

Оглавление

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

введение	4
объект и методы исследования	5
1. Техническое задание	6
1.1. Основные задачи и цели разработки асу учебного стенда	6
1.2. Требования к автоматике	6
1.3. Требования к техническому обеспечению	7
1.4. Требования к программному обеспечению	7
2. Основная часть	8
2.1. Описание технологического процесса	8
2.2. Разработка структурной схемы	9
2.3. Функциональная схема автоматизации	9
2.3.1. Функциональная схема автоматизации по гост 21.208-2013	10
2.3.2. Функциональная схема автоматизации по ansi/isa-5.1-2009	10
2.4. Выбор средств автоматизации	10
2.4.1. Выбор плк	10
2.4.1.1. Овен плк110-30[m02]	11
2.4.1.2. Siemens simatic s7-313c	12
2.4.1.3. Schneider electric modicon m340	13
2.4.1.4. Обоснованность выбора плк	16
2.4.2. Выбор датчиков уровня	16
2.4.3. Выбор расходомера	18
2.4.4. Выбор датчиков температуры	20

2.4.5. Выбор запорного механизма	22
2.4.6. Выбор насосов	25
2.4.7. Выбор нагревательного элемента.....	26
2.4.8. Выбор системы управления	27
2.4.8.1. Корпоративная scada система	27
2.4.8.2. Scada на основе чми панелей	28
2.4.8.3. Выбор scada системы	29
2.5. Разработка схемы внешних проводок.....	29
2.6. Получение математической модели.....	29
2.7. Написание программы	33
2.7.1. Механизм управления насосами.....	34
2.7.2. Механизм учёта объёма.....	35
2.7.3. Механизм переключения резервуаров	36
2.7.4. Механизм запуска переключений	38
2.7.5. Механизм регулирования температуры.....	39
2.8. Разработка scada системы.....	40
2.9. Расчёт регулятора.....	41
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.
3.1. Введение.....	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.
3.7. Заработная плата	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.
3.8. Страховые взносы	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.
3.11. Накладные расходы..	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.
3.12. Формирование бюджета нти	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.

4. Социальная ответственность**ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**
- 4.1. Введение.....**ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**
- 4.2. Производственная безопасность**ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**
- 4.3. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения**ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**
- 4.3.1. Недостаточная освещённость рабочей зоны; отсутствие или недостаток естественного света.....**ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**
- 4.3.2. Расчет искусственного освещения**ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**
- 4.3.3. Повышенный уровень шума**ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**
- 4.3.4. Повышенный уровень электромагнитных излучений**ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**
- 4.3.5. Повышенная или пониженная влажность воздуха**ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**
- 4.4. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения**ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**
- 4.4.1. Электрический ток (источник: ПК)**ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**
- 4.5. Экологическая безопасность**ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**
- 4.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**
- 4.6.1. Пожарная безопасность**ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**
- 4.7. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**
- заключение..... 44
- публикации**ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**
- список источников**ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**

Введение

Качественная автоматизация технологических процессов на производстве оказывает непосредственное влияние на увеличение производительности, снижает риски и производственные потери, технологические расходы электроносителей, а также повышает производительность труда. Средства автоматизации применяются в той или иной мере на каждом производстве, и, являясь высокотехнологичными устройствами, требуют умелого обращения, базовых навыков работы и знания алгоритмов управления ими.

Именно потому учащимся необходимо овладеть максимумом практических навыков работы на демонстрационном оборудовании до трудоустройства на предприятие, чтобы минимизировать вероятность производственной ошибки, способной повлечь за собой человеческие жертвы, нарушение работы производства, упущенную прибыль, а также максимально предотвратить потери. Для этой цели применяются учебные стенды, воссоздающие оборудование, применяемое на производстве.

Объект и методы исследования

В качестве объекта будет выступать учебный стенд «Автоматизированная производственная система Festo Didactic». Данный стенд состоит из имитационных моделей производственного процесса, в состав которых входят:

- Резервуары,
- Система трубопроводов,
- Насосы,
- Клапана,
- Механические задвижки,
- Нагревательный элемент,
- Механизм перемешивания.

Технологический процесс состоит из двух основных частей: узла смешивания и температурного реактора.

Узел смешивания состоит из четырёх резервуаров:

1. Резервуар для хранения первого компонента сырья,
2. Резервуар для хранения второго компонента сырья,
3. Резервуар для хранения третьего компонента сырья,
4. Буферный резервуар для смешивания.

На выходе первых трёх резервуаров находятся клапана. Задача клапанов – коммутировать нужный резервуар на первый насос, стоящий на общем трубопроводе после клапанов. Задача первого насоса – отбирать сырьё из выбранного резервуара в буферный резервуар. Для отбора смеси из буферного резервуара и дальнейшая её транспортировка на температурный реактор используется второй насос.

Температурный реактор фактически является пятым резервуаром в технологическом процессе. В состав температурного реактора входят: циркуляционный контур из нижней части резервуара в верхнюю часть, винтовая мешалка и нагревательный элемент.

1. Техническое задание

1.1. Основные задачи и цели разработки АСУ учебного стенда

Основными целями разработки АСУ учебного стенда являются:

- Демонстрация работы алгоритма смешивания сырья в заданных пропорциях;
- Демонстрация работы алгоритма поддержания температуры в температурном реакторе;
- Закрепление на практике теоретических и практических знаний обучающихся.

АСУ ТП реализуют следующие задачи:

- Автоматическое смешивание сырья в заданных пропорциях
- Автоматическое поддержание температуры
- Централизованный контроль технологическим процессом;
- Обеспечение надежной работы оборудования технологических сооружений и предотвращения аварийных ситуаций.

1.2. Требования к автоматике

Система автоматике учебного стенда «Автоматизированная производственная система Festo Didactic» должна обеспечивать следующее:

- Измерение:
 - Объёма готовой смеси;
 - Температуры готовой смеси;
- Управление:
 - Пропорциями смешивания;
 - Температурой реактора;
- Индикацию:
 - Критических уровней в резервуарах;
 - Температуры готовой смеси;
- Сигнализацию:

- Критических уровней в резервуарах;
- Отклонение температуры готовой смеси от нормы;

1.3. Требования к техническому обеспечению

Используемое в учебном стенде оборудование должно быть устойчивым к воздействию температур в диапазоне от 0 °С до +40°С и влажности не менее 80% при температуре 35°С.

Контроллер должен иметь резерв по каналам ввода/вывода не менее 20 % и иметь необходимые интерфейсы для передачи данных на верхний уровень АСУ ТП.

Степень защиты оборудования от пыли и влаги должна быть не менее IP20.

1.4. Требования к программному обеспечению

Программное обеспечение АРМ должно обеспечивать:

- Ручное управление исполнительными механизмами;
- Задание управляющих параметров;
- индикацию параметров технологического процесса и состояния исполнительных механизмов;
- индикацию аварийных ситуаций.

Средства создания программ для ПЛК должны включать в себя универсальные технические языки программирования и соответствующие средства разработки. Технологические языки программирования должны соответствовать стандарту МЭК 61131-3.

2. Основная часть

2.1. Описание технологического процесса

Функциональная схема технологического процесса изображена на рисунке 1 (приложение А). Технологический процесс заключается в производстве смеси заданной температуры в заданной пропорции из трёх видов сырья.

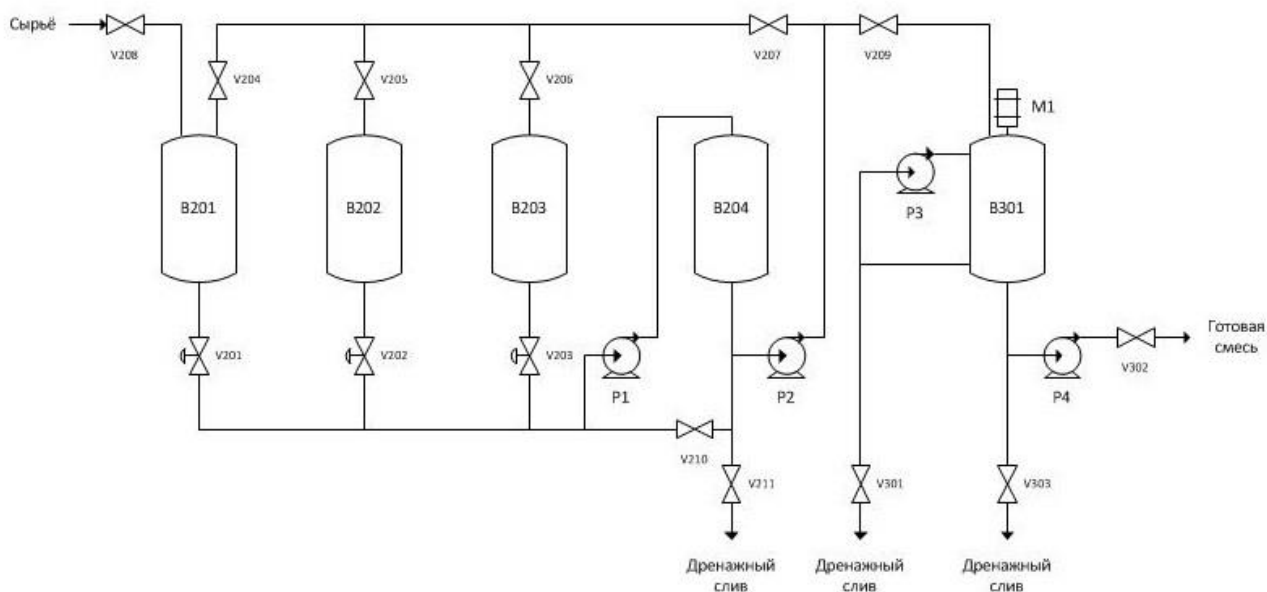


Рисунок 1. Функциональная схема технологического процесса

Из каждого сырьевого резервуара поочерёдно малыми дозами отбирается и дозируется определённый объём каждого вида сырья в буферную ёмкость. В буферной ёмкости происходит предварительное смешивание этих трёх видов сырья. При достижении достаточного уровня в буферной ёмкости, происходит отбор предварительной смеси в температурный реактор для дальнейшего более качественного смешивания и нагревания и поддержания заданной температуры. При достижении заданной температуры смесь можно считать готовой для отбора из системы для дальнейших производственных нужд.

2.2.Разработка структурной схемы

Управление данным технологическим процессом сводится к управлению клапанами, насосами и нагревательным элементом. Все эти устройства представляют исполнительные устройства нижнего уровня с двумя состояниями – включить/выключить. Поэтому управление исполнительными устройствами реализуется на дискретных сигналах управления 0–24 В.

Кроме исполнительных устройств в технологическом процессе должны присутствовать датчики уровня, расходомер и датчик температуры. Датчики уровня можно использовать как аналоговые с интерфейсом 4–20 мА, так и дискретные с интерфейсом 0–24 В. Расходомер и температурный датчик – только аналоговый с интерфейсом 4–20 мА.

Средний уровень представляет ПЛК контролирующий датчики и исполнительные механизмы нижнего уровня. Средний уровень реализует следующие задачи:

- Сбор и обработку параметров нижнего уровня;
- Автоматическое управление алгоритмом смешивания
- Автоматическое регулирование температуры
- Исполнение команд верхнего уровня

Верхний уровень состоит из компьютера соединённого с ПЛК при помощи специализированного интерфейса и необходимого программного обеспечения.

В приложении представлена трёхуровневая архитектура (приложение Б)

2.3.Функциональная схема автоматизации

Функциональная схема автоматизации (ФСА) определяет функциональную структуру и объем средств автоматизации технологических установок. Представляется в виде чертежа, с условными обозначениями технологического оборудования, коммуникаций, средств автоматизации (датчиков, контроллеров, исполнительных устройств) с указанием связей между технологическим оборудованием и средствами автоматики.

В соответствии с заданием разработаны функциональная схема автоматизации согласно ГОСТ 21.208-2013, а также стандарту американского общества приборостроителей ANSI/ISA-5.1-2009.

2.3.1. Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.208-2013

Функциональная схема автоматизации приведена в приложении (приложение В). На схеме выделены каналы измерения (1-6, 11-12, 16, 18) и каналы управления (7-10,13-15,17,19) [1]. Контуров 1-5 реализуют систему защит от критических уровней жидкости и сигнализируют о их возникновении. При достижении измеряемыми параметрами критического уровня, происходит сигнализация.

2.3.2. Функциональная схема автоматизации по ANSI/ISA-5.1-2009

Функциональная схема автоматизации приведена в приложении (приложение Г). Для разработки функциональной схемы автоматизации по ANSI/ISA-5.1-2009 были выбраны система дозирования и система поддержания температуры [2]. Согласно этой схеме осуществляются следующие операции:

- коммутация входных резервуаров с насосом;
- измерение отобранной дозы реагентов на каждом резервуаре;
- измерение температуры смеси в реакторе;
- поддержание заданной температуры смеси в реакторе.

2.4.Выбор средств автоматизации

2.4.1. Выбор ПЛК

Для автоматизации было рассмотрено 3 из самых распространённых моделей ПЛК разных производителей:

- ОВЕН ПЛК110-30[M02]
- Siemens Simatic S7-313C
- Schneider Electric Modicon M340

Требования при выборе ПЛК:

- Дискретных входов: 8;
- Дискретных выходов: 9;
- Аналоговых входов: 2;
- Наличие интерфейса верхнего уровня;
- Уровень защиты: не менее ip20
- Питание 24В постоянного тока

2.4.1.1. ОВЕН ПЛК110-30[M02]

ОВЕН ПЛК110-30[M02] обладает мощными вычислительными ресурсами и большим объёмом памяти, что делает его очень гибким решением для автоматизации технологических объектов. Поддерживает расширения в виде RS-485 модулей, таких как модули ввода/вывода, температурные измерители и регуляторы. Так же поддерживает цифровые протоколы: ОВЕН, Modbus и DCON. В ПЛК встроены часы реального времени, что полезно при создании систем, требующих учёт реального времени. Встроенный аккумулятор позволяет пережить временные перебои с питанием, не нарушая работоспособности системы [3].

Таблица 1. Основные технические характеристики ПЛК110-30[M02].

Параметр	ПЛК110-30[M02]
Количество входов	18
Количество быстрых входов	2
Количество быстрых счетчиков	2
Количество энкодеров	1 АВ
Количество выходов	12
Количество быстрых выходов	4
Количество портов RS-485	2
Количество портов Ethernet	1
Степень защиты корпуса	IP20
Климатический диапазон	От -40 до +55°С
Напряжение питания	От 9 до 30В постоянного тока От 90 до 264В переменного тока
Встроенный источник питания	24В 600мА
Центральный процессор	400 MHz
Объём оперативной памяти	16MB SDRAM

Объём Flash памяти	6MB
Система программирования	CODESYS v2.3
Время выполнения цикла ПЛК	По умолчанию: от 1 мс По прерыванию: от 20 мкс.
Цена	22 500 руб.



Рисунок 2. ОВЕН ПЛК110-30[М02]

2.4.1.2. Siemens Simatic S7-313C

Siemens Simatic S7-313C предназначен для построения систем автоматизации низкой и средней степени сложности [4]. Достоинства:

- Модульная конструкция;
- Работа с естественным охлаждением;
- Возможность применения структур локального и распределенного ввода-вывода;
- Широкие коммуникационные возможности;
- Блочная организация программы;
- Множество функций, поддерживаемых на уровне операционной системы;

Таблица 2. Основные технические характеристики Simatic S7-313C:

Параметр	Siemens Simatic S7-313C
Количество дискретных входов	24
Количество аналоговых входов	5
Количество быстрых счетчиков	3
Количество дискретных выходов	16
Количество аналоговых выходов	2
Степень защиты корпуса	IP20
Климатический диапазон	От 0 до +60°C
Напряжение питания	От 20,4 до 28,8В постоянного тока
Объём оперативной памяти	16kB
Объём Flash памяти	От 64kB до 8MB
Retain память	16kB MRAM энергонезависимая
Система программирования	Step 7
Время выполнения цикла ПЛК	По умолчанию: от 1 мс По прерыванию: от 20 мкс.
Цена	81 500 руб.



Рисунок 3. Siemens Simatic S7-313C

2.4.1.3. Schneider Electric Modicon M340

Основой системы Modicon M340 является монтажная шина (корзина), на которую устанавливаются блок питания, процессорный модуль и модули расширения (рис. 4). Архитектура позволяет соединять до четырех таких

монтажных корзин в единую систему с одним головным процессором. Таким образом, удаленный ввод/вывод организуется «внутри» контроллера и не требуется внедрение дополнительных полевых шин. Кроме блока питания все модули имеют одинаковую ширину, а потому занимают только одно установочное место на корзине. Максимальная вместимость корзины - 12 мест, что с учетом блока питания и процессора позволяет установить ещё 11 модулей расширения [5].



Рисунок 4. Модули и корзина для Modicon M340

Для контроллера M340 доступны следующие коммуникационные протоколы: Modbus RTU/ASCII, Ethernet Modbus TCP/IP, Modbus Plus, CANopen master, Profibus DP, AS-interface V3 master.

Процессорные модули делятся на две группы: к первой принадлежит процессор BMX P34 1000 со встроенным портом RS-485 Modbus RTU. Ко второй относятся четыре более производительных процессора BMX P34 2xxx, которые отличаются между собой типом встроенных интерфейсов - это может быть CANopen master, Ethernet TCP/IP или Modbus RTU, при этом один процессор может содержать до двух перечисленных портов. Каждый процессор комплектуется Flash-картой памяти типа SD (Secure Digital), которая используется для резервного копирования двух областей памяти контроллера: области программ, символов, комментариев и область констант. У контроллеров

со встроенным Modbus TCP/IP может быть установлена карта памяти, хранящая Web-сервисы, в частности Web-сервер.

Типичная производительность для контроллера Р34 1000 - 5400 булевых инструкций за миллисекунду, для контроллеров Р34 2xxx - 8100 булевых инструкций за миллисекунду. Модули дискретного ввода/вывода могут иметь до 64 каналов. Для ввода можно использовать сигналы 24, 48, 110 В как постоянного, так и переменного тока, а также 220 В перем. тока. Для модулей вывода доступны как транзисторные выходы 24 В пост. тока, так и релейные выходы 220 В перем. тока. Модули аналогового ввода поддерживают стандартные унифицированные диапазоны (4-20 мА, 0-10 В в различных вариациях), а также все виды датчиков температуры. Модули аналогового вывода доступны плотностью до 8 каналов с выходным сигналом 4-20 мА. Разрядность АЦП модулей аналогового ввода-вывода – 16 бит, или 15 бит плюс знак. К специализированным каналам относятся счетные модули, поддерживающие подключение энкодеров с push-pull выходом, модули подключения SSI-энкодера и модули контроля движения с РТО-выходом для управления сервоприводами.

Таблица 3. Основные технические характеристики Modicon M340.

Параметр	Modicon M340
Количество дискретных входов	До 64 на модуль
Количество аналоговых входов	До 8 на модуль
Количество выходов	До 64 на модуль
Количество аналоговых выходов	До 8 на модуль
Количество портов Ethernet	1
Степень защиты корпуса	IP20
Климатический диапазон	От 0 до +60°С
Напряжение питания	От 9 до 30В постоянного тока От 90 до 264В переменного тока
Объём Flash памяти	До 16МВ
Цена	100 000 руб.



Рисунок 5. Modicon M340

2.4.1.4. Обоснованность выбора ПЛК

Выбран ПЛК фирмы Siemens, так как удовлетворяет все требования и выгоднее с экономической точки зрения. ПЛК фирмы ОВЕН с экономической точки зрения ещё выгоднее, но он не обеспечивает поддержку аналоговых входов, что делает практически невозможным подключить аналоговые измерительные приборы, такие как расходомер и термосопротивление. ПЛК фирмы Schneider Electric имеет избыточное функциональное оснащение и с экономической точки зрения самый невыгодный.

2.4.2. Выбор датчиков уровня

Датчики предназначены для измерения уровня жидкости в резервуарах. Выбор пал между единичными аналоговыми датчиками и несколькими дискретными на каждый резервуар:

- Bernstein KCB-M18PS – дискретный ультразвуковой
- Bernstein KCN-T18PS – аналоговый ультразвуковой
- FineTek FG7-DFQ4 – аналоговый поплавковый

Таблица 4. Характеристики датчиков уровня

Параметр	Bernstein KCB-M18PS	Bernstein KCN-T18PS	FineTek FG7-DFQ4
Тип датчика	ультразвуковой	ультразвуковой	магнитный поплавковый
Тип выходного сигнала	0-24В	0-10В	4-20мА
Диапазон измерения	2-3см	До 1,5м	До 6м
Точность	+/-1%	+/-1%	+/-0,1%
Цена	От 3 600 р.	От 4 200 р.	От 24 000 р.

Датчика FineTek FG7-DFQ4 имеет преимущество перед другими в точности измерения за счёт поплавковой конструкции. Недостатком будет являться монтаж и обслуживание – со временем зазор между поплавком и штангой датчика забивается мусором и прочими побочными продуктами [8]. Датчик изображён на рисунке 6.



Рисунок 6

У ультразвуковых датчиков есть преимущество в обслуживании, но они теряют в точности измерения. В цене выбранные ультразвуковые датчики не сильно отличаются. Но, не смотря на это использовать 5 аналоговых датчиков Bernstein KCN-T18PS выгоднее, чем 8 дискретных Bernstein KCB-M18PS [6][7]. Но для такого количества аналоговых датчиков не будет свободных входов, что влечёт увеличение расходов на контроллерное оборудование. Поэтому выбор пал на дискретных датчиках уровня. Датчик изображён на рисунке 7.



Рисунок 7

2.4.3. Выбор расходомера

При выборе расходомера самый главный фактор был это габаритные размеры, что существенно сузило выбор. Второй фактор – влияние на поток жидкости (кавитация). Удалось найти всего 2 расходомера:

- JLC International IR-Opflow Flow Meter Type
- FS300a G3/4



Рисунок 8



2011sunnychen

Рисунок 9

Таблица 5. Сравнение расходомеров [9][10]

Параметр	JLC International IR-Opflow Flow Meter Type 2	FS300a G3/4
Тип датчика	роторный	роторный
Тип выходного сигнала	0-10В	0-24В
Диапазон измерения	1-30л/мин	1-60л/мин
Точность	+0,1%	—
Цена	От 8 000 р.	От 1 500 р.

Был выбран расходомер JLC International IR-Opflow Flow Meter Type 2 за малую погрешность измерения, которая была достигнута (как заявляет производитель) за счёт грамотно просчитанного и изготовленного ротора, в отличие от FS300a G3/4, где точность не указана вообще.

2.4.4. Выбор датчиков температуры

При выборе датчика температуры основные факторы были это влагозащищённость и диапазон измерения температуры. По этим требованиям были отобраны:

- ОВЕН ДТС-015
- Метран 270
- SAB Broeckskes pt100

ОВЕН ДТС-015 – вкручиваемый датчик, предназначенный для измерения температур сред, имеет широкий ряд монтажных глубин и влагозащищённый корпус. Обеспечивает возможность подключения как двухпроводной, так и трехпроводной схемы подключения [11]. Внешний вид представлен на рисунке 10.

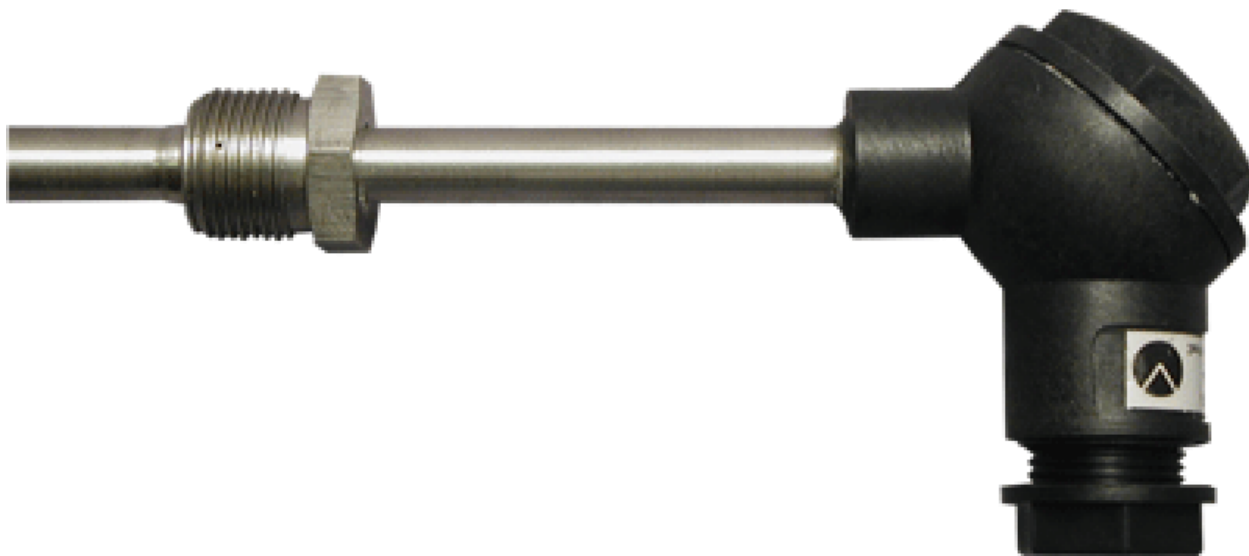


Рисунок 10

Метран 270 – вкручиваемый датчик, имеющий на борту преобразователь первичного сигнала в сигнал 4-20мА. Применение преобразователя позволяет сократить погрешности при передаче сигнала на большие расстояния. Имеет металлический ударопрочный и влагозащищённый корпус [12]. Внешний вид датчика показан на рисунке 11.



Рисунок 11

SAB Broeckskes Pt100 – вкручиваемый датчик в металлическом корпусе. Металлический корпус обеспечивает не только механическую прочность, но и защиту от электромагнитных помех. В корпусе имеет только первичный чувствительный элемент – платиновое термосопротивление, что в сочетании с короткой экранированной линией даёт очень низкую погрешность [13].

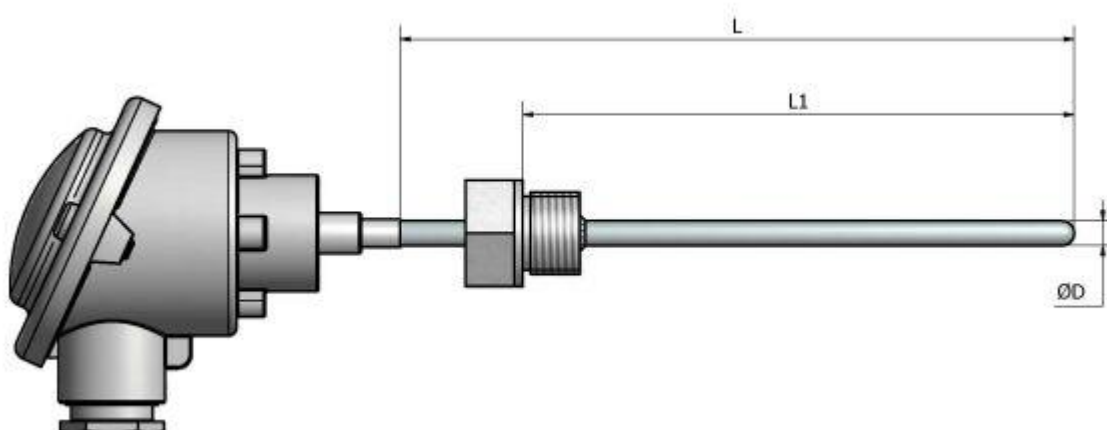


Рисунок 12

Таблица 6. Сравнение датчиков температуры.

Параметр	ОВЕН ДТС-015	Метран 270	SAB Broeckskes pt100
Тип датчика	100M	50M	Pt100
Тип выходного сигнала	4-20мА	4-20мА	Pt100
Диапазон измерения	От -50 до +150°C	От -40 до +600°C	От -50 до +400°C
Точность	1%	0,5%	0,1%
Цена	От 3 400 р.	От 8 200 р.	От 4 600 р.

Выбор пал на датчик SAB Broeckskes pt100 так как подходит по параметрам лучше чем остальные и имеет приемлемую цену. Так же выбранный ПЛК имеет возможность работать с такими типами датчиков без дополнительного оборудования, что удешевляет систему за счёт исключения преобразователей.

2.4.5. Выбор запорного механизма

Основная задача запорного механизма – это быстро и прочно закрывать проход жидкости в трубопроводе. Дополнительная задача – обеспечение отображение индикации отображения задвижки. Дополнительная задача тоже важна для учебного стенда – визуализация. Поэтому выбор осуществлялся из:

- Электромагнитный клапан ASCO серии 238 (от 4 400)
- Импульсные клапаны ASCO серии 353 (от 5 300)
- Пневмосборка от фирмы Festo

Электромагнитный клапан ASCO серии 238 – миниатюрное решение, выпускаемое под разный диаметр труб. Конструктивно клапан сделан так, что закрытое состояние обеспечивается давлением потока жидкости на мембрану клапана, прижимая её к седлу. Обратный поток жидкости без труда откроет клапан [14]. Внешний вид клапана представлен на рисунке 13.



Рисунок 13

Импульсные клапаны ASCO серии 353 – миниатюрное решение, выпускаемое под разный диаметр труб. Конструктивно клапан сделан так, что закрытое состояние обеспечивается давлением пружины и потока жидкости на мембрану клапана, прижимая её к седлу. Обратный поток жидкости под достаточным давлением откроет клапан [15]. Внешний вид клапана представлен на рисунке 14.



Рисунок 14

Пневмосборка от фирмы Festo состоит из:

- Шаровой задвижки
- Пневмопривода Kosaplast SD-50
- Распределителя Festo NVF3-MOH-5/2-K-1/4-EX
- Электромагнита на распределитель
- Визуального индикатора положения задвижки

Применение шаровой задвижки обеспечивает надёжное перекрытие потока жидкости в обе стороны, не оставляя возможности открытия задвижки обратным потоком. Но у данной системы есть недостаток – при недостаточном импульсном давлении в пневматическом ресивере (от куда отбирается давления для изменения положения задвижки) возможно залипание промежуточного состояния, что создаёт утечку импульсного давления, снижая тем самым шанс на успешное изменение положения.

Принцип работы следующий: электромагнит при воздействии электрического тока изменяет положение штока в распределителе. Распределитель в свою очередь создаёт давление в нужной половине пневмопривода, а пневмопривод изменяет положение шаровой задвижки. Механизм в сборе представлен на рисунке 15.



Рисунок 15

При недостатках первых двух вариантах, выбор пал на сборку Festo без рассмотрения финансовой стороны вопроса

2.4.6. Выбор насосов

Насос подбирался по диаметру труб – $\frac{3}{4}$ дюйма и напряжению питания – 24В. По данным параметрам подошло 2 насоса:

- Johnsom Pump CM30P7-1
- 0142YB-24-30

Насос CM30P7-1 фирмы Johnsom Pump является хорошим разборным вариантом – в случае поломки ремонтпригодность выше чем у неразборных аналогов. Кроме того насос имеет приемлемую производительность – 19л/мин. Так же насос имеет удобные крепления, что облегчает его монтаж [16]. Внешний вид насоса представлен на рисунке 16.



Рисунок 16

Насос 0142YB-24-30 имеет схожие характеристики с предыдущим насосом – отличие в цене и производительности [17].



Рисунок 17

Таблица 7. Сравнение насосов

Параметр	Johnsom Pump CM30P7-1	0142YB-24-30
Тип насоса	центробежный	центробежный
Напряжение питания	24В	24В
Производительность	19л/мин	3л/мин
Цена	От 8 200 р.	От 4 400 р.

Учитывая показатель производительности за единицу цены, то насос Johnsom Pump CM30P7-1 является оптимальным решением

2.4.7. Выбор нагревательного элемента

При выборе нагревательного элемента самым главным критерием являлась внутренняя защита от перегрева. Так как стенки всех резервуаров выполнены из пластика, допускать их нагрев выше 60°C. Удалось найти только один нагреватель с таким температурным ограничением.

Нагреватель Festo Heating Unit 170713 имеет встроенную температурную защиту 50°C. Имеет аналоговый и дискретный вход управления. Силовая часть питается от сети переменного тока 220В. Нагревательный элемент способен рассеивать 1000Вт тепла при номинальном напряжении сети 220В. При управлении через аналоговый вход мощность нагревателя можно искусственно занижать [18]. Внешний вид нагревателя представлен на рисунке 18.



Рисунок 18

2.4.8. Выбор системы управления

Для управления данным технологическим процессом не требуется огромных вычислительных мощностей и большого количества экранных форм. Поэтому в качестве средств управления рассматриваются не только сервера и ПК, но и ЧМИ. Рассмотрим 2 варианта:

- Корпоративная SCADA система на основе сервера и рабочей станция (ПК) со всем необходимым программным обеспечением
- Готовую панель ЧМИ

2.4.8.1. Корпоративная SCADA система

Корпоративная SCADA система основывается на сервере со специализированным программным обеспечением. При выборе сервера для SCADA систем самый главный критерий – это надёжность. Существует несколько фирм, которые на рынке серверов повышенной надёжности годами завоевали доверие. Самая популярной считается марка HP. Эту марку повсеместно используют на предприятиях Газпром. Самый популярный сервер считается HP ProLiant DL360 Gen 9 (рис. 19).



Рисунок 19

При выборе рабочей станции кроме надёжности, следует обратить внимание на количество поддерживаемых мониторов. Для реализации больших экранных форм одного монитора часто не хватает, именно поэтому используются мониторы с узкими рамками, для соединения в одну большую панель. Самыми надёжными рабочими станциями считаются станции фирмы HP (рис. 20).



Рисунок 20

Затраты при использовании корпоративной SCSDA системы:

- Сам сервер – от 270 000р.
- Рабочая станция – от 55 000р.
- Сетевое оборудование – от 150 000р.
- Специализированное программное обеспечение – от 150 000 р.

2.4.8.2. SCADA на основе ЧМИ панелей

ЧМИ – маленькие компьютеры, оснащённые преимущественно сенсорной панелью (рис. 21). На эту панель выводятся экранные формы с элементами управления и мониторинга состояния технологического объекта.



Рисунок 21

2.4.8.3. Выбор SCADA системы

Так как для управления данным технологическим процессом нет необходимости в больших вычислительных мощностях, выбираем ЧМИ панель. Она выполняет все необходимые функции и экономически выгоднее.

2.5.Разработка схемы внешних проводок

Для подключения датчиков и прочих приборов, расположенных за пределами шкафа автоматизации используются внешние проводки. Схема внешних проводок отражает реальную схему подключения приборов и кабелей по клемным коробкам. Это необходимо для максимального упрощения обслуживания и поиска поломки, а так же для пуско-наладки и дальнейшей модернизации системы. Кроме схемы подключений кабелей на схеме внешних проводок указывают марку кабеля, число и сечение жил, позиционный номер кабеля, шины заземления, подключение защитных экранов и таблицу сопоставления позиции с типом прибора.

Среди внешних приборов присутствуют как, дискретные приборы, так и аналоговые. Для всех приборов необходимо заземление. Приборы подключаются кабелем марки Flex-ОВ. Данный кабель в пластиковой оболочке предназначен для прокладки в кабель каналах и в помещениях, выпускается с разным количеством и сечением жил, удовлетворяющие потребности для реализации задач в данном технологическом процессе. Схема внешних проводок представлена в приложении

2.6.Получение математической модели

Для получения математической модели температурного реактора возьмём исходные данные:

- Объём воды: 5,5л
- Температура окружающей среды: 20°C
- Мощность нагревательного элемента: 1000Вт
- Стенки реактора не изолированы и отдают тепло в окружающую среду

Общий температурный баланс реактора:

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{с}} \quad (1)$$

где:

$Q_{\text{в}}$ – количество тепла, переданного воде в реакторе;

$Q_{\text{н}}$ – количество тепла, выделенного нагревателем;

$Q_{\text{с}}$ – количество тепла, переданного в окружающую среду

Впы

Рассчитаем количество переданной теплоты при изменении температуры на величину dT (2):

$$dQ_{\text{в}} = mc \cdot dT \quad (2)$$

От куда:

$$Q_{\text{в}} dt = mc \cdot dT \quad (3)$$

где:

$Q_{\text{в}}$ – количество переданной за единицу времени теплоты

dt – время, за которое было передано тепло

m – масса воды в резервуаре

c – удельная теплоёмкость воды

dT – температура, на которую изменилась температура воды

Из формулы (3) выражаем изменение температуры:

$$dT = \frac{Q_{\text{в}} \cdot dt}{mc} \quad (4)$$

где:

dT – температура, на которую изменилась температура воды

$Q_{\text{в}}$ – количество переданной за единицу времени теплоты

dt – время, за которое было передано тепло

m – масса воды в резервуаре

c – удельная теплоёмкость воды

Мгновенная температура воды рассчитывается по формуле:

$$T_{\epsilon} = T_0 + \frac{1}{mc} \int_0^t Q_{\epsilon} \cdot dt \quad (5)$$

где:

T_0 – начальная температур воды в реакторе

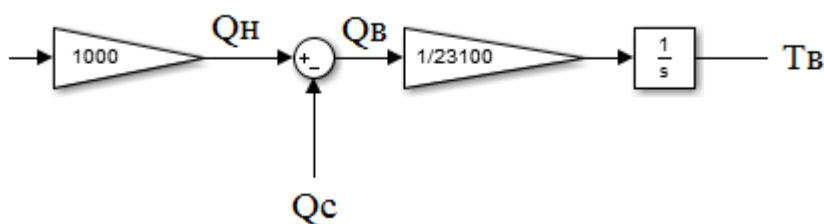
m – масса воды в резервуаре

c – удельная теплоёмкость воды

Q_{ϵ} – количество переданной за единицу времени теплоты

t – время, за которое было передано тепло

На основании (1) и (5) можно построить математическую модель:



При помощи формулы Ньютона определим зависимость между теплом, отдаваемым в окружающую среду водой и разностью температур воды и окружающей среды.

$$Q_c = k(T_{\epsilon} - T_c) \quad (6)$$

где:

Q_c – количество тепла переданного окружающей среде

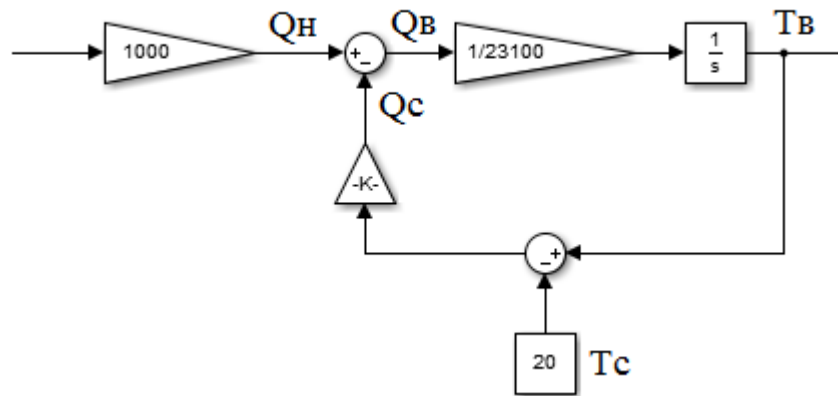
k – коэффициент теплопередачи стенок реактора

T_{ϵ} – температура воды

T_c – температура окружающей среды

Коэффициент Ньютона был подобран экспериментальным методом и численно равен $k = 1,1$

На основании (1), (5) и (8) была получена математическая модель



Не следует забывать, что нагревательный элемент – это инерционный объект, за счёт внутренних частей имеющих теплоёмкость. Нагреватель можно представить как инерционное звено передаточная функция которого:

$$W(s) = \frac{k}{(Ts + 1)} \quad (7)$$

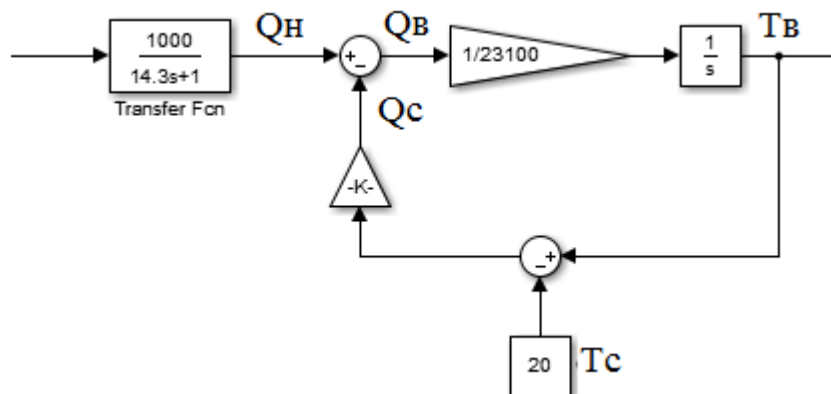
где:

k – мощность нагревателя

T – постоянная времени

Постоянная времени была получена в ходе отдельного эксперимента, и численно равна $T = 14,3$ с.

С учётом (7) математическая модель примет вид:



Реакция на ступенчатое воздействие

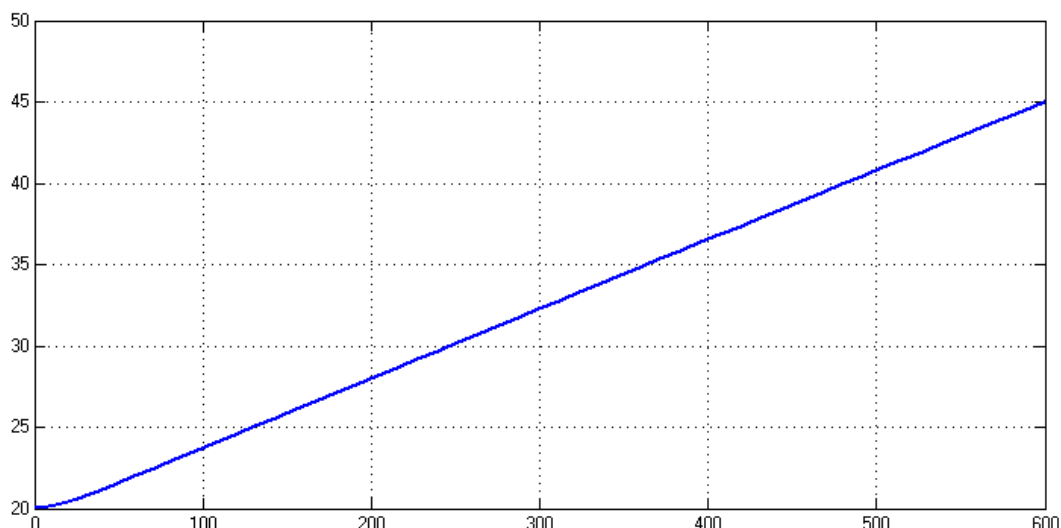


Рисунок 22

2.7. Написание программы

Для написания программы использовался фирменное программное обеспечение от разработчиков ПЛК Siemens – TIA Portal v13. Данное программное решение сочетает в себе всё необходимое для разработки программы ПЛК:

- Интерфейс для графических языков программирования
- Поддержка текстовых языков программирования
- Набор компиляторов
- Набор средств записи программ в ПЛК
- Набор программных эмуляторов ПЛК
- Средства для создания ЧМИ
- Средства для эмуляции ЧМИ

Программа состоит из двух основных частей:

- Регулирование температуры
- Механизм дозировки/смешивания

Регулирование температуры осуществляется встроенным решением – ПИД регулятором, который может работать как ПИ регулятор, который и был задействован.

Механизм дозировки более сложный, он состоит из более мелких механизмов:

- Механизм учёта объёма отобранной жидкости
- Механизм переключения активного сырьевого резервуара
- Механизм защиты от переполнения буферной емкости
- Механизм управления насосами

2.7.1. Механизм управления насосами

Алгоритм работы насосов должен обеспечивать ручное включение/выключение, а так же защитное отключение.

Программно это реализуется на RS триггере. На управляющий вход S подаётся сигнал с кнопки включения, на управляющий вход R подаётся сигнал с логического элемента ИЛИ, на который в свою очередь подаются сигналы блокировки с необходимых датчиков или узлов программы. Пример программы представлен на рисунке 23.

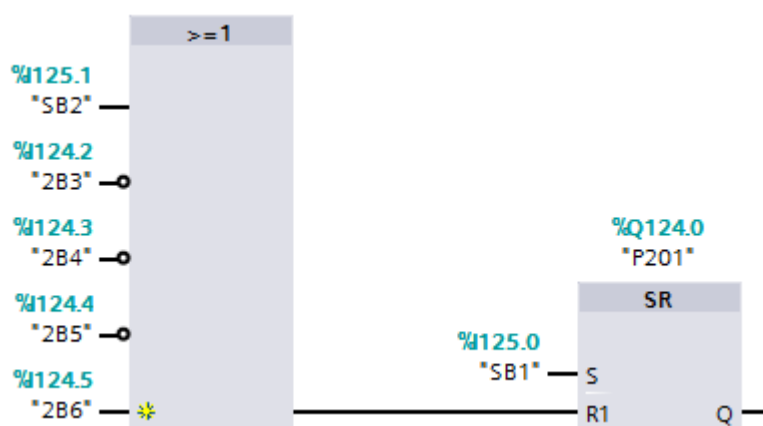


Рисунок 23

Пример реализации программы управления вторым насосом представлен на рисунке 24.

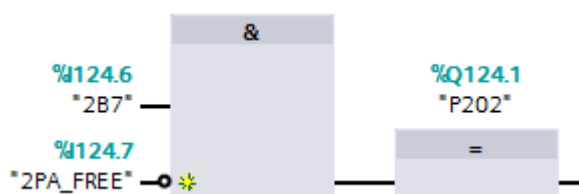


Рисунок 24

Похожим образом реализована работа остальных насосов

2.7.2. Механизм учёта объёма

В системе нет счётчиков, только расходомер – это означает, что приходящее значение с расходомера необходимо интегрировать. Интегрирование цифровых сигналов сводится к накоплению суммы моментальных значений с фиксированной частотой. Для такого рода задач в ПЛК Siemens предназначены программные блоки циклических прерываний, например OB35.

Алгоритм работы следующий: каждые 50мс выполняется программный блок OB35. В этом блоке происходит сложение текущего значения расхода со значением переменной отвечающей за активный резервуар. Программа блока OB35 представлена на рисунке 25.

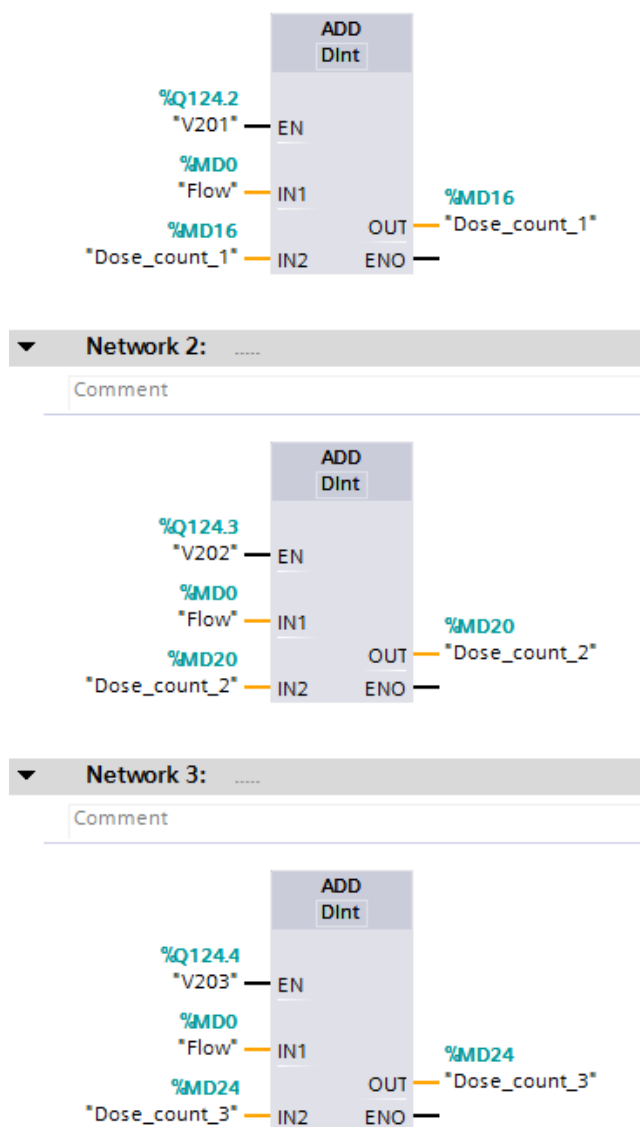


Рисунок 25

2.7.3. Механизм переключения резервуаров

Задача этого механизма – держать активным только один резервуар, не допуская одновременного учёта жидкостей с нескольких сырьевых резервуаров. Механизм производит циклическое переключение на следующий.

В общем цикле программы происходит постоянная сверка насчитанного значения с заданным значением объёма жидкости на всех трёх сырьевых резервуарах. При превосходстве насчитанного значения над заданным, происходит переключение на следующий сырьевой резервуар. Программа переключения резервуаров представлена на рисунке 26 и рисунке 27.

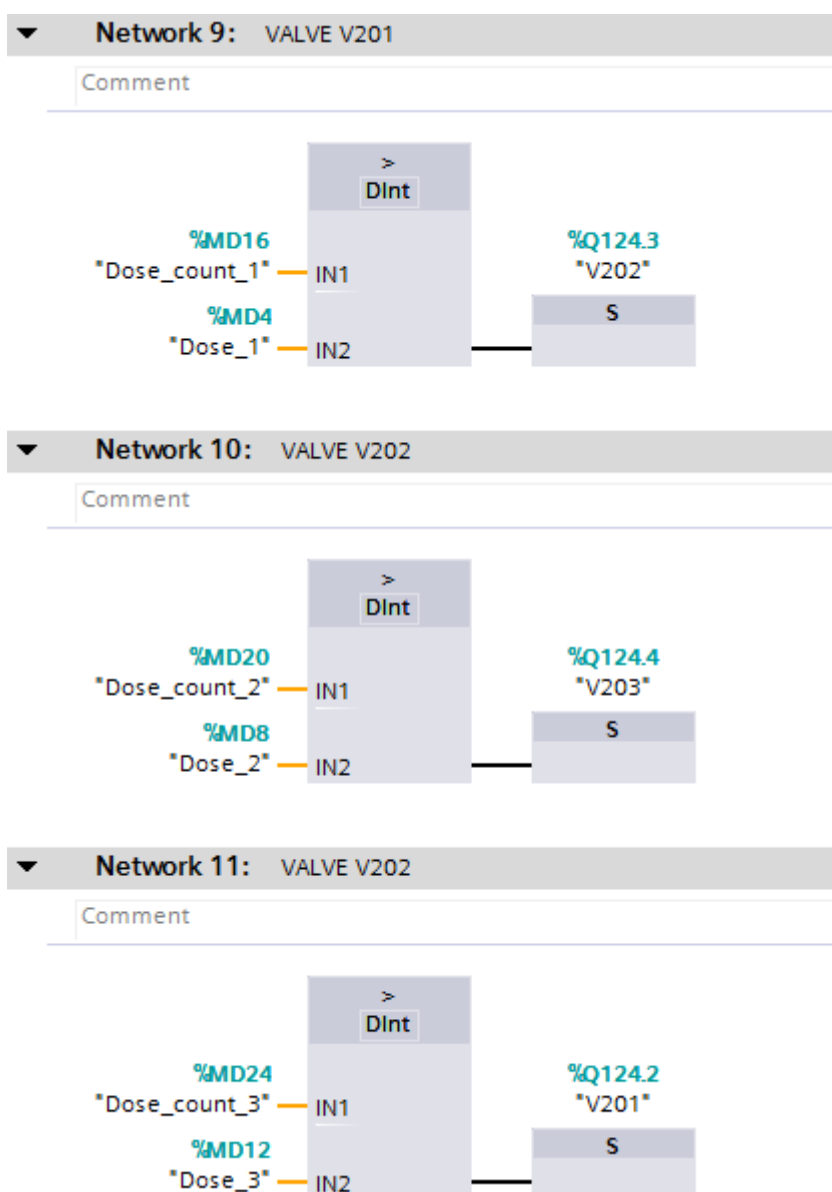


Рисунок 26

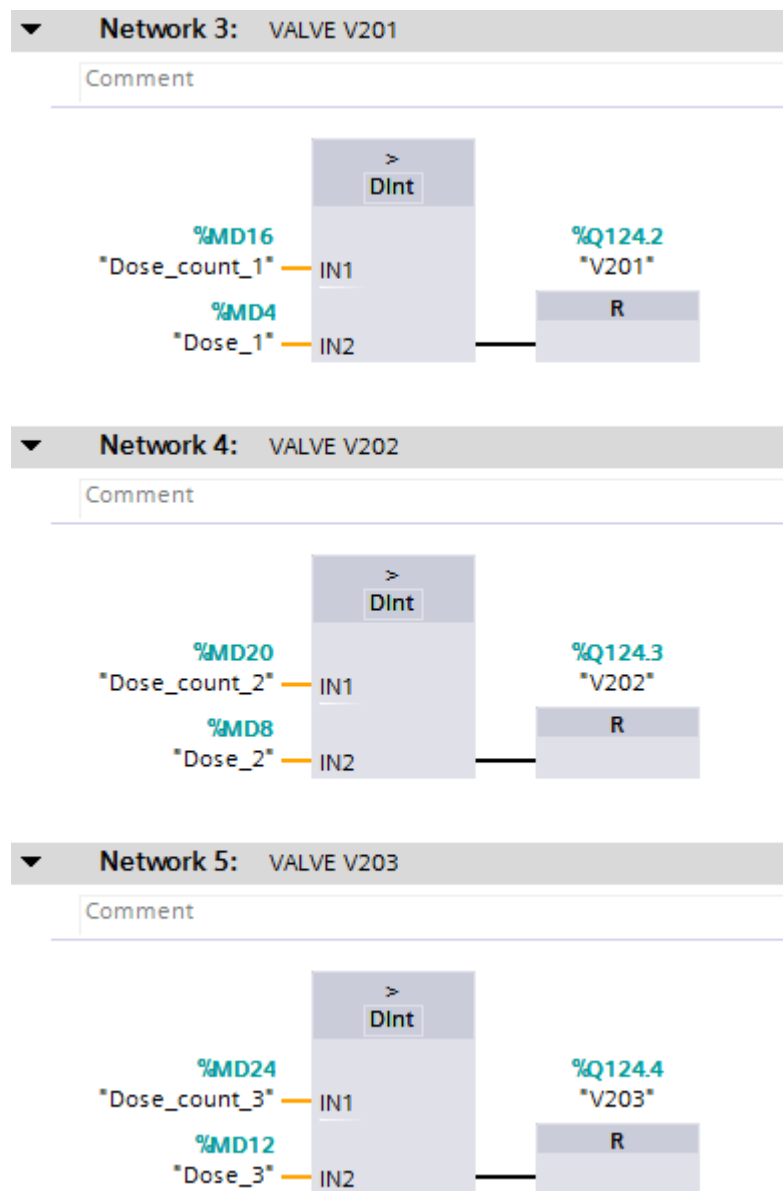


Рисунок 27

Так же при превосходстве насчитанного значения над заданным происходит обнуление счётной переменной текущего резервуара. Это необходимо во избежание неправильной работы алгоритма. Неправильность работы может заключаться в некорректном расчёте текущей дозы, а именно счёт не с нуля, а с предыдущего значения. Программа представлена на рисунке 28.

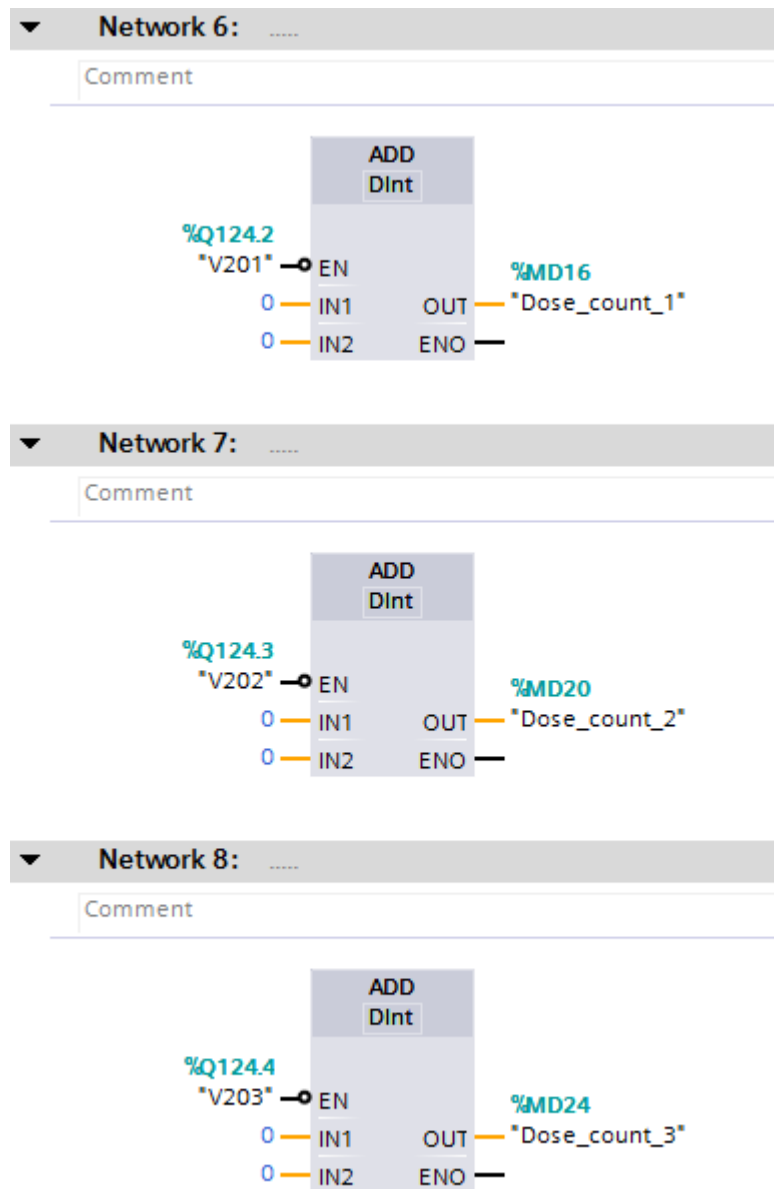


Рисунок 28

2.7.4. Механизм запуска переключений

При старте ПЛК клапана всех резервуаров находятся в неактивном состоянии. При этом представленный выше алгоритм работать не будет. Для его работы необходимо чтоб изначально был открыт один клапан.

Из этого следует, что перед началом работы нужно сделать разовое открытие клапана. Для разовых операций при старте и рестарте системы в ПЛК фирмы Siemens предусмотрен программный блок OB100. OB100 запускается только один раз – в начале работы.

Реализация программы алгоритма запуска переключений резервуаров представлен на рисунке 29.

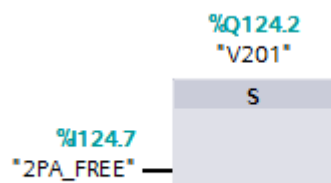


Рисунок 29

2.7.5. Механизм регулирования температуры

Как уже было сказано, регулировка температуры производится штатными средствами из пакета TIA Portal v13, а именно ПИ регулятором, программный блок которого показан на рисунке 30.

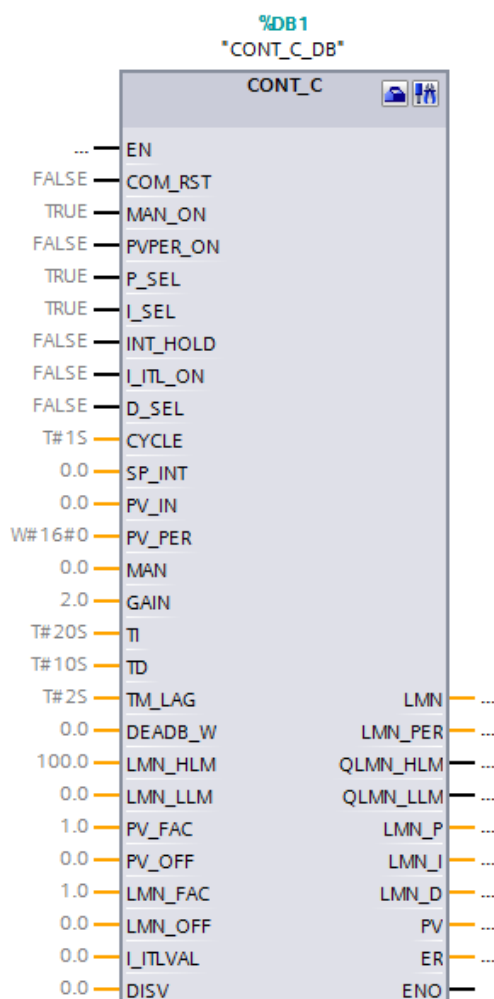


Рисунок 30

2.8.Разработка SCADA системы

Для управления данным технологическим процессом не требуется огромных вычислительных мощностей и большого количества экранных форм. Для данного технологического процесса необходимо управлять его запуском/остановкой, объёмами дозировок и температурой готовой смеси. Все эти задачи реализованы на одной экранной форме ЧМИ панели Siemens TP700 Comfort.

Для взаимодействия ЧМИ панели с ПЛК используется MPI интерфейс. Связь через внешний интерфейс обеспечивает обмен глобальными тэгами управления. На форме (рис. 31) каждый элемент управления запрограммирован на изменение конкретного тега – запись определённого значения. Например, кнопки «START» и «STOP» устанавливают значение булевому тэгу значения «1» и «0» соответственно.

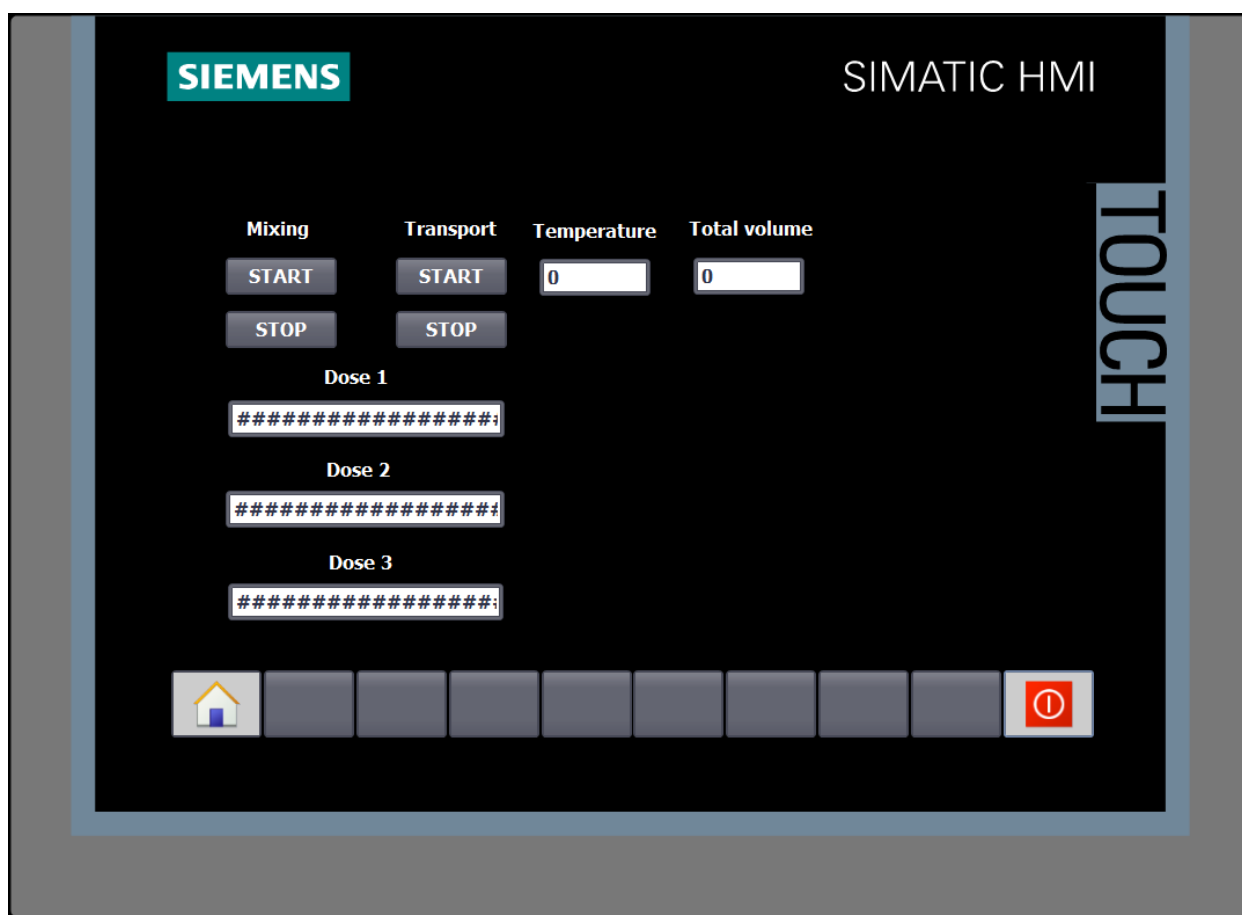


Рисунок 31

2.9.Расчёт регулятора

Перед настройкой регулятора соберём математическую модель замкнутой системы без регулятора.

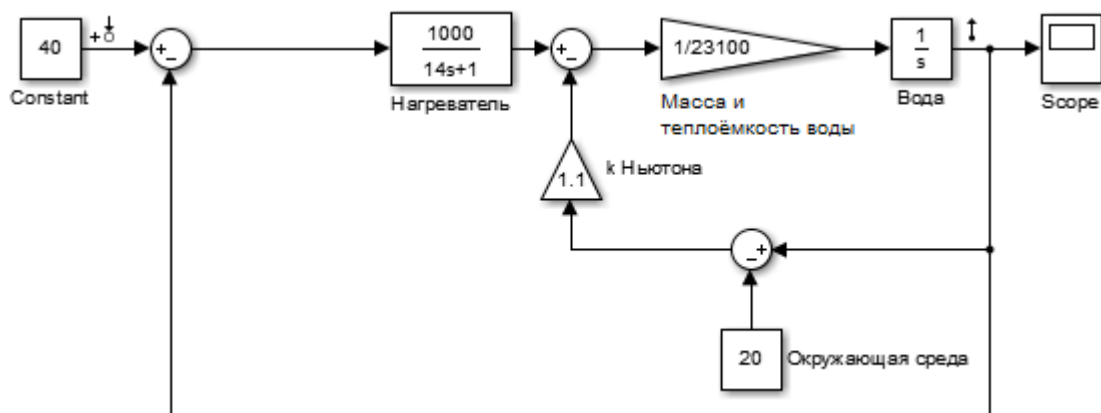


Рисунок 32

Исследуем переходный процесс замкнутой системы без регулятора

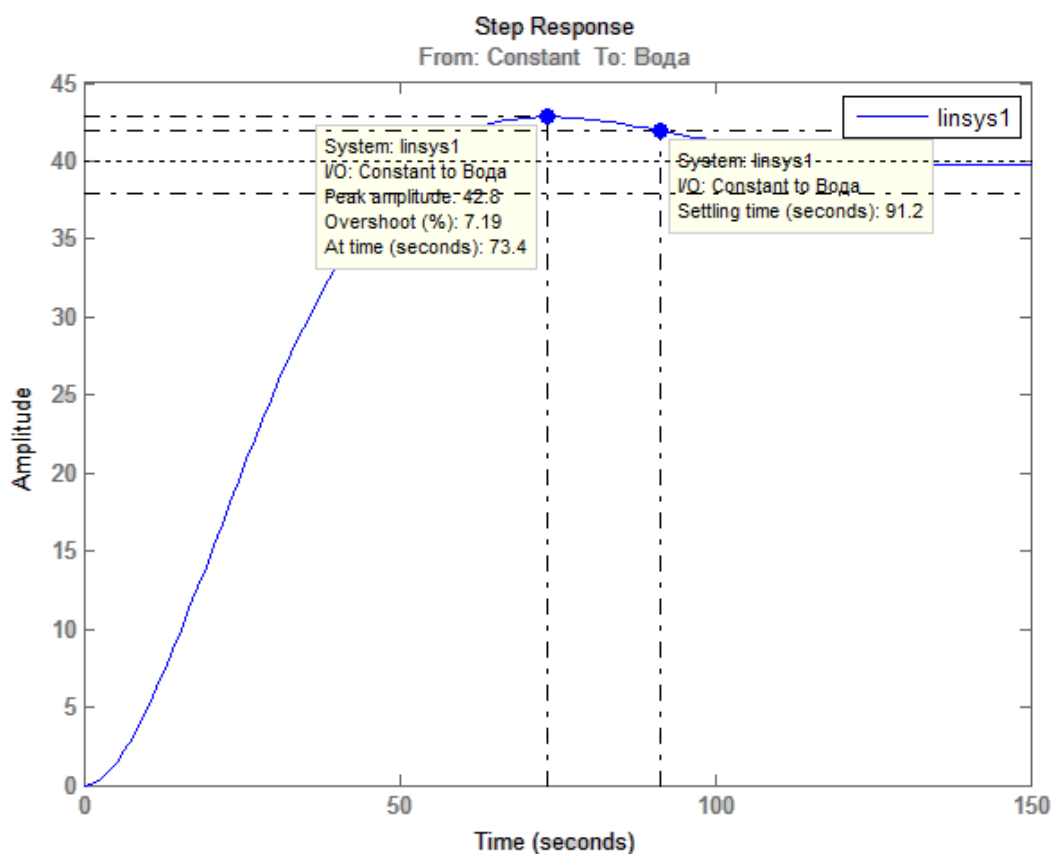


Рисунок 33

Из графика переходного процесса видно что перерегулирование составило 7,19%, а время переходного процесса – 91,2с.

А теперь соберём и исследуем замкнутую систему с ПИ регулятором

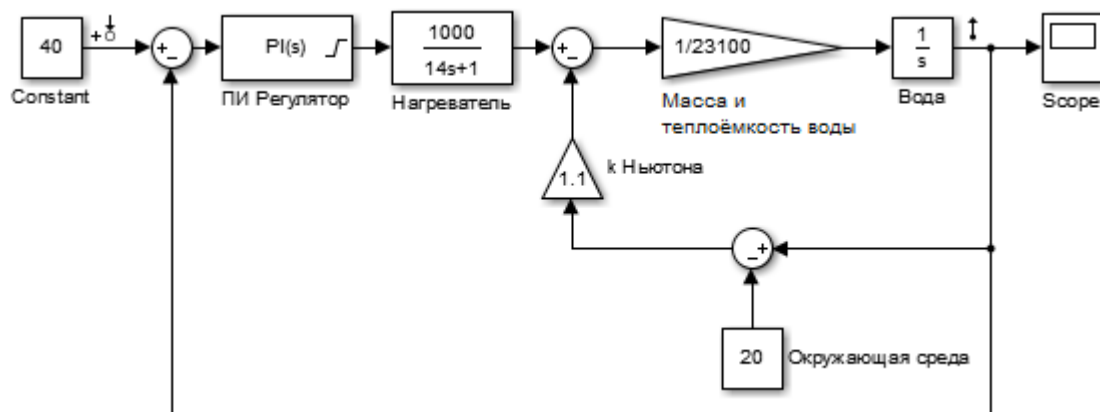


Рисунок 34

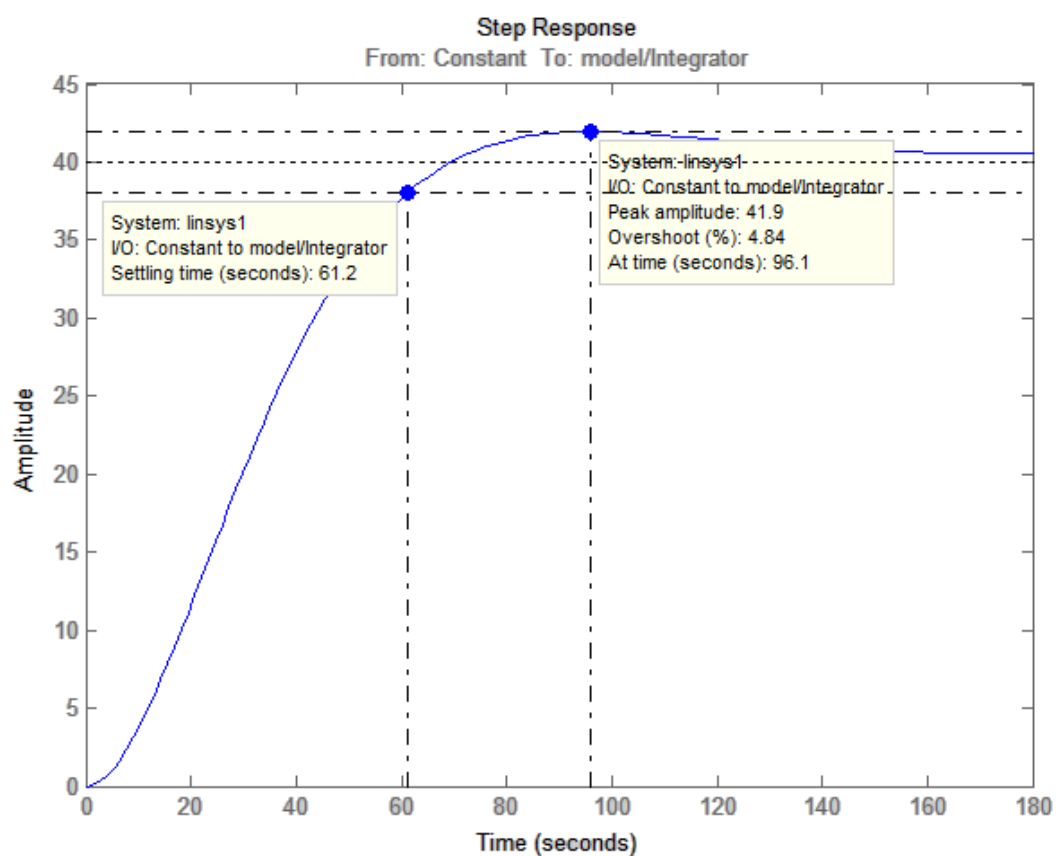


Рисунок 35

Сравним полученные результаты с результатами без регулятора

Таблица 8. Сравнение результатов

	Переходный процесс	Перерегулирование
Без регулятора	91,2с	7,19%
С ПИ регулятором	61,2с	4,84%

1.1.Итоговый результат

Переходный процесс математической модели с настроенным ПИ регулятором практически не отличается от реального переходного процесса в системе о чём свидетельствует график выхода на заданную уставку.

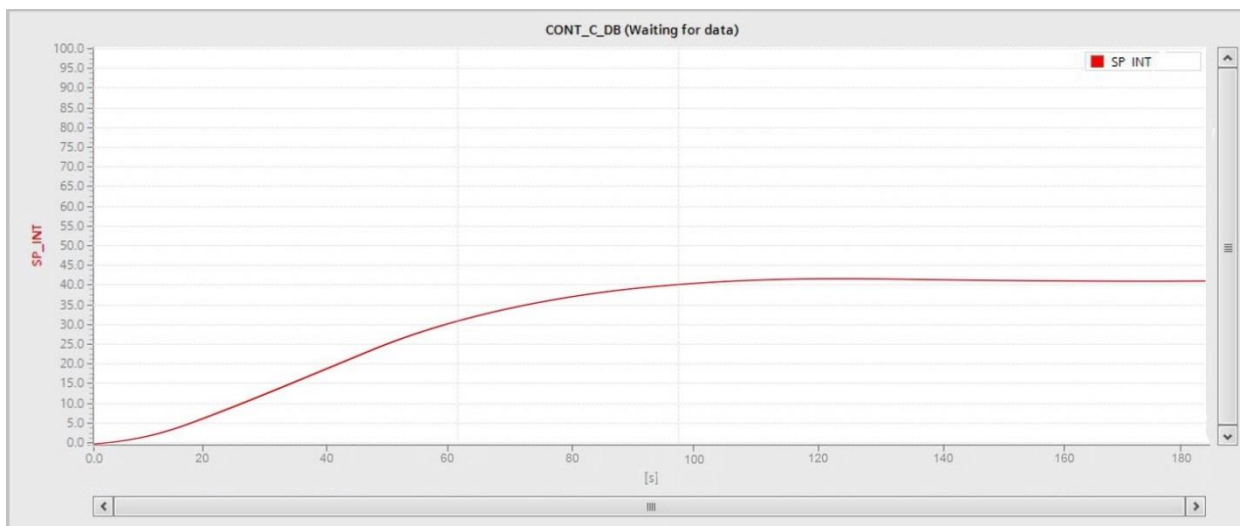


Рисунок 36

Заключение

В результате выполненной работы был автоматизирован учебный стенд Festo Didactic. Было подобрано оборудование для автоматизации. Создана техническая документация в виде функциональных схем автоматизации и схемы внешних проводок. Написана программа для ПЛК реализующая необходимый алгоритм работы. Была разработана экранная форма для ЧМИ панели. Было произведено математическое моделирование контура стабилизации температуры. Смоделированный переходный процесс практически не отличается от переходного процесса в физической установке.