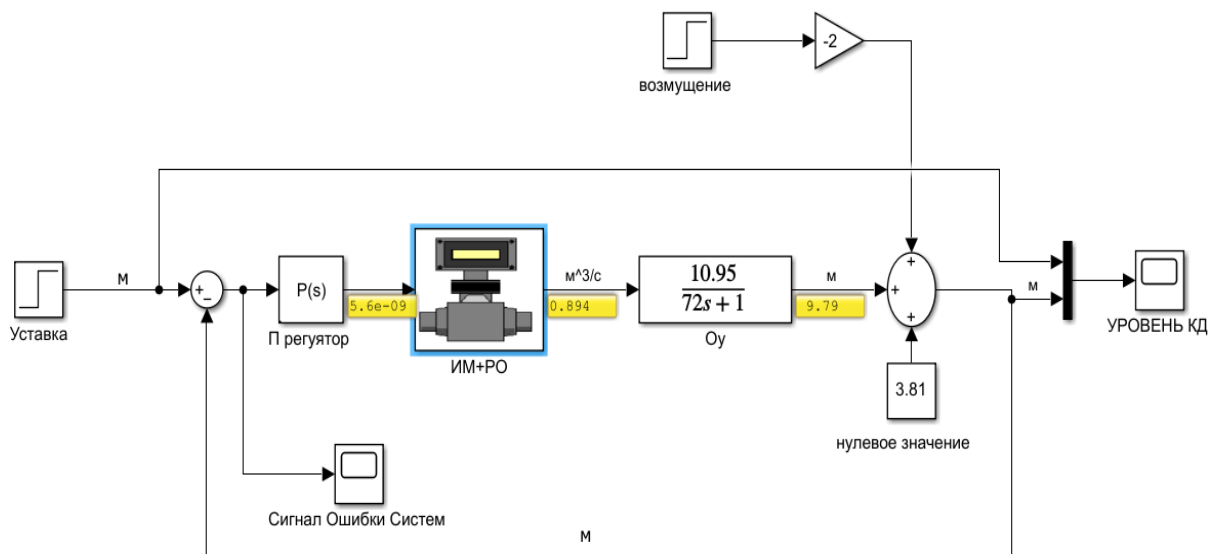
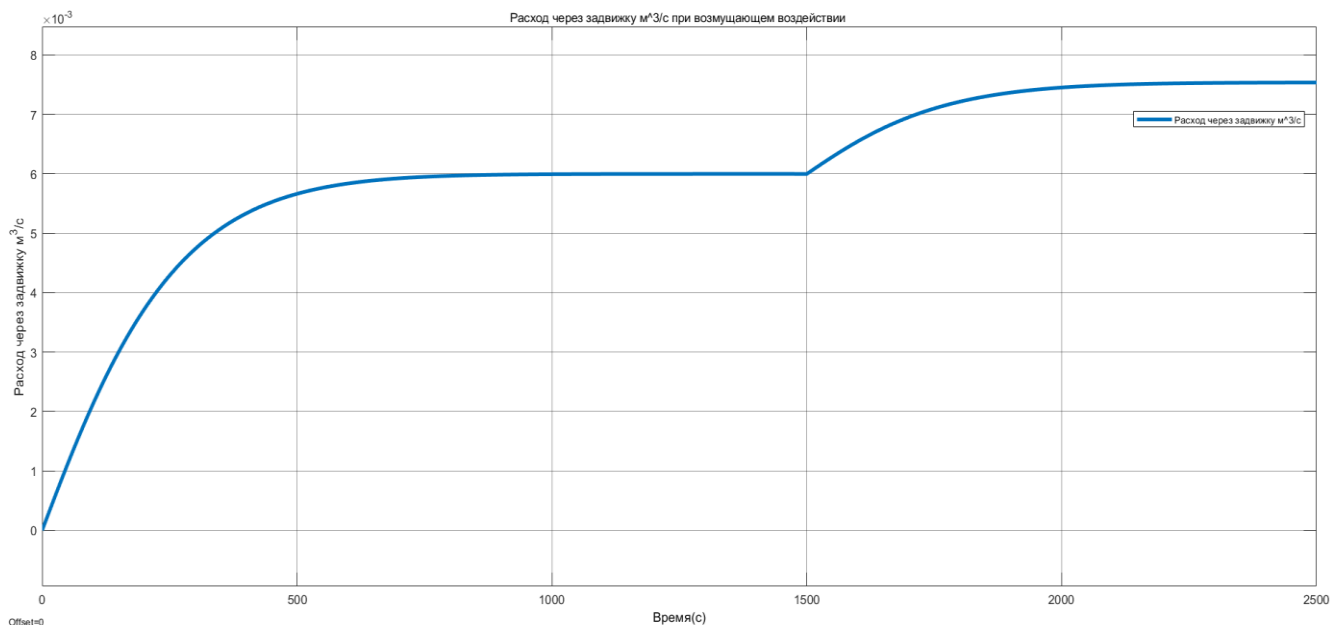


Рисунок 27- Структурная схема моделирования с регулятором П и с возмущением (-2м)

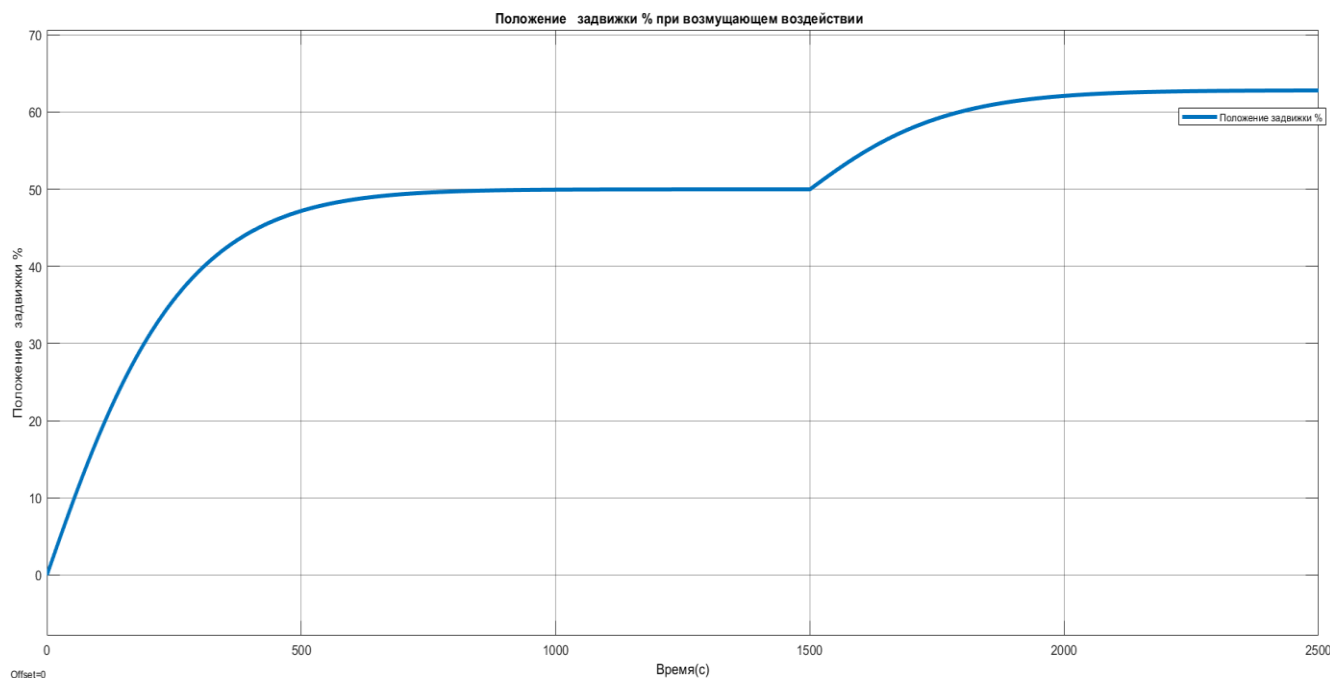
На рисунке 28 показано изменения положения задвижки. при изменении



расхода через задвижку

Рисунок 28 - Расход через задвижку м³/с ОУ и ИМ с регулятором при возмущающем воздействии

На рисунке 29 показано изменения расхода через задвижку при изменении



положении задвижки

Рисунок 29 - Положение задвижки % ОУ и ИМ с регулятором при возмущающем воздействии

На рисунке 30 показаны временные характеристики при возмущающем воздействии.

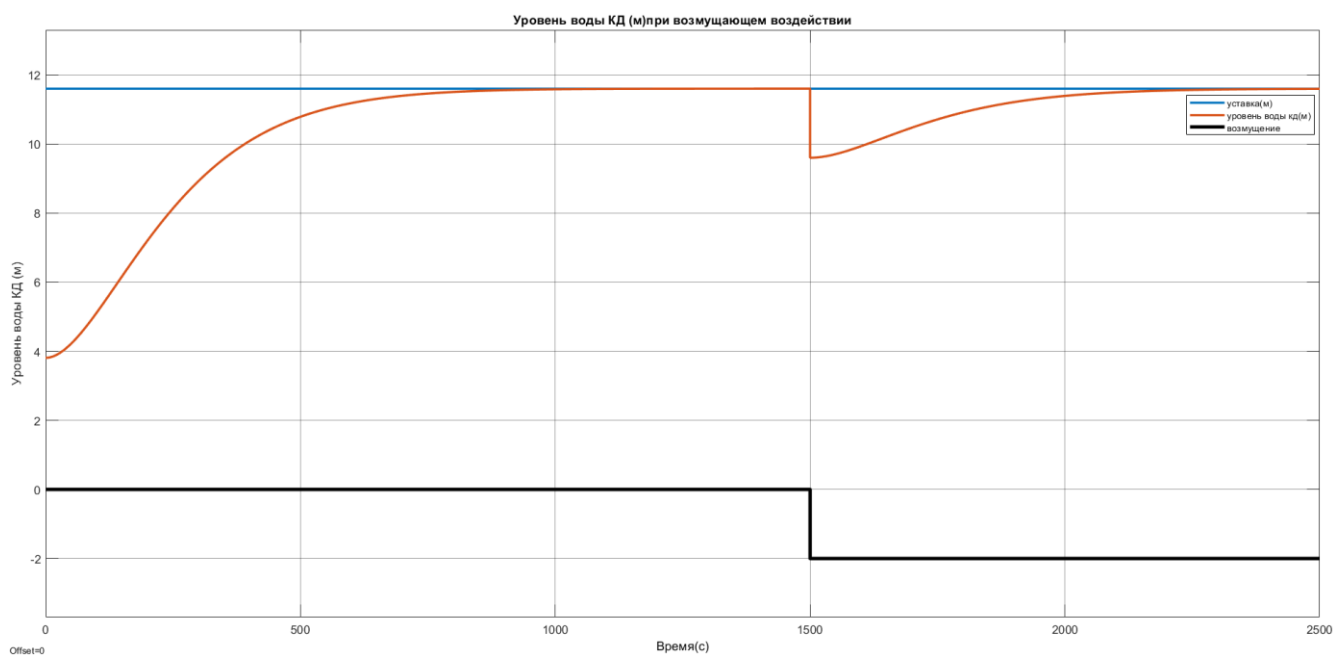


Рисунок 30 - Временные характеристики ОУ и ИМ с регулятором П при возмущении (Уровень воды 11.6м)

4 Исследование модели системы управления в реальном времени

4.1 Системы управления с базами данных в реальном времени

Как правило, отображается база данных системы автоматического управления в режиме реального времени. Переменные (параметры), контролируемые технологическим процессом, агрегируют в пространстве разделяемой памяти ядра процесса (среда программирования или физическое устройство, которое выполняет одну или несколько задач в ограниченный период).

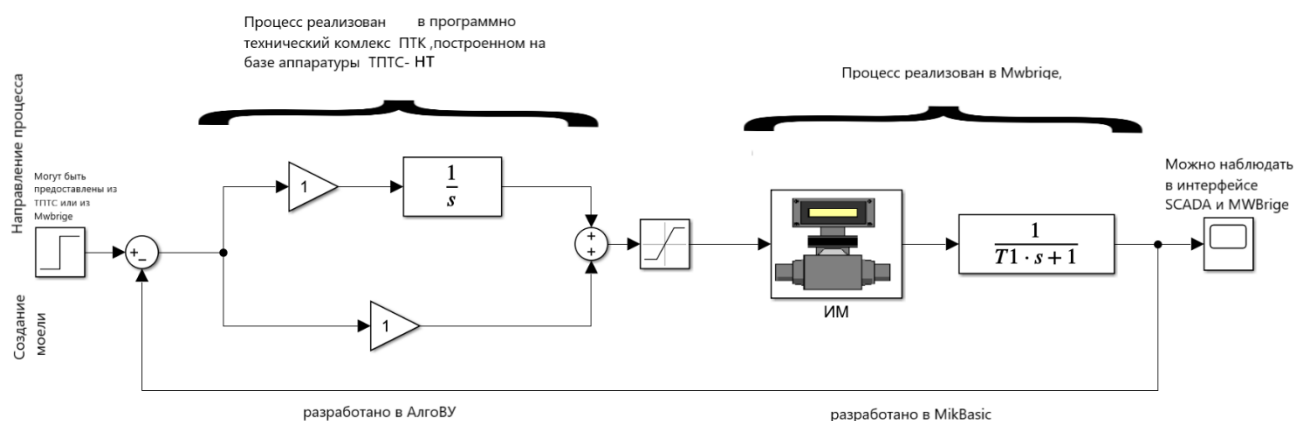
В общем, это пространство может представлять следующие общие характеристики: одновременный и двунаправленный множественный доступ; горячее бронирование; мгновенное обновление во всех модулях; заданное время для каждого рабочего цикла; 100% поддержание целостности данных; системы резервного копирования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

Системы управления, основанные на базах данных реального времени, выполняют широкую функцию; они способны одновременно выполнять несколько задач. Наиболее распространенными задачами являются запись данных, чтение и запись, расчет переменных, прогнозирование трендов, адресация процессов, активация индикаторов и др.

Эти системы позволяют обрабатывать данные в реальном времени по мере их получения, генерирования изнутри (посредством ввода данных пользователем через интерфейс) или генерирования извне (ввод с программируемого устройства, чтение из ПЛК, РТК и т. д.).

Наряду с замечательными особенностями этих систем, они включают в себя большую емкость хранения, возможность масштабирования как оборудования, так и самой системы, обширную поддержку связи в реальном времени с различными протоколами и другими системами обработки, интерфейсы множественного доступа и возможность вручную управлять параметрами, процессами или управляемыми устройствами.

Моделирование системы регулирования уровня в КД включает в себя два основных этапа обработки данных, которые будут реализованы в рамках систем автоматического управления в среде реального времени ПТК «УМИКОН». Далее, на рисунке 31 показана функциональная схема связи систем через ТПТС, для моделирования изучаемого процесса, с применением регулятора, разработанного в среде «GetR1». Но из-за пандемии, пришлось вместо использования ТПТС НТ использовать среду «АлгоВУ» для реализации законов регулирования и среду



«MikBasic» для реализации объекта управления и исполнительного механизма.

Рисунок 31 - Схема компонентов системы регулирования, направления процесса и среды проектирования каждого компонента

На диаграмме изображен каждый из компонентов, составляющих систему автоматического управления; каждый компонент был разработан с использованием различных инструментов программирования.

Кроме того, схема отображает направление или среду, в которой выполняются различные процессы, а также функции многочисленных различий вырабатываются на каждом этапе регулирования. Таким образом, вся система должна быть взаимосвязана с возможностью моделирования в реальном времени. Взаимосвязь различных компонентов указана на функциональной схеме подключения.

ПТК оснащен программным комплексом МИКСИС, который содержит большое количество программ, таких как MWBridge, Display, Trends, Video Viewer и Graph Editor. Этот программный комплекс используется для ввода

необходимых параметров для модулей, получения значений от датчиков, связанных с ними, определения результата определенных электрических сигналов и создания алгоритмов для решения проблемы.

MWBridge представляет собой ядро реального времени для операционной системы Windows. Программа обладает универсальным инструментом разработки и поддержки АСУ ТП. MWBridge предназначен для создания автоматизированных рабочих мест среднего или верхнего уровня, серверов смешанного применения, сетевых шлюзов, организации мостов с иными приложениями, а также для настройки и программирования модулей комплекса технических средств Миккон. Ядро структурно представляет собой систему управления базами данных реального времени, включая средства ведения, обработки, обновления и настройки, а также пользовательские интерфейсы к ним [11].

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 МИККОН, его дизайн позволяет работать с данными вручную и в среде программирования [11].

MWBridge предоставляет язык программирования «MikBasic» 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 при нулевых начальных условиях

$$W(s) = \frac{L[X_{\text{ВЫХ}}(t)]}{L[X_{\text{ВХ}}(t)]}; \quad (31)$$

$$W(s) = \frac{K}{TS+1} = \frac{X_{\text{ВЫХ}}(S)}{X_{\text{ВХ}}(S)}; \quad (32)$$

$$K \cdot X_{\text{ВХ}}(S) = X_{\text{ВЫХ}}(S) \cdot (TS + 1); \quad (33)$$

$$T \cdot S \cdot X_{\text{ВЫХ}}(S) + X_{\text{ВЫХ}}(S) = K \cdot X_{\text{ВХ}}(S); \quad (34)$$

при $S \rightarrow \frac{d}{dt}$;

$$T \frac{d}{dt} X_{\text{ВЫХ}}(t) + X_{\text{ВЫХ}}(t) = K \cdot X_{\text{ВХ}}(t); \quad (35)$$

$$X^I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{X_{\text{ВЫХ}}(t+\Delta t) - X_{\text{ВЫХ}}(t)}{\Delta t}; \quad (36)$$

$$T \left(\frac{X_{\text{ВЫХ}}(t+\Delta t) - X_{\text{ВЫХ}}(t)}{\Delta t} \right) + X_{\text{ВЫХ}}(t) = K \cdot X_{\text{ВХ}}(t); \quad (37)$$

$$X_{\text{ВЫХ}}(t + \Delta t) - X_{\text{ВЫХ}}(t) = \frac{\Delta t}{T} (K \cdot X_{\text{ВХ}}(t) - X_{\text{ВЫХ}}); \quad (38)$$

$$X_{\text{ВЫХ}}(t + \Delta t) = \frac{\Delta t}{T} (K \cdot X_{\text{ВХ}}(t) - X_{\text{ВЫХ}}) + X_{\text{ВЫХ}}(t). \quad (39)$$

Для кодирования аperiodического звена второго порядка в среде «MikBasic» можно использовать, два последовательно соединенных аperiodических звена первого порядка.

Представленное уравнение имеет соответствующую форму для выполнения кодирования и моделирования в среде MWBridge с помощью интерпретатора «MikBasic», который обеспечивает регистрацию и доступ к текущим и предыдущим значениям временной функции.

Для того чтобы увидеть в уравнение текущее значение функции, величину смещенной во времени функции, которая хранится в адресе памяти интерпретатора (внутренней переменной) «MikBasic» под именем A[n].VALUE, тогда как предыдущее значение сохраняется во внутренней переменной с именем A[n-1]. VALUEOLD, где (n) может принимать целые значения из MWBridge.

Интерпретатор «MikBasic» также предоставляет все документированные функции, которые могут быть использованы для программирования.

Интерфейс интерпретатора и интерфейсы базы данных реального времени MWBridge показаны ниже на рисунках 32 и 33.

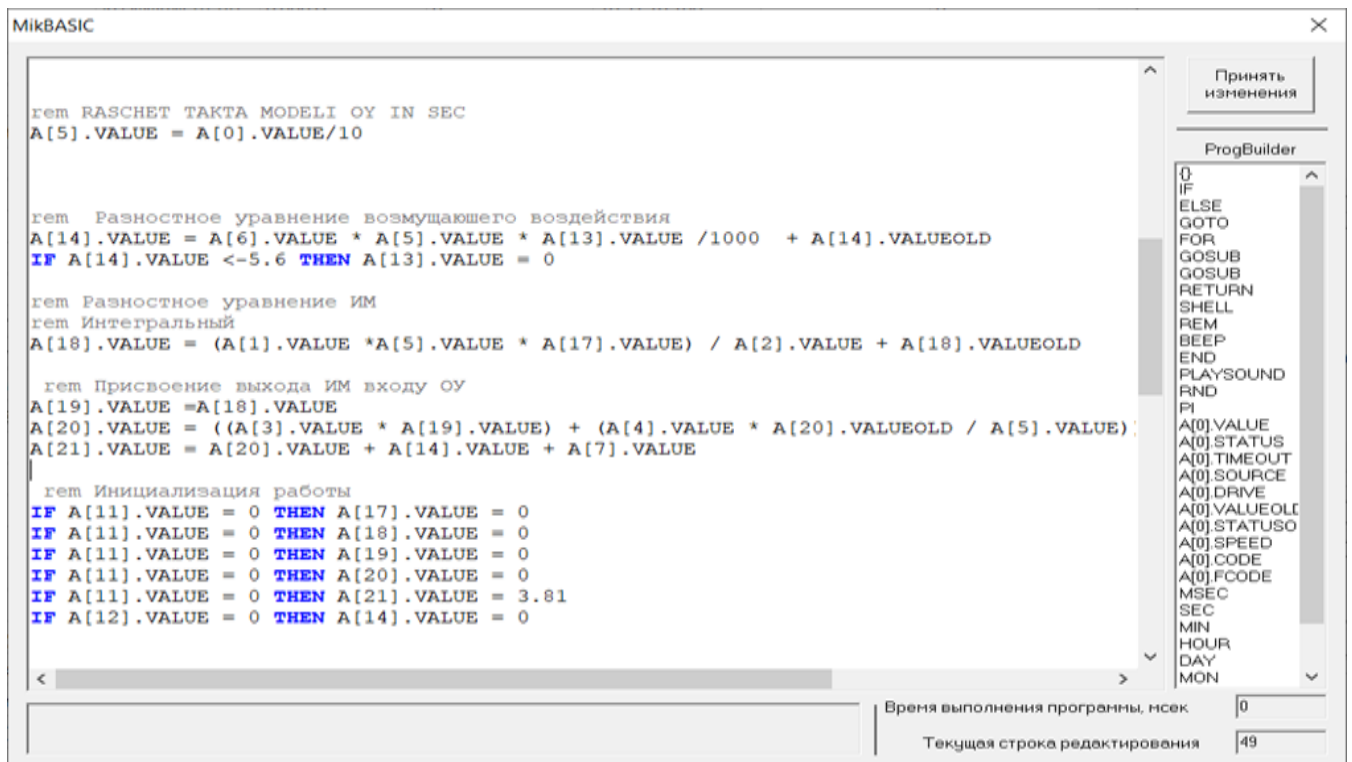


Рисунок 32 - Окно программы «MikBasic»

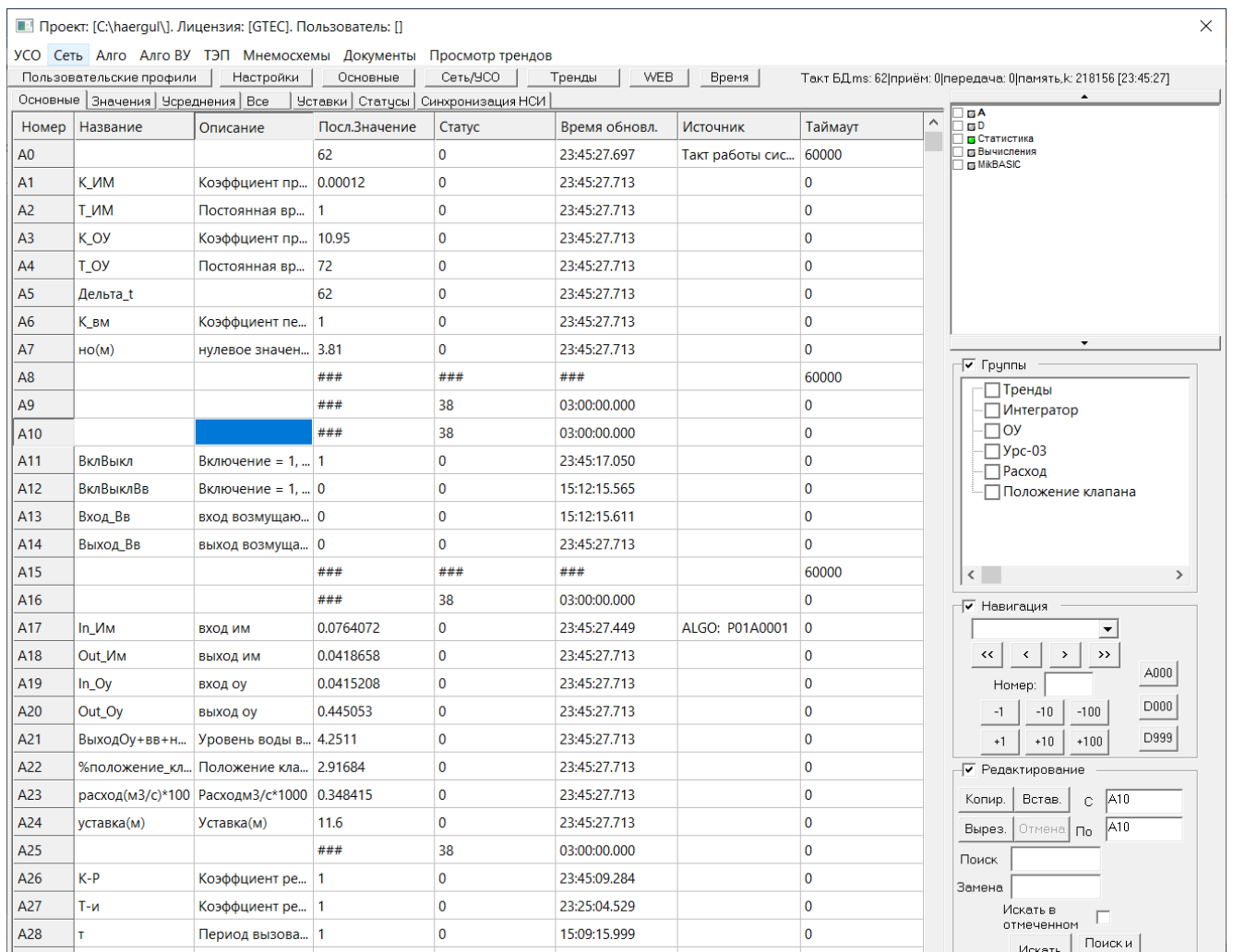


Рисунок 33 - База данных программы MWBridge.

4.3 Синтез регулятора в среде программирования «АлгоВУ»

Система программирования языка алгоблоков предназначена для создания пользовательских процедур, которые выполняются в реальном времени программным обеспечением «MWBridge».

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 которые исполняются последовательно друг за другом. Исполнение процедур производится по специальному циклическому алгоритму разделения времени. Циклы обхода относятся к процедурам, содержащимся в цикле выполнения. Оператор определяет количество циклов обхода (т. е. постоянно выполняющихся процедур) на этапе построения алгоритма (циклы обхода образуют первые процедуры). Первая процедура присутствует всегда и составляет цикл быстрого обхода, который безоговорочно выполняется в начале каждого тактового цикла 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. е. алгоритм организации вычислительного процесса может быть изменен во время работы программы [11].

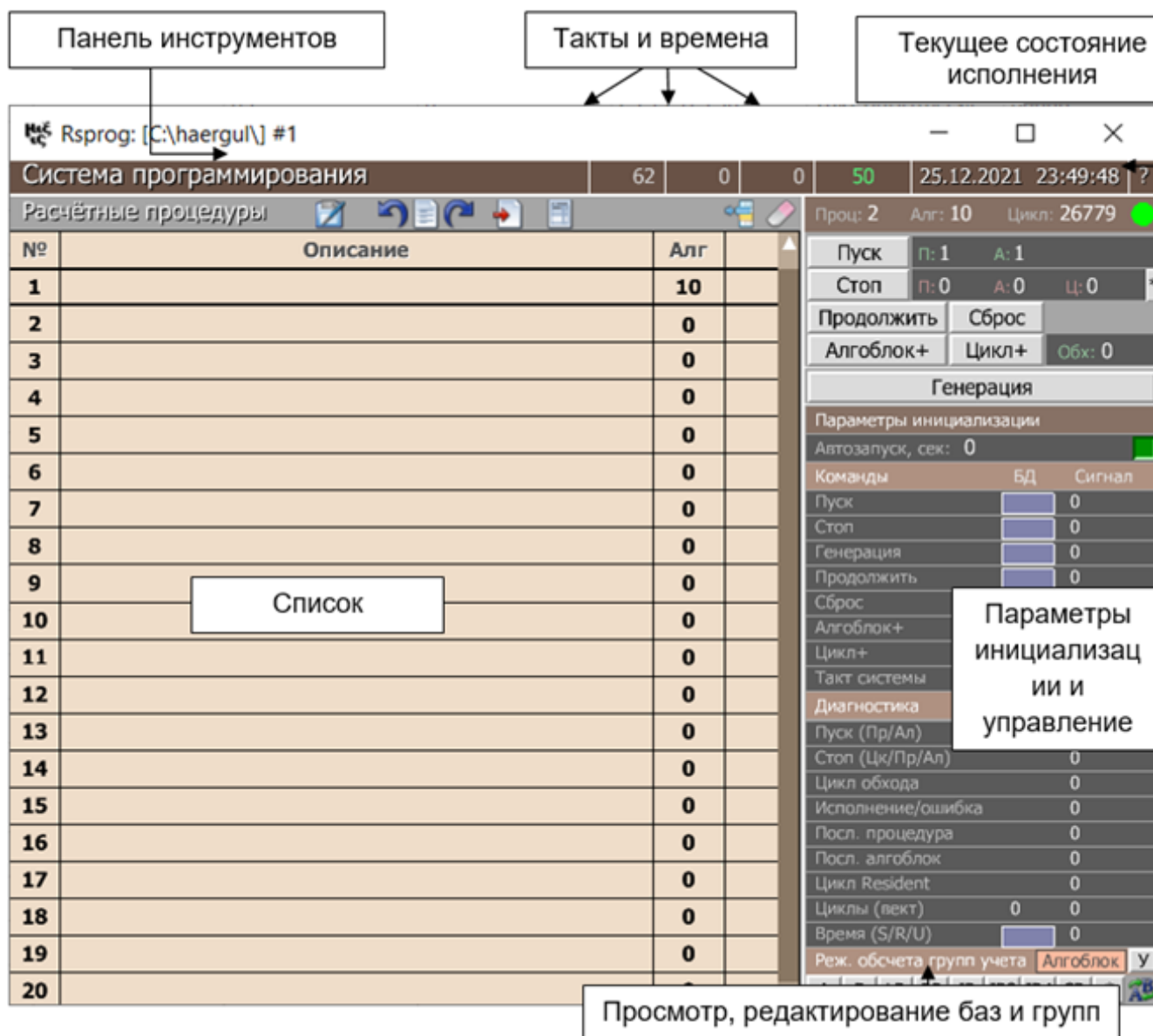


Рисунок 34- Главное окно программы АлгоВУ

Регулятор с выходом на пропорциональный исполнительный механизм.

Параметр 1 - пропорциональная составляющая.

Параметр 2 - постоянная времени объекта (в сек.)

Параметр 3 - 2-я постоянная времени объекта (в сек.)

Операнд 1 - уставка;

Операнд 2 - регулируемая величина;

Условие операнда 1:

1-й элемент - режим работы регулятора:

= 0 - ручной режим;

= 1 - автоматический режим.

2-й элемент - флаг расчета такта регулирования по постоянному времени объекта;

3-й..5-й элементы - управление идентификацией объекта:

3-й элемент - включение алгоритма идентификации;

4-й элемент - включение коррекции параметров регулятора;

5-й элемент - включение режима Пауза.

Условие операнда 2:

1-й элемент - режим безударного включения;

2-й элемент - флаги учета возмущения.

Интеграл ошибки и предыдущее значение интегрального коэффициента хранятся внутри алгоблока, окно которого представлено на рисунке 35.

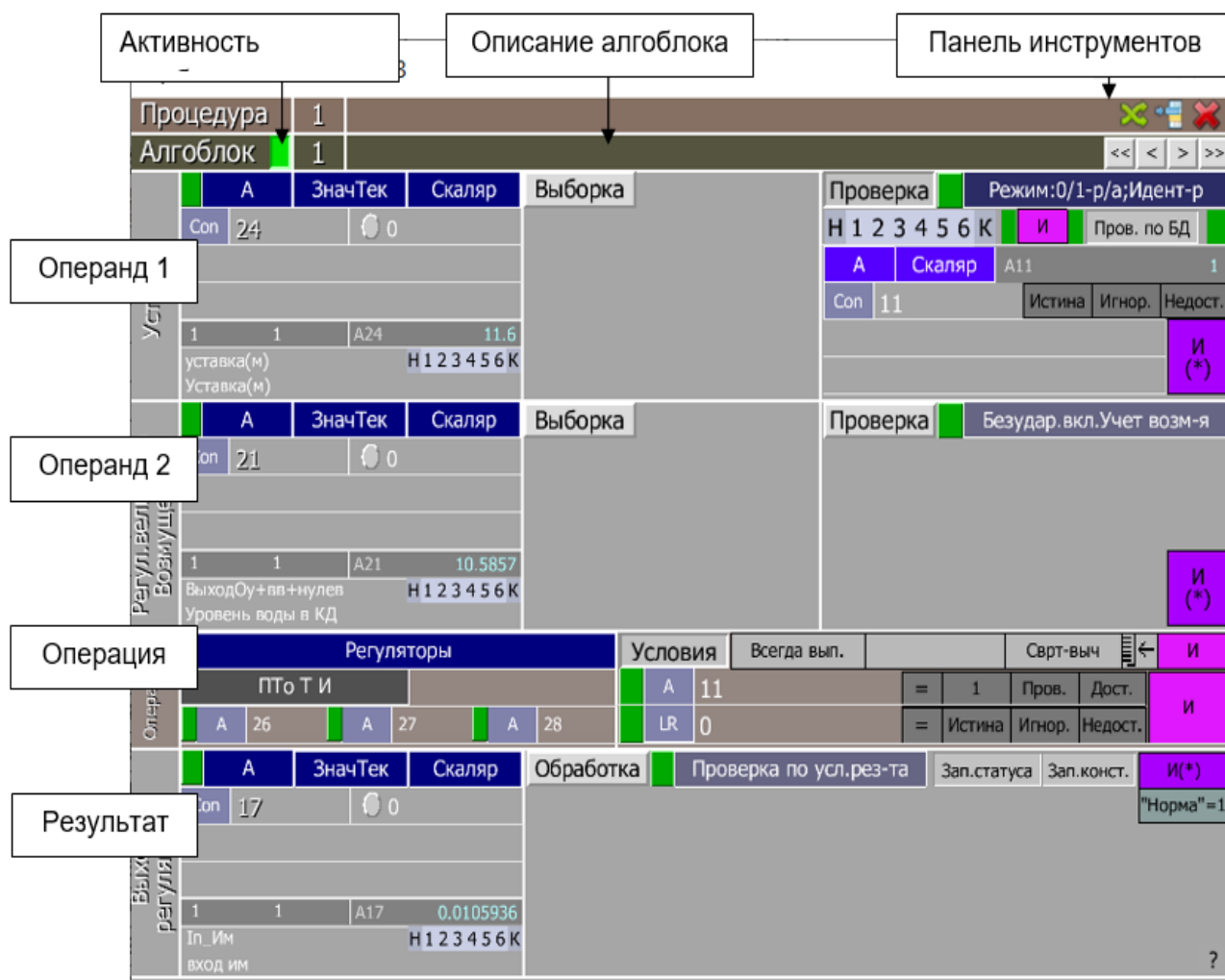


Рисунок 35 - Окно алгоблока

4.4. Настройка и исследование влияния регулятора на качество регулирования

УРС-03 представляет собой пропорционально (П) регулятор. Управляющее воздействие – изменение расхода подпитки первого контура воздействием на регулирующие задвижки подпитки ТК31,32S02.

При П 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 УРС- 03

Пропорциональная составляющая вырабатывает выходной сигнал, противодействующий отклонению регулируемой величины от заданного значения, наблюдаемому в данный момент времени. Он тем больше, чем больше это отклонение. Если входной сигнал равен заданному значению, то выходной равен нулю.

Введем понятие «зона пропорциональности» следующим образом:

$X_{\Pi} = \frac{1}{K_{\Pi}}$, где K_{Π} 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 больше эта зона, тем быстрее отклик регулятора, но слишком высокое быстродействие может ввести систему в автоколебательный режим.

Перед настройкой зоны пропорциональности интегральный компонент отключаются, либо постоянные интегрирования устанавливаются максимально возможными. Далее устанавливается необходимая уставка, а зона пропорциональности устанавливается равной нулю. В этом случае регулятор выполняет функции двухпозиционного регулятора. Далее регистрируется переходная характеристика (Рисунок 36).

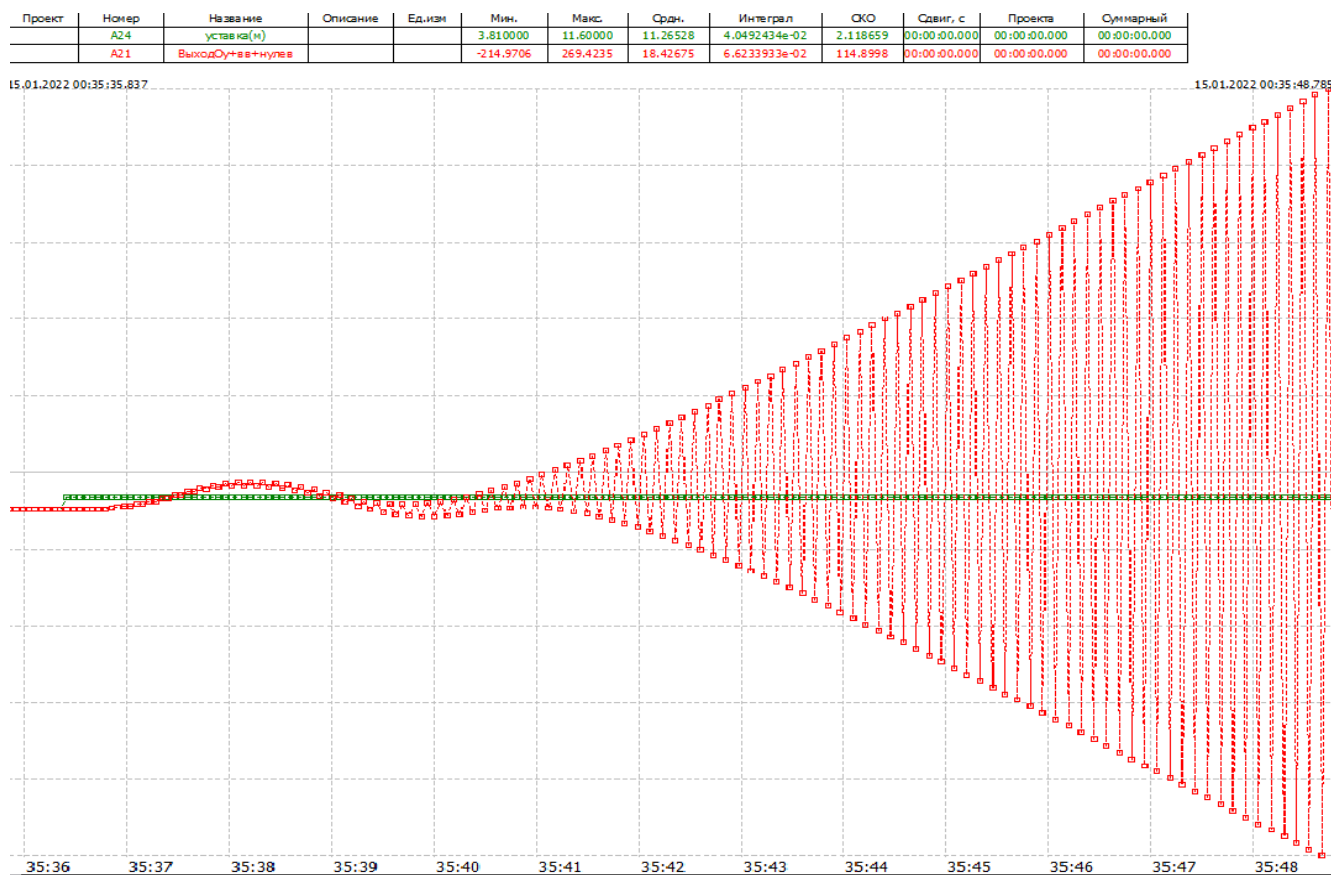


Рисунок 36- Временная характеристика при значении $X_p \sim 0$ $K_{II}=1000$

$$\sigma_{\text{макс}} = \frac{270-11.6}{11.6} 100\% \sim 1800\%$$

Необходимо установить зону пропорциональности, равной размаху колебаний уровня воды. Это значение служит первым приближением для зоны пропорциональности. Следует проанализировать переходные характеристики еще раз и при необходимости скорректировать значения зоны пропорциональности.

В переходной характеристике на рисунке 37 наблюдаются колебания. С точки зрения теории автоматического управления переходная характеристика далека от оптимальной, так как колебания все еще наблюдаются. Это объясняется тем, что значение зоны очень мало, зону пропорциональности следует значительно увеличить.

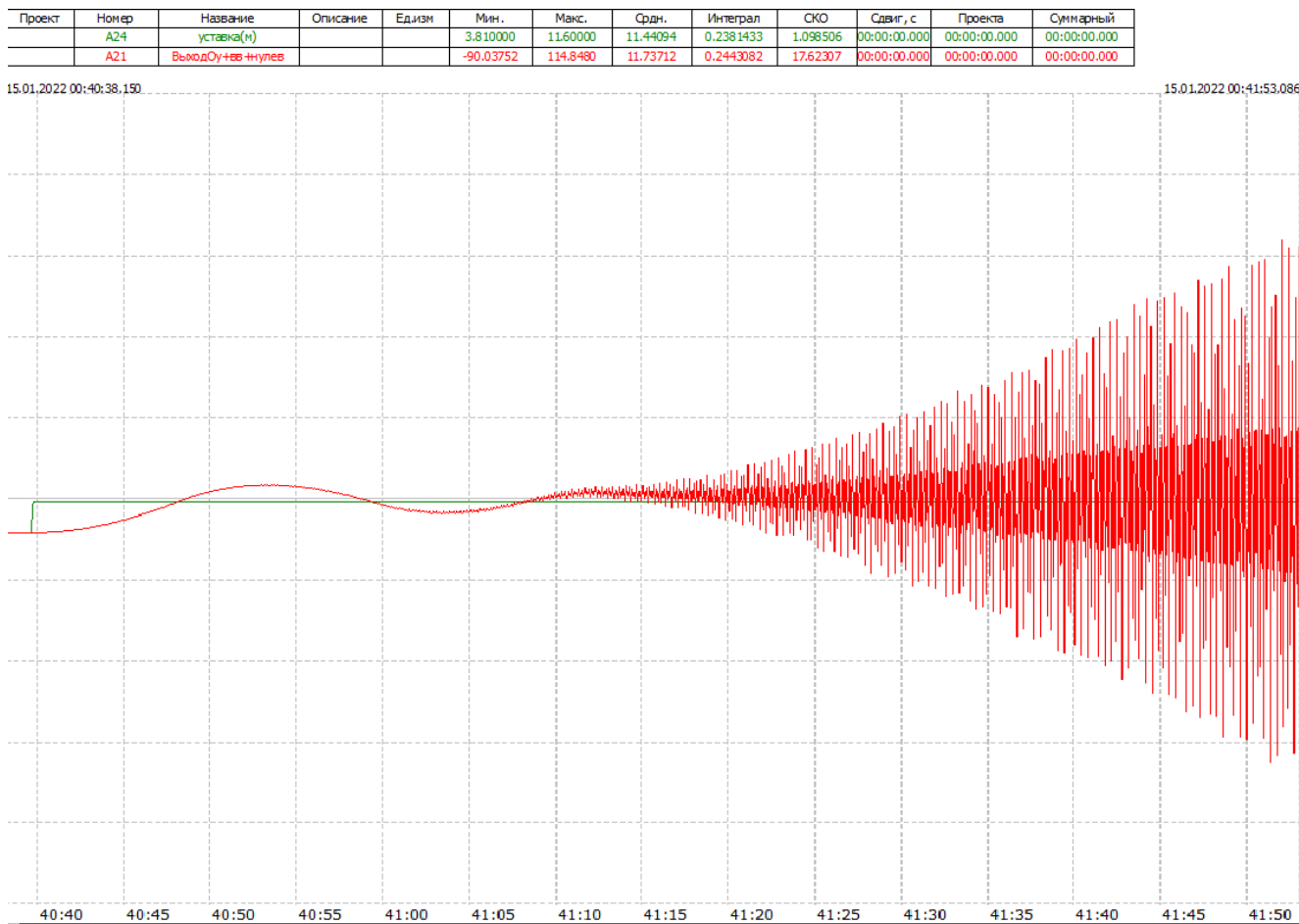


Рисунок 37 - Переходная характеристика при значении $K_{\Pi} = 500$

$$\sigma_{\max} = \frac{115 - 11.6}{11.6} 100\% \sim 900\%.$$

В переходной характеристике на рисунке 38 наблюдаются небольшой выброс (перерегулирование). 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.

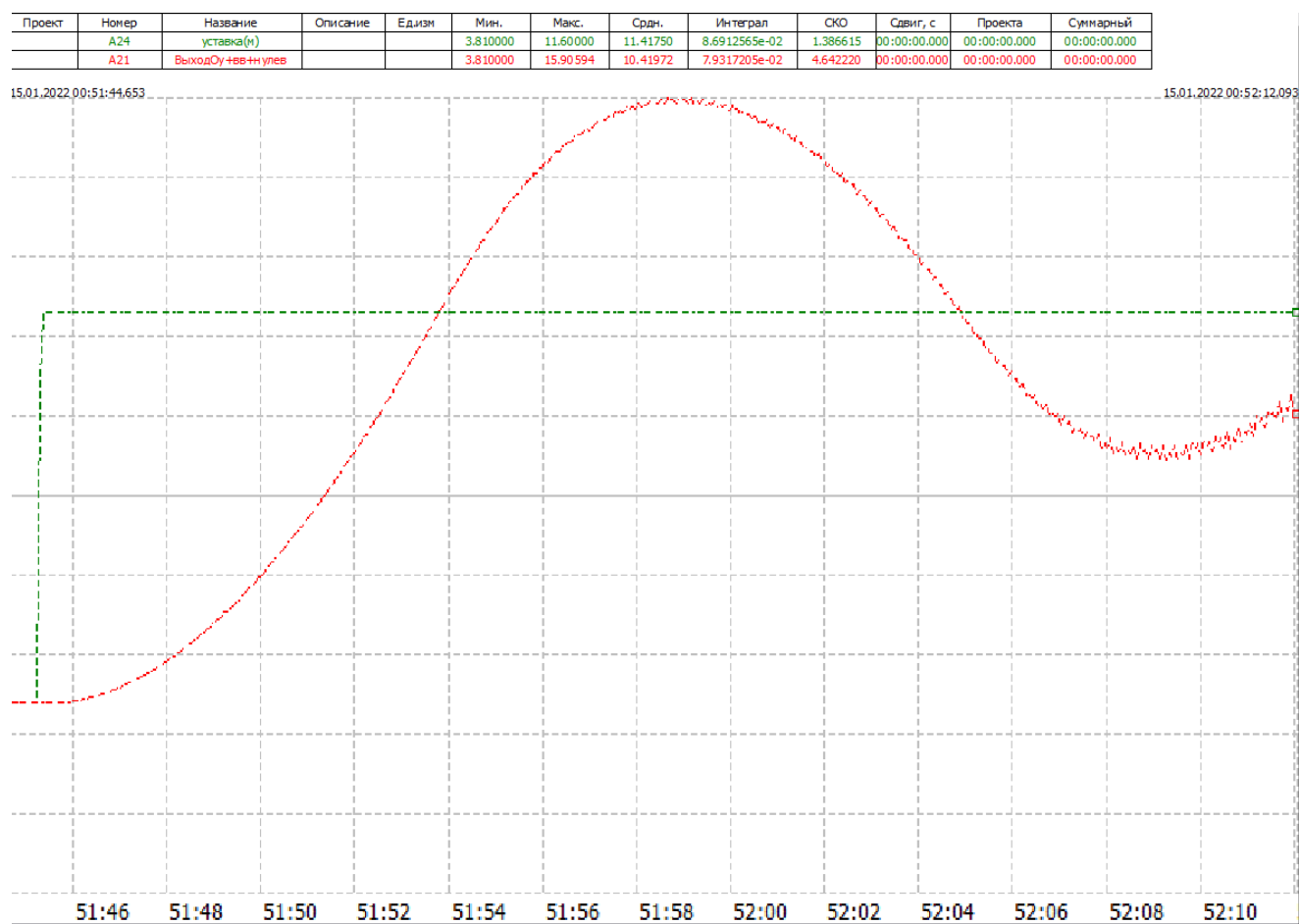


Рисунок 38- Переходная характеристика при значении $K_D = 100$

$$\sigma_{\text{макс}} = \frac{16 - 11.6}{11.6} 100\% = 38\%$$

В переходной характеристике на рисунке 39 наблюдаются небольшой выброс (перерегулирование). 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.

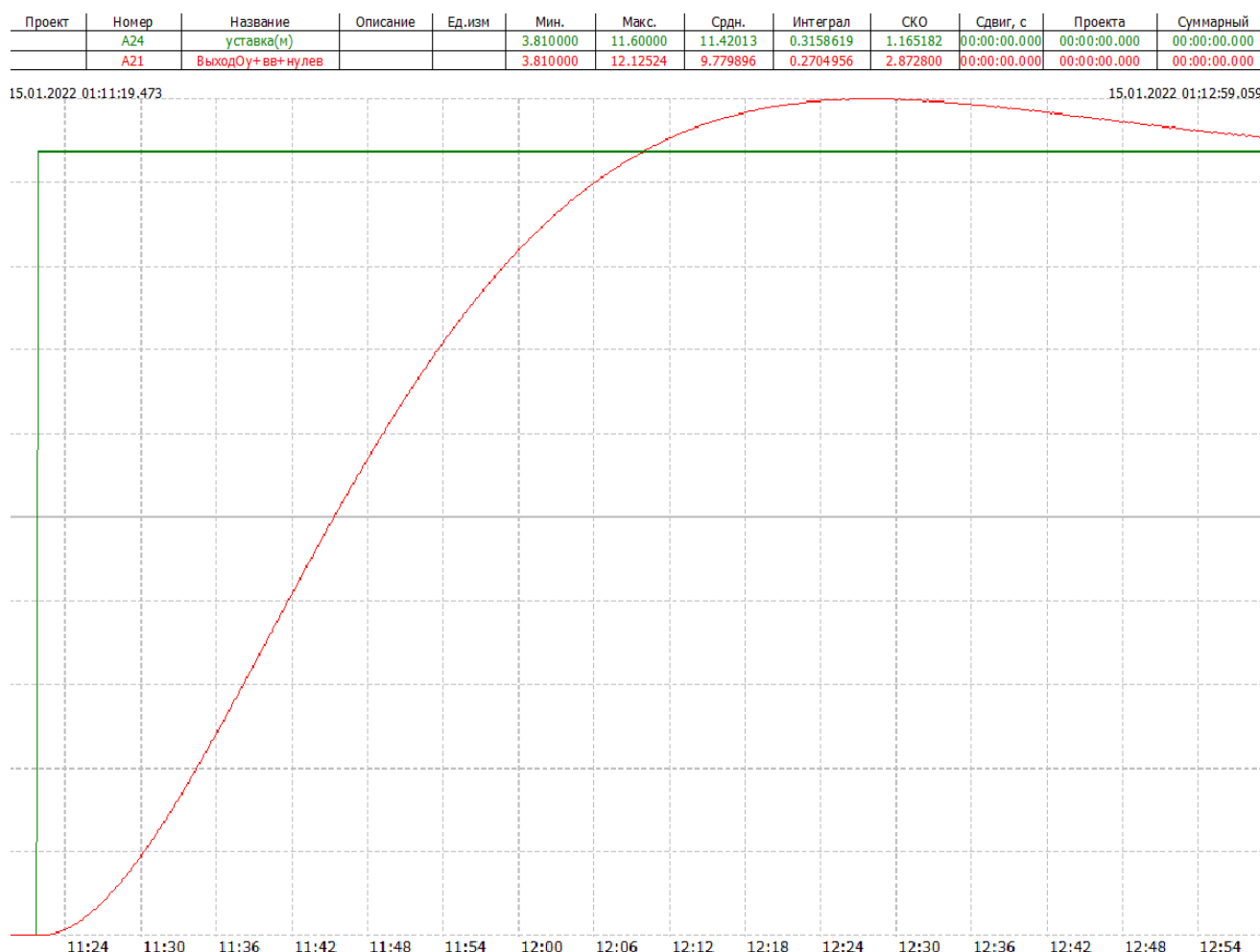


Рисунок 39 - Переходная характеристика при значении $K_{\Pi} = 50$

$$\sigma_{\text{мак}} = \frac{12.2 - 11.6}{11.6} 100\% = 5\%$$

В переходной характеристике на рисунке 40 наблюдаются небольшой выброс (перерегулирование). 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.

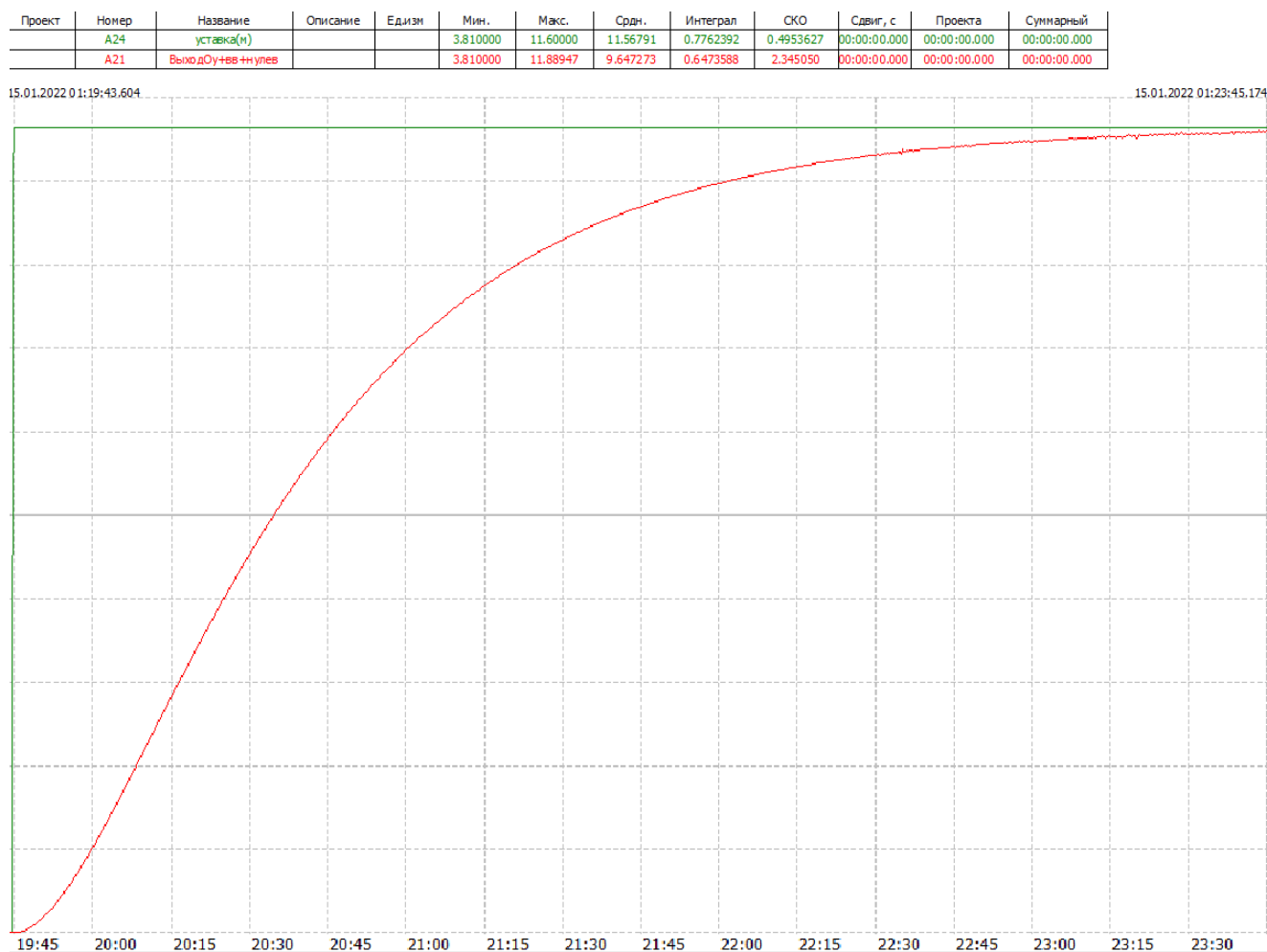


Рисунок 40 - Переходная характеристика при значении $K_{\Pi} = 20$

$$\sigma_{\text{макс}} = \frac{11.9 - 11.6}{11.6} 100\% = 2.7\%$$

Уровень теплоносителя плавно подходит к установившемуся значению без выбросов и колебаний в переходной характеристике на рисунке 41. Этот тип переходной характеристики в большинстве случаев можно считать с точки зрения системы автоматического управления оптимальным.

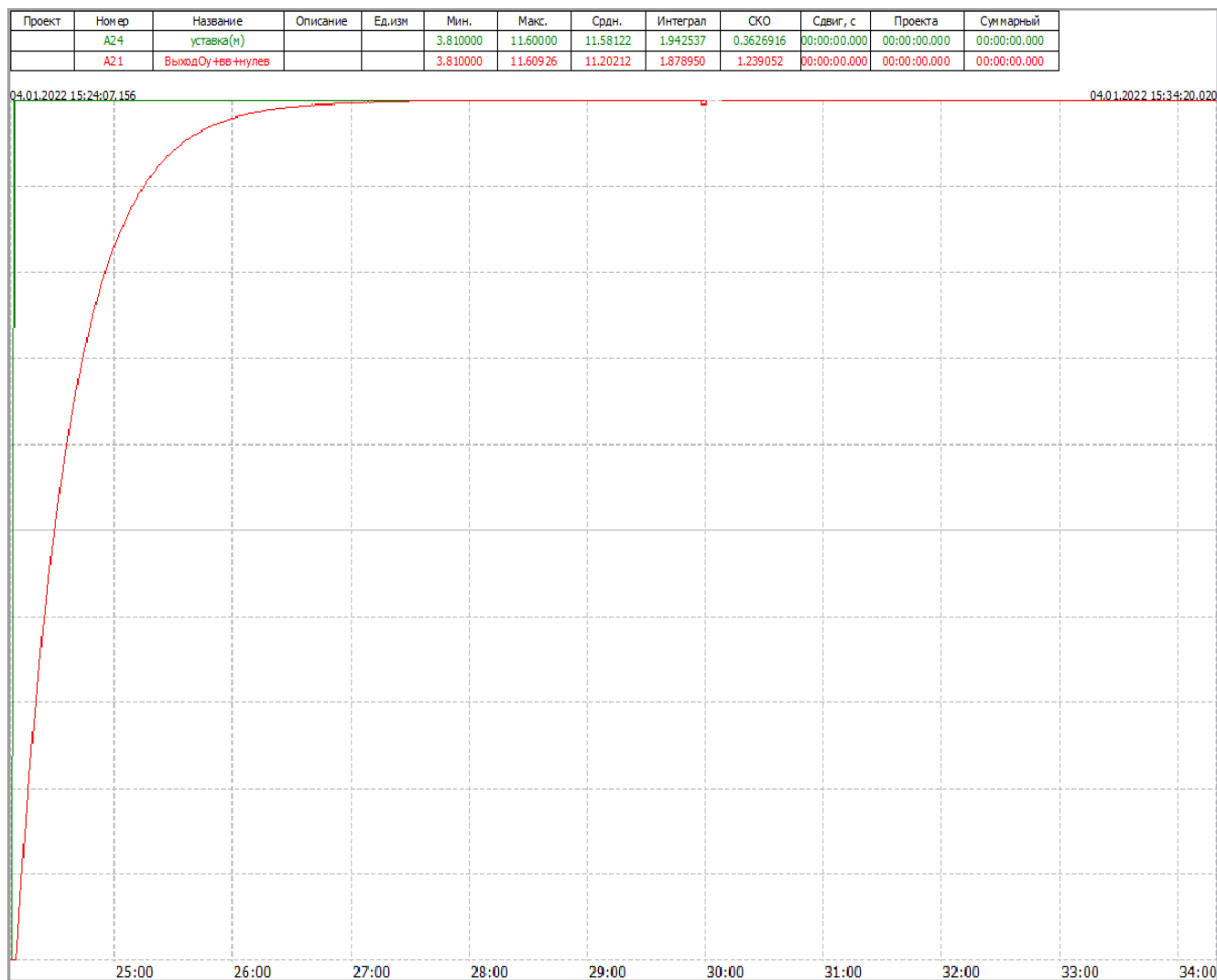


Рисунок 41 - Переходная характеристика при значении $K_{П} = 5$

$$\sigma_{\text{МАКС}} = \frac{11.63 - 11.6}{11.6} 100\% = 0.3\%$$

Сильно затянутый подход к установившемуся значению в переходной характеристике на рисунке 42 говорит о том, что зона пропорциональности чрезмерно велика. Динамическая и статическая точность регулирования здесь мала.

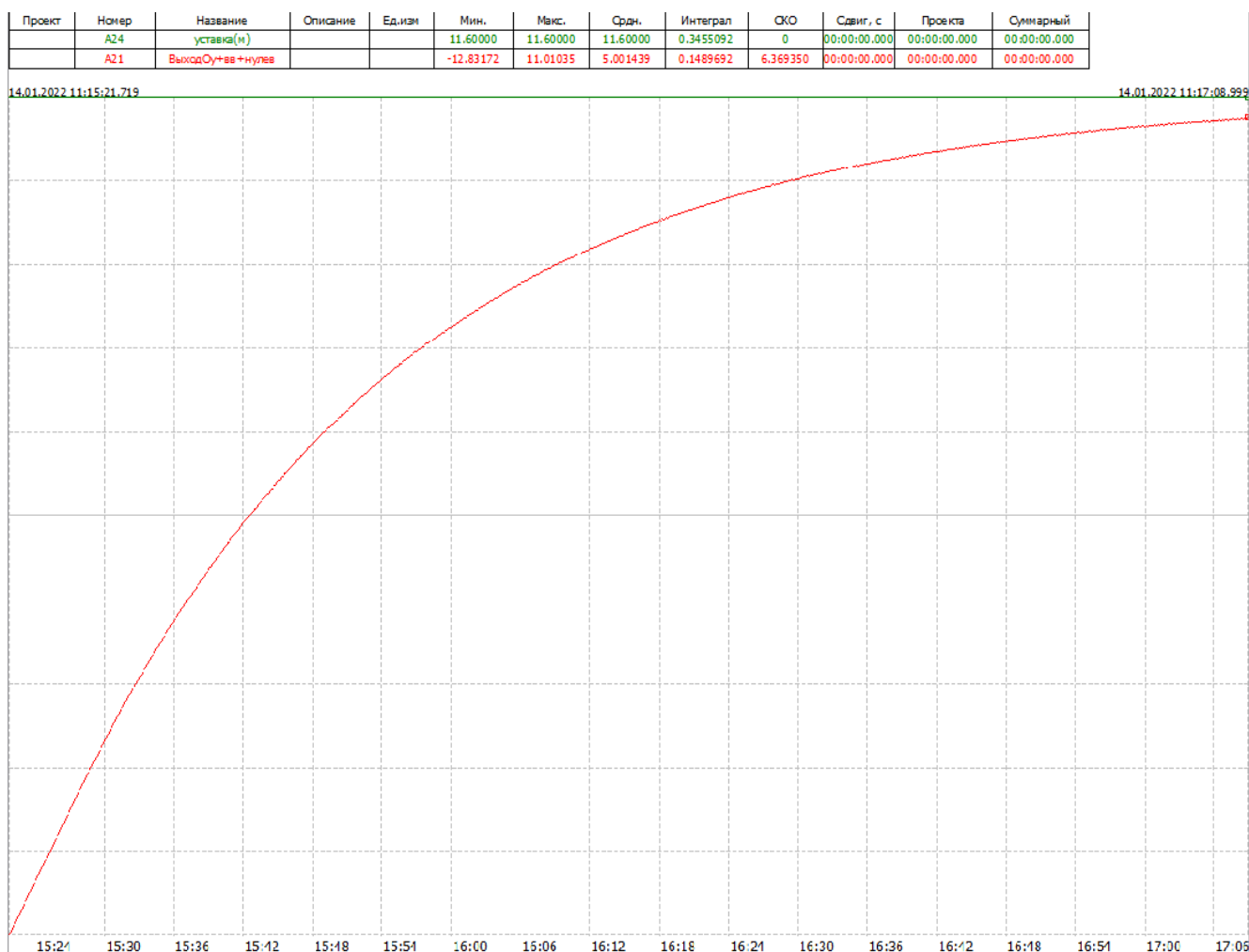


Рисунок 42 - Переходная характеристика при значении $K_{П} = 1$

4.4.2. Интегральный компонент регулятора YPC – 03

В переходной характеристике на рисунке 43 наблюдаются колебания. Система находится в не устойчивом состоянии. С точки зрения теории автоматического управления переходная характеристика далека от оптимальной

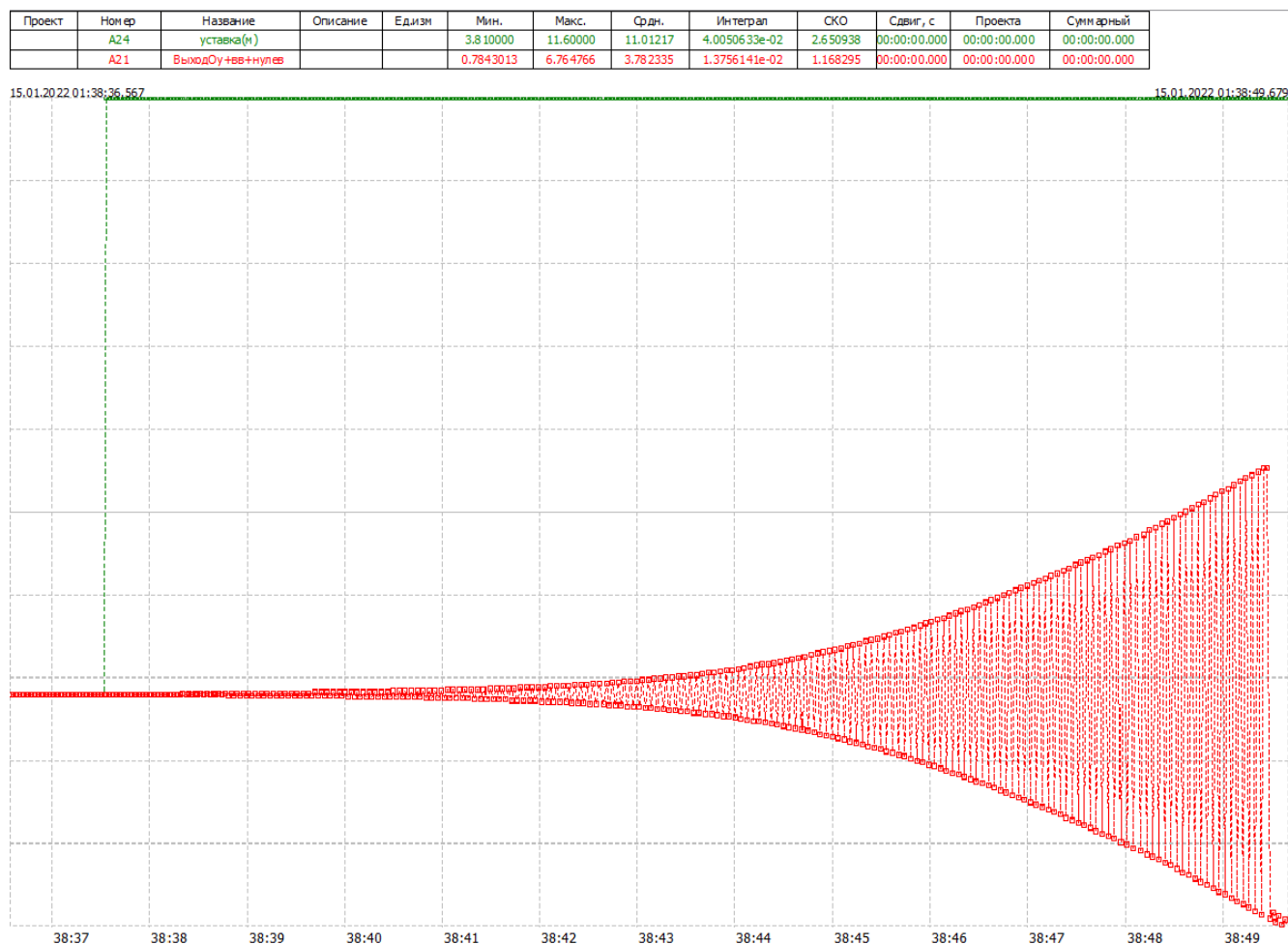


Рисунок 43 - Переходная характеристика при значении $K_T = 100$

В переходной характеристике на рисунке 44 наблюдаются колебания. Система находится в не устойчивом состоянии. С точки зрения теории автоматического управления переходная характеристика далека от оптимальной

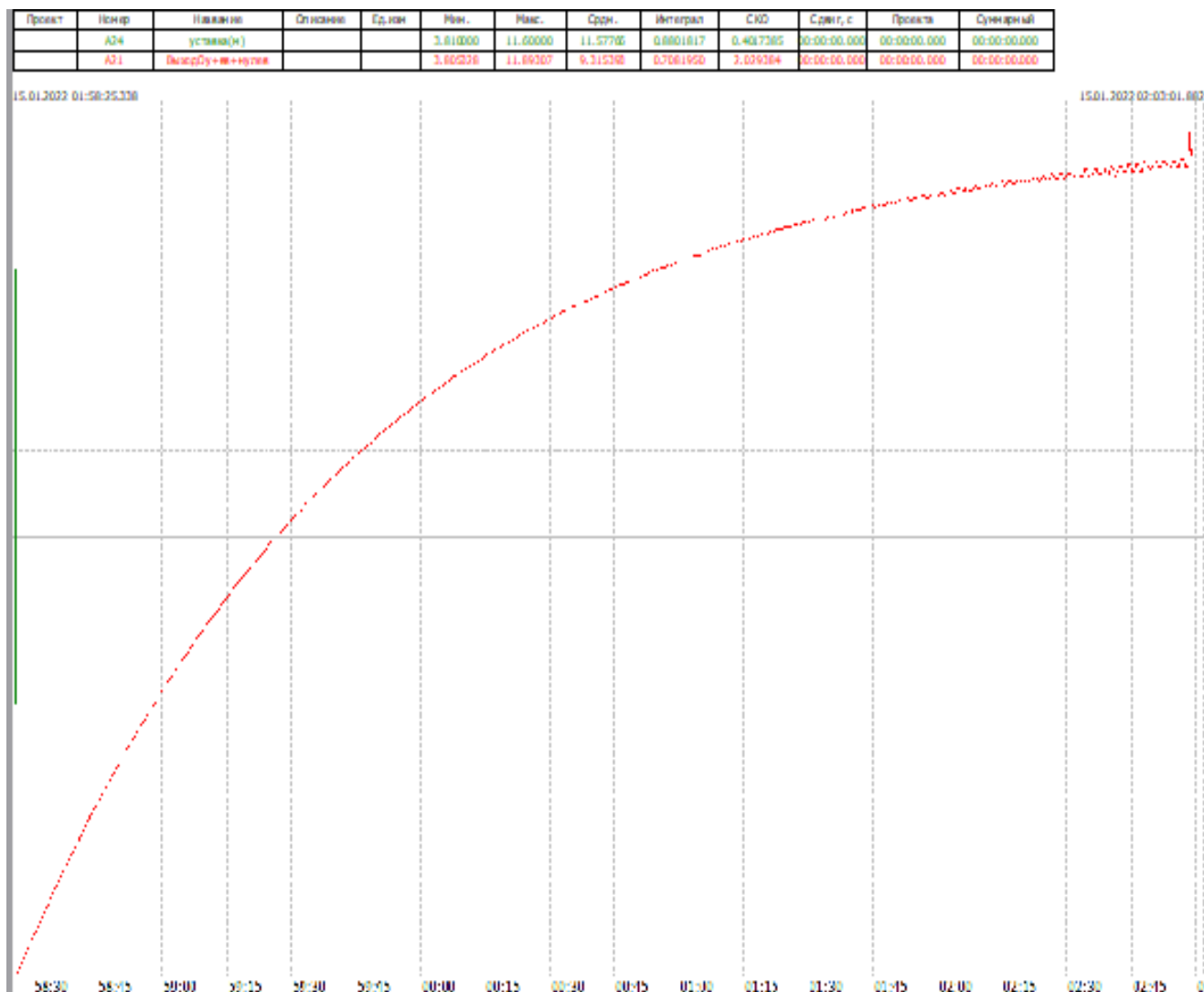


Рисунок 44 - Переходная характеристика при значении $K_T = 5$

Переходная характеристика на рисунке 45 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.

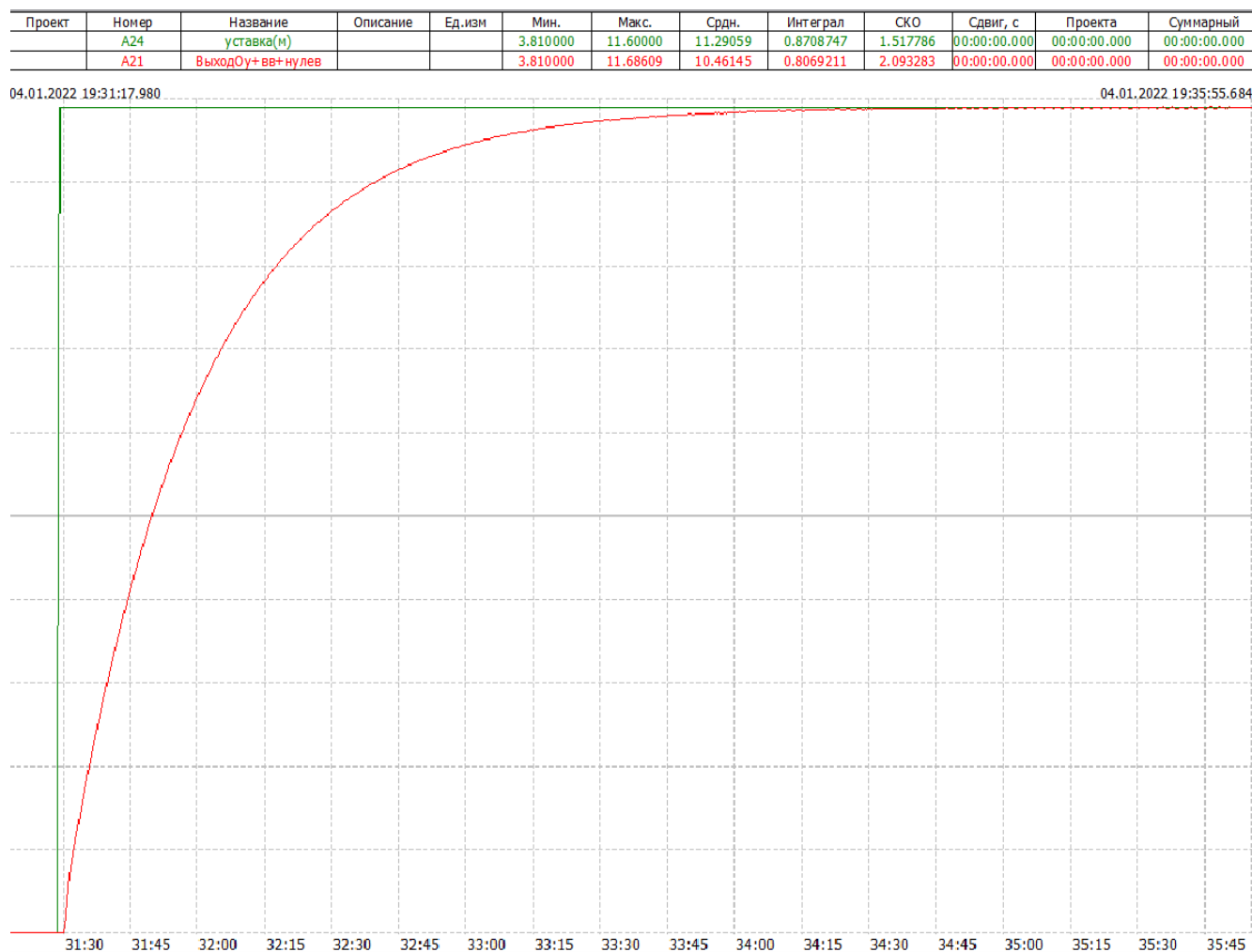


Рисунок 45 - Переходная характеристика при значении $K_T = 1$

4.4.3. Период вызова регулятора секунды YPC – 03

Как видно на рисунке 46, поскольку значение T вызова регулирование велико, оно вызывает колебания и растет с точки зрения системы автоматического управления не стабильно поэтому заметим, использовать меньшее значение $T_{вр}$

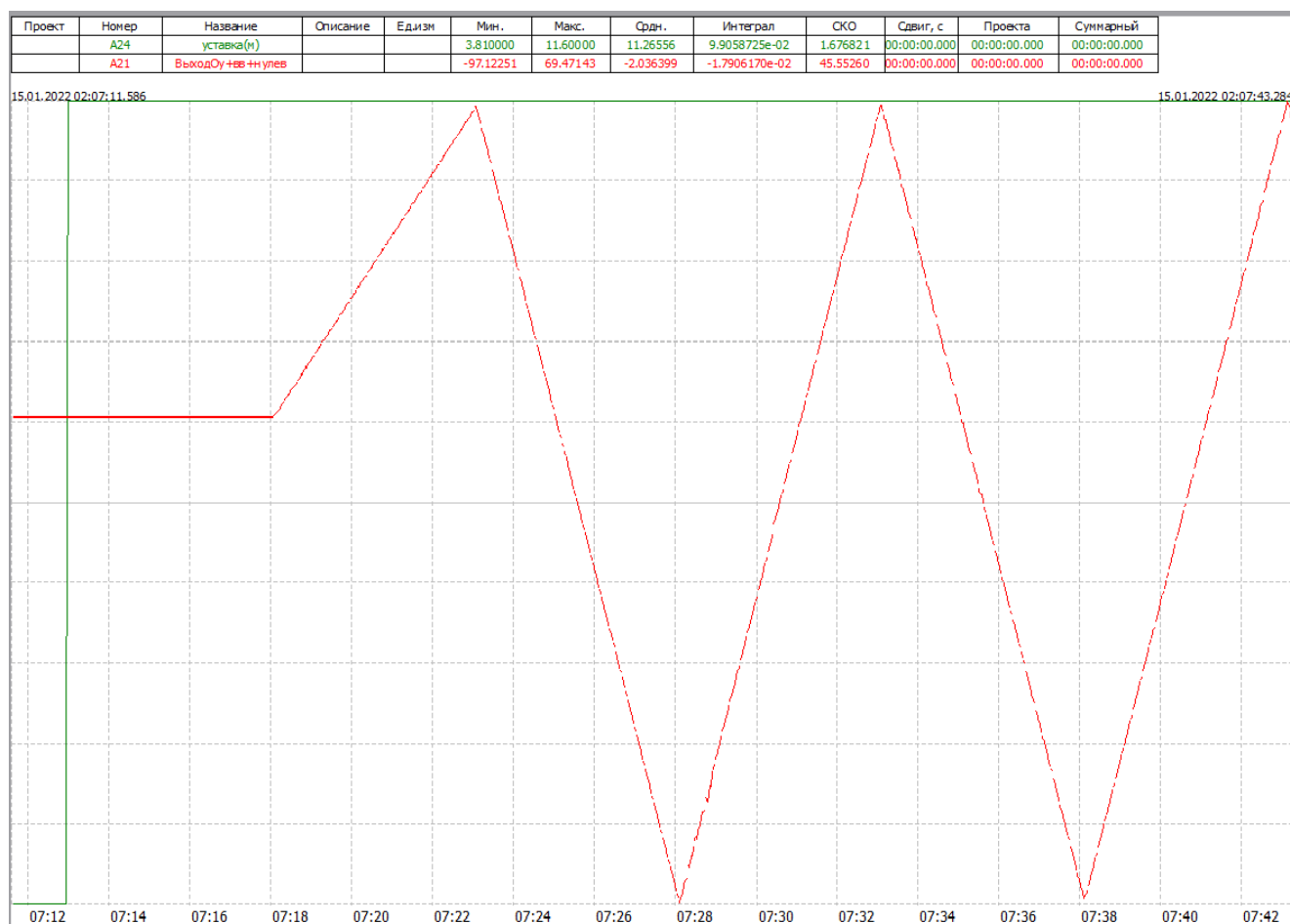


Рисунок 46 - Переходная характеристика при значении $T_{вр} = 5$

Переходная характеристика на рисунке 47 обеспечивает высокую динамическую и статическую точность регулирования и переходной характеристики с точки зрения системы автоматического управления оптимально.

Проект	Номер	Название	Описание	Ед.изм	Мин.	Макс.	Срдн.	Интеграл	СКО	Сдвиг, с	Проекта	Суммарный
	A24	уставка(м)			3.810000	11.60000	11.29059	0.8708747	1.517786	00:00:00.000	00:00:00.000	00:00:00.000
	A21	Выход(у+вв+нулев			3.810000	11.68609	10.46145	0.8069211	2.093283	00:00:00.000	00:00:00.000	00:00:00.000

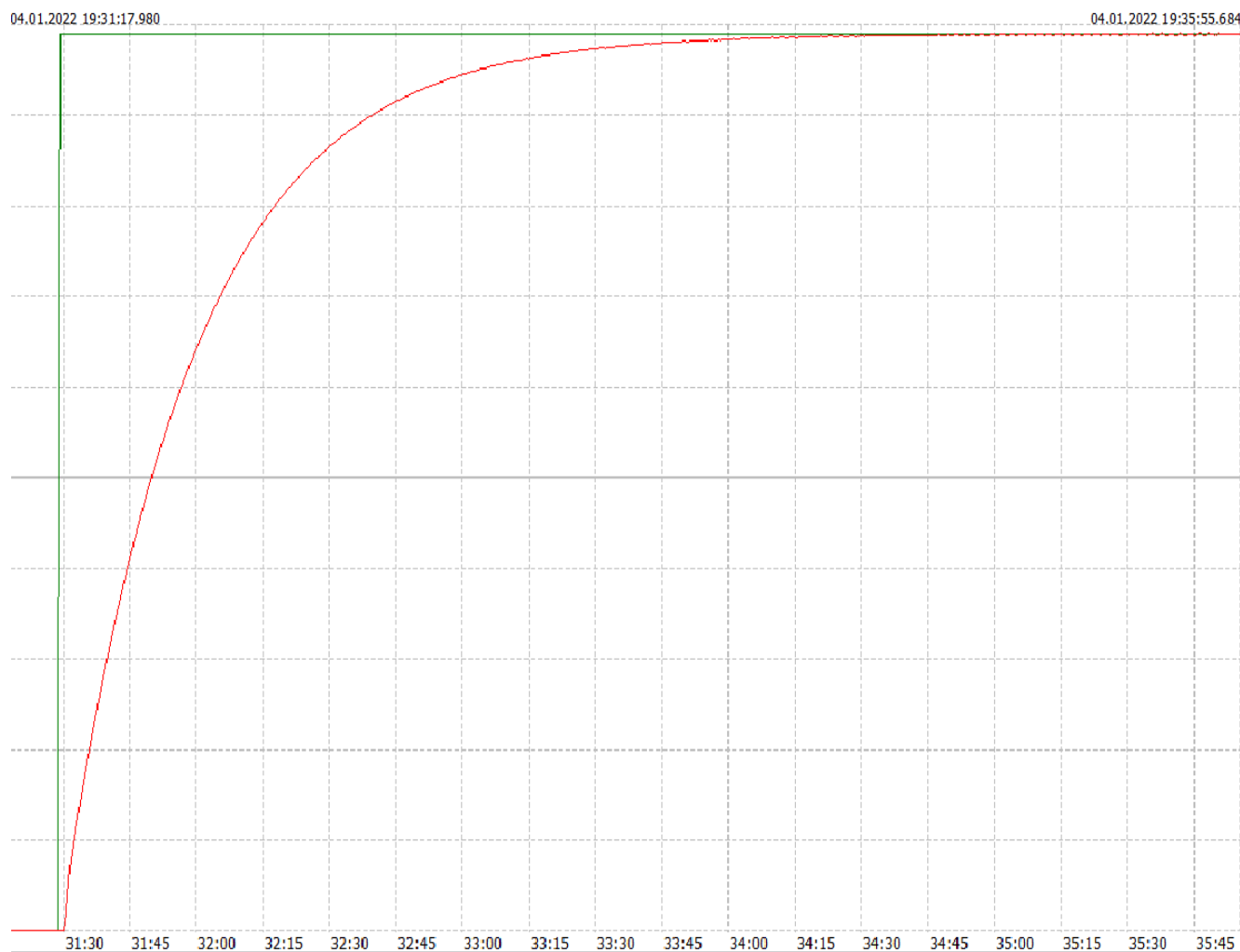


Рисунок 47 - Переходная характеристика при значении $T_{вр} = 1$

Как видно на рисунке 48, если мы возьмем значение T меньше оптимального значения, в переходной характеристике наблюдаются колебания, и с точки зрения системы автоматического управления далеко от оптимальности

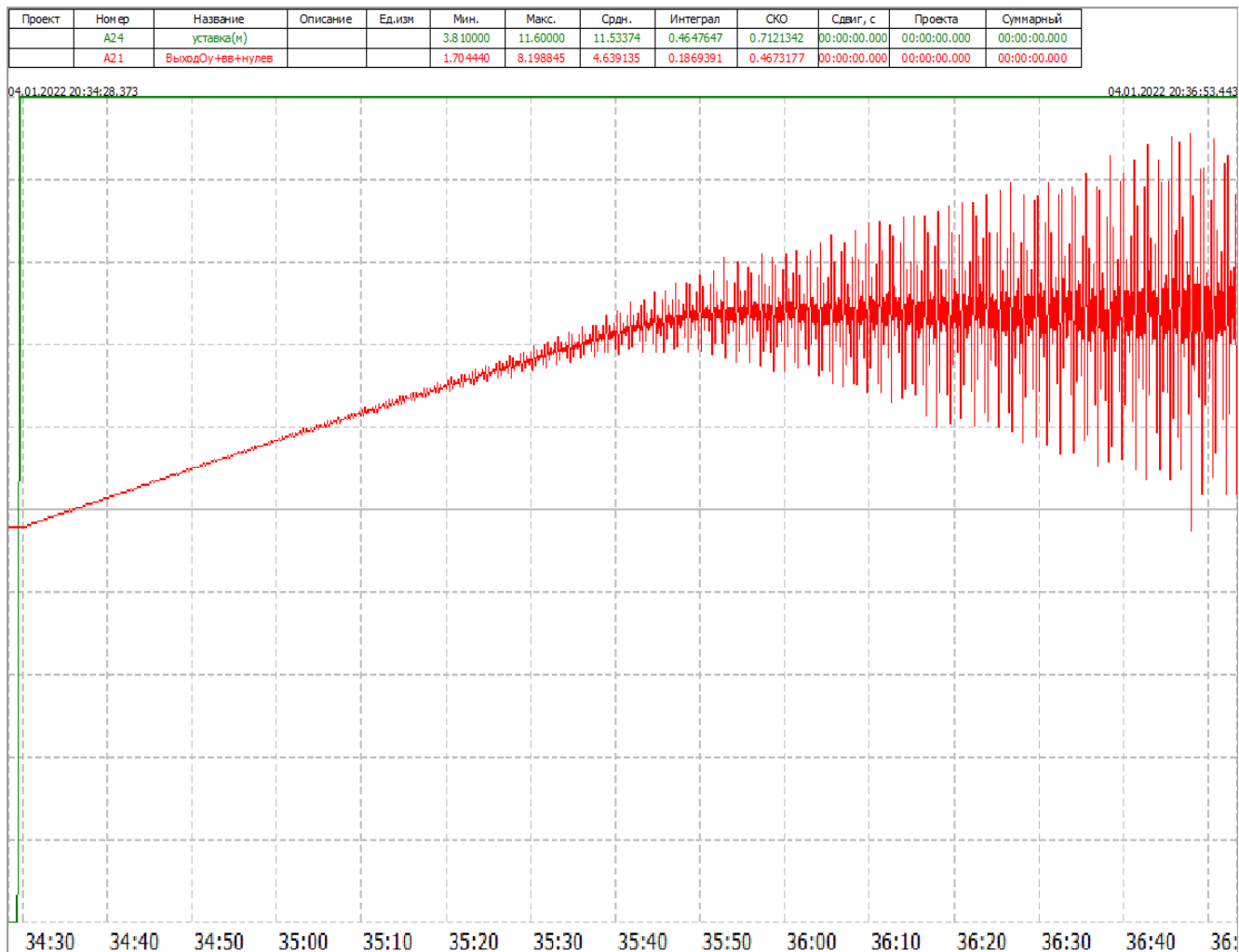


Рисунок 48 - Переходная характеристика при значении $T_{вр} = 0.01$

4.5 График результатов при регулировании

После исследований переходим к моделированию регулятора УРС-03 при пусковом режиме уровень воды в КД

Проект	Номер	Название	Описание	Ед.изм	Мин.	Макс.	Срдн.	Интеграл	СКО	Сдвиг, с	Проекта	Суммарный
	A24	установка(н)			3.810000	11.60000	11.53214	0.5924447	0.6987178	00:00:00.000	00:00:00.000	00:00:00.000
	A21	ВыходСу+в+нулев			3.810000	11.60119	10.25742	0.5269579	1.976590	00:00:00.000	00:00:00.000	00:00:00.000

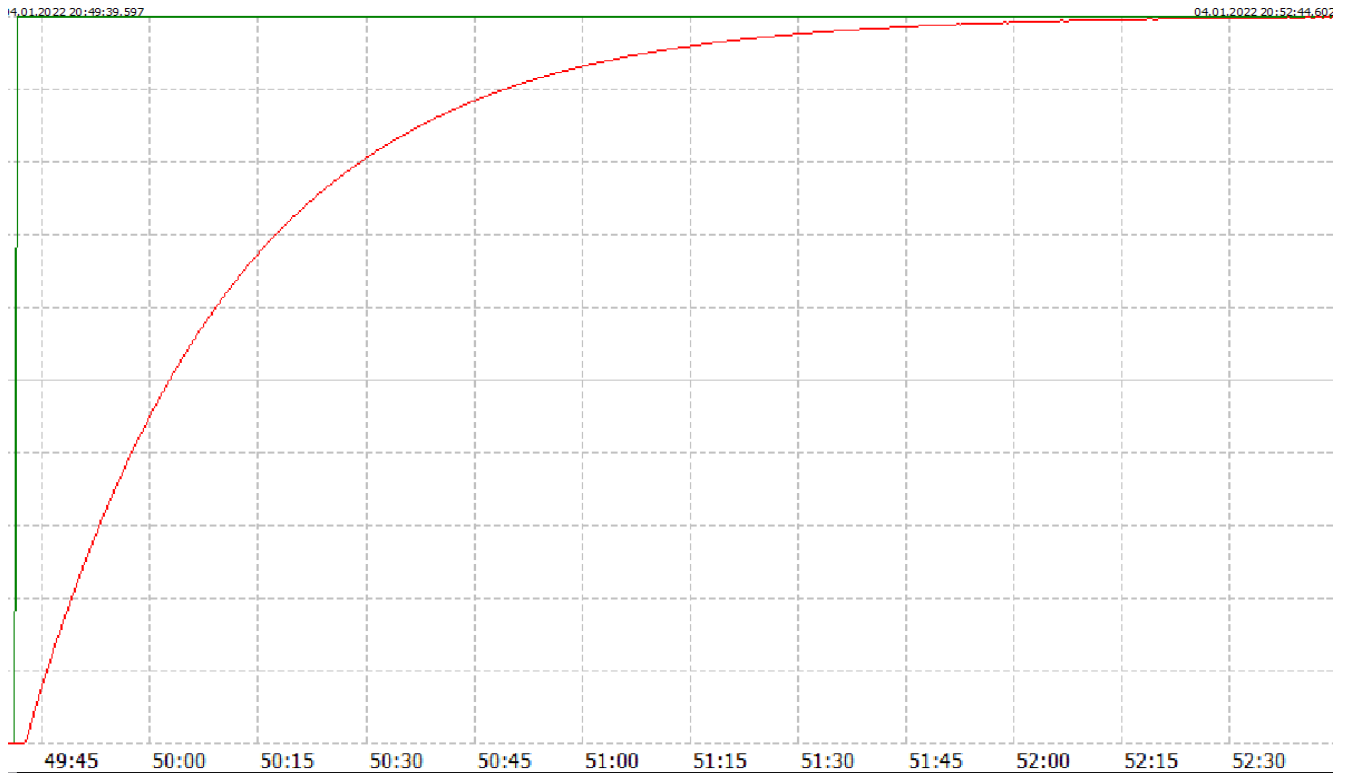


Рисунок 49-Результат моделирования регулятора уровня воды УРС-03

Проект	Номер	Название	Описание	Ед.изм	Мин.	Макс.	Срдн.	Интеграл	СКО	Сдвиг, с	Проекта	Суммарный
	A23	расход(м3/с)*100			0	6.000521	4.972374	0.2554474	1.512717	00:00:00.000	00:00:00.000	00:00:00.000

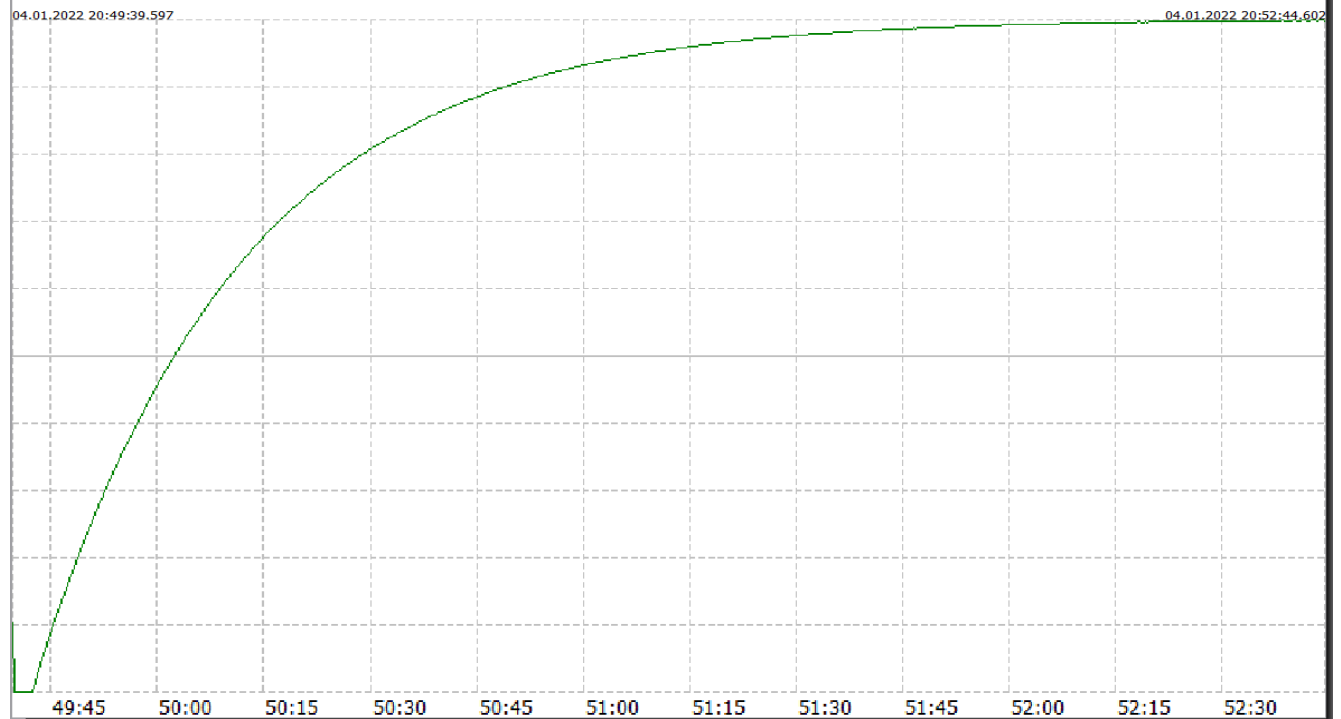


Рисунок 50-Расход через задвижку*1000 м³/с

Изменение расхода воды, подаваемой через задвижку ТК31S02, как функция времени, это изменение можно наблюдать в поведении, показанном на рисунке 50. Расход воды умножается на 10^3 используется здесь, чтобы сделать график более наглядным. Зависимость открытия задвижки как функцию времени можно наблюдать на рисунке 51.

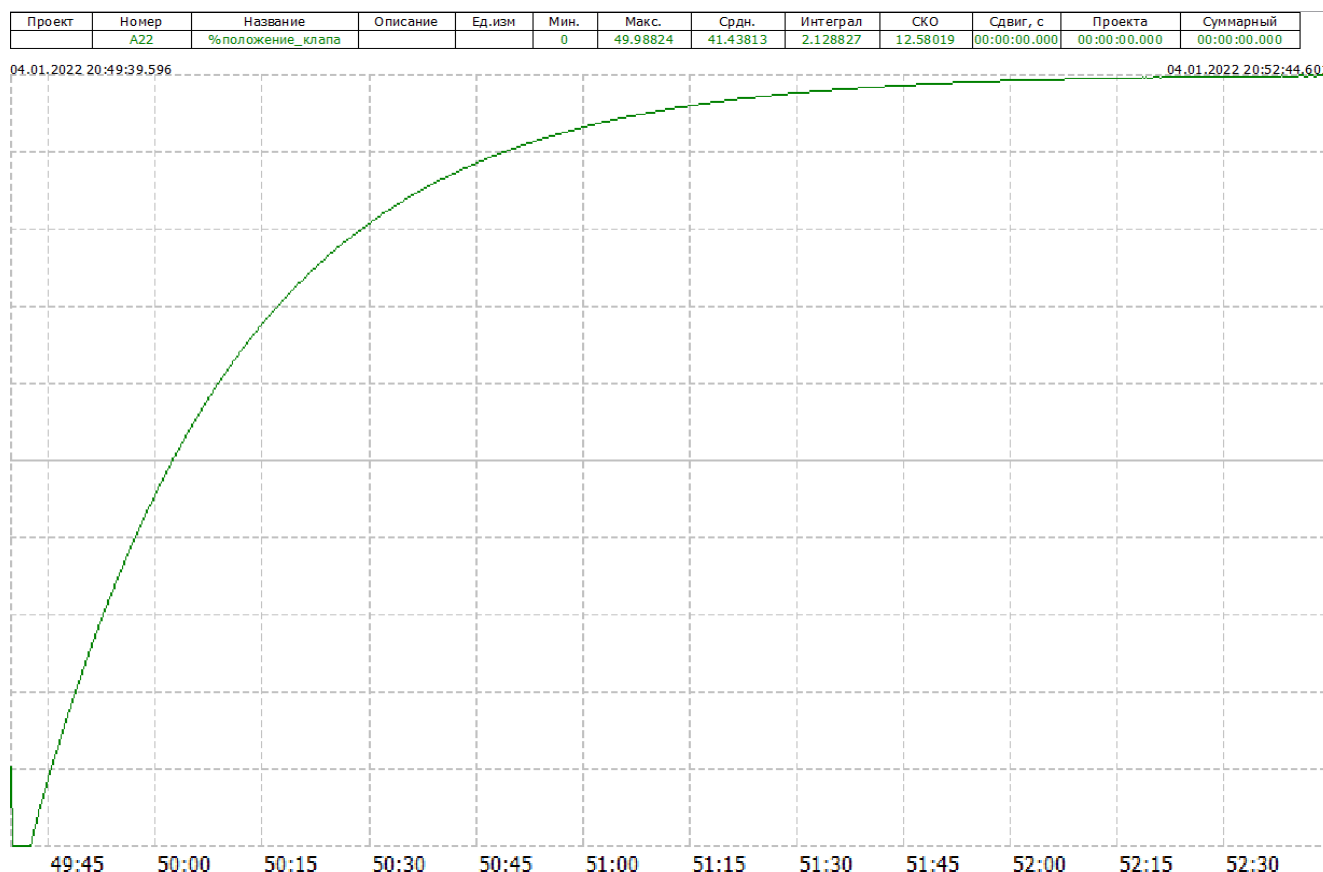


Рисунок 51-Положение задвижке %

4.6. Исследование системы при наличии возмущений

Важной функцией обратной связи в системах управления является частичная компенсация влияния возмущений. Возмущение — это нежелательное воздействие на ОУ, которое оказывает влияние на качество регулирования системы.

Многие системы управления подвержены влиянию внешних воздействий, приводящих к отклонению выходного сигнала от желаемого значения. Так, например, 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.[11]

Кодировать математическую модель возмущении

При $S \rightarrow \frac{d}{dt}$

$$\frac{d}{dt} X_{\text{ВЫХ}}(t) = K \cdot X_{\text{ВХ}}(t); \quad (36)$$

$$\frac{X_{\text{ВЫХ}}(t) - X_{\text{ВЫХ}}(t - \Delta t)}{\Delta t} = K \cdot X_{\text{ВХ}}(t); \quad (37)$$

$$X_{\text{ВЫХ}}(t) = \Delta t (K \cdot X_{\text{ВХ}}(t)) + X_{\text{ВЫХ}}(t - \Delta t). \quad (38)$$

Система рассмотрена при возмущающем воздействии и как видно, что система управления обрабатывает данное возмущение. На рисунках 53–54 видно, что при возмущении остается запас воды в КД. На рисунке 52 показано возмущающее воздействие, при котором происходит понижение воды на 2 метра.

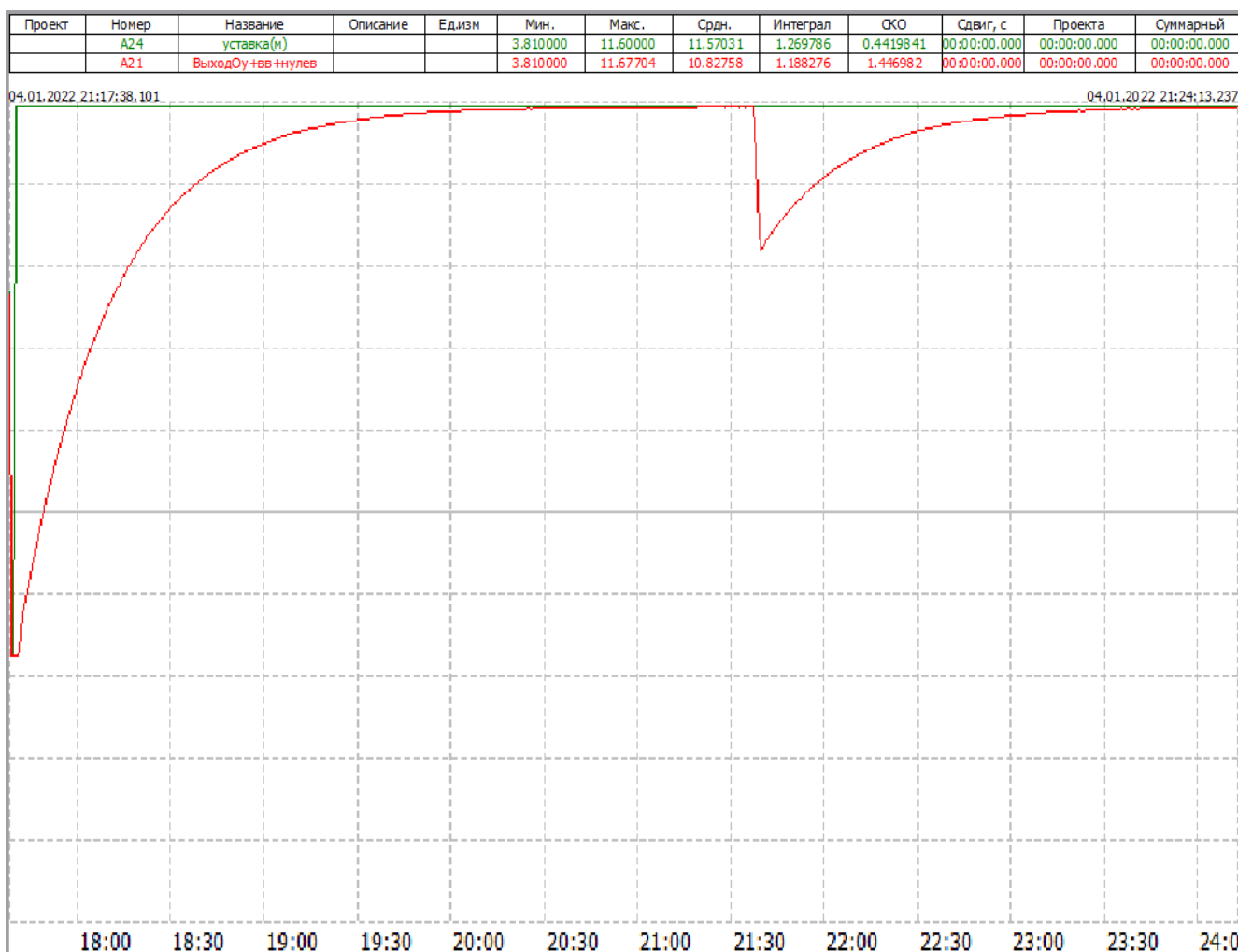


Рисунок 52 - Реакция системы на возмущение

Проект	Номер	Название	Описание	Ед.изм	Мин.	Макс.	Срдн.	Интеграл	СКО	Сдвиг, с	Проекта	Суммарный
	A23	расход(м3/с)*100			0	7.692274	6.047274	0.6636598	1.492475	00:00:00.000	00:00:00.000	00:00:00.000
	A22	%положение_клапа			0	0						

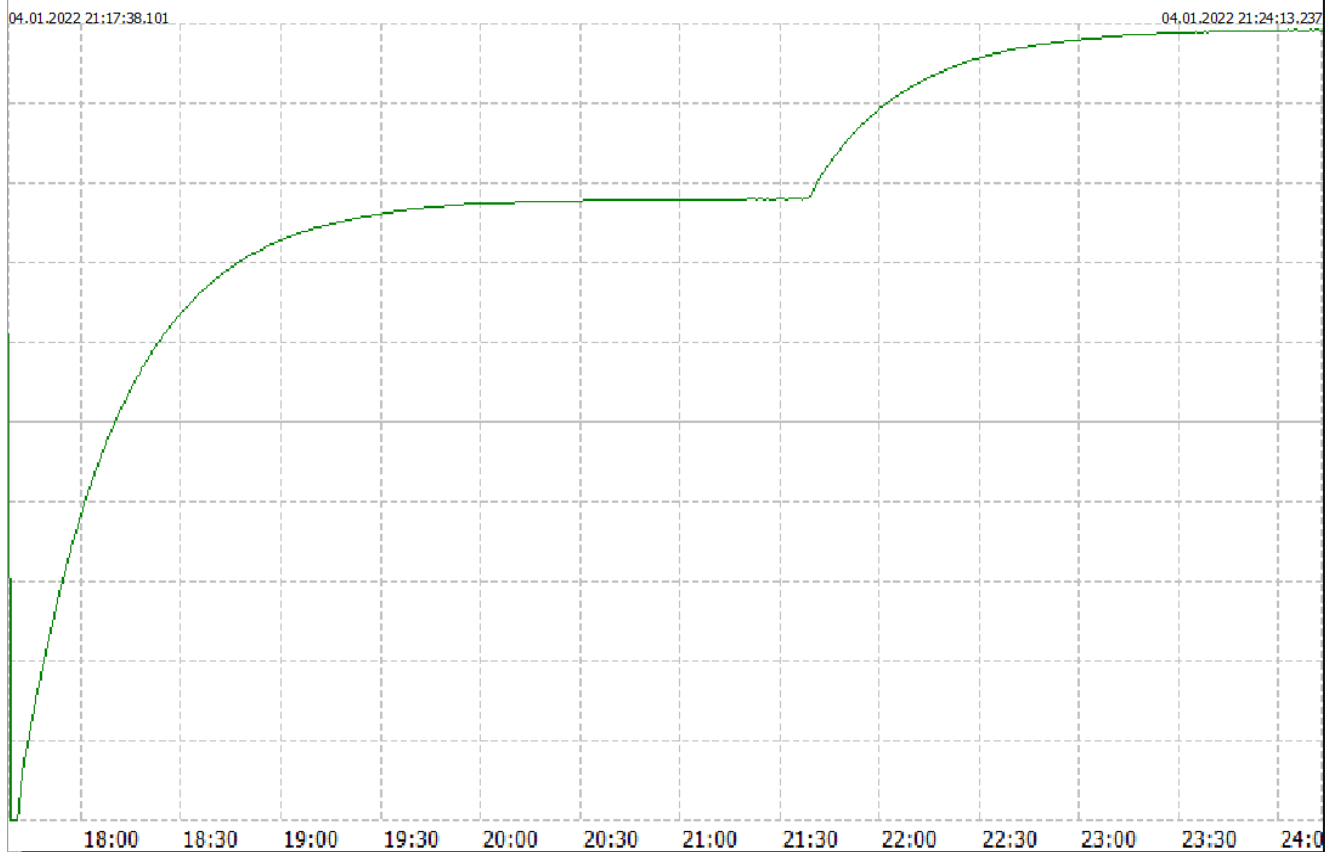


Рисунок 53 - Расход через задвижку, м³/с

Проект	Номер	Название	Описание	Ед.изм	Мин.	Макс.	Срдн.	Интеграл	СКО	Сдвиг, с	Проекта	Суммарный
	A23	расход(м3/с)*100			0	7.692274	6.047274	0.6636598	1.492475	00:00:00.000	00:00:00.000	00:00:00.000

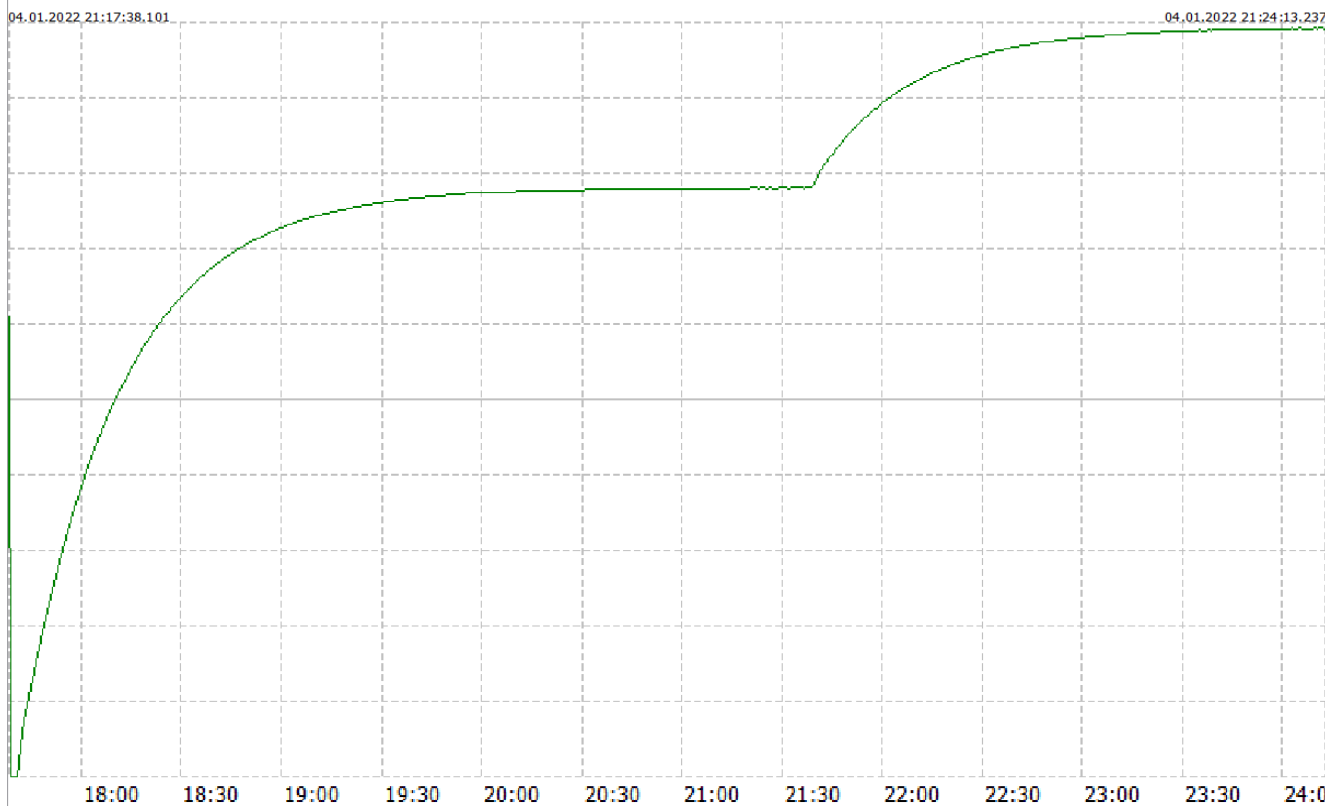


Рисунок 54 - Положение задвижки, %

4.7. Разработка и описание ЧМИ

Все современные АСУТП должны не только полностью отвечать поставленным задачам по достижению высокого качества продукции и экономии затрат, но и выдавать требуемую информацию в самой удобной и наглядной форме. Для реализации задачи данного класса разработан человеко-машинный интерфейс или НМИ (human-machine interface). Главная цель человеко-машинного интерфейса – это обеспечения эргономики в работе оператора и автоматизированной системы. Для разработки мнемосхемы, ввода и вывода необходимых параметров и взаимодействия с базой данных технологического процесса путем понятного и удобного человеко-машинного интерфейса МИКСИС предоставляет систему отображения Display [13].

Встроенный редактор позволяет оператору изменять и настраивать вид и состав отображаемой информации, в то время как графическое ядро обрабатывает контуры компонентов дисплея и информации. Дополнительно есть система безопасности с функциями ограничения доступа. Рисунок 55 иллюстрирует процедуру создания мнемонической диаграммы в программе Display для системы контроля уровня воды в ТК31S02.

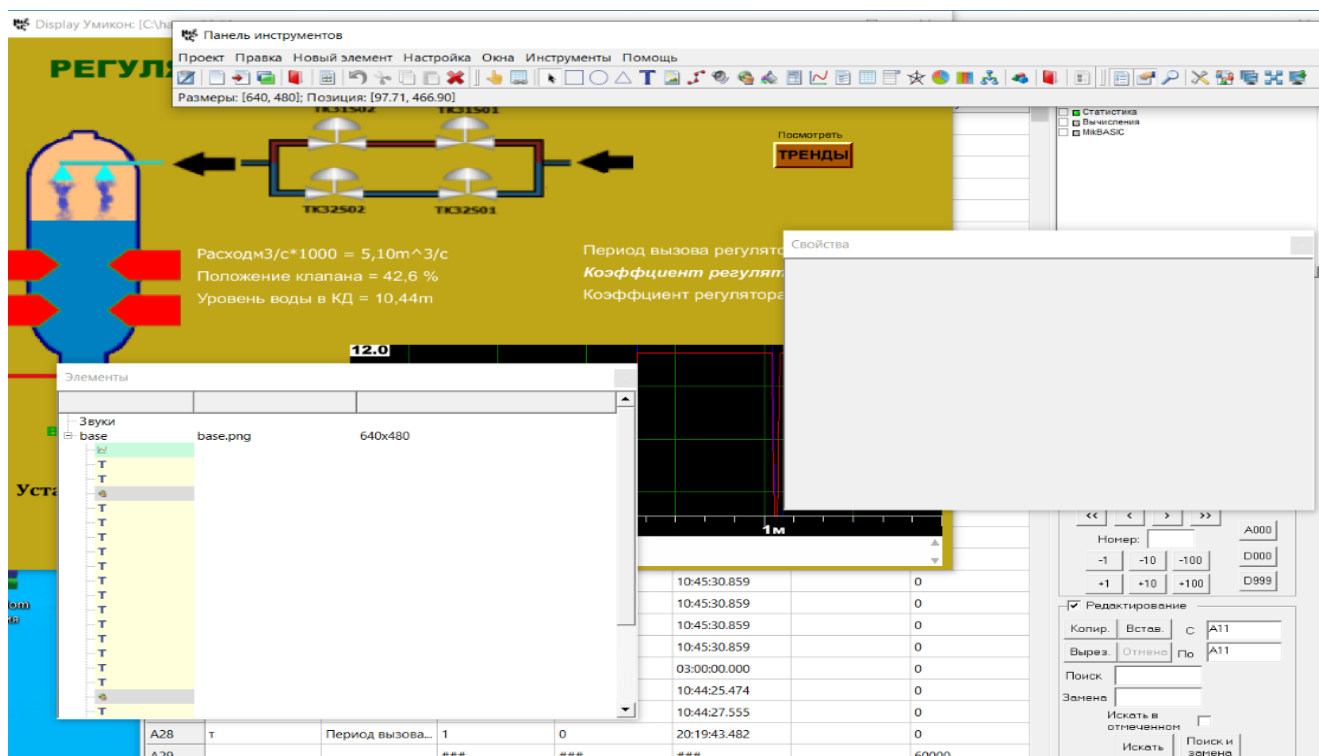


Рисунок 55 - Конструирование ЧМИ

Панель инструментов расположена в верхней части интерфейса и содержит множество элементов для работы с проектом, создания графических компонентов отображения и окон настройки.

Справа панель инструментов представляет структуру проекта в виде дерева с графическими примитивами и элементами управления. Панель свойств используется для просмотра и изменения свойств визуального объекта или мнемонической схемы, выбранной в данный момент.

Графическое ядро отвечает за реализацию функций, необходимых для визуализации компонентов дисплея и мнемонических диаграмм.

Графическое ядро работает, используя аппаратное ускорение посредством библиотеки OpenGL. На рисунок 56 представлена мнемосхема с технологическими характеристиками.

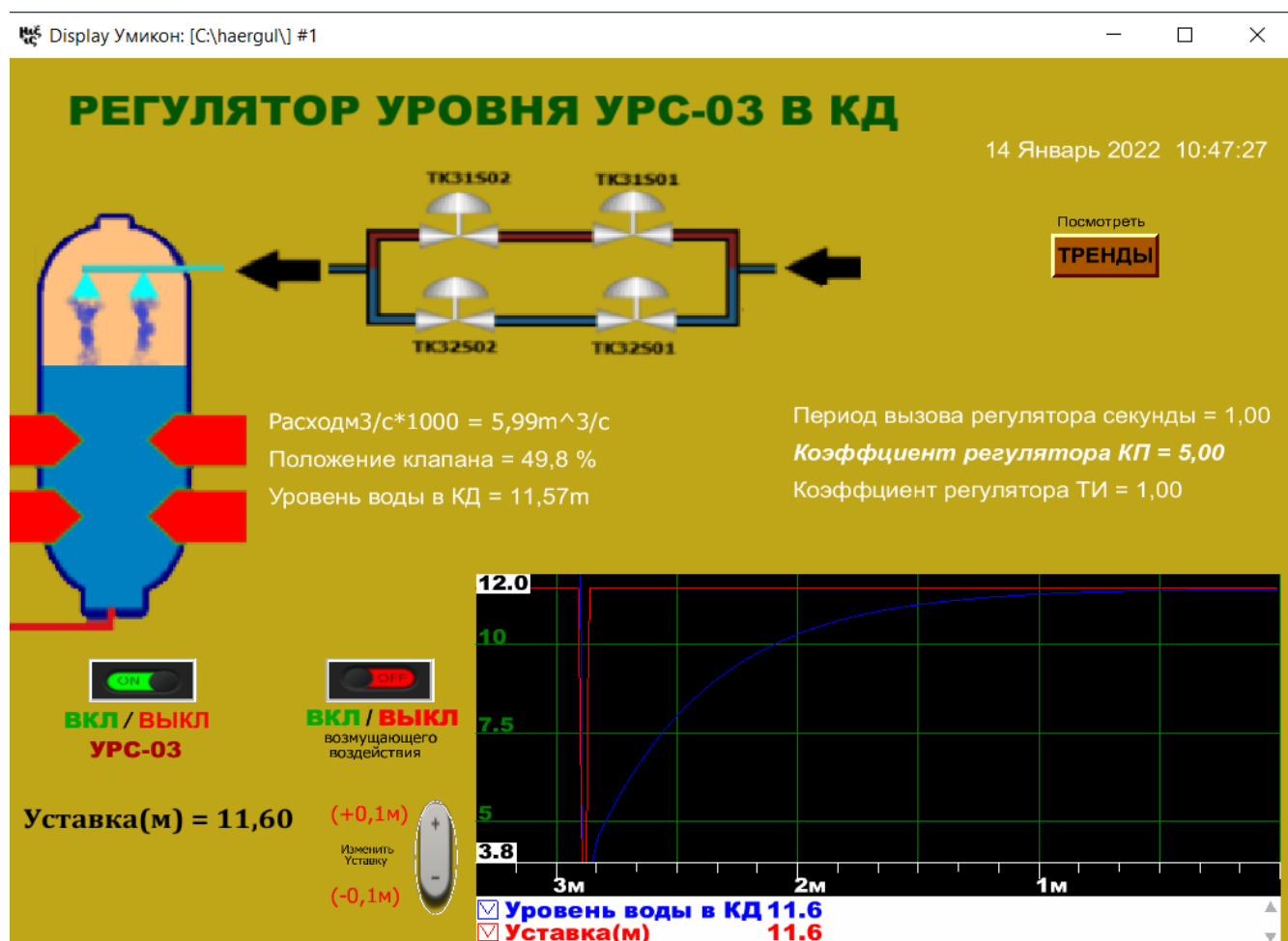


Рисунок 56 - Мнемосхема с технологическими параметрами

На мнемосхеме с технологическими параметрами присутствует самописец, на который выводятся значения уставки (красный цвет), регулируемой величины (синий цвет). Также предусмотрена возможность (по кнопке):

- включение/отключение системы;
- включение/отключение возмущения;
- изменить значение уставка;
- изменить значение возмущения;
- вызова программы просмотра трендов.

Также на мнемосхеме присутствует коэффициент регулятора, время вызова регулятора, расход воды, степен открытия задвижки и значение уровня воды в ТК31S02. На мнемосхеме, в левой верхней области, отображены текущее время и дата в формате: ДД.ММ.ГГГГ ЧЧ: ММ: СС. Цвета шрифта и фона в мнемосхеме подобраны таким образом, чтобы их контрастность обеспечивала читаемость. Основной задачей при выборе являлось обеспечение возможности комфортной длительной работы оператора с ЧМИ. Мнемосхема полностью соответствует всем функциональным возможностям, поэтому можно сделать вывод: в результате объединения всех вышеописанных этапов формируется программная часть системы управления уровнем воды в КД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения данной выпускной квалификационной работы была смоделирована система контроля уровня в компенсаторе давления УРС-03 в режимах пуска реактора ВВЭР-1000; составлены функциональная и структурная схемы данной системы, описаны и изучены элементы, входящие в систему; подобраны коэффициенты модели, необходимые для построения «MWBridge»; изучена техническая документация на систему, документация на оборудование «MWBridge» модуль, пакет программ («MWBridge»).

При исследовании и моделировании системы управления уровня воды в КД УРС-03 в режиме пуска реактора ВВЭР-1000 были получены:

- математическая модель объекта управления уровня воды;
- передаточная функция объекта управления уровня воды;
- реализация модели объекта управления в системе Matlab;
- алгоритм кодирования для исполнительного механизма на языке программирования «MikBasic» с базой данных в реальном времени;
- алгоритм кодирования для объекта управления на языке программирования «MikBasic» с базой данных в реальном времени;
- алгоритм кодирования для регулятора на языке технологического программирования «АлгоВУ» с базой данных в реальном времени;
- исследование влияния регулятора на качество регулирования;
- исследование системы при наличии возмущений;
- разработка и описание человеко-машинного интерфейса.

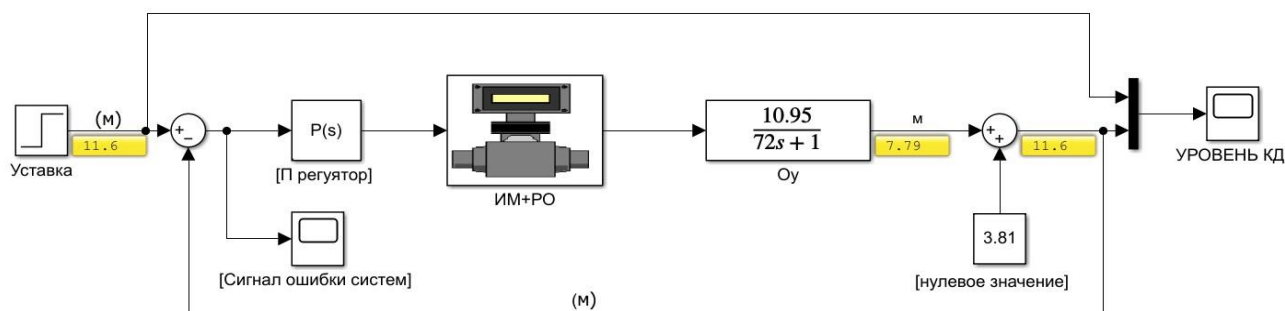
Поставленная для разработки выпускной квалификационной работы цель была успешно выполнена, а именно получены результаты моделирования в пределах номинальных значений функционирования КД.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Компенсатор давления в сборе: техническое описание – Подольск: ГУП ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2016. – 100 с.
2. 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.
3. Макаров, И.М. Линейные автоматические системы (элементы теории, методы расчета и справочный материал) - учебное пособие. – Москва: Машиностроение, 1982. – 504 с.
4. К. Ю. Поляков Теория автоматического управления для «ЧАЙНИКОВ» Санкт-Петербург 2008 80 с
5. Информационные материалы по техническому проекту АСУТП АЭС-2006: техническое описание – Москва: «ОАО ВНИИАЭС», 2013. – 266 с.
6. Зверков, В. Автоматизированная система управления технологическими процессами АЭС. – Москва: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2013. – 558 с.
7. Зверков В.В. Программно-технические комплексы АСУТП АЭС. Функциональные и структурные решения - Учебное пособие. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2018. – 132 с.
8. Демченко В. А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС. – Одесса, 2001. – 305 с.
9. А.А. Тямалов, Я.А. Дубченко особенности управления технологическими параметрами системы компенсации давления АЭС с реактором ввэр-1000
10. Теория автоматического управления для чайников К. Ю. Поляков Санкт-Петербург 2008-80с
11. MWBRIDGE Руководство пользователя. – Москва: Умикон, 2019 – 246с
12. RSPROG. Система алгоблочного программирования верхнего уровня Руководство Пользователя. – Москва: Умикон, 2020. – 156с.
13. DISPLAY Система отображения Руководство пользователя. – Москва: Умикон, 2019. – 60с

ПРИЛОЖЕНИЕ

Реализация разностных уравнений среде в MWBridge



Структурная схема системы регулирования перепада давления

A [1].VALUE =0.00012

A[2].VALUE =1

A[3].VALUE =10.95

A[4].VALUE =72

A[6].VALUE =-2

A[7].VALUE = 3.81

rem RASCHET TAKTA MODELI OY IN SEC

A[5].VALUE = A[0].VALUE/1

rem Разностное уравнение возмущавшего воздействия

A[14].VALUE = A[6].VALUE * A[5].VALUE * A[13].VALUE /1000 +
A[14].VALUEOLD

IF A[14].VALUE <-2 THEN A[13].VALUE = 0

rem Разностное уравнение ИМ

rem Интегральный

A[18].VALUE = (A[1].VALUE * A[5].VALUE * A[17].VALUE) /
A[2].VALUE + A[18].VALUEOLD

rem Присвоение выхода ИМ входу ОУ

A[19].VALUE =A[18].VALUE

A[20].VALUE = ((A[3].VALUE * A[19].VALUE) + (A[4].VALUE *
A[20].VALUEOLD / A[5].VALUE))/((A[4].VALUE/A[5].VALUE) + 1)

$A[21].VALUE = A[20].VALUE + A[14].VALUE + A[7].VALUE$

rem Инициализация работы

IF $A[11].VALUE = 0$ THEN $A[17].VALUE = 0$

IF $A[11].VALUE = 0$ THEN $A[18].VALUE = 0$

IF $A[11].VALUE = 0$ THEN $A[19].VALUE = 0$

IF $A[11].VALUE = 0$ THEN $A[20].VALUE = 0$

IF $A[11].VALUE = 0$ THEN $A[21].VALUE = 3.81$

IF $A[12].VALUE = 0$ THEN $A[14].VALUE = 0$

rem % положение _ задвижки a

$A[22].VALUE = (A[18].VALUE *) / A[1].VALUE$

rem расход через задвижку m^3/c

$A[23].VALUE = (A[19].VALUE * 1000 / 1)$

IF $A[11].VALUE = 0$ THEN $A[24].VALUE = 3.81$

IF $A[11].VALUE > 0$ THEN $A[24].VALUE = 11.6$