

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

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА АВТОМАТИКИ

На правах рукописи

УДК 681.532.63

ЛОФЧАЛЫ ЭМРЕ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
РЕГУЛЯТОРА ТКС-71 УРОВНЯ В ДЕАЭРАТОРЕ БОРНОГО  
РЕГУЛИРОВАНИЯ ВВЭР-1000 НА БАЗЕ ПТК ТПТС

Выпускная квалификационная работа специалиста

Специальность 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Выпускная квалификационная работа  
защищена «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

Оценка \_\_\_\_\_

Секретарь ГЭК \_\_\_\_\_

г. Москва

2021

Студент-дипломник \_\_\_\_\_ Лофчалы Эмре  
(подпись) (ФИО)

\*Руководитель ВКР \_\_\_\_\_ Королев С.А.  
к.т.н., доцент (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.

## РЕФЕРАТ

Объём пояснительной записки 79 стр., рис. 30, таблиц. 4, источников 17. ПТК, MATLAB, MWBRIDGE, MikBASIC, АЛГО ВУ, DISPLAY.

Цель работы: разработать структурные математические модели объекта управления, регулирующего органа и системы управления. Реализовать систему уровня в деаэраторе борного регулирования ТКС71 во всех режимах работы на АЭС с ВВЭР-1000 на базе программно-технических средств ТПТС.

В базу работы возложено сравнительное исследование динамических свойств различных схем АСР. Согласно результатам данного анализа, сделаны заключения о преимуществах и недостатках вариантов построения АСР и избрана наиболее эффективная схема.

В проектной части проведена проверка правильности работы системы поддержания заданного значения уровня в деаэраторе борного регулирования АЭС с ВВЭР-1000 на ПТК Matlab.

Спроектирована система борного регулирования уровня в деаэраторе, где объект управления (деаэратор) выполнен в ПТК MWBridge в виде разностных уравнений. Так же проведена проверка правильности работы. Создана мнемосхема, на которой оператор может управлять системой и следить за ней в простом виде.

## СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....	5
ВВЕДЕНИЕ .....	6
Глава 1 .....	8
1.1 Обзор АЭС с реактором ВВЭР-1000 .....	8
1.2 Водно-химический режим и физико-химические процессы в первом контуре ВВЭР.....	10
1.3 Описание и принцип работы деаэратора .....	21
1.4 Роль регуляторов в автоматизированных системах управления .....	27
1.5 Общая логика работы датчиков.....	30
Глава 2 .....	32
2.1 Информация об автоматическом регулировании уровня воды .....	32
2.2 Регулятор уровня в деаэраторе борного регулирования ТКС71 .....	34
2.3 Математическое моделирование .....	38
Глава 3 .....	49
3.1 Программно-тех. ресурсы ТПТС.....	49
3.2 Использование регулятора ТПТС с объектом управления.....	56
3.3 Представление объекта управления в виде разностных уравнений....	57
Глава 4 .....	58
4.1 Создание структурных схем ДБР и его моделирование в программе MATLAB .....	58
4.2 Моделирование ДБР в программе MWBridge .....	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	77
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	78

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АР	– Автоматический регулятор
АРУ	– Автоматический регулятор уровня
АСУТП	– Автоматизированная система управления технологическими процессами
АСР	– Автоматическая система регулирования
АЭС	– Атомная электростанция
ВВЭР	– Водо-водяной энергетический реактор
ГЦН	– Главный циркуляционный насос
ИМ	– Исполнительный механизм
ПВД	– Подогреватель высокого давления
ПФ	– Передаточная функция
РУ	– Реакторная установка
РК	– Регулирующий клапан
РТ	– Рабочая точка
САПР	– Система автоматизированного проектирования
ДП	– Деаэратор подпитки
ДБР	– Деаэратор борного регулирования
ТОУ	– Технологический объект управления
УС	– Управляющая система
УСБ	– Управляющая система блокировки
ТП	– Технологический процесс
ТПТС	– Технологические программно технические средства
ФМ	– Функциональный модуль

## ВВЕДЕНИЕ

Паровая энергетика является одной из основ сектора производства электроэнергии. Паровые машины использовались до сегодняшнего дня как приводной двигатель в насосных станциях, локомотивах, на паровых судах, тягачах, паровых автомобилях и еще других транспортных средствах. Паровые турбины, формально являющиеся разновидностью паровых машин, до сих пор часто использовались в качестве приводов генераторов электроэнергии.

Водо-водяной энергетический реактор - это ядерный реактор с водой под давлением, одна из наиболее удачных ветвей развития ядерных энергетических установок, имеющая самое широкое использование в мире. Легкая вода используется в качестве теплоносителя и замедлителя в этом реакторе. Тепло применяется для производства электроэнергии в составе парогенератора с мощностью реактором 1000 МВт. [1]

Деаэратор удаляет растворенные газы путем интенсивного кипячения воды и ее перемешивания. Этот процесс называется «отгонкой». После турбины пар сбрасывается в конденсатор и конденсируется. Из конденсатора вода транспортируется через нагреватели низкого давления в деаэратор для удаления неконденсируемых газов. Из деаэратора питательная вода через подогреватели высокого давления подается в парогенератор.

Цель исследования в этом тезисе - проведенные исследования направлены на увеличение эффективности и надежности, принимаемых оперативным персоналом решений согласно управлению реакторными установками ВВЭР-1000 путем создания автоматизированной системы управления борным регулированием с помощью ТКС71 с разработкой и адаптацией оптимальных алгоритмов управления технологическими процессами с использованием математических моделей. Эти результаты дают возможность косвенно измерять концентрацию борной кислоты и разрабатывать адекватные имитационные модели для прогнозирования основных эксплуатационных параметров энергоблока.

Таким образом, реакторное отделение блока ВВЭР-1000 представляет собой сложный комплекс элементов, устройств, оборудования и для успешного функционирования АЭС необходимо большое число разнообразных технологических систем. Цель автоматизации объединяется не только лишь к исключению лица равно как компонента системы, достижению трудоспособности хода при установленных обстоятельствах эксплуатации, а также необходимых начальных сведений.



## Глава 1

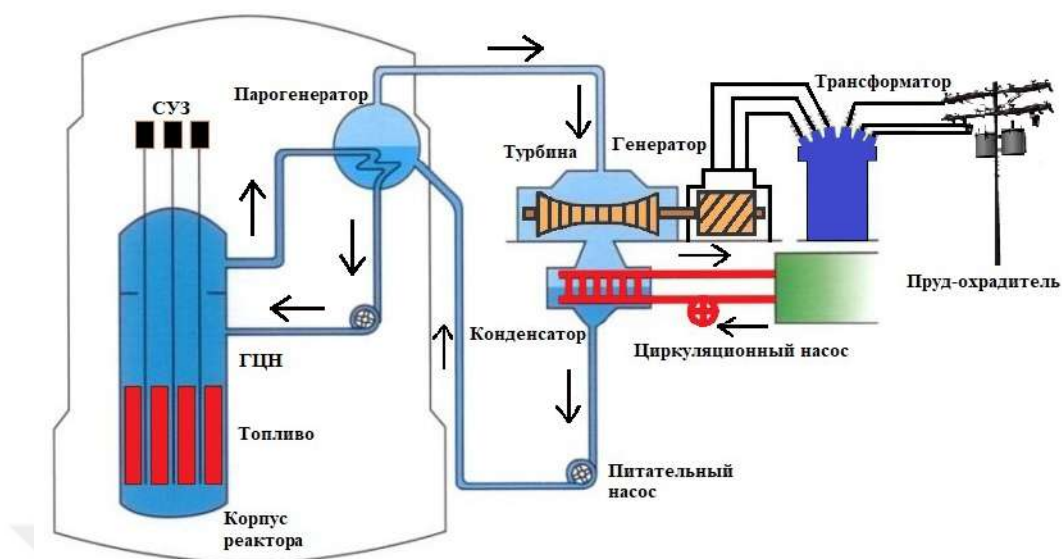
### 1.1 Обзор АЭС с реактором ВВЭР-1000:

Реактор ВВЭР-1000 специализирован для выработки термической энергии в составе паропроизводящей установки атомной электростанции с электронной мощностью блока 1000 МВт. Согласно принципу деятельности он представляется гетерогенным ядерным энергетическим реактором корпусного вида на тепловых нейтронах вместе с простой водой в качестве теплоносителя, а также замедлителя.

Реактор произведен из корпуса, в коем расположены - выгородка, активная зона, шахта и еще блок защитных труб. В верхней части корпуса реактора находится верхний блок вместе с СУЗ.[2]

Основная часть энергоблока ВВЭР-1000 состоит из двух частей: герметичная и негерметичная. В герметичной части, именуемой как правило гермооболочкой, находится оснащение 1-ого контура и реактор. Негерметичная часть, именуемая обстройкой, асимметрично обрамляет оболочку.

Первый контур ВВЭР-1000, радиоактивный. Это содержит реактор типа ВВЭР и циркуляционные петли охлаждения. Любая петля содержит главный циркуляционный насос (ГЦН), парогенератор и две главные запорные задвижки (ГЗЗ). К одной из циркуляционных петель первого контура подсоединен компенсатор давления, содействием коего в контуре удерживается установленное давление воды, представляющей в реакторе в то же время теплоносителем и замедлителем нейтронов. На энергоблоках с реактором ВВЭР-1000 - существует 4 циркуляционные петли.



Рисунок(1.1.1): Простая схема ВВЭР-1000

Основными системами АЭС с реактором ВВЭР-1000 являются следующие:

- Реактор;
- Первичный контур: главные циркуляционные трубопроводы, главные циркуляционные насосы (ГЦН), парогенераторы (ПГ);
- Система компенсации давления наддува и первичного контура;
- Система подачи и отвода первичного контура, включая регулирование Бора;
- Паропроводы вторичного контура и трубопроводы питательной воды;
- Система управления и защиты;
- Система безопасности. [3]

## 1.2 Водно-химический режим и физико-химические процессы в первом контуре ВВЭР

ВХР — данное более подходящий комплекс эксплуатационных, а также конструкторских событий, которые обеспечивают оптимальные физико-хим свойства теплоносителя, а также рабочего тела вместе с мишенью увеличения надежности и безопасности деятельность энергетического оснащения.

Фактически данное объединяется для определения возможного содержания примесей, а также их высококачественного состава в воде, то есть подбору норм и разработке комплекса мероприятий, которые обеспечивают поддержание принятых норм. [4]

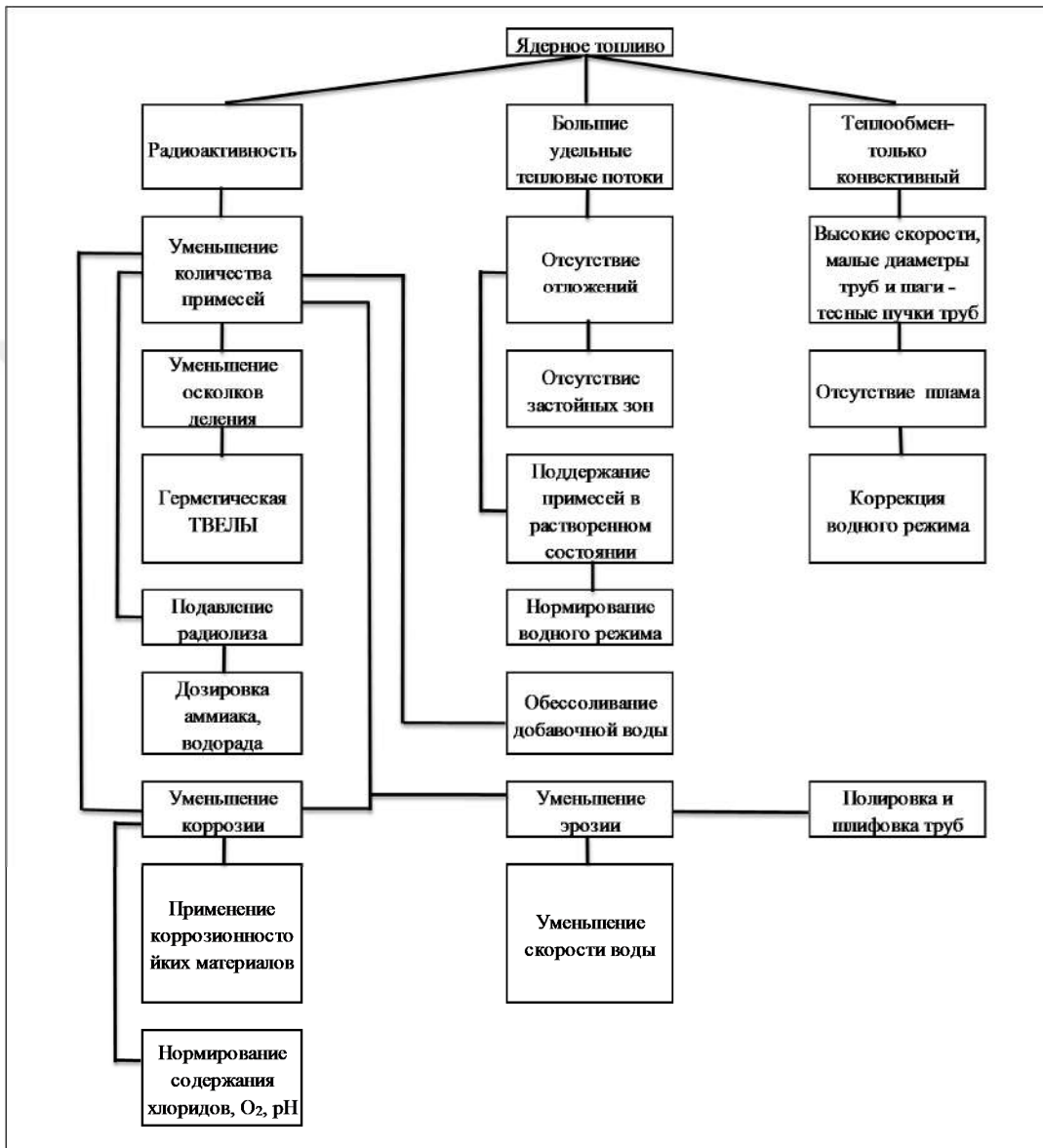
Основными задачками водного режима представлены:

- Предотвращение либо уменьшение до разрешенного уровня коррозии конструкционных, а также реакторных материалов;
- Предотвращение создания отложений на поверхностях оснащения;
- Обеспечение надежной и еще экономной деятельность станции.

Задачи водного режима обязаны рассматриваться уже в периоде планирование атомных электростанций. Водно-хим режим узким способом сопряжен вместе с теплотехнической схемой ядерных электростанций, системами единичных нее компонентов, подбором конструкционных и еще реакторных материй.

Газовая радиоактивность ориентируется радиоактивностью газовидных товаров разделения, товаров радиолита воды и еще газов, возникающих в теплоносителе в итоге ядерных взаимодействий. Чем меньше примесей в теплоносителе, тем ниже его радиоактивность. Исход в теплоноситель газовидных осколков разделения обуславливается герметичностью тепловыделяющих элементов. Радиоактивность теплоносителя 10-1 Ки/л значит разгерметизацию в пределах 1 % тепловыделяющих элементов. Уменьшение товаров радиолита воды в в водо водяном энергетическим реакторе добивается путем пресечения радиолита воды за расчет дозы аммиака или же водорода. Газовая радиоактивность считается короткоживущей а также

спустя останова реактора стремительно падает. В остановленном реакторе радиоактивность ориентируется радиоактивными нуклидами товаров коррозии.



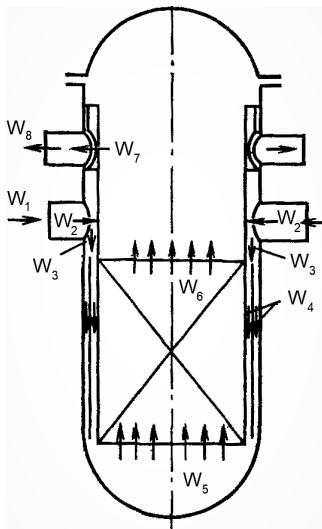
Рисунок(1.2.1): Отношение водно-хим режима с теплотехнической схемой АЭС, системами ее компонентов, подбором конструкционных материалов

Снижение числа продуктов коррозии в теплоносителе добивается использованием более коррозионно-устойчивых веществ а также верной системой водно-хим режима. С целью понижения примесей, прибывающих вместе с подпиточной водой начального наполнения, используется двух либо трехступенчатое хим обессоливание исходной воды.

В одном ряду с продуктами коррозии в теплоноситель смогут действовать и продукты эрозии, появляющиеся в следствии механического уничтожения металла под влиянием больших скоростей воды. По данной основанию скорости теплоносителя обязаны обусловленными, не вызывающими разрушение конструкционных веществ. На рисунке 1.2.2 и в таблице 1.2.1 представлены используемые в СССР и за рубежом скорости теплоносителя в ВВЭР.

Таблица(1.2.1) Скорости теплоносителя в реакторах типа ВВЭР, м/с:

<b>Скорость</b>	<b>ВВЭР-1000 (СССР)</b>
W1	9,3
W2	9,3
W3	7,8
W4	6,12
W5	5,2
W6	5,8
W7	10,5
W8	10,5



Рисунок(1.2.2): Распределение скоростей теплоносителя в ВВЭР

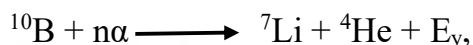
Возникновение отложений в прочих зонах контура циркулирования приводит для протекания местных типов коррозии под отложениями, что в существенной степени понижает безопасность деятельности оснащения. С целью снижения вероятности появления либо целого исключения образования отложений нужно подкреплять примеси в теплоносителе в растворенном состоянии, а также точно понижать нормируемой степени. Контур циркуляции обязан быть спроектирован этим способом, для того чтобы устранить тупиковые участки и места с вялой циркуляцией, являющиеся местами скопления отложений.[5]

Третьей характерной водно хим системы реакторов представляется наличие лишь конвекционного теплообмена. Огромное число теплоты, сбрасываемой теплоносителем из активной зоны реактора при конвективном теплообмене, принуждает использовать высокие скорости в реакторе, а также при передаче данной теплоты второму контуру в трубках парогенераторов.

Мягкое регулирование реактивности АЗ реактора выполняется за счет перемен в теплоносителе концентрации борной кислоты, в связи с запасом реактивности АЗ реактора.

Один из критерия редукиции накопления состояние активированных продуктов коррозии и радиоактивных остатков в находящуюся вокруг окружение представлены подходящее управление водно-хим режима 1-ого контура, а также деятельность средств его укрепления.

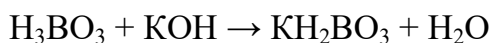
При управлении водно-хим режима 1-ого контура атомной электростанции с водо-водяными реакторами необходимо принимать во внимание накапливание в теплоносителе изотопа лития, что сформируется в реакторе согласно дальнейшей реакции:



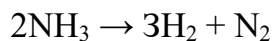
где  $\alpha$  - это  $\alpha$ -частицы;

$E_\gamma$  - это энергия  $\gamma$ -излучения

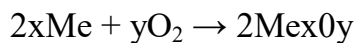
Пребывание в теплоносителе борной кислоты причиняет для уменьшения водородного показателя рН теплоносителя, следовательно, с целью нейтрализации кислотных свойств раствора в теплоноситель вводится КОН:



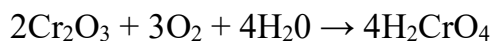
Сдерживание создания окислительных продуктов радиолиза гарантируется обеспечением в теплоносителе концентрации Н в пределах возможного спектра с помощью постоянного либо повторяющегося дозирования аммиака, либо гидразингидрата, что радиолитически распадаются вместе с образованием водорода, а также азота:



Вместе с  $O_2$  имеют все шансы происходить окислительные взаимодействия с металлом на подобии:



Либо взаимодействия с продуктами ржавчины типа:



Продукты коррозии при присутствии циркулирования теплоносителя согласно 1-му контуру активизируются в реакторе а также создадут радиоактивные отложения в внутренних поверхностях оснащения а также трубопроводов, кроме того в поверхностях тепловыделяющей установки, в том числе оболочки тепловыделяющих компонентов.[6]

Накапливание в отложениях на оборудовании, а также трубопроводах 1-ого контура радиоактивных долгоживущих изотопов коррозионного возникновения, основным способом радионуклидов —  $^{51}Cr$ ,  $^{54}Mn$ ,  $^{59}Fe$ ,  $^{60}Co$ ,  $^{58}Co$ , приводит для усилению негативных тенденций излучательной ситуации, усложнению выполнения ремонтных работ, но кроме того вызывает потребность выполнения дезактивации оборудования.

Понижение интенсивности действий увеличения отложений на теплопередающих поверхностях, а также сбережения активированных продуктов коррозии в плоскости обслуживаемого оснащения при труде на введенной мощности поддерживается итоговой молярной концентрации ионов щелочных металлов (K, Li и Na) в согласовании вместе с оптимизированной связью их с нынешней концентрации борной кислоты.

К нормируемым признакам принадлежат показатели свойства теплоносителя, поддержание каковых в спектрах возможных значимостей дает обеспечение цельность топливных кассет АЗ реактора, предназначенный источник оснащения 1-ого контура, а также посредственную излучательную ситуацию при ремонте оснащения. С целью нормируемых показателей свойства теплоносителя ставятся степени отклонений, различающихся согласно значению и длительности. С целью любого степени отклонений

поставлены равно как наибольшие отличия показателей свойства теплоносителя, таким образом максимум разрешенное период деятельность энергоблока на мощности при отклонениях.

К диагностическим признакам принадлежат показатели характеристики теплоносителя, обеспечивающие принятие добавочной данных о факторах изменения нормируемых показателей либо смещения в худшую сторону водно-химический режим. С целью исследовательских показателей поставлены контрольные степени. Отличия исследовательских показателей от ревизорских степеней показывают на нарушения водно-химического режима, которые при длительном действии смогут явиться причиной к отклонениям нормируемых показателей.

Нарушением водно-химического режима представлены отличия нормируемых показателей особенности теплоносителя от диапазонов возможных значимостей, без устраненные в процесс установленного введенного с целью любого уровня периода, но кроме того отличия диагностических показателей, которые не устранены в течение 7 сут, приступая с времени их выявления.

Отложения продуктов коррозии провоцируют отрицательные результаты: под отложениями делается сосредоточение коррозионно-агрессивных примесей, что же ускорит местные типы коррозии.

Отложения в передвигающихся элементах лопастей, а также арматуры могут вызвать их застревание и несработка. Возникновение их на теплопередающих поверхностях усугубляет теплообмен, что в особенности рискованно с целью теплонапряженных плоскостей теплообмена. Температура ядерного топлива в центре твэла доходит  $2000^{\circ}\text{C}$ , а посредственная температура теплоносителя  $300\text{—}310^{\circ}\text{C}$ . При данном на радиусе твэла 4,6 миллиметров (диаметр твэла 9,1 миллиметр) существует высокий разность температур. При появлении отложений за результат смещения в худшую сторону теплоотвода температура циркониевой оболочки

возрастет, имеет возможность превзойти максимально разрешенное значение и в данном случае случится нарушение плотности твэла.[8]

Для укрепления числа продуктов коррозии в нужном степени, определяемом нормами на качество воды, часть воды (продув) контура циркуляции отбирается на очистку вместе с возвратом очищенной воды в контур. Часть воды с целью очищения ее от продуктов коррозии очищается на механических фильтрах, установленных на байпасной линии ГЦН. Нормы качества реакторной воды первого контура ВВЭР приведены в таблице 1.2.2.

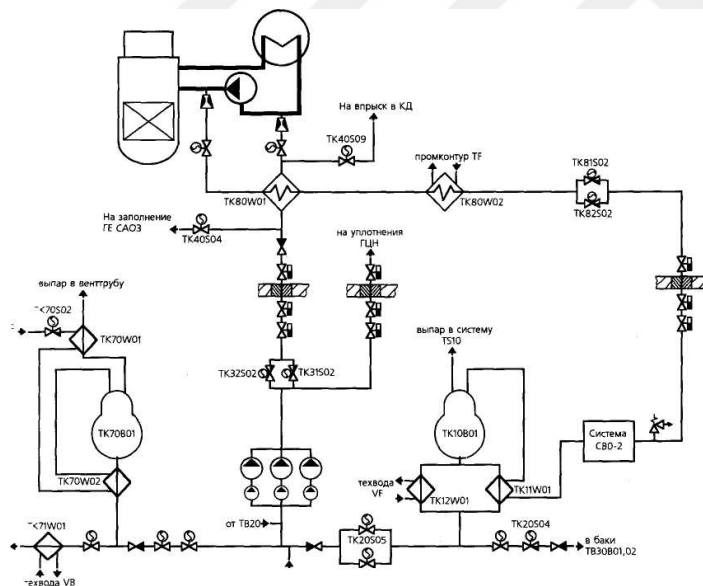
Как заметно из таблицы, в ВВЭР используют коррекционный калий-аммиачный режим при борном регулировании.

Таблица(1.2.2) Показатели смешанного калий-аммиачного режима при борном регулировании для ВВЭР

Показатель	Нормируемое значение	Примечание
Борная кислота, г/кг	До 16,0	В зависимости от технологического, ядерно-энергетического режима работы реактора
Значение рН	5,7—10,2	Складывается в зависимости от концентраций борной кислоты, калия и аммиака
Хлорид-ион, мг/кг	<0,1	—
Кислород, мг/кг	<0,01	Складывается самопроизвольно в связи с подавлением радиолиза
Водород, норм, мл /кг	30—60	Поддерживается за счет регулирования подачи аммиака
Аммиак, мг/кг	>5,0	Не более концентрации, при которой содержание водорода превышает 60 норм, мл/кг
Калий, мг/кг	2,5—12,0	Регулируется для поддержания величины рН не менее 5,6 при любых требуемых концентрациях борной кислоты

Деятельность реакторной конструкции неосуществима в отсутствие восполнения очень незначимых, но неминуемых потерь теплоносителя 1-ого контура. Используемые в унифицированных планах ВВЭР-1000 главные циркуляционные насосы ГЦН-195М вместе с торцевым уплотнением вращающегося вала требуют системы подачи запирающей воды с целью охлаждения, а также смазки уплотнения, но кроме того надежного предотвращения протечек воды 1-ого контура из насоса. Помимо этого, при работе РУ постоянно имеется потребность выполнять корректировку ВХР теплоносителя 1-ого контура и ввод в 1. контур разных технологических сред и химических реагентов. [9]

Для исполнения отмеченных задач на блоке АЭС с ВВЭР-1000 существует система продувки-подпитки.



Рисунок(1.2.3): Упрощенная схема системы и продувки-подпитки ТК

Система подпитки-продувки принадлежит системам, значительным ради безопасности. В границах герметичной оболочки по линии продувки, а также с противоположного клапана на общей линии подпитки до ГЦК система представляется системой, значимой для безопасности, отрицание в этой части имеет возможность спровоцировать исходное событие аварии за пределами

гермозоны, таким образом по трубопроводам транспортируется теплоноситель с активностью 10-5 Ки/л.

Система действует в порядках стандартной эксплуатации, в том числе переходные режимы блока. В аварийных моментах, объединенных вместе с разуплотнениями первого либо второго контуров функциональность системы согласно плану не потребуется. В системах стандартной эксплуатации система дает обеспечение перечисленные выше условия. Аспектом исполнения системой своих функций представляется предоставление необходимых расходов, температуры, сосредоточения теплоносителя первого контура. В этих режимах оснащение и арматура пребывают в рабочем состоянии, то есть функционирует один из подпиточных насосов, открыта арматура на линиях продувки и подпитки, введены в работу регуляторы на линиях продувки и подпитки.

Учитывая, что система продувки-подпитки обязана постоянно работать в момент стандартной эксплуатации энергоблока на мощности, насосные установки продублированы с мишенью потенциал вывода агрегатов на промышленное услуги и ремонт.

Бор и его соединения более зачастую используют в свойстве материала-поглотителя органов регулирования. Поглощение нейтронов обуславливается изотопом  $^{10}\text{B}$ , на долю, которого в естественном боре приходится 18 %. Бор применяют в аморфном либо кристаллическом виде в составе подобных известных хим сочетаний, как бора  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , борная кислота  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , карбид бора  $\text{B}_4\text{C}$ , нитрид бора  $\text{BN}$ , но кроме того в варианте его соединений вместе с металлами. С целью увеличения эффективности естественного бора это имеет возможность быть обогащен до 90 %  $^{10}\text{B}$ .

Имеется еще ряд иных неторопливо изменяющихся эффектов. С целью исполнения задания компенсации большущих запасов медленным темпом меняющейся реактивности в таковых реакторах нужна специализированная инерциальная система, какую обыкновенно именуют компенсирующей. Она обязана обладать потенциально крайне сильный вес, а не принимать

стремительных изменений реактивности при разных режимах. С целью корпусных реакторов в свойстве компенсирующей максимальное расширение приобрела система регулирования реактивности вместе с поддержкой поглощающей жидкости. В реакторе ВВЭР как жидкостной системы регулирования применяется система регулирования с помощью борной кислоты.[12]

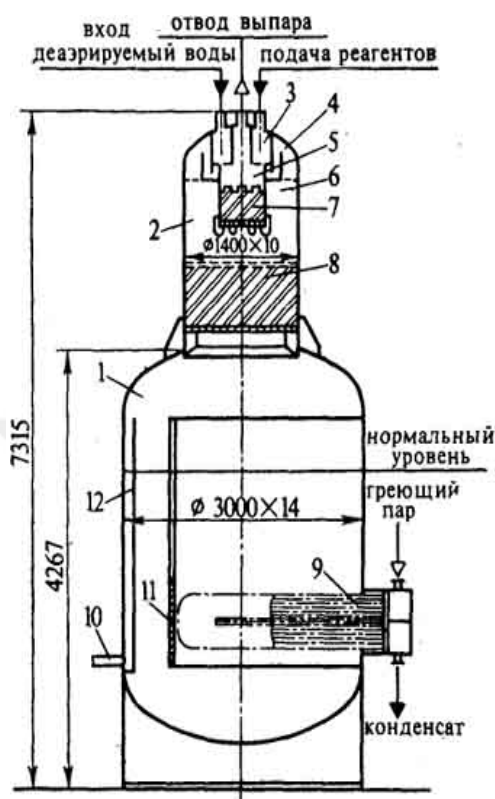
Система борного регулирования осуществляет эксплуатационные функции и, следовательно, принадлежит к системам нормальной эксплуатации. Потому как от данных систем в зависимости безопасность реактора, а также их несогласие имеет возможность стать начальным событием для аварии, в таком случае их причисляют к системам нормальной эксплуатации, необходимым для безопасности.

Борное регулирование реактора, то есть изменение концентрации борной кислоты, исполняется с содействием системой подпитки-продувки теплоносителя. Низкий расход через данную систему позволяет обеспечить очень малые скорости изменения концентрации борной кислоты, как целиком подходит запросам правил ядерной безопасности. Следовательно, в обстоятельствах работы на неизменной мощности борное регулирование не выступает проблем, даже если обладает определенную специфику.

При вступлении дистиллята с тем же самым расходом в начале кампании результативность водообмена побольше, чем в окончании кампании, а также при вступлении борного концентрата результативность водообмена зависит от концентрации бора в подпитке; для подпитки с тем же самым расходом к окончанию кампании она несущественно возрастает.

Сложный характер различия концентрации борной кислоты при водообмене сильно значителен с точки зрения ядерной безопасности в ситуации физического пуска реактора, то есть при выводе реактора в критическое состояние.

### 1.3 Описание и принцип работы деаэратора:



- 1 – вертикальный бак;
- 2 – дегазационная колонка;
- 3 – центральная распределительная камера;
- 4 – периферийная распределительная камера;
- 5 – центральная струйная камера;
- 6 – периферийная распределительная камера;
- 7, 8 – насадочные колонны;
- 9 – теплообменник;
- 10 – перелив
- 11 – глухой щит;
- 12 – дренаж

Рисунок (1.3.1): Схема деаэратора подпитки ТК10 в ВВЭР-1000

Деаэратор подпитки (ДП) дегазирует подпиточную воду, прибывающую от ионитных фильтров.

Деаэратор борного регулирования (ДБР) дегазирует “чистый” конденсат, поступающий от насосов дистиллята.

Основная деятельность деаэратора подпитки - разъединение кислорода, углекислого газа и еще прочих неконденсирующихся газов из “чистого” конденсата, до подачи его в 1. контур. Кроме того, в данном деаэраторе совершится разводнение водорода водяным паром либо азотом до взрывобезопасного сосредоточения. Наравне вместе с глубоким выделением кислорода и водорода, аппарат дает возможность выделить из контурной воды растворенные в ней радиоактивные благородные газы (РБГ): криптон, ксенон

и другие, каковые поступают в теплоноситель I контура из тепловыделяющих элементов кассет, обладающих газовой неплотностью.

ДБР функционирует в системе стабильной циркуляции с целью поддержания запаса “чистого” конденсата, требуемого для действий водообмена, то есть он осуществляет функцию демпферной емкости на всасе подпиточных насосов.[7]

После дегазации конденсат сбрасывается через теплообменник, а также при потребности, при помощи охладителей наоборот в баки сохранения чистого дистиллята.

Деаэратор подпиточной воды ТК10В01 находится в помещении А-423 обстройки РО предназначен с целью дегазации подпиточной воды. Деаэратор борного регулирования ТК70В01 находится в помещении А-424 обстройки РО и предназначен с целью дегазации дистиллята, подаваемого на всас подпиточных насосов при проведении водообмена теплоносителя 1 контура.

Деаэратор подпиточной воды (ДП) ТК10В01 и деаэратор борного регулирования ТК70В01 (ДБР) по части установки исполнены совершенно одинаково. Деаэратор заключается из вертикального бака-аккумулятора со встроенным подогревателем и еще деаэрационной колонкой, поставленной на баке. Внутри деаэрационной колонки конструкцией определенных перегородок, а также распределительных тарелок созданы:

- главная и периферийная распределительная камеры;
- центральная и кольцевая струйные камеры;
- малая и большая насадочные колонны.

Деаэрационная колонка – вертикальный цилиндрический сосуд, установленный сверху бака-аккумулятора коаксиально с ним и приваренный к его верхнему днищу.

Главная распределительная камера образована цилиндрическими перегородками, малой распределительной тарелкой и корпусом дегазационной колонны.

Периферийная распределительная камера ограничена цилиндрическими перегородками и большой распределительной тарелкой.

Обе камеры сообщаются через гидрозатвор, образованный перегородками и глухим днищем.

Малая насадочная колонна находится в нижней части обечайки под центральной струйной камерой. Над насадкой установлена провальная распределительная тарелка для пропуска пара и для равномерного распределения воды.

Большая насадочная колонна находится в нижней части дегазационной колонны под кольцевой струйной камерой и малой насадочной колонной. Над насадкой поставлена провальная распределительная тарелка с целью пропуска пара, а также с целью равномерного распределения воды.[10]

Для организации эффективного газоудаления в связи с большим диапазоном нагрузки и для повышения площади контакта пара и воды в колонке организованы два независимых контура для больших и малых потоков.

В каждый контур вступают распределительная и струйная камера, и еще насадочная колонна. В обоих колонах в качестве насадки применяются кольца Рашига по поверхности которых стекает пленка деаэрируемой воды, прогреваемая паром, движущимся вверх. Отлично сформированная поверхность омывания воды паром дает возможность уменьшить габариты деаэратора).

В качестве опорной установки под кольца Рашига применяются 2 решетки из перфорированных листов, укрепленные ребрами жесткости. Данные решетки, владея высокой несущей способностью, гарантируют свободное сечение с целью пропуска воды и пара больше чем 50 %.

Подлежащий деаэрации поток через штуцер подвода теплоносителя, стоящий в верхнем днище деаэрационной колонки действует в основную распределительную камеру. Стабильная эффективность малой насадочной колонны поддерживается перфорированной тарелкой и цилиндрической

перегородкой, которая дает обеспечение нужной уровень воды в распределительной камере.

В этом случае, при случае расход прибывающей воды меньше данного значимости, что свойственно для деаэрата борного регулирования при работе в резерве, уровень в главной распределительной камере не превзойдет верхней кромки перегородки, что опускает подачу воды в периферийную распределительную камеру. Весь поток дегазируется, проникая маленькими струями путем центральной струйной камеры и дальше через малую насадочную колонну.

В системах, при случае расход воды превосходит установленную значимость практически во полных режимах работы ДБР, вода через верхнюю кромку перегородки, огромную распределительную тарелку и периферийную струйную камеру действует на большую насадочную колонну, оснащенную барботажной тарелкой для добавочной дегазации.

Площадь перфорации барботажного листа принята даже при наименьшей нагрузке деаэрата над листом возникнет паровая подушка. Это дает обеспечение контакта целой воды с греющим паром в барботажном установке.

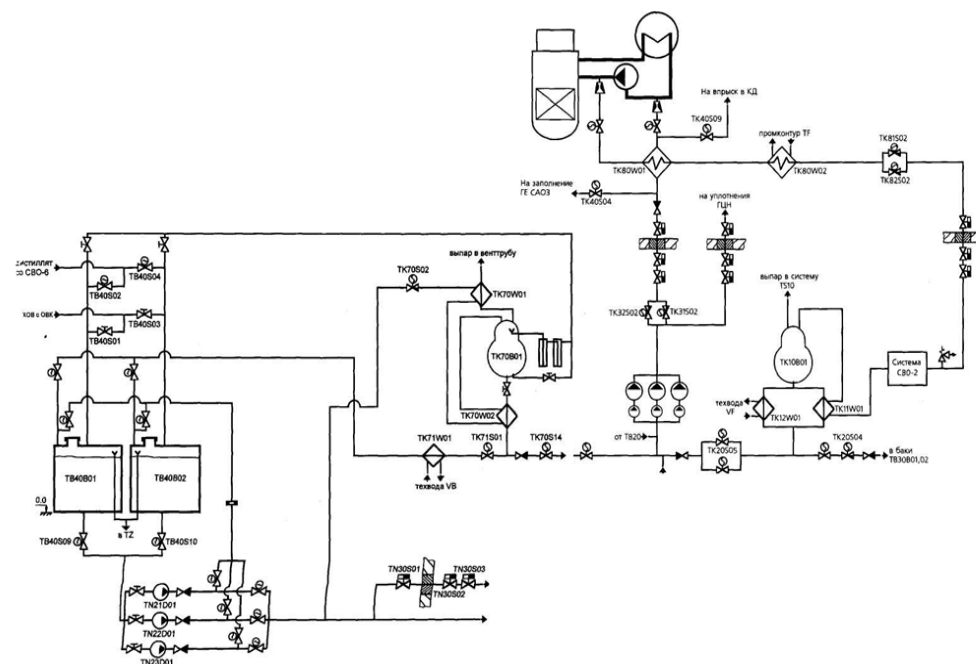
За период движения стекающая на тарелку вода заранее разогревается в периферийной струйной камере до температуры, близкой к температуре насыщения за счет конденсации греющего пара. Вода и греющий пар движутся встречными потоками - вода вниз, а пар вверх. Конденсат греющего пара присоединяется к струям воды, а прочей пар протекает в дальнейшем наверх по высоте колонны, снабжая ее лучшее проветривание, унося с собой неконденсирующиеся газы, выделившиеся в процессе деаэрации, повышая период присутствия в нем движущейся вниз воды, что делает лучше нее прогревание и деаэрацию.[11]

Остальной не сконденсировавшийся пар совместно с газами отводится при помощи штуцер в верхнем днище деаэрационной колонки в охладитель выпара системы дожигания водорода, в каком месте пар конденсируется,

конденсат пара сливается в бак-гидрозатвор и из него соединяется в бак организованных протечек. Не конденсировавшиеся газы отводятся в систему дожигания водорода.

Деаэратор представляет собой цилиндрический аппарат, состоящий из двух основных элементов:

1. вертикального бака-аккумулятора со встроенным подогревателем;
2. деаэрационной (дегазационной) колонки, установленной на баке.



Рисунок(1.3.2): Блок-схема представления контуров управления деаэратором системы ТК Система подпитки-продувки 1-ого контура и TN Система "чистого" конденсата

Бак-аккумулятор – вертикальный цилиндрический сосуд с эллиптическими днищами.

Внутри бака-аккумулятора поставлены 2 вертикальные перегородки, 2 наклонные перегородки, сегментная перегородка и поддон, которые разделяют весь внутренний объем бака-аккумулятора на 2 полости.

Внутренняя микрополость, размещенная между перегородками и поддоном, работает для созыва воды, прибывающей из дегазационной

колонны деаэрата, и организации точного оборотного контура для воды и пара. При данном перегородки разделяют целую внутреннюю микрополость на опускной и подъемный участок контура циркулирования. Козырек отправляет воду, выходящую из дегазационной колонны, только лишь в опускной участок внутренней полости.[13]

Внешняя микрополость, заключенная между 2-я отвесными перегородками, 2-я наклонными перегородками, сегментной перегородкой, поддоном с одной края, также корпусом бака с другой, предназначивает с целью сброса продегазированного конденсата.

В нижней части бака-аккума меж перегородками распложен подогреватель, сделанный из U-образных труб, завальцованных в трубную дощечку, прикрепленную к патрубку на корпусе бака.

Трубная дощечка прикрыта крышкой-камерой, каковая поделена перегородкой на 2 части. Уплотнитель перегородки на трубной дощечке металл - по металлу.

В верхнем отделе камеры подводится пар из системы пара своих потребностей, конденсат отводится из нижней камеры в конденсатную линию данной системы и дальше в турбинное отделение.

Вода из деаэрационной колонки следует козырьком в спускной участок внутренней полости бака, барботируется паром, протекает трубный пучок и через проход в поперечной перегородке получается во наружную микрополость.

В целях исключения подмешивания не дегазированной воды к воде, закончившейся все периода деаэрации, уровень в баке-аккумуляторе удерживается пониже верха перегородки.

Высокая уровень дегазации и предотвращение вторичного растворения в воде, выделившихся из нее газов гарантируется конкретно созданным противоточным процессом и непрерывным контактом поднимающегося потока пара и нисходящего потока воды вначале в баке-аккумуляторе, потом в насадочных колонках и струйных камерах.

Подпиточная вода отводится из нижней части бака-аккумулятора.

ДБР обеспечивает деаэрацию поступающих потоков в следующих режимах:

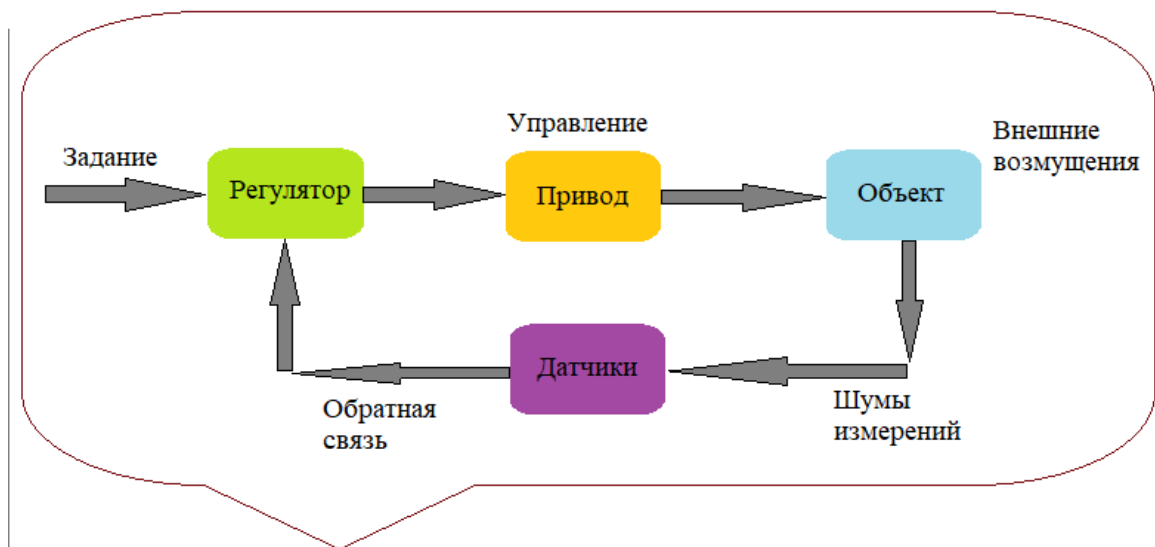
- номинальном;
- борного регулирования при вводе и выводе бора;
- аварийном, при вводе бора.

Деаэратор гарантирует хорошую деаэрацию, а также дегазацию потоков в паровом режиме, снижая содержимое кислорода при дегазации.

#### 1.4 Роль регуляторов в автоматизированных системах управления:

В управлении во всякое время содержатся объект и субъект управления. Субъект управления больше состоит из регулятора или управляющего устройства. В базу работы регуляторов приняты различные принципы.

Регуляторы содержатся повсюду, не только в промышленном, но и в предметах домашнего обихода. К примеру, термостат в морозильнике либо утюге. В эти дни в системах управления роль регулятора осуществляют ПК либо микропроцессорные установки. Подобные регуляторы применяются в управлении полетами самолетов, а также в беспилотных машинах.



Рисунок(1.4.1): Схема системы автоматического управления в простом виде

Регулятор — это механизм, что сопоставляет значение, принятое от замерного преобразователя, вместе с установленным значением, следовательно дает сигнал управления на исполнительную часть (пропорциональный клапан) для того чтобы регулировать открытия клапана до нужного значения. Контроллер обязан регулировать данной передачей с течением времени таким образом, для того динамические качества процесса были сбалансированы. Уставка обязана достигнута в короткий период, но отклонение значения сигнала противоположной взаимосвязи от уставки необходимо быть по минимуму.

На выходе контроллера непрерывного воздействия формируется непрерывный сигнал (напряжение или ток), каковой возможно постоянно принимать все переходные значения меж начальным и конечным. Имеются 3 вида контроллеров: пропорциональные (P), пропорционально-интегральные (PI) и пропорционально-интегрально-дифференциальные (PID). И тот и другой вид контроллера специализирован на определенных местах применения.

Таблица(1.4.1) Область применения контроллеров

Применение	P	PI	PID
Давление	<i>Очень редко применяется</i>	<i>Применяется</i>	<i>Применяется</i>
Расход	—	<i>Применяется</i>	<i>Редко применяется</i>
Температура	<i>Очень редко применяется</i>	<i>Применяется</i>	<i>Применяется</i>
Уровень	<i>Применяется</i>	—	<i>Применяется</i>
Скорость	<i>Применяется</i>	<i>Применяется</i>	<i>Применяется</i>

## П- регулирование:

В общем случае Р-контроллер не способен стабилизировать процессы наиболее высокого порядка. Выходящая мощность прямопропорциональна ошибке регулирования. Чем больше коэффициент пропорциональности, тем меньше выходная мощность при одной и той же ошибке регулирования. Пропорциональное регулирование может предлагать для малоинерционных систем с немалым коэффициентом передачи. Для настройки пропорционального регулятора необходимо вначале определить коэффициент пропорциональности наибольшим, при данном выходящая мощность регулятора снизится до нулевой отметки. В последствии стабилизации промеренного значения, нужно определить установленное значение и со временем снижать коэффициент пропорциональности, при данном ошибка регулирования будет снижаться. Если в системе появятся периодические колебания, коэффициент пропорциональности надлежит повысить так, для того чтобы ошибка регулирования существовала наименьшей, но периодические колебания предельно стали меньше.

## ПИ регулирование:

Выходящая мощность равна сумме пропорциональной и интегральной образующих. Чем больше коэффициент пропорциональности, тем менее выходящая мощность при одной и той же ошибке регулирования. Чем больше постоянная времени интегрирования, тем медленнее скапливается интегральная составная часть. PI регулирование гарантирует нулевое заблуждение регулирования и неощутимо к помехам замерного канала. Минусом PI регулирования представляется медлительная реакция на возмущающие влияния. К настройке PI регулятора необходимо вначале определить непрерывную времени интегрирования равный 0, но коэффициент пропорциональности - наибольшим. Потом как при настройке пропорционального регулятора, сокращением коэффициента пропорциональности необходимо достичь появления в системе незатухающих колебаний. Ближнее к оптимальному значение коэффициента

пропорциональности будет в два раза больше того, при котором появились колебания, а тесное к подходящему значению непрерывной времени интегрирования - на 20% меньше периода колебаний.

ПИД регулирование:

Выходящая мощность равна сумме 3 элементов: пропорциональной, интегральной и дифференциальной. Чем больше коэффициент пропорциональности, тем меньше выходящая мощность при одной и той же ошибке регулирования, чем больше постоянная времени интегрирования, тем медленнее скапливается интегральная составная часть, чем больше постоянная времени дифференцирования, тем сильнее реакция системы на возмущающее влияние. PID-регулятор используется в инерциальных системах с касательно небольшим уровнем помех измерительного канала. Плюсом PID регулятора представляется стремительный выход на режим, четкое удерживание установленной температуры, а также быстрая реакция на возмущающие влияния. Прирученная настройка PID представляется очень непростой, следовательно рекомендовано пользоваться функцией автонастройки.

### 1.5 Общая логика работы датчиков

Датчик - это устройство, которое регулирует выходной сигнал (или контролируемую переменную) а также преобразует его в электрический сигнал, чтобы сравнить входной -  $U(S)$  - сигнал с выходящим -  $H(S)$  - сигналом, наличие датчика делает систему закрытой, именуемую обратной связью.

Для систем работает равно как регулятор, входной сигнал  $U(S)$  - который только преобразование Лапласа  $u(t)$ , входной сигнал во временной области - всегда представляется постоянным значением, но для систем работает как Сервомеханизм, входной сигнал является переменной. Так что,

- Если уровень жидкости повышен, этот уровень воспринимается датчиком, где уровень жидкости преобразуется в электрический сигнал и электрический сигнал передается в передатчик. Потом передатчик передает сигнал на регулятор. В регуляторе сигнал сравнивается с значением уставки. Если есть разница, то клапан начинает закрываться регулятором. Уровень

жидкости в баке будет снижаться клапаном выхода, пока уровень не достигнет заданного значения.

- Если уровень жидкости уменьшен, этот уровень воспринимается датчиком жидкости, где уровень жидкости преобразуется в электрический сигнал и электрический сигнал передается в передатчик. Потом передатчик передает сигнал на регулятор. В регуляторе сигнал сравнивается с заданным значением. Если есть разница, то клапан начинает открываться регулятором. Уровень жидкости в баке будет увеличиваться, в течение уровень жидкости достигает номинального значения.



## Глава 2

### 2.1 Информация об автоматическом регулировании уровня воды

Следует проанализировать факт, если регулируемой величиной в деаэраторе представляется уровень. Деаэратор, согласно сущности, – астатическая вещь, содержащая передаточную функцию:

$$w(s) = \frac{K}{s}.$$

используя П-регулятор. Система очистки используется для регулирования Бора. Для снижения концентрации бора в контуре часть теплоносителя отводится через фильтр в борсодержащие резервуары для воды. Бор после этого поставлен выгонкой. Для увеличения концентрации бора в контуре центр Бора подается на всасывание подпиточными насосами, которые направляются в контур.

Конденсатор также – астатический предмет, с целью коего стабилизация уровня совершается вместе с поддержкой П-регулятора из-за результата перемены слива конденсата с конденсатора. Спускаемый конденсат, проникая режим рекуперативных подогревателей, действует в деаэратор. Поэтому, деаэратор равно как предмет регулировки заключается из 3 поочередных компонентов (закрытая АСР уровня в конденсаторе, конденсаторо-вод вместе с подогревателями невысокого давления, а также деаэратор).

Автоматическая система регулировки уровня деаэрата содержит П-регулятор, а также конструкт регулировки и еще описывается передаточной функцией:

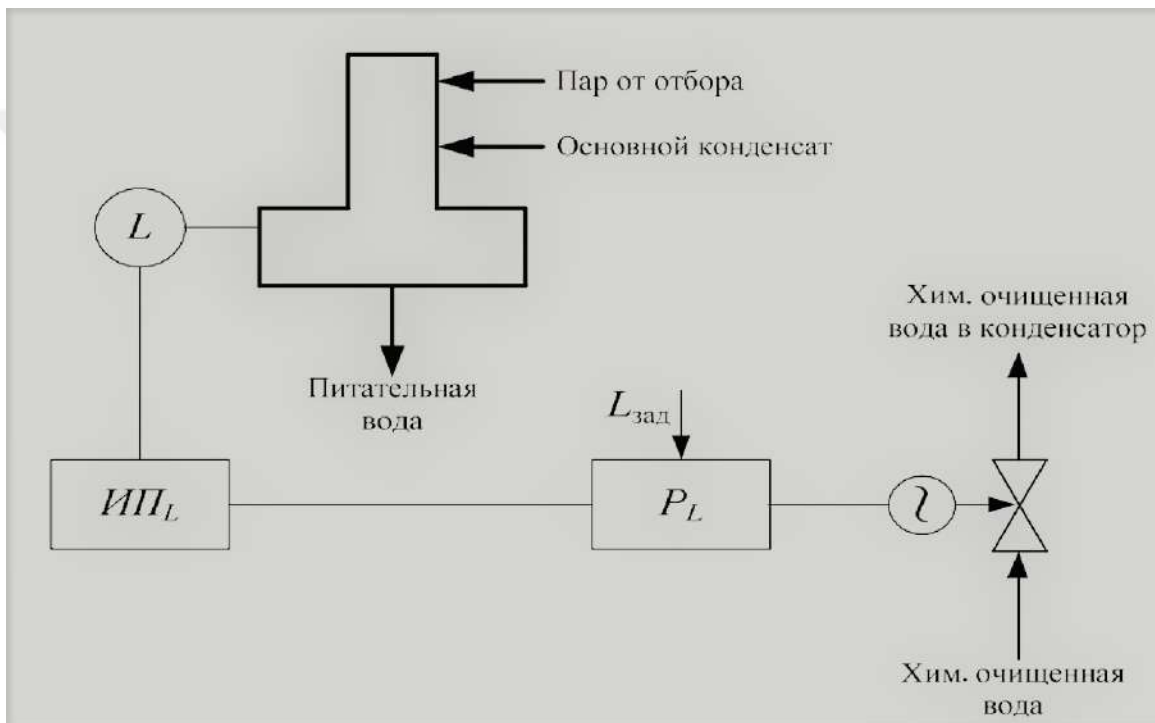
$$W(P) = \frac{K_1}{TP + 1} \frac{K_2}{P}$$

- где коэффициент  $K_2$  определяет астатические свойства деаэрата.

Для энергоблока с ВВЭР- 1000 номинальный уровень  $L_{ном}=2000$  мм, абсолютная вариация регулирования - до 250 мм, допустимые отклонения уровня в + / - 20 мм и в динамике + / - 70 мм.

Для поддержания уровня в баке деаэратора непрерывным никак не предъявляют строгих условий, таким образом равно как деаратор – неустойчивый предмет.

В взаимосвязи вместе с данным, с целью регулировки уровня в баке деаэратора применяют П-закон регулировки, каковой выполнен охватом ПИ-регулятора строгой противоположной взаимосвязью согласно расположению регулирующего аппарата.



Рисунок(2.1.1): Принципиальная схема АСР уровня в деаэраторе

где

$L$ - Первичный преобразователь уровня;

$ИП_L$  -Измерительный преобразователь уровня;

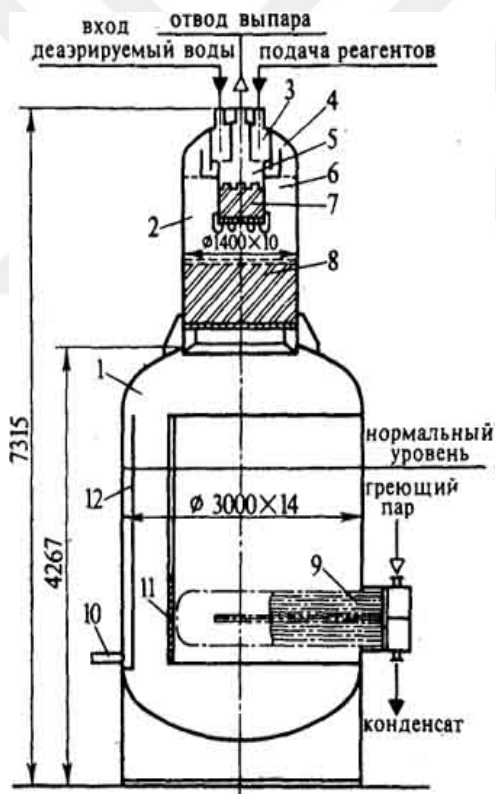
$P_L$ - Регулятор уровня;

$L_{зад}$  – задание значения уровня.

## 2.2 Регулятор уровня в деаэраторе борного регулирования ТКС71

Вспомним информацию о деаэраторе, о которой мы упоминали ранее. Деаэратор заключается из вертикального бака-аккума с интегрированным подгревателем а также деаэраторной колонкой, учрежденной в баке. Изнутри деаэраторной колонки конструкцией определенных загоронок а также сортировочных терелох созданы:

- Главная и перферийная распределительная камеры
- Центральная и кольцевая сруйные камеры
- Малая и большая насадочные колонны



- 1 – вертикальный бак;
- 2 – дегазационная колонка;
- 3 – центральная распределительная камера;
- 4 – периферийная распределительная камера;
- 5 – центральная струйная камера;
- 6 – периферийная распределительная камера;
- 7, 8 – насадочные колонны;
- 9 – теплообменник;
- 10 – перелив
- 11 – глухой щит;
- 12 – дренаж

Рисунок (1.3.1): Схема деаэратора подпитки ТК10В0

Деаратор борного регулирования ТК70В01 разгазирует чистый конденсат, идущий с насосов дистиллята.

ДБР ТК70В01 функционирует в порядке стабильной циркуляции с целью укрепления запаса чистейшего конденсата, требуемого с целью действий водообмена. ДБР снабжается чистым конденсатом из системы ТН вместе с расходом примерно  $10,15 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

В последствии дегазации конденсат скидывается при помощи теплообменник ТК70W02. А при потребности, при помощи охладитель ТК71W01 назад в баки ТВ40В01,02.

Выпар с деаэрата, вместе с расходом  $130 \text{ кг/ч}$  неусловно с порядка деятельность, действует в охладитель выпара ТК70W01. Пар конденсируется, потом ворачивается в деаратор. В то же время равно как неконденсирующиеся газы (кислород, углекислый газ, азот и еще др.) зачисляются в вентиляторную трубу.

Структура ДБР ТК70В01 подобна установки деаэрата подпитки-продувки ТК10В01.

Тем не менее, жесткие технологические требования к динамическим отклонениям уровня в деаэрате, изменение уровня происходит в допустимых пределах в течение длительного времени (даже при полном прекращении подачи воды в послушный, уровень продолжает падать не менее 5 минут). Для этого необходимо построить математическую модель контролируемого объекта по указанным каналам.

Главная роль ДБР - выделение кислорода, углекислого газа, а также прочих неконденсирующихся газов с чистейшего конденсата, перед подачей его в 1. контур.

Регулирование уровня бора в деаэрате регулятором ТКС71: поддерживать заданное значение уровня бора в деаэрате, регулирующем все режимы работы реактора.

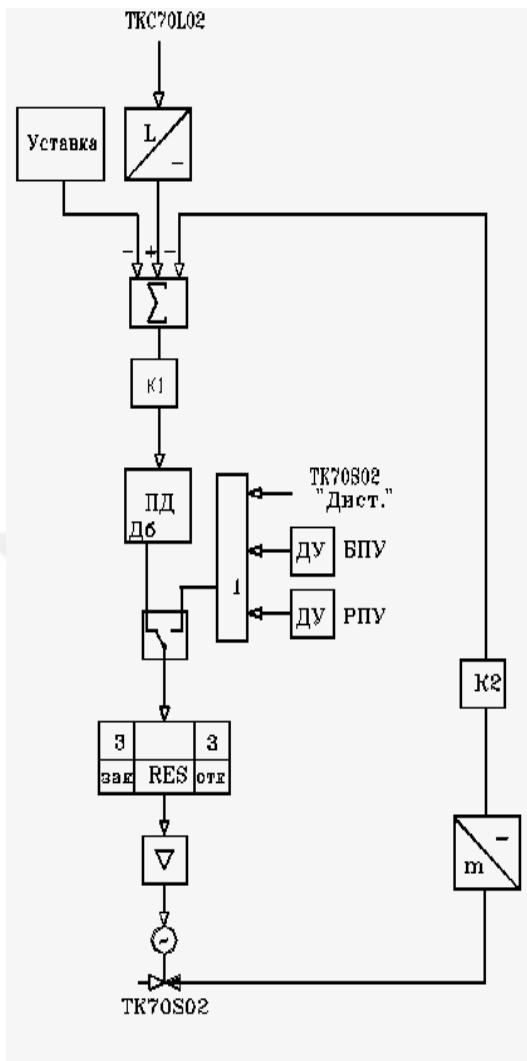


Рисунок 2.2.2-Регулятор уровня в деаэраторе борного регулирования (TKC71)

На вход к регулятора поступают два сигнала:

- уровень деаэратора;
- положение клапана.

Настройки консоли являются ручками «коэффициента пропорциональности» для этих двух входов.

Таблица(2.2.1) Технические характеристики деаэраторов в АЭС

Наименование	Производительность номинальная, т/ч	Давление рабочее абсолютное, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	Колонка	Количество колонок	Диаметр колонки, мм	Емкость бака, м <sup>3</sup>	Емкость бака полезная, мм <sup>3</sup>	Диаметр бака, мм	Длина деаэратора, мм	Высота деаэратора, мм	Масса, кг	Масса деаэратора с водой, мм
дп-2000-2х1000/120-А	2000	0.7(7.0)	кдп-10А вертикальная	2	240	150	120	340	17000	8300	43200	227200
		0.76(7.6)										
дп-3200-2х1600/185-А	3200	0.69(0.7)	кдп-1600-А вертикальная	2	340	210	185	340	23415	11160	93000	361000
дп-3200/220-А	3200	1.35(13.8)	кдп-3200-А горизонтальная	1	300	350	220	380	32180	7900	230000	710000
		скользящее										
дп-6000/250-А	6000	0.82(8.4)	кдп-6000-А горизонтальная	1	300	400	250	380	32180	7900	190000	740000
		скользящее										
дп-6000/250-А-1	6000	0.97(9.91)	кдп-6000-А горизонтальная	1	300	400	250	380	36000	7900	243200	793200
		скользящее										

Расположенная внизу верхняя часть деаэрационной колонны поступает в главную распределительную камеру. Непрерывное представление малой колонки упаковки обеспечено через перфорированную плиту и цилиндрический раздел который обеспечивает необходимый уровень воды в камере распределения.

Когда расход поступающей воды не превышает заданного значения, т.е. деаэрационной характеристики регулятора бора при работе в резерве, уровень в основной распределительной камере не превышает верхней кромки сечения, что исключает подачу воды в распределительную камеру терминала. Весь поток отводится, проходя через небольшие столики через центральную камеру двигателя, а затем через небольшую заправочную колонку.[17]

В случае, когда расход поступающей воды не более заданного значения, характерные для деаэратаora регулирования бора при работе в резерве, уровень в главной распределительной камере не превысит верхний край перегородки, которая исключает подачу воды к периферийному распределительная камера. Весь поток опустошен, проходя небольшой потоки через центральную камеру двигателя и после этого через небольшое упакованная колонна.

В случае, когда расход воды превышает заданное значение практически во всех режимах работы ДБР, вода через верхний край перегородки, большая часть распределительной пластины и периодическая струйная камера приходит в большую упакованную колонку оборудованную с пузырьем тарелка для дополнительного слива.

### 2.3 Математическое моделирование

Детальное объяснение извлечения формулы из динамических уравнений всей системы, и мы начнем с объяснения того, как получить формулу только из бака. Мы рассчитаем 2-я методами: первоначальным методом рассчитывается изменение высоты, а другим методом рассчитывается изменение высоты с учетом размеров цилиндра.

На системный подход используется для моделирования деаэратаora:

1. Система совершенно изолирована, так, что система не потеряет жару к окружающей среде,
2. Изменения кинетической энергии и потенциальной энергии равны нулю, потому что изменение очень мало, поэтому его можно пренебречь,
3. Температура воды в том же деаэратаоре температура воды выходит,
4. В качестве идеальной системы будем считать, что энтропия и целое число являются разницы между значениями на входе и выходе деаэратаora.

Шаг 1:

$$Q_{\text{ВХОД}}(t) - Q_{\text{ВЫХОД}}(t) = Q_{\text{ВСЕГО}}(t) \quad (2.3.1)$$

Где,

$Q_{\text{ВСЕГО}}(t)$ : Всего воды во времени (t)

$Q_{\text{ВХОД}}(t)$ : входной поток воды во времени (t)

$Q_{\text{ВЫХОД}}(t)$ : выходной поток воды во времени (t)

$$Q_{\text{В}}(t) - Q_{\text{П}}(t) = \frac{d}{dt} (M_{\text{В}} + M_{\text{П}}), \quad (2.3.2)$$

Где,

$Q_{\text{В}}(t)$ – общий расход питательной водой [ кг/с ],

$Q_{\text{П}}(t)$ – общий расход борного пара [ кг/с ],

$M_{\text{В}}$  – масса борного воды [кг],

$M_{\text{П}}$  – масса борного пара [кг],

$$Q_{\text{В}}(t) - Q_{\text{П}}(t) = \frac{d}{dt} (\rho_{\text{вб}} \cdot v_{\text{вб}} + \rho_{\text{пб}} \cdot v_{\text{пб}}), \quad (2.3.3)$$

Где,

$\rho_{\text{вб}}, v_{\text{вб}}$ – плотность и объём воды [ кг / м<sup>3</sup> ], [ м<sup>3</sup> ].

$\rho_{\text{вб}} = 1025$  [ кг / м<sup>3</sup> ],

$\rho_{\text{пб}}, v_{\text{пб}}$ – плотность и объём пара [ кг / м<sup>3</sup> ], [ м<sup>3</sup> ]

$\rho_{\text{пб}} = 0.422$  [кг / м<sup>3</sup> ].

Объем воды и пара можно записать как:

$$V_{\text{вб}} = h(t) \cdot A, \quad (2.3.4)$$

$$V_{\text{пб}} = (H - h(t)) \cdot A, \quad (2.3.5)$$

Где,

$A$ – область борного деаратора бака [м<sup>2</sup>].

Заменим уравнение и получим:

$$Q_{\text{П}}(t) = \frac{dM_{\text{П}}}{dt} = \rho_{\text{пб}} \cdot \frac{d(v_{\text{ВХОД}} - v_{\text{ВЫХОД}})}{dt} \quad (2.3.6)$$

Учитываем, что объем и плотность постоянны, поэтому нет никаких изменений каждую секунду.

$$Q_B(t) - Q_{II}(t) = (\rho_{вб} \frac{dh}{dt} \cdot A - \rho_{пб} \cdot \frac{dh}{dt} \cdot A), \quad (2.3.7)$$

$$Q_B(t) - Q_{II}(t) = \frac{dh}{dt} \cdot A(\rho_{вб} - \rho_{пб}), \quad (2.3.8)$$

Формула (2.3.8) описывает поведение объекта управления,

Где,

$Q_B(t) - Q_{II}(t)$  – вход системы,

$\frac{dh}{dt}$  – выход системы.

Таким образом, значение  $Q_{II}(t)$  зависит от потребности мощности станции, которую мы не можем контролировать, тогда уровень воды в деараторе можно контролировать только с использованием уровня питательной воды ( $Q_B(t)$ ). Так как, в этом случае расход питательной воды является управляемой переменной

Взяв преобразование Лапласа уравнения (2.3.8), получаем:

$$\mathcal{L}\{Q_B(t) - Q_{II}(t) = \frac{dh}{dt} \cdot A(\rho_{вб} - \rho_{пб})\}, \quad (2.3.9)$$

$$Q_B(S) - Q_{II}(S) = S H_1(S) \cdot A(\rho_{вб} - \rho_{пб}), \quad (2.3.10)$$

Где,  $s$  — переменная преобразования Лапласа.

Теперь, можно получить передаточную функцию  $W(S)$ ,

$$\text{Где, } W(S) = \frac{\mathcal{L}\{\text{выходного сигнала}\}}{\mathcal{L}\{\text{входного сигнала}\}}.$$

Таким образом,

$$W_1(S) = \frac{1}{S \cdot A(\rho_{вб} - \rho_{пб})}, \quad (2.3.11)$$

$$K_1 = \frac{1}{A(\rho_{вб} - \rho_{пб})}, \quad (2.3.12)$$

$$W_1(S) = \frac{K_1}{S} = \frac{H_1(S)}{Q_B(S) - Q_{II}(S)}, \quad (2.3.13)$$

Общая площадь  $A = 2\pi r^2 + h(2\pi r) = 317.423 \text{ M}^2$ ,

$$\rho_{\text{вб}} = 1025 \frac{\text{kg}}{\text{M}^3}, \rho_{\text{пб}} = 0.958 \frac{\text{kg}}{\text{M}^3}, k_1 = 3.07366 \times 10^{-6} \text{ M/} \\ \text{kg.}$$

$$W_1(S) = \frac{K_1}{S} = \frac{3.07366 \times 10^{-6}}{S}. \quad (2.3.14)$$

уравнения (2.3.14), значение, когда система полностью изолирована без геометрического расчета.

Шаг 2:

Из уравнения (2.3.3);

$$Q_{\text{в}}(t) - Q_{\text{п}}(t) = \frac{d}{dt} (\rho_{\text{вб}} \cdot V_{\text{вд}} + \rho_{\text{пб}} \cdot V_{\text{пд}}), \quad (2.3.15)$$

$$V_{\text{в}} = L \cdot (r^2 \cdot \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) - (r-h)\sqrt{2rh-r^2}), \quad (2.3.16)$$

Где,

$h$ — уровень воды [м],

$r$ — радиус корпуса [м],

$L$ — длина аппарата [м],

$$V_{\text{пд}} - V_{\text{в}} = r^2 \pi \cdot L - L \cdot (r^2 \cdot \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) - (r-h)\sqrt{2rh-r^2}), \quad (2.3.17)$$

$$Q_{\text{в}}(t) - Q_{\text{п}}(t) = \frac{d}{dt} (\rho_{\text{вб}} \cdot V_{\text{в}} + \rho_{\text{пб}} \cdot V_{\text{п}}), \quad (2.3.18)$$

$$Q_{\text{в}}(t) - Q_{\text{п}}(t) = (\rho_{\text{вб}} \frac{dV_{\text{в}}}{dt} + \rho_{\text{пб}} \frac{dV_{\text{п}}}{dt}), \quad (2.3.19)$$

$$Q_{\text{в}}(t) - Q_{\text{п}}(t) = (\rho_{\text{вб}} - \rho_{\text{пб}}) \frac{dV_{\text{в}}}{dt}, \quad (2.3.20)$$

$$\frac{dV_{\text{в}}}{dt} = \frac{dh}{dt} L \left( r^2 \cdot \frac{1}{\sqrt{2rh-h^2}} + \frac{r(h-r)}{\sqrt{2rh-h^2}} + \sqrt{2rh-h^2} + \frac{h(r-h)}{\sqrt{2rh-h^2}} \right), \quad (2.3.21)$$

$$\frac{dV_{\text{в}}}{dt} = \frac{dh}{dt} L (2 \cdot \sqrt{2rh-h^2}), \quad (2.3.22)$$

$$Q_{\text{в}}(t) - Q_{\text{п}}(t) = (\rho_{\text{вб}} - \rho_{\text{пб}}) \frac{dh}{dt} L (2 \cdot \sqrt{2rh-h^2}). \quad (2.3.23)$$

Уравнение (2.3.23) является нелинейным дифференциальным уравнением первого порядка, имеет вид:

$$\frac{dh}{dt} = f(u(t), h(t)), \quad (2.3.24)$$

$$\text{Где, } f(u(t), h(t)) = \frac{u(t)}{A(\rho_{в6} - \rho_{п6})L(\sqrt{2rh} - h^2)}, \quad (2.3.25)$$

$$u(t) = Q_{в}(t) - Q_{п}(t), \text{ [вход системы]}. \quad (2.3.26)$$

Для решения уравнения (2.3.23) метод линеаризации будет использоваться вокруг точек устойчивого состояния,

Таким образом:

В установившемся состоянии:

- Уровень воды  $h = 2 \text{ М}$
- Расход воды  $Q_{в}(t) = \text{расход пара } Q_{п}(t)$
- Вход системы  $u_0 = Q_{в0} - Q_{п0} = 0$

Где,

$h_0$  — Уровень воды в установившемся состоянии [М].

$Q_{в0}$  — Расход воды в установившемся состоянии [м<sup>3</sup>/с].

$Q_{п0}$  — Расход пара в установившемся состоянии [м<sup>3</sup>/с].

$u_0$  — Вход системы в установившемся состоянии [м<sup>3</sup>/с].

Используя ряд Тейлора, функцию ( $f$ ) в уравнении (2.3.25) можно линеаризовать вокруг точек ( $u_0, h_0$ ) следующим образом:

$$\begin{aligned} f(u(t), h(t)) & \quad (2.3.27) \\ & = f(u_0, h_0) \\ & + \left. \frac{\partial f}{\partial u} \right|_{h_0} (u(t) - u_0) + \left. \frac{\partial f}{\partial h} \right|_{u_0} (h(t) - h_0). \end{aligned}$$

$$\text{Где, } f(u_0, h_0) = \frac{u_0}{2(\rho_{в} - \rho_{п})L(\sqrt{2rh_0} - h_0^2)} \quad (2.3.28)$$

Таким образом:

$$\begin{aligned} \frac{dh}{dt} = & \frac{u_0}{2(\rho_B - \rho_\Pi)L\left(\sqrt{2rh_0 - h_0^2}\right)} + \frac{1}{2(\rho_B - \rho_\Pi)L\left(\sqrt{2rh_0 - h_0^2}\right)} (u(t) - u_0) + \\ & - \frac{u_0 \cdot 2(\rho_B - \rho_\Pi)L\left(\frac{2r \cdot \frac{dh_0}{dt} - 2h_0 \cdot \frac{dh_0}{dt}}{2\sqrt{2rh_0 - h_0^2}}\right)}{4(\rho_B - \rho_\Pi)^2 L^2 (2rh_0 - h_0^2)} (h(t) - h_0) \end{aligned} \quad (2.3.29)$$

Уравнение (2.3.29) представляет собой линеаризованную форму дифференциального уравнения (2.3.24).

При  $u_0 = 0$ , уравнение (2.3.29) можно записать в более простой форме:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{2(\rho_B - \rho_\Pi)L\left(\sqrt{2rh_0 - h_0^2}\right)} u(t), \quad (2.3.30)$$

Из уравнения (2.3.26)

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{2(\rho_B - \rho_\Pi)L\left(\sqrt{2rh_0 - h_0^2}\right)} (Q_B(t) - Q_\Pi(t)), \quad (2.3.31)$$

$$\mathcal{A} \left[ \frac{dh}{dt} \right] = \frac{1}{2(\rho_B - \rho_\Pi)L\left(\sqrt{2rh_0 - h_0^2}\right)} (Q_B(t) - Q_\Pi(t)), \quad (2.3.32)$$

$$S \cdot H_1(S) = \frac{1}{2(\rho_B - \rho_\Pi)L\left(\sqrt{2rh_0 - h_0^2}\right)} (Q_B(S) - Q_\Pi(S)), \quad (2.3.33)$$

$$W_1(S) = \frac{\frac{1}{2(\rho_B - \rho_\Pi)L\left(\sqrt{2rh_0 - h_0^2}\right)}}{S} = \frac{H_1(S)}{Q_B(S) - Q_\Pi(S)}, \quad (2.3.34)$$

$$K_1 = \frac{1}{2(\rho_B - \rho_\Pi)L\left(\sqrt{2rh_0 - h_0^2}\right)}, \quad (2.3.35)$$

Где,

$$\rho_{\text{вб}} = 1025 [\text{кг}/\text{м}^3]$$

$$\rho_{\text{п}} = 0.422 [\text{кг}/\text{м}^3]$$

$$h_0 = 2 [\text{м}].$$

$$L = 9 [\text{м}].$$

$$r = 1 [\text{м}].$$

$$K_1 = 3.83414 \times 10^{-5} [\text{м} / \text{кг}]$$

Мы будем использовать наибольшее значение:

$$K_1 = 3.83414 \times 10^{-5} [\text{м} / \text{кг}]$$

Мы также используем формулу (2.3.14), потому что это более точен, чем другой результат.

$$W_1(S) = \frac{K_1}{S} = \frac{3.07366 \times 10^{-6}}{S}. \quad (2.3.14)$$

$$W_1(S) = \frac{K_1}{S} = \frac{3.83414 \times 10^{-5}}{S}. \quad (2.3.36)$$

Чтобы вернуться к исходному уравнению, мы сделаем систему целой, вычисляем вход потока и выход потока, и здесь мы переходим к третьему шагу.

Шаг 3:

Если,

- $Q_{\text{вх}} = Q_{\text{вых}}$ , то уровень  $h$  остается постоянным.
- $Q_{\text{вх}} > Q_{\text{вых}}$ , то уровень  $h$  увеличивается.
- $Q_{\text{вх}} < Q_{\text{вых}}$ , то уровень  $h$  уменьшается.

Следующее уравнение представляет собой массовый баланс, который может быть применен к любой системе:  $Q_{\text{вх}} - Q_{\text{вых}} = \text{Накопление}$

$$Q_{\text{вх}}(t) - Q_{\text{вых}}(t) = Q_{\text{все}}(t) \quad (2.3.37)$$

$$Q_{\text{вх}}(t) = Q_{\text{из дистиллята}} \times R \quad (2.3.38)$$

Где,

R: коэффициент сопротивления регулирующего клапана не имеет единицы,

Выходной поток от нижней трубы

$$Q_{\text{вых}}(t) = R \times a \times v_0(t) \quad (2.3.39)$$

Где,

a : площадь поперечного сечения трубы,

$v_0(t)$ : скорость [м<sup>3</sup>/с].

Уравнение Бернулли по существу является более общей и математической формой принципа Бернулли, который также учитывает изменения гравитационной потенциальной энергии. Мы выведем это уравнение в следующем разделе, но прежде чем это, взглянем на уравнение Бернулли и поймем, что это и как его использовать.

Уравнение Бернулли связывает давление, скорость и высоту любых двух точек (1 и 2) в устойчивой обтекаемой жидкости плотности  $\rho$ . Уравнение Бернулли обычно пишется следующим образом:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (2.3.40)$$

Где,

P1 : Давление на входе,

P2 : Давление на выходе,

$v_1$ : скорость на входе,

$v_2$ : скорость на выходе,

$\rho$ : плотность  $\rho$ ,

a : площадь поперечного сечения трубы,

Равное давление на горизонтальном уровне все значения становятся равными нулю, чтобы стать уравнением на следующем:

$$p \times v = \frac{1}{2} \times m \times v(t)^2 \quad (2.3.41)$$

Мы выведем уравнение Бернулли, используя сохранение энергии

$$p \times v \times g \times h(t) = \frac{1}{2} \times m \times v(t)^2 \quad (2.3.42)$$

$$v_0(t) = \sqrt{2gh(t)} \quad (2.3.43)$$

$$Q_{\text{ВЫХ}}(t) = a \times v_0(t) = a\sqrt{2gh(t)} \quad (2.3.44)$$

В этом случае накопление проявляется как увеличение или уменьшение громкости. Накопление-это изменение объема со временем.

Из уравнения (2.3.30);

$$Q_{\text{ВХ}}(t) - Q_{\text{ВЫХ}}(t) = 2L(2 \cdot \sqrt{2rh - h^2}) \frac{dh}{dt}. \quad (2.3.45)$$

Далее рассмотрим выходную скорость потока,  $Q_{\text{ВЫХ}}$ . Движущая сила для подачи разрядки головка воды в баке, который дается  $\rho gh$ . Ограничением к расходу является наличие клапана (и в меньшей степени трубы), и это может быть представлено сопротивлением  $R$ , т. е.

$$Q_{\text{ВЫХ}} = \frac{\rho a \sqrt{2gh(t)}}{R}, \quad (2.3.46)$$

$R$ : коэффициент сопротивления регулирующего клапана не имеет единицы

Поэтому приведенное выше уравнение можно переписать следующим образом:

$$R_1 Q_{\text{ВХ}} - \frac{\rho_{\text{В6}} a \sqrt{2gh(t)}}{R_2} = 2(\rho_{\text{В6}} - \rho_{\text{П6}})L(2 \cdot \sqrt{2rh - h^2}) \frac{dh}{dt}, \quad (2.3.47)$$

$$Q_{\text{ВХ}} \frac{R_1 R_2}{\rho_{\text{В6}} a g} - h = 2(\rho_{\text{В6}} - \rho_{\text{П6}})L(2 \cdot \sqrt{2rh - h^2}) \frac{dh}{dt} \frac{R_2}{\rho_{\text{В6}} g}, \quad (2.3.48)$$

$$(2(\rho_{\text{В}} - \rho_{\text{П}})L(2 \cdot \sqrt{2rh - h^2})) \left( \frac{dh}{dt} \frac{R_2}{\rho_{\text{В6}} a g} \right) + h = Q_{\text{ВХ}} \frac{R_1 R_2}{\rho_{\text{В6}} a g}, \quad (2.3.49)$$

Используя ряд Тейлора, функцию ( $f$ ) в уравнении (2.3.25) можно линеаризовать вокруг точек ( $u_0, h_0$ ) следующим образом:

$$\tau \frac{dh_0}{dt} + h_0 = k u_0 \quad (2.3.50)$$

Он имеет характеристику первого порядка, где выход,  $h_0$ , эквивалентен высоте,  $h$ ; вход,  $u_0$ , эквивалентен потоку в,  $Q_{вх}$ , а постоянная времени и коэффициент усиления следующие:

$$\tau = \frac{2(\rho_{в} - \rho_{п})L(2\sqrt{2rh - h^2})R}{\rho_{в}gag}, \quad (2.3.51)$$

$$k = \frac{R_1 R_2}{\rho ag}, \quad (2.3.52)$$

$d = 25mm$  диаметр для регулирующего клапана.

$$R = 1.88703130 \text{ cm}$$

$$\rho = 1025 \text{ kg/M}^3$$

$$g = 9.8 \text{ M / sec}^2$$

$$k = 0.1424742 \text{ sec}^2/\text{kg}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 0.049087m^2, \quad (2.3.53)$$

$$\tau = 0.017791, \quad (2.3.54)$$

$$R = 0.048309 \times d^4, \quad (2.3.55)$$

Значение сопротивления,  $R$ , зависит от положения клапана. Если клапан почти закрыт, то  $R$  большое, а если клапан полностью открыт, то  $R$  мало.  $R$  можно определить, известна ли область, доступная для разряда. Приведенное выше уравнение описывает связь между входом и выходом системы во временной области.

Преобразование этого уравнения в частотную область с помощью преобразования Лапласа позволяет определить передаточную функцию для этой системы. Как только мы найдем передаточную функцию, мы можем включить этот процесс как один блок в блок-схему модели цикла управления.

Другим преимуществом определения преобразования Лапласа уравнения является то, что мы можем выбрать конкретный вход (например, изменение шага на входе) и умножить его на передаточную функцию, чтобы дать выход в частотной области. Затем уравнение преобразуется обратно во временную область и теперь у нас получится уравнение, которое описывает реакцию выхода на изменение шага на входе.

$$\mathcal{L}\left[\tau \frac{dh_0}{dt} + h_0 = ku_0\right], \quad (2.3.56)$$

$$H(S)S\tau + H(S) = K Q(S), \quad (2.3.57)$$

$$H(S)(S\tau + 1) = K Q(S), \quad (2.3.58)$$

$$\frac{H(S)}{Q_{\text{вход}}(S)} = \frac{K}{(S\tau+1)}, \quad (2.3.59)$$

$$W(S) = \frac{K}{(S\tau+1)}, \quad (2.3.60)$$

Из уравнения (2.3.13)

$$W_1(S) = \frac{K_1}{S} = \frac{H_1(S)}{Q_{\text{в}}(S) - Q_{\text{п}}(S)}, \quad (2.3.13)$$

$Q_{\text{в}}(t) - Q_{\text{п}}(t)$  – вход система

Пусть  $Q_{\text{вх}}(s) = K$  ( $=K/s$  в частотной области). Подставляя  $Q_{\text{вх}}(s)$  и перестраивая, получаем:

$$H(S) = \frac{K}{(S\tau+1)}, \quad (2.3.61)$$

Регулирование уровня воды в борном деаэраторе - это уровень в астатическом объекте регулирования, имеющий передаточную функцию:

$$W(P) = \frac{K}{P},$$

$$K_1 = 1.48704 \times 10^{-5} \text{ [М/кг]}.$$

С исполнительным механизмом и объектом регулирования описываем передаточную функцию:

$$W(P) = \frac{K_{\text{valve}} K_{\text{level}}}{(TP+1) P}.$$

$$W(P) = \frac{K_{\text{Исполнительный механизм}} K_{\text{Объект регулирования}}}{(TP+1) P}. \quad (2.3.62)$$

Передаточная функция для уровня в борном деаэраторе:

$$H(S) = \frac{K_{\text{клапан}} K_{\text{Бак деаэратора}}}{(S\tau+1) S}. \quad (2.3.63)$$

$$W(P) = \frac{K_{\text{valve}} K_{\text{level}}}{(TP+1) P} \quad H(S) = \frac{K}{(S\tau+1) S}$$

$$H(S) = \frac{0.1424742}{(0.017791S+1)} \cdot \frac{3.83414 \times 10^{-3}}{S}. \quad (2.3.64)$$

### 3.1 Программно-тех. ресурсы ТПТС

Программно-технические средства ТПТС-ЕМ это программа, используемая для автоматизации технологических процессов в АСУ ТП.

Здесь представлены использования этой программы:

- Оборудование ТПТС-ЕМ используется на энергоблоке для выполнения задач, возлагаемых на низовую автоматику, и объединяется по технологическим и компоновочным признакам в программно-технические комплексы (ПТК)

- ТПТС-ЕМ также позволяет конструкции ПТК для систем автоматического управления, нормальной эксплуатации и систем безопасности.

Выполнение функций автоматизации ТПТС-ЕМ на базовом уровне:

- Сбор и обработка сигналов от датчиков технологических параметров,

измерение технологических параметров и выполнение требуемых расчетов; прием и исполнение дистанционных команд оператора; выполнение заданных прикладных алгоритмов технологических защит и блокировок, автоматического регулирования, автоматического ввода резерва, функционально-группового управления, алгоритмов индивидуального дистанционного и автоматического управления. выдачу данных в СВБУ для архивирования. Принимать и исполнять удаленные команды для оператора. Осуществление конкретных алгоритмов использования для технологической защиты и замков, автоматического управления, автоматического резервного ввода, функционального группового управления, а также индивидуальных алгоритмов автоматического и дистанционного управления.[16]

Здесь мы упомянем оборудование, из которого состоит система ТПТС-ЕМ :

а) Основное оборудование для реализации шкафа (шкафы двухстороннего обслуживания): Инструментальные полки, оснащенные процессорными блоками и коммутационным оборудованием; стойки питания автономный источник питания питает блок напряжения питания на стойке интерфейсные стойки (стойки сопряжения), которые соединяют ПС с датчиками, исполнительными механизмами и другими периферийными устройствами в случаях, когда требуется переход от одного типа кабеля к другому или преобразование типа сигнала. Для решения конкретных задач контроля и управления могут использоваться специализированные стойки, такие как стойки, в том числе функциональные блоки, устройства связи и коммутаторы.

б) Средства коммуникации, в том числе оснащение коммуникационной системы – шины EN: коммутаторы OSM/ESM (в составе ПС) для объединения абонентов в единую систему, трансиверы (в составе ПС для удаленного подключения абонентов к собственной шине EN, Интерфейсные модули для подключения абонентов к шине EN, волоконно-оптические кабели и витые пары для передачи данных, Оптические развязки для соединения оптических кабелей разного диаметра.

в) Инструменты конфигурации, используемые для настройки, настройки и проверки ТПТС: инженерная станция ТПТС54.3403 (ИС), базовая конфигурация ПТК и конфигурация документа.

Программатор ТПТС54.3310 (ПГ), утилита для настройки функциональных модулей, которая используется при настройке ПТК, в основном для проверки и настройки отдельных параметров, например, параметров регуляторов. Программатор может использоваться для имитации сигналов на входных и выходных блоках, для загрузки кодов, генерируемых на Инженерной станции, в модули ТПТС-ЕМ. Запрещается использовать программиста для изменения конфигурации ПТК, так как в этом случае изменения в документации не будут отражены. Машиностроительный завод должен использоваться только для этой цели.

г) Сервисные устройства:

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

Аппаратура ТПТС-ЕМ связана с датчиками, исполнительными механизмами, средствами оперативно-диспетчерского управления и другими системами энергоблока при помощи проводных связей. Кроме того, предусмотрены подключения по шине RS-485 к интеллектуальным периферийным устройствам и подсистемам сторонних производителей.

Для информационного обмена между отдельными ПТК нормальной эксплуатации, а также между ПТК и СВБУ, используется коммуникационная система – оптоволоконная шина EN, имеющая кольцевую структуру.

Все ПТК на базе ТПТС-ЕМ имеют общую типовую систему питания, заземления и экранирования.

Аппаратура ТПТС-ЕМ выстроена модульному принципу, что дает возможность формировать, в зависимости от требований, различные по уровню избыточности структуры путем резервирования модулей и устройств передачи данных. Расчисленная обработка данных позволяет легко наращивать объем аппаратуры в системе управления.

В аппаратуре ТПТС-ЕМ выполняется непрерывный самоконтроль работающих компонентов, позволяющий выявлять дефекты в момент их возникновения и заменять отказавшие узлы, не выводя аппаратуру ТПТС-ЕМ из работы.

Приборные стойки (ПС) являются основными функциональными составляющими ПТК. В ПС реализуются заданные алгоритмы контроля и управления технологическим оборудованием энергоблока. Функциональные возможности конкретной ПС определяются видами функциональных модулей (ФМ), входящих ее состав.

## Функции назначения

ПС осуществляют:

- сбор и первичную обработку входных дискретных сигналов;
- измерение технологических параметров;
- выполнение необходимых вычислений;
- автоматическое и дистанционное управление исполнительными механизмами следующих видов: запорная арматура (задвижка), электродвигатель (насос, вентилятор и т.д.), регулирующая арматура, соленоидный клапан, выключатель;
- реализацию технологических защит и блокировок;
- автоматическое регулирование;
- групповое и подгрупповое управление;
- выдачу аналоговых и дискретных сигналов на средства оперативно-диспетчерского управления (ТС ОДУ) или в другие системы управления энергоблока;
- прием команд дистанционного управления и обмен информацией с СВБУ.

Состав, устройство и конструктивные характеристики приборных стоек.

«Интеллектуальной» основой ПС являются функциональные модули (ФМ). Кроме них, в ПС может быть установлены:

а) средства коммуникации:

– центральный коммуникационный модуль ЦМ-Е в ПС системы нормальной эксплуатации) или ЦМ-СБ в ПС канала системы безопасности (ПС, укомплектованные модулем ЦМ-Е или ЦМ-СБ, являются «основными ПС», а ПС без указанных модулей являются «ПС расширения»);

- блоки шлюзов сопряжения (БШС);
- коммутаторы и оптические кроссы;

б) служебные модули

в) средства подключения кабелей (клеммники, соединители).

ФМ подключены к шине ввода-вывода, которая организована внутри шкафа и находится под управлением модуля ЦМ-Е (или ЦМ-СБ).

#### Виды функциональных модулей

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

- ТПТС51-2.1722 – модуль обработки аналоговых сигналов;
- ТПТС51-2.1703 – модуль расширения аналогового ввода для модулей ТПТС51-2.1731.

#### Средства Коммуникации

##### 1) Шина EN

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

Шина EN обеспечивает:

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

##### 2) Интерфейсные модули

Интерфейсные модули используются для подключения отдельных абонентов к шине EN.

##### 3) Коммутаторы

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

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

Запаздывание передачи информации от порта к порту в коммутаторе не превышает нескольких микросекунд. Коммутатор, назначенный менеджером резервирования, следит за целостностью связи. Когда оборудование магистрали исправно, он держит одну из связей в кольце разомкнутой, а при нарушении взаимосвязи в магистрали замыкает эту резервную связь, восстанавливая целостность шины. Имеется возможность осуществлять настройку коммутаторов под требуемые задачи с любого места, а также удаленно собирать статистические данные о работе коммутаторов.

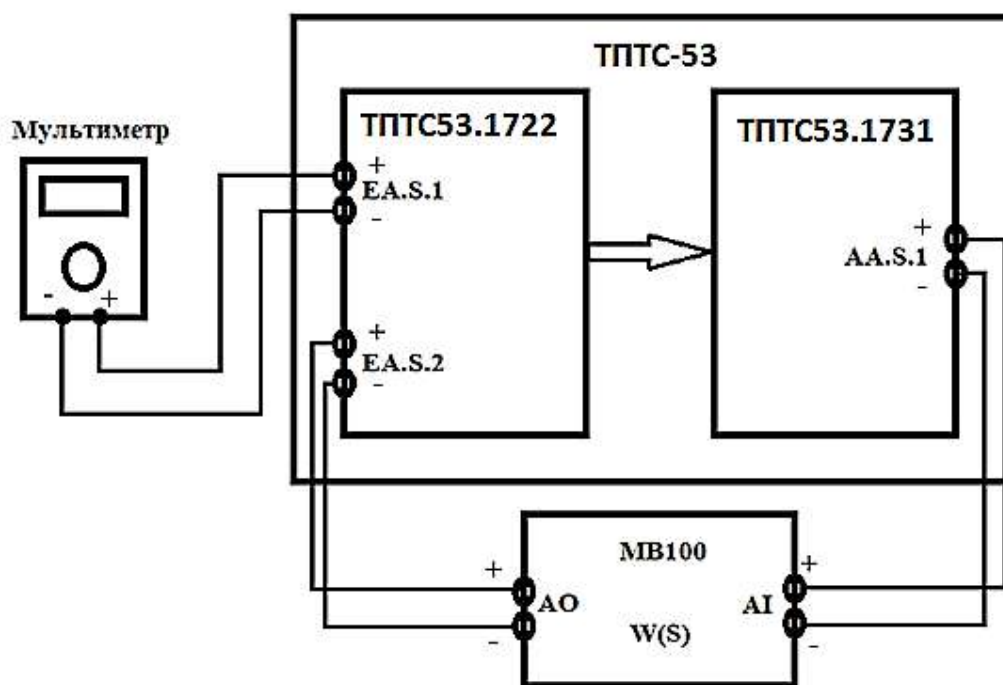


Рисунок 3.1.1- Подключение MB100 с TPТC

Уставка взятая из мультиметра в миллиамперах (4-20) мА, входит в функциональный модуль TPТC1722.

Этот сигнал сравнивается с выходным сигналом от MB100. Наличие функционального модуля TPТC1731 состоит в том, чтобы получить сигнал напряжения, который может быть введен в MB100. Но на практике MB100

представляет собой деаэратор и исполнительные механизмы, а сигналы берутся из датчиков (измерительных уровня, расходов пара и воды).

4) Выявление уровня измерительные преобразователи:

Суммируйте рабочий план в дипломе. Чтобы определить значение электрического тока (в миллиамперах), чтобы определить значение заданного значения, предположим, что диапазон (4-20) мА (от мультиметра) Соразмер с диапазоном (0-2000) мм (уровень воды).

5) Мультиметр-калибратор АКПП-2201:

Устройство АКПП-2201 разработано специально для тестирования промышленного оборудования и обеспечивает широкий спектр применений и калибровочных функций, высокую точность. Мультиметр-калибратор производственных процессов АКПП-2201 (рисунок 3.1.1) объединяет два наиболее часто используемых инструмента любого специалиста.



Рисунок 3.1.1- Мультиметр-калибратор АКПП-2201

АКИП-2201 это сочетание универсального цифрового мультиметра и калибратора токовой петли в одном портативном устройстве. При диагностике и оперативном контроле нет необходимости иметь под рукой набор других тестеров и специализированных приборов. Для встроенного 24-вольтового генератора токовой петли специалистам больше не нужен отдельный источник тока при проведении автономных испытаний датчиков и передающих устройств, а также других преобразователей из диапазона вторичного оборудования. Мультиметр-калибратор АКИП-2201 будет использоваться для подачи тревожного сигнала о потоке пара, калибровки значений и проверки правильности работы АТС.[14]

### 3.2 Использование регулятора ТПТС с объектом управления

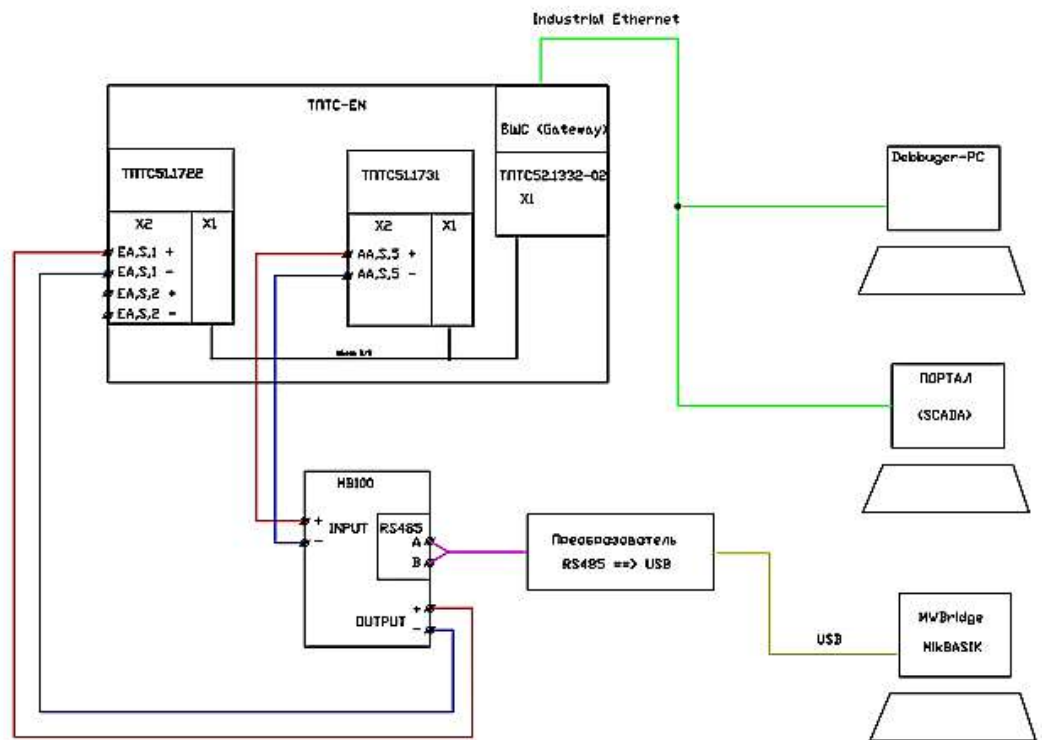


Рисунок 3.2.1- Полная сетевая связь устройств

На рисунке представлена связь между регулятором и моделью, которая была построена математически из уравнений преобразования с тем, где устройство подключено к компьютеру, на котором работает MW-Bridge, и

целью найти поведение управляемой переменной в реальном времени, присоединенной к МВ-100, которая связана со шкафом ТПТС на вызывающей стороне с ПОРТАЛ, чтобы показать окончательные результаты.

### 3.3 Представление объекта управления в виде разностных уравнений

С целью создания модели объекта управления мы будем использовать разностные уравнения модели, которые составлены с использованием передаточных функций.

Поскольку исследуемый объект управления обладает свойством самовыравнивания, мы рассматриваем аperiodическую связь первого порядка для создания разностных уравнений.

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

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

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

Подобным образом, с целью создания разностных уравнений для объекта управления в форме аperiodической взаимосвязи второго порядка можно использовать две последовательные аperiodические взаимосвязи первого порядка.

## Глава 4

### 4.1 Создание структурных схем ДБР и его моделирование в программе MATLAB

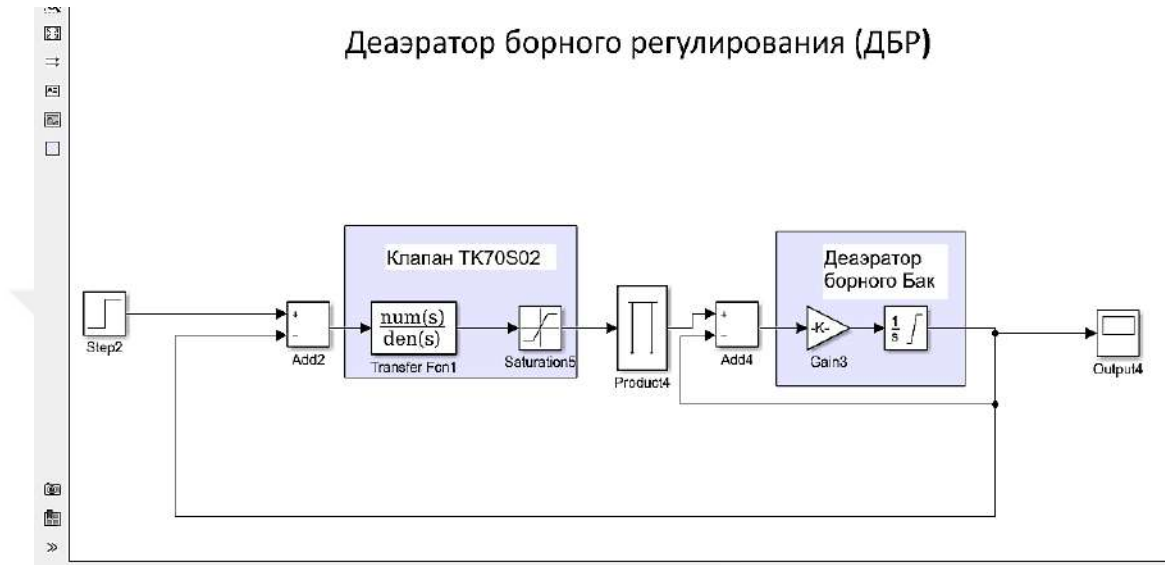


Рисунок 4.1.1- Структурная схема модели деаэратора с ИМ без регулятора

С целью управления расходом воды используют регулирующие клапаны (ТК70S02), снабженные электрическим исполнительным механизмом (ИМ) либо клапана, который также представляет интегрирующее звено с передаточной функцией:

$$A(S) = \frac{Q_B(S)}{V(S)} = \frac{1}{T_{ИМ}S + 1} \quad (4.1.1)$$

Где, ТИМ — постоянная времени ИМ [сек].

V(S) — изображение входного сигнала ИМ.

И из приведенного выше уравнения мы можем вычислить:

$$A(S) = \frac{0.1425}{(0.0178S+1)} \quad (4.1.2)$$

После расчета уравнения передаточной функции модели деаэратора (ДБР) уравнения передаточной функции для клапанов (*Расход воды*):

$$H(S) = \frac{0.1425}{(0.0178S+1)} \cdot \frac{3.834 \times 10^{-3}}{S}. \quad (4.1.3)$$

Уравнение передаточной функции деаэрата (ДБР) (уровень воды в баке)  $H(S) = \frac{3.83 \times 10^{-5}}{S} \left[ \frac{\text{м}}{\text{кг}} \right]$ , или мы можем поставить передаточной функции с обратной связью  $H(S) = \frac{1}{(260.21S+1)}$ .

Уравнение передаточной функции с обратной связью без регулятора:

$$G4 = \frac{5.476 \times 10^{-4}}{0.017 s^2 + s} \quad (4.1.4)$$

Уравнение передаточной функции с обратной связью и ПИ-регулятором:

$$T_i = 0,16,$$

$$K_{\Pi} = 1,33.$$

$$G4 = \frac{5.46 \times 10^{-4}}{0.017 s^2 + s} * \left( \frac{K_i}{S} + K_{\Pi} \right)$$

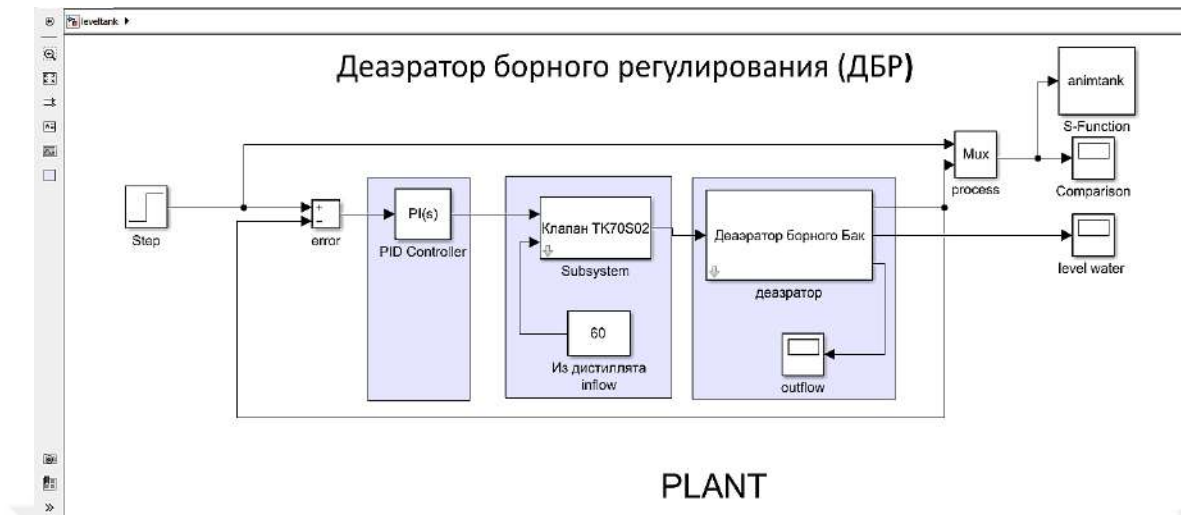


Рисунок 4.1.2- Структурная схема модели деаэратора с ИМ в MATLAB с регулятором ТК71

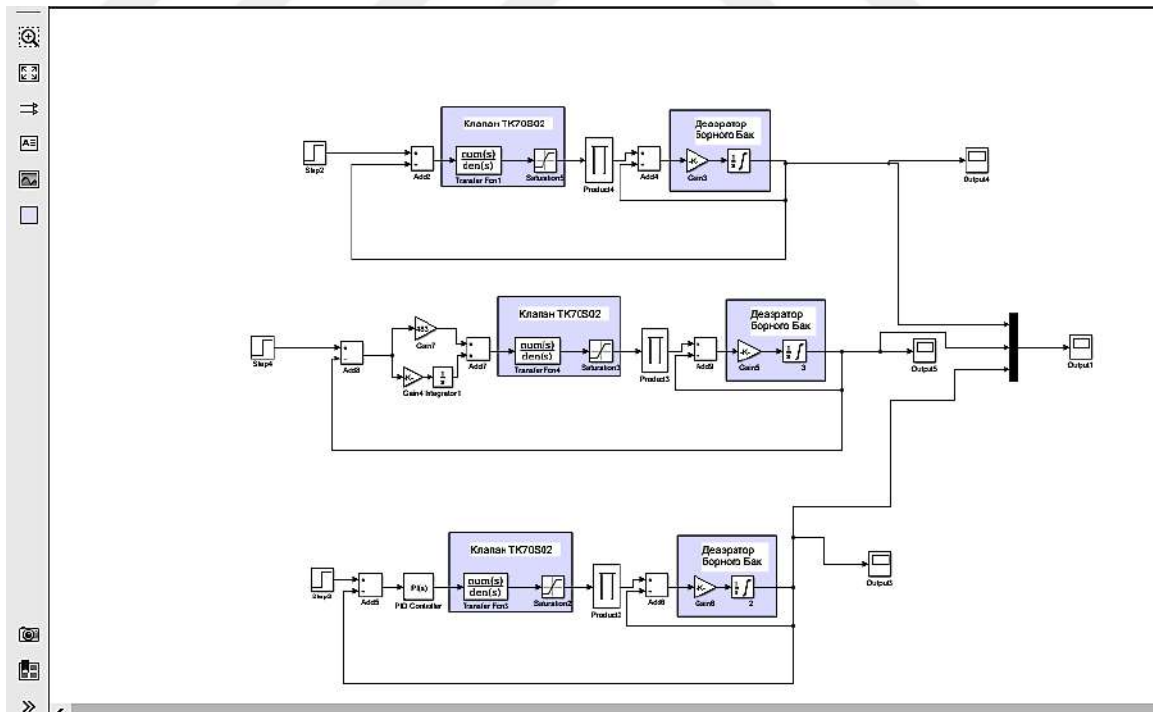
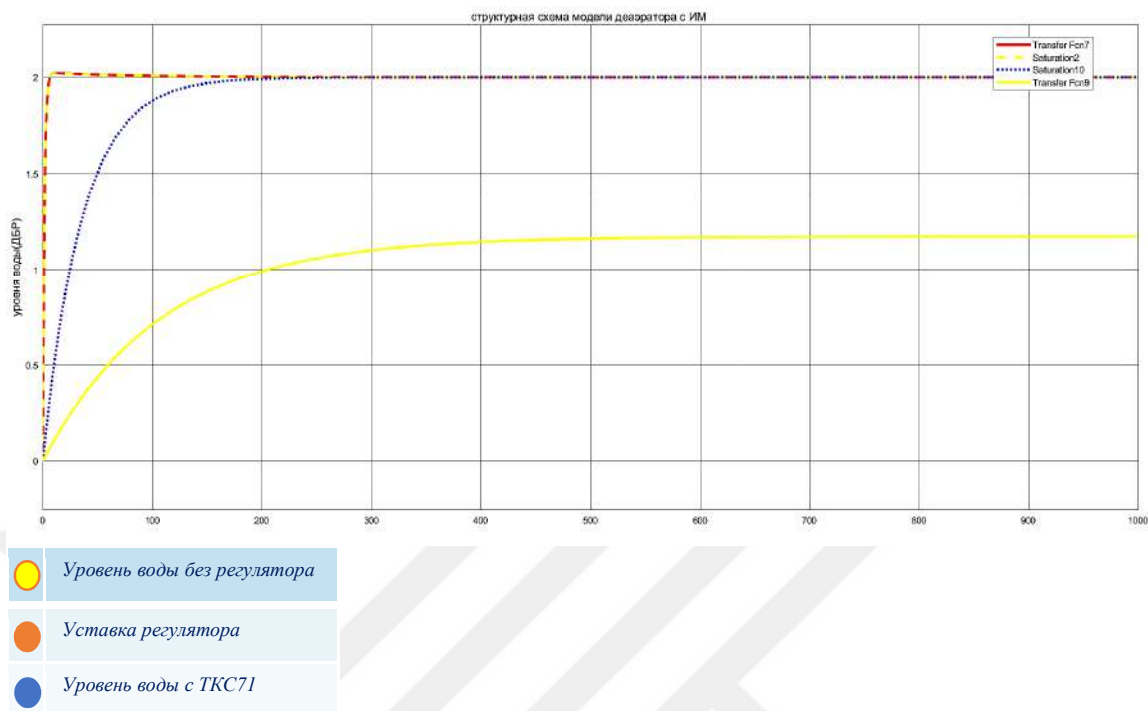


Рисунок 4.1.3- Блок-схема передаточной функции модельного деаэратора (ДБР) с ИМ в MATLAB с регулятором ТК71



*Рисунок 4.1.4- Моделирование борного деаэратора (ДБР) с ИМ.*

*С ПИ-регулятором и без регулятора в среде MATLAB*

На представленном графике работы (4.1.4), мы видим результаты с регулятором и без регулятора одновременно. Как видно из нарисованного графика, уровень воды в системе без регулятора остается постоянным и ниже оптимального значения деаэратора.

## 4.2 Моделирование ДБР в программе MWBridge

MWBridge - многофункциональный механизм с целью формирования и поддержки АСУ процессами. Структурно предполагает систему управления базами данных реального времени, включая средства обработки, ведения, настройки и обновления, но кроме того пользовательские интерфейсы к ним.

Для осуществления операций с параметрами БД существует программирование алгоблоками. Это один из способов программирования, предназначен для оператора, поэтому он является интуитивно понятным. MWBridge представляет собой ядро операционной системы Windows

реального времени, являющееся универсальным инструментом для создания и поддержки системы управления процессами. По своей структуре это система управления базами данных в режиме реального времени, включающая инструменты для обработки, обслуживания, настройки и обновления, а также пользовательские интерфейсы к ним.

Для транзакций с программированием параметров БД существует Algologie. Это один из способов программирования, рассчитанный на оператора, поэтому он интуитивно понятен.

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.[15]

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

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

Исполнение процедур производится по специальному циклическому алгоритму разделения времени.

Обработки, включенные в цикл выполнения, называются обходными циклами. Количество циклов байпаса (то есть постоянно выполняющихся процедур) определяется оператором на этапе построения алгоблока (циклов для формирования первой процедуры байпаса). Первая процедура всегда присутствует и формирует цикл быстрого обхода, безоговорочно выполняемый на каждом тактовом цикле ядра реального времени. Для организации вычислительного процесса оператору предоставляется специальный цикл-алгоритм (переход к предыдущему циклу обхода), который позволяет прервать выполнение текущего цикла обхода (кроме первого) и перейти к выполнению предыдущий более быстрый цикл обхода (выполняется

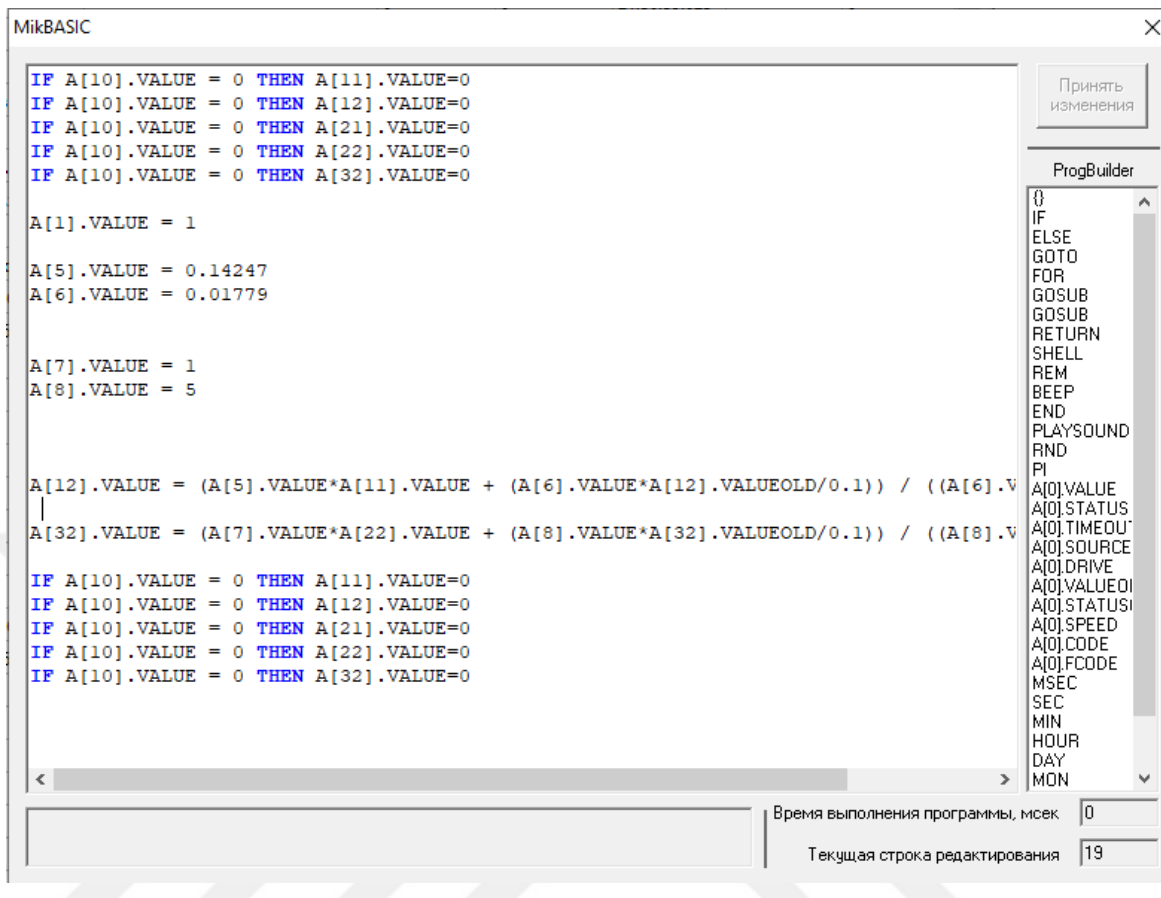
процедура с меньшим номером). Этот алгоритм может быть сделан условным (по значению определенной переменной или времени), то есть алгоритм вычислительного процесса может быть изменен вовремя работы программы.

Ядро реального времени поддерживает некоторых видов научно-технического программирования:

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

Более практичный тип научно-технического программирования, каким допускается изложить объект управления с поддержкой разностных уравнений представляется инструмент MikBasic.

С целью извлечения теоретических данных о переходных процессах, проходящих в регуляторе, выполняется моделирование в программной среде MWBridge. С помощью инструмента MikBasic в MWBrige запишем систему разностных уравнений, которые включают объект управления в виде апериодического звена первого порядков, а также зададим входное воздействие по давлению и пронаблюдаем переходные процессы, происходящие на выходе объекта управления. Окно программы MikBASIC представлено. С целью построения разностных уравнений, описывающих объект управления следует знать значения переменных настоящего времени на текущем и предыдущем такте работы системы, в которой реализуется модель управления. Такую возможность предоставляет интерпритатор MikBasic ядра реального времени MWBridge. В переменные осуществляется запись параметров моделей объектов управления и нормировочные коэффициенты исполнительного механизма, который считается с некоторыми допущениями безынерционном звеном.



*Рисунок 4.2.1- Окно программы MikBasic с записанными разностными уравнениями, когда система работает без регулятора.*

На рисунке 4.2.1 показана база данных, в которую записаны вычисленные параметры модели объектов управления 1-ого и 2-ого порядков и еще входные и выходные величины модели объекта управления.

Проект: [C:\Emre1\]. Лицензия: [ГТЕС]. Пользователь: []

УСО Сеть Алго Алго ВУ ТЭП Мнемосхемы Документы Просмотр трендов

Пользовательские профили Настройки Основные Сеть/УСО Тренды WEB Такт БД.мс: 108Приём: 0Передача: 0Память.к: 179988 [22:11:20]

Основные Значения Среднения Все Частвки Статусы Синхронизация НСИ

Номер	Название	Описание	Посл.Знач...	Статус	Время обн...	Источник	Таймаут
A0			0	0	21:50:59.023		0
A1	Кинт	к коэф	1	0	22:11:20.501		0
A2			0	0	21:50:59.023		0
A3			0	0	21:50:59.023		0
A4			0	0	21:50:59.023		0
A5	кин.з	коэф	0.14247	0	22:11:20.501		0
A6	т.инт.з	коэф	0.01779	0	22:11:20.501		0
A7	к2.инт.з	коэф	1	0	22:11:20.501		0
A8	т2.инт.з	коэф	5	0	22:11:20.501		0
A9			0	0	21:50:59.023		0
A10	он.офф	он офф	1	0	22:08:51.062		0
A11	вход.объекта	входная физ. величина	100	0	22:08:53.661		0
A12	вых.объекта	выходная физ. величина	14.247	0	22:11:20.501		0
A13			0	0	21:50:59.023		0
A14			0	0	21:50:59.023		0
A15			0	0	21:50:59.130		0
A16			0	0	21:50:59.130		0
A17			0	0	21:50:59.130		0
A18			0	0	21:50:59.130		0
A19			0	0	21:50:59.130		0
A20			0	0	21:50:59.130		0
A21	вход.об.Т	входная физ. величина	0	0	22:08:51.000		0
A22	вых.об.Т	выходная физ. величина	0	0	22:08:51.000		0
A23			0	0	21:57:06.246		0
A24			0	0	21:50:59.023		0
A25			0	0	21:50:59.023		0
A26			0	0	21:50:59.023		0
A27			0	0	21:50:59.023		0
A28			0	0	21:50:59.023		0
A29			0	0	21:50:59.023		0
A30			0	0	21:50:59.023		0
A31			0	0	21:56:47.003		0
A32	вых.2.об.Т	выходная физ. величина	0	0	22:11:20.501		0
A33			0	0	21:56:48.298		0
A34			0	0	21:56:49.162		0
A35			0	0	21:56:50.134		0

Группы:  Тренды,  объект управления,  аперисд,  аперисд 2

Навигация: << < > >> Номер: A000, -1 -10 -100 D000, +1 +10 +100 D999

Редактирование: Копир. Встав. С, Вырез. Отмена По, Поиск, Замена, Искать в отменном, Искать Поиск и замена

Настройки просмотра:  Открывать с места последнего просмотра, Запомнить позицию

Рисунок 4.2.2- База данных программы MWBridge, когда система работает без регулятора.

На рисунке 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5 представлены переходные характеристики уровня воды в деаэраторе борного регулирования без регулятора.

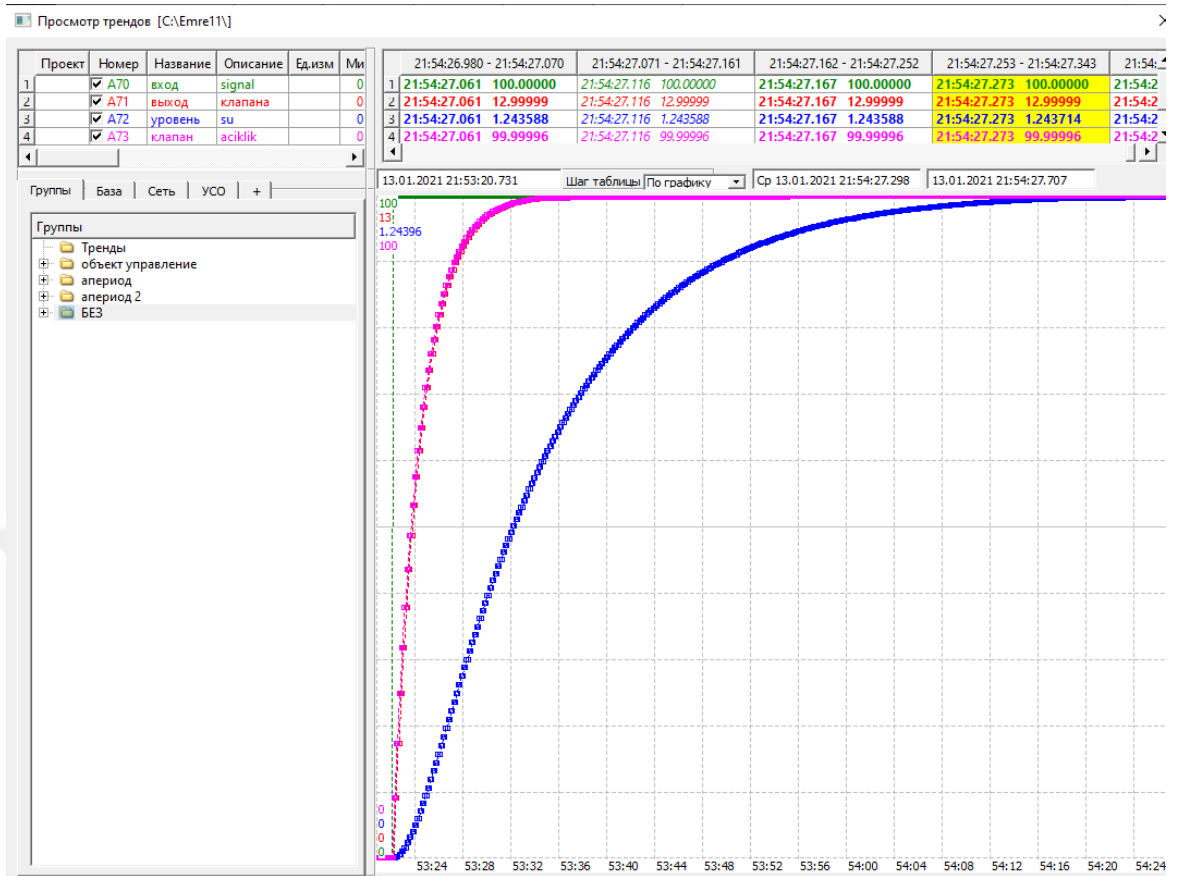


Рисунок 4.2.3 - Переходные характеристики уровня воды в ДБР без регулятора, возникающие при открытии клапанов 100%.

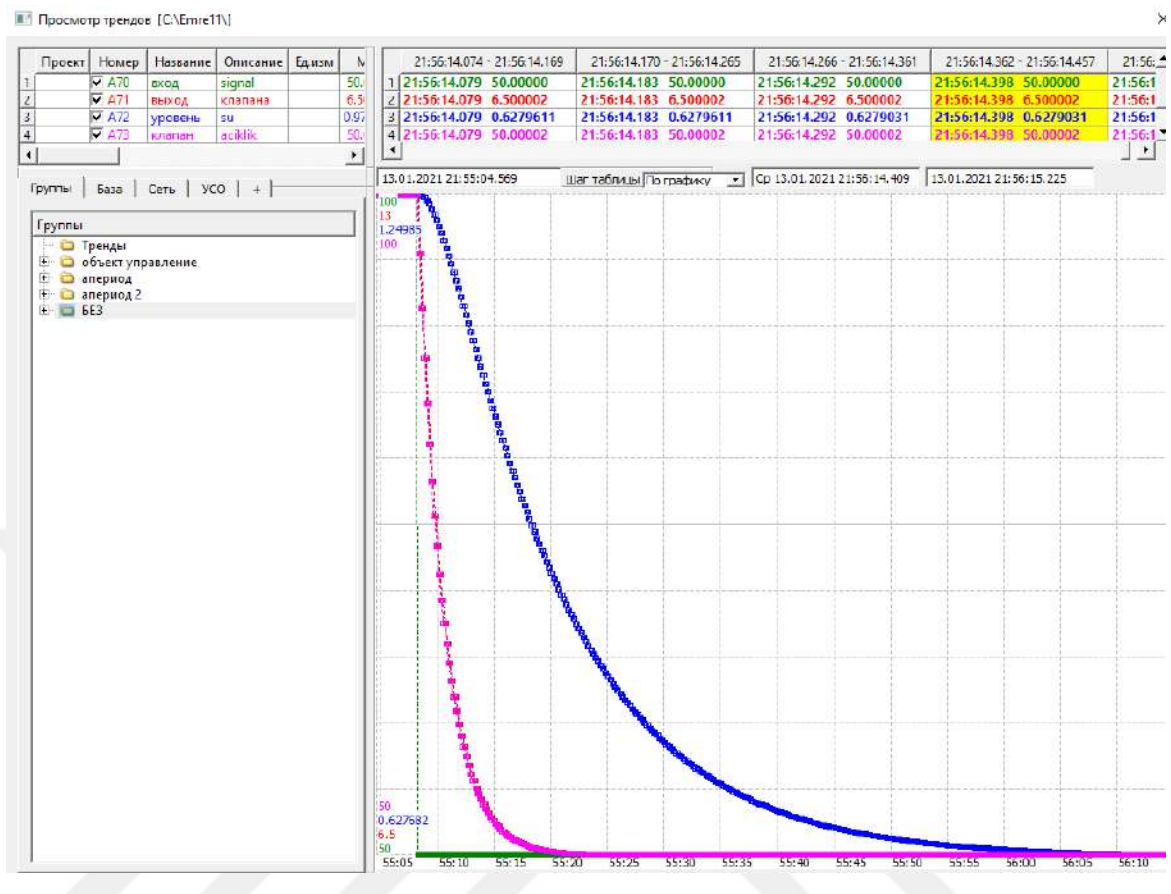


Рисунок 4.2.4 - Переходные характеристики уровня воды в ДБР без регулятора, возникающие при заткритии клапанов 50% из состояния 100%.

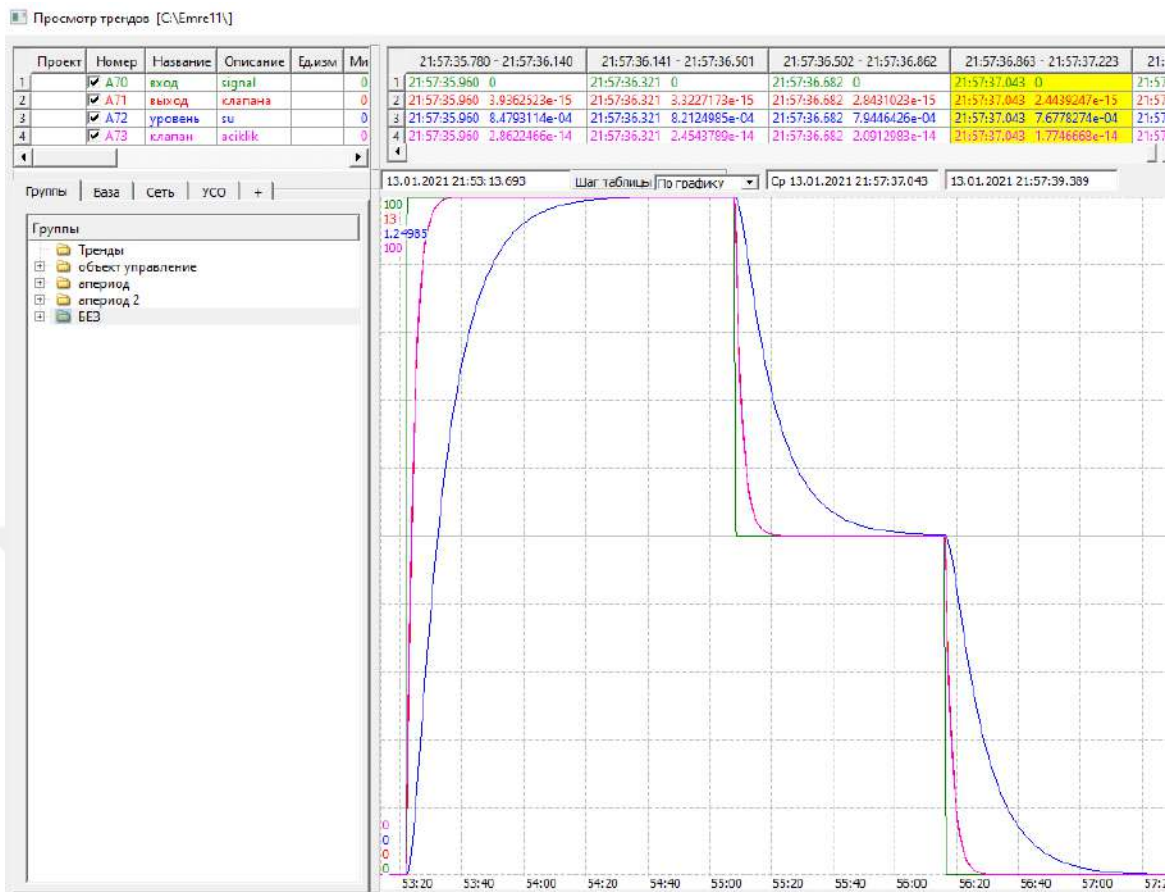


Рисунок 4.2.5 - Переходные характеристики уровня воды в ДБР без регулятора, возникающие при заткритии клапанов шаг за шагом из состояния 100% до 0%.

Проект: [С:\Emnet\], Лицензия: [6ТЭС], Пользователь: []

УСО Сеть Алго Алго ВУ ТЭП Минмосэнерго Документы Просмотр трендов

Пользовательские профили | Настройки | Основные | Сеть/УСО | Тренды | WEB | Такт Б.Д.т.: 107Прием Опередача: 0Память.к: 187756 [22.27.21]

Основные | Значения | Усреднения | Все | Уставки | Статусы | Синхронизация НСИ

Номер	Название	Описание	Посл.Знач...	Статус	Время обн...	Источник	Таймаут
A0			###	###	###		60000
A1	К_инт	Кинт - коэффициент пропорцио...	1	0	22:27:22.304		0
A2	К_ИМ+РО		0.3	0	19:39:31.760		0
A3			###	###	###		60000
A4			###	###	###		60000
A5	K1_ин_з	K1ин_з - коэффициент пропорци...	0.14	0	22:27:22.304		0
A6	T1_ин_з	T1ин_з - коэффициент пропорци...	0.017	0	22:27:22.304		0
A7	K2_ин_з	K2ин_з - коэффициент пропорци...	1	0	22:27:22.304		0
A8	T2_ин_з	T2ин_з - коэффициент пропорци...	0.5	0	22:27:22.304		0
A9			###	###	###		60000
A10	оп_off	Включение алгоритма работы ОУ	1	0	20:29:22.902		0
A11	И_вход_ИМРО	Вход ИМРО	47.619	0	22:27:22.304		0
A12	И_выход_ИМ...	Выход ИМРО	14.2857	0	22:27:22.304		0
A13	вход_объекта...	Выходная физическая величина О...	0	0	15:38:30.701		0
A14	выход_объект...	Выходная физическая величина ...	###	6	03:00:00.000		0
A15			###	###	###		60000
A16			###	###	###		60000
A17	A12_+A22	A12_+A22	###	38	17:02:58.401		60000
A18			###	###	###		60000
A19			###	###	###		60000
A20			###	###	###		60000
A21	вход_объекта_T	Входная физическая величина О...	0	0	20:29:22.808		0
A22	выход1_объек...	Выходная физическая величина ...	2	0	22:27:22.304		0
A23			###	###	###		60000
A24			###	###	###		60000
A25			###	###	###		60000
A26			###	###	###		60000
A27			###	###	###		60000
A28			###	###	###		60000
A29			###	###	###		60000
A30			###	###	###		60000
A31			###	38	03:00:00.000		60000
A32	выход2_объек...	Выходная физическая величина ...	###	38	20:29:22.808		60000
A33			###	###	###		60000
A34			###	###	###		60000
A35			###	###	###		60000

Группы

- A
- D
- Статистика
- Вычисления
- МКВАЗИС

Группы

- Тренды
- Объект управления
- Аперодика
- Аперодика 2 порядка
- K+K1/5
- Регулятор
- per2
- без

Навигация

Номер:

Редактирование

Копир. Встав. С

Вырез. Отменить По

Поиск

Замена

Искать в отмеченном

Искать  Поиск и замена

Настройки просмотра

Открывать с места последнего просмотра

Рисунок 4.2.6 - База данных программы MWBridge, когда система работает с ПИ регулятором.

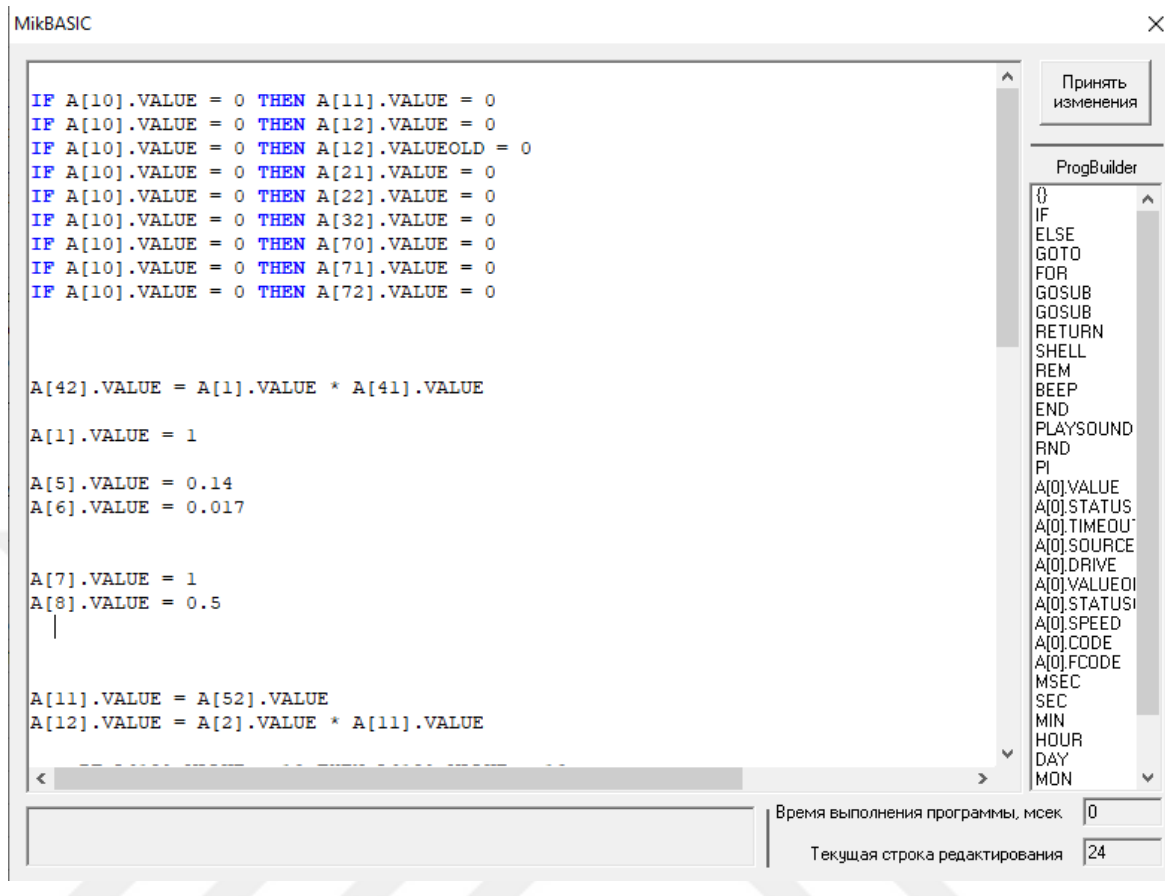
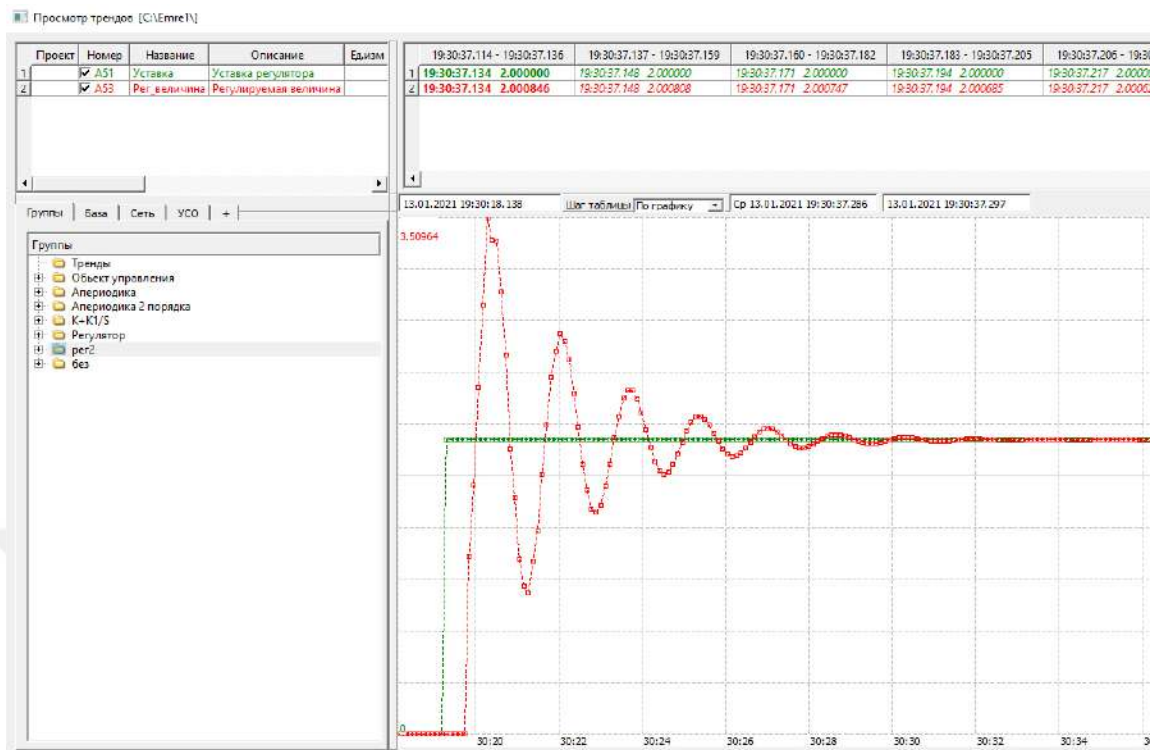


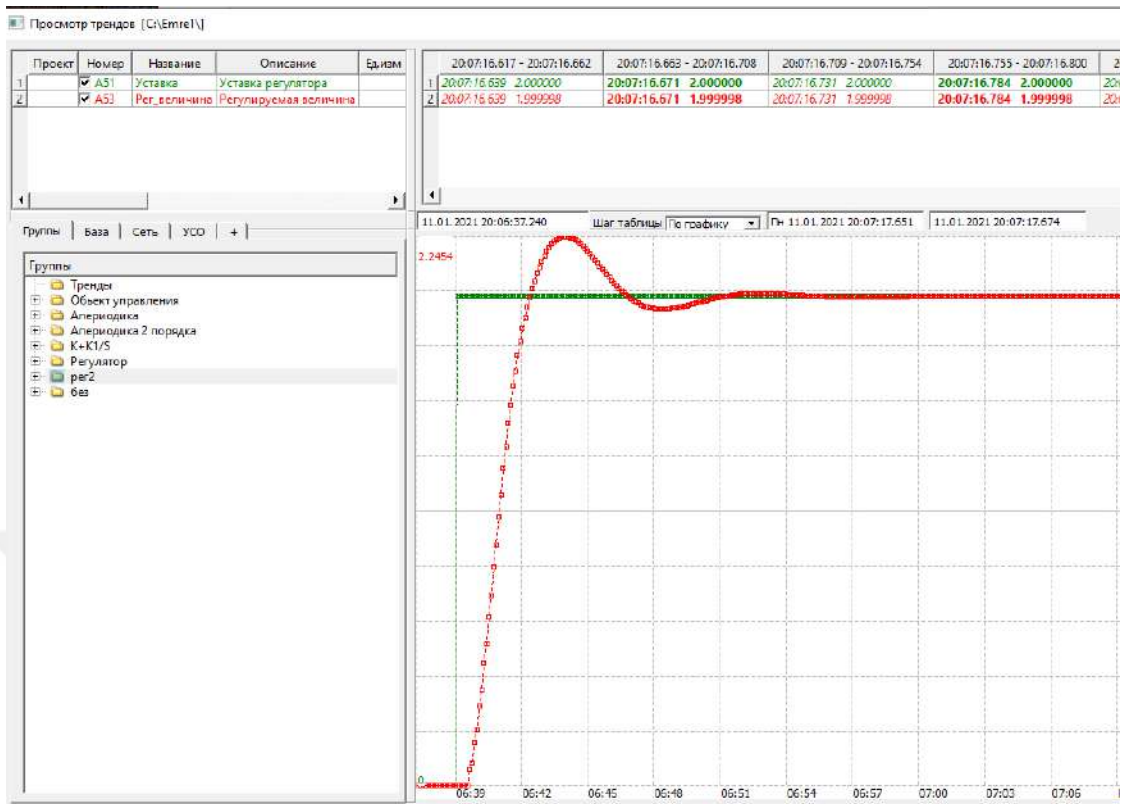
Рисунок 4.2.7 - Окно программы MikBasic с записанными разностными уравнениями



*Рисунок 4.2.8 - Результаты исследования переходных характеристик уровня в ДБР с ПИ регулятором*

На представленном графике работы (4.2.8) видно, что коэффициент регулятора не совсем подходит для объекта регулирования, так что получается неустойчивый график и происходит сильное колебание. Из этого неудачного графика мы понимаем, что коэффициент пропорциональности намного больше, чем должно быть.

$$K_P = 20.$$



*Рисунок 4.2.9 - Результаты исследования переходных характеристик уровня в ДБР с ПИ регулятором*

На представленном графике работы (4.2.9), мы все еще видим небольшое колебание в попытке после того, как мы уменьшили коэффициент пропорциональности в 10 раз, но очевидно, что мы приближаемся к успешному результату, снижая это значение.

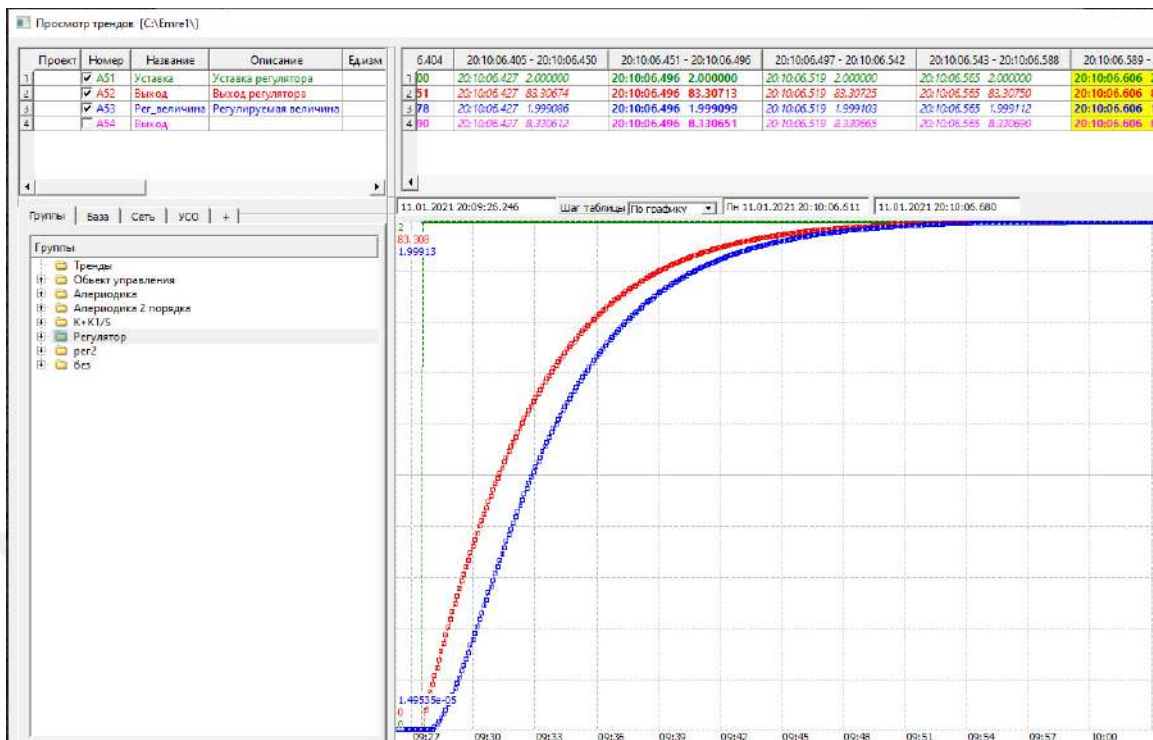
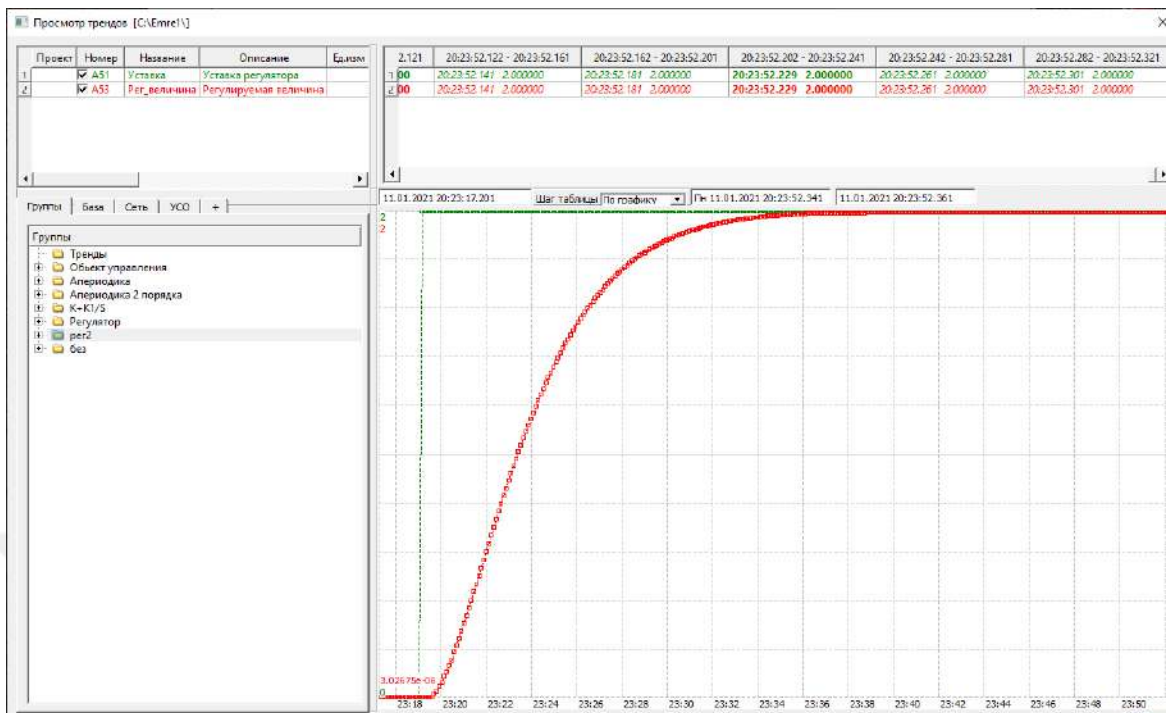


Рисунок 4.2.10 - Результаты исследования переходных характеристик уровня в ДБР с ПИ регулятором

На этот раз (4.2.10) мы уменьшаем значение коэффициента пропорциональности вдвое и снова пытаемся получить результат. Мы видим, что получаем график без колебаний, не превышающий номинальное значение.

Хотя это именно та ситуация, которую мы хотим, наиболее успешный результат - это результат, который завершает этот процесс быстрее всего. Вот поэтому мы экспериментируем с еще несколькими значениями, которые находятся между двумя предыдущими значениями.



*Рисунок 4.2.11 - Результаты исследования переходных характеристик уровня в ДБР с ПИ регулятором*

На представленном графике работы (4.2.11), мы достигаем наиболее эффективного и оптимального значения коэффициента пропорциональности регулятора в результате наших многократных испытаний, уменьшая и увеличивая наше значение, которое мы уже определили в каком диапазоне он находится.

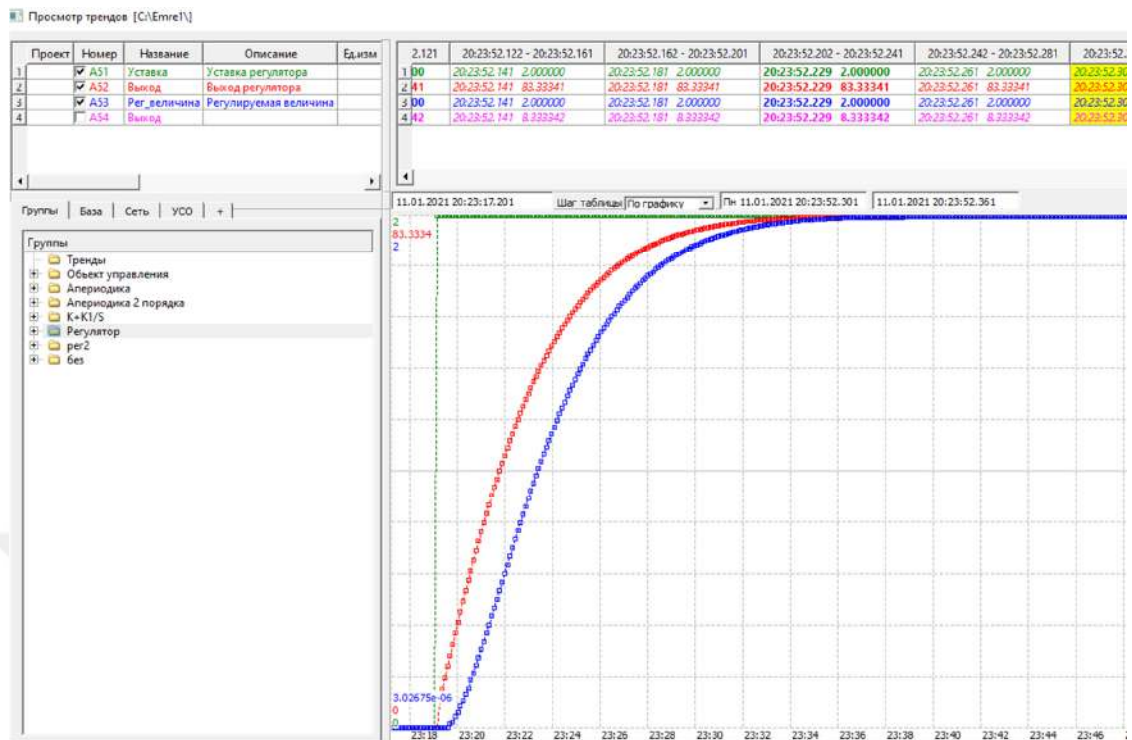
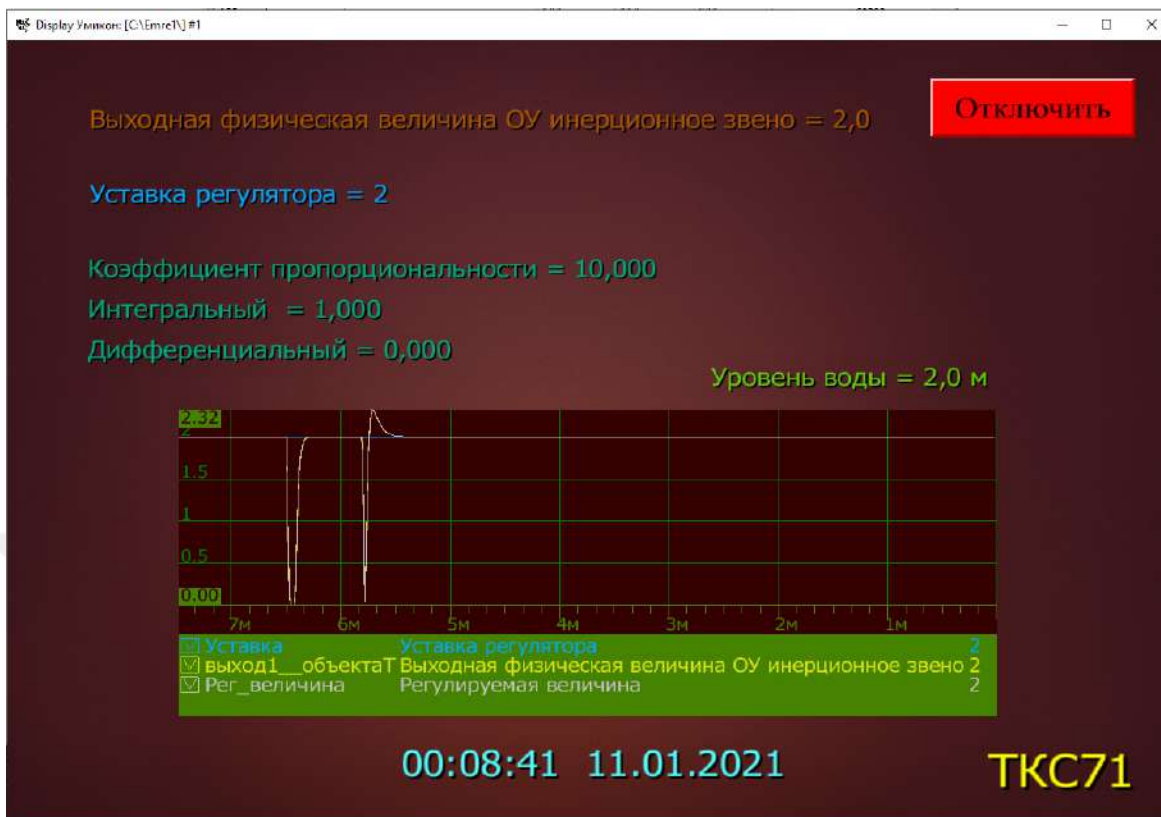


Рисунок 4.2.12 - Результаты исследования переходных характеристик уровня в ДБР с ПИ регулятором

На представленном графике работы (4.2.12), мы видим результат, полученный на графике 4.2.11, в разном масштабе, с выходным сигналом регулятора.

$$T_{и} = 0,16,$$

$$K_{п} = 1,3331.$$



*Рисунок 4.2.13 - Мнемосхема с характеристиками системы регулирования уровня ДБР.*

На рисунке представлена мнемосхема (4.2.13) от структурно-математической модели исполняющего механизма и объекта управления к разностным уравнениям и реализовать их в ПТК «УМИКОН».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этом исследовании изучена и смоделирована система управления уровня воды в деаэраторе борного регулирования. В начальном цикле реактора ВВЭР-1000 была изучена техдокументация на систему, в каком месте были рассчитаны полные коэффициенты модели из динамических уравнений, требуемых для построения системы дифференциальных уравнений (программного комплекса MWBridge).

Поддерживается модели системы управления уровня в деаэраторе борного регулирования ТКС71 во всех режимах работы реактора в первом контуре с ВВЭР-1000 на базе программно-аппаратных средств ТПТС, где объект управления исполняется ПК MWBridge в виде вариационных уравнений.

В этой работе также изучено динамическое уравнение деаэратора как нелинейное дифференциальное уравнение для упрощения этого уравнения в линейном дифференциальном уравнении. Вокруг исследуемых точек наблюдения применялся линейный метод.

Контроль поведения переменной уровня (уровня воды) был получен с использованием: (1) MATLAB, (2) MWBridge ПТК. В работе рассмотрена задача точки насыщения, где она была добавлена в MATLAB, чтобы программа не выполняла отрицательные значения, а также когда она достигает желаемого значения, она поддерживается высоким уровнем внутри ДБР и приходит в клапан (ТКС70S02). Используя MiKBASIC системы реального времени MWBridge, написав математический код передаточной функции в разностных уравнениях получены графики. Согласно результатам, полученным из этих графиков, найдена оптимальная коэффициента пропорциональности  $K$  для регулятора ТКС71. Создана мнемосхема, на которой оператор может управлять системой и следить за ней в простом виде.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. International Atomic Energy Agency (IAEA). WWER-1000 Reactor Simulator IAEA, VIENNA, 2003 IAEA, TCS-21. ISSN 1018–5518(2003) ,1 с.
2. С. А. Андрущечко, А. М. Афронов, Б. Ю. Васильев, В. Н. Генералов, К. Б. Косоуров, Ю. М. Семченков, В. Ф. Украинцев. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта — М.: Логос, 2010.
3. Зорин В.М. Атомные электростанции: учебное пособие /В.М. Зорин. — М.:Издательский дом МЭИ, 2012, – 672 с.
4. Маргулова Т. Х. и Мартынов О. И. Водные режимы тепловых и атомных электростанций: учеб. Пособие для ВТУЗов — М.: Высшая школа 1987
5. Денисов В.П., Драгунов Е.Г. Реакторные установки ВВЭР для атомных станций.М., ИздАТ, 2002, 480 с.
6. Локтева Д. В., Попов А. М., Ганиев Р. И., Новоселов И. В. Методы борьбы с коррозией трубопроводов // Аллея науки. 2017. № 7.
7. Бахтин А. А , Антонова А.М. модернизация системы продувки-подпитки ввэр-1000 , Энергетический Институт , 2016,16 с.
8. Moran Michal J., Shapiro Howard N. Fundamentals of Engineering Thermodynamics, Fifth Edition, John Wiley & Sons, 2006, ISBN: 978-0-470-03037-0
9. U.S. Department of Energy, THERMODYNAMICS, HEAT TRANSFER, AND FLUID FLOW. DOE Fundamentals Handbook, Volume 1, 2 and 3. June 1992.
10. S.Gomathy, Mrs.T.Anitha . Deaerator Storage Tank Level & Deaerator Pressure Control Using Soft Computing, IJSART – Vol. 1. Issue P. 2395-1052 (2015).

11. White Frank M., Fluid Mechanics, McGraw-Hill Education, 7th edition, February, 2010, ISBN: 978-0077422417
12. Теплообмен в ядерных энергетических установках / Б. С. Петухов [и др.]. – Москва : Издательство МЭИ, 2003. – 548 с.
13. Маргулова Т.Х., Подушко Л.А. Атомные электрические станции: Учебник для техникумов. – М. Энергоиздат, 1982. – 264 с.
14. Зверков, В. Автоматизированная система управления технологическими процессами АЭС / В. Зверков. – Москва : Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2013. – 558 с.
15. MWBRIDGE / MLB. Руководство пользователя. – Москва : Умикон. – 246 с.
16. Система контроля, управления и диагностики реакторной установки для ВВЭР-1000 / М. Н. Голованов [и др.]. // Ядерные измерительно-информационные технологии. – 2002. – №2. – С. 20-35.
17. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта / С. А. Андрушечко [и др.]. – Москва : Логос, 2010. – 604 с.