

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки Автоматизация технологических процессов и производств  
Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Разработка автоматизированной системы управления участка пламенной денитрации урана</b>

УДК 681.51.01.661.87.095.818

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Бологов Андрей Александрович		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ВКР, Доцент ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	К.т.н.		
Руководитель ООП, Доцент ОИТ ИШИТР	Суходоев Максим Сергеевич	К.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская Марина Витальевна	К.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ИШХБМТ	Невский Егор Сергеевич			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель отделения ОАР	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	К.т.н.		

Томск – 2018 г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код рез- та	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
P1	применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации автоматизированных систем, включая подсистемы управления и их программное обеспечение.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-3, ОПК-1, ОПК-4, ОК-1, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации автоматизированных систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОК-1, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных автоматизированных систем и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий машинного обучения, современных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-15, ПК-18, ОПК-3, ОПК-6, ОК-1, ОК-5, ОК-6, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-18, ОПК-4, ОПК-6, ОК-1, ОК-4, ОК-6, ОК-8), Критерий 5 АИОР (п.1.3), согласованный с

	автоматизированных систем, устройств и подсистем.	требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации систем управления технологическим процессом и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-13, ПК-17, ПК-18, ОПК-2, ОПК-3, ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9), Критерий 5АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в автоматизированных системах, знать область их применения, в том числе в составе безлюдного производства.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-9, ОК-10), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Универсальные</i>		
P7	эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-7, ПК-8, ПК-16, ПК-17, ОК-1, ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК-9), Критерий 5АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ОПК-4, ОК-5), Критерий 5АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-8, ПК-15, ПК-16, ПК-18, ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОК-3, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных

	за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду	стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEAN</i>
P10	следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ПК-8, ПК-11, ПК-16, ОПК-3, ОПК-6, ОК-4), Критерий 5 АИОР(пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа Информационных технологий и робототехники

Направление подготовки: 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Отделение школы: Автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ61	Бологов Андрей Александрович

Тема работы:

Идентификация пользователей компьютерных систем на основе динамических характеристик клавиатурного почерка

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Техническое задание на разработку проекта, включающее технологическую схему объекта автоматизации, параметры технологического контроля, виды блокировок и параметры внешней среды.
---------------------------------	--

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений в области получения оксида урана, а также в области программирования контроллеров; исследование и проектирование систем автоматизации технологических процессов; разработка алгоритма управляющей программы технологическим процессом; выполнение разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»
<b>Перечень графического материала</b>	Презентация в формате *.pptx на 11 слайдах
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская Марина Витальевна
Социальная ответственность	Невский Егор Сергеевич
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Методы моделирования	
Основные требования к информационной системе. Выбор средств контролирования и диагностики. Функциональная схема автоматизации	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	12.02.2018
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Бологов Андрей Александрович		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Информационных технологий и робототехники

Направление подготовки: 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Уровень образования: Магистратура

Отделение школы: Автоматизации и робототехники

Период выполнения осенний /весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	7.06.2018
--	-----------

Дата контроля	Название раздела (модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
18.02.2018	Описание технологического процесса получения оксида урана	20
28.04.2018	Основные требования к информационной системе. Выбор средств контролирования и диагностики. Составление функциональной схемы автоматизации.	20
3.05.2018	Моделирование технологического процесса управления участка пламенной денитрации урана	50
15.05.2018	Раздел «Социальная ответственность»	5
30.05.2018	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 148 с., 35 рис., 16 табл., 32 источника, 15 прил.

Ключевые слова: УРАН, АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, ПЛК, SIEMENSSIMATICS7-1500, ПИД, АСУ ТП, МНЕМОСХЕМА, ПАНЕЛЬ ОПЕРАТОРА, КОМБИНИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Объектом исследования является автоматизированная система управления участка пламенной денитрации урана на основе программируемого логического контроллера SiemensSIMATICS7-1500.

Цель работы – создание автоматизированной системы управления участка пламенной денитрации урана.

В процессе исследования проводились исследования и изучения ПЛК SIMATICS7-1500. Исследовались условия получения оксида урана, методы и места применения, характеристики оксида урана.

В результате исследования изучены характеристики оксида урана, исследованы методы и места применения, а также положительные свойства. Разработан алгоритм автоматизированного процесса. Спроектирована АСУ ТП.

Область применения: атомная энергетика.

Экономическая эффективность работы заключается в сокращении числа рабочих при внедрении АСУ ТП, уменьшение ошибок человеческого фактора, уменьшение себестоимости продукции.

В будущем планируется внедрение в неавтоматизированное производство разработанной АСУ ТП, сопровождается созданием схемы внешних проводок, а также ПАЗ, АСКУЗ, АСКУЭ.

## Обозначения и сокращения

АС – автоматизированная система;

ПИД-регулятор – пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор;

ИО – исполнительный орган;

ОУ – объект управления;

САР – система автоматического регулирования;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

SCADA–Supervisory Control And Data Acquisition (система диспетчерского контроля и сбора данных);

HMI–human-machineinterface–«человеко-машинный интерфейс»;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

FBD – Function Block Diagram;

LAD – Ladder Diagram;

## Оглавление

Введение .....	13
1 Методы моделирования.....	15
1.1 Физическое моделирования.....	17
1.2 Математическое моделирование на ЭВМ.....	18
1.3 Комбинированное моделирование.....	19
2 Описание технологического процесса.....	22
2.1 Получение диоксидов урана из уранилнитрата.....	23
2.2 Плазменный процесс разложения нитратных растворов урана на диоксиды урана и азотную кислоту .....	26
2.3 Техническое задание на проектирование .....	29
3 Основные требования к информационной системе. Выбор средств контроля и диагностики. Функциональная схема автоматизации .....	32
3.1 Структурные схемы автоматизации .....	32
3.2 Разработка алгоритма.....	36
3.3 Функциональная схема автоматизации.....	38
3.4 Выбор контроллер управления.....	41
3.5 Контроллер Siemens SIMATIC S7-1500 .....	46
3.6 Состав аппаратуры и конструктивные особенности.....	47
3.7 Центральные процессоры .....	48
3.8 Среда разработки SIEMENS TIA PORTAL.....	52
3.9 Системная диагностика.....	54
3.10 Защита информации .....	54
4 Описание информационной среды.....	57
4.1 Технология OPC.....	57
4.2 Программный пакет MATLAB.....	60
4.3 Среда разработки TIA Portal v.12.....	61
4.3.1 Конфигурирование аппаратуры и топологии сетей .....	64
4.3.2 Интеллектуальный механизм Drag & Drop .....	64
4.3.3 Библиотечные функции.....	64

5	Моделирование системы .....	65
6	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение ...	80
6.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	80
6.1.1	Анализ конкурентных технических решений .....	81
6.1.2	SWOT-анализ .....	83
6.2	Планирование управления научно-техническим проектом .....	85
6.2.1	Иерархическая структура работ проекта .....	85
6.2.2	Контрольные события проекта .....	85
6.2.3	План проекта .....	86
6.3	Бюджет научного исследования.....	91
6.4	Затраты на электроэнергию .....	91
6.5	Основная заработная плата исполнителей темы .....	92
6.6	Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	95
6.7	Отчисления во внебюджетные фонды.....	96
6.8	Накладные расходы .....	96
6.9	Формирование бюджета затрат исследовательского проекта .....	97
6.10	Организационная структура проекта.....	97
6.11	Матрица ответственности .....	98
6.12	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	99
7	Социальная ответственность .....	104
	Введение .....	104
7.1	Описание системы .....	104
7.2	Графический интерфейс.....	107
7.3	Защита в случае аварийно ситуации.....	108
7.4	Защита от ввода некорректных данных .....	108
	Заключение.....	113
	Список использованных источников .....	114
	Приложение А.....	118
	Приложение Б .....	129

Приложение В.....	130
Приложение Г .....	133
Приложение Д.....	134
Приложение Е.....	135
Приложение Ж.....	136
Приложение З .....	138
Приложение И.....	139
Приложение К.....	140
Приложение Л.....	143
Приложение М.....	144
Приложение Н.....	146
Приложение О.....	147
Приложение П.....	148

## **Введение**

Автоматизация технологических процессов в значительной степени способствует увеличению производительности труда и улучшению качества производимой продукции. В нефтехимической и химической промышленности автоматизации отводится особая роль, в связи со скоростью протекающих процессов, а также с опасностью при протекании технологического процесса.

В ходе работы была осуществлена связи между контроллером Siemens и программным пакетом MATLAB. Переход от компьютерного моделирования к реализации конечного продукта, является одним из самых трудных. Это связано, в первую очередь, с тем, что математическая модель, насколько бы точной она ни была, не способна учесть всех особенностей итоговой системы. Именно по этой причине трудно переоценить значимость результатов комбинированного моделирования.

До недавнего времени проводить такие испытания могли лишь крупные предприятия и организации, которые были способны закупить или произвести не дешевое, но необходимое для моделирования оборудование. С развитием миниатюрных компонентов элементной базы, появилась возможность создавать компактные исследовательские лаборатории в институтах и университетах, при этом использовать оборудование, аналогичное применяемому в реальных системах.

**Актуальность** данной работы определяется тем, что комбинированная модель дает более полное представления о работе тестируемой системы, что позволяет предварительно её настроить и выявить потенциальные ошибки проектирования. В большинстве случаев системы управления работают с дорогостоящими и/или опасными объектами, в этом случае разработчик не имеет возможности полноценной проверки работы такой системы. С другой стороны, до ввода системы в эксплуатацию, ее работа должна на требуемом уровне обеспечивать управление объектом. Все эти проблемы позволяет решить комбинированное моделирование.

**Целью выпускной квалификационной работы** является разработка автоматизированной системы управления участка пламенной денитрации урана с использованием средств автоматизации Siemens.

## **1 Методы моделирования**

Совершенствование вычислительной техники, а также разработка математического программного обеспечения и относятся к важным задачам, связанным с необходимостью расширения возможностей процесса автоматизации проектирования. Одним из наиболее эффективных на данный момент методов моделирования и исследования свойств сложных динамических объектов, является машинное моделирование.

Такой подход дает возможность исследовать динамические процессы и системы, которые не поддаются точному аналитическому описанию и/или экспериментальному исследованию. Использование современной вычислительной техники и систем языков программирования позволяет перенести на ПЭВМ большую часть сложной и объемной работы по подготовке к проведению имитационных и полунатурных экспериментов.

Под моделированием какой-либо системы, объекта или явления, обычно понимают воспроизведение объекта, схожего с оригиналом, в иной форме, которая удобная для исследования, а также перенос результатов, полученных в процессе моделирования на моделируемый объект.

Объекты же при этом считаются подобными, если характеристики процессов, происходящих в них, отличаются определенным и постоянным образом, то есть в течение всего процесса, коэффициенты данного процесса постоянны или изменяются по определенной закономерности.

При этом, модель изучаемого объекта может быть другой физической природы, нежели оригинал. Этот факт, открывает широкие возможности для применения моделирования в проектировании различных объектов, с применением таких средств, как: различные имитаторы, динамические стенды или тренажеры.

В основе процесса моделирования лежат информационные процессы, так как в процессе создания модели, разработчики получают информацию о текущем объекте моделирования. Кроме того, в процессе моделирования или

экспериментов с моделью, вводится дополняется управляющая информация, а после этого происходит обработка и анализ полученных результатов.

В настоящее время широкое применение получили системы моделирования с высокой степенью автоматизации процесса моделирования. В таких системах степень автоматизации моделируемого процесса, сильно зависит от управляемости модели и объекта. Если система хорошо управляема, позволяет изменять множество параметров и переменных, что позволяет осуществить широкий эксперимент, и в свою очередь охватить большой спектр результатов.

Во времени моделирования необходимо учитывать некоторые вопросы, например, что от постановки задачи до анализа и интерпретации полученных результатов, может возникнуть группа научно-технических проблем, таких как:

- правильность идентификации объектов;
- выбор вида моделей;
- получение переменных объекта управления;
- построение модели и её реализация на ПЭВМ;
- взаимодействие с моделью в ходе экспериментального моделирования;
- проверка правильности и актуальности полученных результатов в процессе моделирования.

В зависимости от характера и сложности объекта управления и используемой модели, перечисленные научно-технические проблемы могут иметь разный приоритет и значимость. В одних экспериментах наиболее сложной проблемой оказывается – реализация модели на ПЭВМ, например, в случаях комбинированного или имитационного моделирования, в других – сложной может быть идентификация объекта [1].

Так как мы затронули разные виды моделирования, то необходимо их разграничить. Для исследования и анализа объектов и систем управления существует несколько различных видов моделирования (рисунок 1), например:

- математическое моделирование с использованием ПЭВМ;

- физическое моделирование;
- комбинированное моделирование.

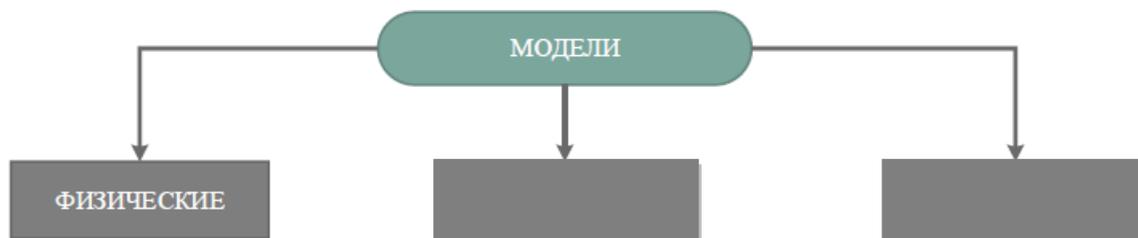


Рисунок 1 – Классификация моделей

Как можно понять из количества методов, каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Применение того или иного метода зависит от конкретного случая: в зависимости от объекта управления, системы в целом и условий её работы. При этом необходимо понимать, какой набор условий и правил обеспечивает необходимую точность моделирования реального объекта по отношению к его модели.

### **1.1 Физическое моделирования**

При использовании физического моделирования, процессы, которые протекают, как в модели, так и в моделируемом объекте, могут иметь как одинаковую, так разную физическую природу. Физическая модель может отличаться от исходного объекта многими параметрами: начиная от размеров и материалов из которых она изготовлена, до скорости протекания реакции. Примерами физического моделирования могут быть разные процессы и объекты, например, изучение аэродинамических свойств целого самолета или его отдельных частей в аэродинамической трубе или, например, изучение механических колебаний с использованием электрических схем [1].

Физическая модель может наиболее полно учитывать такие свойства исходного объекта, которые при теоретическом изучении не могут быть учтены и/или описаны в полной мере. Физическое моделирование основывается на теоретической базе теории подобия. Она позволяет пересчитывать

количественные характеристики, при описании модели, в количественные характеристики исходного объекта.

При использовании физического моделирования существует необходимость создавать отдельные модели для каждого конкретного объекта. Именно из-за этой особенности физическое моделирование ограничено применяется при исследовании сложных объектов и систем управления [1]. Так как изготовление сложных объектов требует больших материальных затрат, а изменение параметров модели требует зачастую создания новой модели. Чтобы избежать таких проблем, широко применяется математическое моделирование.

## **1.2 Математическое моделирование на ЭВМ**

При математическом моделировании исследование исходного объекта управления осуществляется с помощью модели, сформулированной с помощью математических выражений и реализованной, как правило, на ПЭВМ с использованием различных программных пакетов и языков программирования.

При математическом моделировании с использованием ПЭВМ в качестве объекта моделирования выступают исходные уравнения, которые описывают математическую модель исходного реального объекта, а в качестве модели выступают процессы, которые протекают в реальном объекте в соответствии с этими уравнениями. Они воспроизводятся на ПЭВМ в виде команд, путем реализации программ [2].

В математическом моделировании также можно выделить так называемое имитационное моделирование. Под имитационным моделированием понимают воспроизведение объектов с имитацией случайных величин и случайных процессов исходной модели, которые не представляется возможным выразить определенными математическими моделями.

Имитационное моделирование рассматривается так же, как управляемый эксперимент, который воспроизводится с помощью ПЭВМ. Результаты имитационных экспериментов могут влиять на итоговый вид модели после завершения серии экспериментов на ЭВМ [2].

### 1.3 Комбинированное моделирование

Комбинированное моделирование — это моделирование с использованием реальной аппаратуры, при котором часть системы заменяется математической моделью, а остальная часть является реальной.

Применение этого метода моделирование обосновано в тех случаях, когда не удается описать математически работу тех или иных элементов системы. Примером такого случая может послужить радиолокационных (РЛ) система автоматического управления (САУ) летательных аппаратов, в условиях, когда процесс приема-передачи сигнала, отраженного антенной, слишком сложно поддается математическому описанию [3]. В таких случаях приходится всю аппаратуру, не поддающуюся математическому описанию воспроизводить в натуре, а все другие звенья системы управления воспроизводить на ПЭВМ. Моделирование необходимо производить в реальном масштабе времени, а полученные таким способом системы управления позволяют анализировать как отдельные компоненты, так и всю систему в целом. Также комбинированное моделирование позволяет исследовать влияние различных факторов: кинематики, динамики натуральных элементов на работу системы управления, хотя их математическое описание отсутствует.

В процессе комбинированного моделирования удачно сочетаются достоинства как математического, так и физического моделирования. В настоящее время методы комбинированного моделирования часто применяются при проектировании разных по сложности и характеру систем управления.

Необходимость применения методов комбинированного моделирования возникает в том случае, если: [3]

- объект не может испытываться при наличии лишь одной математической модели;

- объект управления находится еще в стадии разработки и/или проектирования, при этом элементы устройства управления реально существуют;

- устройства имеют нелинейные характеристики: такие как трение или помехи, которые при составлении математической модели не учитывались;

- проведение натурных испытаний невозможно или слишком дорого.

Для осуществления комбинированного моделирования необходимо иметь устройства, которые позволяют осуществлять связь между моделью на ЭВМ с реальными компонентами системы.

Реальная часть системы      Устройство связи реальной части с формализованной  
Формализованная часть системы      Устройство связи реальной части с формализованной

Комбинированная модель – это система, или ее физическая модель, в которой отдельные функциональные части формализованы, то есть, они заменены адекватными математическими моделями. Моделирование таких систем происходит с помощью вычислительных средств в реальном масштабе времени. Для соединения реальной и формализованной части используются исполнительные механизмы и датчики. Исполнительные механизмы преобразуют выходные величины математической модели в воздействия, которые прикладываются к реальной части системы, а датчики служат источником данных для формализованной части системы. Целью комбинированного моделирования является [4]:

Построение формализованной функциональной части системы;

Выбор наиболее подходящих компонентов функциональной части системы, при условии, что вся система, кроме рассматриваемой части формализована, то есть заменена математической моделью.

В качестве реальных частей полунатурной модели обычно выбирают элементы, которые не имеют адекватных математических моделей. Реальной

частью модели могут быть различные объекты, например, часть автомобиля или человек, управляющей ей, а также любая сложная нелинейная часть системы. Формализованная же часть системы должна описываться адекватной математической моделью. Принципиальная и при этом наиболее сложная задача – это соединение реальной и формализованной частей системы в устойчивую модель.

Подводя итоги, можно сказать, что в процессе комбинированного моделирования удачно сочетаются достоинства как математического, так и физического моделирования, а также может быть достигнуто оптимальное взаимодействие между вычислительными и натурными экспериментами. В настоящее время методы комбинированного моделирования эффективно применяют при проектировании разнообразных автоматических систем управления.

## 2 Описание технологического процесса

Одним из способов получения тридиоксида урана является термическое разложение гексагидрата уранилнитрата. В своем топливном цикле уран может проходить через соединение  $UF_4$ , которое используют для двух целей. С помощью тетрафторида урана можно получить металлический уран для подачи в реакторы на природном уране. Он также дает возможность получить гексафторид  $UF_6$ , который является сырьевым материалом для обогатительных установок на основе газовой диффузии или центрифугирования.

Превращение урана в  $UF_4$  требует стадий очистки, поскольку концентраты урана, поступающий на очистительные заводы, все еще содержат много примесей. Во время этой стадии очистки концентрат урана растворяют в азотной кислоте для того, чтобы получить нечистый уранилнитрат, который очищают трибутилфосфатом (ТБФ). ТБФ позволяет экстрагировать чистый уранилнитрат из кислотного раствора.

При наличии чистого урана в состоянии нитрата в водном растворе, необходимо выделить его в твердой форме, чтобы превратить в тетрафторид или металл в соответствии с потребностью в диоксидах. Поскольку уран присутствует в валентности VI, необходимым промежуточным продуктом будет тридиоксид  $UO_3$ . Путем восстановления его можно перевести в  $UO_2$ , и затем под действием фтористоводородной кислоты получить  $UF_4$ .

Существуют два способа перехода от уранилнитрата в растворе к диоксиду  $UO_3$ . Первый способ состоит в добавлении аммиака с целью получения путем осаждения диураната аммония (ДУА), который термически разлагают в  $UO_3$ . Второй способ заключается в термическом разложении уранилнитрата после дегидратации. 12

Источником теплового воздействия на частицы диспергированного гексагидрата уранилнитрата являются газообразные продукты ("дымовые" газы), образующиеся после горения пропан-бутановой смеси в воздухе. В

результате их взаимодействия происходит ступенчатая дегидратация с образования тридиоксида урана.

### **2.1 Получение диоксидов урана из уранилнитрата**

Одним из способов получения тридиоксида урана является термическое разложение гексагидрата уранилнитрата В своем топливном цикле уран может проходить через соединение  $UF_4$ , которое используют для двух целей. С помощью тетрафторида урана можно получить металлический уран для подачи в реакторы на природном уране. Он также дает возможность получить гексафторид  $UF_6$ , который является сырьевым материалом для обогатительных установок на основе газовой диффузии или центрифугирования.

Превращение урана в  $UF_4$  требует стадий очистки, поскольку концентраты урана, поступающий на очистительные заводы, все еще содержат много примесей. Во время этой стадии очистки концентрат урана растворяют в азотной кислоте для того, чтобы получить нечистый уранилнитрат, который очищают трибутилфосфатом (ТБФ). ТБФ позволяет экстрагировать чистый уранилнитрат из кислотного раствора.

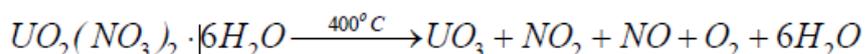
При наличии чистого урана в состоянии нитрата в водном растворе, необходимо выделить его в твердой форме, чтобы превратить в тетрафторид или металл в соответствии с потребностью в диоксида. Поскольку уран присутствует в валентности VI, необходимым промежуточным продуктом будет тридиоксид  $UO_3$ . Путем восстановления его можно перевести в  $UO_2$ , и затем под действием фтористоводородной кислоты получить  $UF_4$ .

Существуют два способа перехода от уранилнитрата в растворе к диоксиду  $UO_3$ . Первый способ состоит в добавлении аммиака с целью получения путем осаждения диураната аммония (ДУА), который термически разлагают в  $UO_3$ . Второй способ заключается в термическом разложении уранилнитрата после дегидратации.

Источником теплового воздействия на частицы диспергированного гексагидрата уранилнитрата являются газообразные продукты ("дымовые"

газы), образующиеся после горения пропан-бутановой смеси в воздухе. В результате их взаимодействия происходит ступенчатая дегидратация с образования тридиоксида урана.

Технологическая схема получения тридиоксида урана из растворов состоит из двух операций: а) выпаривание растворов до концентрации, соответствующей гексагидрату  $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ; б) дальнейшее прокаливании гексагидрата уранилнитрата, при котором происходит ступенчатая дегидратация с образованием тридиоксида:



Ход разложения уранилнитрата при непрерывном повышении температуры зависит от внешнего давления. Денитрация в вакууме протекает быстрее, чем при атмосферном давлении. При меньших скоростях нагрева уранилнитрат разлагается при более низкой температуре.

Оптимальной температурой разложения уранилнитрата считается  $400^\circ C$ , так как выше  $430^\circ C$  тридиоксид урана начинает отщеплять кислород. Следует считаться также с тем, что при низкой температуре получается более реакционноспособный тридиоксид урана, легче перерабатываемый на дидиоксид, а затем на тетрафторид урана. Поэтому процесс термического разложения уранилнитрата проводят при  $400-450^\circ C$ .

Вначале для денитрации использовались котлы-денитраторы с мощными мешалками якорного типа. Затем с целью интенсификации процесса денитрации стали проводить в аппаратах кипящего слоя. Раствор уранилнитрата, упаренный до содержания 70–100% гексагидрата, впрыскивается форсунками в аппарат кипящего слоя, который создается на основе частиц тридиоксида урана под действием воздушного дутья (рис. 1).

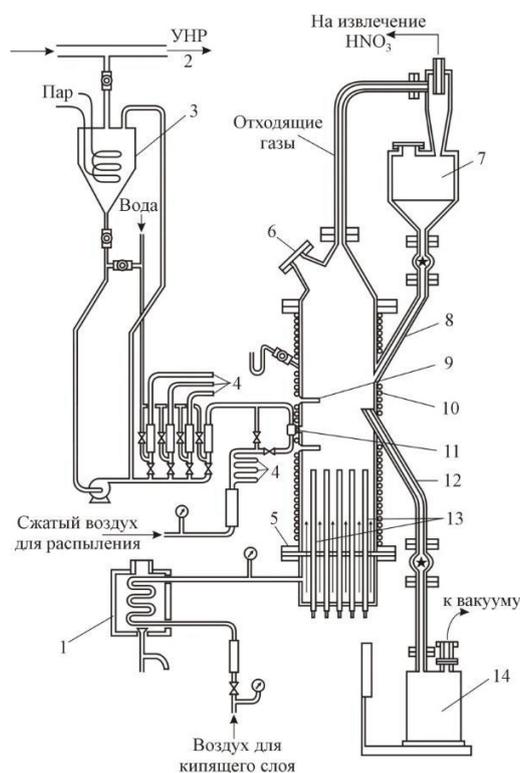
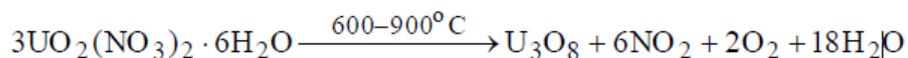


Рисунок 2 – Денитратор кипящего слоя.

1 – подогреватель воздуха; 2 – трубопровод для подачи раствора уранилнитрата; 3 – бак для уранилнитрата; 4 – трубопроводы к соплам; 5 – воздухораспределительная решетка; 6 – смотровое окно; 7 – бункер для улавливания порошка; 8 – труба для возврата улавливаемого порошка; 9 – гнезда для термопар; 10 – внешние нагреватели; 11 – распылительные сопла; 12 – линия вывода тридиоксида урана; 13 – внутренние нагреватели; 14 – сборник продукта.

По мере термического разложения уранилнитрата вновь образующийся тридиоксид урана постепенно заменяет первоначально загруженный. Необходимая температура создается с помощью теплоэлектронагревателей (ТЭНов), расположенных снаружи и внутри корпуса аппарата. Готовый продукт разгружается из верхней части аппарата через спускную трубу, а газообразные продукты реакции очищаются от пыли в циклоне. В аппарате кипящего слоя получается порошок с насыпным весом 4,3 г/см<sup>3</sup>, содержащий 99,4% UO<sub>3</sub>, 0,1% U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, 0,5% NO<sub>3</sub>, 0,15 % H<sub>2</sub>O.

Если денитрацию проводить при 600–900°С, то получается закись-окись урана



Остаточное содержание нитрат-иона и воды в тридиоксиде урана зависит от температуры кипящего слоя. Гранулометрический состав тридиоксида урана определяется температурой кипящего слоя и концентрацией уранилнитрата в питающем растворе. В начале работы частицы тридиоксида урана укрупняются или за счет цементации их каплями питания в агрегаты, или за счет укрупнения отдельных частиц при разложении на их поверхности уранилнитрата. Но затем гранулометрический состав тридиоксида урана стабилизируется, скорости укрупнения и измельчения частиц выравниваются.

Максимальный размер частиц наблюдается при наиболее концентрированном питании. Уменьшение температуры кипящего слоя приводит к некоторому измельчению частиц тридиоксида, что объясняется проникновением воды в поры агрегатов и последующим разрывом агрегатов; при более высокой температуре разложение уранилнитрата протекает лишь по поверхности диоксида.

Вследствие разложения уранилнитрата на поверхности и в порах тридиоксида урана процесс в кипящем слое выгодно отличается от других меньшей коррозией аппаратуры и меньшим загрязнением готового продукта.

## **2.2 Плазменный процесс разложения нитратных растворов урана на диоксиды урана и азотную кислоту**

Брутто-схема разложения нитратных растворов уранила при взаимодействии с плазменным теплоносителем на диоксиды урана и азотную кислоту показана на рисунке 3.



Рисунок 3 – Брутто-схема разложения нитратных растворов уранила на диоксиды урана и азотную кислоту

В соответствии с этой схемой в плазменном реакторе, представляющем собой изделие цилиндрической, конической или более сложной формы, снабженное водяным или газовым поверхностным охлаждением, встречаются два потока: поток предварительно дезинтегрированного (распыленного на капли) раствора и поток плазмы, химически совместимой с этим раствором. Оба потока равномерно перемешиваются в реакторе, при этом каждая капля раствора нагревается до кипения, из нее испаряется растворитель (в данном случае вода) до образования солевого остатка, последний быстро нагревается до высокой температуры; одновременно с нагревом протекает разложение до

образования диоксида находящегося в растворе металла и газовой фазы, содержащей диоксида азота, водяной пар, азот и кислород.

Технологическая схема имеет следующие основные аппаратурные элементы.

1. Источник электропитания плазмотрона (выпрямитель с системой автоматического регулирования тока, высокочастотный или сверхвысокочастотный генератор и т.п.).

2. Плазмотрон, в котором поток химически совместимого с раствором газа (в случае разложения нитратов воздух или его компоненты: азот, кислород, в зависимости от валентности выделяемого металла) превращается в поток низкотемпературной плазмы. При использовании в качестве плазменного теплоносителя воздуха или азота можно, в некоторых случаях, совместить процесс разложения нитратного раствора на диоксиды с процессом расширенной регенерации азотной кислоты.

3. Плазменный реактор, где перемешиваются потоки плазмы и раствора и происходит разложение раствора (по уравнению 1). Как уже было сказано, плазменный реактор это – охлаждаемое изделие цилиндрической или конической формы, снабженное, как правило, несколькими плазматронами и одним или несколькими дезинтеграторами раствора. При использовании нескольких плазматронов и дезинтеграторов очень интенсифицируются процесс смешения и процессы тепло- и массообмена при взаимодействии капель раствора с высокотемпературной средой.

4. Сепаратор, в котором проводится разделение дисперсной и газовой фаз; после сепаратора возникают два материальных потока: поток дисперсного диоксидного материала, являющегося целевым продуктом, и поток газовой фазы, содержащей, как видно из уравнения 1, диоксида азота, водяной пар, азот и кислород.

5. Конденсатор-абсорбер. В конденсаторе производится принудительная конденсация водяного пара и частичная абсорбция диоксидов азота, а в

абсорбере – рекомбинация и поглощение азотной кислоты. В результате из установки выходит поток побочного продукта – раствора азотной кислоты. В идеальном случае из установки должен выходить газовый выхлоп, содержащий азот и кислород, однако фактически требуется доочистка выхлопа от диоксидов азота до санитарных норм.

Химический состав диоксидного материала, его физические свойства, степень регенерации азотной кислоты и прочие параметры определяются в первую очередь режимом обработки раствора в плазме, а во вторую – режимом разделения дисперсной и газовой фаз. Процесс разложения капель нитратного раствора уранила по уравнению 1 аппроксимируется брутто-схемой на рис. 2, где показаны основные стадии превращения капли раствора в конечный продукт. Определение оптимального режима обработки дезинтегрированного раствора в плазме по математической модели представляет собой, фактически, разработку методологии расчета плазменного реактора и расчет оптимальной геометрии последнего; под оптимальной геометрией понимается такое соотношение длины реактора  $L$  и его диаметра  $D$ , при котором достигается заданная степень разложения раствора на целевые продукты, а минимальные удельные энергозатраты сочетаются с максимальным энергетическим КПД процесса. Разработка методологии расчета процесса фактически сводится к его математическому моделированию, для чего требуется разделение брутто-процесса на стадии и математическое описание этих стадий.

### **2.3 Техническое задание на проектирование**

Основными способами производства диоксида урана являются: растворение уранилнитрата во вращающихся автоклавах; растворение уранилнитрата в стационарных автоклавах. В промышленных условиях диоксид урана получают также растворением уранилнитрата безавтоклавным способом.

Существует необходимость в создании автоматизированной системы управления технологическим процессом получения диоксида урана

безавтоклавным способ. Вместо вращающихся автоклавов используется емкость с миксером – реактор (Приложение И) [4]. Емкость представляет собой эллиптический сосуд объемом 25 м<sup>3</sup> с эллиптической съемной крышкой. В крышке имеются штуцеры и входные отверстия через которые в емкость подаются растворы, жидкости и составляющие компоненты. На всех трубах, подведенных к емкости, установлены задвижки для герметичного закрытия емкости.

Для подачи уранилнитрата, установлен дозатор (Приложение Ж) [5]. С дозатора вещество поступает в емкость через металлическую воронку.

К емкости подведен парогенератор (Приложение З) [6] для подачи перегретого пара в емкость. Давление на выходе парогенератора устанавливается непосредственно на блоке управления парогенератора. Регулирование давления подаваемого пара осуществляется за счет положения задвижки. Давление в емкости должно составлять от 0,4 до 0,7 МПа.

От емкости отходит трубопровод на конденсаторную установку конденсации пара, с дальнейшим отводом на газоочистку и водоочистку.

К емкости подводится горячая вода, она является составляющей диоксида урана. Перед поступлением в емкость вода подогревается за счет подогревающих элементов трубопровода.

После процесса перемешивания сплав урана должно поступать на фильтр (Приложение М) [7], а затем на дозирующее устройство, которое должно поддерживать расход жидкости 20 м<sup>3</sup>/ч. Дозирующее устройство представляет собой плунжерный насос дозатор (Приложение Н) [8]. После дозатора сплав урана поступает на форсунку распыления совместно со сжатым воздухом.

Необходимо выполнить выбор датчиков контролирования технологических параметров, а также выполнить регулирование расходом сплава урана после дозатора.

Изучить материала по созданию и получения диоксида урана, если существует возможность ускорения и улучшения технологического процесса, изменяя при этом некоторые технологические параметры или величины, то воспользоваться этим и описать, что было изменено и усовершенствовано.

Автоматизация производства должна быть выполнена с использованием одного контроллера, который поддерживает возможность работы со SCADA-системой, имеет HMI, имеет характеристики и возможности для подключения панели оператора, также имеет несколько интерфейсов подключения. Возможность подключения к OPCсерверу является обязательным.

### 3 Основные требования к информационной системе. Выбор средств контролирования и диагностики. Функциональная схема автоматизации

В связи с необходимостью проектирования автоматизированной системы управления технологическим процессом, то стоит рассмотреть возможные варианты структурных схем автоматизации и сделать выбор наиболее рациональной и подходящей для вышеописанного процесса.

#### 3.1 Структурные схемы автоматизации

При разработке систем автоматизации используют типовые схемы автоматизации. В некоторые из схем вносят изменения относительно имеющегося или требуемого процесса. Ниже на рисунке 4 представлена схема автоматизации, при которой используется несколько контроллеров, соединенных по интерфейсу Ethernet через сетевой концентратор с локальным компьютером АРМ оператора. Каждый контроллер принимает информацию от датчиков, а также управляет основными исполнительными устройствами. Также к контроллеру через сетевой концентратор подсоединена панель оператора, с помощью которой выполняется управление исполнительными механизмами и собирается информация от датчиков.

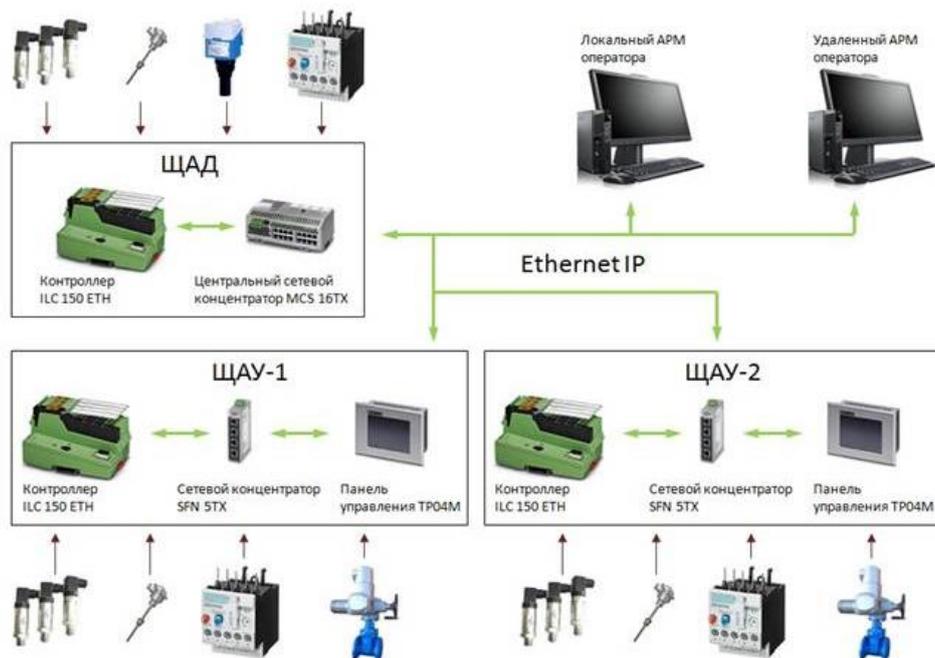


Рисунок 4– Структурная схема автоматизации

Ни рисунке 5 представления схема автоматизации на которой также присутствуют АРМ операторов и коммуникационное оборудование с помощью которого осуществляется связь компьютера и контроллера.



Рисунок 5 – Структурная схема автоматизации

Рассмотрев два вида структурных схем автоматизации, можно сказать, что они имеют достаточно большое сходство между собой, поэтому рассмотрим следующий вид структурной схемы, которая основана на контроллере SiemensS7-300. На рисунке 6 видно, что операторский пункт состоит из большого количества элементов, а также наблюдается разделение обязанностей между оператором SCADA-системы и оператором всех остальных функций. Для разрабатываемой системы необходимо выполнить сочетание трех структурных схем автоматизации.

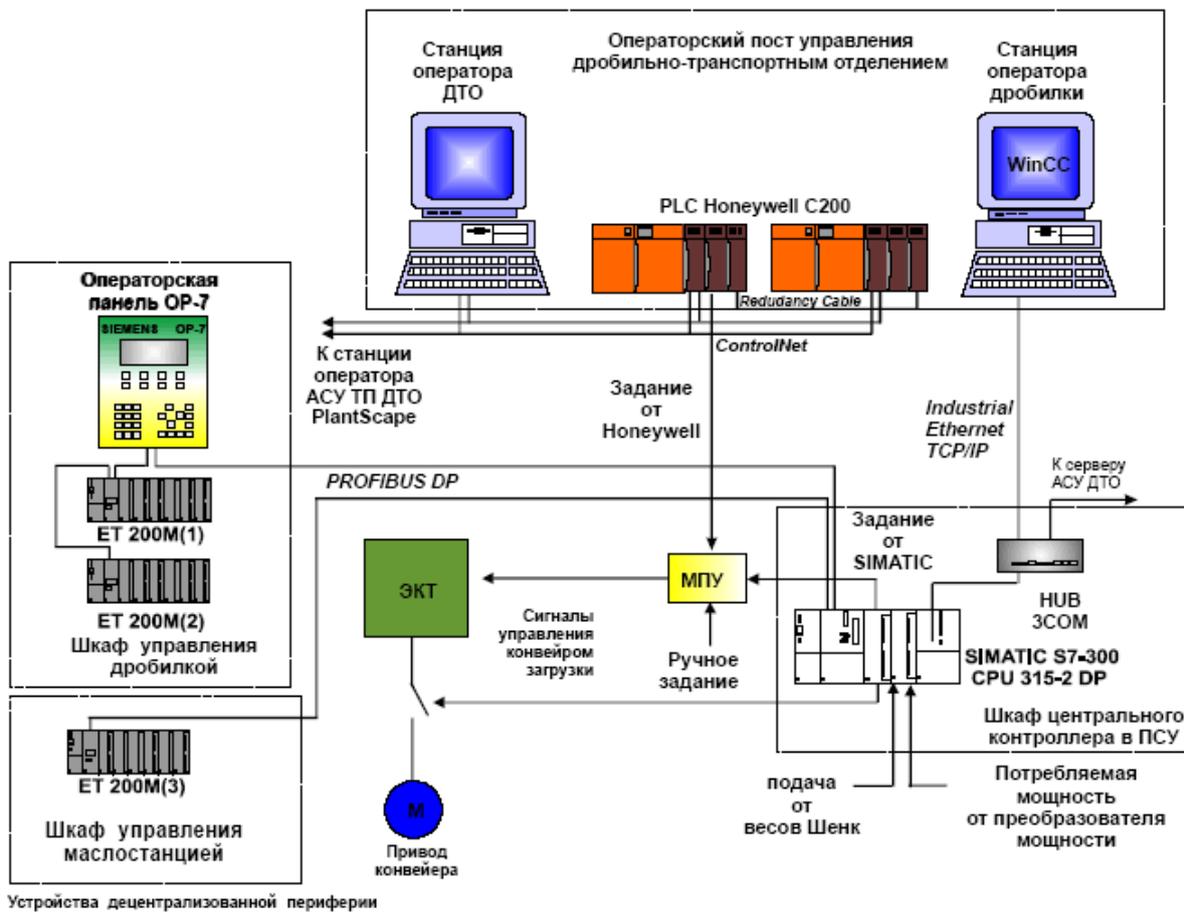


Рисунок 6 – Структурная схема автоматизации производством на контроллере Siemens

На рисунке ниже представлена структурная схема автоматизации для автоматизированного технологического процесса денитрации урана. На нем представлен контроллер, который осуществляет управление всеми исполнительными механизмами, а также датчиками контролирования основными параметрами. Помимо АРМ оператора присутствует панель оператора, которая связывается с компьютером для загрузки управляющей программы, а дальнейшее управление всем производственным процессом выполняется с панели оператора.

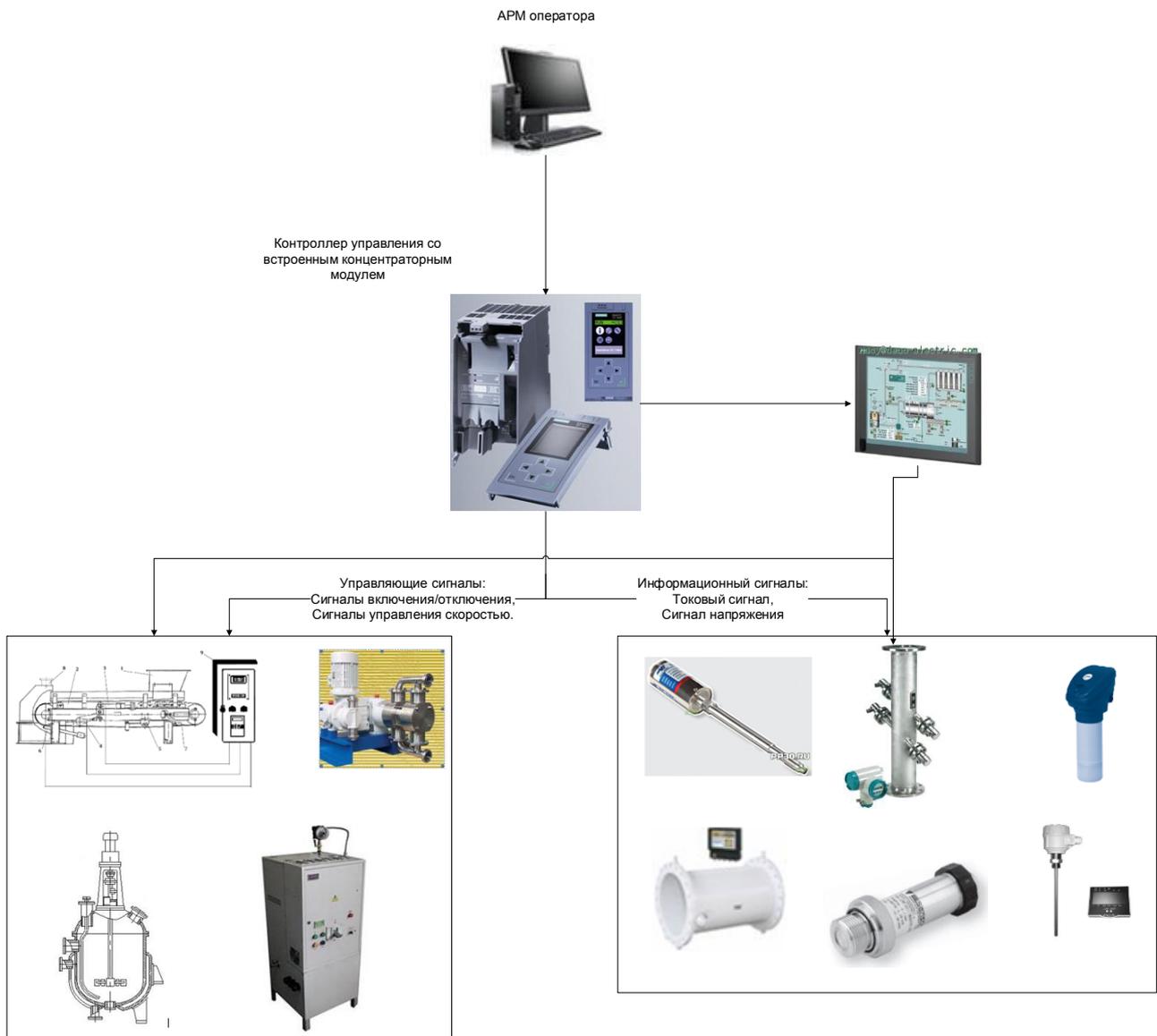


Рисунок 7 – Структурная схема автоматизации технологического процесса

После выбора структурной схемы автоматизации, описания технологии производства и рассмотрения технологической схемы оборудования, необходимо разработать функциональную схему автоматизации, а также выбрать датчики. Таким образом, можно перейти к выполнению следующего пункта [9].

### 3.2 Разработка алгоритма

На основе приведенной в прошлом разделе технологической схемы процесса денитрации урана необходимо разработать алгоритм на основании которого в дальнейшем будет строиться весь процесс автоматизации.

Любой технологический процесс начинается с проверки работоспособности исполнительных механизмов, а также датчиков и устройств, который функционируют во время всего процесса. Как правило, при проверке механизма проверяется и датчик, который отвечает за значение технологического параметра во время работы механизма, так для проверки скорости вращения двигателя перемешивающего устройства достаточно его запустить, а датчик скорости вращения выходного конца вала ротора электродвигателя передаст информацию на экран, либо на панель оператора.

После проверки всех агрегатов и электромеханизмов производится непосредственно запуск технологического процесса. На основе технологической схемы и технического задания, в самом начале производства должна производиться загрузка уранилнитрата. Датчик отмеряет объем подачи сплава и по достижению необходимого значения происходит его отключение и перекрытие задвижки ведущей в резервуар.

К загруженной сплав уранилнитрата подается горячая дистиллированная вода в том количестве, которое необходимо для получения готового продукта. Количество воды определяется исходя из условий плотности и консистенции готового продукта. После поступления в резервуар необходимого количества воды перекрываются задвижки, ведущие к резервуару.

Процесс денитрации в данном случае заключается в упаривании азотнокислых растворов, содержащих 65 – 70 г/л урана до гексагидрата уранилнитрата  $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ . Необходимое давление в резервуаре должно быть 1 МПа, измеряется оно датчиком давления и при достижении пар прекращает подаваться, если при производстве давление поднимается то при достижении 1,1 МПа открывается задвижка ведущая к конденсаторной

установке, таким образом давление стравливается. Помимо подачи пара включаются нагревательные элементы реактора и начинается упаривание, проводящее при 120 – 140°C до плотности раствора около 1200 г/см<sup>3</sup>. Далее начинается процесс термического разложения уранилнитрата при 400-450°C, то есть открывается задвижка, ведущая острый пар в реактор, и одновременно с этим включается парогенератор, создающий этот пар. Как только температура достигнет 450°C происходит включение обогревательных элементов трубопровода, которые ведут к фильтру, от фильтра к дозатору, с дозатора на форсунку, а также часть трубопровода ведущего от дозатора на аварийную емкость. После включения нагревательных элементов происходит открытие задвижки ведущей на очистительный фильтр, где происходит очистка полученного вещества, затем вещество поступает на фильтр дозатор, после которого вещество поступает на линию вывода тридиоксида урана.

Во время проведения производства, система отслеживает параметры, которые могут повлиять на качество полученного диоксида урана, а также на параметры, которые могут причинить вред людям и оборудованию. Если возникает аварийная ситуация, то происходит немедленный сброс вещества в аварийную емкость и отключаются все работающие агрегаты и механизмы.

### **3.3** Функциональная схема автоматизации

Функциональная схема автоматизации (Приложение Б) показывает, как протекает процесс получения диоксида урана, основываясь на разработанном выше алгоритме.

Вся система получения диоксида урана подключена к магистралям: сжатого воздуха, дистиллированной воды. Также имеется магистраль отвода газа из перемешивающего устройства на систему газоочистки.

Перед включением всех систем для производства производится проверка оборудования. Фильтр проверяется подачей воды через него и оценивается давление до фильтра и после него.

Задвижки проверяются методом закрытия и открытия. При проверке задвижек, которые регулируют ту или иную величину, отслеживают значение угла при открытии и закрытии. Механизм вращения мешалки реактора проверяют на отсутствие визуальных нарушений. Привод дозатора проверяют на вращение ротора двигателя, который приводит в движение механизм дозатора. При работоспособности всех узлов и агрегатов переходят к производству.

Во время протекания процесса в резервуаре может быть давление более 1МПа, а значит его необходимо уменьшать, что способствует отводу воздуха из резервуара. Перед отводом воздуха на газоочистку необходимо пропустить его через установку охлаждения пара, так как температура в перемешивающем устройстве может достигать 450°С и при его охлаждении будет выпадать осадок в виде воды, которая будет отводиться на очищающую установку воды.

В системе имеется резервуар для уранилнитрата, в данный резервуар они загружаются в относительно рассыпчатом состоянии, такое состояние необходимо для доставки данного вещества в резервуар для перемешивания. Уранилнитрат поступает в резервуар с помощью дозатора, который имеет шкаф управления, сигналы с этого шкафа поступают на контроллер, где

вычислительное устройство выполняет все операции по управлению дозатором. Данный дозатор выбирать не нужно, так как он уже имеется в ТЗ.

В качестве устройства для перемешивания используется реактор эллиптический со съёмной эллиптической крышкой и встроенными в корпус нагревательными элементами. Двигатель перемешивающего устройства, для данного объема и рамной мешалки, изготовителями реактора рекомендуется использовать трехфазный асинхронный двигатель с редуктором.

Процесс пламенной денитрации урана протекает под давлением 1МПа, данное давление нужно создавать, подавая в реактор острый пар (150°С - 160°С) под давлением, также при подаче такого пара повышается температура в реакторе, а для получения диоксида урана необходима высокая температура. Для выполнения этих условий необходимо использовать промышленный парогенератор. Помимо пара в резервуар подается горячая вода, как правило. Расход воды измеряется расходомером (Приложение К) [10], который установлен на трубопроводе подачи воды в резервуар. В зависимости от диаметра трубопровода используется датчик расхода с разным присоединительным диаметром, выбранный датчик может использоваться с широким диапазоном диаметров трубопровода.

Измерение давления в резервуаре осуществляется с помощью датчика давления расплава РТ 112 (Приложение Л) [11]. Данный датчик устанавливается с помощью фланцевого соединения в ответвлении трубы после задвижки. Во время начала процесса задвижка ограждающая емкость от датчика открывается.

В резервуаре установлено 3 датчика температуры, 2 из них устанавливаются на стенках резервуара в нижней части реактора, а еще один устанавливается непосредственно во внутреннем пространстве реактора. В качестве датчиков устанавливаемых на стенках резервуара используется термопреобразователь ТСМУ-205-Н (100М) (Приложение Г) [12], он устанавливается в непосредственной близости от стенок, чтобы измерять

нагрев не только вещества, но и стенок реактора. Длина измерительной части датчика: 60-85 мм. Стенки реактора будут подогреваться нагревательными элементами, а также необходимо диагностировать температуру от протекания экзотермической реакции. Третий датчик устанавливается непосредственно в среде, этим датчиком является термопреобразователь сопротивления ТХАУ-205-Н (ТХА (К)) (Приложение Г) [12, 13].

Для определения уровня в резервуаре используется два датчика. Первый – емкостный датчик уровня (Приложение Д) [14], который устанавливается в крышке реактора. Емкость имеет эллиптическое дно, поэтому емкостный датчик может измерить уровень только до изгиба стенки. Поэтому в качестве второго датчика уровня используется гидростатический датчик уровня (Приложение Е) [15], устанавливаемый на дно резервуара и измеряет давление жидкости, преобразуя его в токовый сигнал.

После окончания производства диоксида урана оно поступает на дозатор. Для того чтобы дозатор сохранял свою работоспособность как можно дольше перед ним установлен фильтр грязеуловитель СДЖ. Данный фильтр служит для очистки от мелких примесей полученного вещества. В фильтре имеются встроенные датчики давления до очищающего элемента и после него, если давление после фильтра сильно отличается от давления до фильтра, то можно сказать, что фильтр засорился и необходимо либо чистить, либо менять очищающий элемент.

Как уже выше было сказано, после фильтра диоксид урана поступает на дозатор, который дозирует вещество для отправления на форсунку распыления. Регулирование количества вещества осуществляется с помощью дозатора, а измерение расхода вещества осуществляется датчиком расхода после дозатора (Приложение О) [16]. Данные с дозатора и с датчика расхода поступают на контроллер, затем вычислительное устройство определяет необходимость в увеличении или уменьшении расхода через дозатор, а это зависит от скорости вращения ротора электродвигателя.

В системе предусмотрен резервуар для слива вещества в случае аварийной ситуации, к нему подводится два трубопровода, один из них подключен к трубопроводу сразу за сливом из перемешивающего реактора, а второй после дозатора. Во время получения диоксида урана в системе могут возникать различные аварийные ситуации, во время аварийных ситуаций не целесообразно поддерживать перемешивание вещества в реакторе пока будет ликвидирована аварийная ситуация, а также аварийная ситуация может возникнуть в реакторе или в дозаторе. Во всех подобных случаях для безопасности на производственном участке необходимо выполнить сброс вещества в резервуар. При сбросе из резервуара вещество будет под давлением выходить в трубопровод, давление в резервуаре будет присутствовать из-за условий технологического процесса. Из дозатора вещество можно удалить путем прогона через дозатор или путем включения обратного вращения ротора электродвигателя, тем самым будет создаваться давление, и вещество удалится из системы через трубопровод после резервуара.

В системе используются дополнительные нагревательные элементы для подогрева участков трубопровода: по которому подается дистиллированная вода в резервуар, трубопровода для перемещения готового вещества на вход дозатора, трубопровода подачи сжатого воздуха на форсунку. Также нагревательные элементы подогревают два участка трубопровода: после дозатора на форсунку и после дозатора на резервуар для аварийного слива. Нагреванию подвергается участок трубопровода, который ведет на вход форсунки.

Разработав алгоритм производственного процесса и выбрав датчики и контролирующие устройства, необходимо подобрать контроллер управления, именно об этом описывается в следующем пункте данного раздела [17].

### **3.4 Выбор контроллер управления**

Для управления всем производством, а также отслеживанием необходимых параметров необходимо выполнить выбор контроллера. Также

одним из условий при выборе контроллера является наличие мобильной панели с возможностью управления технологическим процессом с помощью мнемосхемы, при этом мобильная панель должна без проблем подключаться и во время процесса не иметь сбоев связанных с соединением «Контроллер-Мобильная панель».

Среди контроллеров для управления необходимо было выбрать из следующих:

- 1) Modicon 340 (Shneider Electric)[18]



Рисунок 8 – Внешний вид контроллера Modicon 340

Данный контроллер полностью совместим для работы с персональными компьютерами. Предназначен для производителей машин, а также средних и малых производств с числом вход/выходов 1024.

Удобства:

- 7 тыс. инструкций/мс;
- Многозадачная система для гарантированного времени отклика;
- USB порт для программирования;
- дополнительных порта по желанию: Ethernet, CANopen, Modbus.

Удобная память:

- Программный код: 70 тыс. инструкций;
- Создание резервной копии приложения на карте памяти;

Дополнительное файловое хранилище емкостью до 16 Мб с FTP-доступом.

Данный контроллер полностью подходит для управления процессом получения диоксида урана, так как процесс имеет менее 1024 вход/выходов и является средним производством, но одним из условий было наличие Мобильной панели оператора, данный контроллер не обладает этой функцией. В данном контроллере имеется возможность использовать OPC-server, но для реализации данной функции необходимо закупить оборудование, которое будет функционировать. Если не использовать дополнительное оборудование, то необходимо пользоваться программой WinCC 7.0, которая является разработкой компании Siemens, таким образом проще воспользоваться сразу контроллером Siemens.

2) ПЛК фирмы ЭлеСи с процессорным модулем ТС 507 Р300 ЕТНІ[19].



Рисунок 9 - КонтроллерТС 507 Р300 ЕТНІ

Особенности:

- Самопроверка и проверка работоспособности функциональных модулей.
- Возможность подключения пульта инженера(ППИ).
- Функции резервирования и масштабирования(только с исполняющей системой Elsy-ТМА).

- Не требует принудительной вентиляции.
- Исполнения с расширенным диапазоном рабочих температур от -40 до +60 °С.

Общие сведения:

Процессорные модули ТС 507 Р300 ЕТН Е, ТС 507 Р300 ЕТН I предназначены для логической обработки данных и выдачи сигналов управления в соответствии с прикладной программой, а также для обмена данными между модулями. Процессорные модули ТС сохраняют данные в энергонезависимой памяти и имеют часы реального времени. При сбоях электропитания обеспечивают перезапуск контроллера и восстановление работоспособности системы.

Таблица 1 – Основные характеристики процессорного модуля ТС 507 Р300ЕТН I

Параметры		Характеристики
Модификация		ТС 507 Р300 ЕТН I
Тип процессора		Geode
Тактовая частота, МГц		300
Объем оперативной памяти RAM, МБ		128
Объем flash-памяти		128 Мб
Объем энергонезависимой памяти (ЭНП), КБ		32 (NVRAM)
Количество поддерживаемых модулей ввода/вывода, шт.		10
Быстродействие мс/1000 лог.инструкций		1,3
Интерфейс RS-485, RS-422		-
Интерфейс Ethernet 10/100 Base-T		1
Максимальное количество сигналов ввода/вывода (с подключением дополнительных модулей)	Дискретных	640
	Аналоговых	240
Протокол передачи по интерфейсным каналам		МЭК 60870-5-104-204 Modbus TCP, NTP, FTP, Intercom

Часы реального времени (RTC)	+
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+60
Масса, кг, не более	0,8
Размеры ШxВxГ, мм, не более	50x193x143

Если рассмотреть характеристики данного модуля, то можно воспользоваться им в качестве контроллера для управления технологическим процессом, так как параметры и характеристики полностью подходят для этого, но данный контроллер не способен поддерживать мобильную панель, поэтому перейдем к следующему контроллеру.

### 3) Контроллер Siemens SIMATIC S7-1516-3 PN/DP [20]

Дизайн и принцип использования:

- Дисплей для ввода в эксплуатацию и диагностики
- Возможность централизованной установки до 32 модулей благодаря используемой в стойке системе электропитания (питание кросс-платы для дополнительных модулей)
- Приобретение и установка только действительно необходимых компонентов
- Простая возможность расширения на соответствующий срок действия, благодаря чему отпадает необходимость предусматривать дорогостоящие резервы.

Исполнение:

- Profinet IO с таймером реального времени
- Время реакции <100 мкс
- Простота программирования обмена данными
- Интегрированный веб-сервер

Интегрированная технология:

- Функция «MotionControl» (управление перемещениями)
- Единое конфигурирование/проектирование для ЦП/ЧМИ/приводов

- Удобные инструменты для ввода в эксплуатацию и диагностики, например, трассировочная запись до 16 различных переменных
- Простой поиск ошибок благодаря автоматическим предупредительным сообщениям в системе инжиниринга и ЧМИ
- Интегрированный ПИД-регулятор для выполнения простых заданий с техникой автоматического регулирования
- ПИД-регулятор Compact/ПИД-регулятор 3-Step непрерывного действия с аналоговым выходом или выходом рwm
- Интегрированная системная диагностика.

Помимо всего сказанного у контроллера Siemens имеется аппаратная надежность и резервирование основных элементов, которые отвечают за функционирование всей системы в целом.

Экран контроллера позволяет без использования компьютера выполнить настройку IP-адресов по которым осуществляется подсоединение к мобильной панели. С помощью экрана можно выполнить полную диагностику контроллера и просмотреть все ошибки возникшие во время работы контроллера.

По представленным контроллерам можно сказать, что функциональнее всего подходит контроллер фирмы Siemens.

### **3.5 Контроллер Siemens SIMATIC S7-1500**

Программируемый контроллер S7-1500 является инновационным и базируется на дальнейшем развитии и совершенствовании функциональных возможностей программируемых контроллеров S7-300 и S7-400. В отличии от предыдущих контроллеров в этом улучшилась производительность системы, появилась встроенная поддержка стандартных функций управления перемещением, присутствует возможность обмена данными через интерфейс PROFINET в режиме IsochronousRealTime. В сочетании с преимуществами STEP 7 Professional V12 (TIA Portal) ввод в эксплуатацию новой серии контроллеров может быть выполнен легко, просто и эффективно.

Основные преимущества контроллера S7-1500:

- Высочайшая производительность для своего класса. Эффективное решение задач автоматизации среднего и высокого уровня сложности. Минимальные времена реакции на внешние события.
- Модульная конструкция. Максимальная адаптация аппаратуры к требованиям решаемых задач. Удобная конструкция и работа с естественным охлаждением.
- Одновременное обслуживание систем локального и распределенного ввода-вывода и простое включение в сетевые конфигурации. Встроенная поддержка защищенного обмена данными через промышленные сети и Интернет.
- Расширенная концепция защиты доступа к программе и данным.
- Свободное наращивание функциональных возможностей при модернизации системы управления.

S7-1500 может использоваться во всех областях, где традиционно находят применение программируемые контроллеры S7-300 и S7-400.

### **3.6 Состав аппаратуры и конструктивные особенности**

Программируемые контроллеры S7-1500 позволяют использовать в своем составе:

- Модули центральных процессоров (CPU) различной производительности.
- Блоки питания (PM) для питания контроллера от сети переменного или постоянного тока.
- Сигнальные модули (SM), предназначенные для ввода и вывода дискретных и аналоговых сигналов.
- Коммуникационные модули (CM/CP) для подключения контроллера к сетям Ethernet и PROFIBUS, а также поддержки обмена данными через непосредственные (PtP – pointtopoint)

соединения на основе последовательных интерфейсов RS 232 и RS 422/ RS 485.

- Технологические модули (ТМ) для решения задач скоростного счета и позиционирования.

По сравнению с программируемыми контроллерами S7-300 и S7-400 в S7-1500 существенно сокращена номенклатура модулей всех типов. Конструкция контроллера отличается высокой гибкостью и удобством обслуживания. Все модули устанавливаются на профильную шину S7-1500 и фиксируются в рабочих положениях винтами. В одну монтажную стойку может устанавливаться до 32 модулей контроллера. Порядок размещения модулей может быть произвольным. Дополнительный набор модулей может устанавливаться в стойки расширения, подключаемые к контроллеру через интерфейсные модули станции ET 200MP и сеть PROFINET. Объединение модулей в единую систему выполняется с помощью U-образных шинных соединителей, устанавливаемых на тыльную часть корпуса. Эти соединители входят в комплект поставки каждого модуля. В стадии разработки находится вариант объединения модулей через активную внутреннюю шину. Внешние цепи сигнальных модулей подключаются через съемные фронтальные штекеры, механическое кодирование которых исключает возможность возникновения ошибок при замене модулей. Дополнительно для этой цели могут использоваться модульные и гибкие соединители. Все модули контроллера могут быть разбиты на несколько потенциальных групп, каждая из которых имеет общие шины питания внешних цепей.

### **3.7 Центральные процессоры**

Первая генерация аппаратуры позволяет использовать в составе S7-1500 три типа центральных процессоров, преимущественно ориентированных на замену существующих центральных процессоров S7-300. CPU 1511-1 PN предназначен для замены CPU 312 и CPU 314, CPU 1513-1 PN для замены CPU 315 и CPU 1516-3 PN/DP для замены CPU 317 и CPU 319. В проектируемой

системе используется третий тип центрального процессора - CPU 1516-3 PN/DP. Стандартным интерфейсом для всех типов центральных процессоров является интерфейс PROFINET. Он используется для программирования, конфигурирования, диагностики и обслуживания контроллера, коммуникационного обмена данными, а также обслуживания систем распределенного ввода-вывода с поддержкой обмена данными в режимах RT и IRT V2.2, а также функций контроллера, общих и интеллектуальных приборов ввода-вывода. CPU 1516-3 PN/DP дополнительно оснащен вторым интерфейсом Ethernet с собственным IP адресом, а также интерфейсом PROFIBUS DP. Все центральные процессоры оснащены встроенным Web сервером, который позволяет:

- получать доступ к системным и оперативным сообщениям, а также к идентификационным данным;
- выполнять системную диагностику всех модулей, используемых в проекте;
- выполнять диагностику коммуникационных соединений, отображать параметры настройки, получать статистические данные о работе сети;
- получать доступ к производственным данным с использованием таблиц переменных и свободно конфигурируемых списков переменных;
- использовать конфигурируемые пользователем Web страницы.

Все центральные процессоры S7-1500 комплектуются съемными дисплеями, существенно повышающими эксплуатационные характеристики контроллера. Они позволяют:

- выполнять установку/ изменение параметров настройки (IP адресов, имени станции и т.д.) без использования программатора;
- отображать диагностическую информацию и аварийные сообщения;

- отображать состояния модулей в системе локального и распределенного ввода-вывода;
- отображать идентификационные данные: заказные и серийные номера, а также версии встроенного программного обеспечения модулей системы локального и распределенного ввода-вывода.

Для отображения информации может выбираться один из двух поддерживаемых языков. Установку и удаление дисплея допускается выполнять во время работы контроллера. Доступ к выполнению необходимых операций защищается паролем. Центральные процессоры S7-1500 оснащены рабочей памятью достаточно большого объема. В качестве загружаемой памяти используются карты памяти SIMATIC MemoryCard емкостью от 2 Мбайт до 2 Гбайт. Дополнительно карта памяти находит применение для необслуживаемого сохранения данных при перебоях в питании контроллера без использования буферных батарей, а также для сохранения всего проекта STEP7, включая символьные имена. За счет считывания этой информации сервисные работы могут выполняться без наличия на программаторе исходного проекта. Высокая производительность центральных процессоров дополняется скоростной внутренней шиной контроллера. Скорость обмена данными через эту шину равна 400 Мбит/с. Сочетание этих факторов позволяет получать минимальные времена циклов выполнения программы, а также минимальные времена реакции на внешние события. Время реакции терминал-терминал в программируемом контроллере S7-1500 не превышает 100 мкс.

Все центральные процессоры S7-1500 обеспечивают встроенную поддержку технологических функций управления перемещением, трассировки и ПИД регулирования. Встроенные функции управления перемещением позволяют:

- получать гибкие возможности подключения приводов через интерфейсы PROFINET и/или PROFIBUS с поддержкой профиля PROFIdrive;

- выполнять простое программирование задач управления перемещением с использованием блоков PLCopen;
- использовать однородные способы конфигурирования/проектирования для программируемых контроллеров, приборов и систем человеко-машинного интерфейса и приводов;
- использовать комфортабельные инструментальные средства диагностики и выполнения пуско-наладочных работ;
- выполнять циклическую регистрацию значений параметров для оптимизации процессов управления и работы приводов;
- выполнять быстрый поиск неисправностей на основе аварийных сообщений, отправляемых в систему проектирования, приборы и системы человеко-машинного интерфейса, а также на дисплей центрального процессора.

Функции трассировки предназначены для сбора данных, используемых для анализа и оптимизации работы контроллера. Они позволяют:

- выполнять регистрацию до 16 переменных центрального процессора независимо от системы проектирования;
- обеспечивать одновременную поддержку до 4 заданий на трассировку;
- выполнять циклический сбор данных в реальном масштабе времени;
- выполнять мультиплексирование и фильтрацию данных;
- экспортировать результаты измерений для документирования данных и их дальнейшей обработки.

Встроенная поддержка функций ПИД регулирования позволяет использовать S7-1500 для решения широкого круга задач автоматического регулирования, применять регуляторы с аналоговыми или импульсными

выходными сигналами, шаговые регуляторы, а также выполнять операции автоматической оптимизации их работы.

### 3.8 Среда разработки SIEMENS TIA PORTAL

Основной средой разработки программного обеспечения для ПЛК компании Siemens является TIA PORTAL (рисунок 10). Именно этот программный пакет будет использоваться для написания управляющей программы для передачи и приема данных из программного пакета MATLAB, так как в TIA PORTAL есть встроенный OPC-сервер, а также полная совместимость с приводами Sinamics. Также TIA Portal позволяет выполнять комплексное символьное программирование и оснащен оптимизированным компилятором LAD/ FBD/ STL, позволяющим получать минимальные времена циклов выполнения программы. Все языки программирования имеют одинаковый набор команд. Введена поддержка 64-разрядных типов данных во всех языках IEC 61131-3.

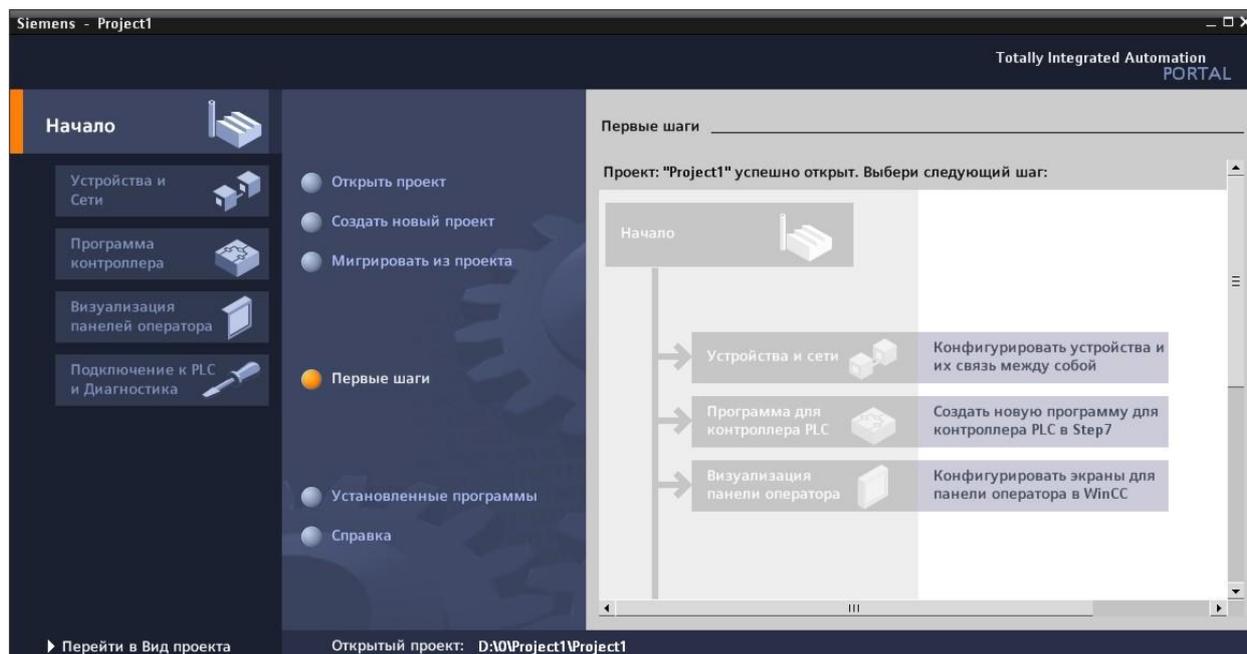


Рисунок 10 – Главное окно TIA portal.

Программное обеспечение TIA PORTAL формирует интегрированную рабочую среду для разработки комплексных проектов на основе множества программных и аппаратных компонентов департамента IA&DT

(Промышленной автоматизации и технологии приводов) обеспечивающую поддержку функций навигации проектов, единой концепции использования библиотек, централизованного управления данными и обеспечения их полной согласованности, запуска необходимых редакторов, сохранения проектов, диагностики и множество других функций.

Это программное обеспечение позволяет получать высокий уровень эффективности разработки любых проектов автоматизации, базирующихся на использовании программируемых контроллеров SIMATIC и систем человеко-машинного интерфейса SIMATIC HMI. Все пакеты программ, интегрированные в TIA Portal, используют единую базу данных проекта, поэтому изменения, вносимые в проект с помощью любого редактора, становятся доступными всем инструментальным средствам без повторного ввода одних и тех же данных. «TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) — интегрированная среда разработки программного обеспечения систем автоматизации технологических процессов (рисунок 17) от уровня приводов и контроллеров до уровня человеко-машинного интерфейса.» Она является воплощением концепции комплексной автоматизации (англ. Totally Integrated Automation) и эволюционным развитием семейства систем автоматизации Simatic компании Siemens AG [12].

В TIA Portal интегрированы три основных программных пакета:

- Simatic Step 7 – для программирования контроллеров S7-1200, S7-300, S7-400 и WinAC;
- Simatic WinCC – для разработки человеко-машинного интерфейса (от простейших кнопочных панелей до сложных конфигураций уровня SCADA);
- Sinamics Starter – для параметрирования, программирования и диагностики приводов Sinamics.

Таким образом использование TIA PORTAL позволяет обходиться лишь одним программным пакетом и докупать дополнительное программное обеспечение.

В программах S7-1500 могут использоваться блоки данных объемом до 16 Мбайт. Размер организационных блоков, функций и функциональных блоков увеличен до 512 Мбайт. Допускается использование более 10 организационных блоков на тип. В языках LAD и FBD появилась новая функция ComputerBox, существенно упрощающая выполнение вычислительных операций. Обеспечивается консистентная загрузка всех изменений в проекте, а также быстрое и безошибочное определение состава аппаратуры контроллера путем считывания параметров конфигурации в систему проектирования.

### **3.9 Системная диагностика**

Программируемые контроллеры S7-1500 обеспечивают поддержку комплексной системы технической диагностики. Она позволяет выполнять однородное отображение диагностической информации на экранах дисплея центрального процессора и приборов человеко-машинного интерфейса, в Web сервере, SCADA системах и в системе проектирования. Доступ к диагностической информации может быть получен даже в случае перехода центрального процессора в режим STOP. В новых аппаратных компонентах обновление диагностической информации выполняется автоматически. Поддерживается автоматическое обновление данных программ просмотра результатов диагностики в панелях операторов серии SIMATIC ComfortPanel и в SCADA системе.

### **3.10 Защита информации**

Защите информации в S7-1500 и TIA PORTAL уделено особое внимание. Эта защита охватывает широкий спектр мер по пресечению

несанкционированного доступа и использованию данных систем автоматизации:

- Защита «Knowhow»: позволяет устанавливать защиту от несанкционированного просмотра, копирования и модификации программных блоков с помощью STEP 7, карт памяти, библиотек.
- Защита от копирования: привязкой связанных или отдельных программных блоков к серийному номеру центрального процессора или карты памяти.
- Защита доступа: обеспечивает поддержку новой степени защиты доступа к CPU уровня 4 (HMI соединения устанавливаются после ввода пароля), распределение уровней авторизации между уровнями доступа 1 ... 3 с использованием собственных паролей, ограничивает время авторизации.
- Защита от манипуляции данными: включает защиту целостности данных проекта и системы связи, целостности и подлинности обновлений встроенного программного обеспечения, обеспечивает защиту от внешних атак.

Среди выше описанных контроллеров остановимся на Siemens SIMATIC S7-1500. Для разработки системы управления воспользуемся процессором CPU 1516-3 PN/DP. На рисунке 11 представлено изображение контроллера с его съемной панелью [21].



Рисунок 11 – Контроллер S7-1516 и его съемная передняя панель

На следующем рисунке изображены основные элементы выбранного контроллера с поднятой передней панелью.

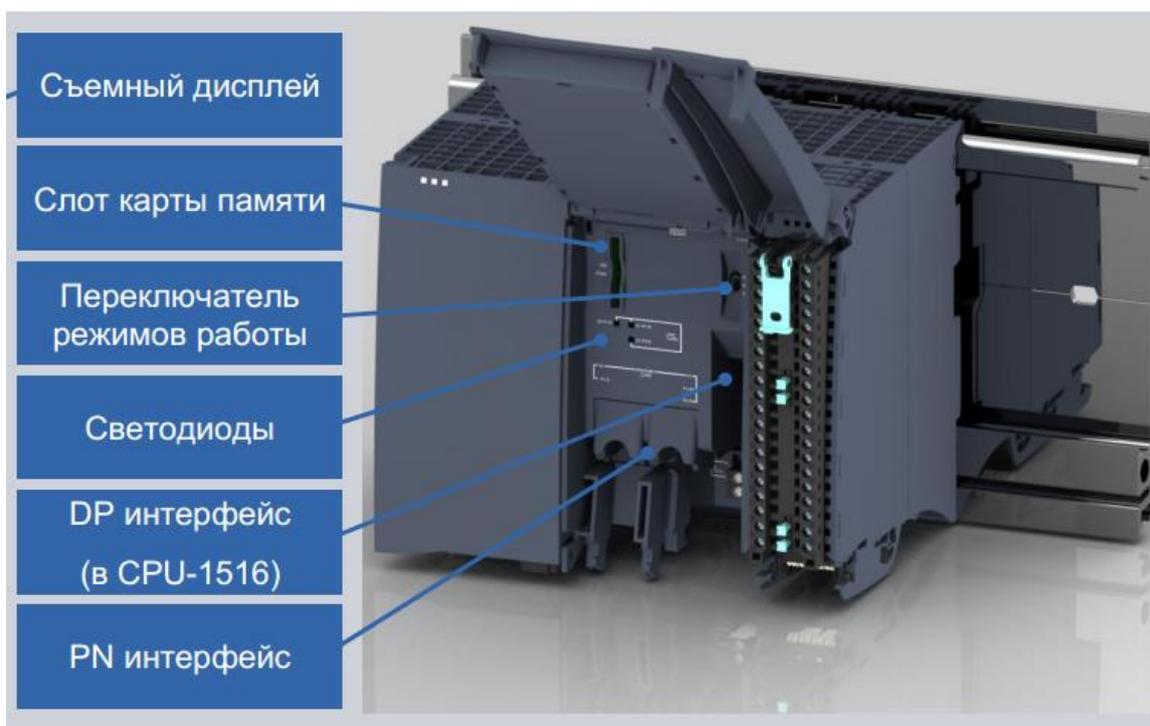


Рисунок 12 – Контроллер с функциональными элементами

## **4 Описание информационной среды.**

Выше было сказано, что для управления процессом получения диоксида урана выбран программируемый логический контроллер Siemens S7-1500. Корректная работа контроллера обеспечивается правильным функционированием. Данные контроллеры программируются с помощью совершенно нового программного обеспечения компании Siemens – Totally Integrated Automation Portal v.12 [23].

### **4.1 Технология OPC**

Для обеспечения связи между ПЛК и моделью системы в программном пакете MATLAB будет использоваться технология пакетной передачи данных ETHERNET. Для контроля передаваемых данных, и управления ими потребуется дополнительное звено, а именно OPC-сервер.

OPC-сервер, одно из самых популярных решений, применяемых в АСУ ТП, для обеспечения работы единой системы диспетчеризации и использовании технологий разных производителей.

При использовании закрытых протоколов обмена данными в АСУ ТП возникает сложность интеграции оборудования в систему диспетчеризации. Для того, чтобы подсоединиться к диспетчеризации с оборудованием различных производителей, необходимо, чтобы SCADA система поддерживала все протоколы обмена данными, которые используются в данном оборудовании.

Существует большое разнообразие производителей и их продукции, поэтому для применения SCADA необходимо использовать стандартные протоколы обмена данными (Modbus, LonTalk, Profibus), но это приводит к увеличению себестоимости АСУ ТП. Кроме того, уже на существующих объектах, где уже установлена SCADA существует вероятность замены элементов, которое может использовать новый протокол обмена данными, который не поддерживается данным решением. Для решения этой проблемы

было предложено использование стандартного подхода к обмену данными, что и выполняет OPC сервер.

OPC сервер (с английского OLE for Process Control — технологии связи и компоновки объектов для управления процессами) представляет собой целое семейство технологий, построенных на принципах OLE, ActiveX, COM/DCOM. Поддержкой спецификаций технологии OPC занимается международная организация OPC Foundation. Данная организация является и создателем технологии OPC сервера. Девизом организации OPC Foundation и концепции OPC сервера является открытость коммуникаций по открытым протоколам [9].

Суть OPC сервера лежит в том, что производитель оборудования предоставляет пользователю специальное программное обеспечение (OPC сервер), которое реализует закрытый протокол обмена данными с отдельным оборудованием и передает данные в унифицированном виде.

Технология OPC (рисунок 14) построена по клиент-серверному принципу. В основе технологии заложена компонентная модель – COM (Component Object Model). Технология COM представляет собой набор интерфейсов (набор функций, которые может вызывать клиент для обмена данными с COM сервером). Эти функции позволяют считать количество и тип переменных, которые зарегистрированы, считать их значение, выполнить подписку на эти значения и записать значения в OPC сервер.

Использование технологии OPC в проекте, предоставляет возможно совершенного нового уровня в сравнении с возможностями инструментальных средств, которые не поддерживают стандарты такого уровня. Главной особенностью применения технологии OPC является то, что приложения могут быть написаны задолго до готовности конечной системы, при этом все интерфейсы OPC уже могут быть определены и зафиксированы. Определенно достоинством применения технологии OPC также является легкая и в целом незаметная модернизация приложений, это возможно благодаря применению технологии COM [9]

Сервер и клиент могут находиться на разных рабочих станциях как в пределах одной локальной сети, так и по всему миру, а для связи может использоваться как технология IPC (Межпроцессорное взаимодействие) в рамках одного компьютера, так и обмен данными через Интернет. Технология OPC позволяет применять сетевую интеграцию, поддержку, и другие сервисы, которые предоставляются операционной системой. Технология OPC является мощным и универсальным средством, но это же является причиной её сложности [10].

Универсальность не всегда эквивалента удобству, поэтому поддержка стандарта OPC повышает сложность программного обеспечения и для его разработки требуются высококвалифицированные сотрудники. Основным недостатком этой технологии является то, что в силу универсальности она не может предоставить высокоуровневый интерфейс.

Например, добавление опрашиваемой OPC-клиентом ячейки данных требует 25 параметров, а ее чтение – 12. Можно сказать, что для разных систем их значения будут различными, при этом значительное число параметров осложняет применение этой технологии. Кроме того, ряд систем требует особых свойств от программного обеспечения, работающего с ними, например, высокого быстродействия и/или работы в реальном масштабе времени [10].

Технология OPC предоставляет большой объем используемых функций для работы со встроенными системами, при этом сохраняя универсальность системы в целом. Но при этом при использовании этой технологии достаточно сложно осуществить работу режимов, которые не заложены в её специфику. С другой же стороны, разрабатываемая система может быть настолько простой, что использование сложных средств, заложенных в технологию OPC, может оказаться неоправданным.

Технология OPC сделала значительный вклад в стандартизацию встроенных систем, взаимодействующих с компьютерами. В рамках данной выпускной квалификационной работы необходимо выполнять моделирование в

реальном времени, для этого будет использоваться OPC-сервер от компании Siemens, установка и запуск которого, будет описана ниже. В качестве клиента, будет выступать программный пакет Matlab/Simulink.

## 4.2 Программный пакет MATLAB

В рамках текущей работы нам необходимо выполнять математическое моделирование, для этого потребуется мощный инструмент, который позволит выполнять моделирование в реальном времени, и который имеет возможность работать в качестве OPC-клиента. В качестве такого программного пакета был выбран MATLAB.

«MATLAB — это высокоуровневый язык и интерактивная среда для программирования, численных расчетов и визуализации результатов» (рисунок 13) [11].

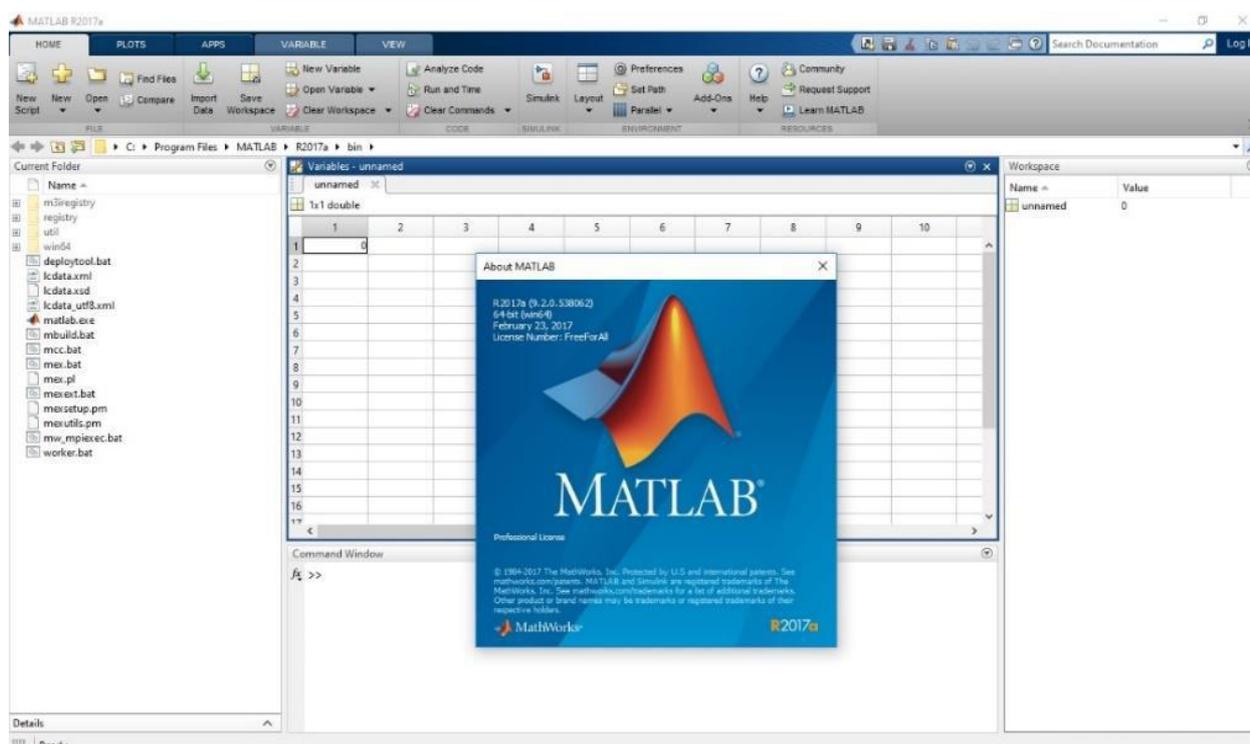


Рисунок 13 – Главное окно программного пакета MATLAB.

С помощью MATLAB также можно анализировать данные, разрабатывать алгоритмы, создавать модели и приложения. Для создания математических моделей, а также проведения комбинированного моделирования нам потребуется пакет «MATLAB Simulink – это графическая

среда имитационного моделирования, позволяющая при помощи блок-диаграмм в виде направленных графов, строить динамические модели, включая дискретные, непрерывные и гибридные, нелинейные и разрывные системы.» [11] Интерактивная среда Simulink (рисунок 16), позволяет использовать уже готовые библиотеки блоков для моделирования электросиловых, механических и гидравлических систем, а также применять развитый модельно-ориентированный подход при разработке систем управления, средств цифровой связи и устройств реального времени.

Дополнительные пакеты расширения Simulink позволяют решать весь спектр задач от разработки концепции модели до тестирования, проверки, генерации кода и аппаратной реализации. Simulink интегрирован в среду MATLAB, что позволяет использовать встроенные математические алгоритмы, мощные средства обработки данных и научную графику.

Рисунок 16 – Пример модели в Simulink с OPC Toolbox

Библиотека OPC Toolbox Matlab Simulink предоставляет набор интерфейсов для работы с OPC-серверами. Это позволяет подключить к средствам MATLAB внешние аппаратные средства, обмениваться с ними данными, строить распределенные системы управления, диспетчерские системы, системы сбора данных, а также подключением программируемых логических контроллеров и других объектов, поддерживающих протоколы нижнего уровня OPC серверов, расширять возможности средств

проектирования систем управления. Таким образом был выбран математический пакет, который отвечает необходимым для осуществления комбинированного моделирования требованиям.

### **4.3 Среда разработки TIAPortalv.12**

Программное обеспечение TIAPortal формирует интегрированную рабочую среду для разработки комплексных проектов на основе множества программных и аппаратных компонентов. В этой среде обеспечивается

поддержка функций навигации проектов, единой концепции использования библиотек, централизованного управления данными и обеспечения их полной согласованности, запуска необходимых редакторов, сохранения проектов, диагностики и множества других функций. Это программное обеспечение позволяет получать высокий уровень эффективности разработки любых проектов автоматизации, базирующихся на использовании программируемых контроллеров SIMATIC, приборов и систем человеко-машинного интерфейса SIMATICHMI. По мере подготовки новых версий программных продуктов этот перечень будет дополнен приводами семейства SINAMICS, системами управления перемещения SIMOTION, а также системами числового программного управления SINUMERIC.

TIAPortal значительно сокращает затраты на конфигурирование и организацию взаимодействия между контроллерами, приводами и приборами и системами человеко-машинного интерфейса. Все параметры настройки контроллеров, программные блоки, теги и сообщения могут вводиться только один раз, что существенно ускоряет и снижает стоимость разработки комплексного проекта автоматизации.

В настоящее время TIAPortal позволяет интегрировать в свою среду программное обеспечение STEP 7 V12 и WinCCV12.

Все пакеты программ, интегрированные в TIAPortal, используют единую базу данных проекта. Поэтому изменения, вносимые в проект с помощью любого редактора, становятся доступнее всем инструментальным средствам без повторного ввода одних и тех же данных.

В состав TIAPortalv12 включены такие основные программные пакеты:

- Simatic Step 7 v.12 для программирования контроллеров S7-1200, S7-300, S7-400 и WinAC;
- Simatic WinCC v.12 для разработки человеко-машинного интерфейса (от простейших кнопочных панелей до сложных конфигураций уровня SCADA);

- SinamicsStartDrive v.12 для параметрирования, программирования и диагностики приводов Sinamics.

Пакет STEP 7 ProfessionalV12 содержит весь спектр инструментальных средств, необходимых для конфигурирования аппаратуры и промышленных сетей, настройки параметров, программирования, диагностики и обслуживания систем управления, построенных на базе контроллеров S7-1200, S7-1500, S7-300, S7-400 и WinAC.

Основные особенности пакета STEP 7 ProfessionalV12:

- Использование функциональных возможностей TIAPortal для создания и разработки комплексных проектов автоматизации;
- Интуитивно понятный интерфейс пользования с широкими функциональными возможностями;
- Использование одного редактора для конфигурирования аппаратуры сетевых топологий;
- Комплексное управление наборами данных для выполнения операций конфигурирования;
- Центральное управление данными с использованием универсальных символьных имен;
- Мощный редактор программ;
- Рабочая среда для организации оптимального взаимодействия программируемых контроллеров с приборами и системами человеко-машинного интерфейса;
- Мощный набор диагностических функций;
- Парольная защита программных компонентов.

Интерфейс обеспечивает выполнение быстрого поиска и быстрого доступа к необходимым данным и компонентам проекта. Для поиска информации (теги, объекты, ...) могут использоваться перекрестные ссылки, действующие в масштабах всего проекта.

В стандартном варианте все редакторы имеют однотипные варианты оформления экрана и содержат рабочее поле редактора, информацию о структуре всего проекта с размещением соответствующей информации в одних и тех же местах экрана. При необходимости экраны редакторов могут быть адаптированы к требованиям пользователя.

#### **4.3.1 Конфигурирование аппаратуры и топологии сетей**

Конфигурируемая аппаратура отображается с фотографической точностью. Специальная навигация для каждого модуля позволяет выполнять быстрый переход к настраиваемой группе параметров.

Конфигурирование сетей PROFINET, PROFIBUS, MPIиAS-Interface отличается простотой и наглядностью. Необходимый набор сетевых соединений устанавливается с помощью мыши. Наглядное представление диагностической информации модулей в интерактивном режиме позволяет производить быстрое выполнение пуско-наладочных работ.

#### **4.3.2 Интеллектуальный механизм Drag & Drop**

Некоторые данные должны использоваться в различных частях проекта и в различных редакторах. Для копирования и вставки таких данных используются интеллектуальные механизмы Drag&Drop. Например, тег контроллера может быть перемещен на экран прибора HMI, что вызовет автоматически фоновое формирование тега HMIи его связи с тегом контроллера.

#### **4.3.3 Библиотечные функции**

Библиотечные функции ориентированы на стандартизацию и повторное использование различных компонентов проекта.

Блоки, переменные, сигналы тревоги, структура и содержимое экранов, параметры отдельных модулей или станций могут сохраняться в виде одного библиотечного блока локальной или глобальной библиотеки.

## 5 Моделирование системы

Для осуществления комбинированного моделирования необходимы не только аппаратные и программные средства, но еще и математическая модель какого-либо объекта. В рамках данной работы было принято решение произвести комбинированное моделирование процесса поддержания давления в перемешивающем устройстве определяемое положением задвижки на трубопроводе и поддержания температуры в резервуаре. Для этого была собрана математическая модель в программном пакете MATLAB SIMULINK.

Во время протекания технологического процесса необходимо поддерживать расход после дозатора 20 м<sup>3</sup>/ч и поддержании температуры 140°C, так как такой процесс является инерционным и для него необходимо максимально точное регулирования, то воспользуемся для этой цели ПИД-регулятором. В составе контроллера есть встроенные устройства и функции ПИД-регулятора, но все равно стоит выполнить настройку регулятора самостоятельно. Жидкость подается на насос-дозатор под давлением, которое создано в резервуаре, основное давление для подачи на форсунку будет создавать дозатор. Также поддерживается в резервуаре температура на определенном уровне при помощи нагревательного элемента.

Разработаем контура управления расходом жидкости после дозатора и поддержание температуры в резервуаре.

Давление в перемешивающем устройстве определяется положением задвижки на трубопроводе. Для настройки ПИД-регулятора необходимо определить закон регулирования задвижки. Проведем математическое моделирование ОУ. В первую очередь необходимо определить модель ОУ. Поток пара по параметру давления представляет собой апериодическое звено с задержкой:

$$W(s) = \frac{1}{T_p + 1} e^{-\tau_0 s}, \quad (1)$$

где

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q} - \text{постоянная времени,} \quad (2)$$

$$\tau_0 = \frac{Lf}{Q} - \text{запаздывание,} \quad (3)$$

$$c = \frac{Q}{f} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta P g}}, \quad (4)$$

где  $L$  – длина участка трубопровода между точкой измерения и точкой регулирования;

$d$  – диаметр трубы;

$f$  – площадь сечения трубы;

$\Delta p$  – перепад давления на трубопроводе.

Назначим значения параметров для расчета:

– длина участка трубопровода  $L = 2$  м;

– объемный расход  $20 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,0055 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

– перепад давления  $\Delta P = 1$  МПа;

– диаметр трубы  $D = 0,04$  м;

– площадь сечения трубы  $f = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 * 0,04^2}{4} = 1,257 * 10^{-3} \text{ м}^2$ ;

Рассчитаем параметры математической модели:

$$c = \frac{0,0055}{1,257 * 10^{-3}} * \sqrt{\frac{2400}{2 * 1 * 10^6 * 9,8}} = 0,0048;$$

$$T = \frac{2 * 2 * 1,257 * 10^{-3} * 0,048^2}{0,0055} = 0,002144;$$

$$\tau = \frac{2 * 1,257 * 10^{-3}}{0,0055} = 0,457;$$

В результате математическая модель ОУ примет следующий вид:

$$W(s) = \frac{1}{0.002144s + 1} * e^{-0.457p}$$

Объект характеризуется транспортным запаздыванием. Регулирующий орган описывается с помощью апериодического звена, так как насос имеет электропривод и регулирование осуществляется за счет изменения скорости вращения ротора электродвигателя привода насоса. Ниже представлена передаточная функция частотного управления электродвигателем:

$$W(s) = \frac{1}{T_m p + 1}, \quad (5)$$

где  $T_m$  – электромеханическая времени асинхронного электродвигателя.

Как правило, для насоса в качестве электропривода используется асинхронный электродвигатель с ротором «беличья клетка». В таблице представлены электромеханические постоянные для двигателей с разными типами роторов, а также для разной частоты питающей сети.

Таблица 2 - Электромеханические постоянные времени асинхронных двигателей

Тип двигателя	$T_m$ , с	
	50 Гц	400 Гц
АД с полым немагнитным ротором	0,005 – 0,05	0,015 – 0,10
АД с полым ферромагнитным ротором	0,200 – 1,00	0,3 – 3
АИД с ротором «беличья клетка»	0,02 – 0,1	0,05 – 0,15

В основном на производстве используется питающая сеть с частотой 50 Гц, но на некоторых может использоваться частота 400 Гц, поэтому в качестве электромеханической постоянной был выбран коэффициент 0,1 с, который подходит для двух значений частоты питающей сети.

В качестве датчика используется расходомер SITRANSFUSSONO 3100/SITRANSFUS060. Этот датчик цифровой и на его выходе получаем сигнал с реальным значением расхода. Таким образом, коэффициент датчика обратной

связи равен 1. Передаточная функция электродвигателя представляет собой апериодическое звено первого порядка, постоянная времени которого составляет около  $0,1\text{с}^{-1}$ . Расход пропорционален углу положения задвижки, так как на выходе переходной функции двигателя получаем скорость вращения ротора, значит необходимо добавить интегрирующее звено. Диаметр трубопровода равен 40мм. Используется задвижка с пропускной способностью  $25\text{ м}^3/\text{ч}$ . Максимальное приращение управляющего тока привода равно 16, значит коэффициент преобразования «ток-расход» будет равен 1,56.

Для качественного ведения технологического процесса необходимо регулировать температурный режим в греющей камере по длине печи. Греющая камера с электрическим обогревом предназначена для создания необходимой температуры внутри барабана печи. Стенки камеры выложены из шамотного и диатомитового кирпича. Кирпичная кладка с внешней стороны защищена металлическим каркасом и облицована керамической плиткой. Сверху греющая камера закрыта теплоизолирующими блоками. Данная система состоит из следующих основных элементов: тиристорный преобразователь мощности, датчик температуры и нагревательный элемент.

Рассмотрим более подробно каждый элемент и расчет каждой передаточной функции.

Тиристорный преобразователь мощности вместе с системой управления в первом приближении может быть представлен апериодическим звеном с передаточной функцией вида

$$W_{\text{ТП}} = \frac{K_{\text{ТП}}}{T_{\text{ТП}}S + 1},$$

где  $K_{\text{ТП}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{380}{220} = 1,73$ ,  $T_{\text{ТП}} = \frac{1}{m \cdot f} = \frac{1}{3 \cdot 50} = 0,01$  (m-число фаз напряжения питания, f- промышленная частота источника питания).

Нагревательный элемент, нихромовые спирали, может быть представлен апериодическим звеном с передаточной функцией вида

$$W_{\text{нэ}} = \frac{K_{\text{нэ}}}{T_{\text{нэ}}S + 1},$$

где  $K_{\text{нэ}} = \frac{1}{A} = \frac{1}{20} = 0,05$ ,  $T_{\text{TK}} = \frac{C}{A} = \frac{460}{20} = 23$  (C – теплоёмкость нихрома, A – теплоотдача нихрома).

Датчика температуры может быть представлен аperiodическим звеном с передаточной функцией вида

$$W_{\text{нэ}} = \frac{K_{\text{нэ}}}{T_{\text{нэ}}S + 1},$$

где  $K_{\text{нэ}} = 0,5$  – чувствительность,  $T_{\text{TK}} = 0,005$  – постоянная времени (данные берутся из технических характеристик датчика).

Для настройки регулятора произведем моделирование работы нескорректированной системы (рисунок 14).

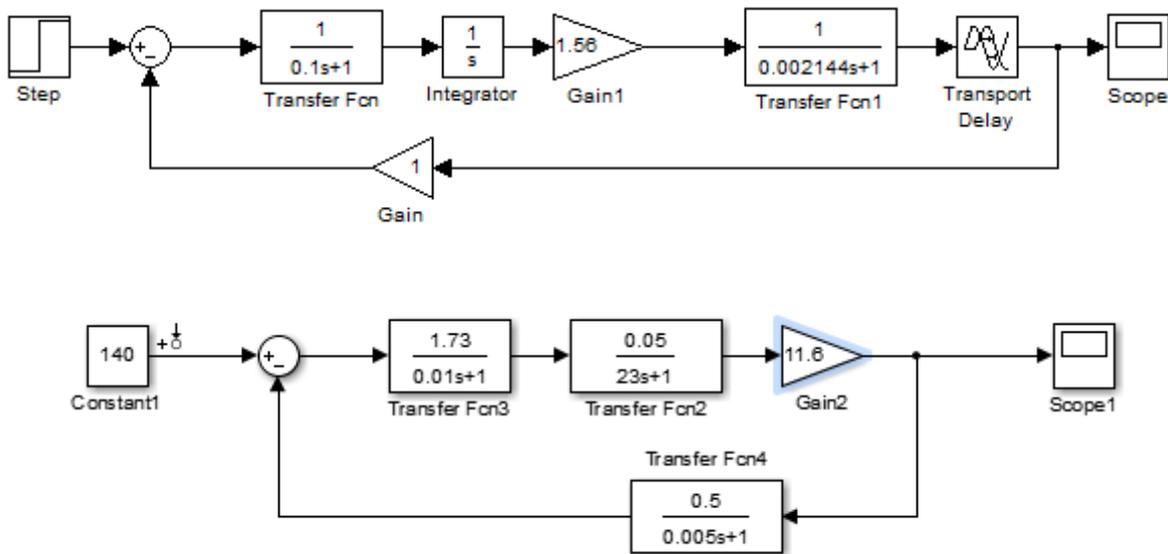


Рисунок 14 – Модель нескорректированной системы

В качестве задающего значения выбрали 20000, так как необходимо поддерживать давление  $20 \text{ м}^3/\text{ч} = 20000 \text{ л/ч}$ .

Для нескорректированной системы получим график переходного процесса (рисунок 15).

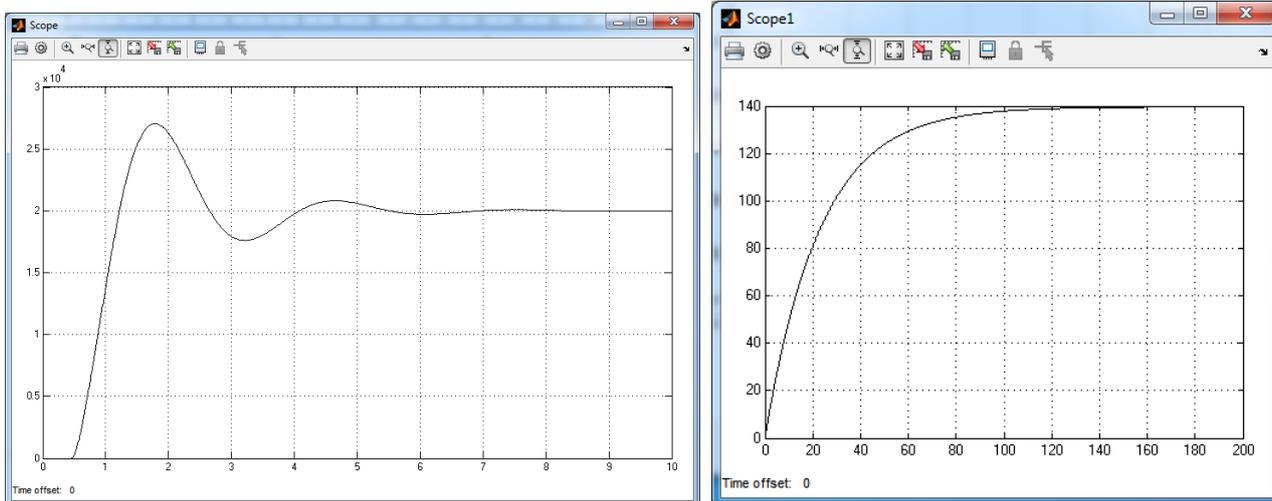


Рисунок 15 – Переходный процесс нескорректированной системы (слева - управление расходом жидкости после дозатора, справа - поддержание температуре в резервуаре)

На левом рисунке видно, что присутствует перерегулирование, на правом видно что у систем отсутствует перерегулирование и переходный процесс составляет 141 секунды. Ниже представлен рисунок на котором изображено значение перерегулирования переходного процесса.

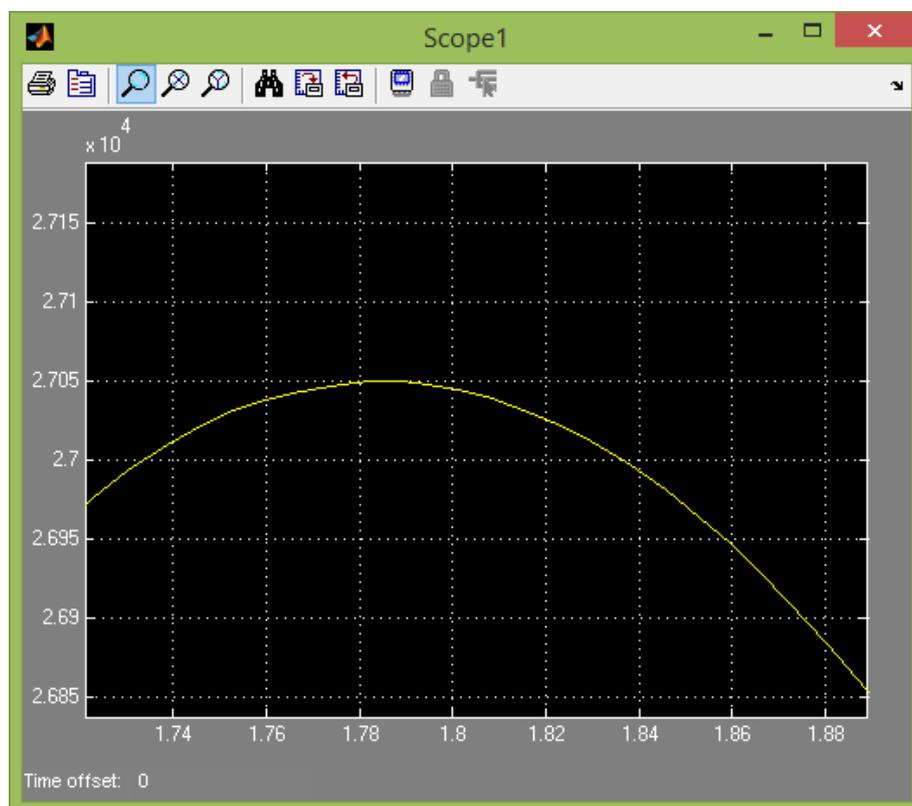


Рисунок 16 – Пиковое значение перерегулирования

Перерегулирование составляет 35,25% это большое значение для подобного технологического процесса, далее постараемся его уменьшить.

На рисунке ниже представлена система с введенным в нее ПИД-регулятором.

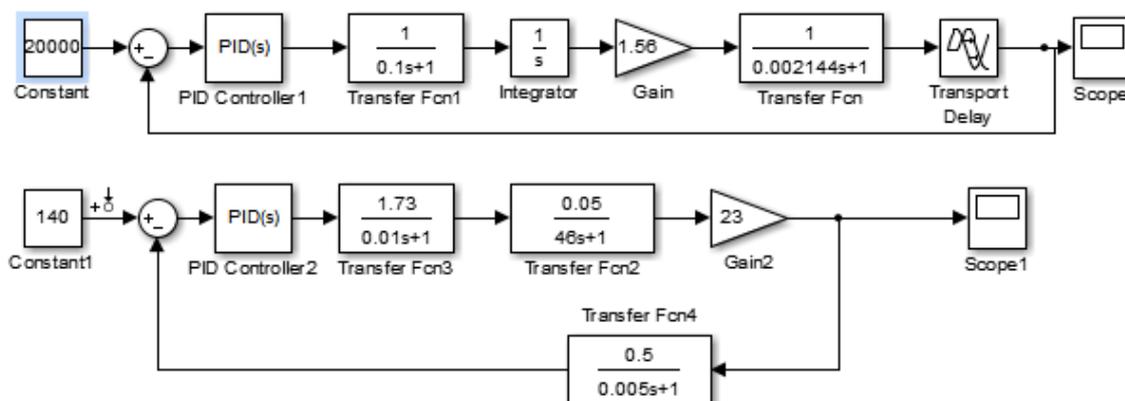


Рисунок 17 – модель системы с ПИД-регулятором

ПИД-регулятор можно настроить стандартными методами без использования вычислительных средств, но воспользуемся стандартными программными средствами MATLAB, а именно программным пакетом Simulink, который позволяет использовать для процедуры настройки регулятора прямой метод, т.е. задавать желаемое быстродействие системы и, исходя, из него получать значение коэффициентов регулятора. Настройке подлежат три коэффициента: пропорциональный ( $K_p$ ), интегральный ( $K_i$ ) и дифференциальный ( $K_d$ ). Для настройки регулятора воспользуемся утилитой PID Tuning (рисунок 14).

Потребуем от синтезируемой системы уменьшение времени переходного процесса.

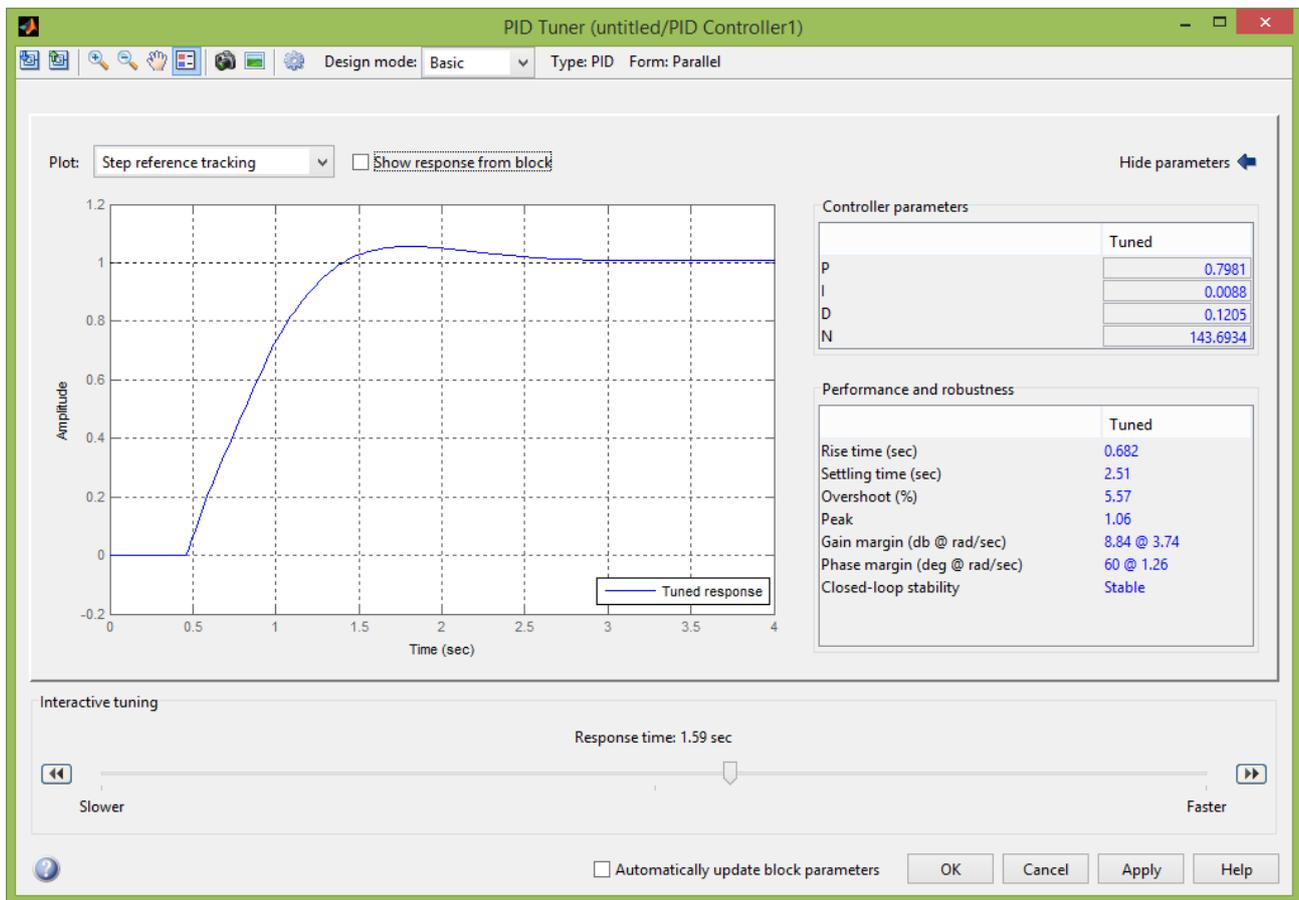


Рисунок18 – Окно утилиты PIDTuning

Данные параметры отражены на рисунке 19. Коэффициенты ПИД-регуляторов представлены на рисунке ниже.

Controller settings	
Controller form:	Parallel
Proportional (P):	0.798068498716896
Integral (I):	0.00881216921289175
Derivative (D):	0.120476871334396
Proportional (P):	1.58255707319406
Integral (I):	0.0560630590938017
Derivative (D):	-16.8426720462293
Filter coefficient (N):	0.0939611641698119

Рисунок 19 – Результат настройки блока PID (слева - управление расходом жидкости после дозатора, справа - поддержание температуры в резервуаре)

Коэффициенты регуляторы подобраны корректно, так как они все положительные и процесс установившийся, а также характеристики переходного процесса улучшились. На рисунке 16 представлен график переходного процесса с блока Score.

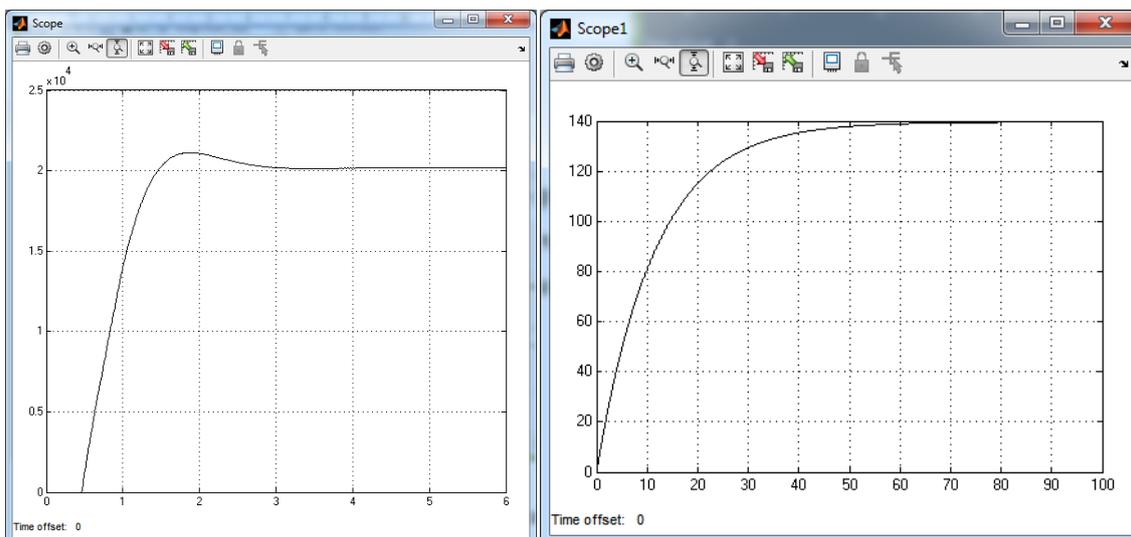


Рисунок 20 – Переходный процесс скорректированной системы (слева - управление расходом жидкости после дозатора, справа - поддержание температуре в резервуаре)

Получив скорректированный переходный процесс с оптимальными параметрами запишем передаточную функцию полученного ПИД-регулятора.

При работе с контроллерами Siemens SIMATIC можно не настраивать контроллер, так как при программировании контроллера достаточно лишь указать значение времени переходного процесса и значение перерегулирования, а вычислительное устройство контроллера подберет необходимые параметры составляющих регулятора. Однако для безопасности и надежности перед тем как начать программирование контроллера стоит иметь необходимые значения регулятора, чтобы в случае отказа вычислительного устройства записать в контроллер полученные ранее параметры.

Проведя компьютерное моделирование и удостоверившись в адекватности работы математической модели, было принято решение провести комбинированное моделирование. Для этого необходимо осуществить двустороннюю связь между ПЛК и программным пакетом MATLAB через OPC-сервер.

В качестве OPC-сервер мы используем программу Process Simulator. Данная платформа предназначена для тестирования систем автоматизации, начиная с простейшей имитации входных сигналов, и заканчивая построением

полного симулятора технологического оборудования. Plug-in архитектура с открытым API позволяет любому программисту добавить недостающий функционал и пользоваться чужими наработками. Проект сохраняется в виде XML документа, а встроенный OPC сервер открывает доступ ко всем данным для любого внешнего клиента. На рисунке 21 приведен OPC-сервер.

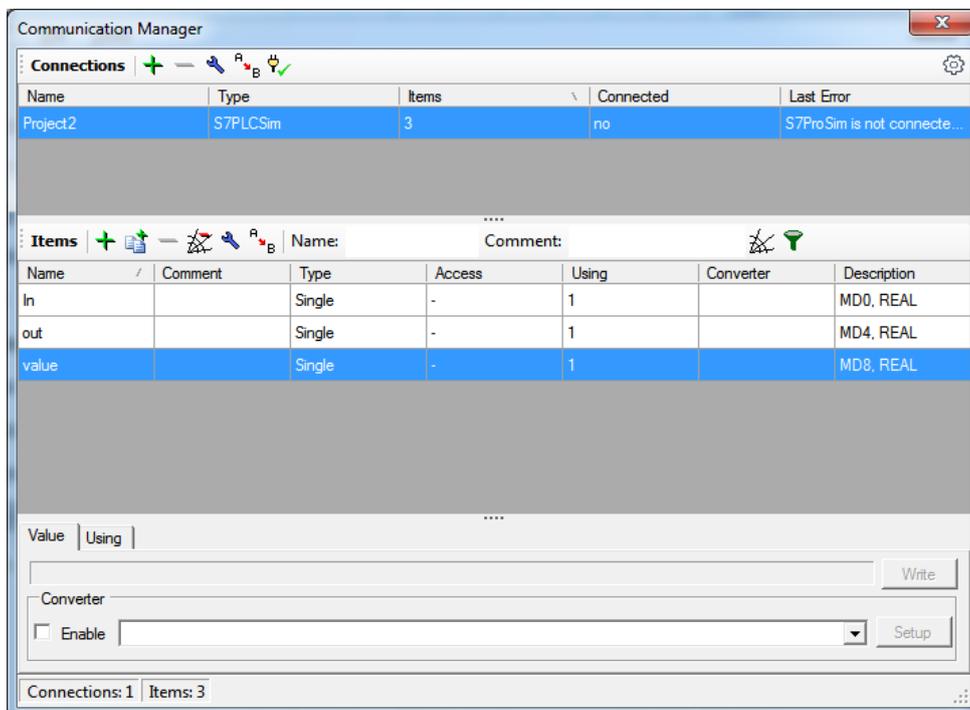


Рисунок 21 – OPC-сервер

В программном обеспечении Matlab используем пакет OPCToolbox для создание связи между ProcessSimulator и Matlab. Полученная модель приведена на рисунке 22.

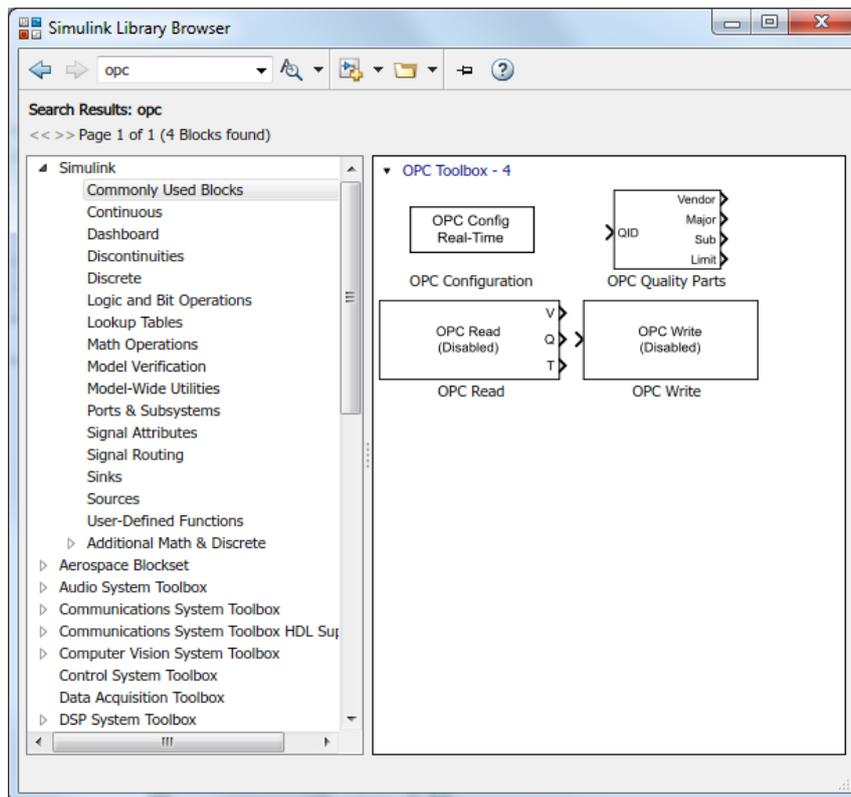


Рисунок 22 – Поиск компонентов OPCToolbox

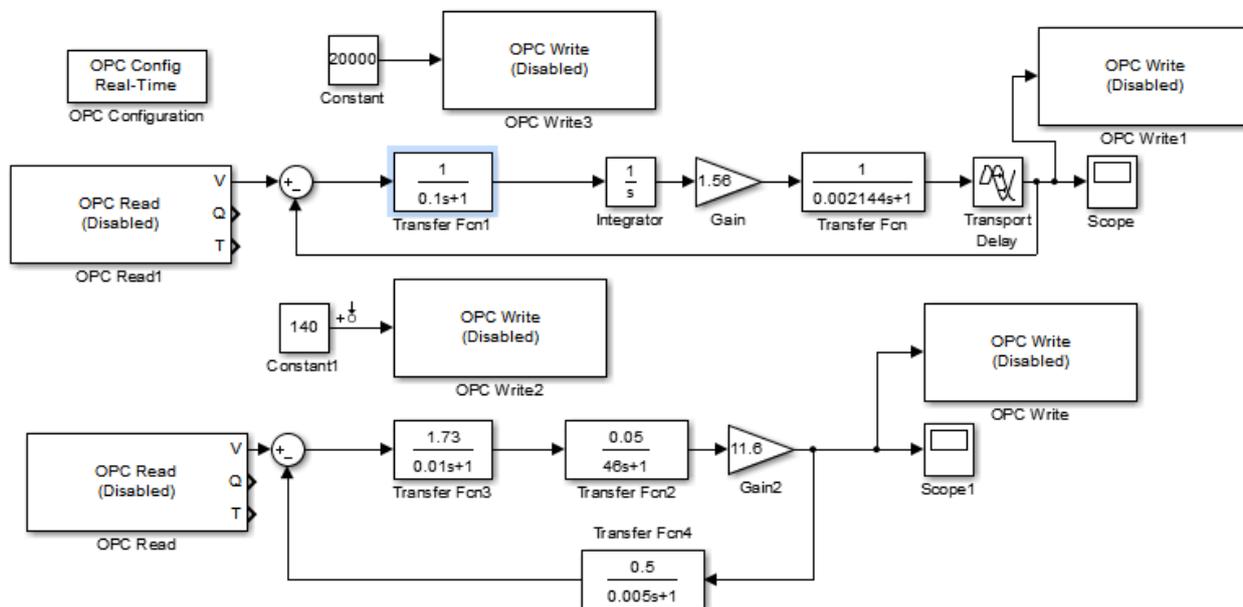


Рисунок 23 – модель системы с использованием компонентов OPCToolbox

Далее создадим управляющую программу для управления технологическим процессом. Программирование в TIA Portal осуществляется на двух основных языках FBD и STL.

FBD (англ. FunctionBlockDiagram) – графический язык программирования стандарта МЭК 61131-3. Предназначен для программирования программируемых логических контроллеров (ПЛК). Программа образуется из списка цепей, выполняемых последовательно сверху вниз. Цепи могут иметь метки. Инструкция перехода на метку позволяет изменять последовательность выполнения цепей для программирования условий и циклов.

Пакет TIAPortalv13 содержит программный блок ПИД регулятора, который показан на рисунке 24.

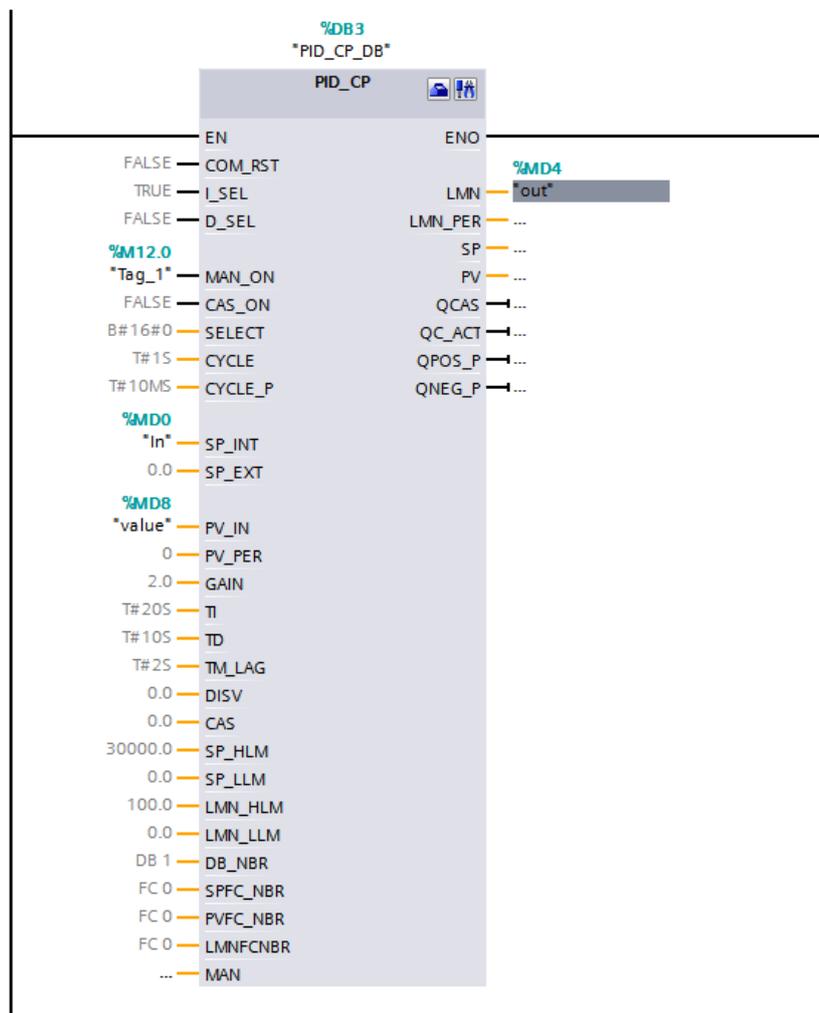


рисунок 24 – блок ПИД регулятор

Настройку ПИД-регулятора выполняют с помощью стандартных средств TIAPortal, для этого достаточно запустить процесс в ручном режиме и

откорректировать время переходного процесса. Данные действия идентичны действиям которые выполнялись при настройке ПИД-регулятора с помощью MatLab.

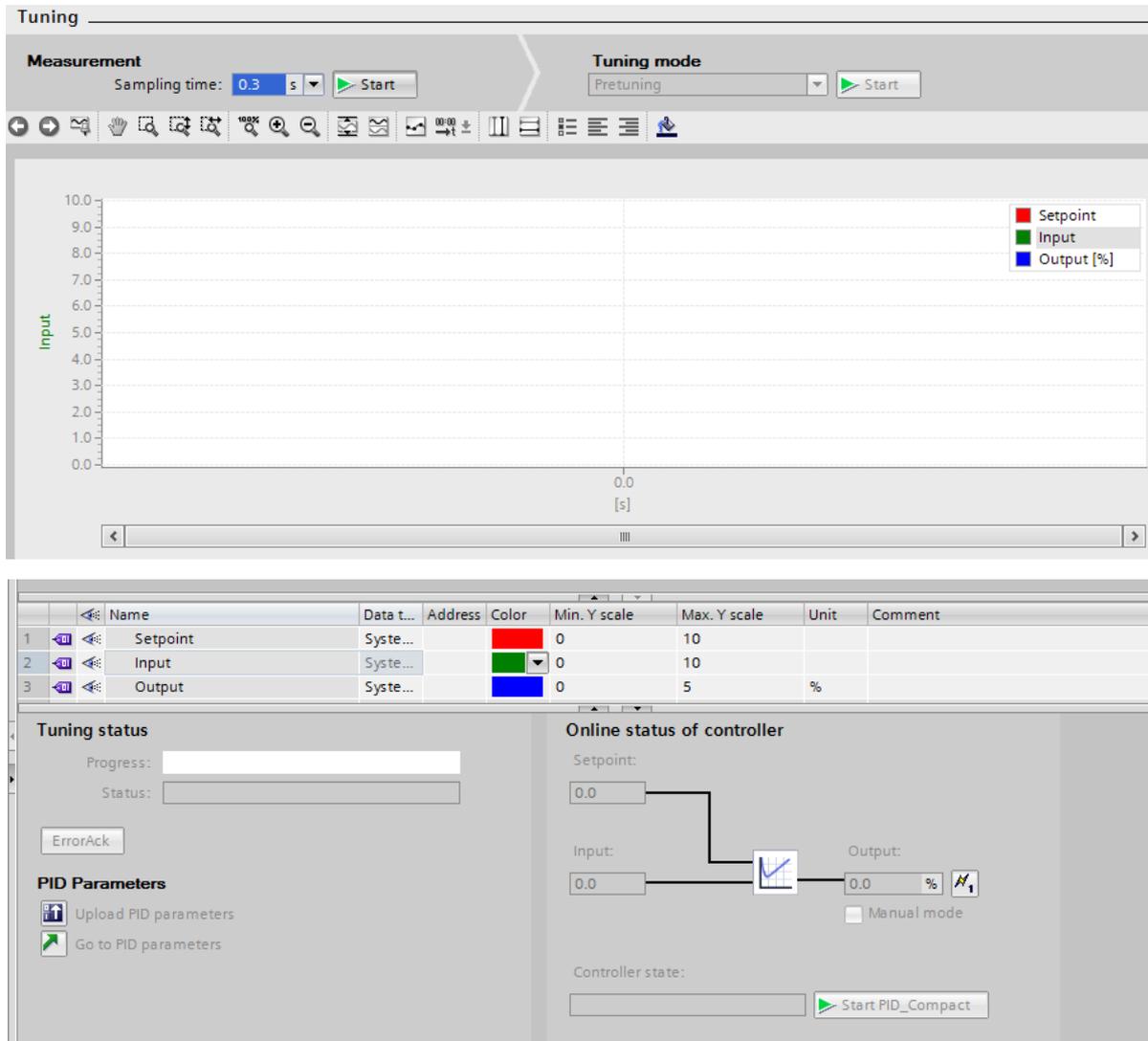


Рисунок 25 – Настройка ПИД-регулятора средствами TIAPortal.

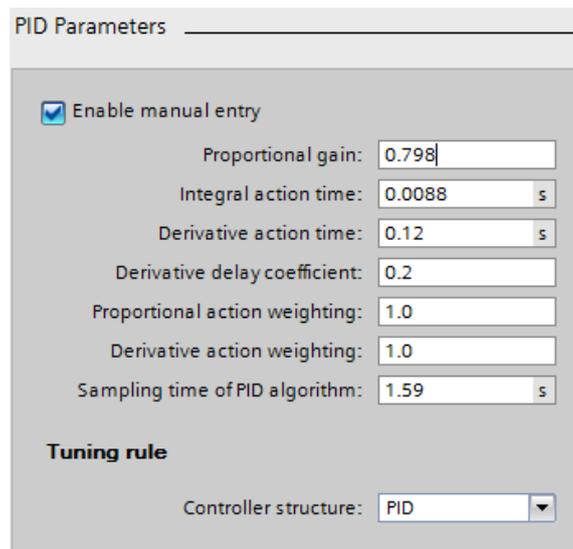


Рисунок 26 – Ручная настройка ПИД-регулятора

При ручной настройке ПИД-регулятора можно ввести необходимые параметры составляющих регулятора, а также задать необходимые границы и лимиты.

Проведем моделирование данной системы.

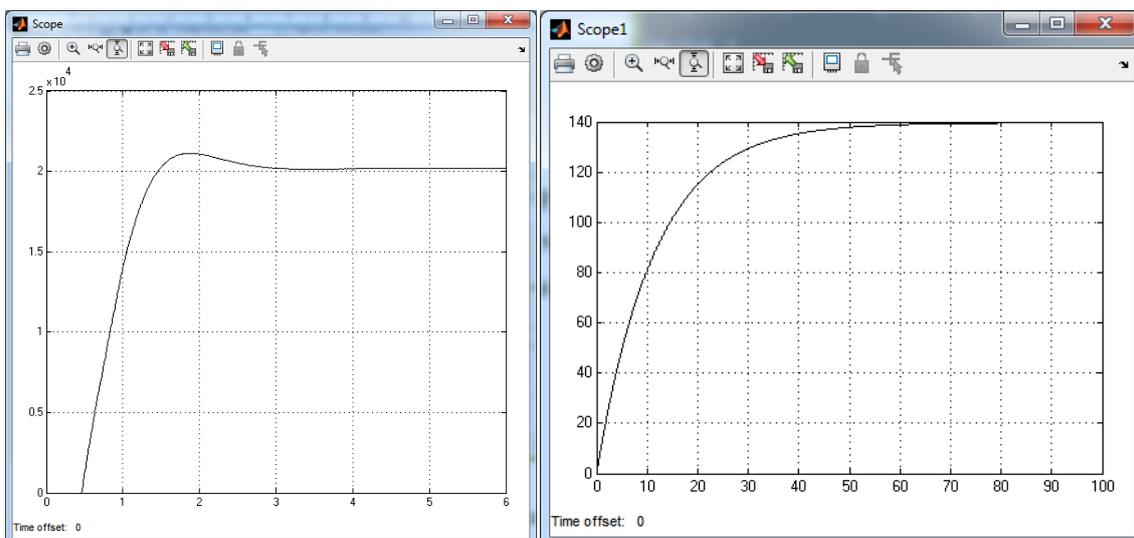


Рисунок 27 – Переходный процесс скорректированной системы (слева - управление расходом жидкости после дозатора, справа - поддержание температуре в резервуаре)

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ТМ61	Бологов Андрей Александрович

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение</b>	<b>Информационных технологий</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/ специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования.</i>
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
3. Планирование процесса управления НИТ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИТ</i>
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	<i>Проведение оценки экономической эффективности разработки системы распознавания пользователя по клавиатурному почерку</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений	
2. График проведения и бюджет НИТ	
3. Расчёт денежного потока	
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИТ	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.03.2018
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Верховская Марина Витальевна	Кандидат экономических наук		14.03.2018

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Бологов Андрей Александрович		14.03.2018

## **6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение**

В данной части выпускной квалификационной работы рассматривается эффективность от внедрения АСУ ТП. Не рассматривается оценка коммерческого и инновационного потенциала, так как не выявлено подобных решений, которые предлагают фирмы или какие-либо компании. При выполнении работы не предполагалось использование графического материала, так как не предполагается большое количество фундаментальных расчетов, которые могут потребовать графическое сопровождение для лучшей визуализации.

Основой для расчета капитальных затрат является определение стоимости автоматического оборудования (линии) и затрат на его проектирование и монтаж на предпроектной и проектной стадиях. При выполнении ВКР не рассматривается внедрение и установка системы, таким образом, при расчете экономической эффективности не учитываются затраты на монтаж и установку.

### **6.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Результатом исследования является возможность значительной экономии средств на стадии проектирования системы путем использования комбинированного моделирования, т.к. данный метод сочетает достоинства как математического, так и физического моделирования.

Целевым рынком данного исследования будут являться государственные корпорации по атомной энергетике, атомная и смежные отрасли научной промышленности РФ.

Сегментировать рынок услуг по использованию конкретной модели можно относительно экономической эффективности и полученных свойств исходного объекта. Результаты сегментирования представлены в Таблице 6.1.

Таблица 6.1. Карта сегментирования рынка услуг

		Методы моделирования		
		Физический	Математический	Комбинированный
Уровень эксплуатационных требований	Выполнения			
	Удовлетворительный			
Уровень выполнения	Высокий			
	Удовлетворительный			

### 6.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Таким образом, для анализа конкурентных технических решений стоит рассмотреть перечисленные выше методы моделирования

Оценочная карта анализа представлена в Таблице 6.2. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 6.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{k1}$	$B_{k2}$	$K_{\phi}$	$K_{k1}$	$K_{k2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,5
2. Удобство в эксплуатации	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
3. Надежность	0,2	5	4	5	1	0,8	1
4. Безопасность	0,2	5	5	3	1	1	0,6
5. Потребность в материальных ресурсах	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
6. Простота эксплуатации	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность метода	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
2. Стоимость разработки	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
3. Финансирование разработанного метода	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
Итого	1				4,9	4,4	4

На основании представленного выше анализа можно сделать вывод, что исследованный в данной диссертационной метод комбинированного является наиболее пригодным для эксплуатации.

### **6.1.2 SWOT-анализ**

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – SWOT-анализ

	<p>S1 Высокая степень проработанности мат. модели</p> <p>S2 Высокое качество ПО</p> <p>S3 Низкие затраты на внедрение</p> <p>S4 Применимость в других областях науки</p>	<p>Sl1 Отсутствие информации об аналогичных разработках</p> <p>Sl2 Невысокая квалификация персонала</p> <p>Sl3 Отсутствие возможности работать с техническими средствами предприятий</p> <p>Sl4 Невозможность работы с зарубежными предприятиями</p>
<p>V1 Использование связей ТПУ с ОАО «ИСС» для продвижения разработки</p> <p>V2 Благоприятная правительственная политика по отношению к исследованиям для аэрокосмической промышленности</p> <p>V3 Практически полное отсутствие конкуренции</p> <p>V4 Готовность руководства вкладывать в исследования деньги</p>	<p>Направленность разработки на конкретное предприятие позволяет не беспокоиться о продвижении разработки; о поиске финансирования на дальнейшие исследования. Правительственная поддержка исследований для промышленности и высокое качество разработки позволяет претендовать на различные стипендии и гранты.</p>	<p>Невысокая квалификация персонала и несовершенство методики синтеза может помешать продвижению разработки и получению дополнительного финансирования.</p>
<p>U1 Внесение изменений в конструкцию КТС</p> <p>U2 Внесение изменений в конструкцию стэнда автоматической компенсации веса</p> <p>U3 Отсутствие на предприятии сотрудника, способного работать с результатами исследования</p>	<p>Внесение изменений в конструкцию стэнда компенсации веса сделает бесполезной его модель. Вероятность отсутствия на предприятии сотрудника, способного работать с разработанным ПО, снижается высокой степенью проработанности ПО и низкими требованиями к квалификации персонала.</p>	<p>Изменение конструкции исследуемых технических средств может повлечь отказ целевого предприятия от использования разработки, однако, общая закрытость отрасли внутри страны и отсутствие возможности работать с зарубежными предприятиями не позволит продавать разработку в том же виде, следовательно, необходимо сделать предлагаемую разработку наиболее универсальной.</p> <p>Отсутствие на предприятии сотрудника, способного работать с результатами исследований, и отсутствие возможности поддерживать оборудование заказчика в течение его эксплуатации может привести к отсутствию спроса на разработку. Необходимо задуматься о привлечении специалистов в проект и создании службы поддержки оборудования заказчика.</p>

## 6.2 Планирование управления научно-техническим проектом

### 6.2.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР)– детализация укрупненной структуры работ, представлена на рисунке 6.1. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.



Рисунок 6.1.– Иерархическая структура работ

### 6.2.2 Контрольные события проекта

Ключевые события исследовательского проекта, их даты и результаты приведены в Таблице 6.4.

Таблица 6.4. Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Результат (подтверждающий документ)
---	---------------------	-------------------------------------

1	Разработка технического задания на НИР	Приказ по ФТИ
2	Составление и утверждение технического задания	Задание на выполнение исследования
3	Выбор направления исследований	
4	Подбор и изучение материалов по теме	Отчёт
5	Календарное планирование работ	План работ
6	Ознакомление с видами РАО	Отчёт
7	Ознакомление со способами обращения с РАО	Отчёт
8	Изучение программы MERCURAD	Отчёт
9	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	Отчёт
10	Обобщение и оценка результатов	Отчёт
11	Составление пояснительной записки	Пояснительная записка
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	
13	Подготовка к защите	

### 6.2.3 План проекта

В рамках планирования исследовательского проекта построен календарный план-график с помощью диаграммы Ганта. В данном случае работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ.

Линейный график представлен в Таблице 6.5.

Таблица 6.5. Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	2	1.02.2018	3.02.2018	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	2	3.02.2018	5.02.2018	Руководитель
3	Выбор направления исследований	5	5.02.2018	10.02.2018	Руководитель, Инженер
4	Подбор и изучение	2	10.02.2018	12.02.2018	Инженер

	материалов по теме				
5	Календарное планирование работ	1	12.02.2018	13.02.2018	Руководитель, Инженер
6	Ознакомление с видами РАО	10	13.02.2018	23.02.2018	Инженер
7	Ознакомление со способами обращения с РАО	5	23.02.2018	28.02.2018	Инженер
8	Изучение программы MERCURAD	25	28.02.2018	24.03.2018	Инженер
9	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	17	24.03.2018	10.04.2018	Инженер
10	Обобщение и оценка результатов	6	10.04.2018	16.04.2018	Руководитель, Инженер
11	Составление пояснительной записки	72	14.02.2018	25.04.2018	Инженер
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1	26.04.2018	27.04.2018	Руководитель, Инженер
13	Подготовка к защите	29	27.04.2018	25.05.2018	Инженер

В Таблице 6.6 представлен календарный план-график проведения научного исследования.

Таблица 6.6. Календарный план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал.дн	Продолжительность выполнения работ													
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Разработка технического задания	Руководитель	2	■													
2	Составление и утверждение технического	Руководитель	2	■													

	задания																		
3	Выбор направления исследований	Руководитель , Инженер	5																
4	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	2																
5	Календарное планирование работ	Руководитель , Инженер	1																
6	Изучение возможностей расчётной модели	Инженер	1																
7	Освоение методики расчёта на практике	Инженер	1																
8	Проведение расчётов	Инженер	45																
9	Анализ полученных данных	Инженер	2																
10	Обобщение и оценка результатов	Руководитель , Инженер	1																
11	Составление пояснительно й записки	Инженер	72																
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительно й записки	Руководитель , Инженер	1																
13	Подготовка к защите	Инженер	29																

 – Руководитель       – Инженер

### 3.2.3 Определение трудоемкости выполнения работ основными исполнителями темы.

Для расчета затрат на оплату труда на этапе проектирования необходимо сначала определить продолжительность каждой работы (начиная с составления технического задания (ТЗ) и до оформления документации включительно).

Продолжительность работ ( $t_{ож}$ ) определяется либо по нормативам (с использованием специальных справочников) для каждого исполнителя в отдельности, либо расчетом с помощью экспертных оценок по формуле:

$$t_{ож} = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5}, \quad (9)$$

где  $t_{\min}$  - минимальная трудоемкость работ, ч.-дн.;

$t_{\max}$  - максимальная трудоемкость работ, ч.-дн.

Выбор комплекса работ по разработке проекта производится в соответствии со следующими нормативными документами:

1. Единая система стандартов автоматизированных систем управления.

2. Укрупненные нормы времени на разработку программных средств вычислительной техники (утв. Постановлением Госкомтруда СССР, секретариата ВЦСПС от 24.09.1986 n 358/22-20).

3. Укрупненные нормы времени на разработку технологической документации (Утв. Постановлением Минтруда РФ №86 от 21.04.93).

4. Типовые нормы времени на разработку конструкторской документации (проектирование технологического оснащения) (Утв. Постановлением Госкомтруда СССР, секретариата ВЦСПС от 17.03.1986 N 93/6-6).

5. ГОСТ 19.102-77 «Единая система программной документации».

Для расчета заработной платы основных исполнителей проекта необходимо ожидаемое время перевести в рабочее, для этого нужно:

$$t_{раб} = t_{ож} \cdot K_d, \quad (10)$$

где  $K_d$  - коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ( $K_d=1,2$ ).

В данном проекте выполняют работу два человека: руководитель и Инженер. Руководитель здесь используется в качестве консультанта, который может подсказать необходимые тонкости при затруднении Инженера. Также руководитель присутствует при получении технического задания и при сдаче готового проекта, а также на промежуточных этапах, где необходимо присутствие опытного и достаточно квалифицированного руководителя.

Все расчеты по трудоемкости выполнения работ по разработке АСУ ТП сведены в таблицу 3.7.

Таблица 6.7. Трудоемкость выполнения работ по разработке АСУ

Наименование работ	Исполнители	Продолжительность работ, дни			
		t <sub>min</sub>	t <sub>max</sub>	t <sub>ож</sub>	t <sub>раб</sub>
1. Получение задания	Руководитель	1	2	1,4	1,68
	Инженер	1	2	1,4	1,68
2. Утверждение тех. задания	Руководитель	2	3	2,4	2,88
	Инженер	4	6	4,8	5,76
3. Разработка алгоритма автоматизации	Руководитель	0	0	0	0
	Инженер	1	2	1,4	1,68
4. Разработка мнемосхемы проекта	Руководитель	0	0	0	0
	Инженер	2	3	2,4	2,88
5. Согласование алгоритма и мнемосхемы с заказчиком	Руководитель	1	2	1,4	1,68
	Инженер	2	5	3,2	3,84
6. Разработка программы автоматизации	Руководитель	0	0	0	0
	Инженер	3	5	3,8	4,56
7. Написание программы для контроллера управления	Руководитель	0	0	0	0
	Инженер	2	5	3,2	3,84
8. Симуляция написанной программы	Руководитель	0	0	0	0
	Инженер	1	2	1,4	1,68
9. Обоснование безопасности и экономичности производства	Руководитель	1	1	1	1,2
	Инженер	2	4	2,8	3,36
10. Подведение итогов работы	Руководитель	1	1	1	1,2
	Инженер	2	4	2,8	3,36
11. Завершение написания техдокументации	Руководитель	1	1	1	1,2
	Инженер	2	4	2,8	3,36
12. Оформление графического материала	Руководитель	0	1	0,4	0,48
	Инженер	2	3	2,3	2,76
13. Сдача готового проекта	Руководитель	1	2	1,4	1,68
	Инженер	2	3	2,4	2,88
ИТОГО	Руководитель	8	13	10	12
	Инженер	24	48	34,7	41,64

### 6.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

### 6.4 Затраты на электроэнергию

К данному пункту относится стоимость потребляемой электроэнергии компьютером за время разработки программы.

Стоимость электроэнергии, потребляемой за год, определяется по формуле:

$$C_{эл} = P_{ЭВМ} \cdot T_{ЭВМ} \cdot Z_{эл}$$

где  $P_{ЭВМ}$  – суммарная мощность ЭВМ, кВт;

$T_{ЭВМ}$  – время работы компьютера, часов;

$Z_{эл}$  – стоимость 1 кВт/ч электроэнергии, руб.

Рабочий день равен 8 часам, следовательно, стоимость электроэнергии за период работы компьютера во время создания программы будет вычисляться по формуле:

$$C_{эл} = P_{ЭВМ} \cdot T_{ПЕР} \cdot 8 \cdot Z_{эл}$$

где  $T_{ПЕР}$  – время эксплуатации компьютера при создании программы, дней.

Предположим, что ЭВМ имеет  $P_{ЭВМ}=0,24$  кВт, а стоимость 1 кВт/ч электроэнергии  $З_{ЭЛ}=5,8$  руб. Тогда расчетное значение затрат на электроэнергию равно:

$$C_{ЭЛ} = 0,24 \cdot 50 \cdot 8 \cdot 5,8 = 556,8 \text{ руб}$$

### 6.5 Основная заработная плата исполнителей темы

Расчет основной заработной платы при дневной оплате труда исполнителей проводится на основе данных по окладам и графику занятости исполнителей:

$$З_{з.осн} = З_{дн} \cdot T_{раб}$$

где  $З_{дн}$  –среднедневная заработная плата;

$T_{раб} = T_{кал}/K_{кал}$  – число дней, отработанных исполнителем в проекте;

где  $K_{кал} = \frac{365}{365 - \text{праздники} - \text{выходные}}$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$З_{дн} = (З_{м} \cdot M) / F_{д},$$

где  $З_{м}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{д}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (Таблица 6.8). Районный коэффициент равен 1,3

Таблица 6.8. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни;	52	104
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск;	48	24
– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Для инженера количество рабочих дней составляет:

$$K_{\text{кал}} = \frac{365}{223} = 1,64$$

$$T_{\text{раб}} = \frac{108}{1,64} = 66$$

Для руководителя количество рабочих дней составляет:

$$K_{\text{кал}} = \frac{365}{251} = 1,45$$

$$T_{\text{раб}} = \frac{12}{1,45} = 9$$

Инженер получает заработную плату, равную 9489 руб/месяц.

Среднедневная ЗП составляет:

$$З_{\text{дн}} = (9489 \cdot 1,3 \cdot 11,2) / 223 = 619,55 \text{ руб/день.}$$

Основной заработок инженера за время преддипломной практики составляет:

$$З_{\text{осн}} = 619,55 \cdot 66 = 40890,56 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.

- стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

- иные выплаты: районный коэффициент.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является сотрудник с должностью доцент. Оклад доцента составляет 33664 рубля.

Районный коэффициент по Томску равен 1,3.

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = (33664 \cdot 1,3 \cdot 10,4) / 251 = 1813,29 \text{ руб} / \text{день}.$$

$$Z_{\text{осн}} = 1394,84 \cdot 9 = 16319,63 \text{ руб}.$$

В Таблице 6.9 можно увидеть расчет заработной платы с перечнем исполнителей и их месячных и дневных окладов, а также времени участия в проекте и рассчитанной основной заработной платой с учетом районного коэффициента для каждого исполнителя.

Таблица 6.9. Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад ( руб.)	Дневной оклад, руб	Трудоемкость, раб.дн.	Основная заработная плата (руб.)
Руководитель	33664	1813,29	9	16319,63
Инженер	9489	619,55	66	40890,56
ИТОГО:				57210,19

## 6.6 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

Примем коэффициент дополнительной заработной платы равным 0,15 для научного руководителя и 0,1 для Инженера. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в Таблице 6.10.

Таблица 6.10. Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата, руб.	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	16319,63	40890,56
Дополнительная зарплата	2447,95	4089,06
Зарплата исполнителя	18767,58	44979,62
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	63747,2	

## 6.7 Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 30% от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением исследовательской работы.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$C_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot 63747,2 = 17275,49 \text{ руб.}$$

## 6.8 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы.

Примем  $k_{\text{накл}} = 20 \%$ .

Накладные расходы составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,2 \cdot 63747,2 = 12749,44 \text{ руб.}$$

## 6.9 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 6.11.

Таблица 6.11. Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. затраты на электроэнергию	556,8
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	57210,19
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	6537,01
4. Отчисления во внебюджетные фонды	17275,49
5. Накладные расходы	12749,44
6. Себестоимость НИР	94328,93
7. Цена разработки АСУ ТП	94328,93

## 6.10 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представляет собой временное структурное образование, создаваемое для достижения поставленных целей и задач проекта и включающее в себя всех участников процесса выполнения работ на каждом этапе.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически: у каждого участника проекта есть непосредственный руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель).

Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 6.2.

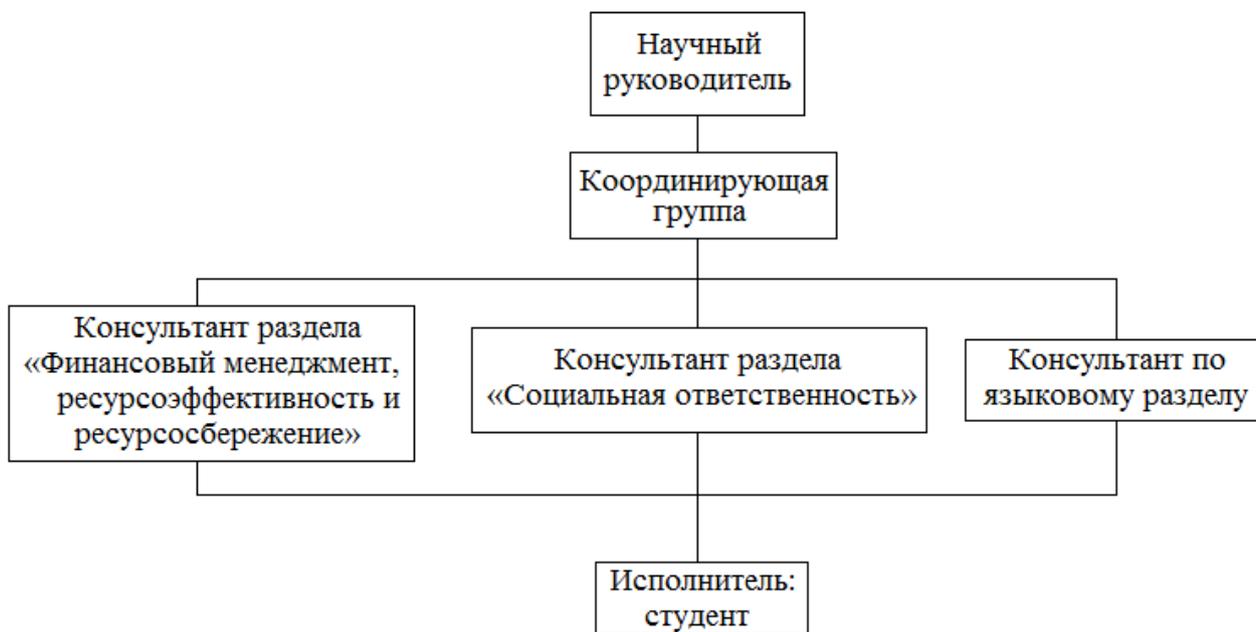


Рисунок 6.2 – Организационная структура научного проекта

### 6.11 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в Таблице 6.10.

Таблица 6.12. Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Соцответственность»	Консультант по языковому разделу	Инженер
1. Получение задания	О				
2. Утверждение тех. задания	О				
3. Разработка алгоритма автоматизации	С				И

4. Разработка мнемосхемы проекта	С				И
5. Согласование алгоритма и мнемосхемы с заказчиком	С				И
6. Разработка программы автоматизации					И
7. Написание программы для контроллера управления					И
8. Симуляция написанной программы					И
9. Обоснование безопасности и экономичности производства					И
10. Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения		С			И
11. Выполнение раздела по социальной ответственности			С		И
12. Выполнение перевода части работы на английский язык				С	И
13. Подведение итогов работы	С				И
14. Завершение написания техдокументации	С				И
15. Оформление графического материала	О				И

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

- ответственный (О)– лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);
- согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

#### **6.12 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более)

вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 3.12). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где  $I_{финр}^{исп.i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{финр} = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{94328,93}{100928} = 0,94;$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{финр}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{100928}{100928} = 1;$$

$$I_{финр}^{a2} = \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{max}} = \frac{98857,88}{100928} = 0,98.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i ,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен ниже (Таблица 6.13).

Таблица 6.13. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1.Повышение роста производительности труда пользователя	0,25	5	3	3
2. Удобство в эксплуатации	0,2	5	4	3
3. Надёжность	0,25	5	2	2
4. Экономичность	0,15	5	4	4
5. Материалоёмкость	0,15	5	5	5
ИТОГО	1	5	3,4	3,2

$$I_{\text{тп}} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 5;$$

$$\text{Аналог 1} = 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 3,4;$$

$$\text{Аналог 2} = 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 3,2.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{\text{финр}}^p$ ) и аналога ( $I_{\text{финаi}}^{ai}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по

формуле: 
$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p}; I_{\text{финаi}}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_{\text{финаi}}^{ai}};$$

В результате:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p} = \frac{5}{0,94} = 5,31;$$

$$I_{финр1}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{финр}^{a1}} = \frac{3,4}{1} = 3,4;$$

$$I_{финр2}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{финр}^{a1}} = \frac{3,2}{0,98} = 3,27.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:  $\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финаi}^{ai}}$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в Таблице 6.14.

Таблица 6.14. Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,98	0,94
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,4	3,2	5
3	Интегральный показатель эффективности	3,4	3,27	5,31
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,56	1,62	1

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ТМ61	Бологов Андрей Александрович

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение</b>	<b>Информационных технологий</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Рабочим местом является аудитория №106 10 корпуса Томского политехнического университета. В аудитории рабочей зоной является место за персональным компьютером, отведённое студенту для выполнения работы. Технологический процесс представляет собой написание программного кода и создание модели прототипа системы. Данный технологический процесс относится к числу единичных. Основным оборудованием, на котором производится работа, является персональный компьютер с периферийными устройствами.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Защита в случае аварийно ситуации</b>	Анализ .выявления опасных факторов: разработка поведения системы АСУ ТП в случае некорректной работы самой системы
<b>2. Защита от ввода некорректных данных</b>	Анализ .выявления опасных факторов: защита от дурака
<b>3. Описание системы</b>	Проанализировал плюсы и минусы интерфейса программ TiaPortal и Matlab для пользователя

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	<b>14.03.2018</b>
---	-------------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент ИШХБМТ	Невский Егор Сергеевич	-		<b>14.03.2018</b>

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8ТМ61	Бологов Андрей Александрович		<b>14.03.2018</b>

## **7 Социальная ответственность**

### **Введение**

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается проектирование автоматизированной системы управления технологическим процессом получения водного щелочного раствора силикатов натрия на базе программируемого логического контроллера Siemens SIMATIC S7-1500.

На данной стадии выполняется лишь проектирование АСУ ТП и программирование контроллера для управления данной системой.

При выполнении проектирования основная работа выполняется за компьютером и с использованием технической документации о системе для получения водного щелочного раствора силикатов натрия.

### **7.1 Описание системы**

Данная система АСУ ТП и программирование контроллера были смоделированы в программных обеспечениях TiaPortal v.13 и Matlab (рисунок 7.1 и 7.2). Данные ПО используются при разработке, тестировании и отладки модели до внедрения ее в производство.

Разработка проектов для контроллеров и устройств распределённого ввода-вывода, конфигурирование систем человеко-машинного интерфейса и SCADA систем, параметрирование сетевых компонентов и модулей связи, отладка программных алгоритмов управления, а так же ввод в эксплуатацию приводов — все это объединено в общую структуру программного обеспечения и имеют унифицированный пользовательский интерфейс. Это не только ускоряет работу, но и позволяет создавать прозрачные решения, которые просты в обслуживании и диагностике, могут быть легко расширены или трансформированы.

В продукте TIA Portal поставлена простота использования продукта (Usability). Принципиально новый пользовательский интерфейс призван облегчить пользователю работу с платформой, а его унификация и стандартизация упрощают работу с разнообразным оборудованием. Это новое

слово в разработке программного обеспечения. Основной упор сделан на наглядность, интуитивную понятность и отсутствие многократно вложенных структур.

Первый экран предлагает пользователю выбор доступных компонентов, как бы спрашивая «с чем будем работать?». Можно сразу перейти к параметрированию оборудования, написанию программ или разработки графических объектов человеко-машинного интерфейса. Если задействован дополнительный инструментарий, например, для параметризации приводов, он так же появляется на «портальной» странице.

При этом весь проект рассматривается как единое целое, а обработка отдельных функций проекта производится соответствующим инструментом. Можно, наоборот, переключиться в «проектный» вид, где представлена детализация и, уже в зависимости от решаемой задачи, выбирать инструментарий.

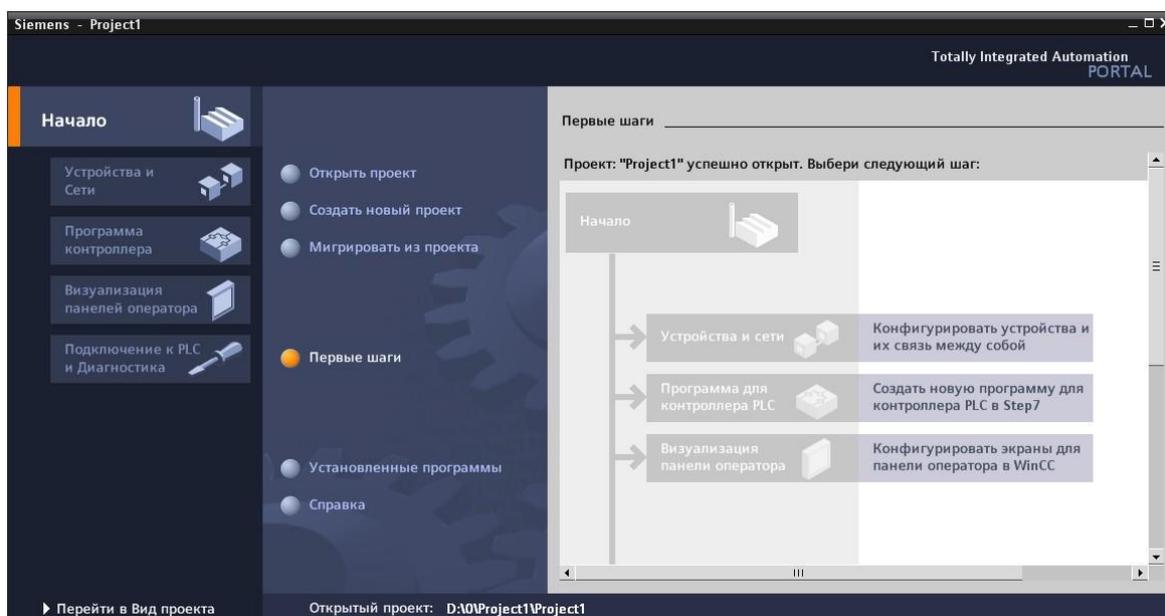


Рисунок 7.1 – Главное окно TIA portal.

Среда MATLAB имеет собственный язык программирования, напоминающий BASIC, а также располагает большими возможностями для работы с сигналами, для расчета и проектирования систем связи, цифровых и аналоговых фильтров, различных вычислительных систем. Имеются в наличии

и средства для спектрального анализа и синтеза, быстрого преобразования Фурье (БПФ), обработки изображений, Wavelet-анализа. Кроме этого, пользователь может ввести в систему любую новую встроенную команду, оператор или функцию.

При помощи командного окна можно осуществлять все вычисления в режиме калькулятора. При этом можно осуществлять присвоения различным переменным значений и далее пользоваться ими в командном окне. Рабочее пространство среды является удобным средством для просмотра числовых массивов в процессе формирования и отладки вычислительных процедур (программ).

Программирование в среде MATLAB осуществляется путем создания М-файлов с расширением .m. Недостатком является отсутствие оператора безусловного перехода GO TO, однако это можно полностью возместить путем структурного программирования с обращением к различным функциям и процедурам. Кроме этого, с помощью встроенных инструментальных средств имеется возможность формировать графический пользовательский интерфейс, значительно облегчающий работу с программами, созданными в среде MATLAB, а также их отладку.

Пакет визуального моделирования Simulink является пакетом расширения среды MATLAB и позволяет осуществлять моделирование поведения динамических линейных и нелинейных систем. Пользователь осуществляет графическую сборку любой системы из отдельных блоков, хранящихся в библиотеках Simulink. В результате такой сборки образуется модель исследуемой системы (S-модель), которая хранится в файле с расширением .mdl.

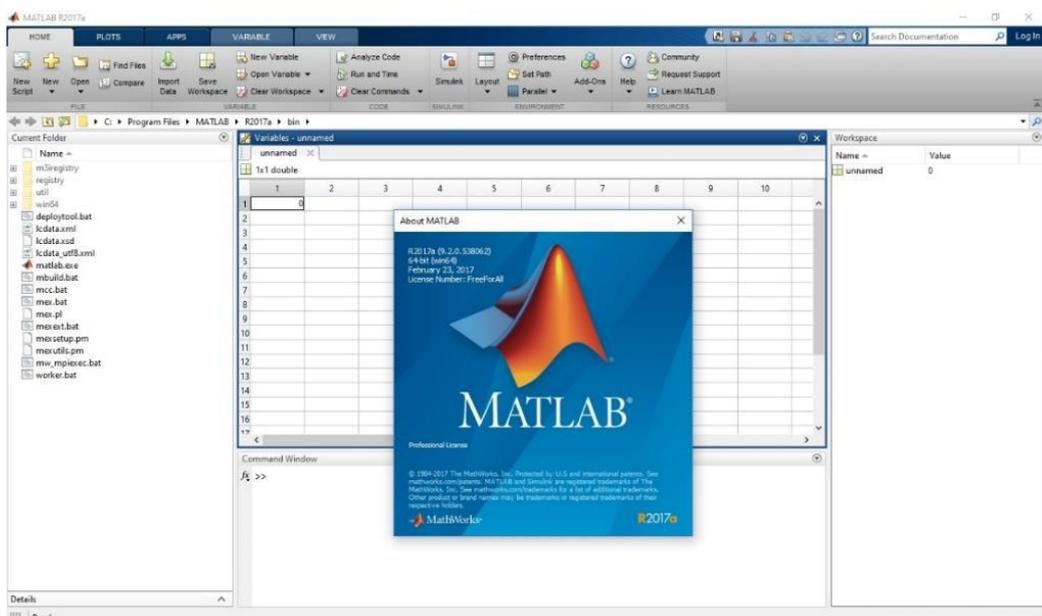


Рисунок 7.2 – Главное окно программного пакета MATLAB

Программные обеспечения хоть и просты в понимании и использовании, но для работу в данных ПО некоторое умение и знание этих продуктов. Поэтому данной моделью смогут пользоваться те работники, который имеет навык работы в данных программных обеспечениях.

## 7.2 Графический интерфейс

На рисунке 7.3 представлен график переходного процесса. Данный график видит инженер, разрабатывающий систему АСУ ТП.

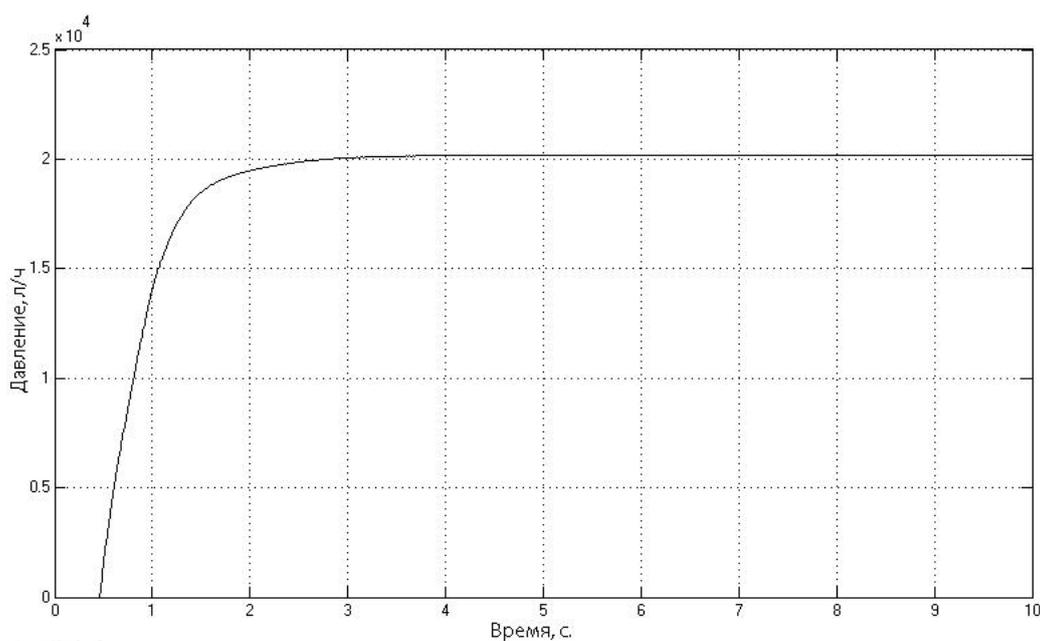


Рисунок 7.3 – график переходного процесса.

### **7.3 Защита в случае аварийно ситуации**

В данной модели предусмотрена защита по предотвращению аварийно ситуации. Наступление аварийная ситуация возможно при поломке или некорректной работы оборудования, что повлечет за собой неправильную обработку плава урана и также возможен вывод из строя всей модели.

Поэтому в системе предусмотрен резервуар для слива вещества в случае аварийной ситуации, к нему подводится два трубопровода, один из них подключен к трубопроводу сразу за сливом из перемешивающего реактора, а второй после дозатора. Во время получения оксида урана в системе могут возникать различные аварийные ситуации, во время аварийных ситуаций не целесообразно поддерживать перемешивание вещества в реакторе пока будет ликвидирована аварийная ситуация, а также аварийная ситуация может возникнуть в реакторе или в дозаторе. Во всех подобных случаях для безопасности на производственном участке необходимо выполнить сброс вещества в резервуар. При сбросе из резервуара вещество будет под давлением выходить в трубопровод, давление в резервуаре будет присутствовать из-за условий технологического процесса. Из дозатора вещество можно удалить путем прогона через дозатор или путем включения обратного вращения ротора электродвигателя, тем самым будет создаваться давление, и вещество удалится из системы через трубопровод после резервуара.

### **7.4 Защита от ввода некорректных данных**

Защита от дурака — защита предметов пользования (в особенности, техники), программного обеспечения и т. п. от очевидно неверных действий человека, как при пользовании, так и при техническом обслуживании или изготовлении. Концепция была формализована Сигэо Синго в 1960-х, японским инженером-производителем, который в своё время создал производственную систему Toyota.

Примеры

- ванны и раковины зачастую содержат отверстия перелива, расположенные вблизи их верхней кромки и предотвращающие переполнение резервуара водой;

- контроль данных, вводимых пользователем, на соответствие допустимому типу, диапазону значений, общей длине и т. п. для данной операции, а также пресечение попыток нарушить работу системы путём ввода заведомо неверной информации;

- форма штекера и ответного гнезда разъёма не даёт соединить их неправильно;

- детали сборных агрегатов (например, кухонных комбайнов) проектируются таким образом, чтобы не допустить случайную неправильную сборку (вставка их не той стороной, не в той последовательности и т. п.)

- добавляется блокировка — система не включается, не срабатывает или автоматически отключается в опасном положении: со снятым защитным кожухом, в неправильном положении, с рабочим органом (стволом) направленным на себя или «друзей», при наличии в рабочей зоне людей или любых посторонних объектов. Для этого в устройство добавляются разнообразные датчики и автоматика отключения;

- электроника автомобиля при запуске двигателя проверяет положение рычага переключения передач;

- многие станки имеют датчики, подающие сигнал, что деталь закреплена неправильно.

Способы защиты от дурака делятся на уровни (по возрастанию эффективности):

- 1-й уровень — обнаружение несоответствий продукции (система обнаруживает несоответствующую деталь, но не отбрасывает её);

- 2-й уровень — недопущение несоответствия (исключается возможность обработать несоответствующую деталь на следующей операции);
- 3-й уровень — конструкционная защита (пример — изделие имеет такую конструкцию, что установить или собрать его непредусмотренным образом невозможно).

В данной работе был рассмотрен третий уровень защиты (конструкционный). Система содержит много задающих параметров (давление, температура, уровень и т.п.д.), которые необходимо регулировать. Рассмотрим контур расходом жидкости после дозатора. Давление в перемешивающем устройстве определяется положением задвижки на трубопроводе. Для того чтобы обезопасить систему от некорректного входного сигнала необходимо поставить "защиту от дурака".

В программном обеспечении Matlab в пакете simulink имеется звено Saturation (рисунок 7.4), которое ограничивает входной сигнал (верхний порог и нижний порог). Выходной сигнал блока равен входному если его величина не выходит за порог ограничения. По достижении входным сигналом уровня ограничения выходной сигнал блока перестает изменяться и остается равным порогу. На рисунке 6 показан пример использования блока для ограничения синусоидального сигнала. На рисунке 7.5 приводятся временные диаграммы сигналов и зависимость выходного сигнала блока от входного.

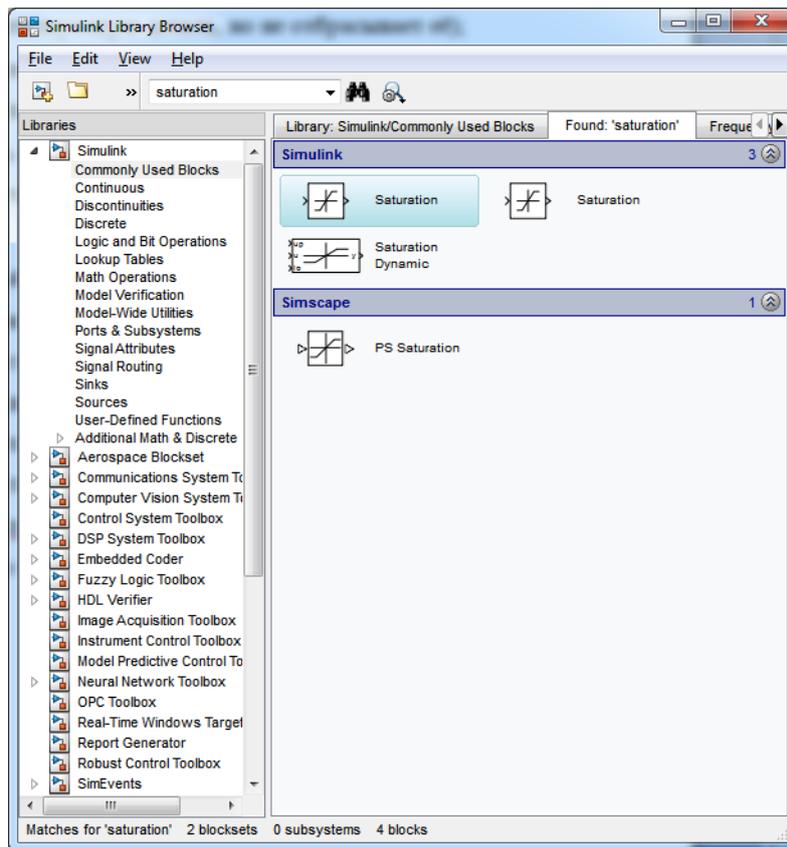


рисунок 7.4 – звено Saturation

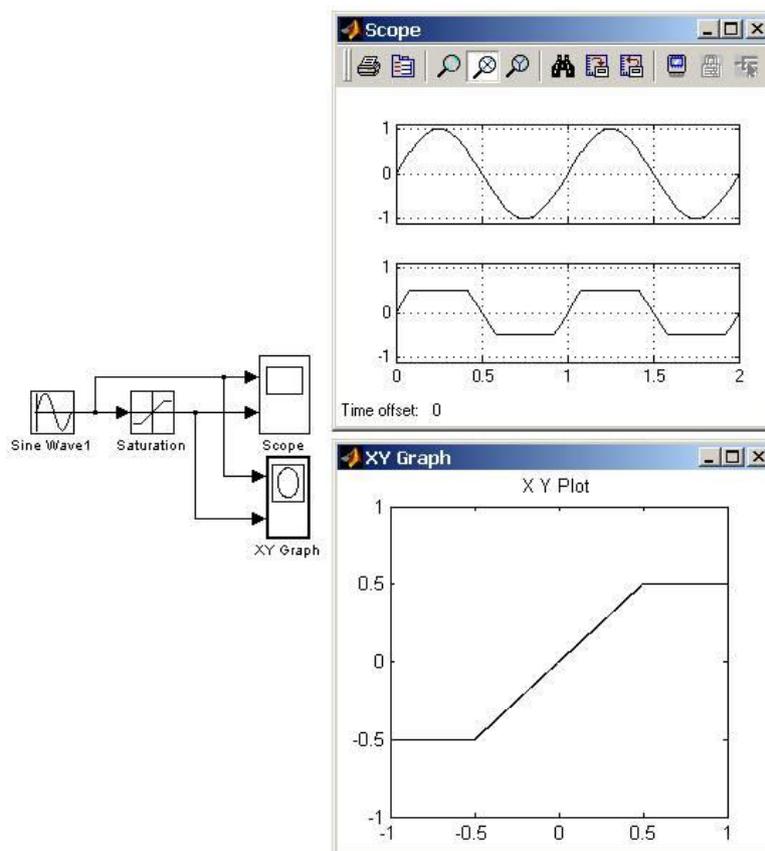


рисунок 7.5 – пример использования звено Saturation

Ниже приведена схема управления контуром расходом жидкости после дозатора с использованием блока Saturation (рисунок 7.6).

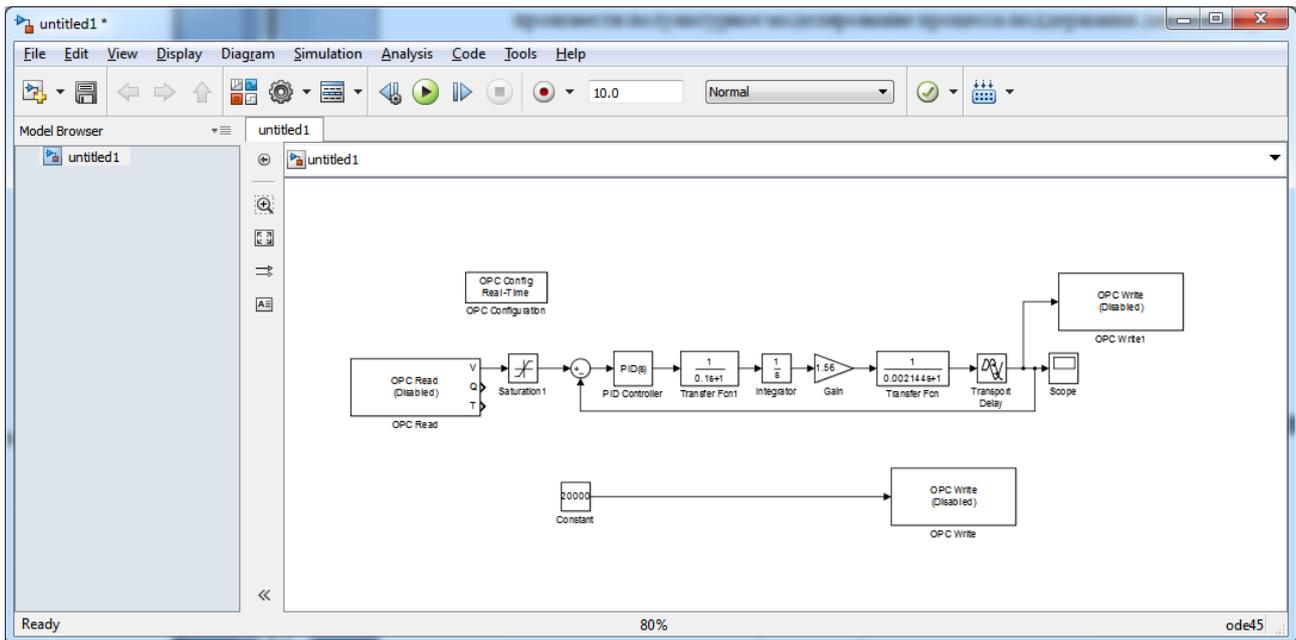


рисунок 7.6 – схема управления контуром расходом жидкости после дозатора

## **Заключение**

В результате выполнения выпускной квалификационной работы разработана система автоматического управления получением диоксида урана.

Система автоматического управления основывается на программируемом логическом контроллере Siemens SIMATIC S7-1516-3 PN/DP, который способен контролировать, диагностировать и выполнять мониторинг всего процесса получения диоксида урана. Рассмотрены несколько контроллеров других фирм, но не подошедших, так как отсутствует поддержка мобильных панелей оператора с HMI.

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы рассмотрены методы получения диоксида урана с основными параметрами технологических величин во время производства. Посчитаны коэффициенты ПИД-регулятора для поддержания постоянного давления, на уровне 1 МПа и температуры 140°C, во время перемешивания. Данные коэффициенты могут понадобиться если откажет блок ПИД-регулирования контроллера или невозможно будет осуществить настройку стандартными средствами TIA Portal v.12.

Также были рассмотрены вопросы технико-экономического обоснования проекта и выполнен раздел социальная ответственность, аспекты которого рассматривают условия при выполнении проектирования.

Таким образом, в результате выполнения выпускной квалификационной работы выполнено проектирование автоматизированной системы управления технологическим процессом пламенной денитрации урана, разработка алгоритма производственного процесса, составление программы выполнения производственного процесса для контроллера Siemens SIMATIC S7-1516.

## Список использованных источников

1. Теория моделирования и методы экспериментального исследования [Электронный ресурс] – URL: <http://hnu.docdat.com/docs/index-199161.html> // (дата обращения: 12.05.2017).
2. Патент US 5628048 «Способ получения триоксида урана путем прямой термической денитрации водного раствора гексагидрата уранил нитрата», 1997.
3. 2. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: Физматлит, 2003. – 759 с.
4. 0,025 – 50 м<sup>3</sup> [Электронный ресурс] / Инжиниринговая компания «Спецкомплектация». URL: <http://www.sp-kom.ru/catalog/27.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.
5. Дозатор ленточный автоматический «ДЛА» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scma.ru/ru/products/3-2.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.
6. Парогенераторы промышленные электрические электродные автоматические серии ПЭЭ [Электронный ресурс] / Энергия пара. URL: [http://www.par-ma.ru/pargen\\_avto.php?id=4](http://www.par-ma.ru/pargen_avto.php?id=4), свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.
7. Фильтры жидкостные сетчатые для трубопроводов [Электронный ресурс] / PENZENERGOMASH. URL: <http://zaopem.ru/projects/filtri-zhidkostnie-setchatie-dlja-truboprovodov-sdzh>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.
8. Насосы с плунжерным поршнем и с механизмом механического возврата Ехастасурии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.afcomp.ru/pdf/seko/eexacta.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.

9. Структурные схемы управления и контроля [Электронный ресурс]. URL: <http://xn----8sbnaarbiedfksmiphlmncm1d9b0i.xn--p1ai/proektirovanye-avtomatiki/48-proektirovanye-lokalnyh-sistem-kontrolya/208-strukturnye-shemy-kontrolya.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.

10. SONOELIS – ультразвуковые расходомеры с питанием от сети [Электронный ресурс] / ЭЛЕМЕР. URL: <http://www.elemer.ru/production/flowmeters/sonoelis/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.

11. Датчики давления расплава Стандартные РТ 112 [Электронный ресурс] / Группа Компаний STR. URL: [http://www.pp30.ru/menu\\_left/gear/dop/](http://www.pp30.ru/menu_left/gear/dop/), свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.

12. Термопреобразователи ТСМУ-205-Н, ТСПУ-205-Н, ТХАУ-205-Н [Электронный ресурс] / ЭЛЕМЕР. URL: [http://www.elemer.ru/production/temperature/txxu/txxu\\_205n.php](http://www.elemer.ru/production/temperature/txxu/txxu_205n.php), свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.

13. Термопара – термоэлектрические преобразователи [Электронный ресурс]. URL: <http://www.elemer.ru/production/temperature/tp.php>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.

14. Емкостный уровнемер NivoCAP [Электронный ресурс] / РОСПРИБОР автоматизация технологических процессов. URL: <http://www.9602832.ru/product/urovnerm/15-nivocapm.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.

15. Интеллектуальный высокоточный врезной датчик гидростатического давления с цифровым выходом серии LMP 331i [Электронный ресурс] / BDSSENSORSRUS. URL: [http://www.bdsensors.ru/products/product\\_info.php?name=lmp331i](http://www.bdsensors.ru/products/product_info.php?name=lmp331i), свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.

16. Цифровой датчик расхода [Электронный ресурс]. URL:<http://www.automation.siemens.com/mcms/sensor-systems/en/process-instrumentation/flow-measurement/ultrasonic-flow-meter/inline-flow/industry/pages/sitrans-f-us-sono-3100-sitrans-fus060.aspx>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз.англ. Дата обращения: 30.05.2014 г.
17. Громаков Е.И. Проектирование автоматизированных систем. Курсовое проектирование: учебно-методическое пособие: Томский политехнический университет. – Томск, 2009. – 173 с.
18. Modicon M340 [Электронный ресурс] / Schneider Electric. URL: <http://www.schneider-electric.com/products/ru/ru/3900-plk-pk-sovmestimye-kontrollery-udalennyj-vvod-vyvod/3950-plk/1468-modicon-m340/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус, англ, нем. Дата обращения: 30.05.2014 г.
19. Процессорные модули TC 507 P300 ETH I [Электронный ресурс] / ЭлеСи, автоматизация технологических процессов. URL: <http://elesy.ru/products/products/plc/tc/ti.aspx>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус, англ. Дата обращения: 30.05.2014 г.
20. Siemens S7-1500: бесподобное преимущество по мощности и эффективности [Электронный ресурс]. URL: <http://www.festo-didactic.com/ru-ru/4441/501/1231/plc-boards-a4-size/siemens-s7-1500.htm?fbid=cnUucnUuNTcxLjI5LjE4LjExNTQuNzg0NQ>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.
21. SIMATIC S7-1500 [Электронный ресурс]. URL: [http://iadt.siemens.ru/products/automation/simatic/SIMATIC\\_S7/S7\\_1500/](http://iadt.siemens.ru/products/automation/simatic/SIMATIC_S7/S7_1500/), свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.
22. Многофункциональные панели оператора SIMATIC MP177, MP277 и MP377 [Электронный ресурс]. URL: [http://saa.su/Manual/Siemens/08\\_MP277-377\\_r.pdf](http://saa.su/Manual/Siemens/08_MP277-377_r.pdf), свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.
23. Totally Integrated Automation Portal V12 SIMATIC STEP 7 Professional [Электронный ресурс]. URL: <http://iadt.siemens.ru/>

assets/files/infocenter/catalogs\_and\_brochures/as/ProductInfo/02\_TIA\_STEP7\_V12.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.

24. Комиссарчик.В. Ф. Автоматизированное регулирование технологических процессов: учебное пособие. Тверь 2001.- 247 с.

25. СанПиН 2.2.2-2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

26. СанПиН 2.2.4.548-96 ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МИКРОКЛИМАТУ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ.

27. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение".

28. СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 “Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки”.

29. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.

30. UWTNivowave – непрерывное бесконтактное измерение уровня сыпучих и жидких продуктов (акустический уровнемер) [Электронный ресурс]/ПРОМСИТЕХ. URL: <http://www.uwt.su/nivowave/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.

31. StandardPID-Control (Стандартное ПИД-управление) [Электронный ресурс].URL:[http://www.iadt.siemens.ru/assets/files/infocenter/Documetations/Automation\\_systems/STEP7/Run%20Time/PID\\_Standart\\_r.pdf](http://www.iadt.siemens.ru/assets/files/infocenter/Documetations/Automation_systems/STEP7/Run%20Time/PID_Standart_r.pdf), свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.

32. Аналоговые модули [Электронный ресурс].URL: [http://www.empa.ru/Simatic\\_doc/S7-300/4\\_AnalogModules\\_r.pdf](http://www.empa.ru/Simatic_doc/S7-300/4_AnalogModules_r.pdf), свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 30.05.2014 г.

## Приложение А

### Modeling methods. General requirements for information system.

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Бологов Андрей Александрович		

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Шепетовский Денис Владимирович			

## 1. Modeling methods

Development of computing hardware as well as development of mathematical software are important tasks related to the necessity of expanding the capabilities of the process of design automation. One of the most effective methods for modeling and researching the properties of complex dynamic objects is machine modeling.

This approach gives an opportunity to investigate dynamic processes and systems that cannot be accurately described analytically and / or researched experimentally. The use of modern computing hardware and systems of programming languages makes it possible to transfer a major part of the complex and volumetric work on preparation for carrying out simulations and semi natural experiments to PC.

Modeling of a system, an object or phenomenon means reproducing an object similar to the original one in another form that is convenient for research, as well as transfer of the results obtained during the simulation to the modeled object.

In this case, objects are considered similar if the characteristics of the processes occurring in them are characterized in a definite and constant manner. That is, during the whole process, the coefficients of this process are constant or vary according to a certain pattern.

The model of the studied object may be of a different physical nature than the original. This fact opens wide possibilities for the application of modeling in the design of various objects, using tools such as: various imitators, dynamic stands or simulators.

The modeling process is based on information processes, because developers receive information about the current modeling object in the process of creating a model. Furthermore, additional control information occurs in the process of modeling or experiments, and then the results are processed and analyzed.

Nowadays, modeling systems with a high degree of automation of the modeling process are widely used. In such systems, the degree of automation of the simulated process depends significantly on the manageability of the model and the object. If the system is well controlled, it allows you to change a lot of parameters

and variables, which allows you to carry out a wide experiment, and obtain a large range of results.

Some issues should be taken into account during the modeling process. For example, from the formulation of the problem to the analysis and interpretation of the results obtained, a group of scientific and technical problems may occur, i.e:

- correctness of identification of objects;
- selection of model types;
- obtaining variables of the control object;
- construction of the model and its implementation on the PC;
- interaction with the model in the course of experimental modeling;
- verification of the correctness and relevance of the results obtained in the modeling process.

Depending on the nature and complexity of the control object and the model used, the above-mentioned scientific and technical problems may have different priorities and significance. In some experiments, the most difficult problem is the implementation of the model on a PC, for example, in cases of semi natural or simulation modeling, in others it can be difficult to identify an object [1].

Since we have touched upon different types of modeling, it is important to distinguish them. There are several different types of modeling for the study and analysis of objects and control systems(Figure 1), for example:

- mathematical modeling using a PC;
- physical modeling;
- semi natural modeling.

As the number of methods shows, each of them has its own advantages and disadvantages. The application of this or that method depends on the specific case: depending on the control object, the system as a whole and the conditions of its operation. It is necessary to understand which set of conditions and rules provides the necessary accuracy of modeling a real object in relation to its model.

## **1.1 Physical modeling**

The processes that occur both in the model and in the modeled object, may have the same or different physical nature, while we use physical modeling. The physical model may differ from the original object in many parameters: starting from the size and materials of which it is made, up to the speed of reaction. Examples of physical modeling are different processes and objects, i.e. studying the aerodynamic properties of an entire aircraft or its individual parts in a wind tunnel, or, studying mechanical oscillations using electrical circuits [1].

The physical model can fully take into account properties of the original object, which cannot be taken into account and / or described in full measure in the theoretical study. Physical modeling is based on the theoretical basis of the similarity theory. It allows recalculating the quantitative characteristics to the quantitative characteristics of the source object while describing the model.

There is a necessity to create separate models for each specific object, while using physical modeling. It is because of this feature that physical modeling is used in limitedly in the study of complex objects and control systems [1]. Since the production of complex objects requires large material costs, and changing the parameters of the model often requires the creation of a new model. To avoid such problems, mathematical modeling is widely used.

## **1.2 Mathematical modeling on a PC**

In mathematical modeling, the study of the original control object is carried out using a model formulated with the help of mathematical expressions and implemented on a PC using various software packages and programming languages.

In mathematical modeling using a PC, the initial equations that describe the mathematical model of the original real object serve as an object of modeling, and the processes that occur in the real object in accordance with these equations are the model. They are rendered on the PC in the form of commands, by implementing programs [2].

In mathematical modeling, so-called simulation modeling can also be distinguished. Simulation modeling means the rendering of objects with imitation of

random variables and random processes of the original model, which cannot be expressed by certain mathematical models.

Simulation modeling is observed in the same way as a controlled experiment that is rendered using a PC. The results of simulation experiments can influence the final form of the model after the completion of a series of experiments on a computer [2].

### **1.3 Seminatural modeling**

Semi natural modeling is modeling using real hardware, in which part of the system is replaced by a mathematical model, and the rest is real.

The application of this method of modeling is justified in cases when it is not possible to describe mathematically the work of certain elements of the system. An example of such a case is a radar automatic control system of aircraft, in conditions when the process of receiving and transmitting a signal reflected by an antenna is too difficult to be mathematically described [3]. In such cases, all the equipment that cannot be mathematically described can be reproduced in nature, and all other parts of the control system can be reproduced on a PC. Simulation must be done in real time, and the control systems obtained in this way allow analyzing both individual components and the entire system as a whole. In addition, semi natural modeling allows studying the influence of various factors: kinematics, dynamics of natural elements on the operation of the control system, although their mathematical description is absent.

The merits of both mathematical and natural modeling are successfully combined in the process of semi natural modeling. Currently, methods of semi natural modeling are often used in the design of control systems which differ in complexity and nature.

Necessity of using semi natural modeling methods occurs when:

проведение натурных испытаний невозможно или слишком дорого.

- the object cannot be tested if there is only one mathematical model;
- the control object is still under development and / or design, while the elements of the control device actually existing;

- The devices have non-linear characteristics, such as friction or interference, which were not taken into account when creating the mathematical model;
- carrying out full-scale tests is impossible or too expensive.

In order to implement a semi natural modeling, it is necessary to have devices that allow communication between the model on a computer and the real components of the system.

A seminatural model is a system, or its physical model, in which individual functional parts are formalized, that is, they are replaced by adequate mathematical models. Simulation of such systems takes place with the help of computer facilities in real time. Actual mechanisms and sensors are used to connect the real and formalized parts. The executive mechanisms convert the output values of the mathematical model into actions that are applied to the real part of the system, and the sensors serve as a source of data for the formalized part of the system. The goal of seminatural modeling is [4]:

Creating a formalized functional part of the system;

Choosing the most suitable components of the functional part of the system, provided that the entire system, except for the investigating part, is formalized, replaced by a mathematical model.

As real parts of a semi natural model, elements that do not have adequate mathematical models are usually chosen. The real part of the model can be various objects, for example, a part of the car or the person controlling it, as well as any complex nonlinear part of the system. The formalized part of the system should be described by an adequate mathematical model. The principal and, at the same time, the most difficult task is the combination of the real and formalized parts of the system in a stable semi natural model.

Summarizing, we can say that in the process of semi natural modeling the merits of both mathematical and full-scale modeling are successfully combined, and optimal interaction between computational and natural experiments can be achieved.

Currently, methods of semi natural modeling are efficiently used in the design of various automatic control systems.

## 2. General requirements for information system.

The necessity to design an automated process control system means that it is useful to consider the possible options of structural automation schemes and choose the most rational and suitable for the above described process.

### 2.2 Structural automation scheme

Typical automation schemes are used in the development of automation systems. In some of the schemes there are changes made regarding the existing or required process. Figure 1 below presents an automation scheme in which several controllers are connected via Ethernet interface through a network hub with a local operator's workstation computer. Each controller receives information from the sensors, and also controls the main actuators. Also, the operator panel is connected to the controller via the network hub, which controls the actuators and gathers information from the sensors.

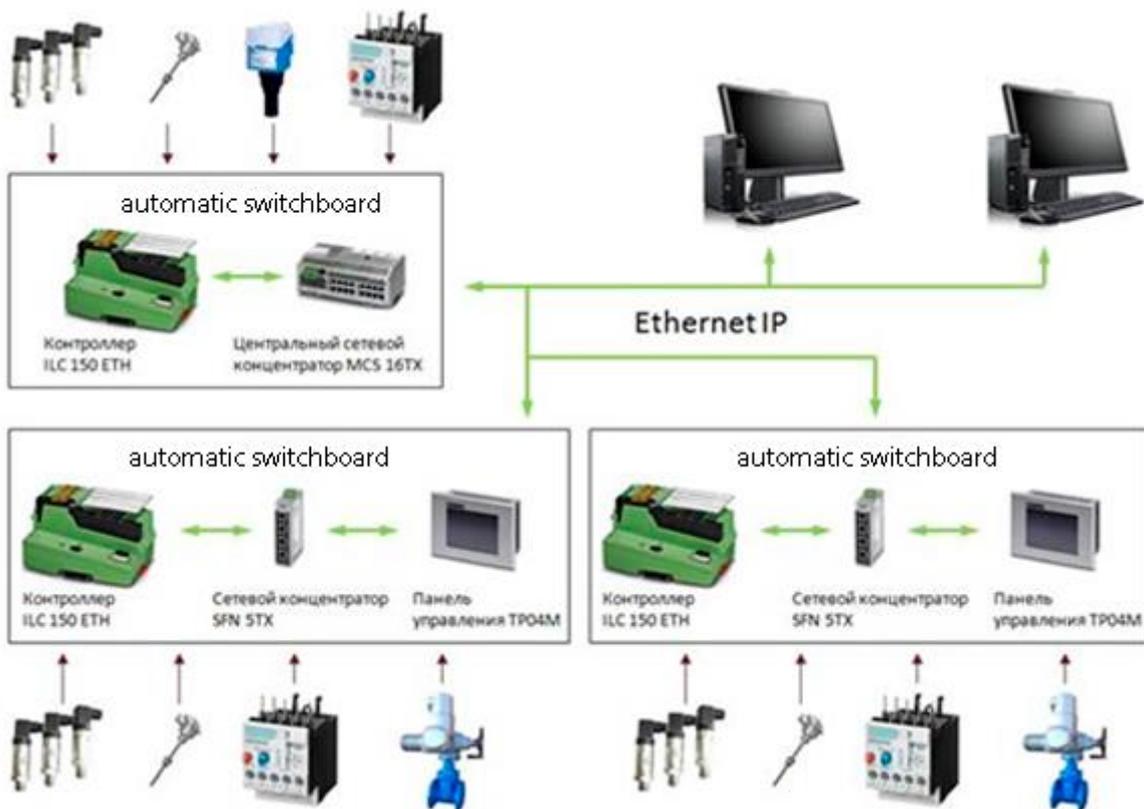


Figure 1 – Structural scheme of automatization

Figure 2 shows an automation scheme where operator workstations and communication equipment present and through which the computer and the controller communicate.

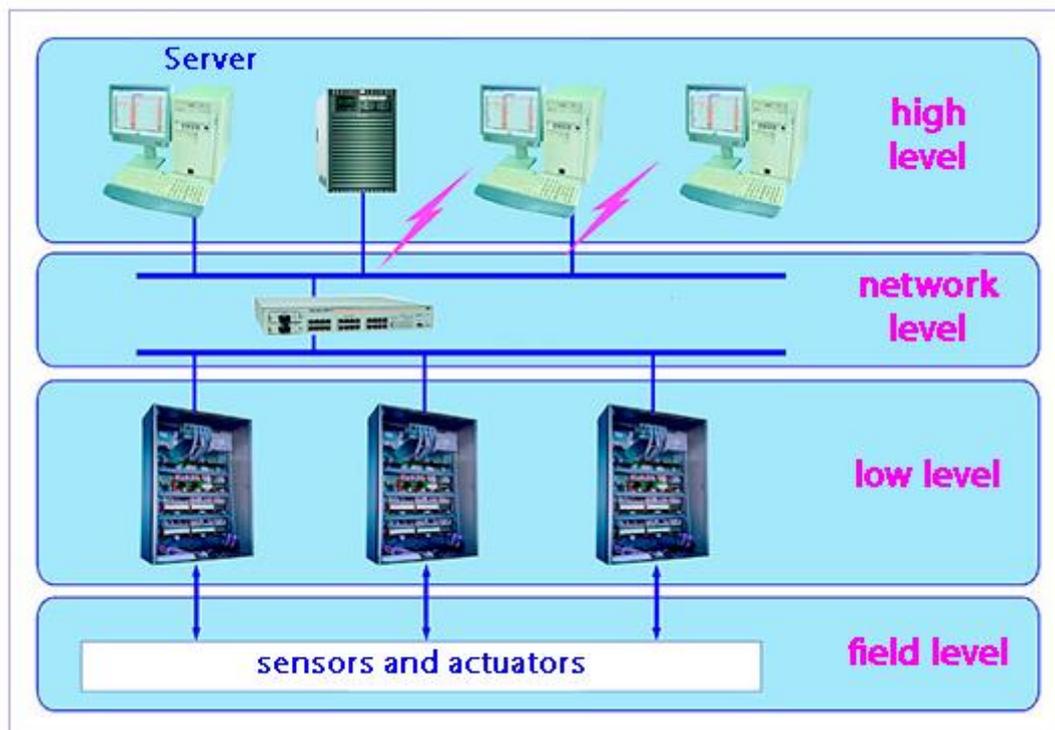


Figure 2 - Structural scheme of automatization.

After investigating two types of automation schemes, we can say that they have a significant similarity between each other, so we should consider the following type of structural scheme, which is based on the SiemensS7-300 controller. Figure 3 shows that the operator station consists of a great number of elements, and there is a division of responsibilities between the operator of the SCADA system and the operator of all other functions. For the system being developed, it is necessary to perform a combination of three structural automation schemes.

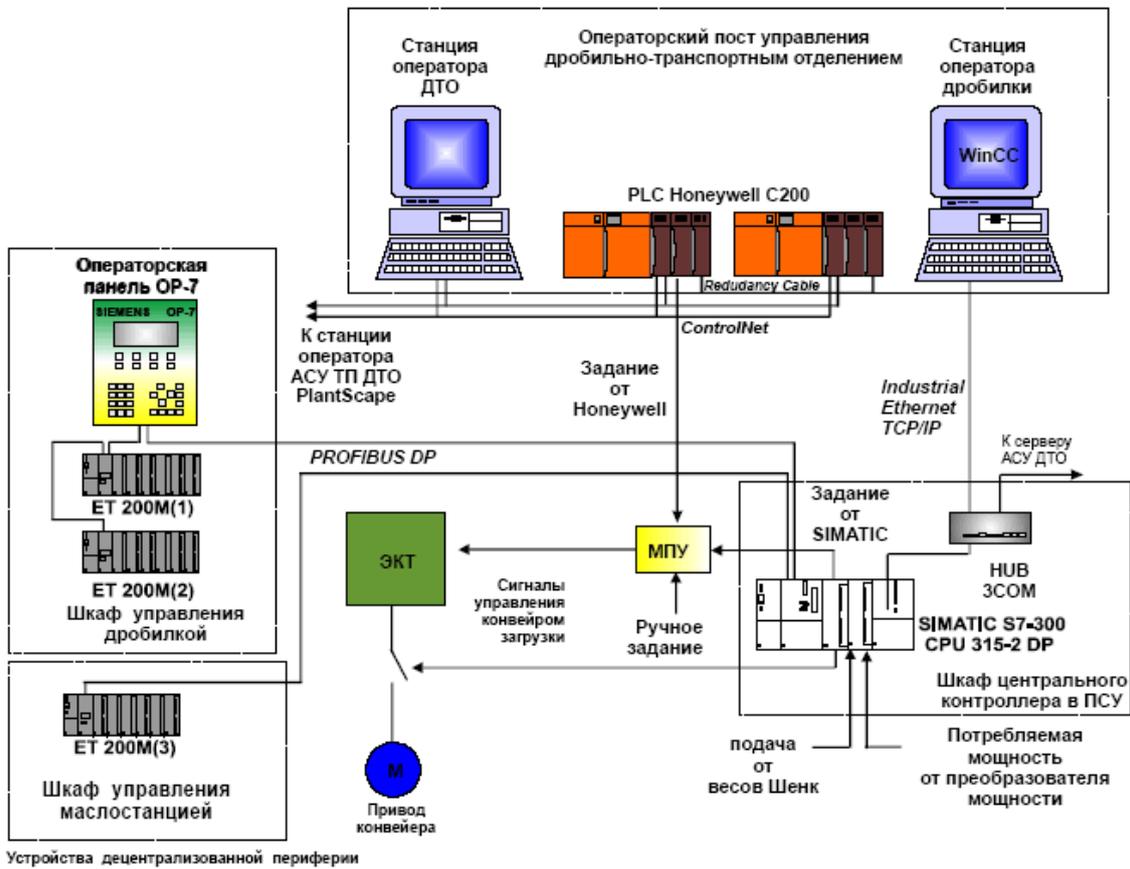


Figure 3 - Structural scheme of enterprise automatization on Siemens controller

The following figure shows the automation block diagram for the automated technological process of uranium denitrification. It presents a controller that manages all actuators, as well as control sensors with basic parameters. In addition to the operator's workstation, there is an operator panel that communicates with the computer to download the control program, and the operator panel performs further control over the entire production process.

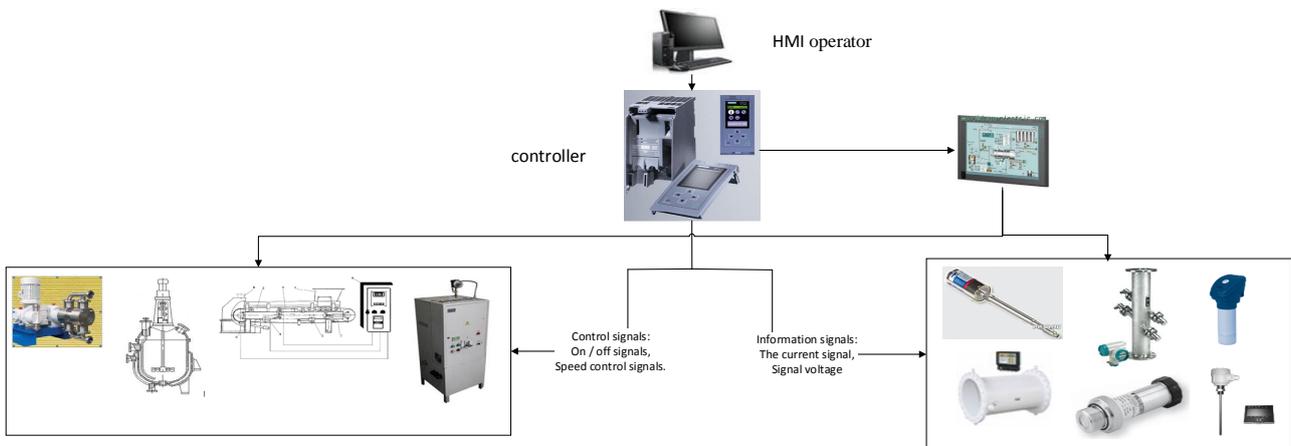
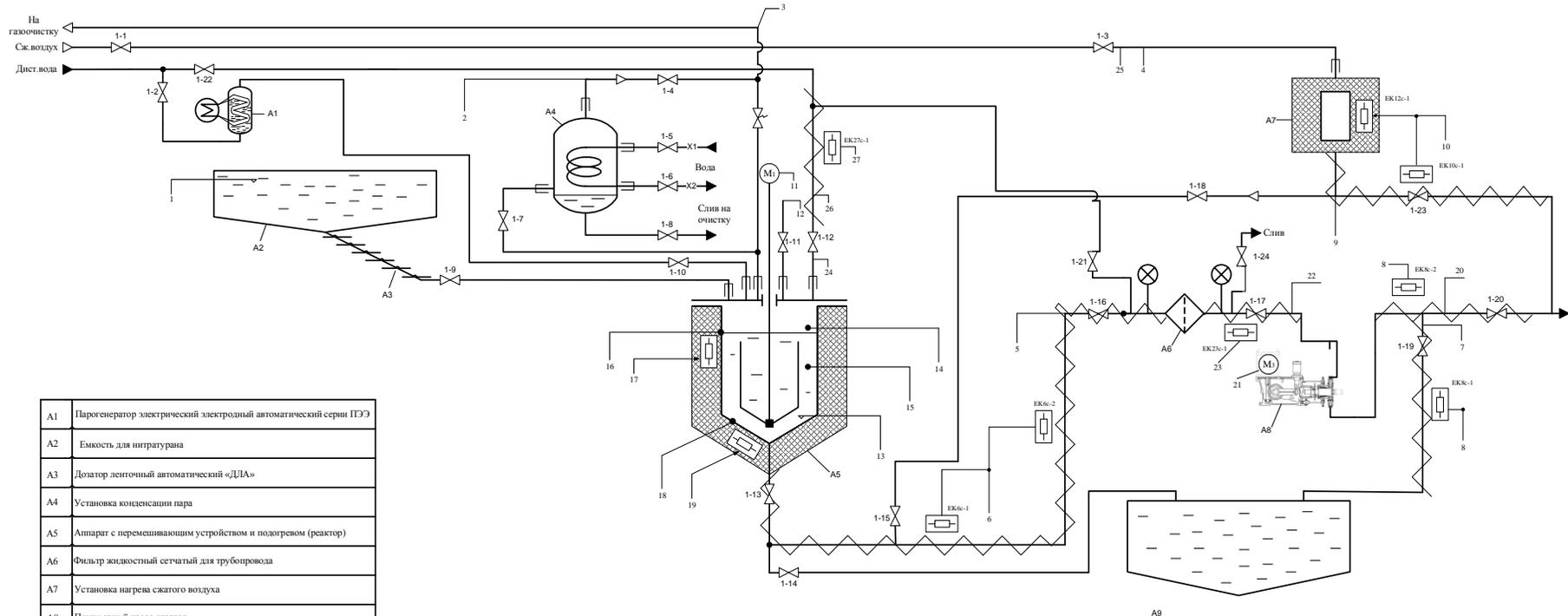


Figure 4 - Structural scheme of technological process automatization

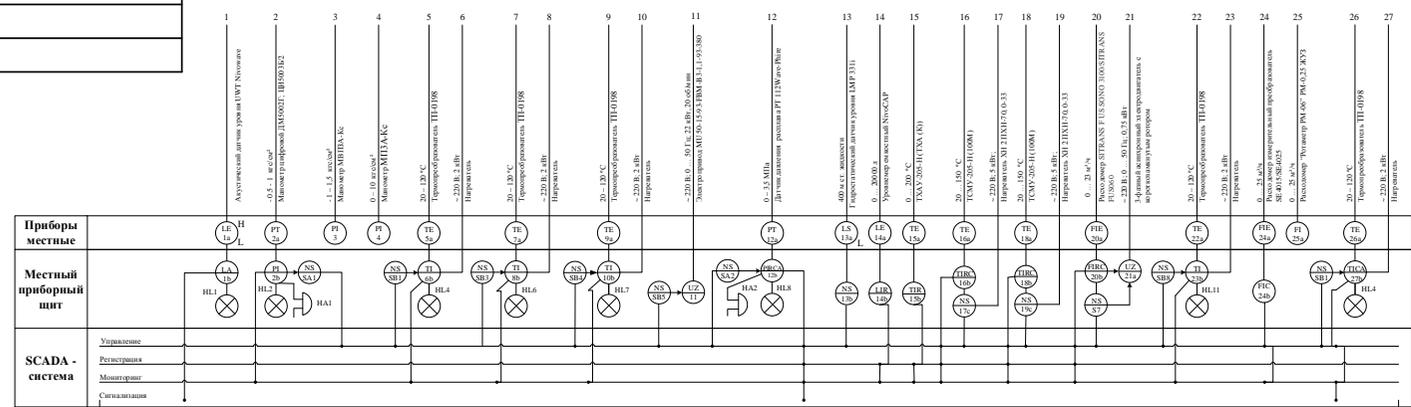
After choosing the structural scheme of automation, describing the production technology and considering the technological scheme of the equipment, it is necessary to develop a functional automation scheme, and to select sensors. Thus, we can proceed to the next paragraph [9].

# Приложение Б

## Функциональная схема автоматизации технологического процесса



A1	Парогенератор электрический электродный автоматический серии ПЭС
A2	Емкость для нитрата
A3	Дезазотатор автоматический «ДИА»
A4	Установка конденсации пара
A5	Аппарат с перемешивающим устройством и подогревом (реактор)
A6	Фильтр жидкостный сетчатый для трубопровода
A7	Установка нагрева сжатого воздуха
A8	Шуажерный насос дозатор
A9	Емкость для аварийного слива
A10	Форсунка распыления



Приборы местные	Местный приборный щит	SCADA - система
1	HL1	Управление
2	HL2	Резервация
3	HL3	Мониторинг
4	HL4	Сигнализация
5	HL5	
6	HL6	
7	HL7	
8	HL8	
9	HL9	
10	HL10	
11	HL11	
12	HL12	
13	HL13	
14	HL14	
15	HL15	
16	HL16	
17	HL17	
18	HL18	
19	HL19	
20	HL20	
21	HL21	
22	HL22	
23	HL23	
24	HL24	
25	HL25	
26	HL26	
27	HL27	

## Приложение В

### Блок-схема алгоритма технологического процесса

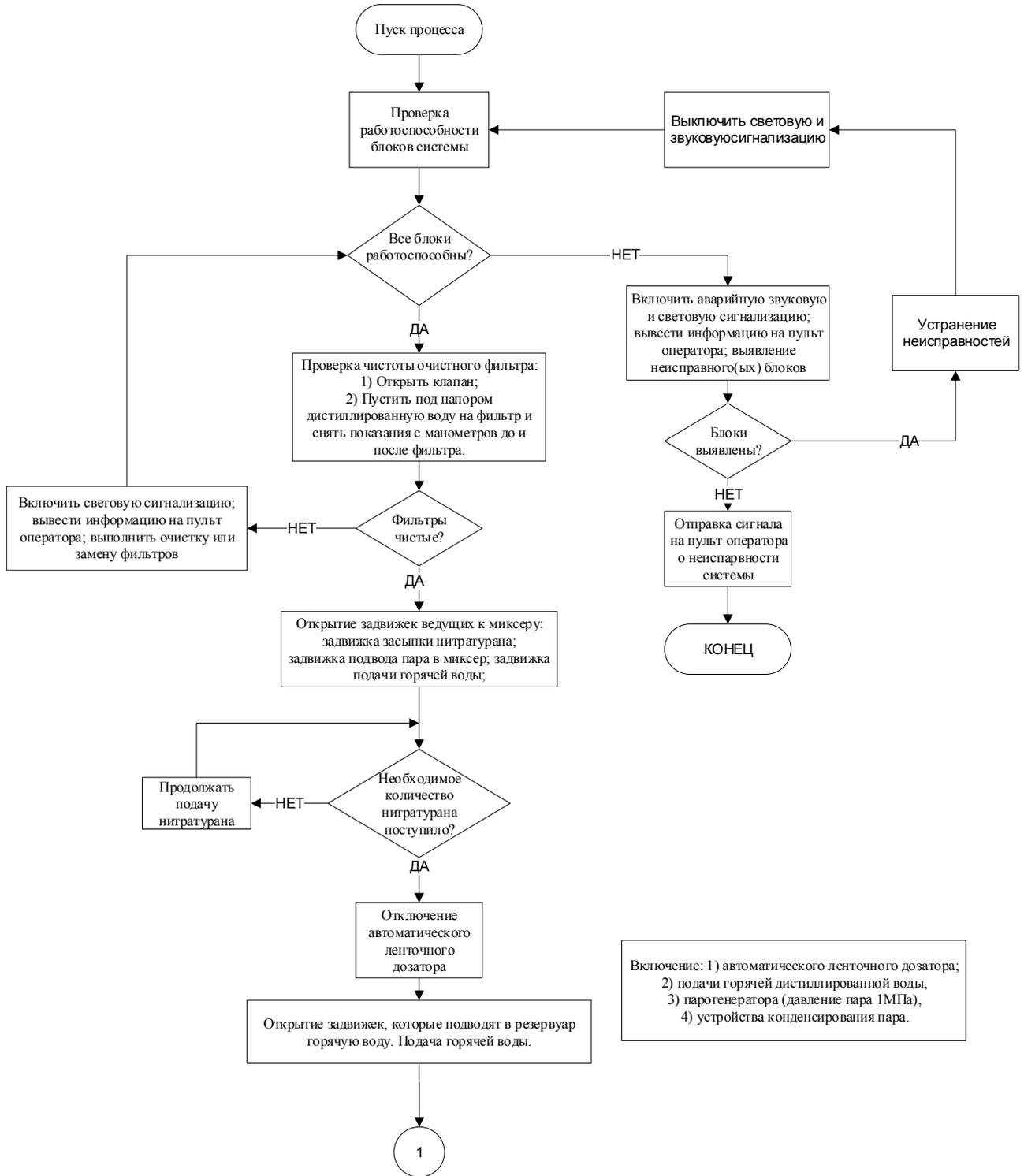


Рисунок В.1 – Блок-схема алгоритма производственного процесса



Рисунок В.2 – Блок-схема алгоритма производственного процесса

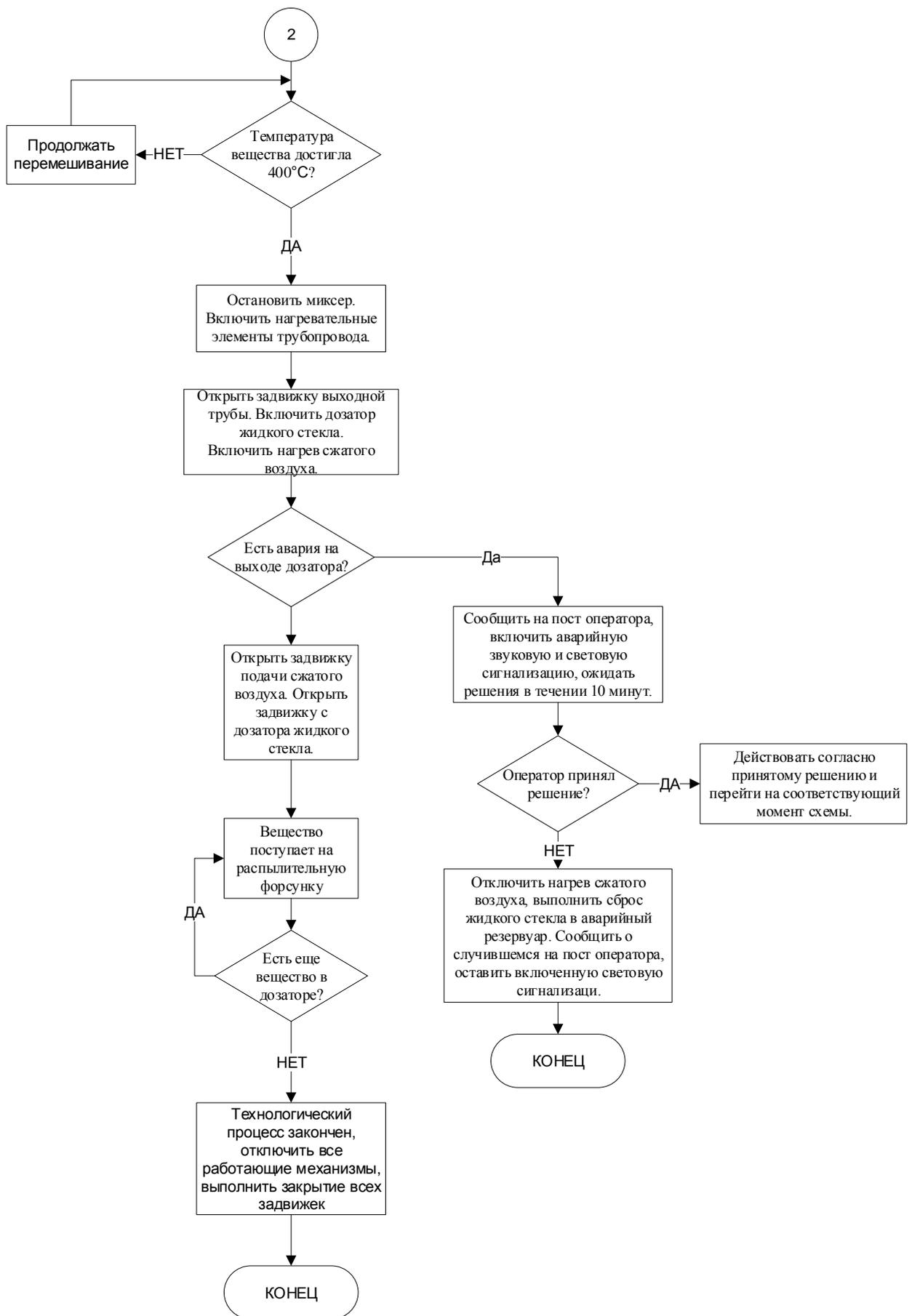


Рисунок В.3 – Блок-схема алгоритма производственного процесса

## Приложение Г

### Термопреобразователи с унифицированным выходным сигналом

Термопреобразователи предназначены для преобразования значения температуры различных, в том числе агрессивных, средств унифицированный токовый выходной сигнал 4...20 мА.

Термопреобразователи могут быть использованы в теплоэнергетике, химической, металлургической и других отраслях промышленности.

Выходной сигнал: 4..20 мА;

Напряжение питания: 12..36 В;

Потребляемая мощность: не более 0,8 Вт;

Время установления рабочего режима: не более 15 мин;

Внесены в Госреестр средств измерений под №15200-06, ТУ 4227-03-13282997-01.

Таблица Г.1 Характеристики термопреобразователя

Наименование параметра	Тип термопреобразователя
	ТСМУ-205-Н, ТСПУ-205-Н, ТХАУ-205-Н
Выходной сигнал	4...20 мА
Варианты исполнения	Общепромышленное, Ex (0ExialICT6 X)
Тип корпуса	АГ-10, АГ-04, АГ-07, АГ-07-1 — алюминиевый сплав; ПГ-10 — пластик; НГ-10 — нержавеющая сталь
Тип кабельного ввода (степень пылевлагозащиты)	Сальник M16x1,5 (IP65) Сальник M20x1,5 (IP65) Вилка PLT-164 (IP54) Кабельный ввод VG M20-MS68 (IP65) Кабельный ввод VG M20-K68 (пластик) Кабельный ввод VG9-K68 (IP54) Сальник G½ (IP54)
Климатическое исполнение	СЗ: -10...+70 °С ДЗ: -50...+70 °С ТЗ: -25...+80 °С
Напряжение питания	12...36 В
Электромагнитная совместимость (ЭМС)	III-A

Таблица Г.2 – Характеристики термопреобразователя ТххУ-205-Н

#### Термопреобразователи с унифицированным выходным сигналом ТххУ-205-Н

Рис. 2	L, мм	t, °С	НСХ	Диапазоны температур, °С
	80 и более	200	100М	-50...+50; -50...+100; -50...+150; -50...+180; 0...+50; 0...+100; 0...+150; 0...+180; 0...+200
	60	100	Pt100	-50...+50; 0...+100; 0...+200; 0...+300; 0...+400; 0...+500
	80, 100	200		
	120 и более	500	ТХА (К)	0...+500; 0...+600
	120 и более	600		
Длина монтажной части L, мм				
60; 80; 100; 120; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600				
Показатель тепловой инерции, с, для диаметра монтажной части D, мм			Условное давление, МПа	
20			16	

## Приложение Д

### Ёмкостный уровнемер NivoCAP

Принцип работы:



**Рисунок Д.1 - Ёмкостный уровнемер**

Работа датчика основана на принципе работы конденсатора, при этом ёмкость заряда конденсатора зависит от количества измеряемого продукта, находящегося между измерительным зондом уровнемера и опорным зондом. В качестве опорного зонда может быть как проводящая стенка ёмкости, так и другой, расположенный параллельно опорный зонд. Для обеспечения правильной работы ёмкостного уровнемера необходимо произвести первичную калибровку

датчика уровня на пустой и на полностью заполненной ёмкости. Также необходимо следить за покрытием зонда и не допускать его повреждения, так как это влияет на работоспособность уровнемера в продуктах с высокой электрической проводимостью.

Характеристика уровнемера:

- Ёмкостной уровнемер 2-проводного исполнения;
- Наличие режима высокой чувствительности;
- Жёсткого штыревого (3 м) или гибкого кабельного (20 м) исполнения зонда;
- В зависимости от типа измеряемого продукта плотностью или частично изолированный зонд;
- Наличие исполнения уровнемера со встроенным индикатором;
- Функция измерения уровня с режимом 32-точечная линеаризация;
- Наличие режимов измерения дистанции, уровня или объёма продукта;
- Исполнение прибора с поддержкой протокола HART;
- Наличие взрывозащищённых исполнений прибора (европейский сертификат ATEX).

## Приложение Е

### Гидростатический датчик уровня LMP 331i.



Диапазоны	0..0,4 до 0..40 бар (0..4 до 0..400 м вод. ст.), избыточное
Осн. погрешность	0,1 % ДИ
Выходной сигнал	4..20 мА (опция: Ех – исполнение) RS 232 для настройки «нуля» и «диапазона»
Интерфейс/Протокол	RS 232, 485/ HART, Modbus
Присоединение	G 3/4"
° среды	-40..125 °С
Сенсор	Кремниевый тензорезистивный
Применение	Высокоточный интеллектуальный датчик для измерения уровня жидкостей, неагрессивных к нержавеющей стали

Рисунок Е.1 – Гидростатический датчик уровня и его технические характеристики

Основные характеристики:

- Диапазоны давления от 0...4 м вод.ст. до 0...400 м вод. ст.
- Индивидуальная настройка диапазона по требованию заказчика
- Погрешность менее 0,2% ДИ в температурном диапазоне -20...80°С
- Выходной сигнал: 4...20 мА.
- Долговременная стабильность калибровочных характеристик
- Защита от короткого замыкания, смены полярности при подключении, электрического перенапряжения
- Прочная и надёжная конструкция для тяжёлых условий эксплуатации; защита от вибрационных нагрузок.
- Продолжительный срок службы.

## Приложение Ж

### Дозатор ленточный автоматический «ДЛА»

Автоматическое измерение текущего расхода и суммарного количества, непрерывное автоматическое весовое дозирование мелкодисперсных кусковых и пылящих материалов в технологические агрегаты.

Управление технологическими процессами, связанными с непрерывной подачей сыпучих материалов в технологические установки.

**Таблица Ж.1 - Основные характеристики ДЛА**

Параметрический ряд наибольшего предела производительности дозатора НПП, кг/ч	100,0; 160,0; 250,0; 400,0; 630,0
Предел допускаемой погрешности дозирования, %	0,5
Ширина ленты транспортера дозатора, мм	400, 500, 650, 800, 1000
Наибольшая линейная плотность дозируемого материала, кг/м, не более	250
Температура материала, °С, не более	150
Компенсация массы ненагруженной транспортной ленты дозатора	ручная или автоматическая
Глубина регулирования	1:10
Выходной сигнал, мА	4-20 (0-5, 0-20)
Интерфейс	RS-485
Габаритные размеры для модификации дозатора шириной ленты 650 мм изменяются в зависимости от модификации весов	1450x2850x1000*
Длина питателя (по заказу), мм	2850 + N*1500

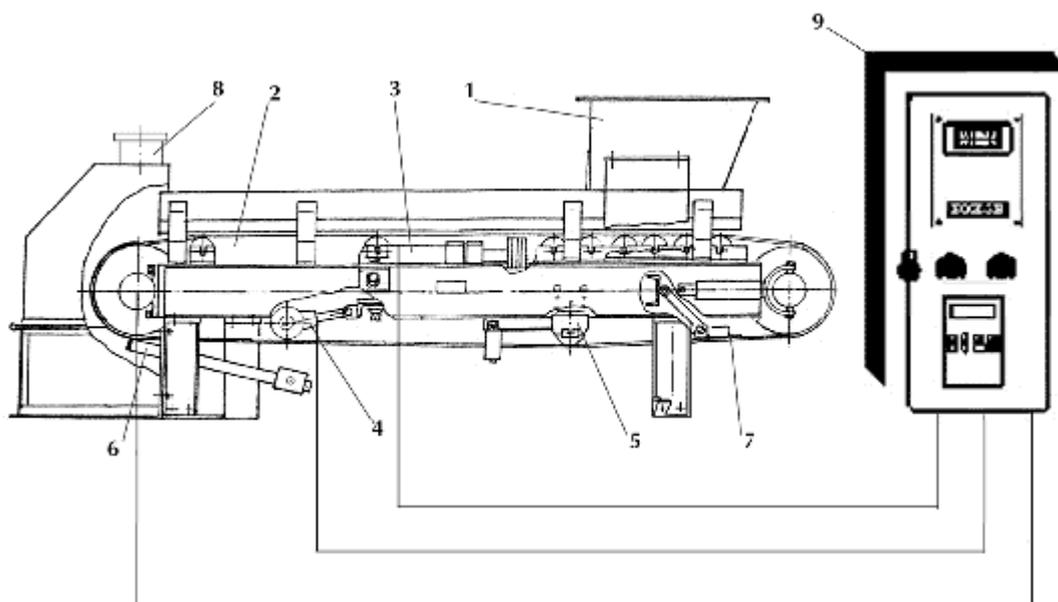


Рисунок Ж.1 – Дозатор ленточный автоматический со шкафом управления

**Состав изделия:**

1. Приемная воронка с шиберной заслонкой ;
2. Ленточный транспортёр;
3. Измерительное устройство;
4. Датчик скорости ленты;
5. Устройство стабилизации положения ленты;
6. Очиститель приводного барабана;
7. Очиститель внутренней поверхности ленты;
8. Вытяжка (аспирация);
9. Шкаф управления в составе блока обработки информации БОИ-3В (БОИ-4В), инвертора и пускорегулирующей аппаратуры.

## Приложение 3

### Парогенератор электрический электродный автоматический



Рисунок 3.1 –  
Парогенератор ЭЭ

#### Особенности моделей ПЭЭ:

- Установлен регулятор давления (температуры) пара.
- Широкий диапазон давлений от 1 до 12 атм.
- Для контроля и удобства управления током нагрузки установлен амперметр.
- Конструкция позволяет регулировать производительность по пару.
- Для контроля и удобства управления током нагрузки установлен цифровой амперметр.
- Возможность поставки с нержавеющей баком и (или) облицовкой, что позволяет их использовать в пищевом и других производствах, где предъявляются повышенные требования к санитарии и гигиене.
- Не чувствительны к качеству питательной воды.
- Работоспособны при подпитке от емкости или водопровода.
- Парогенераторы очень компактны и занимают всего  $\frac{1}{4}$  кв. м.
- Продуманная рамная конструкция обеспечивает устойчивость и легкий доступ к силовой части, включая расходные электроды.
- Опциональная установка высокотемпературного насоса с возможностью работы с конденсатом до 90°C.
- Применение качественных импортных комплектующих.
- Гарантийные обязательства – 12 месяцев.
- Эти парогенераторы можно применять во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства.

## Приложение И

### Перемешивающее устройство

Вертикальные аппараты с перемешивающими устройствами (реакторы, диссольтеры) предназначены для проведения различных технологических процессов в жидких однофазных и многофазных средах динамической вязкостью не более 50 Пз (5 Па×с), плотностью до 2000 кг/м<sup>3</sup>.

Таблица И.1 – функции и технические характеристики перемешивающего устройства

Исполнение корпуса аппарата	Процесс, осуществляемый в аппарате			
	Гомогенизация, смешение взаиморастворимых жидкостей	Суспендирование, растворение твердых частиц плотностью более плотности жидкости	Суспендирование, растворение твердых частиц плотностью менее плотности жидкости	Тепло обмен
01,11,12	(+)	-	-	(+)
	+	+	+	+
00,10	+	+	+	-

Таблица И.1 – Мощность двигателя мешалки, число оборотов

Номинальный объем аппарата, м <sup>3</sup>	Тип мешалки	Мощность привода, Р, кВт и частота вращения, n, об/мин для исполнений	
		Р	n
25	Рамная	22	10

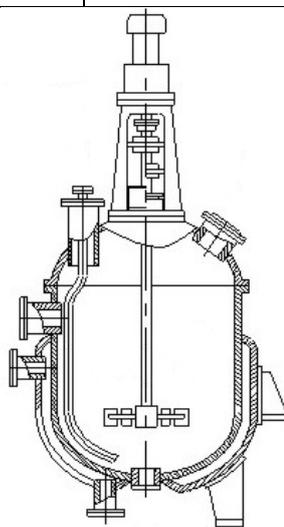


Рисунок И.1 – Перемешивающее устройство

## Приложение К

### Измерительный преобразователь расхода

Таблица К.1 – Основные характеристики измерительного преобразователя расхода

<b>Измерительный преобразователь</b>		
<b>Модель</b>	<b>SE 4015</b>	<b>SE 4025</b>
<b>Внешний вид</b>		
<b>Количество лучей</b>	1	2
<b>Применение</b>	Энергетика, нефтехимическая промышленность, ЖКХ, «Водоканалы»	
<b>Присоединение</b>	Фланцевое	
<b>Материал датчиков</b>	Нержавеющая сталь	
<b>Материал проточной части</b>	Углеродистая, нержавеющая сталь	
<b>DN, мм</b>	200...800	
<b>PN, МПа</b>	2,5	
<b>Температура измеряемой жидкости, °С</b>	0...+50, 0...+90, 0...+130, 0...+150 (0...180)	
<b>Электронный блок</b>		
<b>Конструкция</b>	Раздельное	
<b>Вариант исполнения</b>	Комфорт(дисплей и кнопки)	
<b>Погрешность</b>	Расход жидкости от $Q_2$ до $Q_4$ :	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\pm 1\%</math>, при <math>T \leq 50\text{ }^{\circ}\text{C}</math> (для SE4015)</li> <li>• <math>\pm 0,5\%</math>, при <math>T \leq 50\text{ }^{\circ}\text{C}</math> (для SE4025)</li> <li>• <math>\pm 3\%</math>, при <math>T &gt; 50\text{ }^{\circ}\text{C}</math></li> </ul>
	Объемный расход: $\pm 5\%$ , при любой $T, \text{ }^{\circ}\text{C}$ жидкости $Q_1 \dots Q_2$
<b>Выходной сигнал</b>	ТОКОВЫЙ 4...20 мА
<b>Релейный выход</b>	$\sim 24\text{ В} / 0,1\text{ мА}$
<b>Интерфейс</b>	RS-485
<b>Скорость потока</b>	0,1...10 м/с
<b>Пылевлагозащита</b>	IP65 — электронный блок, IP54 (IP68) — датчик
<b>Климатическое исполнение, <math>^{\circ}\text{C}</math></b>	0...+50
<b>Электропитание</b>	$\sim 90 \dots 260\text{ В}$
<b>Резервное питание</b>	Литиевые (Li) батарейки 3 В (срок службы — 5 лет)
<b>Мощность</b>	6 Вт

Таблица К.2 – Диаметры и допустимый расход расходомеров SONOELISSE4015, SONOELISSE4025

DN, мм	$Q_1, \text{ м}^3/\text{ч}$	$Q_2, \text{ м}^3/\text{ч}$	$Q_3, \text{ м}^3/\text{ч}$	$Q_4, \text{ м}^3/\text{ч}$	$Q_{\text{NEC}}, \text{ м}^3/\text{ч}$
200	10	16	800	1000	2,3
250	15,63	25	1250	1563	3,6<
300	20	32	1600	2000	>5,1
350	25	40	2000	2500	7,0
400	31,25	50	2500	3125	9,1

<b>450</b>	39,38	63	3150	3938	11,5
<b>500</b>	50	80	4000	5000	14,2
<b>600</b>	62,5	100	5000	6250	20,4
<b>700</b>	78,75	126	6300	7875	27,8
<b>800</b>	100	160	8000	10000	36,2

- DN – диаметр условного прохода;
- $Q_1$  – минимальный расход жидкости;
- $Q_2$  – неустановившейся расход жидкости;
- $Q_3$  – установившейся (номинальная) расход жидкости;
- $Q_4$  – перегрузочный (максимальный) расход жидкости;
- $Q_{NEC}$  – уровень порога чувствительности (расхода жидкости) расходомера.

## Приложение Л

### Датчики давления расплава РТ 112

Стальной ствол, гибкие трубы в изоляции, диафрагма изолирована, взаимозаменяемы со всеми аналогами.

Модели подходят для измерения давления и контроля в области высоких температур жидкого средства химических волокон шелкопрядения, полиэстера, оборудования, резиновых и пластиковых машин и т.д.



Рисунок Л.1 – Датчик давления расплава

Таблица Л.1 – Технические характеристики датчика давления расплава

Модель	РТ 112
Диапазон измерений	0 – 3,5МПа
Суммарная погрешность	±0,25%
Входное напряжение	10В пост.тока
Выходной сигнал	3,33 mV
Макс. Температура измеряемой среды	300°C
Материал	Нержавеющая сталь 15-5PH; 17-4PH покрытие Armoloy
Электрические соединения	8-контактный разъем
Тип установки	M14x1,5; M18x1,5

## Приложение М

### Фильтр жидкостный для трубопровода

Фильтры СДЖ предназначены для защиты насосного и другого оборудования в технологических установках газовой, химической, нефтяной, нефтехимической, нефтеперерабатывающей отраслей промышленности от попадания каких-либо инородных твердых частиц механических примесей при их работе. Класс опасности транспортируемой жидкости 1, 2, 3, и 4 по ГОСТ 12.1.007-76.

Фильтры жидкостные устанавливаются в трубопровод тремя способами – сваркой, с помощью фланцев и посредством резьбового соединения. Стоит отметить, что фильтр только устраняет посторонние примеси, но не защищает систему от повышенного давления и гидроударов.

Таблица М.1 – Параметры фильтра сетчатого жидкостного

Параметры	Значение	
Условный проход Ду, мм	80	
Условное давление $P_u$ , МПа	1,6	2,5
Среда	Нефтепродукты. Класс опасности 1-4 по ГОСТ 12.1.007-76. Категория взрывоопасности II-A, по ГОСТ Р51330.11-99, группа взрывоопасности смеси ТЗ по ГОСТ Р51330.5-99, пожароопасная.	
Размер улавливаемых частиц, мкм, не менее	200	
Вместимость, м <sup>3</sup>	0,03	
Поверхность фильтрации, м <sup>2</sup> , не менее	0,18	
Расчетный срок службы, лет	20	

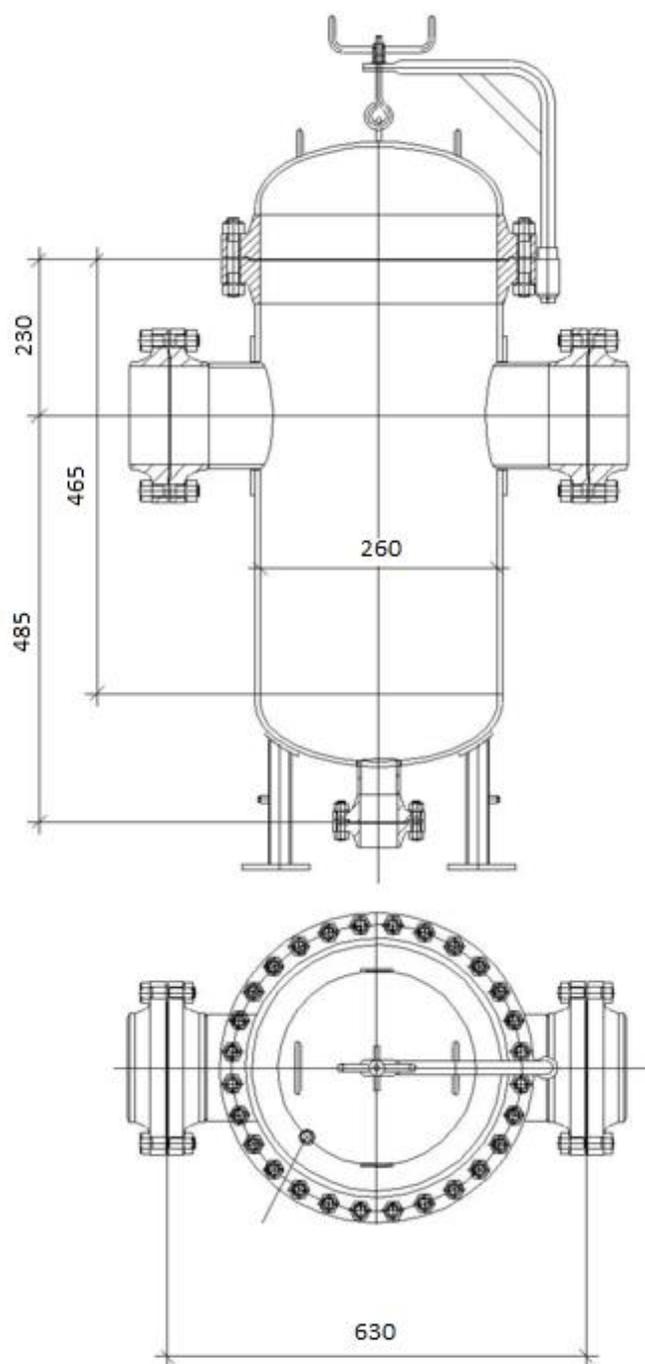


Рисунок М.1 – Габаритно-присоединительные размеры фильтра

## Приложение Н

### Плунжерный дозирующий насос

Плунжерные насосы серии SEKOEExacta–идеальный выбор при работе с безопасными жидкостями. Они просты легки в обслуживании, точны надежны.

Плунжер и уплотнитель насоса смачиваются самими веществами.

Регулировка длины хода работает при работающем или выключенном насосе, и включает блокировочное устройство с возможностью фиксации выбранного значения скорости потока. Регулирование может осуществляться как по токовому интерфейсу 4-20 мА, так и по необходимому числу шагов в минуту.

Таблица Н.1 – Характеристики плунжерного насоса-дозатора

Насос дозатор	Скорость потока, л/ч	Макс. давление, бар	Электродвигатель, кВт	Частота ходов, шагов/мин
E3 140	30-23000	14	7,5	70 – 93 – 122



Рисунок Н.1– Внешний вид плунжерного насоса-дозатора

## Приложение О

### Расходомер SITRANS F US SONO 3100/SITRANS FUS060



#### Benefits

Ideal flowmeter system for challenging applications within the oil flow, distribution and on/offshore industries

Easy exchange of integrated transducers without the need for downtime or process shutdown

Optimal solution for fiscal metering as it meets OIML R117 requirements

Designed for remote installation in hazardous as well as non-hazardous environments

Рисунок О.1 - Жидкостный датчик расхода

Таблица О.1 –Характеристики датчика расхода

Measuring range	23 m <sup>3</sup> /h
Nominal size	From DN 40 to DN 1200
Accuracy	±0.5% of flow rate
Operational pressure	Max. 430 bar (Max. 6235 psi)
Operating temperature	From -20 to 85 °C (-4 to 185 °F)
Medium temperature	From -200 to 200 °C (-328 to 392 °F)
Design	2 track (on request up to 4 tracks)
Material	Stainless steel and carbon steel

## Приложение П

### UWTNivowave акустический уровнемер

NW 5000

#### Integral

Интегрированный блок измерения с кнопками управления и дисплеем. Программирование непосредственно на приборе и / или через ПО для Nivowave.



NW 5000L

#### Integral Light

Интегрированный блок измерения с кнопками управления и дисплеем для монтажа в муфту 2". Программирование непосредственно на приборе и / или через ПО.



Рисунок П.1 – Акустические уровнемеры

- Прибор Nivowave излучает внутрь емкости очень мощные акустические волны, которые отражаются от поверхности измеряемого вещества.
- Отраженное эхо принимается сенсором и конвертируется в сигнал при помощи специального программного обеспечения.
- Ложное эхо отфильтровывается с помощью ПО и подавляется.

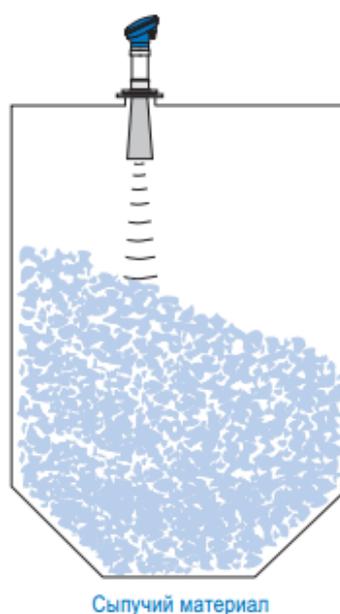


Рисунок П.2 – Метод измерения уровня акустическим уровнемером