

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

АРЫК САЛИХ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕС-20
РЕГУЛЯТОРА ДАВЛЕНИЯ ЗА ФИЛЬТРАМИ УСТАНОВКИ ВВЭР-1000 НА БАЗЕ
ПТК ТПТС

Выпускная квалификационная работа специалиста

Специальность 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Выпускная квалификационная работа
защита «__» _____ 2021 г.

Оценка _____

Секретарь ГЭК _____

г. Москва

2021

Студент-дипломник _____ Арык Салих
(подпись) (ФИО)

*Руководитель ВКР к.т.н., доцент _____ Толоконский А. О.
(должность) (подпись) (ФИО)

М.П.

Консультант _____
(должность) (подпись) (ФИО)

*Рецензент _____ Нагорный Н.С
(должность) (подпись) (ФИО)

М.П.

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

Подписи руководителя и рецензента заверяются отделом кадров соответствующего предприятия.

РЕФЕРАТ

Объём пояснительной записки 94 стр., рис. 42, источников 14.

Объектом исследования являются системы управления ТЕС-20 регулятора давления за фильтрами установки ВВЭР-1000.

Цель работы: разработать и исследовать структурные математические модели объекта управления, регулирующего органа и системы управления. Назначение: выполнение заданной программы регулирования давления в первом контуре в системе СВО-2. В основу работы был положен анализ при разных коэффициентах пропорциональности K и постоянной времени интегрирования T_i . По результатам этого исследования были сделаны выводы об устойчивости.

Смоделирована система управления давлением регулятора с ВВЭР-1000 в программе MWBridge в виде разностных уравнений с ПИ регулятором. Регулируемые величины регулировали до входной величины уставки если нет автоколебания.

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ	1
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1	7
1.1 Цифровые системы автоматического управления	7
1.1.1 И-регуляторы.....	9
1.1.2 ПИ-регуляторы	10
1.1.3 ПИД-регуляторы.....	11
1.2 Устойчивость системы регулирования с типовыми регуляторами.....	11
1.2.1 П-регуляторы	11
1.2.2 ПИ регуляторы	12
1.2.3 ПИД-регулятор	13
1.3 Структурная схема АСУТП:	14
1.3.1 Исполнительный механизм.....	15
1.3.2 Объект управления в технической системе	17
1.3.3 Методы идентификации объектов управления.....	18
1.3.4 Контуры автоматического регулирования систем	24
ГЛАВА 2	25
2.1 Цели и задачи АЭС	25
2.2 Технологические контуры атомных станций	26
2.3 Назначение реакторной установки и I контура в технологическом цикле АЭС.....	30
2.4 Первый контур	31
2.4.1 Типы регуляторов на АЭС.....	34
2.5 Назначение СВО.....	41
2.6 Регулирующие клапаны TE10(20)S11.....	44
2.7 Постановка задачи	45
ГЛАВА 3	46
3.1 Описание ТПТС.....	46
3.2 Приборные стойки (ПС)	47
3.3 Стойки сопряжения (СС).....	48
3.4 ТПТС-ЕМ	49
3.5 Номенклатура и место ТПТС-ЕМ в системе автоматизации.....	50
3.5.1 Энергоблока	50
3.5.2 Приборные стойки.....	54

3.6 Служебные модули	62
3.7 Стойки питания (ТПТС52.23XX)	63
3.7.1 Назначение	63
3.7.2 Общие сведения	64
3.8 Стойки сопряжения (ТПТС52.2110-XX.XX)	66
3.8.1 Средства Коммуникации	68
3.8.2 Интерфейсный модуль	69
3.8.3 Коммутаторы	70
3.9 Система GET-R	70
ГЛАВА 4	71
4.1 Моделирование системы в среде MATLAB	71
4.2 MWBRIDGE	73
4.3 MikBASIC	75
4.4 Исследование моделирования системы управления регулятора давления	80
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	93
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	94

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АРД		автоматический регулятор давления
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
КАУ	-	контур автоматического управления
КИУ	-	канал измерения уровня
КСН	-	коллектор собственных нужд
ОК	-	основной конденсатор
ПГ	-	парогенератор
ПВД	-	подогреватель высокого давления
ПФ	-	передаточная функция
РУ	-	реакторная установка
РК	-	регулирующий(е) клапан(ы)
РТ	-	рабочая точка
САПР	-	система автоматизированного проектирования
ТОУ	-	технологический объект управления
УКТС	-	унифицированный комплекс технических средств
УС	-	управляющая система
УСБ	-	управляющая система блокировки
ТП	-	технологический процесс
ТПТС	-	технологические программно-технические средства
ТЗ	-	техническое задание
ФМ	-	функциональный модуль

ВВЕДЕНИЕ

Теория управления представляет собой раздел современной науки и техники. Теория управления описывается как на фундаментальных дисциплинах (например, математика, геометрия, физика и т.д.), так и на прикладных дисциплинах (Радиоспектроскопия, микропроцессорная техника, Энергетика и энергосбережение и т.д.).

Важность теории автоматического управления в настоящее время увеличивалась рамки технических систем. Системы, автоматизированных части операций, а остальные части выполняются человеком, получили название, Автоматизированные системы управления (АСУ). АСУ создаются на некоторых уровнях: технологических процессов (АСУТП) и предприятия (АСУТП), отрасли и т.д. В АСУ можно использовать вычислительную технику.

Количества автоматизированных и неавтоматизированных операций в АСУ различных уровней соотносятся по-разному. На низком уровне (АСУТП) влияние автоматических устройств и роль динамики преобладают. На высоких уровнях учет динамики превращается существенно труднее как вследствие увеличения числа и возрастания числа управляемых переменных, так и в результате увеличения числа и возрастания поли не поддающихся формализации на математическом языке факторов.

Любой процесс управления (автоматического) состоит из нескольких этапов :

- получить информацию о задаче управления;
- получить информацию о результате управления;
- анализировать получаемую информацию;
- выполнить решения (воздействие на объект управления).

Чтобы реализовать процессу управления система управления (СУ) должна иметь:

- источники полученных информации о задаче управления;
- источники полученных информации о результатах управления (различные датчики, измерительные устройства, детекторы и т.д.);
- устройства для анализа полученных информации и выполнения решений;
- исполнительные устройства, воздействующие на Объект Управления, содержащие: регулятор, двигатели, усилительно-преобразующие устройства и т.д.

Автоматические регуляторы используются для обеспечения поддержания основных технологических параметров блока в допустимых пределах или изменения их по заданному закону в проектных режимах без автоколебаний. В стационарных режимах регуляторы используются для обеспечения поддержания регулируемых параметров в заданных пределах с заданной точностью. В переходных режимах регуляторы обеспечивают следующие показатели качества переходного процесса:

- степень затухания – это не ниже 0,9 (или апериодический переходный процесс);

- отклонения параметров от значений, которые задали в нормальных переходных режимах не должны приводить к срабатыванию блокировок, защит и сигнализаций, непредусмотренных для нормальных условий эксплуатации. Исследуем в системе управления регулятора давления с помощью ПИ регулятора чтобы оценивать устойчивость системы при разных коэффициентах пропорциональности K и постоянной времени интегрирования T_i .

Глава 1

1.1 Цифровые системы автоматического управления

Как известно наиболее важным функциональным узлом системы автоматического управления являются регуляторы которые реализуются в микропроцессорной САУ программным путем и являются из-за наличия в системе квантования (во времени и по состоянию) цифровыми регуляторами. Ограничиваясь рассмотрением линейных регуляторов приведем классификацию цифровых регуляторов.

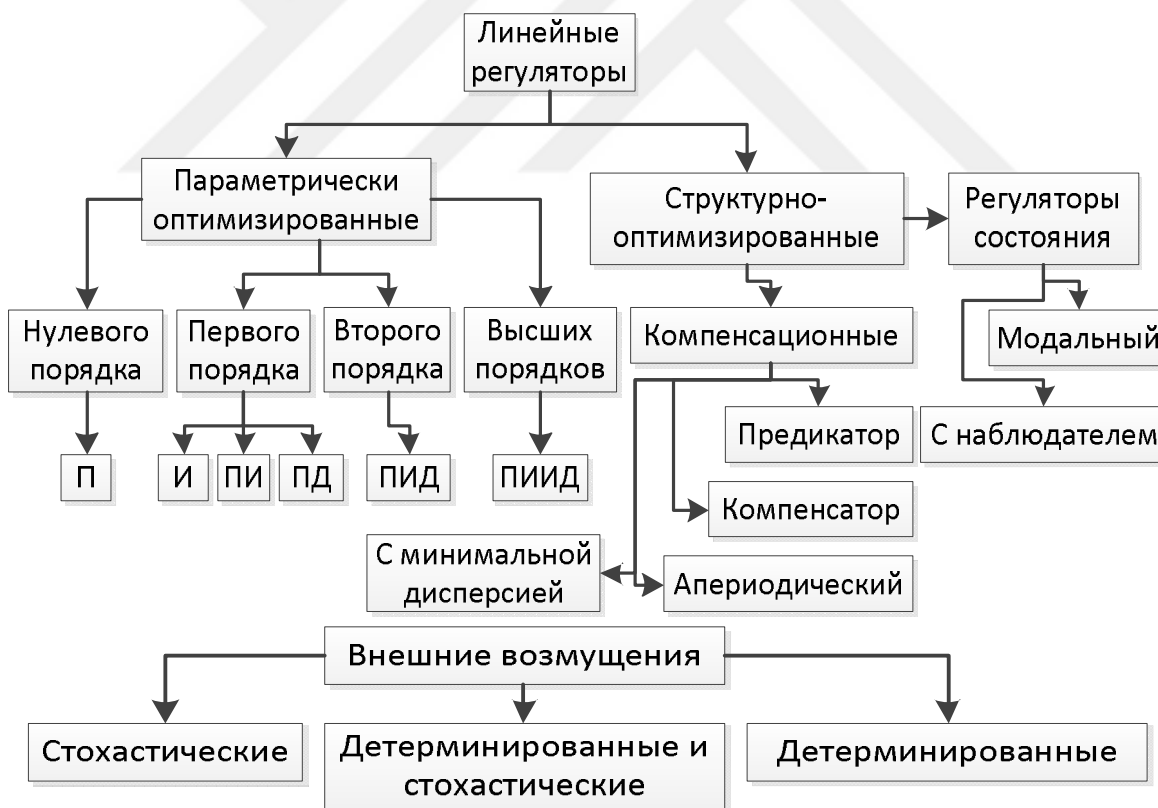


Рисунок 1: классификация цифровых регуляторов.

Компенсатор – ликвидирует воздействие объекта в особых точках передаточной функции (нули и полюса). Аperiodический регулятор-обеспечивает завершение переходного процесса при ступенчатом возмущении за заданное время.

Контроллер-предиктор для прогнозирования реакции, когда объект модели включен в обратную связь контроллера.

Регулятор с минимальной дисперсией – используется в стохастической системе (при входе/управляющее воздействие – случайная величина) минимизирует дисперсию значений управляемой переменной.

Рассматриваемые регуляторы называются регуляторами ввода-вывода, поскольку они управляют входными и выходными значениями и производят управляющее воздействие по определенному закону управления.

В отличие от этих регуляторов регуляторы состояния управляют характеристиками вектора состояния объекта управления (т. е. координатами и производными), описываемыми уравнениями в пространстве состояний. При наличии полной информации о векторе состояния модальный контроллер используется совместно с модальным анализатором.

ом на входе и модульный синтезатор на выходе для синтеза вектора реального состояния объекта управления. Если некоторые переменные состояния не могут быть измерены, используются регуляторы с наблюдателем, восстанавливающим переменные состояния объекта.

Регуляторы типовые (аналоговые):

Динамические характеристики объектов обычно могут быть аппроксимированы некоторыми типичными зависимостями. Это позволяет свести все разнообразие требуемых нормативных актов к нескольким стандартным нормативным актам, которые в подавляющем большинстве используются в производстве. Соответственно, задача синтеза системы управления с этой точки зрения сводится только к выбору подходящего регулятора со стандартным законом регулирования и определению оптимальных значений переменных параметров (так называемых уставок) Если регулирование объекта осуществляется с ПЭВМ то

задача сводится к выбору типовой программы из библиотеки стандартных программ машины.

1.1.1 И-регуляторы

перемещают регулирующий орган пропорционально интегралу отклонения регулирующей величины: $u(t) = K_{ин} \int e(t) dt$. Рассматриваемый закон также может быть записан в следующем виде: $\dot{u}(t) = K_{ин} e(t)$. То есть интегрированные регуляторы перемещают регулятор со скоростью, пропорциональной отклонению контролируемого значения от заданного значения (уставки). Коэффициент пропорциональности $K_{ин}$ численно равен скорости движения контролируемого тела с отклонением контролируемого значения на единицу измерения ээ. По своим свойствам I-регулятор аналогичен интегрирующему звену и-регуляторы могут устойчиво регулировать работу только объектов с самовыравниванием.

$e(t)$ – сигнал ошибки:

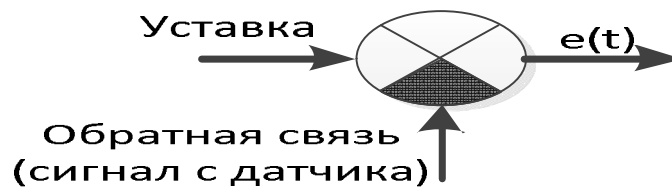


Рисунок 2: сигнал ошибки

перемещают регулирующий орган пропорциональной отклонению регулируемой величины от заданного значения: $u(t) = K_{рег} e(t)$. Коэффициент $K_{рег}$ называется коэффициентом передачи регулятора. Численно коэффициент передачи регулятора равен перемещению регулирующего органа, которое осуществляет регулятор при отклонении контролируемой величины за единицу измерения ээ. П-регулятор соответствует неинерциальной ссылке П-регулятор позволяет устойчиво регулировать работу практически всех промышленных предприятий. Это объясняется тем, что перемещение регулирующего органа в

новое положение, соответствующее новой нагрузке, может быть достигнуто только путем отклонения контролируемой величины. Это явление называется статической или остаточной неравномерностью регулирования.

Это объясняется тем, что перемещение регулируемого органа в новое положение, соответствующее новой нагрузке, может быть осуществлено только путем отклонения контролируемой величины. Это явление называется статической или остаточной неравномерностью регулирования.

1.1.2 ПИ-регуляторы

Пропорциональные регуляторы с введением в закон регулирования интеграла (ПИ-регуляторы) перемещают регулирующий орган пропорционально сумме отклонений и интеграла от отклонений регулируемой величины:

$$u(t) = K_{\text{рег}} \left(e(t) + \frac{1}{T_{\text{ин}}} \int e(t) dt \right) \text{ или в дифференциальной форме}$$

$$\dot{u}(t) = K_{\text{рег}} \left(\dot{e}(t) + \frac{1}{T_{\text{ин}}} e(t) \right).$$

Таким образом скорость перемещения регулирующего органа пропорциональна отклонению и скорости изменения регулируемой величины. Постоянная времени $T_{\text{ин}}$ величина которой характеризует степень ввода интеграла в закон регулирования называется постоянной времени интегрирования или временем изодрома. В динамике ПИ-регулятор соответствует системе из двух параллельно включенных звеньев пропорционального с коэффициентом передачи $K_{\text{рег}}$ и интегрирующего с коэффициентом передачи $\frac{K_{\text{рег}}}{T_{\text{ин}}}$. При беспредельном увеличении времени интегрирования ПИ-регулятор превращается в П-регулятор. Если же устремить $K_{\text{рег}}$ и $T_{\text{ин}}$ к нулю сохраняя постоянным соотношение $\frac{K_{\text{рег}}}{T_{\text{ин}}}$ то получим И-регулятор с коэффициентом передачи $\frac{K_{\text{рег}}}{T_{\text{ин}}}$.

Передаточная функция ПИ-регулятора: $W_{\text{пи}}(s) = K_{\text{рег}} \left(1 + \frac{1}{T_{\text{ин}}s} \right)$.

ПИ-регуляторы отличаясь простотой конструкции позволяют устойчиво и без статической ошибки регулировать работу большого числа промышленных

объектов. По этой причине они получили наибольшее распространение на практике.

1.1.3 ПИД-регуляторы

Пропорциональные регуляторы с введением в закон регулирования интеграла и производной от регулируемой величины (ПИД-регуляторы) перемещения регулируемого органа пропорционально отклонению интеграла и скорости изменения регулируемой величины: $u(t) = K_{\text{рег}} \left(e(t) + \frac{1}{T_{\text{ин}}} \int e(t) dt + T_{\text{д}} \dot{e}(t) \right)$. Постоянная времени $T_{\text{д}}$ характеризует степень ввода в закон управления производной и называется постоянной времени дифференцирования или временем предварения регулятора. В динамическом отношении к этим элементам управления аналогична система из трех параллельно соединенных блоков (мгновенное совершенное интегрирование и дифференцирование). И при $T_{\text{д}}=0$ пид-контроллер превращается в пи-контроллер. Кроме того, если время интегрирования будет направлено на бесконечность, этот PI-контроллер превратится в P-контроллер. И Хьюго передаточная функция:

$$W(s) = K_{\text{рег}} \left(1 + \frac{1}{T_{\text{ин}}s} + T_{\text{д}}s \right)$$

1.2 Устойчивость системы регулирования с типовыми регуляторами

1.2.1 П-регуляторы

АФЧХ разомкнутой системы: $W_p(j\omega) = K_{\text{рег}} W_{\text{об}}(j\omega)$ если $K_{\text{рег}} = 1$ то годограф открытая система отличается от характеристик объекта только размерностью (очевидно, что Годограф самой открытой системы безразмерен).

Если коэффициент пропорциональности регулятора не равен единице, то вектор локуса без изменения его направления изменяется по длине в разы.

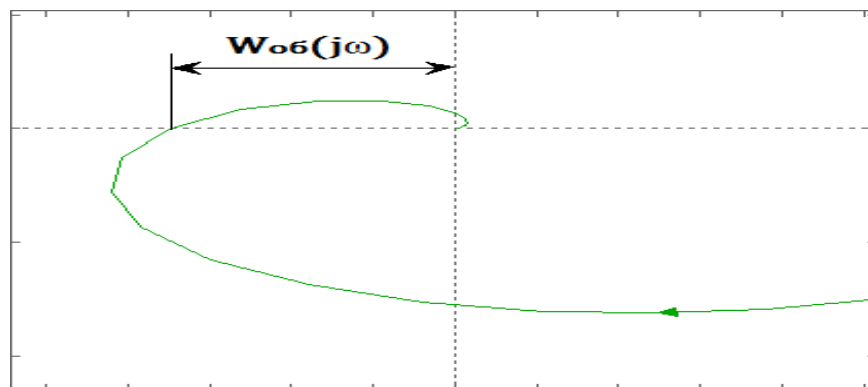


Рисунок 3 : АФЧХ П-регуляторы

Поэтому в системах управления с Р-регуляторами и объектами управления, имеющими годограф вида увеличение K_{reg} ухудшает устойчивость системы, так как афч открытой системы разбухает и может покрывать -1 , поэтому условие границы устойчивости можно записать следующим образом: $K_{рег_{кр}} W_{об}(j\omega_{\pi}) = -1$ где ω_{π} – частота в которой годограф пересекает вещественную отрицательную полуось. $K_{рег_{кр}} = -\frac{1}{W_{об}(j\omega_{\pi})}$ то есть критический коэффициент передачи П-регулятора равен обратной величине отрезка отсекаемого на отрицательной вещественной полуоси АФЧХ регулируемого объекта.

1.2.2 ПИ регуляторы

Передаточная функция: $W_p(j\omega) = K_{рег} \left(1 - \frac{j}{\omega T_{ин}}\right) W_{об}(j\omega)$

$$K_{рег} = W_{p0}(j\omega) = W_{об}(j\omega) - \frac{jW_{об}(j\omega)}{\omega T_{ин}}$$

Таким образом чтобы получить АФЧХ разомкнутой системы с ПИ-регулятором при $K_{рег} = 1$ и некоторым заданным временем интегрирования следует каждому вектору АФЧХ регулируемого объекта добавить длиной ΔA

который имеет значение $\Delta A = \frac{A}{\omega T_{ин}}$ повернутый на 90 градусов по часовой стрелке.

Критическая величина коэффициента передачи регулятора $K_{регкр}$ для выбранного значения времени интегрирования $T_{ин}$ равна обратной величине отрезка отсекаемого характеристикой $W_p(j\omega)$ на отрицательной вещественной полуоси.

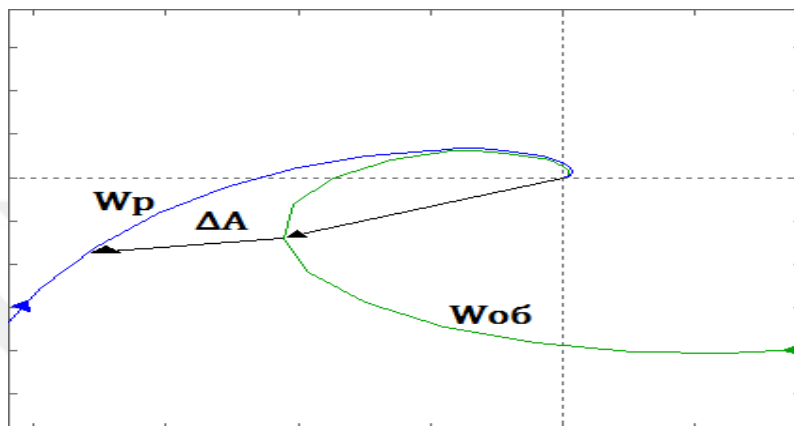


Рисунок 4: АФЧХ ПИД-регулятор

1.2.3 ПИД-регулятор

Передаточная функция: $W_p(j\omega) = W_{об}(j\omega) + W_{об} \left(\frac{1}{\omega T_{ин}} - \omega T_d \right) e^{-j\frac{\pi}{2}}$

Для некоторого $\alpha = \frac{T_d}{T_{ин}}$ характеристика строится аналогично предыдущему случаю

$\Delta A = \frac{A}{\omega T_{ин}} - \alpha A \omega T_{ин}$. Подобным образом вычисляется $K_{регкр}$.

В результате расчетов в плоскости параметров настройки регуляторов $K_{рег}$ и $T_{ин}$ можно построить семейство кривых которые для различных значений отношения альфа определяют границы области устойчивости.

1.3 Структурная схема АСУТП:

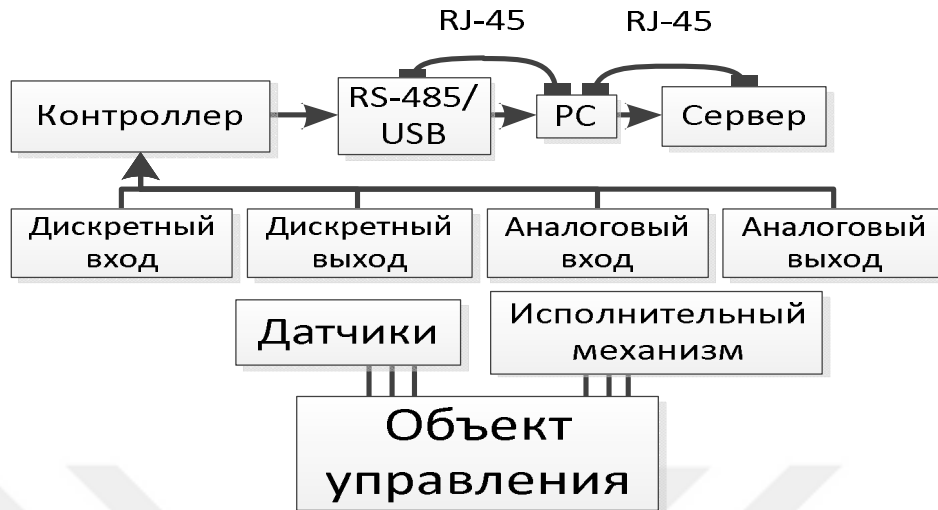


Рисунок 5: Структурная схема АСУТП

УСО имеет 4 вида:

- Аналоговый вход (AIN) - состоит из АЦП и 4-32 каналов. Имеется гальваническая развязка октября для повышения ремонтпригодности (горит только один провод при скачке напряжения например).
- Аналоговый выход (AOUT) - состоит из ЦАП и 1-8 каналов.
- Дискретный вход (DIN) - состоит из 8-64 каналов (максимум 256). Запитка может быть двух типов внешняя (сухой контакт) и внутренняя (мокрый контакт).
- Дискретный выход (DOUT) состоит из 8-128 каналов выходит на низкоточную нагрузку до 24В.

В АСУТП используется 3 основных способа передачи данных:

- Токовая петля информацию несет ток протяженность порядка 10 км максимальная скорость работы около 9600 Бод.
- RS-485 протяженность до 1км 96000-115200 Бод.
- CANBUS протяженность не более метра скорость до 1МБод

Контроллером является микропроцессор.

Схема на основе АСУТП для основных законов регулирования:

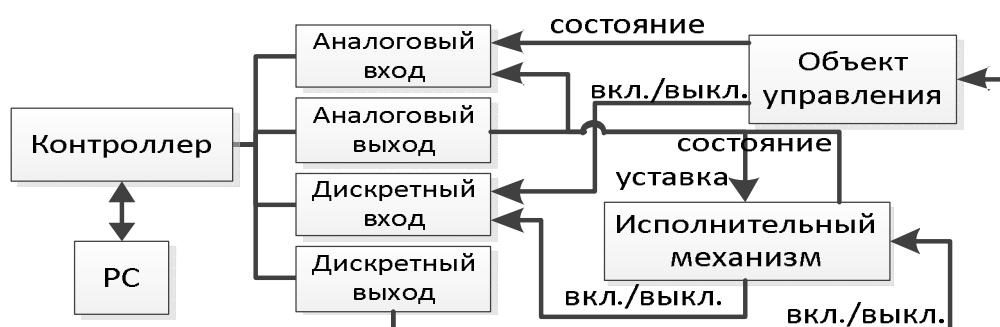


Рисунок 6: Схема на основе АСУТП для основных законов регулирования

1.3.1 ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ

Устройство в системе автоматического управления телемеханики и др., осуществляющее механическое перемещение регулирующего органа. Изменение положения регулирующего органа вызывает изменение потока энергии, жидкости, газа, сыпучих материалов и других входящих в объект и тем самым воздействует на рабочие машины, механизмы и процессы, устраняя отклонения регулируемой величины от заданного значения. Исполнительные механизмы классифицируются по типу применяемой энергии, гидравлические, пневматические, электрические и комбинированные электрогидравлические (например), ссылаясь на текущее движение (поступательное движение вращения на один оборот несколько витков etal.) по назначению и типу управляемых элементов. Например, приводы могут быть использованы, чтобы переместить клапаны клапаны и заслонки и направляющие гидротурбин и насосов железнодорожной стрелки для привода элементов следящих систем (копировальных манипуляторов записывающих устройств и т. д.) рулевые устройства транспортных средств специальные элементы систем управления (например, противовесы в подъемных конструкциях зажимных автоматических устройств) и др.

Исполнительный механизм обычно состоит из двигателя передачи и элементов управления (элементов приёма входных сигналов элементов обратной связи и др.) Например исполнительный механизм для регулирования потока жидкостей и газов представляет собой клапан задвижку или затвор перемещаемые гидравлическим пневматическим или электрическим приводом. Наибольшее распространение в промышленной автоматике получили электрические исполнительные механизмы с приводом от асинхронного электродвигателя.

В исполнительном механизме в схеме простейшей следящей системы сигнал рассогласования ε (разность между задающим сигналом r и сигналом обратной связи u) с помощью управляющего устройства преобразуется в сигнал управления v , который передается на объект управления

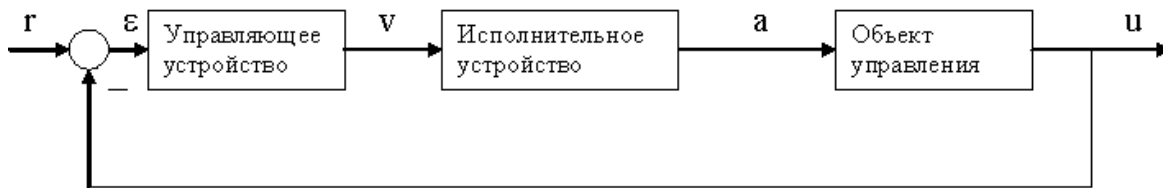


Рисунок 7: Структурная схема контура автоматического регулирования

Обобщающий термин кибернетики и теории автоматического управления, обозначающий устройство или динамический процесс, управление поведением является целью создания системы автоматического управления.

Ключевым моментом теории является создание математической модели, описывающей поведение объекта управления в зависимости от ее состояния, управляющих воздействий и возможных помех (шума).

Формальная математическая близость математических моделей, относящихся к объектам различной физической природы, позволяет использовать математическую теорию управления вне ее связи с конкретными реализациями, а

также классифицировать систему управления по формальным математическим признакам (например, линейным и нелинейным)..

В теории автоматического управления считается, что управляющее устройство оказывает управляющее воздействие на объект управления. реальных системах устройство управления интегрировано с объектом управления, поэтому для эффективной теории важно точно определить границу между этими звеньями одной цепи. например, при проектировании системы управления летательным аппаратом считается, что устройство управления вычисляет углы отклонения рулей направления, а математическая модель летательного аппарата, как объекта управления, должна с учетом этих углов определять координаты центра масс и угловое положение летательного аппарата.

равнения аэродинамики в целом очень сложны, в некоторых случаях могут быть упрощены линеаризацией, что позволяет создать линеаризованную модель системы управления.

1.3.2 Объект управления в технической системе

Каждая техническая система (ТС) имеет функциональную часть объекта управления (ОУ). Функции ОУ ТС заключаются в восприятии управляющих воздействий (УУ) и изменении в соответствии с их техническим состоянием (далее-состояние) ОУ ТС не выполняет функций принятия решений, то есть не формирует и не выбирает альтернативу своему поведению, а лишь реагирует на внешние (управляющие и возмущающие) воздействия, изменяя свое состояние, предопределенное его конструкцией

Средства управления транспортным средством состоят из двух функциональных частей: сенсорной и исполнительной.

Сенсорная часть образована набором технических устройств, непосредственной причиной изменения состояний каждого из которых является

соответствующее ему и предназначенное для этого управляющее воздействие.[источник не указан 2571 день] примеры сенсорных устройств: выключатели, переключатели, клапаны, заслонки, датчики и другие подобные устройства для функционального контроля технических систем.

Исполнительная часть образована совокупностью материальных объектов, все или отдельные комбинации состояний которых рассматриваются в качестве целевых состояний технической системы, в которых она способна самостоятельно выполнять потребительские функции, предусмотренные ее конструкцией, непосредственной причиной изменения состояний исполнительной части ТС (ОУ ТС) являются изменения состояний.

1.3.3 Методы идентификации объектов управления.

1. Классификация методов идентификации:
 - a. О. Методы непараметрической идентификации линейных детерминированных объектов.
 - b. Методы параметрической идентификации линейных детерминированных объектов.
2. Методы непараметрической идентификации
3. Идентификация с использованием переходных характеристик (реакция объекта управления на ступенчатое воздействие).

Широко используются методы идентификации детерминированных объектов путем определения аналитического выражения переходной характеристики $p(t)$ по экспериментально полученной реакции объекта со ступенчатым изменением управляющего воздействия на входе.

$$u(t) = c \cdot 1(t),$$

Где $1(t)$ - функция единичного скачка

$$\begin{cases} 1(t) = 0, t < 0; \\ 1(t) = 1, t \geq 0, \end{cases}$$

c – Интенсивность сигнала

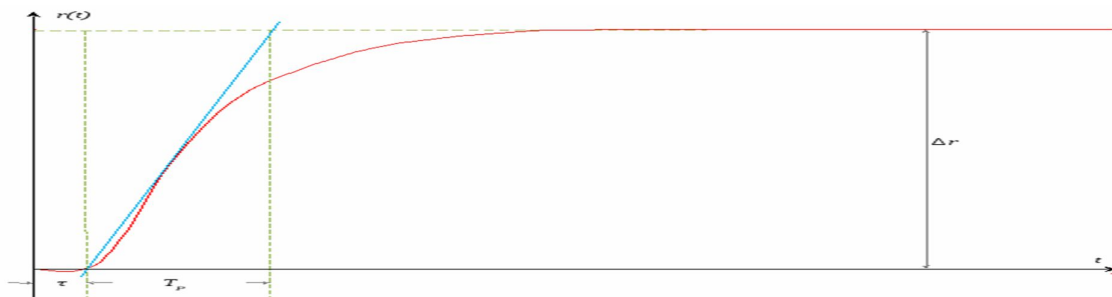


Рисунок 8: Реакция объекта управления первого порядка на ступенчатое воздействие

k_0 – коэффициент усиления объекта управления,

T_0 – постоянное время объекта управления,

τ_0 – постоянное время транспортного запаздывания.

2 - Идентификация с помощью импульсных переходных характеристик (реакция объекта управления на дельта-функции).

На практике точно реализовать импульсное воздействие $u(t) = c\delta(t)$ на вход объекта, близкое по свойствам к идеальному δ -импульсу,

$$\delta(t) = \begin{cases} 0, t \neq 0 \\ \infty, t = 0 \end{cases}; \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$$

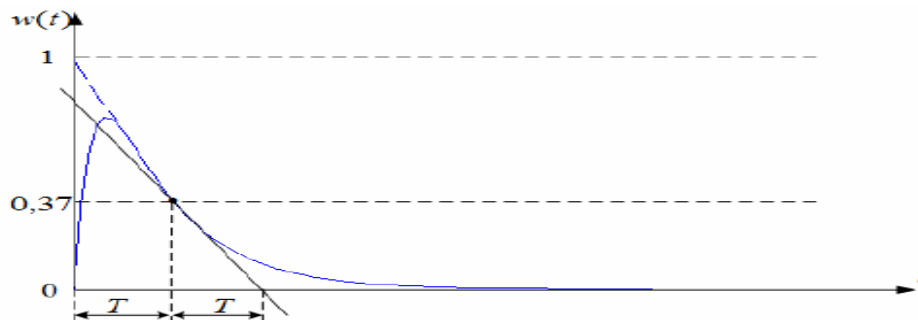


Рисунок 9: реакция объекта управления первого порядка на дельта – функции

Существуют различные методы идентификации объекта. В данной работе будет исследоваться метод идентификации объекта при помощи интеграла Дюамеля и импульсной переходной характеристики объекта.

Интеграл Дюамеля выглядит так:

$$x(t) = \int_{-\infty}^t \Phi(t - \tau)U(\tau)d\tau$$

Способ заключается в определении отклика системы $x(t)$ на импульсное воздействие $U(t)$ и нахождении импульсного переходного отклика системы $A(t)$, используя полученные данные.

Сигнал $x(t)$ снимается через равные промежутки времени Δ . В результате эксперимента получается набор значений $U(0), U(\Delta), U(2\Delta) \dots U(n\Delta)$ и $x(0), x(\Delta), x(2\Delta) \dots x(n\Delta)$. Из интеграла Дюамеля получаем интегральное уравнение относительно импульсной переходной характеристики $\Phi(t)$. Подвергая дискретизации переменную интегрирования, получаем систему линейных уравнений относительно $\Phi(\Delta), \Phi(2\Delta) \dots \Phi(n\Delta)$.

$$\begin{cases} x(\Delta) = U(0)\Delta\Phi(\Delta) \\ x(2\Delta) = U(\Delta)\Delta\Phi(\Delta) + U(0)\Delta\Phi(2\Delta) \\ x(3\Delta) = U(2\Delta)\Delta\Phi(\Delta) + U(\Delta)\Delta\Phi(2\Delta) + U(0)\Delta\Phi(3\Delta) \\ \dots \\ x(n\Delta) = U((n-1)\Delta)\Delta\Phi(\Delta) + U((n-2)\Delta)\Delta\Phi(2\Delta) + \dots + U(0)\Delta\Phi(n\Delta) \end{cases}$$

Её удобно представить в матричном виде:

$$U_m \Phi = X$$

Где

$$X = \begin{pmatrix} x(\Delta) \\ \dots \\ x(n\Delta) \end{pmatrix}$$

$$U_m = \begin{pmatrix} U(0) & 0 & \dots & 0 \\ U(\Delta) & U(0) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ U((n-1)\Delta) & U((n-2)\Delta) & \dots & U(0) \end{pmatrix}$$

$$\Phi = \begin{pmatrix} \Phi(\Delta) \\ \dots \\ \Phi(n\Delta) \end{pmatrix}$$

использование этого метода в программе оказалось невозможным, из-за невозможности сформировать импульсные переходные характеристики на входе объекта.

3- Идентификация объектов с помощью частотных характеристик.

Частотный метод идентификации линейных систем основан на работах Найквиста и Боде и использует в качестве исходной частотные или спектральные характеристики.

Частотная характеристика объекта может быть представлен набором амплитудно-частотная характеристика $a(\omega)$, представляющая собой зависимость отношения амплитуд гармонических сигналов на входе и выходе объекта в установившемся режиме частота колебаний и фаза-частотная характеристика $\phi(\omega)$, отражающая зависимость сдвига фазы между входным и выходным гармоническими сигналами частотных характеристик динамических объектов, как правило, определяются в режиме активного эксперимента путем подачи гармонического сигнала на вход объекта, частота которых изменяется в определенном диапазоне, и регистрация выходной реакции.

Для линейного стационарного объекта отношение вход-выход определяется передаточной функцией частоты:

$$y(j\omega) = W(j\omega)u(j\omega),$$

$$\text{где } u(j\omega) = F\{u(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)e^{-j\omega t} dt ;$$

$$y(j\omega) = F\{y(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} y(t) e^{-j\omega t} dt ;$$

частотный спектр (преобразование Фурье) входного сигнала объекта;

$u(j\omega) = F\{u(t)\}$ – частотный спектр выходного сигнала; $W(j\omega) = F\{w(t)\}$ - частотная передаточная функция объекта.

Следует, что частотную характеристику объекта $W(j\omega) = \frac{y(j\omega)}{u(j\omega)}$, можно найти экспериментальным путем на основе частотных спектров измеренных входных и выходных сигналов $u(t)$ и $y(t)$.

Основной трудностью при таком подходе является невозможность формирования входного воздействия $u(t)$, частотный спектр которого был бы непрерывным при бесконечном интервале изменения.

Частотная характеристика объекта $W(j\omega)$ также должна быть непрерывной по всей полосе частот, что технически практически невозможно обеспечить. Поэтому из-за наблюдения сигналов $u(t)$ и $y(t)$ только на ограниченном промежутке времени возникают значительные погрешности их измерения.

4- Корреляционные методы идентификации.

Корреляционные методы являются основными в случае непрерывных (выборочных) сигналов. Они широко используются для решения задач идентификации систем управления, обнаружения сигналов, технических измерений, реализации исследуемых случайных сигналов и т.д. Корреляционные методы основываются на дифференциальной аппроксимации и применяют определенный оператор (в частности, умножение на функцию времени и интегрирование произведения) к входным и выходным сигналам.



Рисунок 10: Схема идентификационного эксперимента по оценке импульсной весовой функции объекта.

Так как объект линейный, то для отдельных реализаций случайных процессов выходной сигнал описывается интегралом свертки:

$$y(t) = \int_0^{\infty} w(\tau)u(t-\tau)d\tau + \eta(t) = w(t) * u(t) + \eta(t).$$

Выражение связывает единичные реализации случайных входного и выходного процессов.

Для перехода к детерминированным величинам проведем умножение обеих частей на $u(t-\vartheta)$ и применим операцию математического ожидания, в результате чего получим выражение:

$$M[u(t-\vartheta)y(t)] = \int_0^{\infty} w(\tau)M[u(t-\vartheta)u(t-\tau)]d\tau + M[u(t-\vartheta)\eta(t)].$$

Учитывая, что соотношения

$$K_{uu}(\vartheta-\tau) = M[u(t-\vartheta)u(t-\tau)];$$

$$K_{uy}(\vartheta) = M[u(t-\vartheta)y(t)];$$

Определить соответственно автокорреляционную функцию входного сигнала и взаимную корреляционную функцию, перейти к уравнению относительно корреляционных функций сигналов:

$$K_{uy}(\vartheta) = \int_0^{\infty} w(\tau)K_{uu}(\vartheta-\tau)d\tau + 0 = w(\vartheta)K_{uu}(\vartheta) + 0.$$

Если выполняются условия физической реализуемости системы, т.е. $w(t)=0$ при $t < 0$, и сигналы $u(t)$ и $\eta(t)$ не коррелируемы, то трансформируется в уравнение, называемое уравнением Винера – Хопфа:

$$K_{uy}(\vartheta) = \int_0^{\infty} w(\tau)K_{uu}(\vartheta-\tau)d\tau.$$

$$W(\omega) = \frac{S_{uy}(\omega)}{S_{uu}(\omega)} ;$$

$S_{iu}(\omega)$ и $S_{ii}(\omega)$ - спектральные плотности характеристики (преобразование Фурье).

$W(\omega)$ - частотная передаточная функция объекта.

использование этого метода в программе оказалось невозможным, из-за невозможности сформировать стационарный случайный сигнал на входе объекта.

1.3.4 Контур автоматического регулирования систем

одной из основных задач автоматических регуляторов является поддержание параметров процесса в соответствии с заданными значениями.

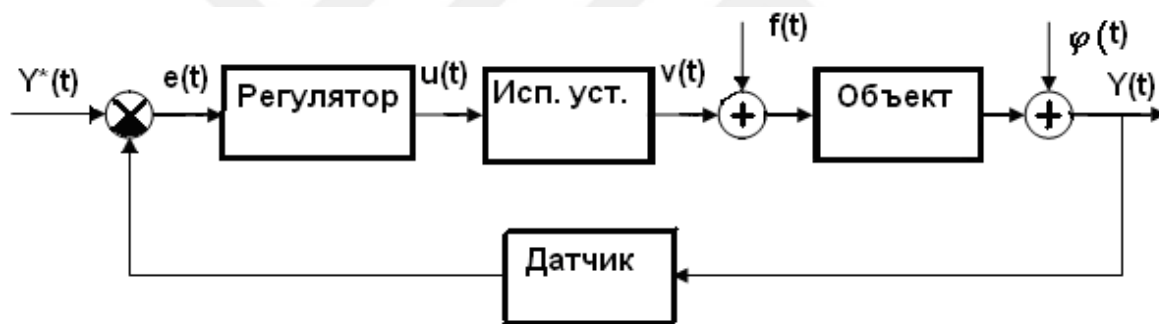


Рисунок 11: Структурная схема контура автоматического регулирования приведена

Рисунок 1 - Структурная схема контура автоматического регулирования
Входной сигнал $Y^*(t)$ сравнивается с текущим значением регулируемого параметра $Y(t)$. Итогом сравнения образуется сигнал рассогласования, который поступает в регулятор. Регулятор формирует управляющий сигнал $u(t)$ и подает его на исполнительное устройство. Управляющее воздействие $v(t)$ от исполнительного устройства попадает на вход объекта. Кроме управляющего воздействия $V(t)$ на поведение объекта оказывает влияние возмущение $f(t)$.

Функция регулятора – обеспечить изменение $Y(t)$ в соответствии с заданием входного сигнала $Y \cdot (t)$ в условиях действия возмущений $f(t)$ и погрешностей измерения выходного сигнала $\varphi(t)$.

Регулятор может образовывать управляющий сигнал согласно различным алгоритмам.

В зависимости от алгоритма выделяются следующие типы регуляторов:

- релейные регуляторы (двух- или трехпозиционные);
- типовые промышленные регуляторы непрерывного действия (П-, И-, ПИ-, ПД-, ПИД-регуляторы);
- типовые регуляторы с выходом на импульсный исполнительный механизм (с амплитудной, широтной, частотной или фазовой модуляцией выходной последовательности импульсов);
- регуляторы состояния динамической системы (в непрерывном и дискретном вариантах);
- регуляторы на основе нечеткой логики (fuzzy logic);
- регуляторы на основе искусственных нейронных сетей.

Глава 2

2.1 Цели и задачи АЭС

Атомная станция – производственно-технологический комплекс, спроектированный для производства энергии с использованием ядерных установок, располагающийся в пределах определённой проектом территории и укомплектованный необходимым персоналом.

Основной задачей и обязанностями работников АЭС является:

- производство, передача и снабжение электрической и тепловой энергией потребителей;
- поддержание оборудования и сооружений в состоянии эксплуатационной работоспособности и готовности;
- обеспечение максимальной надежности энергопроизводства и экономичности, регламентированной энергетическими характеристиками оборудования;
- обеспечение эффективного топливоиспользования с применением энергосберегающих технологий;
- соблюдение требований промышленной и пожарной безопасности в процессе эксплуатации оборудования, зданий и сооружений;
- выполнение санитарно-гигиенических требований и требований охраны и безопасности труда;
- соблюдение требований Закона Украины “Об охране окружающей среды” и НД, относящихся к уменьшению вредного влияния энергопроизводства на людей и окружающую среду;
- соблюдение оперативно – диспетчерской дисциплины;
- соблюдение и повышение культуры эксплуатации.

2.2 Технологические контуры атомных станций

Атомные станции различаются не только по типу реакторов, материалов теплоносителя, но и по строению тепловых контуров.

Функция теплоносителя заключается в отводе тепла, выделившегося при высвобождении внутриядерной энергии в реакторе. Для устранения любых отложений ТВЭЛов требуется очень высокая чистота теплоносителя, поэтому требуется замкнутый контур. Еще одна причина замкнутого контура-из-за

прохождения через реактор активируется теплоноситель и его утечки могут создать серьезную радиационную опасность.

Поэтому основная систематизация АЭС зависит от количества контуров в нем.

Различают одноконтурные, двухконтурные, не полностью двухконтурные и трехконтурные атомные электростанции. Если контуры теплоносителя и рабочего тела совпадают, то такая АЭС называется одноконтурной. Технологическая схема одноконтурной АЭС представлена на рисунке 12.

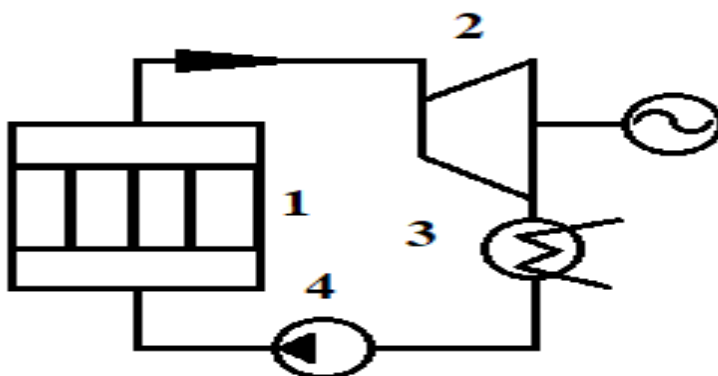


Рисунок 12: Технологическая схема одноконтурной АЭС

На рисунке 11 изображены:

1 – реактор; 2 – турбогенератор; 3 – конденсатор; 4 – питательный насос.

В реакторе пар испаряется, пар идет в турбину, где, расширяясь, производит работу, которая преобразуется в электричество в генераторе.

После конденсации всего пара в конденсаторе конденсат откачивается обратно в реактор. Таким образом, контур рабочего тела является как контуром теплоносителя, а иногда и замедлителем, так и замкнутым. Реактор может работать как с естественной, так и с принудительной циркуляцией теплоносителя по дополнительному внутреннему контуру реактора, на котором установлен соответствующий насос.

Если контуры теплоносителя и рабочего тела (пара) разделены, то такая АЭС называется двухконтурной.

Соответственно контур теплоносителя называют первым, а контур рабочего тела в секунду. В таких схемах реактор охлаждается теплоносителем, прокачиваемым через него, а парогенератор-циркуляционным насосом. Образовавшийся таким образом контур теплоносителя радиоактивен, но в него входит не все оборудование станции, а только его часть. При отсутствии испарения теплоносителя в реакторе в систему первого контура вводится компенсатор объема, так как объем теплоносителя зависит от изменения температуры в процессе работы. Пар из парогенератора поступает в турбину, затем в конденсатор, а конденсат из него перекачивается в парогенератор.

Сформированный таким образом второй контур включает оборудование, работающее при отсутствии радиационной активности, что упрощает эксплуатацию станции. На двухконтурной станции требуется парогенерирующий агрегат - элемент, разделяющий оба контура, поэтому он в равной степени принадлежит как первому, так и второму. Передачи тепла через поверхность нагрева требует перепада температур между теплоносителем и кипящей водой в парогенераторе.

Для водяного теплоносителя это требует поддержания более высокого давления в первичном контуре, чем давление пара, подаваемого в турбину.

Стремление избежать закипания теплоносителя в каналах реактора первого контура приводит к необходимости иметь давление, значительно превышающее давление во втором контуре. Соответственно, тепловой КПД такой станции всегда меньше, чем одноконтурной с одинаковым давлением в реакторе.

Однако в действительности экономичность циклов практически одинакова, что обусловлено необходимостью принятия в одноконтурной схеме специальных мер против удаления продуктов коррозии сталей из воды, поступающей на турбину (регенеративный подогрев).

Атомная электростанция может работать как не полностью двухконтурная (или частично двухконтурная). При этом как отдельный первый контур охлаждения, так и комбинированный контур охлаждения второго контура. Образующийся в реакторе пар сливается в барабан сепаратора, поступает в парогенератор, конденсируется в нем и смешивается с реальной водой. Циркуляционный насос возвращает теплоноситель в реактор.

Насыщенный пар, образующийся в парогенераторе, поступает в реактор для перегрева и поэтому является не только рабочим телом, но и теплоносителем. Затем пар проходит через весь второй контур, который при этом оказывается объединенным с первым, но только в своей паровой, наименее радиоактивной, части.

Есть теплоносители, попадание пара или воды вызывает быстрое химическое взаимодействие. Это может создать риск выброса радиационно-активных веществ из первичного контура в обслуживаемое помещение. Таким теплоносителем является, например, жидкий натрий. Поэтому создается дополнительный (промежуточный) контур, чтобы даже в аварийных ситуациях можно было избежать контакта радиоактивного натрия с водой или водяным паром.

Такие АЭС называются трехконтурными. Технологическая схема трехконтурной АЭС представлена на рисунке 13.

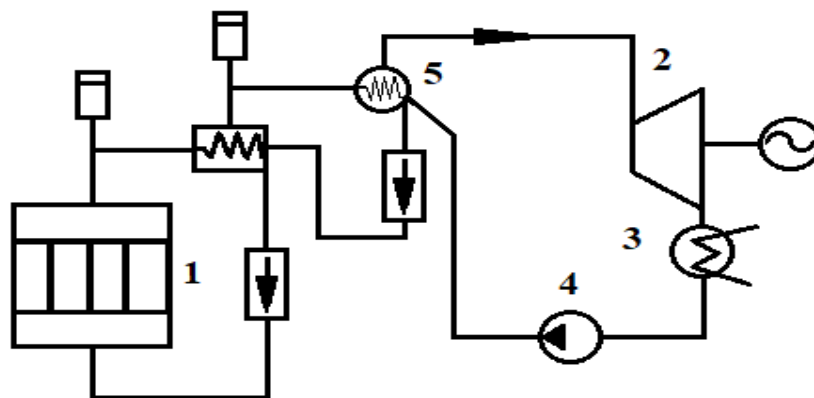


Рисунок 13 : Технологическая схема трехконтурной АЭС

На рисунке 13 изображены: 1 – реактор; 2 – турбогенератор; 3 – конденсатор; 4 – питательный насос; 5 – парогенератор.

2.3 Назначение реакторной установки и I контура в технологическом цикле АЭС

Первый контур-это контур (вместе с системой компенсации давления), по которому теплоноситель под рабочим давлением циркулирует через сердечник. Первый контур предназначен для создания циркуляции теплоносителя и передачи тепла, выделяющегося в активной зоне реактора к воде второго контура в парогенераторах с целью получения пара во втором контуре для турбогенератора. Далее турбогенераторная установка преобразует тепловую энергию пара в электрическую энергию.

Теплоноситель водо-водяного ядерного реактора служит замедлителем нейтронов для активной зоны, содержит растворенную борную кислоту, используемую для жидкостного регулирования реактивности ядерного реактора, а также одновременно выполняет функцию отвода тепла от активной зоны реактора.

Первый контур работает под давлением, достаточным для предотвращения закипания теплоносителя при расчетных параметрах. Рабочее давление первичного контура ВВЭР-1000 составляет 160 кгс / см². Будучи замкнутым и герметичным, I контур также действует как барьер для выхода продуктов деления.

Граница I контура является третьим из четырех барьеров, препятствующих проникновению продуктов деления в окружающую среду. Остальными тремя барьерами, препятствующими распространению продуктов деления в окружающую среду служат:

- а. топливная матрица;

- b. оболочка ТВЭЛОВ;
- c. граница первого контура;
- d. герметичное ограждение локализующих систем безопасности.

В состав первого контура унифицированного ядерного реактора ВВЭР 1000 входят следующие компоненты:

- реактор;
- четыре циркуляционные петли, каждая из которых включает:
 - главные циркуляционных трубопроводы;
 - главный циркуляционный насос;
 - парогенератор в части, содержащей теплоноситель I контура (коллектора и теплообменные трубки);
- система компенсации давления теплоносителя;
- трубопроводы систем нормальной эксплуатации и систем безопасности, присоединенные к первому контуру – до первой запорной армат.

2.4 Первый контур

Реакторная установка (РУ) – комплекс систем и элементов энергоблока, предназначенный для преобразования ядерной энергии в тепловую энергию. РУ включает в себя непосредственно связанные с ним системы, необходимые для его нормальной работы, аварийного охлаждения, аварийной защиты и поддержания в безопасном состоянии при условии, что необходимые вспомогательные и вспомогательные функции выполняют другие системы.

Реакторная установка включает следующие основные системы первого контура (см. рисунок ниже):

- главный циркуляционный контур (1,2,3,4) (ГЦК).
- систему поддержания давления в первом контуре (4).
- систему защиты первого контура от превышения давления (5).

- пассивную часть системы аварийного охлаждения зоны (6) (систему гидроаккумуляторов).

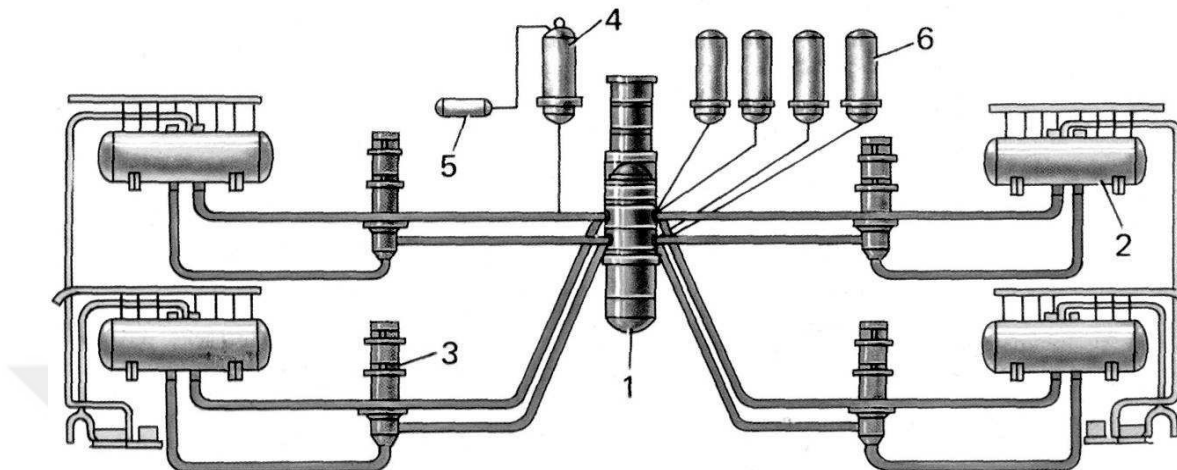


Рисунок 14: Реакторная установка в состав ГЦК входит.

- ядерный энергетический реактор ВВЭР 1000 (1) корпусного типа с водой под давлением;
- четыре циркуляционные петли, каждая из которых состоит из:
 - парогенератора (2) ПГВ 1000М;
 - главного циркуляционного насоса (3) ГЦН 195М;
 - главных циркуляционных трубопроводов условным диаметром 850 мм (Ду 850), соединяющих оборудование петель с реактором.

ГЦК-третьего физического барьера на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду.

Водо-водяной реактор ВВЭР-1000 на тепловых нейтронах представляет собой цилиндрический сосуд, состоящий из корпуса и съемного верхнего блока с крышкой. В здании внутренних органов и активной зоны реактора, состоящей из тепловыделяющих сборок.

Парогенератор ПГВ-1000М представляет собой однокорпусной рекуперативный теплообменный аппарат горизонтального типа с погруженным трубным пучком и предназначен для выработки сухого насыщенного пара.

Главный циркуляционный насос ГЦН-195м предназначен для создания циркуляции теплоносителя в первичном контуре и представляет собой вертикальный центробежный одноступенчатый насос с гидродинамическим уплотнением вала, консольным рабочим колесом, осевым подводом воды и выносным трехфазным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором с маховиком.

Система поддержания давления в первом контуре включает компенсатор давления пара с набором электронагревателей, барботер, соединительные трубопроводы, нагнетательный трубопровод с арматурой и служит для создания и поддержания давления в первом контуре в стационарных режимах ограничения отклонений давления в переходном и аварийном режимах и снижения давления в режиме охлаждения.

Система защиты первичного контура от избыточного давления включает импульсно-предохранительные устройства, установленные на трубопроводе отвода пара в барботер и служащие для защиты оборудования и трубопроводов первичного контура от превышения допустимого давления теплоносителя первого контура в аварийных и переходных режимах.

Пассивная часть системы аварийного охлаждения зоны состоит из гидроемкостей САОЗ, трубопроводов связи резервуаров САОЗ с реактором и клапанов на этих трубопроводах. Система предназначена для аварийного охлаждения отсека и активной зоны реактора при разрывах трубопроводов РУ

Вспомогательными тепломеханическими системами первого контура являются:

1. система продувки-подпитки первого контура включая борное регулирование;
2. система организованных протечек;
3. система байпасной очистки теплоносителя I контура (СВО-1);

4. система азота и газовых сдувок.

Непосредственно с первым контуром связаны активные САОЗ и система аварийного газоудаления.

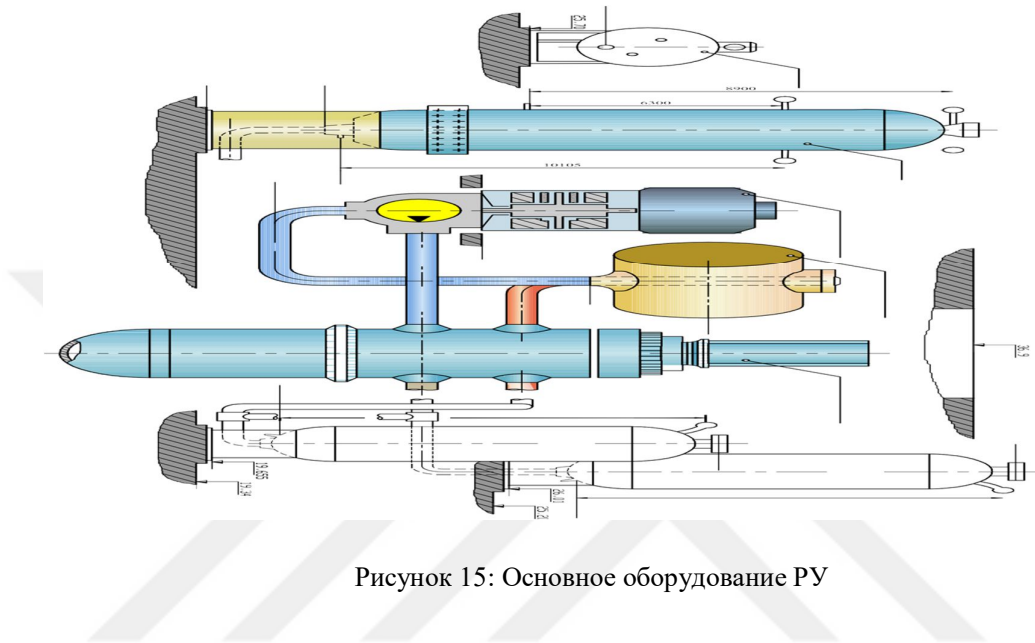


Рисунок 15: Основное оборудование РУ

2.4.1 Типы регуляторов на АЭС

Основными регуляторами станции являются регуляторы, которые имеют прямое влияние на выработку энергии на АЭС.

Регулирование давления в первом контуре

Регулятор предназначен для выполнения заданной программы регулирования давления в I контуре регулируемого параметра-давления на выходе из реактора. Закон, регулирующий пропорциональный регулятор давления. Исполнительным органом является регулирующий клапан впрыска.

Входные сигналы:

- выходное давление из реактора.
- уровень открытия регулирующего клапана впрыска.

При увеличении давления свыше 16,5 МПа при работе на мощности в КД регулирующий клапан на линии впрыска теплоносителя открывается (полное открытие клапана – 16,7 МПа, полное закрытие – 16,5 МПа).

Регулирование уровня теплоносителя в компенсаторе давления

Регулятор предназначен для поддержания заданного уровня в КД, в зависимости от средней температуры теплоносителя контур I.

Регулируемым параметром является уровень теплоносителя в КД. Закон регулирования регулятора - пропорционально-интегральный. Исполнительными органами являются регулирующие клапаны на линии подпитки I контура. Регулирование уровня теплоносителя в КД обеспечивается следующими регуляторами:

- при работе на мощности – штатным регулятором уровня;
- в режимах пуска и останова – пуско-остановочным регулятором;

На вход штатного регулятора уровня поступают следующие аналоговые сигналы:

- уровень в КД.
- средняя температура теплоносителя горячих и холодных петель I контура.
- расходы продувки и подпитки I контура.

На вход пуско-остановочного регулятора уровня поступают аналоговые сигналы:

- уровень в КД.
- расходы подпитки и продувки первого контура.[8]

Средняя температура сигнал термопары на горячих и холодных ниток петель первого контура. Значение задания на стандартный регулятор уровня в КД является функцией средней температуры теплоносителя I контура. Значение задания на регулятор начального уровня в КД определяется уставкой, выбранной оператором.

Регулирование уровня воды в парогенераторе

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

Закон регулирования основного и пуско-остановочного регуляторов - пропорционально-интегральный.

Закон регулирования пуско-остановочного регулятора уровня обуславливается введением обратной связи по положению пуско-остановочного клапана через реально-дифференцирующее звено. Регулируемый параметр: уровень воды в ПГ.

Входные сигналы для основного регулятора уровня:

- Уровень воды в ПГ.
- Расход питательной воды.
- Заданный уровень воды в ПГ.
- Расход пара из ПГ.
-

Входные сигналы для пуско-остановочного регулятора уровня:

- Уровень воды в ПГ.
- Заданный уровень воды в степень открытия пуско-остановочного регулирующего клапана.

Исполнительными органами являются: главный регулирующий клапан и стартстопный регулирующий клапан на перепуске главного клапана. Включение ключевых регуляторов для поддержания уровня в парогенераторах производится в связи с увеличением расхода питательной воды выше 20% от номинального, включение пускорегулирующих шин-по факту снижения расхода питательной воды ниже 15% от номинального.

Регулирование давления пара во втором контуре (БРУ-К)

В случае разрядки нагрузки и скачков нагрузки, отклонение давления таким образом, второй контур должен быть ограничен в допустимых пределах.:

- Автоматическим регулятором мощности реактора АРМР;
- При значительном повышении давления – путем сброса пара из парогенератора через БРУ-К, БРУ-А, САР ПГ;
- При понижении давления – работой ЭЧСР.
- Регулятор давления пара БРУ-К предназначен для регулирования давления в ГПК за счет сброса свежего пара в конденсатор турбины.

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

Входные сигналы:

- Давление пара в ГПК;
- Заданное давление пара;
- Величина ступенчатой разгрузки турбины;
- Положение регулирующего клапана.

БРУ-К должна осуществлять:

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

- сброс пара в конденсатор турбины в режимах пуска и расхолаживания блока для поддержания заданного давления в режиме ГПК (ауторегуляторный).

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

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

Закон регулирования: пропорционально за счет введения отрицательной обратной связи по положению регулирующего органа. При давлении выше указанного 0,4 МПа или более статическая характеристика стадии открытия составляет 100%. Давление, равное или меньшее установленного давления, соответствует полному закрытию клапана по статической характеристике. При получении сигнала "сброс нагрузки" к сигналу дисбаланса давления добавляется дополнительная составляющая ΔN , пропорциональная величине сброса нагрузки, что приводит к дополнительному открытию клапанов БРУ-К.

Регулирование расхолаживания компенсатора давления

Регулятор охлаждения КД предназначен для поддержания заданной разности температур теплоносителя в КД и в горячем контуре резьбы в режимах нагрев-охлаждение РП. Заданное (номинальное) значение разности температур -55 °С. заданную точность регулирования ± 3 °С. входными сигналами для регулятора охлаждения КД:

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

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

В СКУ РО имеются следующие регуляторы:

- Регулятор разности температур между теплоносителем в горячих нитках петель и в компенсаторе давления в режиме планового расхолаживания УР04.
- Регулятор давления в I контуре (над активной зоной) УРС05.
- Регулятор давления в I контуре (над активной зоной) УРС01.

Назначение: поддержание заданного давления над активной зоной во всех эксплуатационных режимах с помощью АР УРС01, УРС05 и разности температур теплоносителя в КД и в горячих нитках петель в режимах разогрева и расхолаживания с помощью АР УРС04.

- Регулятор уровня в компенсаторе давления, штатный УРС02.
- Штатный регулятор УРС02 поддерживает уровень в КД в зависимости от средней максимальной температуры теплоносителя в циркуляционных петлях I контура, а также от материального баланса теплоносителя I контура.
- Регулятор уровня в компенсаторе давления, пусковой УРС03.
- Пусковой регулятор УРС03 поддерживает заданное значение уровня в КД в режимах пуска и расхолаживания.
- Регулятор расхода продувочной воды на фильтры СВО низкого давления ТКС01 и регулятор давления перед клапанами продувки (гидравлика) ТКС02; Поддерживает заданный расход продувочной воды из I контура на СВО-2 во всех эксплуатационных режимах и заданного давления перед клапанами продувки в режиме гидравлики.
- Регулятор уровня в деаэраторе подпитки в нормальном режиме ТКС13.
- Поддерживает заданное значение уровня в нормальном режиме работы реактора.
- Регулятор уровня в деаэраторе подпитки в режиме заполнения ТКС14.
- Поддерживает заданное значение уровня в режиме заполнения I контура при пуске реактора.
- Регулятор уровня в деаэраторе подпитки в режиме борного регулирования ТКС20.

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

- Регулятор давления в деаэраторах подпитки ТКС10 и ТКС12. Регулятор давления в деаэраторе борного регулирования ТКС70.
- Контроллеры ТКС10 и ТКС12 поддерживают заданное значение давления пара в составе деаэратора. Регулятор ТКС70 поддерживает заданное значение давления пара в деаэраторе регулирования Бора.
- Контроль уровня в деаэраторе борной регуляции ТКС71;

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

- Регулятор перепада давления между напорной трубой нагнетательных насосов и давлением в первом контуре ТКС21 (ТКС 22, ТКС23)..

Регулятор расхода подпиточного насоса ТКС24 (ТКС25, ТКС26);

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

- Регулятор перепада давления на уплотнения ГЦН YDC11 (YDC12, YDC13, YDC14).
- Поддержание заданного перепада давлений на уплотнения ГЦН.
- Регулятор уровня в расширителе продувки парогенераторов RYC01.
- Регулятор давления в расширителе продувки парогенераторов RYC02.
- Регулятор дозирования аммиака ТВС01.
- Регулятор щелочности теплоносителя ТВС02.
- Регулятор давления за фильтрами установки ТЕС20 (ТЕС10).
- Регулятор концентрации кислорода перед контактным аппаратом TS10C01.
- Регулятор давления газа на всасе газодувки TS21C01 (TS22C01, TS23C01).
- Регулятор уровня в приемке организованных протечек TYC01 (TYC02, TYC03).[9]

- Регулятор температуры приточного воздуха системы UV06 UV06C01 (UV06C03).

2.5 НАЗНАЧЕНИЕ СВО

Спецводоочистки (СВО) - установки для обработки радиоактивных вод и концентрирования жидких радиоактивных отходов перед их захоронением. В зависимости от характеристик контурных и внеконтурных вод АЭС для их обработки используют различные установки, которым принято присваивать номера.

СВО-1	Очистка продувочной воды теплоносителя I контура от продуктов коррозии в дисперсной форме
СВО-2	Очистка организованных протечек и продувочной воды I контура от химических и радиоактивных загрязнений в период нормальной эксплуатации реактора; очистка теплоносителя при всех операциях, связанных с изменением концентрации борной кислоты в I контуре, газоудаления, при разогреве I контура во время пуска, при опорожнении петель или контура в период ремонта
СВО-3	Очистка трапных вод: неорганизованные протечки I контура, неорганизованные протечки из системы технического водоснабжения спецкорпуса и реакторных отделений; воды дезактивации; регенерационные воды СВО; возвратные воды из промежуточного узла хранения жидких радиоактивных отходов; воды с радиоактивностью выше предельно допустимой из контрольных баков дистиллята СВО-3; СВО-6 и СВО-7
СВО-4	Очистка воды бассейнов выдержки отработанного топлива, воды баков аварийного запаса раствора борной кислоты, баков сливов бассейнов перегрузки
СВО-5	Очистка продувочной воды парогенераторов

СВО-6	Очистка боросодержащих вод с одновременной регенерацией борной кислоты
СВО-7	Очистка вод спецпрачечной

2.5.1 СВО-2

Система очистки оргпротечек и продувочной воды 1 контура ТЕ предназначена для:

- Очистки продувочной воды первого контура и вод оргпротечек от продуктов коррозии (растворенных и дисперсных), осколков давления топлива (в случае повреждения ТВЭЛов), примесей в виде ионов и посторонних примесей, поступающих в 1 контур с подпиточной водой и дозируемыми реагентами.
- Для плавного регулирования концентрации щелочных металлов и аммиака в 1 контуре, выведения избыточной щелочности из теплоносителя в конце кампании.
- Конструктивно система очистки оргпротечек и продувочной воды 1 контура СВО-2 представляет собой две абсолютно одинаковые цепочки (нитки), состоящие из двух параллельно включенных катионитных фильтров, последовательно включенных катионитных фильтров, последовательно включенных анионного фильтра и ловушки ионитов.

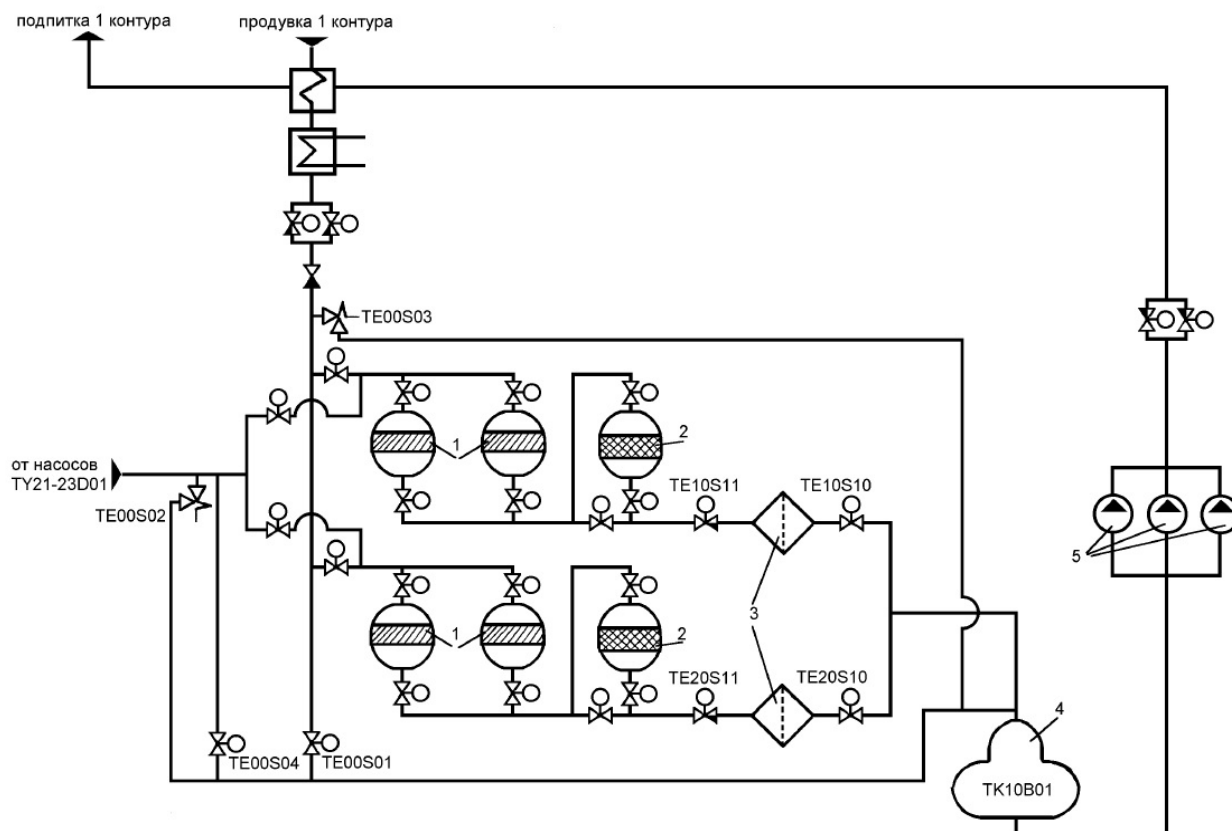


Рисунок 16: упрощенная схема системы СВО-2.

Нитки СВО-2 функционально не связаны друг с другом. В номинальном режиме работы энергоблока АЭС включается одна нитка системы. В переходных режимах в работу могут быть включены обе нитки параллельно.

Система очистки оргпротечек и продувочной воды 1 контура занимает важное место в общей схеме технологического процесса:

- Обеспечивает поддержание оптимального ВХР 1 контура ,что увеличивает ресурс основного оборудования ;
- Снижает радиоактивность теплоносителя 1 контура, что улучшает радиационную обстановку на блоке ;
- При выводе борной кислоты из теплоносителя 1 контура в конце кампании исключает образование большого объема грязных вод(по сравнению с разомкнутым водообменом).

- Если находящиеся в работе фильтры СВО-2 не способны поддерживать качество теплоносителя в соответствии с нормами (или не работоспособны), то через 24 часа после нарушения пределов качества воды 1 контура РУ должна быть остановлена и переведена в “холодное” состояние.
- Система очистки продувочной воды теплоносителя I контура ТЕ спроектирована на основании технического задания на проектирование технологических систем реакторного отделения и относится к системам нормальной эксплуатации, важным для безопасности реакторной установки.

2.6 Регулирующие клапаны ТЕ10(20)S11

Регулирующие клапаны ТЕ10(20)S11 типа И068030-100.01 установлены в помещениях А027/2 и А027/3 вварены в трубопроводы системы до фильтров ловушек. Электропроводы вынесены за пределы помещений А027/2 и А027/3 в коридор А017 и соединены с регулирующими клапанами через промежуточную штангу.

Регулирующие клапаны ТЕ10(20)S11 управляются по командам регуляторов давления ТЕС10(20) и предназначены для поддержания рабочего давления “до себя” в системе. Все остальные детали и узлы регулирующих клапанов выполнены из нержавеющей стали 08Х18Н10Т, плунжер выполнен из стали 15Х18Н12ССТЮ, шток – сталь 14Х17Н2.

Основные технические характеристики регулирующего клапана TE10(20)S11

Условный проход Ду,мм	100
Рабочее давление ,кгс/мс ²	109
Температура среды, °С	170
Услоаная пропускная способность, т/ч	40
Относительная протечка в затворе,не более,%	0,05
Внутренняя расходная характеристика	линейная
Установочное положение	любое
Направление подачи среды	на плунжер

Рисунок 17: Характеристики Клапана TE10(20)S11.

2.7 Постановка задачи

В данной работе для проведения исследования модели ТЕС-20 регулятора давления за фильтрами установки ВВЭР-1000 необходимо изучить свойства объекта управления, свойства и характеристики исполняющего механизма, а также структуру и характеристики регулятора давления первого контура. Для этого следует построить структурную математическую модель регулятора, исполнительного механизма и объекта управления. Провести моделирование контура регулирования в среде Simulink пакета Matlab. Затем перейти от структурно-математической модели исполняющего механизма и объекта управления к разностным уравнениям и реализовать их в ПТК «УМИКОН».

Полученные разностные уравнения исполняющего механизма и объекта управления получили в среде Matlab. Регулятор реализован в программе MWBridge.

Необходимо провести исследования полученной модели регулятора давления регулятора ТЕС-20 I контуре реактора ВВЭР-1000 используем ПИ регулятор с разынми коэффициентами пропорциональности K и постоянной времени интегрирования T_i . На основании проведенных исследований необходимо будет сделать выводы об устойчивости.

Глава 3

3.1 Описание ТПТС

ПТК СКУ НЭ реализовано на программно-аппаратном комплексе ТПТС-ЭМ, в состав которого вы входите:

- шкафы аппаратуры (PS) оборудованные с модулями процессора и оборудованием переключ;
- шкафы аппаратуры (СП) оборудованные с модулями процессора и оборудованием переключения;
- стойки сопряжения (СС), осуществляющие связь ПС с датчиками и исполнительными механизмами;
- коммутаторы OSM/ESM (в составе ПС) для объединения абонентов в единую систему;
- трансиверы (в составе ПС) для подключения удаленных абонентов к шине EN;
- интерфейсные модули для подключения абонентов к шине EN;
- кабели оптического волокна и промышленные пары передача данных;
- оптически крест-спаривать кабеля оптического волокна различный диаметр;
- блоки шлюзов сопряжения (БШС) в составе ПС;
- шлюзовые устройства, обеспечивающие связь ПС с СВБУ.

3.2 Приборные стойки (ПС)

Приборные стойки являются основными функциональными компонентами печатной платы, в котором реализованы указанные алгоритмы контроля и управления технологическим оборудованием энергоблока. ПС выполнять:

- сбор и первичную обработку входных дискретных сигналов;
- выполнение необходимых вычислений;
- автоматическое и дистанционное управление исполнительными механизмами;
- обмен данными и командами со смежными ПТС, базирующимися на других программно-технических средствах;
- реализацию технологических защит и блокировок;
- автоматическое регулирование;
- групповое и подгрупповое управление;
- результаты аналоговых и дискретных сигналов на панели БПУ, РП и другие системы управления энергоблока;
- прием команд дистанционного управления и обмен информацией с СВБУ.

Кроме того, в ПС устанавливаются следующие средства коммуникации:

- коммуникационный модуль ЦМ-Е для организации обмена данными между ФМ в ПС и для связи с абонентами шин EN;
- модуль связи шин ввода/вывода для связи резервированных шин ввода/вывода (шин обмена данными внутри ПС);
- модуль базовый коммуникационный для связи с интеллектуальными датчиками, приводами или смежными ПТК по шине RS-485, обеспечивающий передачу данных по шине EN;
- коммутаторы и оптические кроссы для соединения абонентов шин EN;

- модули электропитания, сигнализации неисправности ПС и т.д.;
- средства подключения кабелей (клеммники, соединители).

3.3 Стойки сопряжения (СС)

Используются при построении ПТК в тех случаях, когда необходимо осуществить:

- переход с одного типа кабеля (внешнего) на другой (внутренний, используемый в аппаратуре ТПТС);
- гальваническое разделение цепей ПС и цепей периферийного устройства;
- увеличения тока через контакты внешних устройств, для которых требуется повышенная токовая нагрузка;
- преобразование выходного потенциального сигнала 24 В в дискретный сигнал в виде коммутации контактов цепи с напряжением 220 В;
- преобразование выходного аналогового сигнала ПС [0 (4) – 20 мА; 0 (2) – 10 В] в аналоговый сигнал другого уровня. СС используется для сопряжения сигнальных цепей ПС с внешними кабелями и проводами, передающими:
 - входные аналоговые и дискретные сигналы следующих видов:
 - унифицированный потенциальный сигнал с диапазоном от 0 (2) до 10 В,
 - унифицированный токовый сигнал с диапазоном от 0 (4) до 20 мА,
 - сигнал от термоэлектрического преобразователя (термопары);
 - сигналы от термопреобразователя;
 - потенциальный сигнал 24 (48) В;
 - коммутацию «сухих контактов», питаемых напряжением 24 (48) В от ТПТС-ЕМ;
 - выходные сигналы к периферийным устройствам – приемникам выходных сигналов ТПТС-ЕМ.

3.4 ТПТС-ЕМ

Программного обеспечения и аппаратных средств ТПТС-ем предназначен для автоматизации технологических процессов в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП) энергоблока 4 Калининской АЭС.

- Оборудование ТПТС-ЭМ используется на энергоблоке для выполнения задач, возложенных на низкую автоматизацию, и комбинируется по технологическим и компоновочным признакам в программно-технических комплексах (ПТК) ТПТС-ЕМ позволяют построить ПТК автоматизированных систем управления, как нормальной эксплуатации, так и систем безопасности.
- ТПТС-ЭМ выполняет функции низовой автоматизации:
- сбор и обработка сигналов от датчиков технологических параметров, измерение технологических параметров, выполнение необходимых расчетов;
- прием и выполнение команд удаленного оператора ;
- реализация указанных алгоритмов применения технологических защит и замков, автоматического управления, автоматического резервного ввода, функционального группового управления, алгоритмов индивидуального дистанционного и автоматического управления.
- субу данных результатов для архивирования

3.5 Номенклатура и место ТПТС-ЕМ в системе автоматизации

3.5.1 Энергоблока

К ТПТС-ЕМ относится:

А) Основное оборудование шкафного исполнения (шкафы двухстороннего обслуживания):

- приборные стойки ТПТС51.201Х-ХХ.ХХ (ПС), оснащенные процессорными модулями и коммутационным оборудованием;
- стойки питания, осуществляющие подачу необходимого напряжения питания на приборные стойки ТПТС52.231Х-ХХ.ХХ (СП);
- стенд сопряжения ТПТС52.2110-ХХ.ХХ, осуществляя соединение ПС с датчиками и исполнительными механизмами и другой периферией в случаях, когда требуется переход от одного типа кабеля к другому или преобразование типа сигнала.

Примечание-специализированные стеллажи могут использоваться для решения конкретных задач контроля и управления, например, стеллажи, включающие функциональные модули, устройства связи и коммутации.

б) коммутаторы OSM/ESM (в составе ПС) для объединения абонентов в единую систему;

- приемопередатчики (в составе ПС) для подключения удаленных абонентов к шине;
- интерфейсные модули для подключения абонентов к шине EN;
- волоконно-оптические кабели и промышленные витые пары для передачи данных;
- оптические кресты для сопряжения оптических кабелей различных Ди FM в первой половине дня средства связи, включая оборудование системы связи– шины EN:

- блоки шлюзов сопряжения (BS) ТПТС52.4501 (или ТПТС52.4501-01) в составе определенного ПС - шлюзового устройства, обеспечивающего связь с подстанцией информационно-управляющей системы верхнего блочного уровня (свбу).

в) средства конфигурирования, использующиеся для конфигурирования, наладки и проверки ТПТС:

- инженерная станция ТПТС54.3403 (ИС), представляющая собой основное устройство конфигурирования ПТК и документирования конфигурации;

- программист ТРТС54.3310 (РС), который является вспомогательным инструментом для настройки функциональных модулей, который используется при настройке РТС, в основном для проверки и настройки отдельных параметров, например, параметров контроллеров. Программатор может использоваться для имитации сигналов на входах и выходах модулей, для загрузки кодов, генерируемых на Инженерной станции, в модули ТПЦ-ум. Использование программатора для изменения конфигурации ПК запрещено, так как в этом случае изменения не будут отражены в документации. Для этого следует использовать только инженерную станцию

С) сервисные устройства:

тренажеры ТПЦ54.330Х (I), позволяющий в процессе испытаний и настройки ПТК имитировать аппаратные входные (выходные) дискретные сигналы и исполнительные механизмы различных типов, включая их возможные неисправности.

тестер функциональных модулей ТРТС54.3500 (ТАМ), используется для тестирования и настройки ПК, когда необходимо проверить настройки модулей или работоспособность привода без использования оперативного контроля;

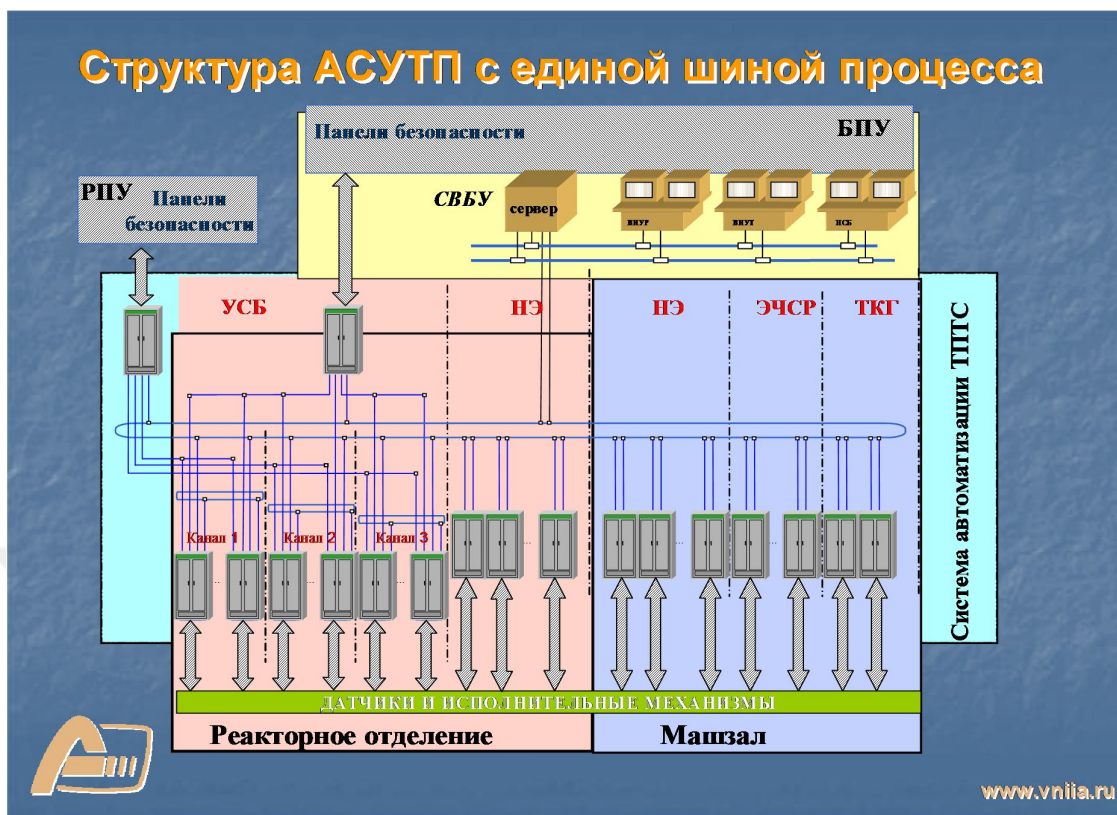


Рисунок 18: СТРУКТУРА АСУТП С ЕДИНОЙ ШИНОЙ ПРОЦЕССА.

Оборудование ТПТС - ЭМ соединено с датчиками, исполнительными механизмами, средствами оперативно-диспетчерского управления и другими системами энергоблока посредством проводных соединений. В добавлении, соединения через шину RS-485 к толковейшим периферийным устройствам и подсистемам третье лица.

Для обмена информацией между отдельными участками нормальной работы, а также между ПК и свбу, используется система связи – волоконно-оптическая шина EN, имеющая кольцевую структуру.

Оборудование ТПТС - ЭМ соединено с датчиками, исполнительными механизмами, средствами оперативно-диспетчерского управления и другими системами энергоблока посредством проводных соединений. В добавлении, соединения через шину RS-485 к толковейшим периферийным устройствам и подсистемам третье лица.

Для обмена информацией между отдельными участками нормальной работы, а также между ПК и свбу, используется система связи – волоконно-оптическая шина EN, имеющая кольцевую структуру.

- шина EN для связи ПС внутри канала безопасности;
- шина EN для связи канала безопасности с панелями БПУ;
- шина EN для связи канала безопасности с панелями РПУ.

ПС каждого ПТК канала системы безопасности имеют выход на шину EN нормальной эксплуатации, по которой осуществляется:

- связь ПС канала безопасности с ПС нормальной эксплуатации;
- передача данных для архивирования в СВБУ;
- связь с ИС.

Все ПТК на базе ТПТС-ЭМ имеют общую стандартную систему питания, заземления и экранирования.

Оборудование ТПТС-ЭМ построено по модульному принципу, что позволяет создавать, в зависимости от требований, различную по степени резервирования структуру за счет резервирования модулей и устройств передачи данных. Распределенная обработка данных позволяет легко увеличить количество оборудования в системе управления.

На оборудовании ТПТС-ЭМ осуществляется непрерывный самоконтроль работающих узлов, позволяющий выявлять дефекты в момент их возникновения и заменять вышедшие из строя узлы, не снимая оборудование тптс-ЭМ с работы.

Высокое качество разработки и производства оборудования ТПТС-Э обеспечивается системой качества, действующей во ФГУП "ВНИИА" и подтвержденной лицензиями Ростехнадзора России и сертификатами, выданными на основании ревизий органом по сертификации TUV CERT.

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

3.5.2 Приборные стойки

Приборные стойки являются основными функциональными компонентами печатной платы, в котором реализованы указанные алгоритмы контроля и управления технологическим оборудованием энергоблока. ПС выполнять:

- сбор и первичную обработку входных дискретных сигналов;
- измерение технологических параметров;
- выполнение необходимых вычислений;
- автоматическое и дистанционное управление исполнительными механизмами;
- обмен данными и командами со смежными ПТС, базирующимися на других программно-технических средствах;
- реализацию технологических защит и блокировок;
- реализацию технологических защит и блокировок;
- 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.

В ПС устанавливаются следующие средства коммуникации:

- коммуникационный модуль ЦМ-Е для организации обмена данными между ФМ в ПС и для связи с абонентами шин EN;
- модуль связи шин ввода/вывода применяется для связи резервированных шин ввода/вывода (шин обмена данными внутриПС);
- модуль базовый коммуникационный применяется для связи синтеллектуальными датчиками, приводами или смежными ПТК по шине RS-485 и обеспечивает передачу данных по шине EN; г) блоки шлюзов сопряжения (БШС) для связи с СВБУ;

- коммутаторы и оптические кроссы для соединения абонентов шин EN;
- служебные модули (обеспечение электропитания, световой сигнализации неисправности ПС и т.д.);
- средства подключения кабелей (клеммники, соединители).

«Интеллектуальной» основой ПС являются функциональные модули (ФМ). ФМ подключаются к шине ввода-вывода, которая организована внутри ПС и находится под управлением модуля ЦМЕ. По шине ввода-вывода осуществляется:

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

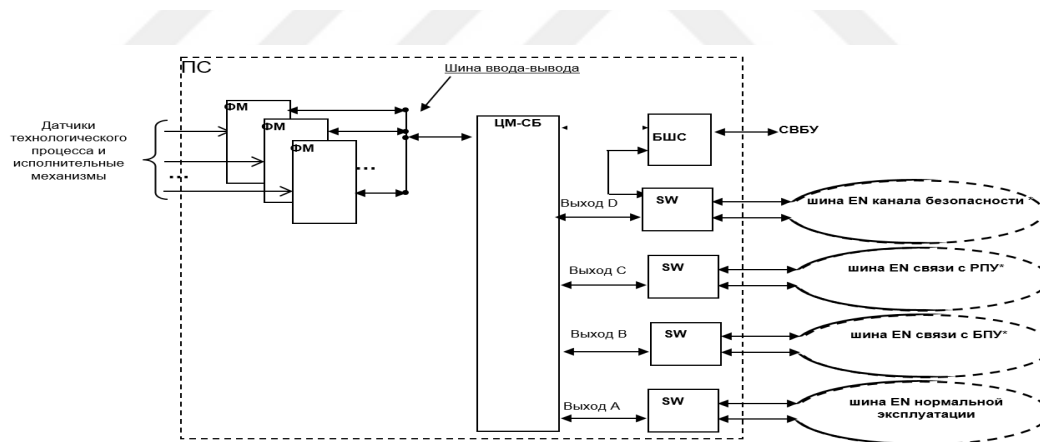


Рисунок 19: Структурная схема приборной стойки канала системы безопасности.

ФМ установлены в стойках в ПС четыре. Максимальное количество ФМ в PTS-52 в основном ПС и 56 в расширенном ПС. При разработке проекта в ПС должно быть установлено до 40 функциональных модулей. Оставшееся свободное пространство предназначено для возможного расширения функций в процессе проектирования и в процессе эксплуатации.

Модуль ЦМ-Е (или ЦМ-СБ), выполняя функцию связи, занимает два слота и всегда находится в крайнем правом крайнем углу. Резервный модуль ЦМ-Е (или ЦМ-СБ) размещается крайним справа во втором сверху крейте.

Наличие коммутатора или шлюзового блока в ПС (БШС) и оптически крест опционный и определен схемой автобусной системы.

Для подключения технологических кабелей в ПС имеется клеммная панель (разъем SAE), которая состоит из 32-контактных клеммных колодок и обеспечивает возможность подключения проводов сечением 0,5 мм² по технологии Maxi-Termi-Point (внешняя установка). Внутренняя проводка к этой терминальной панели обмотана. Максимальная мощность, рассеиваемая приборной стойкой – 350 Вт. Габаритные размеры (длина x ширина x высота): 1020 x 500 x 2285 мм (с боковыми стенками, дверьми и сигнальными лампами шкафа). Масса – не более 350 кг

Приборная стойка ТПТС51 представлена на рисунке 20.

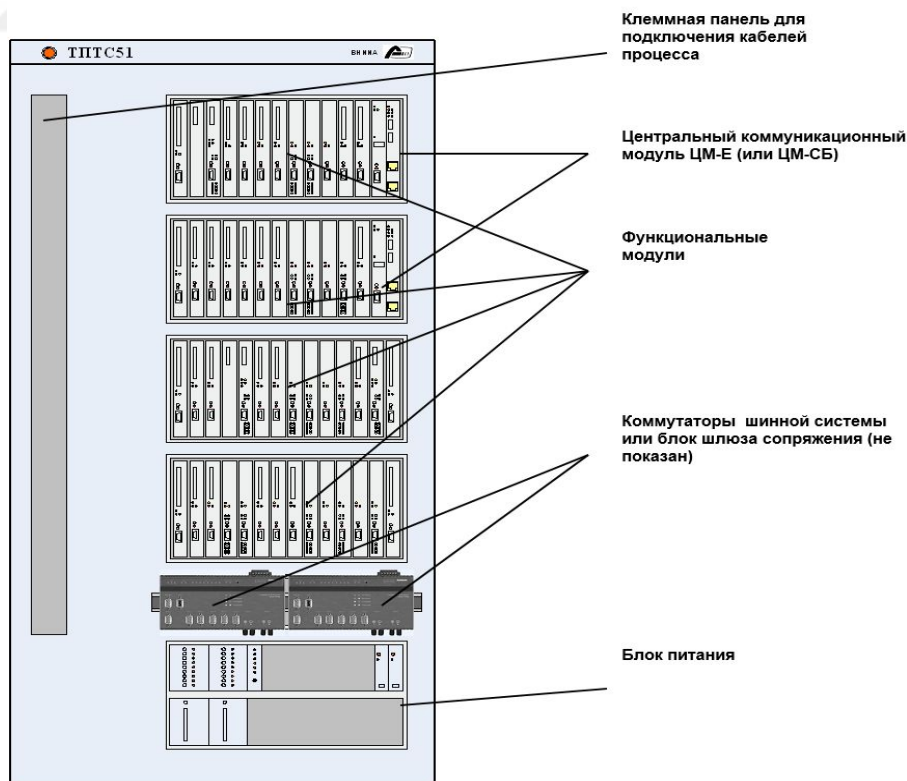


Рисунок 20: Приборная стойка ТПТС51.

Виды функциональных модулей

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

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

Для прием и обработка сигналов от интеллектуальных устройств технологического процесса с использованием модулей базовой связи ТПТС52.1333, которые также выполняют связь с другими абонентами шины УТ (так как она состоит из интерфейсных модуле

Устройство функциональных модулей.

ФМ изготовлен на печатных платах формата 6U, ширина передней панели 30 мм. На передних панелях расположены светодиоды, указывающие состояние и неисправности, предохранители и разъем последовательного интерфейса.

Некоторые ФМ имеют дополнительные разъемы и разъемы управления на их передних панелях. На тыльной части печатных плат ФМ расположены базовые соединители X1 и X2.

ФМ имеют следующие интерфейсы:

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

Интерфейс шины ввода/вывода представляет собой параллельную шину, состоящую из 8-разрядной шины данных, 12-разрядной адресной шины и шины управления. Интерфейс служит для обмена данными между ФМ в границах ПС через модуль ЦМ-Е (или ЦМ-СБ). Обмен данными по шине ввода/вывода осуществляется с помощью соответствующего драйвера в модуле ЦМ-Е (или ЦМ-СБ) через передающую оперативную память ФМ, доступ для чтения и записи к которой имеют как процессор самого ФМ, так и процессор модуля ЦМ-Е (или ЦМ-СБ).

Кабели от датчиков и исполнительных механизмов, а также от плат и пультов управления (напрямую или через кросс-шкафы или промежуточные релейные шкафы) подключаются к ФМ через аппаратный интерфейс.

Интерфейс «токовая петля» предусмотрен для подключения:

- тестера функциональных модулей
- Устройств конфигурирования (программатор).

Питание ФМ осуществляется от источника питания напряжением +24 в (L+). Каждый ФМ имеет свой встроенный источник питания, который вырабатывает из питающего напряжения D+ все необходимые для ФМ и электрически изолированные номинальные напряжения (+5 В и др.). Представлена внутренняя структура функционального модуля на рисунке 21.

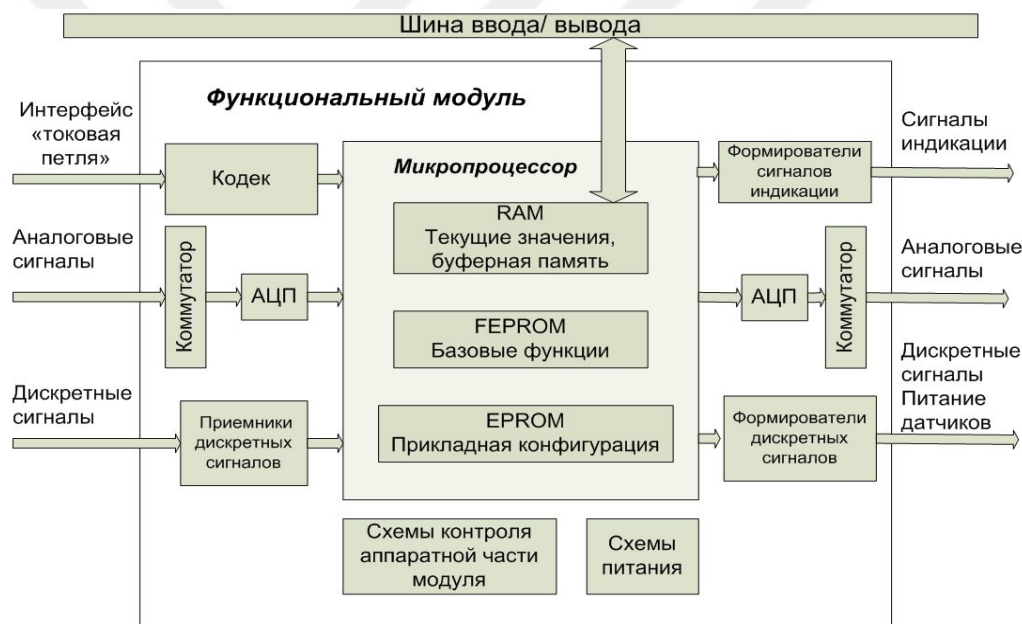


Рисунок 20: Внутренняя структура функционального модуля.

Функционирование ФМ определяется содержанием трех видов процессорной памяти

Набор базовых функций (встроенных подпрограмм) определяет назначение и тип модуля, они "вшиваются" в постоянную "флэш-память" (EEPROM) на заводе-изготовителе и недоступны для изменения разработчику прикладных алгоритмов и эксплуатационному персоналу. Основные функции разработаны и проверены разработчиком функционального модуля, являются неотъемлемым свойством

данного типа модуля и гарантированы производителем в рамках гарантии на функциональный модуль. Основные функции хранятся в модуле в течение всего срока службы при всех условиях хранения и эксплуатации, указанных в документации.

Прикладные алгоритмы находятся в постоянной электрически перепрограммируемой памяти (EEPROM). Применяемые алгоритмы представлены в модуле в виде таблицы, определяющей отношения между основными функциями. Данная таблица формируется посредством конфигурирования и размещается в модуле EEPROM на заключительном этапе проектирования прикладных алгоритмов. Возможна корректировка прикладных алгоритмов в период наладки и эксплуатации ПТК на объекте.

Оперативной памяти (RAM) служит для хранения текущих значений переменных, а также для приема/передачи информации по шине ввода / вывода. Все адресное пространство модуля жестко распределено. Динамическое выделение памяти не используется. Все пользовательские параметры объединяются в массивы и для них выделяется отдельная область памяти, то есть адрес каждого параметра определяется явно на этапе формирования программного компонента модуля. Некоторые ячейки памяти жестко привязаны к определенной базовой функции (функции ввода-вывода и др.), некоторые могут быть использованы произвольно с функциями, которые не имеют фиксированной ячейки памяти (арифметические, логические функции и т. д.).

Основные функции подразделяются на алгоритмические, обеспечивающие реализацию указанных алгоритмов, и служебные, необходимые для организации работы модулей в системе автоматизации.

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

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

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

- функции управления отдельными исполнительными механизмами;
- функции регулирования;
- функции переключения агрегатов;
- функции отбора сигналов, поступающих от нескольких резервированных аналоговых и дискретных датчиков;
- функции формирования уставок;
- функции расчета коррекции измерения уровня и расхода;
- функции формирования сигнализации на средства оперативно-диспетчерского управления др.
- К служебным базовым функциям относятся: функция инициализации, функция обновления данных, функция резервирования, функция обмена данными, функция организации циклической работы модуля, функция самоконтроля и т.д.

Модули непрерывно (циклически) выполняют комплексный самоконтроль аппаратных средств, памяти, основных функций и конфигураций приложений. При обнаружении неисправности сигнал о неисправности, немедленно отправляют к оператору с указанием места возникновения неисправности кроме того, наличие дефекта отображается на монитор на передней панели модуля, а также передаются в средства отображения ПС.

3.6 Служебные модули

В состав ПС входят служебные модули, которые выполняют вспомогательные функции:

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

Модуль контрольный ТПТС52.1932 устанавливается в блоке питания и выполняет следующие функции:

- отображение сигналов о неисправностях;
- вывод аварийных сигналов;
- контроль автоматов блока защиты в блоке питания шкафа;
- формирование, контроль и синхронизация "мигающего" напряжения;
- контроль наличия стыковки модулей с соединителями блока питания шкафа;
- обработку сигналов неисправности, поступающих от центрального модуля и других устройств шкафа;
- управление сигнальными лампами шкафа и лампой шкафа групповой.

Модуль питания ТПТС52.1014 устанавливается в блоке питания и осуществляет преобразование напряжения 24 В в напряжение 5 В для питания интерфейсов шины ввода/ вывода функциональных модулей;

Диодный модуль ТРТС52.1004 устанавливается в блок питания и обеспечивает подключение внешних источников питания приборной стойки с резервированием 24 в цепи питания постоянного тока.

Модуль усилителя мощности ТПТС52.1941 реализует усиление управляющего сигнала, формируемого в модуле ПАА (ТПТС51-2.1412). Модуль преобразует токовый сигнал с ПАА в диапазоне от 0 до 20 мА в выходной сигнал в диапазоне от 0 до 1 А на нагрузке 24 В. При работе в резервированном режиме совместно с модулями 42.1941 должен использоваться модуль подгрузочных резисторов (ТПТС52.1941.010), обеспечивающий эквивалент нагрузки для усилителя мощности, находящегося в состоянии “резервный”.

Модуль питания усилителя мощности ТПТС52.1032 обеспечивает преобразование напряжения постоянного тока 24 В в стабилизированное напряжение постоянного тока 32 В.

3.7 Стойки питания (ТПТС52.23XX)

3.7.1 Назначение

Стойки питания (СП) предназначены для преобразования внешнего напряжения 220 В постоянного или переменного тока в напряжение 24 В постоянного тока, которое используется для питания ПС, а также панелей и пультов технических средств оперативно диспетчерского управления (ТС ОДУ) блочного и резервного пунктов управления.

3.7.2 Общие сведения

СП имеют две модификации в зависимости от вида внешнего напряжения:

- ТПТС52.2300 для преобразования внешнего переменного напряжения ~ 220 В;
- ТПТС52.2301 для преобразования постоянного напряжения $=220$ В.

Внешнее электропитание СП осуществляется от двух автономных сетей электропитания:

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

- напряжение от 176 до 242 В с номинальным значением 220 В;
- частота Гц;
- допустимое прерывание питания не более 20 мс и с периодом прерываний не менее 2 С или до снижения напряжения до 50% от номинального значения в течение времени не более 100 мс;

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

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

Основным функциональным устройством совместного предприятия является блок питания, который обеспечивает преобразование напряжения питания 220 В в постоянное напряжение 24 В с максимальным током 20А. Блок питания защищен от превышения тока нагрузки и выходного напряжения.

В СП могут быть установлены до 12 модулей питания.

В СП силовые модули делятся на четыре группы. Каждая группа, содержащая до трех силовых модулей, образует силовой канал, который обеспечивает параллельную работу силовых модулей путем объединения их выходов. Емкость нагрузки каждого канала силы кратность числа модулей силы в канале.

В СП имеется возможность изменять выходное напряжение в каждом силовом канале на минус 5% и +12% от номинального значения 24 В С помощью переключателей на командном модуле.

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

Для обеспечения нормальной тепловой работы в шкафу СП установлены три вентиляторных блока (по три вентилятора в каждом блоке).

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

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

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

3.8 Стойки сопряжения (ТПТС52.2110-XX.XX)

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

- а) переход с одного типа кабеля (внешнего) к другому (внутреннему, используемому в оборудовании ТРТС-ЕМ и Соединенному методом "Maxi-Termi-Point").
- б) гальваническое разделение цепей подстанций и цепей периферийных устройств;
- в) токовая нагрузка "сухих" контактов внешних устройств, для которых требуется повышенная токовая нагрузка;
- в) преобразование входного сигнала с напряжением 220 В дискретный сигнал в виде переключения "сухих" контактов цепи с низким напряжением 24 (48) В;
- г) преобразование выходного потенциального сигнала 24 В в дискретный сигнал в виде коммутации «сухих контактов» цепи с напряжением 220 В;
- д) преобразование выходного аналогового сигнала ПС [0(4) - 20 мА; 0 (2) - 10 В] в аналоговый сигнал другого уровня;

Для выполнения этих функций в интерфейсных стойках имеются соединительные и клеммные элементы, модули нагрузки и релейные модули.

Соединительные стойки используются для сопряжения сигнальных цепей ПС с внешними кабелями и проводами передачи:

- а) входные аналоговые и дискретные сигналы следующих типов:
 - унифицированный потенциальный сигнал в диапазоне от 0 (2) до 10 в,
 - унифицированный сигнал тока в диапазоне от 0 (4) до 20 мА,
 - сигнал от термоэлектрического преобразователя (термопары) с номинальной статической характеристикой преобразования по ГОСТ Р 8.585-2001;
 - сигналы от термопар сопротивления по ГОСТ Р 8.625-2006 с автоматической компенсацией сопротивления соединительных проводов;

- потенциальный сигнал 24 (48) В;
- коммутация «сухих контактов», питаемых напряжением 24 (48) В от ТПТС-ЕМ;

в) выходные сигналы к периферийным устройствам – приемникам выходных сигналов ТПТС-ЕМ

Для подключения кабелей, идущих от ПС, в интерфейсной стойке используются клеммные колодки (32-контактный), которые обеспечивают возможность подключения проводов сечением 0,5 мм² по технологии соединения обмоткой (внутренняя установка) и по технологии Maxi-Termi-Point (внешняя установка).

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

Колодка клеммная UDMTK 5-P/P обеспечивает возможность подключения проводов от периферии сечением от 0,2 до 1,5 мм². Два провода одинакового сечения в указанном диапазоне могут быть подключены к одному контакту клеммной колодки. Клеммные колодки содержат выключатели, предназначенные для коммутации подключенных цепей, и управляющие розетки, предназначенные для подключения измерительных приборов к подключ.

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

При необходимости сопряжения аппаратуры ТПТС-ЕМ с контактами внешних устройств, для которых требуется повышенная токовая нагрузка, в стойках сопряжения предусмотрена возможность установки модулей подгрузки, что позволяет обеспечить дополнительную токовую нагрузку подключенных цепей до следующих величин токов: 5 мА, 10 мА, 20 мА, 50 мА, 100 мА. Для подключения

заземляющих цепей от модулей токовой подгрузки используются колодки клеммные UK 10 N, к которым можно подключать провода сечением от 0,5 до 10 мм².

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

3.8.1 Средства Коммуникации

Шина EN

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

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

Шина EN имеет кольцевую отказоустойчивую структуру передающая среда реализована на оптическом волокне, что обеспечивает идеальную потенциальную изоляцию всех абонентов шины. Отводы от кольца к абонентам выполнены витой парой. Скорость передачи в поворотах –10Мбит/с.

Снижение скорости передачи в отводах обеспечивает резерв пропускной способности для каждого отдельного абонента и реализует важнейшую особенность шины EN, которая заключается в том, что никакой отказ отдельного абонента (в том числе нерегламентированная передача информации на

максимальной скорости) не приводит к блокировке шины. В этом случае происходит лишь 10% потеря производительности шины EN, работающей в полнодуплексном режиме в соответствии со стандартным протоколом LLC (IEEE 802.2/ISO 8802-2:1998). Для передачи данных используют режим передачи без соединения, но с доказательством передачи (с обратной связью).

В зависимости от условий расположения шкафов контроллера конкретного объекта, технологическая шина может быть сегментирована.

3.8.2 Интерфейсный модуль

Интерфейсные модули используются для подключения отдельных абонентов к шине ut. Существуют следующие типы интерфейсных модулей, которые соответствуют различным устройствам:

- модуль ЦМ-Е применяется в ПТК нормальной эксплуатации и ипредна - значен для управления обменом данными между ФМ по шине ввод/вывода и для связи ПС с другими абонентами шины EN нормальной эксплуатации (обеспечивает резервированное подключение ПС к шине EN нормальной эксплуатации по каналам А и В);
- модуль ЦМ-СБ применяется в ПТК системы безопасности;
- EN- PCI –сетевой адаптер в стандарте PCI для подклю –чения БШС;
- EN-PCI –• сетевой адаптер Ethernet, служащий для подключения к шине EN персонального компьютера (инженерной станции ипрограмматора);
- модуль базовый коммуникационный БКМ применяется в системах нормальной эксплуатации для связи с интеллектуальными датчиками и смежными ПТК по шине RS-485. БКМ выполняет об– 224 –работку принятой от датчиков информации и осуществляет обмен данными по шине EN нормальной эксплуатации.

3.8.3 Коммутаторы

Коммутаторы предназначены для соединения абонентов шины в единую систему коммутаторы состоят из двух типов портов—"абонентский" и "магистральный". Интерфейсные модули подключаются через порты "абонент". Через "главные" порты, переключатели совмещены в одиночное главное кольцо.

Коммутатор, получив данные, прежде чем передать их дальше выполняет проверку (контрольную сумму, размер и т. д.). Некорректные данные не передаются, что снижает нагрузку на систему связи, задержка передачи информации от порта к порту в коммутаторе не превышает нескольких микросекунд. Коммутатор, назначенный менеджером резервирования, контролирует целостность связи. Оборудование дубового ствола работает исправно, оно держит одно из звеньев в кольце открытым, а в случае сбоя связи в стволе закрывает это резервное звено, восстанавливая целостность шины.

Можно настроить коммутаторы под необходимые задачи из любого места, а также удаленно собирать статистику о коммутаторах.

3.9 Система Get-R

В системе GET-R используется язык программирования, описывающий технологические алгоритмы в виде графических функциональных диаграмм, привычных для технологов. В результате трансляции образуется текст прикладного алгоритма на языке STEP и загрузочный модуль, который записывается в память функционального модуля. Одновременно автоматически получается технологическая документация..

Графический язык системы GET-R позволяет задать нужную конфигурацию модуля в виде простой схемы основных функций, образов и логики, которые хранятся в библиотеках и вызываются на экран из соответствующего меню, доступного для каждого функционального модуля. Такой способ создания конфигурации очень понятен и позволяет быстро и с низкой вероятностью ошибки задать нужный алгоритм работы модуля.

В результате конфигурирования формируется три вида информации:

- графическое представление прикладного алгоритма в виде схемы соединения базовых функций;
- таблица соединения и параметрирования базовых функций (таблица конфигурации) в бинарном представлении;
- текстовое представление таблицы конфигурации базовых функций.

Глава 4

4.1 Моделирование системы в среде MatLab

Представление объекта управления в виде разностных уравнений для создания модели объекта управления, мы будем использовать разностные уравнения модели, которые составляются с помощью передаточных функций.

Поскольку исследуемый объект управления обладает свойством самовыравнивания, рассмотрим апериодическое звено первого порядка для создания разностных уравнений.

$$W(S) = \frac{L[X_{OUT}(t)]}{L[X_{IN}(t)]}, \text{ при нулевых начальных условиях}$$

$$W(S) = \frac{k}{TS + 1} = \frac{X_{out}(S)}{X_{in}(S)}$$

$$K \cdot X_{in}(S) = X_{out}(S) \cdot (TS + 1);$$

$$T \cdot S \cdot X_{out}(S) + X_{out}(S) = K \cdot X_{in}(S);$$

$$\text{Пу } S \rightarrow \frac{d}{dt}.$$

$$T \frac{d}{dt} X_{out}(t) + X_{in}(t) = K \cdot X_{in}(t);$$

$$X^I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{X_{out}(t + \Delta t) - X_{in}(t)}{\Delta t}$$

$$T \left(\frac{X_{out}(t+\Delta t) - X_{out}(t)}{\Delta t} \right) + X_{out}(t) = K \cdot X_{in}(t);$$

$$X_{out}(t + \Delta t) - X_{out}(t) = \frac{\Delta t}{T} (K \cdot X_{in}(t) - X_{out}(t));$$

$$X_{out}(t + \Delta t) = \frac{\Delta t}{T} (K \cdot X_{in}(t) - X_{out}(t)) + X_{out}(t).$$

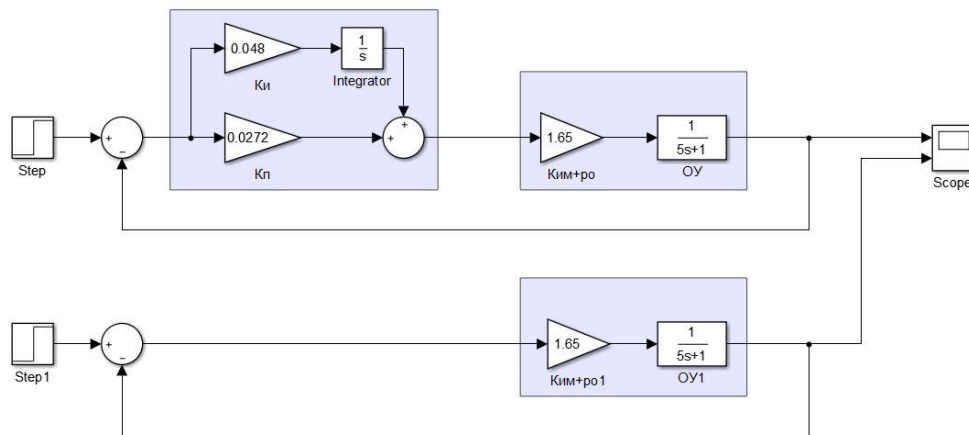


Рисунок 22: Структурная схема системы управления

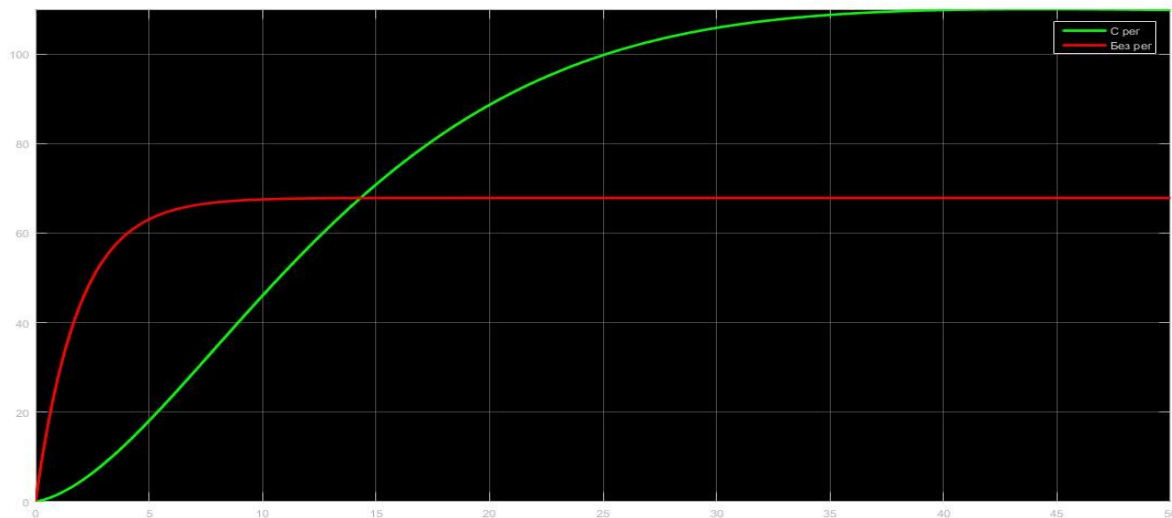


Рисунок 23: Временная диаграмма системы управления без регулятора и с регулятором

4.2 MWBridge

Ядро реального времени для ОС Windows - является универсальным инструментом создания и поддержки АСУ ТП, в том числе распределенных. При этом особое внимание уделено повышению надежности и безопасности АСУ ТП, что обеспечивает возможность применения на ответственных и опасных производствах. Это достигается высоким уровнем детерминированности благодаря строгой цикличности и векторной обработке данных, а также графическому и табличному программированию и настройке всех компонентов, которые могут осуществляться одновременно с наладкой на работающей системе. Кроме того, большое внимание уделено поддержке горячего резервирования и средствам защиты информации и разграничения доступа.

Применяется для создания автоматизированных рабочих мест (АРМ) среднего и верхнего уровня, сетевых шлюзов, серверов смешанного применения, организации мостов с другими приложениями, а также для настройки и программирования модулей комплекса технических средств (КТС) МикКОН. Структурно представляет собой систему управления базами данных реального

времени (СУБД РВ), включая средства ведения, обработки, обновления и настройки, а также пользовательские интерфейсы к ним.

Основные характеристики:

1. базовый такт реального времени – от 10 миллисекунд,
2. число параметров – в рамках четырехбайтовой адресации,
3. поддерживаемые внешние интерфейсы:
4. сетевой обмен по протоколам IPX/SPX, TCP/IP с поддержкой до 16-ти сетевых адаптеров в одном узле с внутренней маршрутизацией,
5. протокол ModBus,
6. DDE – клиент/сервер,
7. OPC – клиент/сервер спецификации 2.3,
8. SQL (ODBC) – чтение/запись с созданием таблиц,
9. OCI (ORACLE) – чтение/запись с созданием таблиц,
10. WEB-сервер – доступ к данным на отображение и управление любым стандартным InterNet-браузером с разграничением прав,
11. ведение архивов значений переменных базы данных реального времени (БД РВ) с тактом реального с дублированием по альтернативному пути

MWBridge имеет визуальную графическую оболочку, которая описана в главе 2. Открывает доступ ко всем настройкам программы. Изменение настроек в интерфейсе немедленно воспринимается программой, за исключением общего количества переменных и включения-выключения DDE и OPC, требующих перезапуска ее. Все настройки сохраняются в ini-файл, формат которого описан в Приложении 1. Редактирование файла конфигурации с помощью любого текстового редактора является альтернативным способом настройки системы, который рекомендуется только для квалифицированных пользователей.

MWBridge это также инструмент для настройки, конфигурирования и программирования модулей КТС «МИККОН»

Программно-аппаратный комплекс имеет графическую среду для отображения данных в режиме реального времени-дисплей, который предназначен для графического отображения технологических параметров, сигнальной и другой информации, мониторинга и управления.

Она включает в себя следующие функциональные системы:

- графическое ядро;
- редактор мнемосхем и настроек;
- система безопасности.

Более подробное описание см. В разделе система отображения. Руководство пользователя."Пример создания проекта в Newbridge и Display programs представлен в отдельном документе "учебник по работе с mwbridge и Display programs". Для разработки мимики с поддержкой WEB-интерфейса в составе ПК имеется специализированный редактор MSD, описанный в документе "редактор Webintejsa MSD. Руководство пользователя.»В Приложении 3 представлено использование полей базы данных реального времени. Описание состава основных полей РБДРВ и прототипы функций библиотеки доступа к текущим данным находится в Приложении 4. Описание библиотеки доступа к трендам приведено в Приложении 5.

4.3 MikBASIC

Наиболее удобным видом технологического программирования, который может быть описан объектом управления с помощью разностных уравнений, является инструмент MikBasic.

Для получения теоретических данных о переходных процессах в контроллере проводится моделирование в программной среде MWBridge. С помощью

инструмента MikBasic в MWBrige пишется система разностных уравнений, включающая объект управления в виде апериодического звена первого порядка, а также задается влияние входного давления и наблюдаются переходные процессы, происходящие на выходе объекта управления. Окно программы MikBASIC представлено на рисунке 24.

Для построения разностных уравнений, описывающих объект управления, необходимо знать значения переменных реального времени на текущем и предыдущем циклах системы, в которой реализуется модель управления.

Такую возможность предоставляет интерпритатор MikBasic ядра реального времени MWBridge. При чтении параметра с предыдущего шага необходимо воспользоваться командой $A[i].VALUEOLD$, где i – номер переменной в базе данных реального времени, а при чтении параметра с текущего шага необходимо воспользоваться командой $A[i].VALUE$. В переменной $A[11].VALUE$ осуществляется расчет выходной переменной модели первого порядка. В переменные $A[2].VALUE$ и $A[5].VALUE$ осуществляется запись параметров моделей объектов управления и нормировочные коэффициенты исполнительного механизма, который считается с некоторыми допущениями безынерционным звеном.

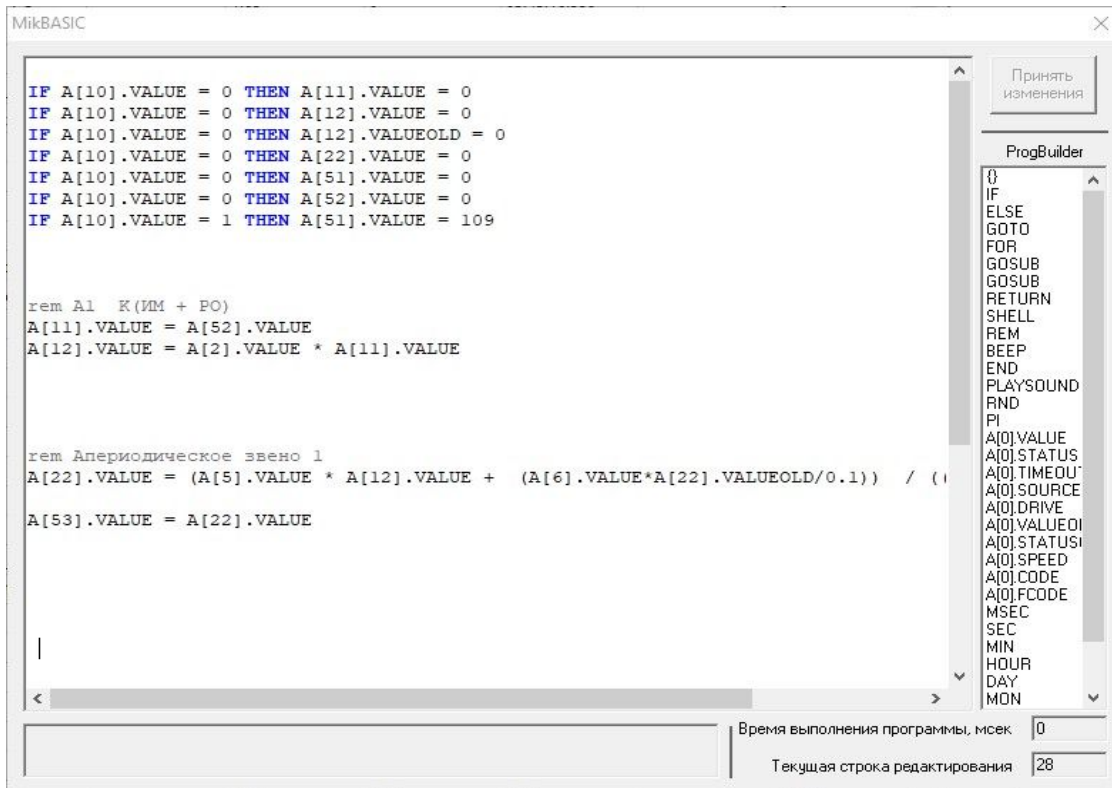


Рисунок 24: Окно программы MikBasic с записанными разностными уравнениями

На рисунке 25 представлена база данных, в которую записаны расчетные параметры модели объектов управления первого порядка, а также входные и выходные величины модели объекта управления.

Проект: [D:\ariksalih\]. Лицензия: [GTEC]. Пользователь: []

УСО Сеть Алго Алго ВУ ТЭП Мнемосхемы Документы Просмотр трендов

Пользовательские профили | Настройки | Основные | Сеть/УСО | Тренды | WEB | Такт БД.ms: 100|Приём: 0|Передача: 0|Память.k: 17

Номер	Название	Описание	Посл.Знач...	Статус	Время обн...	Источник	Таймаут
A0			###	###	###		60000
A1			0	0	22:03:25.598		0
A2	K_IM+PO	Кoeffици...	1.65	0	03:43:16.550		0
A3			###	###	###		60000
A4			###	###	###		60000
A5	K1_ин_з	K1ин_з - ко...	1	0	01:51:32.608		0
A6	T1_ин_з	T1ин_з - ко...	5	0	17:57:25.902		0
A7			0	0	02:59:47.238		0
A8			0	0	22:06:02.944		0
A9			###	###	###		60000
A10	on_off	Включение...	0	0	03:41:52.717		0
A11	I_вход_И...	Вход ИМРО	0	0	03:47:59.301		0
A12	I_выход_...	Выход ИМ...	0	0	03:47:59.301		0
A13			0	0	15:38:30.701		0
A14			###	6	03:00:00.000		0
A15			###	###	###		60000
A16			###	###	###		60000
A17			###	38	17:02:58.000		60000
A18			###	###	###		60000
A19			###	###	###		60000
A20			###	###	###		60000
A21	вход1_об...	Входная ф...	0	0	03:47:59.301		0
A22	выход1_о...	Выходная ...	0	0	03:47:59.301		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			0	0	03:47:59.301		60000

Рисунок 25: База данных программы

Проект: [D:\ariksalih\]. Лицензия: [GTEC]. Пользователь: []

УСО Сеть Алго Алго ВУ ТЭП Мнемосхемы Документы Просмотр трендов

Пользовательские профили | Настройки | Основные | Сеть/УСО | Тренды | WEB | Такт БД.ms: 102|Приём: 0|Передача: 0|Память.k: 18

Номер	Название	Описание	Посл.Знач...	Статус	Время обн...	Источник	Таймаут
A39			###	###	###		60000
A40			###	###	###		60000
A41			###	38	19:59:05.126		60000
A42			###	38	22:05:38.200		60000
A43			###	###	###		60000
A44			###	###	###		60000
A45			###	38	17:56:45.702		60000
A46			###	###	###		60000
A47			###	###	###		60000
A48			###	###	###		60000
A49			###	###	###		60000
A50			###	###	###		60000
A51	Уставка	Уставка рег...	0	0	03:50:08.702		0
A52	Выход	Выход регу...	0	0	03:50:08.702		0
A53	Рег_велич...	Регулируе...	0	0	03:50:08.702		0
A54			###	###	###		60000
A55			###	###	###		60000
A56	K	Кoeffици...	1	0	15:02:11.830		0
A57	Ti	Интеграль...	1	0	15:02:15.289		0
A58	Td	Дифферен...	0	0	17:57:10.525		0
A59			###	###	###		60000
A60			0	0	16:30:01.387		0
A61			###	###	###		60000
A62			###	###	###		60000
A63			###	###	###		60000
A64			###	###	###		60000
A65			###	###	###		60000
A66			###	###	###		60000
A67			###	###	###		60000
A68			###	###	###		60000
A69			###	###	###		60000
A70			###	###	###		60000
A71			###	###	###		60000

Рисунок 26: База данных программы

Представление объекта управления в виде разностных уравнений для создания модели объекта управления, мы будем использовать разностные уравнения модели, которые составляются с помощью передаточных функций.

Поскольку исследуемый объект управления обладает свойством самовыравнивания, рассмотрим апериодическое звено первого порядка для создания разностных уравнений.

$$W(S) = \frac{L[X_{OUT}(t)]}{L[X_{IN}(t)]}, \text{ при нулевых начальных условиях}$$

$$W(S) = \frac{k}{TS + 1} = \frac{X_{out}(S)}{X_{in}(S)}$$

$$K \cdot X_{in}(S) = X_{out}(S) \cdot (TS + 1);$$

$$T \cdot S \cdot X_{out}(S) + X_{out}(S) = K \cdot X_{in}(S);$$

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

$$T \frac{d}{dt} X_{out}(t) + X_{in}(t) = K \cdot X_{in}(t);$$

$$X^I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{X_{out}(t + \Delta t) - X_{in}(t)}{\Delta t}$$

$$T \left(\frac{X_{out}(t + \Delta t) - X_{out}(t)}{\Delta t} \right) + X_{out}(t) = K \cdot X_{in}(t);$$

$$X_{out}(t + \Delta t) - X_{out}(t) = \frac{\Delta t}{T} (K \cdot X_{in}(t) - X_{in});$$

$$X_{out}(t + \Delta t) = \frac{\Delta t}{T} (K \cdot X_{in}(t) - X_{out}) + X_{out}(t).$$

4.4 Исследование моделирования системы управления регулятора давления

Закон регулирования - это математическое выражение, описывающее зависимость, согласно которой управляющее воздействие на объект вырабатывалось бы безынерционным управляющим устройством. В технике реализуется достаточно много различных законов регулирования, тесно связанных с конструкцией управляющего устройства. Одним из основных способов классифицировать регуляторы является классификация по законам управления.

Многие из законов регулирования, реализуемых различными регуляторами релейного, импульсного действия, экстремальными и т.п., рассматриваются далее в процессе изложения теории. Здесь ограничимся упоминанием о наиболее распространенных законах, реализуемых линейными регуляторами по отклонению непрерывного действия. В этих простейших законах управляющее воздействие линейно зависит от отклонения, его интеграла и первой производной по времени.

Пропорциональный закон (обозначен K):

Регулятор, осуществляющий этот закон, называют пропорциональным.

Постоянной T имеет размерность времени, и ее называют постоянной времени интегрирования.

Далее исследуем устойчивость системы при разных коэффициентах пропорциональности K и постоянной времени интегрирования T_i .

Перерегулирование σ - максимальное отклонение переходной характеристики от установившегося значения выходной величины, выраженное в относительных единицах или процентах:

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h_{\text{уст}}}{h_{\text{уст}}} 100 \quad h_{\max} - \text{значение первого максимума}$$

Допустимое значение перерегулирования допускается до %30

Далее исследуем при коэффициентах пропорциональности $K=0.1$ и постоянной времени интегрирования $T_i=5$:

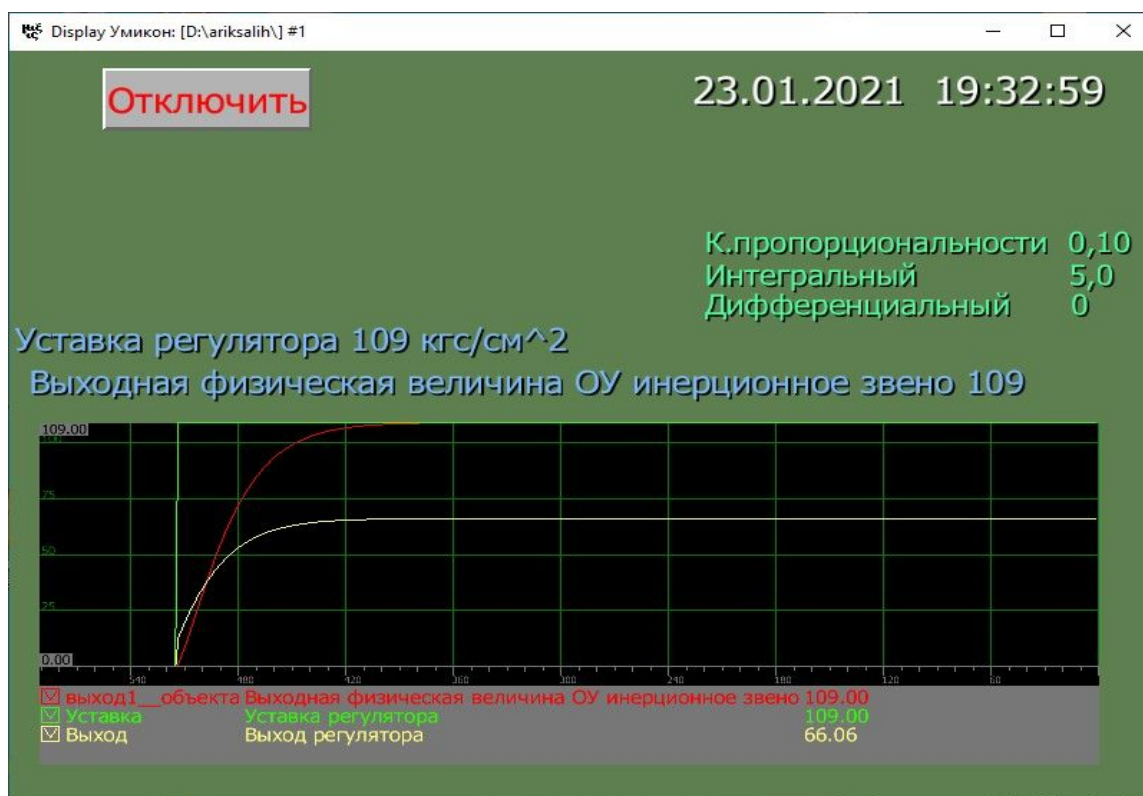


Рисунок 27: Визуальный интерфейс для дистанционного управления

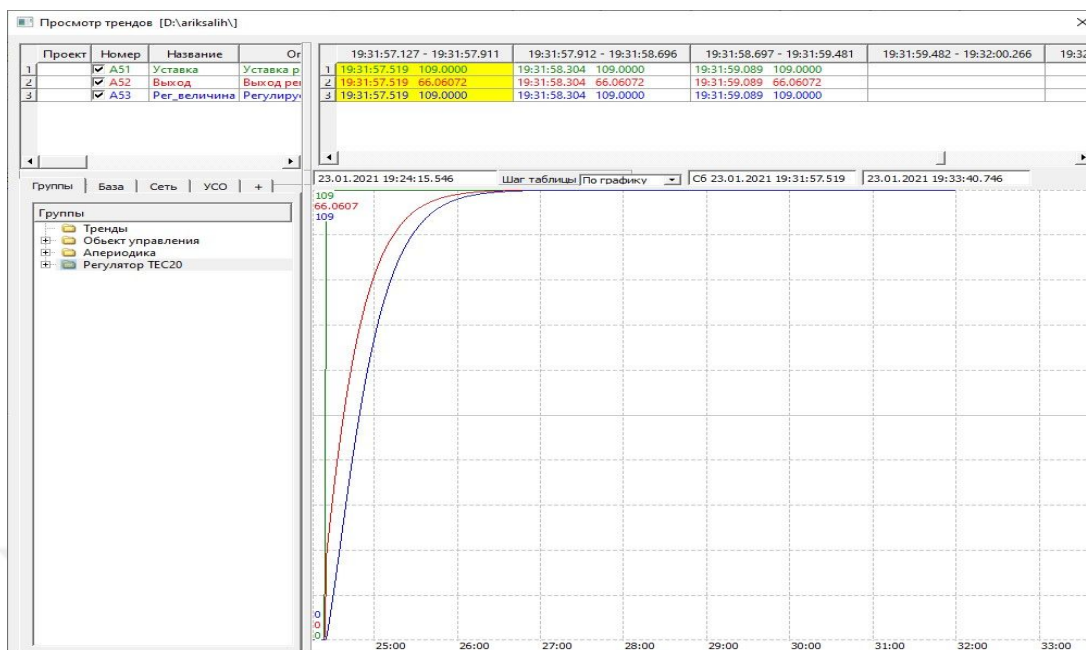


Рисунок 28: Переходная характеристика давления при $K=0.1$ и $T_i=5$

При коэффициентах пропорциональности $K=0.1$ и постоянной времени интегрирования $T_i=5$, как видно на рисунках 27 и 28 нет перерегулирования, так как система устойчива.

Как раз при коэффициентах пропорциональности $K=0.1$ и постоянной времени интегрирования $T_i=5$ система устойчива и можно принять эти коэффициенты для работы регулятора ТЕС-20.

Далее исследуем при коэффициентах пропорциональности $K=0.4$ и постоянной времени интегрирования $T_i=8$:

При коэффициентах пропорциональности $K=0.4$ и постоянной времени интегрирования $T_{и} = 8$ произошло перерегулирование. Исследуем устойчивость системы по формуле : $\sigma = \frac{h_{\max} - h_{\text{уст}}}{h_{\text{уст}}} 100$

$$\sigma = \frac{109.423 - 109}{109} 100 = 0.39\%$$

$\sigma = 0.39\% < 30\%$ т.е. система устойчиво.

Как раз при коэффициентах пропорциональности $K=0.4$ и постоянной времени интегрирования $T_{и} = 8$ система устойчива и можно принять эти коэффициенты для работы регулятора ТЕС-20.

Далее исследуем при коэффициентах пропорциональности $K=0.2$ и постоянной времени интегрирования $T_{и} = 8$



Рисунок 31: Визуальный интерфейс для дистанционного управления

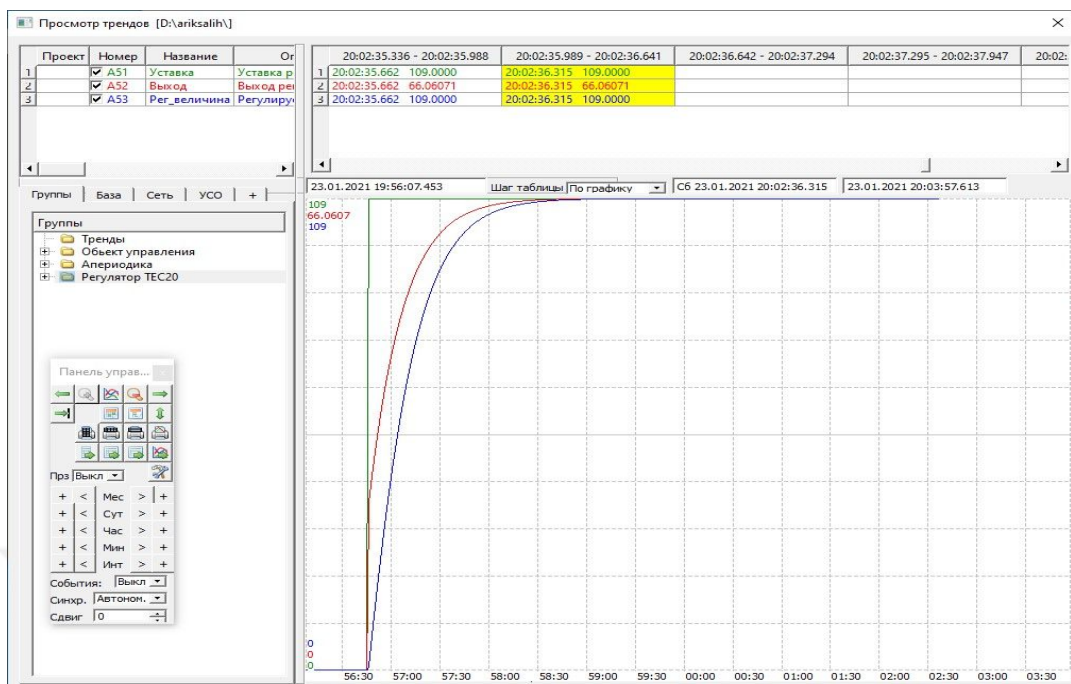


Рисунок 32: Переходная характеристика давления при $K=0.2$ и $T_i=8$

При коэффициентах пропорциональности $K=0.2$ и постоянной времени интегрирования $T_i=8$, как видно на рисунках 31 и 32 нет перерегулирования, так как система устойчива.

Как раз при коэффициентах пропорциональности $K=0.2$ и постоянной времени интегрирования $T_i=8$ система устойчива и можно принять эти коэффициенты для работы регулятора ТЕС-20.

Далее исследуем при коэффициентах пропорциональности $K=0.04$ и постоянной времени интегрирования $T_i=3$

При коэффициентах пропорциональности $K=0.04$ и постоянной времени интегрирования $T_i=3$, как видно на рисунках 33 и 34 нет перерегулирования, так как система устойчива.

Как раз при коэффициентах пропорциональности $K=0.04$ и постоянной времени интегрирования $T_i=3$ система устойчива и можно принять эти коэффициенты для работы регулятора ТЕС-20.

Далее исследуем при коэффициентах пропорциональности $K=0.05$ и постоянной времени интегрирования $T_i=1$

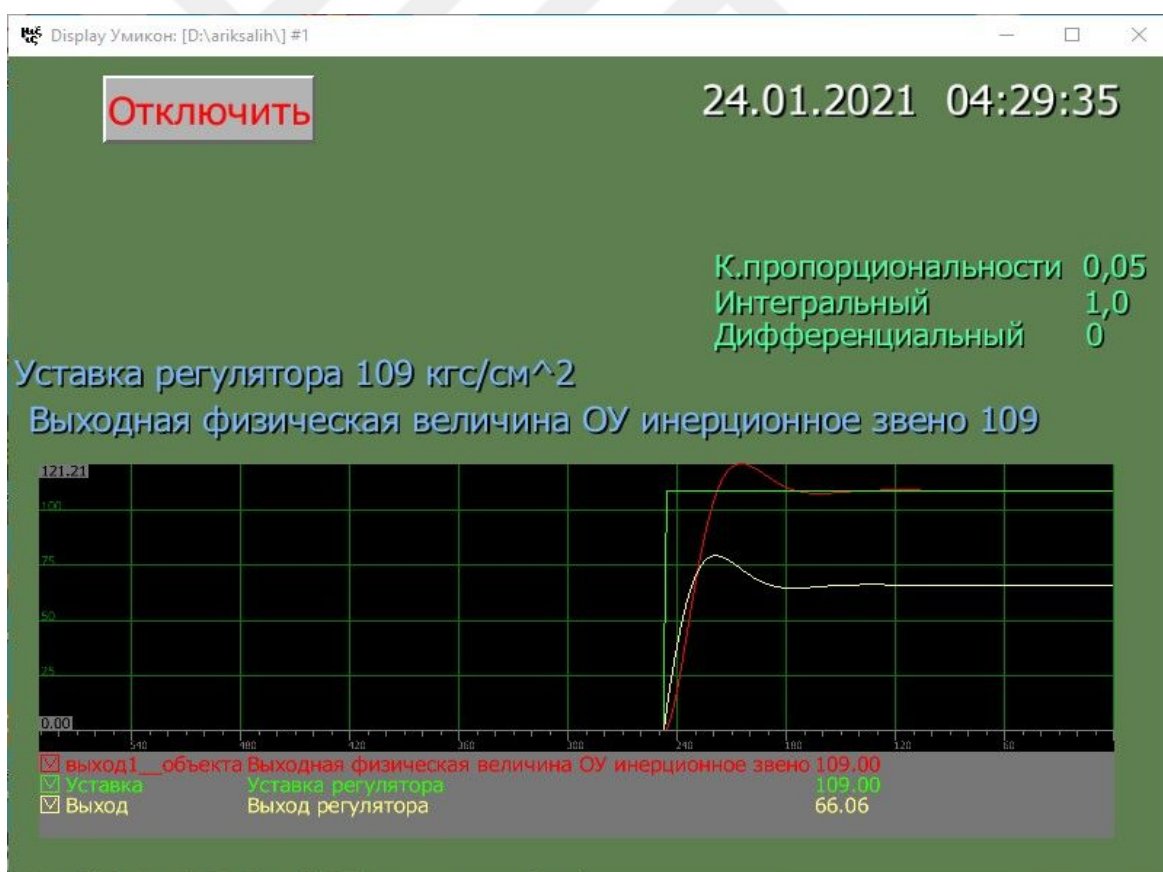


Рисунок 35: Визуальный интерфейс для дистанционного управления

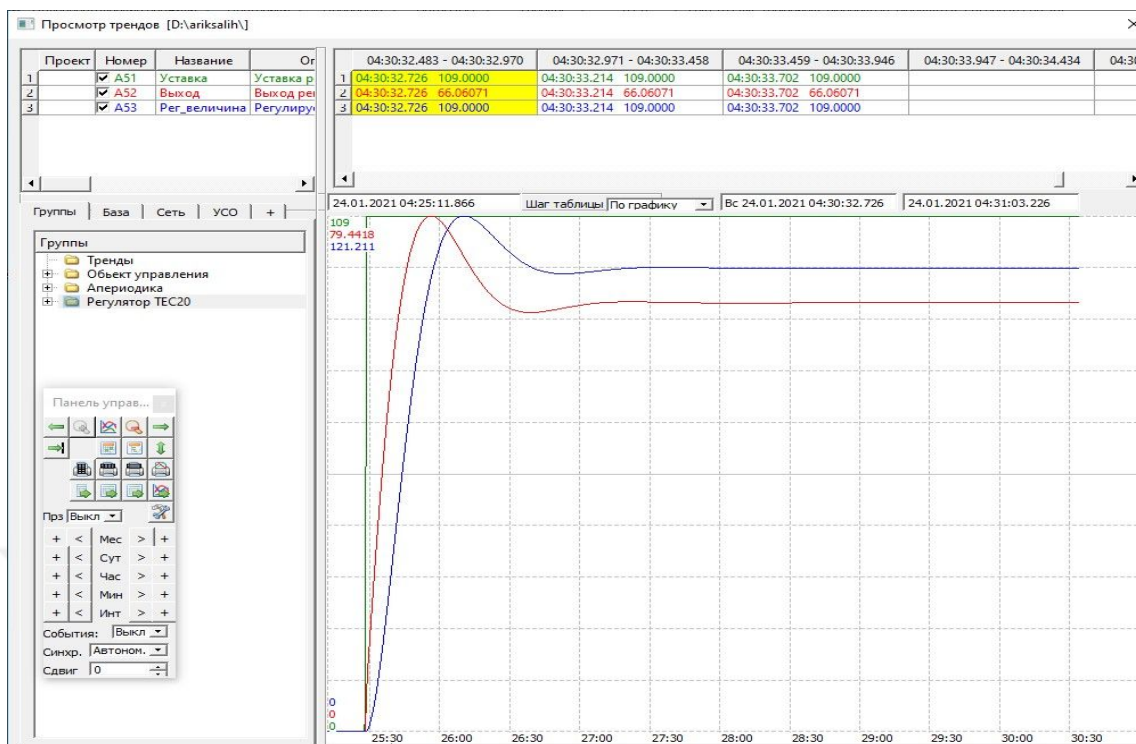


Рисунок 36: Переходная характеристика давления при $K=0.05$ и $T_{и}=1$

При коэффициентах пропорциональности $K=0.05$ и постоянной времени интегрирования $T_{и} = 1$ произошло перерегулирование. Исследуем устойчивость системы по формуле :

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h_{\text{уст}}}{h_{\text{уст}}} 100$$

$$\sigma = \frac{121.211 - 109}{109} 100 = 11.2\%$$

$\sigma = 11.2\% < 30\%$ т.е. система устойчива.

Как раз при коэффициентах пропорциональности $K=0.05$ и постоянной времени интегрирования $T_{и} = 1$ система устойчива и можно принять эти коэффициенты для работы регулятора ТЕС-20.

Далее исследуем при коэффициентах пропорциональности $K=0.01$ и постоянной времени интегрирования $T_{и} = 0.2$

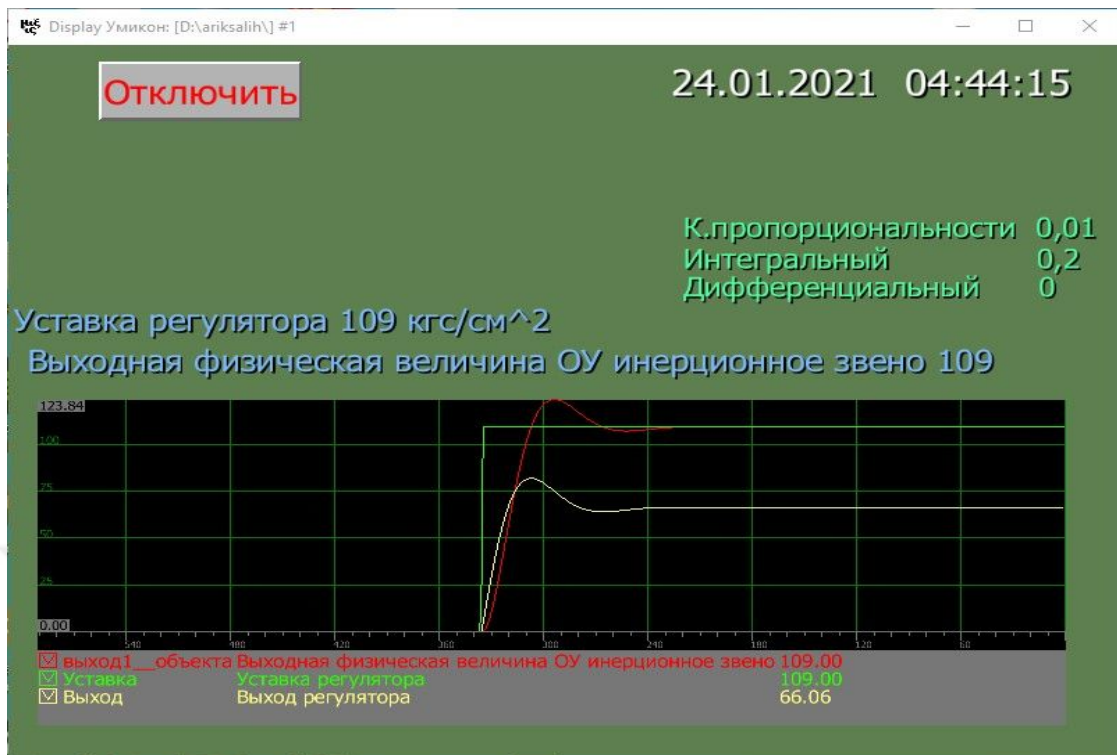


Рисунок 37: Визуальный интерфейс для дистанционного управления

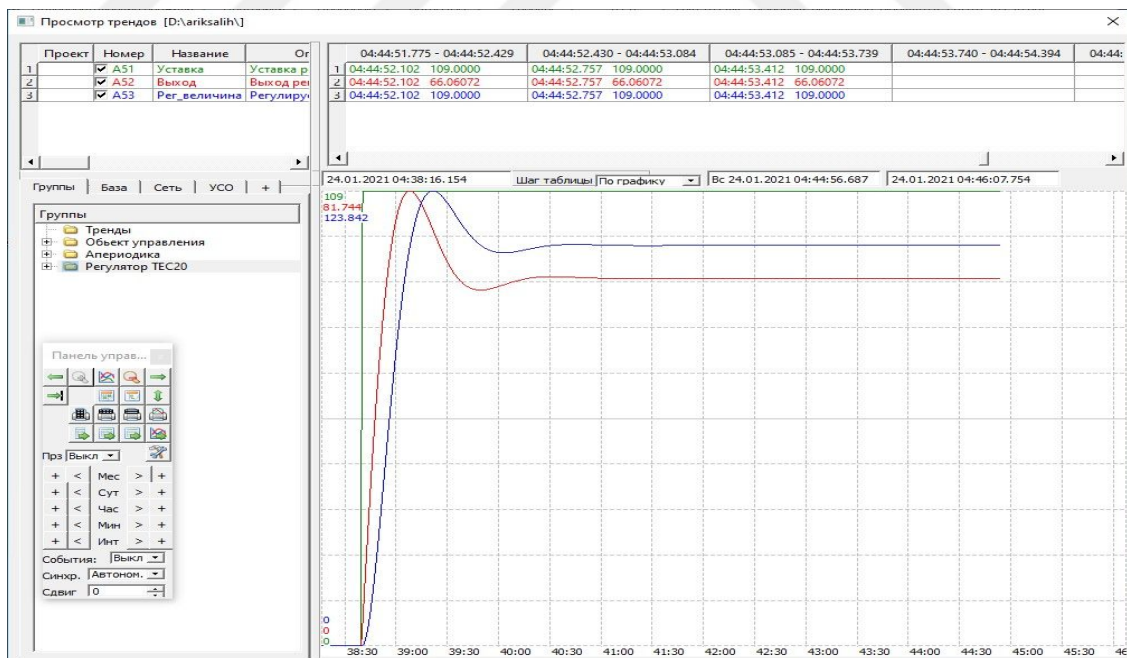


Рисунок 38: Переходная характеристика давления при $K=0.01$ и $T_i=0.2$

При коэффициентах пропорциональности $K=0.01$ и постоянной времени интегрирования $T_{и} =0.2$ произошло перерегулирование. Исследуем устойчивость системы по формуле : $\sigma = \frac{h_{\max} - h_{\text{уст}}}{h_{\text{уст}}} 100$

$$\sigma = \frac{123.842 - 109}{109} 100 = 13.6\%$$

$\sigma = 13.6\% < 30\%$ т.е. система устойчива.

Как раз при коэффициентах пропорциональности $K=0.01$ и постоянной времени интегрирования $T_{и} =0.2$ система устойчива и можно принять эти коэффициенты для работы регулятора ТЕС-20.

Далее исследуем при коэффициентах пропорциональности $K=0.2$ и постоянной времени интегрирования $T_{и} =1$:

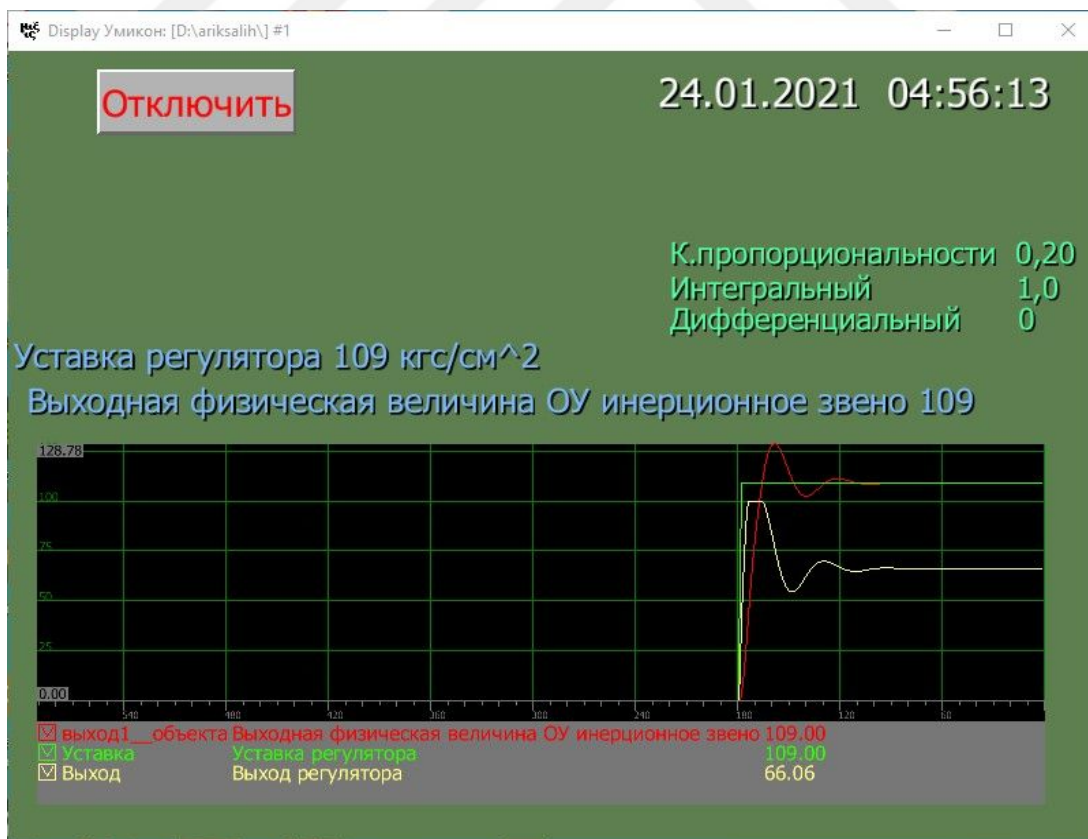


Рисунок 39: Визуальный интерфейс для дистанционного управления



Рисунок 40: Переходная характеристика давления при $K=0.2$ и $T_i=1$

При коэффициентах пропорциональности $K=0.2$ и постоянной времени интегрирования $T_i = 1$ произошло перерегулирование. Исследуем устойчивость системы по формуле :

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h_{\text{уст}}}{h_{\text{уст}}} 100$$

$$\sigma = \frac{128.849 - 109}{109} 100 = 18.2\%$$

$\sigma = 18.2\% < 30\%$ т.е. система устойчива.

Как раз при коэффициентах пропорциональности $K=0.2$ и постоянной времени интегрирования $T_i = 1$ система устойчива и можно принять эти коэффициенты для работы регулятора ТЕС-20.

Далее исследуем при коэффициентах пропорциональности $K=50$ и постоянной времени интегрирования $T_i = 1$:

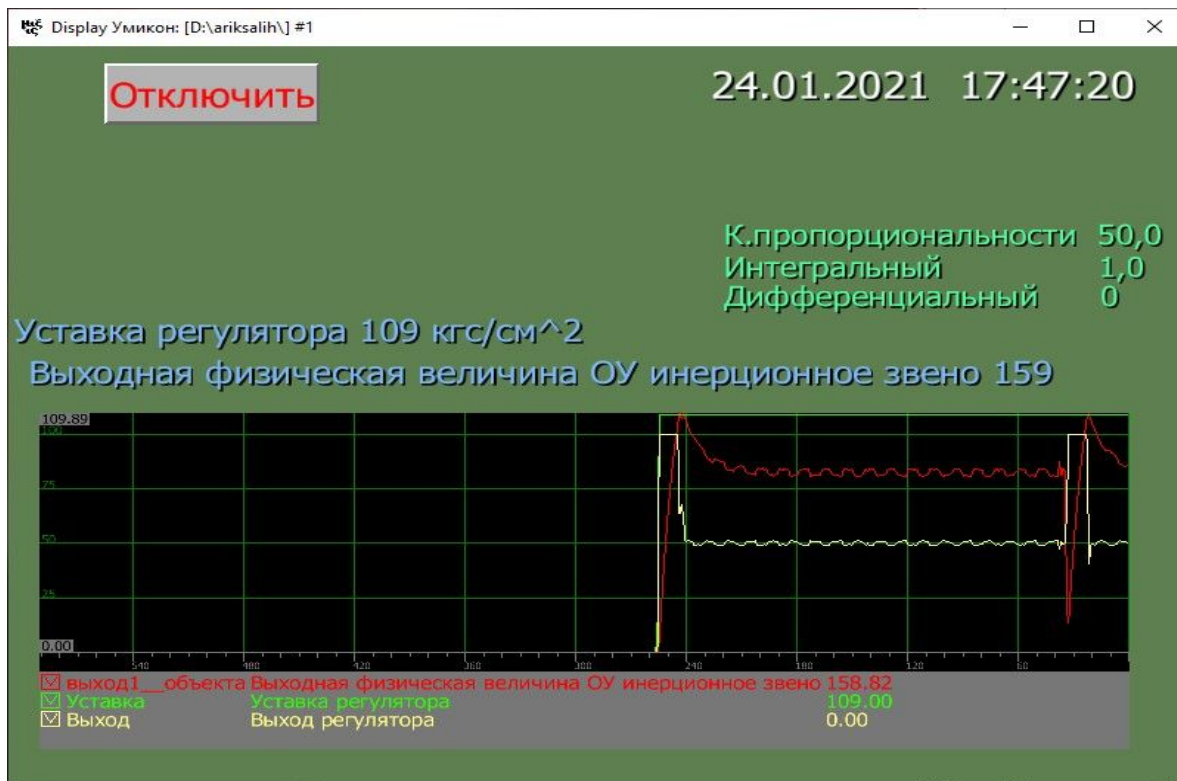


Рисунок 41: Визуальный интерфейс для дистанционного управления

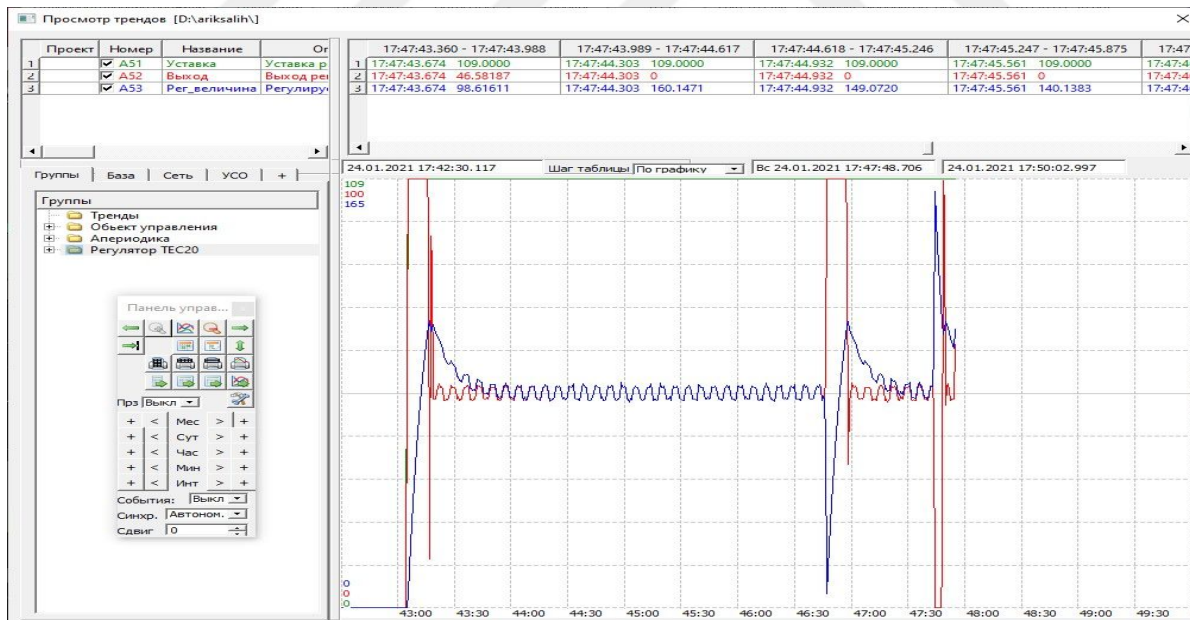


Рисунок 42: автоколебания в системе при $K=50$ и $T_i=1$

При коэффициентах пропорциональности $K=50$ и постоянной времени интегрирования $T_i = 1$ системе возникают автоколебания поэтому система становится неустойчивой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была исследована и моделирована система регулирования давления ТЕС-20 регулятора за фильтрами в первом контуре реактора ВВЭР-1000.

В теоритической части работы были рассмотрены цифровые системы автоматического управления, устойчивость системы регулирования с регуляторами П и ПИ, а также основные компоненты и структурную схему программно-технического комплекса ТПТС.

В практической части работы осуществлялись исследования объекта и системы управления. Была реализована модель объекта управления без регулятора в программах Matlab и MWBridge. При этом была построена структурная математическая модель регулятора, исполнительного механизма и объекта управления.

После реализации системы управления и модели объекта в системе реального времени – осуществили исследование устойчивости системы с ПИ регулятором при разных значениях коэффициентов пропорциональности K и постоянной времени интегрирования T_i .

Реализован человеко-машинный интерфейс (мнемосхема), содержащий необходимые органы управления и наблюдения за работой ПИ-регулятора для визуализации процесса регулирования давления ТЕС-20 регулятора за фильтрами в первом контуре реактора ВВЭР-1000.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Денисов, В.П. Активные зоны ВВЭР для атомных электростанций. - Москва : Академкнига, 2004. - 220 с. - (Создание реакторных установок ВВЭР для АЭС).
2. Зверков, В.В. Автоматизированная система управления технологическими процессами АЭС: монография / В. В. Зверков. Москва : НИЯУ МИФИ, 2014. - 558 с.
3. Основы автоматического регулирования / Под редакцией В. В. Солодовникова. М., 1959. Т. 2; Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин. 4-е изд. М. 1988.
4. P. P. Vaidyanathan and T. Chen (May 1995). "Role of anticausal inverses in multirate filter banks -- Part II: the FIR case, factorizations, and biorthogonal lapped transforms". *IEEE Trans. Signal Proc.* Текст " volume SP-43
5. Основы автоматики и системы автоматического управления : Учебное пособие / Ю.Л. Муромцев, Д.Ю. Муромцев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008
6. Технологические системы реакторного отделения / Балаковская Атомная Станция ЦЕНТР ПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА – 2000
7. Зверков В.В. ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ АСУТП АЭС. Функциональные и структурные решения: Учебное пособие. – М.: НИЯУ МИФИ, 2018. – 132 с.
8. Попов Е. П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1978. – 256 с.
9. MWBRIDGE / MLB. Руководство пользователя. – Москва : Умикон. – 246 с.
10. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта / С. А. Андрушечко [и др.]. – Москва : Логос, 2010. – 604 с.
11. В. Р. Аксенов, С. В. Батраков, В.А. Василенко -«АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ» Издательство Политехнического университета, 2007.
12. Олег Страхов «Эксплуатационные режимы системы подпитки- продувки первого ввэр-1000 Требования пб» презентация, 28.02.2013
13. Н.А. Бабаков, А.А. Воронова «Теория Автоматического управления Ч.І. Теория Линейных Систем и автоматического управления» 1986. – 367с.
14. Обработка на АЭС https://portal.tpu.ru/SHARED/t/TAYLASHEVA/academic/Tab2/LK_8.pdf