

РЕЦЕНЗИЯ

на Дипломный проект

Султанбаев Элдор Ибрахимович

6B07103 – Автоматизация и роботизация

На тему: Разработка системы автоматизированного управления процессом восстановления
четырёххлористого титана ($TiCl_4$)

Выполнено:

а) графическая часть на 15 листах

б) пояснительная записка 38 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В данном дипломном проекте рассмотрена система автоматизации управления технологическим процессом восстановления четырёххлористого титана.

Анализ технологии очистки с помощью примесей чистого хлора и магния, и классификации содержания возможных примесей в очищенном титане позволяет сделать вывод о необходимости внедрения в данный процесс автоматизации с целью осуществления контроля и регулирования ряда параметров, что в свою очередь позволит добиться повышения безопасности данного производства и снизить его издержки.

В разделе «Автоматизация» сделан анализ процесса восстановления чистого титана с помощью аппарата восстановления как объекта автоматизации, разработана структура АСУ ТП. К среднему уровню относится АРМ оператора, реализующее функции контроля состояния основного оборудования, выбора режима управления, обработки сигналов, вывода информации о состоянии технологических объектов на экран монитора, накопления и передачи данных. В качестве микропроцессорного контроллера выбран Simatic S7-1200. Микропроцессорный контроллер Simatic S7-1200 объединен с центральной рабочей станцией в единую локальную вычислительную сеть и после начальной загрузки функционирует автономно, но может передавать и принимать информацию с верхнего уровня. Также в разделе выявлены основные контролируемые и регулируемые параметры. Сделан выбор и обоснование средств автоматизации данного процесса.

ЗАМЕЧАНИЕ

В дипломном проекте в описаниях схем и графиков есть маленькие ошибки.

Оценка работы

Считаю, что дипломный проект заслуживает оценки «хорошо», а студент Султанбаев Э.И. присвоения академической степени бакалавр по специальности 6B07103 – Автоматизация и роботизация.

Рецензент

Доктор технических наук, профессор кафедры АиУ
АУЭИС им. Г. Дауксева



Биттеев Ш.Б.

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на Дипломный проект

Султанбаев Элдор Ибрахимович

6B07103 – Автоматизация и роботизация

На тему: Разработка системы автоматизированного управления процессом восстановления четырёххлористого титана ($TiCl_4$)

Дипломатом рассмотрена актуальная задача разработки системы автоматизированного управления процессом восстановления четырёххлористого титана ($TiCl_4$).

В первой части данного дипломного проекта был описан технологический процесс работы предприятия, приведено описание технологического процесса системы автоматизированного управления восстановлением четырёххлористого титана, разработана система автоматического регулирования процессом восстановления, исследованы системы управления ретортой по восстановлению четырёххлористого титана.


Во второй части произвелась разработка модернизированной системы управления процессом восстановления четырёххлористого титана, найдены точки контроля и регулирования технологических параметров и регулирующих воздействий, определены структуры АСУТП, выбраны технические средства измерения и автоматизации (основные виды и типы датчиков), промоделированы системы автоматического регулирования в среде Matlab – Simulink, в конечном итоге реализовалась проектная часть процесса управления процессом восстановления четырёххлористого титана.

В процессе работы над дипломным проектом автор работы показал себя дисциплинированным, исполнительным и трудолюбивым студентом, с высоким уровнем теоретической подготовки.

Заключение: Считаю, что дипломат справился с поставленной задачей, дипломная работа соответствует требованиям, предъявляемым к дипломным работам по специальности 6B07103 – Автоматизация и роботизация. На основании характеристики выполненных исследований, уровня и качества выполненных результатов студент Султанбаев Э.И. допускается к защите.

Научный руководитель

Ассоц. профессор, доцент


(подпись)

Кошимбаев Ш.К.

«03» июля 2023 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И. Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизация и управление

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Султанбаев Элдор Ибрахимович

Разработка системы автоматизированного управления процессом восстановления
четырёххлористого титана ($TiCl_4$)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

6B07103 – Автоматизация и роботизации

Алматы 202

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казакский национальный исследовательский
технический университет имени К.И. Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизация и управление



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

На тему: «Разработка системы автоматизированного управления процессом восстановления
четырёххлористого титана ($TiCl_4$)»

6B07103 - Автоматизация и роботизация

Выполнил

Султанбаев Э.И.

Рецензент
Доктор тех. наук, профессор
Битеев Ш.Б.
«08» 06 2023 г.

Научный руководитель
Ассп. профессор, доцент
Кошимбаев Ш.К.
«03» июня 2023 г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И. Сатпаева»
Институт Автоматики и информационных технологий
Кафедра Автоматизации и управления
6В07103 – Автоматизация и роботизация



ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Обучающийся Султанбаев Элдор Ибрахимович

Тема: «Разработка системы автоматизированного управления процессом восстановления четыреххлористого титана (TiCl₄)»

Утвержден приказом Б. Жаутикова №408-П/Ө от «23» ноября 2022г.

Срок сдачи законченной работы: «15» мая 2023 г.

Перечень подлежащих разработке в дипломной работе вопросов или краткое содержание дипломной работы:

- а) описать анализ существующих схем автоматического регулирования процессом восстановления тетрахлорида титана;
- б) разработать функциональную схему автоматизации процесса восстановления;
- в) произвести обзор и выбор технических средств автоматики для регулирования процессами обработки;
- г) разработать щит управления в программном обеспечении AutoCAD.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):
технологическая схема автоматизации; структурная схема, функциональные схемы.

Рекомендуемая основная литература:

- 1 Тарасов А.В. Металлургия титана. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003.
- 2 Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств. – М.: Химия, 1982.
- 3 Технология литейного производства – М.: «Машиностроение», 2018г. А.П. Гуляев.

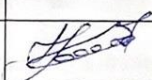
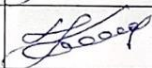
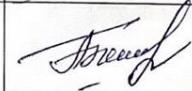
ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Технологический раздел Технический процесс обработки титана	15 апреля 2023 г	
Специальный раздел Анализ и синтез системы регулирования аппарата восстановления	15 марта 2023 г	
Раздел расчётной части Синтез логической системы управления аппарата восстановления	15 мая 2023г.	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

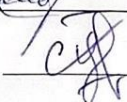
Наименования разделов	Научный руководитель, консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологический раздел	Кошимбаева Ш.К ассоц. профессор, доцент	03.06.23	
Раздел расчётной части	Кошимбаева Ш.К ассоц. профессор, доцент	03.06.23	
Нормоконтролер	Жеңіс А.Б. маг. техн. наук, ассистент	26.05.2023	

Научный руководитель



Кошимбаев Ш.К.

Задание принял к исполнению обучающийся



Султанбаев Э.И.

Дата

«5» января 2023 г

АНДАТПА

Осы дипломдық жұмыстың тақырыбы: «Титан төртхлоридінің ($TiCl_4$) тотықсыздануын басқарудың автоматтандырылған жүйесін жасау».

Дипломдық жұмыстың міндеті төрт хлорлы титанды тотықсыздандыруды автоматты басқару жүйесін жасау болды. Басқару объектісі ретінде құрамындағы хлор элементтерін бөлу арқылы титанды тотықсыздандыруға арналған химиялық аппарат таңдалды.

Жұмыстың бірінші кезеңі қалпына келтіру аппаратының процесінің технологиялық схемасын жасау болды. Әрі қарай осы схема негізінде басқару объектісінің функционалдық диаграммасы құрастырылды.

Екінші кезең ашық және жабық автоматты басқару жүйесінің құрылымдық схемасын жасау болды. Реттеу жүйелерінің тұрақтылығы дәлелденді және жүйелердің сапасын тікелей бағалауға талдау жүргізілді.

Үшінші кезең өндірістік процесті реттеу және бақылау үшін АКК әзірлеу болды.

АННОТАЦИЯ

Тема данной дипломной работы: «Разработка системы автоматизированного управления процессом восстановления четырёххлористого титана ($TiCl_4$)».

Задачей дипломной работы являлось разработка системы автоматического управления процессом восстановления четырёххлористого титана. В качестве объекта управления был выбран химический аппарат восстановления титана посредством отделения элементов содержащегося хлора.

Первым этапом работы было разработка технологической схемы процесса аппарата восстановления. Далее на основе данной схемы была спроектирована функциональная схема объекта управления.

Вторым этапом была разработка структурной схемы разомкнутой и замкнутой системы автоматического регулирования. Были доказаны устойчивости систем регулирования и произведён анализ прямых оценок качества систем.

Третьим этапом была разработка ЩУА для регулирования и управления промышленного процесса.

ANOTATION

The topic of this graduate work is: "Development of an automated control system for the reduction of titanium tetrachloride ($TiCl_4$)".

The task of the thesis was to develop an automatic control system for the reduction of titanium tetrachloride. As a control object, a chemical apparatus for the reduction of titanium was chosen by separating the elements of the contained chlorine.

The first stage of work was the development of a technological scheme for the process of the recovery apparatus. Further, on the basis of this scheme, a functional diagram of the control object was designed.

The second stage was the development of a block diagram of an open and closed automatic control system. The stability of regulatory systems was proved and the analysis of direct assessments of the quality of systems was carried out.

The third stage was the development of the ACC for the regulation and control of the industrial process.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Технологическая часть	8
1.1 Описание технологического процесса	8
1.2 Описание процесса восстановления при помощи реторты	9
1.3 Анализ технологического процесса как объекта управления	11
1.4 Задачи для управления процессом восстановления $TiCl_4$	13
1.5 Технологическое обеспечение АСУТП	13
2 Расчётная часть	16
2.1 Исследование САУ процесса восстановления	16
2.2 Построение САУ в программном обеспечении MATLAB	17
2.3 Анализ РСАР и ЗСАР в командной строке MATLAB	19
2.4 Исследование влияния типовых регуляторов на объект управления	22
3 Разработка проекта ЩУА распределения аппарата восстановления	29
Заключение	34
Список принятых сокращений	35
Список использованной литературы	36
Приложение А	37
Приложение Б	38

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация технологических процессов производства – решения по использованию специализированных машин, станков, математических моделей, разработка и внедрение программных решений в области автоматизации ИТ в процессы производства [1].

С использованием автоматизации в процессы технологического производства способствуют:

1) Сэкономить ресурсы на производственную часть (уменьшается стоимость человеческого труда, расход на сырьё заметно уменьшается, большая степень производительности, что непосредственно влияет на экономическую часть);

2) Повышение защиты для технического персонала работающих на особо опасных предприятиях;

3) Сжатые сроки реализации проектов и технических задач;

4) Исключение ошибок и брака продукции за счёт человеческого фактора;

5) Оптимизация рабочего процесса.

С другой стороны, возникает потребность на затраты по техническому обслуживанию оборудования, станков на производстве. Но несмотря на это со временем проект по реализации автоматических процессов себя окупает и приносит больше заработка и пользы для промышленных компаний.

Сферы применения автоматических процессов на сегодняшний день весьма широк. Он затронул практически все области промышленности, энергетики, сельского хозяйства, металлургии, машиностроения, торговли и даже медицины [1].

АТПП никак не вытесняет человеческий ручной труд, а наоборот помогает в работе и облегчает сам процесс. Также не мало важным является уменьшение риска допустить какую-нибудь ошибку в ходе рабочего процесса.

Актуальность дипломной работы заключается в острой потребности промышленных компаний и корпораций внедрения современных технологических процессов и систем автоматизации [2].

Целью дипломной работы является разработка системы автоматизированного управления процессом восстановления четырёххлористого титана ($TiCl_4$).

Задачами дипломной работы являются:

1) Определение технологического процесса применения магнийтермического способа по восстановлению тетра хлоридного титана;

2) Исследование математической модели, определение запасов устойчивости и оценки качества систем;

3) Исследование синтеза влияния типовых регуляторов на объект управления.

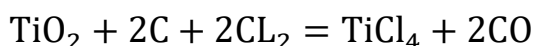
1 Технологическая часть

1.1 Описание технологического процесса

Титан является одним из самых прочных металлов на планете, но в свою очередь процесс получения в чистом виде процесс очень сложный. Учёные потратили около ста лет на отделение его от даже небольшого количества примесей, ведь именно отдельное содержание чистого титана даёт ему свойство прочности и долговечности. В природе он встречается лишь в различных соединениях. Наиболее распространённым является ильменитовое соединение FeTiO_3 (диоксид титана), его содержание около 50%, остальная часть — это оксиды железа. Его добыча осуществляется на горнодобывающих рудных месторождениях, в основном сосредоточенных на территории современной Украины [4].

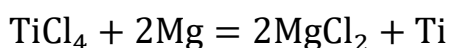
Первым делом из руды удаляют оксиды железа, её отправляют в огромные плавильные печи. В течении 6 часов руда разделяется на чугун и диоксид титана. Расплавленную смесь отливают в специальные ёмкости, где образуются два слоя, чугун расположен в нижнем слое, так как она тяжелее титана, она отливается в отдельную емкость. Шлак это уже есть сырьё, в котором содержится около 80% диоксида титана. Для того чтобы отправить её на следующий этап, расплавленной смеси титана дают остынуть (температура шлака в этот момент больше 600°C).

После полного остывания задачей стоит отделение диоксида титана от кислорода. Эта связь является очень прочной, но учёным удалось в 1940 году отделить кислород от титана. Было доказано в ходе эксперимента, что хлор может вытеснить кислород от диоксида титана. Застывшая масса предварительно размельчается и отправляется в цех для хлорирования [3].



Это закрытый процесс, проходящий при высокой температуре, в результате происходит новое вещество тетрахлорид титана TiCl_4 . Данная смесь потеряла свою былую прочность и из неё легче получить чистый титан.

Далее освобождение титана от хлора происходит за счёт магния.



Образующиеся пары TiCl_4 при 850°C восстанавливаются магнием. В результате получается новое вещество дихлорид магния, а титан останется в чистом виде. Магний получают на этом же предприятии ЗТМК, его производство закольцованный непрерывный процесс. Отправной точкой является цех, в котором находятся электролизёры, в них заливают расплав дихлорида магния. Под действием постоянного тока магний всплывает на поверхность. Хлор, отделившийся во время процесса, снова подаётся на цех для отделения от

кислорода диоксида титана. То есть хлор находится в замкнутом цикле не покидающий границы цехов, не нанося угрозы для окружающей среды [8].

Жидкий магний перед отправкой для производства титана проходит отделение от примесей, его называют рафинированием (добавляют непосредственно флюс во избежание окисления). Флюс тянется на одно захватывая с собой ненужные примеси. Таким образом проходит очищение магния [7].

В цеху расположенные специальные обрабатывающие устройства в виде коконов, называемые ретортами. В реторту подаётся магний и тетрахлорид титана. Температура поднимается до 820°C, ведь именно при этих условия хлор отделяется от титана и присоединяется к магнию. Новое вещество хлорид магния оседает на дне реторты, а лёгкий титан наслаивается на её верхней части. После вакуумной сепарации в реторте остаётся блок губчатого титана. Перед тем как открыть реторту её предварительно охлаждают, в результате образовывается пористое вещество – титановая губка. В результате долгого процесса получается высококачественное сырьё без примесей [7].

1.2 Описание процесса восстановления при помощи реторты

Реторта – специальный химический сосуд, применяемый в практических лабораторных и цеховых работах. Данное изобретение является основным на сегодняшний день способом по производству титана в чистом виде при помощи магнийтермического процесса. Данный способ является своего образа вытеснением химически активных металлов из различных соединений. В ходе данного процесса важную роль играют такие свойств как:

- 1) Химическая активность активных металлов;
- 2) Низкая стоимость процесса восстановления;
- 3) Восстановление металлов должно происходит исключительно с помощью отдельных активных металлов (без примесей и соединений);
- 4) Высокая способность отделения металла от образованного шлака.

Процесс восстановления титана внутри реторты происходит при температуре 800 – 900°C. Средняя высота реторты должна составлять от 2 до 3.5 метра. При этом количество магния для процесса восстановления 120-140% больше объёмом необходимого в ходе реакции. Процесс подачи тетрахлорида титана осуществляется с помощью автоматического регулирования [5].

В ходе процесса титан собирается на дне восстанавливающего аппарата в виде губчатой массы, который содержит магний и хлорид магния, время от времени выводящийся из реторты через специальное отводящее сливное устройство. Длительность такого процесса восстановления в реторте составляет около 30-60 часов. Получаемый объём титана в первую очередь зависит от объёма реторты, в среднем он составляет от 1 до 5 тонн титана. После окончания процесса объём титана будет составлять 50% от общего объёма реторты, остальная его часть — это избыточный хлорид и магний. Процесс вытеснения

данных примесей от титана называется вакуумной отгонкой, то есть создание высокой разности давления парообразующих компонентов массы реакции при высокотемпературном условии. Для воссоздания данного процесса реторту нужно нагреть до 1000°С. Такой процесс образования вакуума через конденсирующий аппарат даёт остаточное давление после отгонки от 1 до 7 Па в системе. Время протекаемого процесса составляет от 25 до 55 часов, при этом расход электроэнергии составляет от 6 до 9 кВт*ч/кг [6].

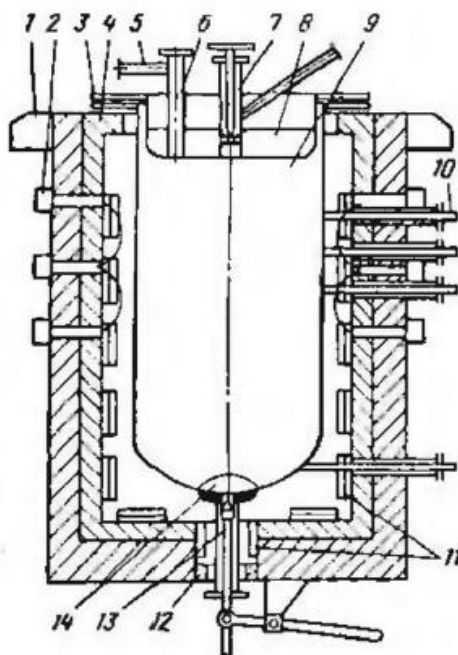


Рисунок 1.1 – Схема реторты по восстановлению тетрахлорида титана

1 - опора печи, 2 - коллекторы подачи и отвода воздуха; 3 - водоохлаждаемое фланцевое соединение; 4 - футеровка печи; 5 - штуцер вакуумирования и подачи аргона; 6 - узел заливки магния; 7 - узел подачи TiCl₄; 8 - крышка реактора; 9 - реторта; 10 - контактные термометры (термошупы); 11 - нагреватели; 12 - песочный затвор; 13 - штык сливного приспособления; 14 - ложное днище.

После всей реакции обработки и восстановления титана, в титановая губка будет содержать:

- 1) Около 0.05% Cl;
- 2) 0.09% Fe;
- 3) 0.049% C₂;
- 4) 0.049% Ni;
- 5) 0.0185% C;
- 6) 0.0185% N;
- 7) 0.475% Si.

Общий объём отделившегося губчатого титана из шлака будет составлять 70-80%. Для большинства современных компаний потребителей технически чистый титан используют в губчатом виде, но если есть необходимость в применении более специализированных областей, то её подвергают дополнительной очистке с помощью рафинирования [7].

Чистейший титан получают в процессе электронной бестигельной плавки иодидного металла.

1.3 Анализ технологического процесса как объекта управления

Анализ технологического процесса как объекта управления выполняется при помощи уже введенных параметров технологического режима.

После выполнения анализа процесса необходимо обозначить параметры технологического процесса, допустимые отношения и задаваемые значения, и то, как они связаны между собой [6].

Далее строится техническая спецификация приборов и датчиков для измерения и управления параметрами во время технологического процесса.

Сборка системы автоматического управления и регулирования для всего цикла процесса является сложным процессом, так как на это зачастую влияют различные факторы. Чтобы решить задачи и сложности в ходе выполнения работы, их подразделяют на подзадачи и стараются оптимизировать параметры, выдаваемые в ходе технологического процесса. Но не стоит забывать факт присутствия технических ограничений позволяющих контролировать регламент воссоздания процессов [7].

При создании проекта автоматизации объекта управления сталкиваются с параметрами, которые оказывают прямое воздействие на объект, цель которого является регулирование технологического процесса в задаваемом режиме.

Есть несколько основных типов воздействий возмущения:

1) Возмущения, приводимые к стабилизации с помощью САР. Например, объём сырья, подаваемый на объект управления, либо регулировка давления или температуры как в данном объекте управления;

2) Возмущения, поддаваемые контролю. Это измеряемые переменные, но не поддаваемые стабилизации. Самым простым примером является внешняя температура воздуха;

3) Возмущения, не поддаваемые контролю, то есть переменные, которые не целесообразно контролировать или измерять, а иногда это и вовсе невозможно;

4) Параметры на выходе из системы. В основном выбирают параметры, поддающиеся регулировке. Как объект управления в процессе обработки и образования титана был взят реактор восстановления (реторта).

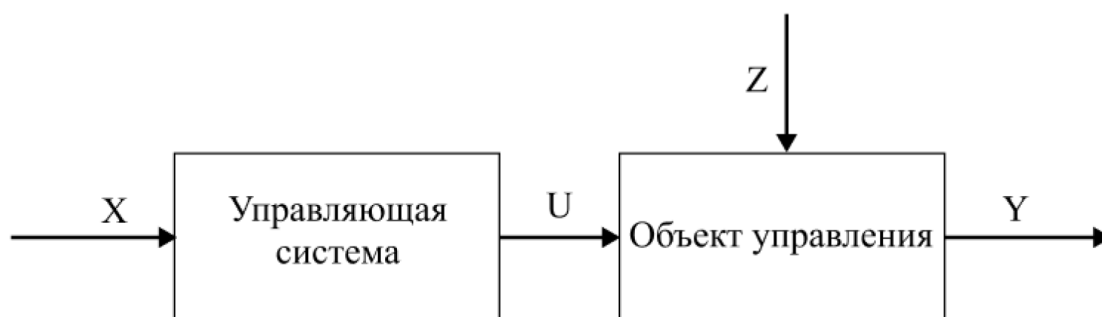


Рисунок 1.2 – Структурная схема управления прямой связи

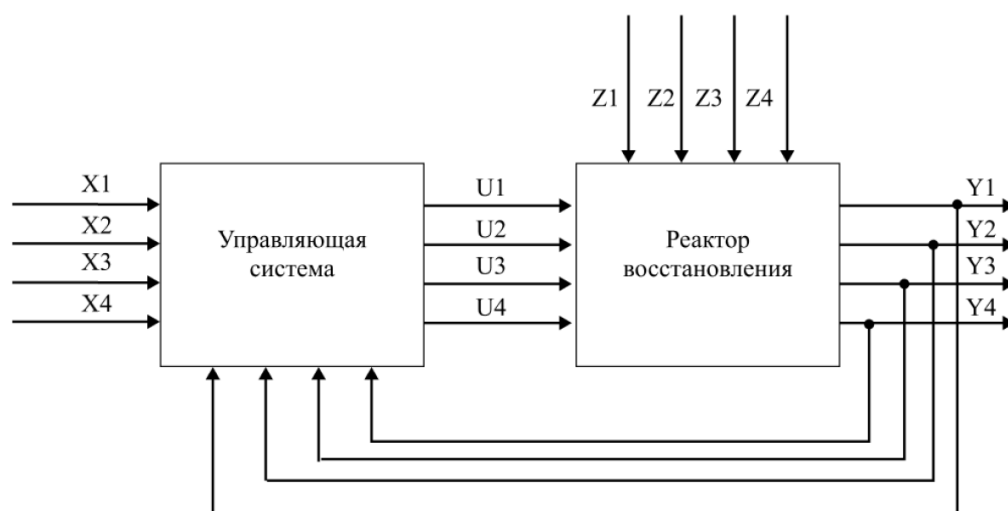


Рисунок 1.3 – Структурная схема автоматического управления процесса восстановления тетрахлорида титана

В данном случае **задающее воздействие:**

X1 – содержание $TiCl_4$;

X2 – содержание Mg;

X3 – свойство Mg;

X4 – свойство Ar.

Регулирующее воздействие:

U1 – скорость подаваемого $TiCl_4$;

U2 – значение температурной среды в процессе восстановления;

U3 – режим переливания смеси;

U4 – допустимое давление в реторте.

Возмущающее воздействие:

Z1 – содержание лишних примесей в составе $TiCl_4$, Mg, Ar;

Z2 – Стойкость аппаратуры и оборудования;

Z3 – влияние на процесс не контролируемых координат процесса;

Z4 – способность изменения окружающей среды.

Выходные переменные:

Y1 – результативность;
Y2 – состав Cl.

1.4 Задачи для управления процессом восстановления $TiCl_4$

Основная задача, поставленная по регулированию технологического процесса восстановления титана при помощи предварительно обработанного магния – разработка проекта по процессу восстановления титана в реторте, при этом обеспечить максимальную производительность и работоспособность аппарата восстановления для получения максимально заданного уровня качества продукта, параллельно соответствующего всем техническим ограничениям [8].

Параметры для технологического режима восстановления чистого титана:

- 1) Регулирование подаваемого титана $TiCl_4$;
- 2) Регулирование значения температурной среды в процессе восстановления;
- 3) Регулирование допустимого давления в реторте;
- 4) Управление режимом переливания смеси.

Сложности при проектировании системы автоматизации процессом могут быть вызваны регулярностью восстановительного процесса, малый уровень точности регулирования и контроля материальных потоков, трудность в налаживании обмена данными между параметрами.

1.5 Технологическое обеспечение АСУТП

В ходе разработки системы автоматического управления осуществляется выбор того или иного технологического обеспечения, то есть закупка средств контроля и автоматизации с учётом спецификации технологического процесса, а также уровень запрашиваемой безопасности и стабильной работы системы [10].

Для химико-технологических процессов регулирования, как и для промышленных процессов зачастую используются схожие измерительные приборы и оборудования. Также активно берут в использование такой тип управления и регулирования процессом как исполнительное устройство, который получает информацию при помощи различных команд [9].

Функциональная схема восстановления тетрахлорида титана в реторте представлена в Приложении А.

Таблица 1.1 – Спецификация приборов регулирования и управления процесса восстановления тетрахлорида титана

№ п/п	№ позиции	Наименование приборов	Тип прибора	Количество	Примечание
1	1а	Термопара	Термоэлектрический хромель-копелевый преобразователь	1	
2	1б	Потенциометр электрический	Термоэлектрический преобразователь с унифицированным токовым выходным сигналом	1	
3	1в	Мост	КСМ – одностоечный бумажный регистратор	1	
4	1г	Автоматический регулятор		1	
5	2а	Расходомер	Расходомер перепада давления	1	
6	2б	Преобразователь перепада давления		1	
7	2в	Вторичный прибор	Расходомер	1	
8	2г	Регулятор автоматический		1	
9	2д	Исполнительный механизм		1	
10	3а	Манометр		1	
11	3б	Преобразователь давления		1	
12	3в	Вторичный прибор		1	
13	3г	Регулятор автоматический		1	
14	4а	Расходомер	Расходомер перепада давления	1	

Продолжение таблицы 1.1

15	4б	Преобразователь перепада давления			1	
16	4в	Вторичный прибор	Расходомер		1	
17	4г	Регулятор автоматический			1	
18	4д	Исполнительный механизм			1	
19	5а	Уровнемер поплавковый			1	
20	5б	Уровнемер вторичный прибор			1	
21	5в	Вторичный прибор, регистрирующий			1	
22	5г	Автоматический регулятор			1	
23	7а	Расходомер	Расходомер перепада давления		1	
24	7б	Преобразователь перепада давления			1	
25	7в	Вторичный прибор			1	
26	7г	Регулятор автоматический			1	
27	7д	Исполнительный механизм			1	

Управление технологическим процессом восстановления осуществляется при помощи контроллера S7-1200 и модули питания ввод-вывода от компании «Siemens».

2 Расчётная часть

2.1 Исследование системы автоматического управления процессом восстановления

Реализация контура управления давлением в химическом реакторе восстановления тетрахлорида титана.

В ходе реализации передаточных функций систем давления в реторте были использованы следующие уравнения:

Передаточная функция электронного усилителя:

$$G_{\text{эу}}(s) = T_{\text{эу}} * \frac{dU_{\text{ВЫХ}}}{dt} + U_{\text{ВЫХ}} = \frac{90}{0*s+1} = 90 \quad (2.1)$$

где $T_{\text{эу}}$ – постоянная по времени электронного усилителя, с;

$U_{\text{ВЫХ}}$ – напряжение на выходе, В;

$U_{\text{ВХ}}$ – напряжение на входе, В.

Передаточная функция эл. двигателя постоянного тока:

$$T_{\text{я}} * T_{\text{м}} * \frac{d^2w}{dt^2} + T_{\text{м}} * \frac{dw}{dt} + w = K_{\text{д}} * U_{\text{д}} = \frac{0,0002}{0.02s^2+1.6s+1} \quad (2.2)$$

где $T_{\text{я}}$ – электромагнитная постоянная по времени якоря, с;

$T_{\text{м}}$ – электромеханическая постоянная двигателя, с;

w – угловая скорость, с-1;

$K_{\text{д}}$ – коэффициент передачи электродвигателя, 1/сВ;

$U_{\text{д}}$ – напряжение на якоре, В.

Передаточная функция редуктора:

$$W_{\text{ВЫХ}} = K_{\text{р}} * W_{\text{ВХ}} = 0.81 \quad (2.3)$$

где $W_{\text{ВЫХ}}$ – угловая скорость звена редуктора на выходе;

$W_{\text{ВХ}}$ – угловая скорость звена редуктора на входе;

$K_{\text{р}}$ – коэффициент передачи.

Передаточная функция электромагнитного клапана:

$$T_{\text{кл}} * \frac{dp}{dt} + P = K_{\text{кл}} * Q = \frac{12}{0,8s+1} \quad (2.4)$$

где $T_{\text{кл}}$ – постоянная по времени;

$K_{\text{кл}}$ – коэффициент передачи.

Передаточная функция хим. реактора:

$$T_0 * \frac{dF_{\text{ВЫХ}}}{dt} + F_{\text{ВЫХ}} = k * F_{\text{ВХ}} \quad (2.5)$$

где $F_{\text{ВЫХ}}$ – выходная концентрация вещества;
 $F_{\text{ВХ}}$ – входная концентрация вещества;
 T_0 – постоянная объекта по времени.

2.2 Построение САУ в программном обеспечении MATLAB

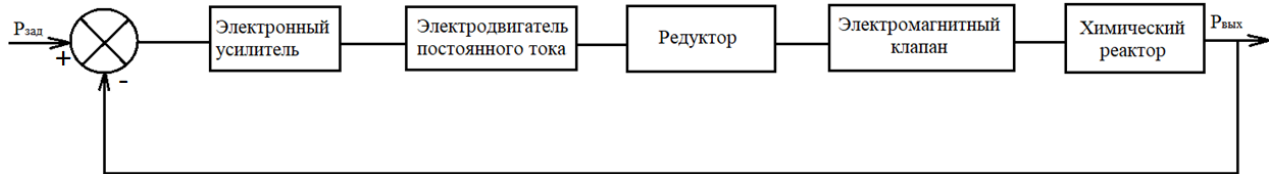


Рисунок 2.1 – Функциональная схема САУ давления в реторте восстановления

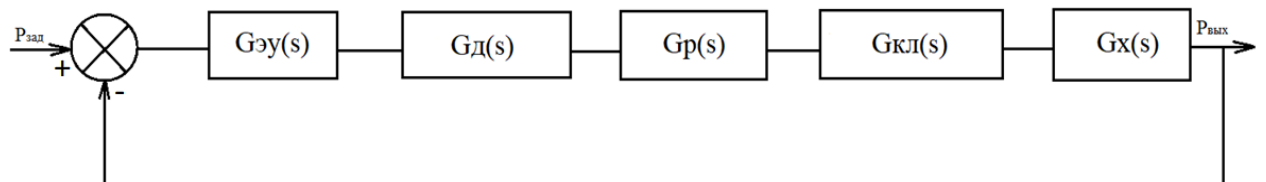


Рисунок 2.2 – САУ структурной схемы давления в реторте восстановления

Получение и разработка передаточной РСАР без обратной связи реактора восстановления:

$$G(s) = G_{\text{эу}}(s) * G_{\text{д}}(s) * G_{\text{р}}(s) * G_{\text{кл}}(s) * G_{\text{х}}(s)$$

$$G(s) = \frac{0.1121}{0.00848s^4 + 0.705s^3 + 2.572s^2 + 2.93s + 1} \quad (2.6)$$

Получение и разработка передаточной ЗСАР с обратной связью реактора восстановления:

$$T(s) = \frac{G(s)}{G(s) + 1} \quad (2.7)$$

$$T(s) = \frac{0.1121}{0.00848s^4 + 0.705s^3 + 2.572s^2 + 2.93s + 1.1121} \quad (2.8)$$

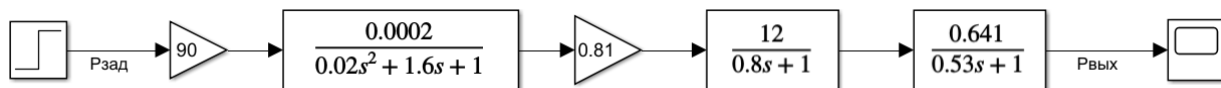


Рисунок 2.3 – Структурная схема моделирования РСАР в Simulink MATLAB

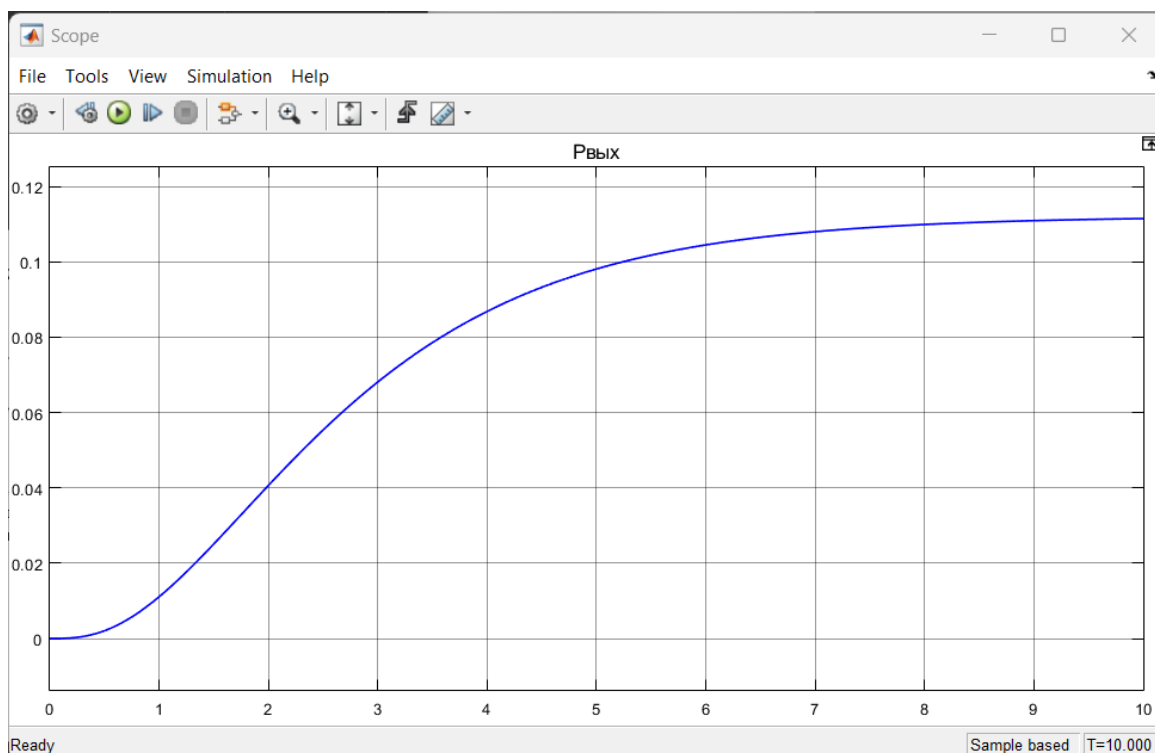


Рисунок 2.4 – Результат моделирования РСАР

На рисунке 2.5 и 2.6 приведены результаты моделирования ЗСАР давления в химическом реакторе восстановления. В соответствии с выходными графиками ЗСАР, переходные процессы исходной и эквивалентной систем идентичны.

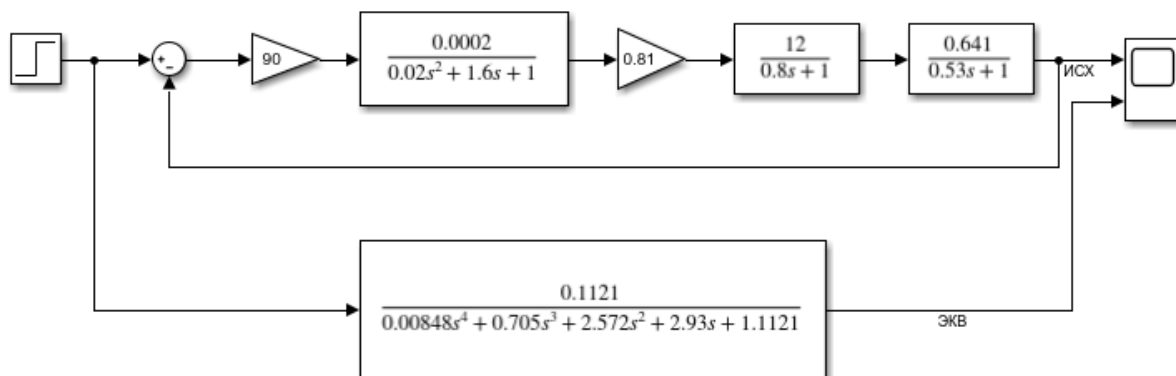


Рисунок 2.5 – Структурная схема моделирования ЗСАР в Simulink MATLAB

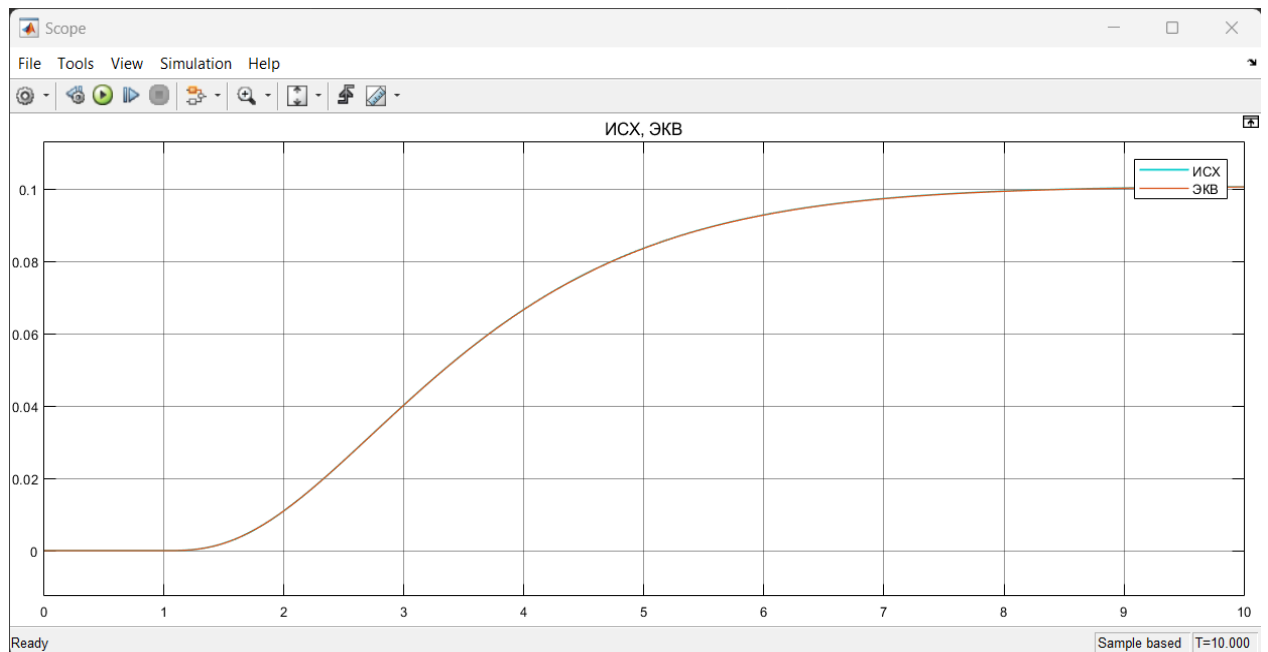


Рисунок 2.6 – Переходные процессы исходной и эквивалентной схем ЗСАР

2.3 Анализ РСАР и ЗСАР в командной строке MATLAB

Для определения устойчивости системы был использован первый метод Ляпунова. Исследование РСАР и ЗСАР по средством нахождения полюсов систем в командной строке MATLAB.

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.

>> A=tf([90],[0 1]);
>> B=tf([0.0002],[0.02 1.6 1]);
>> C=tf([0.81],[0 1]);
>> D=tf([12],[0.8 1]);
>> E=tf([0.641],[0.53 1]);
>> G=A*B*C*D*E

G =

          0.1121
-----
0.00848 s^4 + 0.705 s^3 + 2.572 s^2 + 2.93 s + 1

Continuous-time transfer function.

>> pole(G)

ans =

-79.3700
-1.8868
-1.2500
-0.6300

```

Рисунок 2.7 – Результат моделирования определения устойчивости разомкнутой системы регулирования по первому методу Ляпунова

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.
>> G1=tf([0.1121],[0.00848 0.705 2.572 2.93 1.1121])

G1 =

          0.1121
-----
0.00848 s^4 + 0.705 s^3 + 2.572 s^2 + 2.93 s + 1.112

Continuous-time transfer function.
>> pole(G1)

ans =

-79.3700
-1.9071
-1.2069
-0.6527
fx >>

```

Рисунок 2.8 – Результат моделирования определения устойчивости замкнутой системы регулирования по первому методу Ляпунова

Полюса передаточной функции G1:

- 79.4;
- 1.88;
- 1.25;
- 0.63.

Полюса передаточной функции G:

- 79.4;
- 2;
- 1.2;
- 0.65.

Вывод. Полюса как у РСАР, так и ЗСАР имеют отрицательные полюса, следовательно, системы устойчивы.

Определение запасов устойчивости системы по фазе и амплитуде.

Исследование устойчивости ЗСАР по АФЧХ РСАР определялось по критерию Найквиста.

$$G(s) = \frac{0.1121}{0.00848s^4 + 0.705s^3 + 2.572s^2 + 2.93s + 1} \quad (2.9)$$

Критерий Найквиста предназначен для определения устойчивости системы по обратной связи. Данный критерий выводится с помощью амплитудно-частотной характеристике разомкнутой системы управления. ЗСАР устойчива лишь в том случае, если АФЧХ РСАР не проходила через точку $(-1; j0)$.

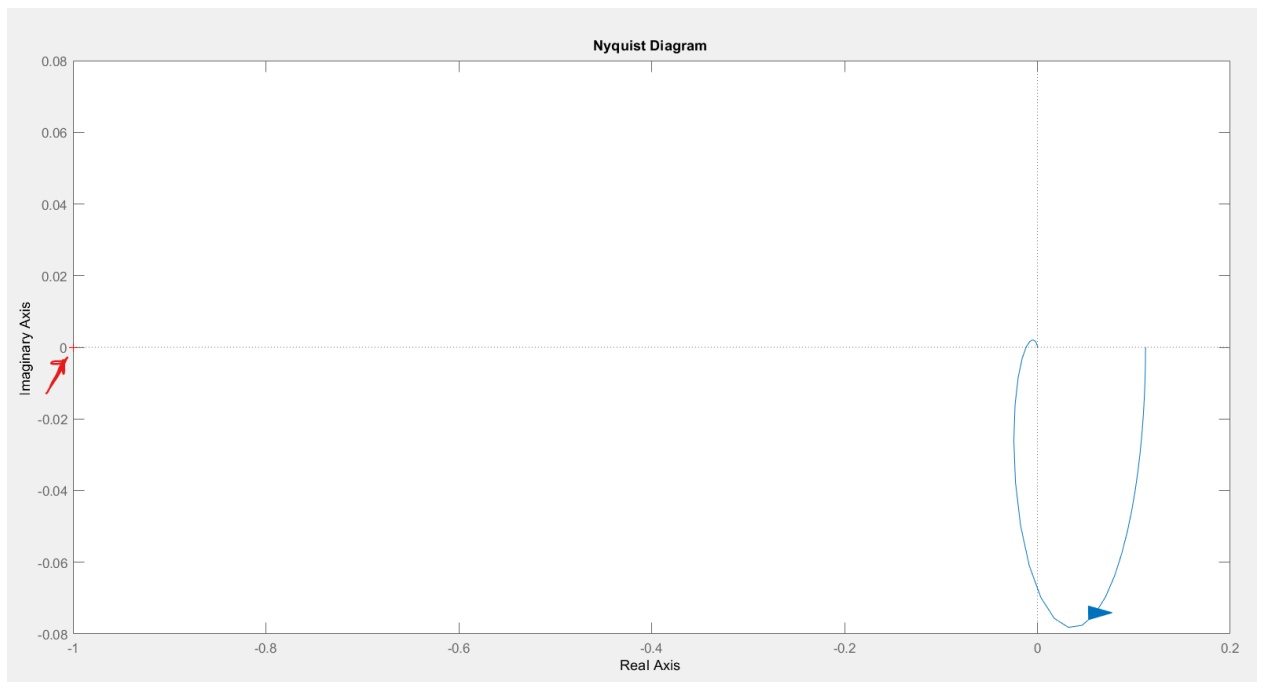


Рисунок 2.9 – АФЧХ разомкнутой системы

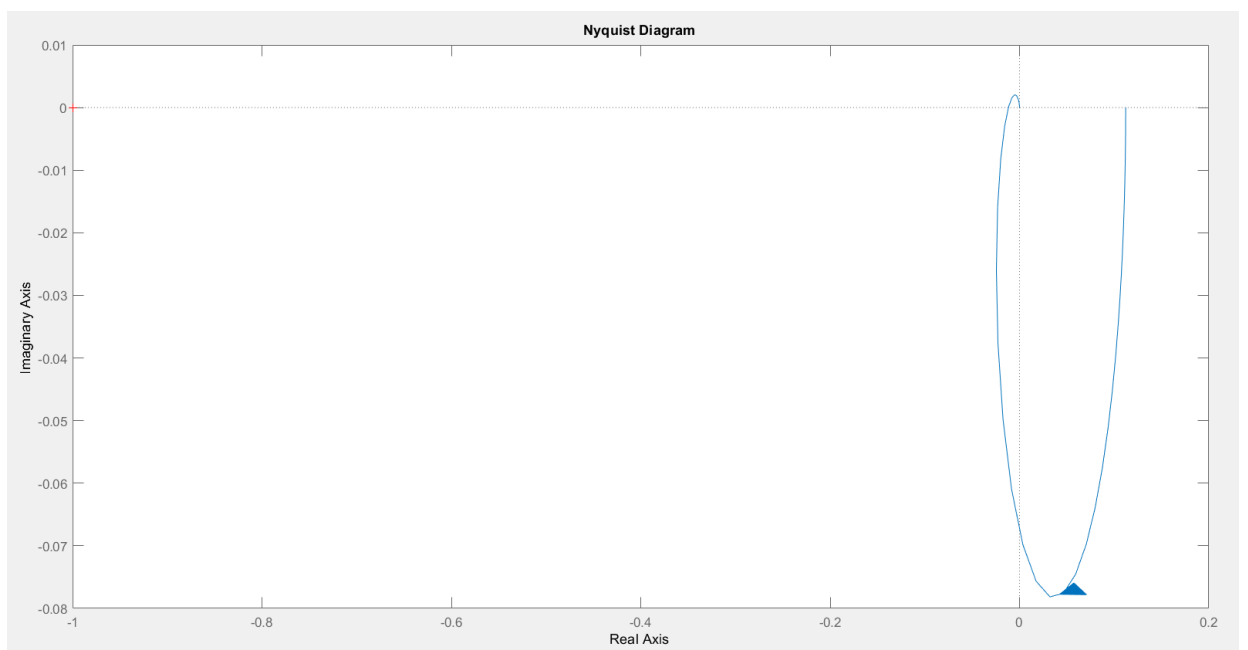


Рисунок 2.10 – Увеличенный рисунок АФЧХ разомкнутой системы

Вывод. АФЧХ устойчивой РСАР не охватывает точку $(-1; j0)$, следовательно ЗСАР устойчива.

2.4 Исследование влияния типовых регуляторов на объект управления

Объекты управления бывают различных типов и свойств, следовательно их регулирование также выбирается от линейных настроек и функций. В основном линейные регуляторы используются в промышленности.

Так регуляторы типа P используются при произвольном значении времени запаздывания и инерции. Данный регулятор включает в себя статический и астатический регулирующий орган.

В свою очередь I регулятор имеет только статический орган регулирования, при условии, что будет малое время запаздывания и изменения возмущений будет протекать медленно.

Когда как PI регулятор работает при любом значении времени запаздывания и инерции.

Ещё один тип регулятора это PID. Он работает при любом значении времени запаздывания, но при малых колебательных условиях начальных процессов.

Исследование прямых оценок качеств ЗСАР химического аппарата восстановления без регулятора.

Исследование прямых оценок качеств ЗСАР без регулятора.

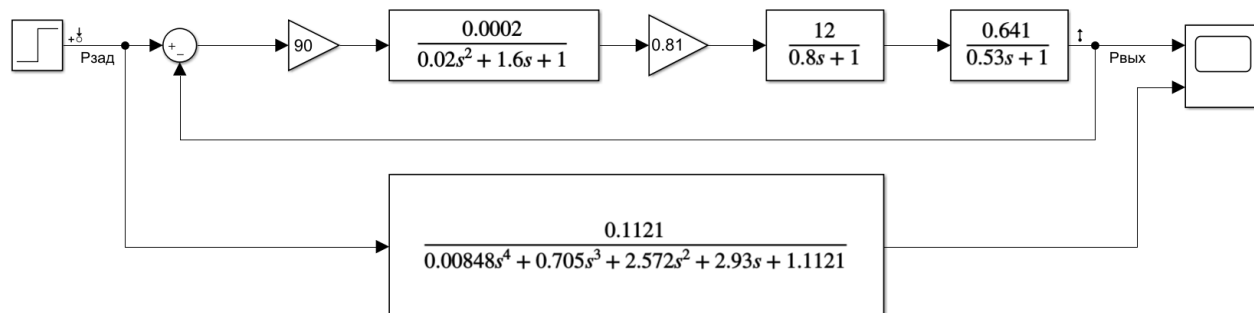


Рисунок 2.11 – Построение ЗСАР с задаваемым входным и выходным сигналом без регулятора

Параметрами процесса называются процессы, характеризующиеся множеством величин производственного процесса, давлением, влажностью, температурой, расходом и т.д.

Устройство управления в системе автоматического регулирования называется автоматическим регулятором или просто регулятором.

В ходе технологического процесса объект управления подвергается все различным воздействиям и возмущениям, в результате которых величина управления отклоняется от задаваемого значения.

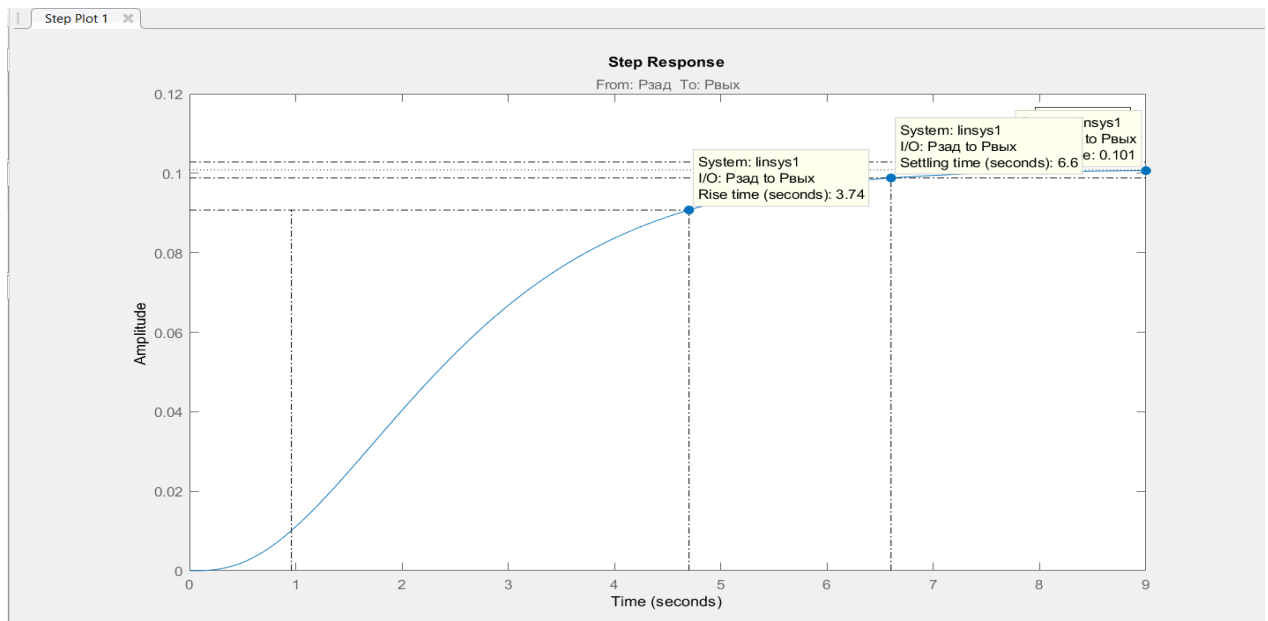


Рисунок 2.12 – График ЗСАР без регулятора с прямыми оценками качества

Таблица 2.1 – Характеристики прямых оценок качеств ЗСАР без регулятора

Основные	1	Время регулирования (setting time)	6.6
	2	Время нарастания (rise time)	3.74
	3	Установившееся значение (final value)	0.101

Исследование моделирования прямых оценок качеств ЗСАР с P-регулятором.

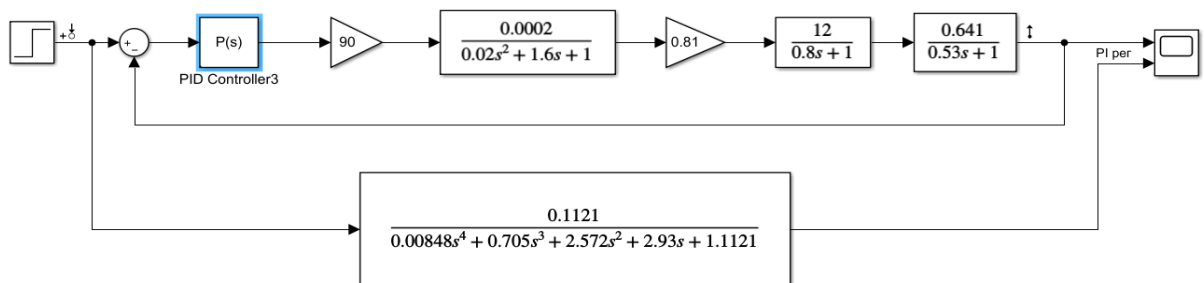


Рисунок 2.13 – Построение ЗСАР с задаваемым входным и выходным сигналом с P-регулятором

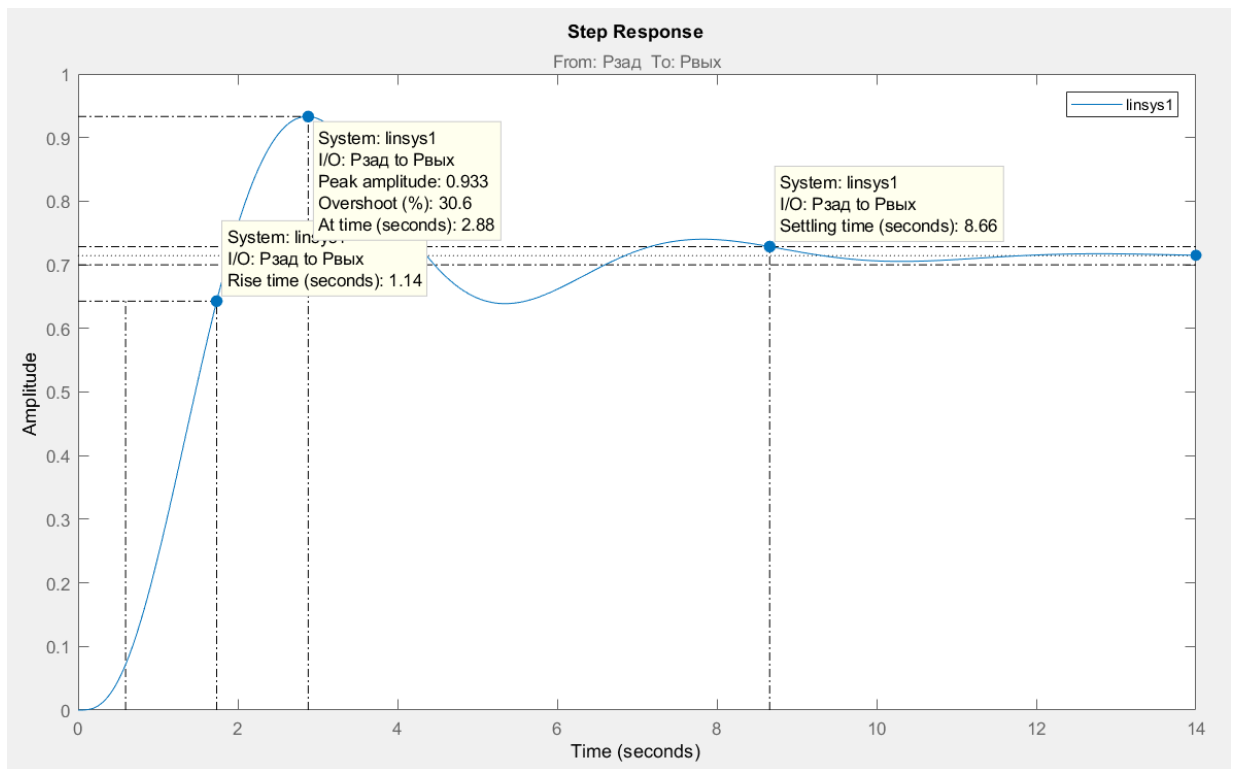


Рисунок 2.14 – График ЗСАР с Р-регулятором прямыми оценками качества

Таблица 2.2 – Характеристики прямых оценок качеств ЗСАР с Р-регулятором

Основные	1	Время регулирования (setting time)	8.66
	2	Перегулирования (overshoot) %	30.6
	3	Время достижения первого максимума (peaktime)	0.933
	4	Время нарастания (rise time)	1.14
	5	Установившееся значение (final value)	0.714

Исследование моделирования прямых оценок качеств ЗСАР с PI-регулятором.

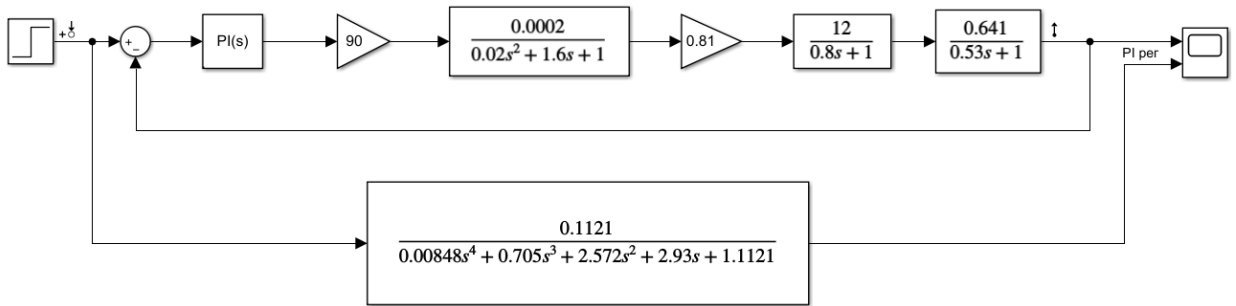


Рисунок 2.15 – Построение ЗСАР с задаваемым входным и выходным сигналом с PI-регулятором

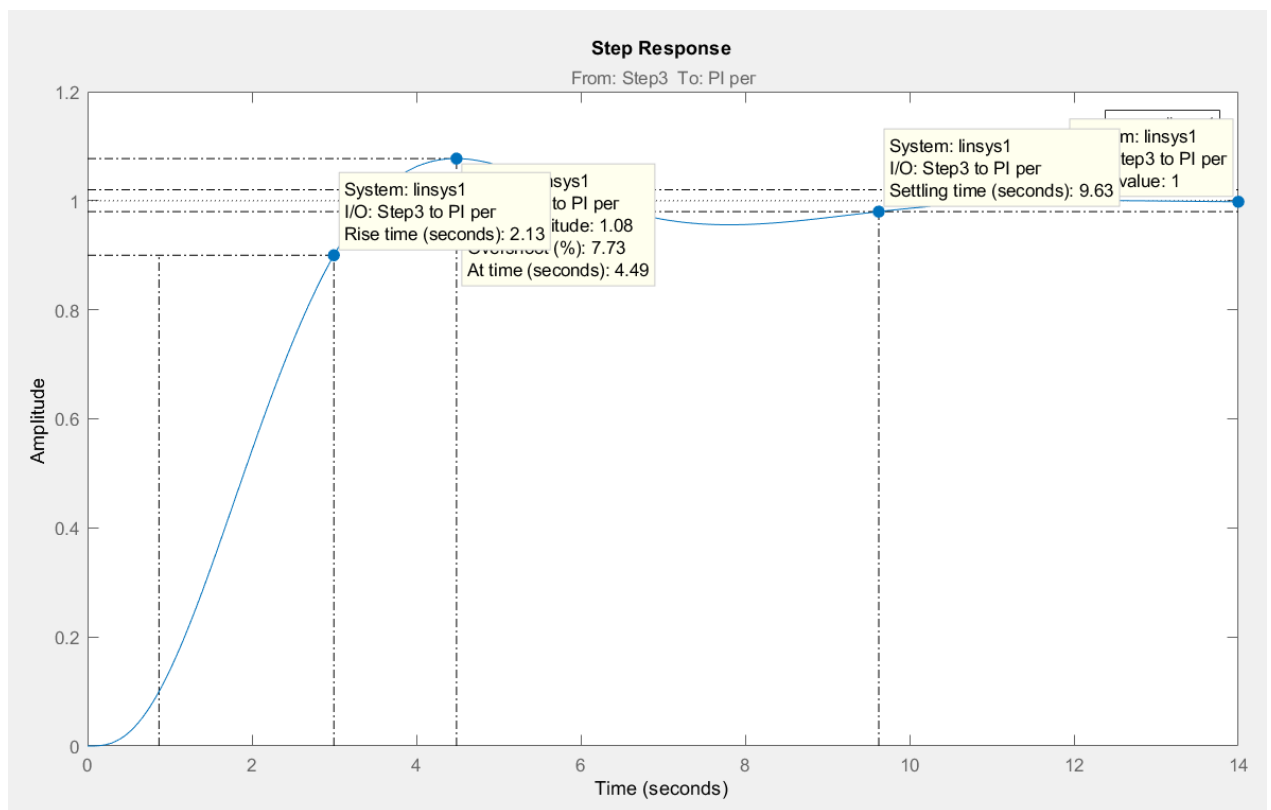


Рисунок 2.14 – График ЗСАР с PI-регулятором прямыми оценками качества

Таблица 2.3 – Характеристики прямых оценок качеств ЗСАР с PI-регулятором

Основные	1	Время регулирования (setting time)	9.63
	2	Перегуливания (overshoot) %	7.73
	3	Время достижения первого максимума (reaktime)	1.08

4	Время нарастания (rise time)	2.13
5	Установившееся значение (final value)	1

Исследование моделирования прямых оценок качества ЗСАР с PID-регулятором.

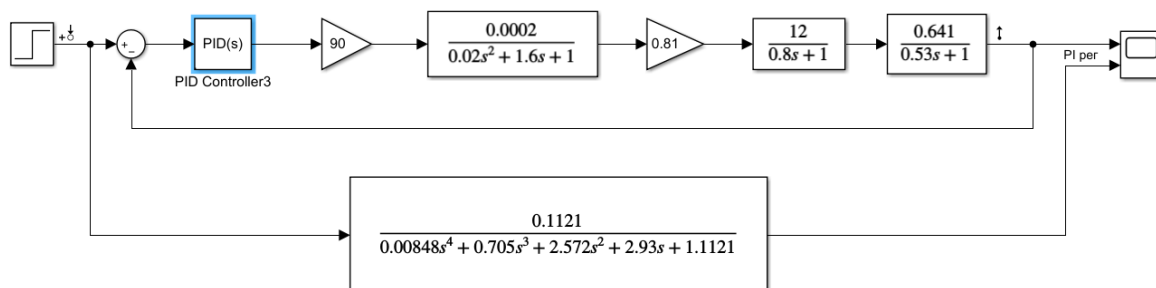


Рисунок 2.15 – Построение ЗСАР с задаваемым входным и выходным сигналом с PID-регулятором

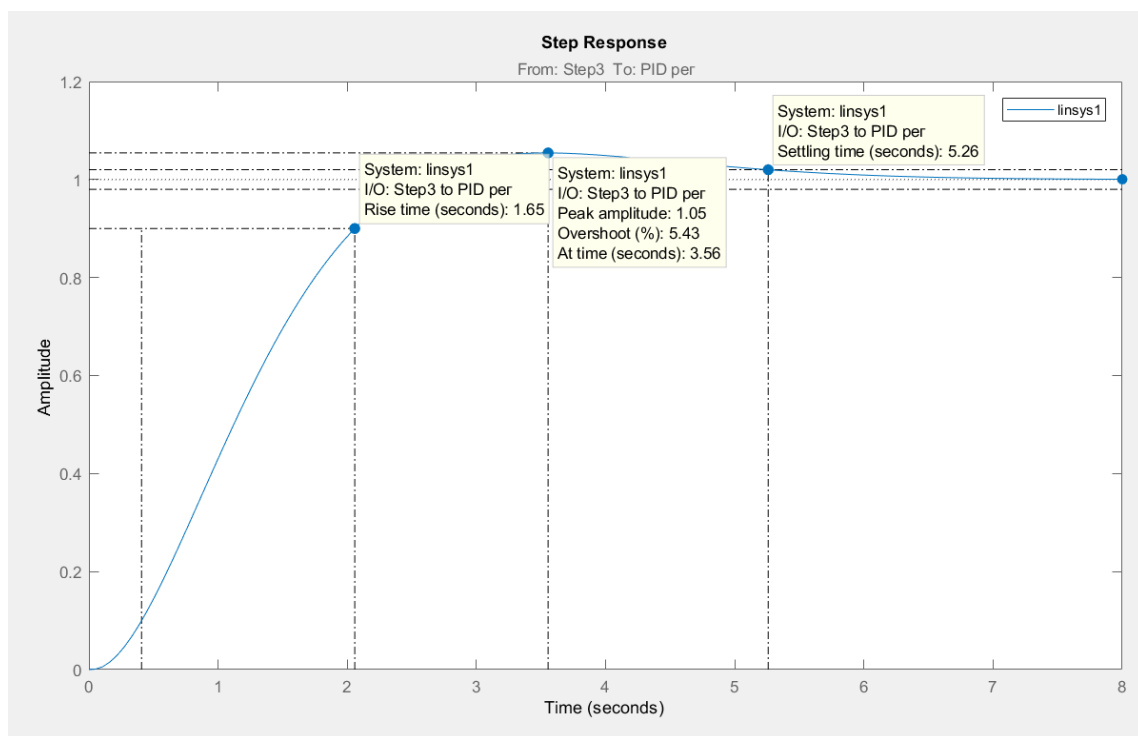


Рисунок 2.16 – График ЗСАР с PID-регулятором прямыми оценками качества

Таблица 2.4 – Характеристики прямых оценок качеств ЗСАР с PID-регулятором

Основные	1	Время регулирования (setting time)	5.26
	2	Перегуливания (overshoot) %	5.43
	3	Время достижения первого максимума (reaktime)	1.05
	4	Время нарастания (rise time)	1.65
	5	Установившееся значение (final value)	1

Исследование ЗСАР с P-регулятором, PI-регулятором, PID-регулятором.

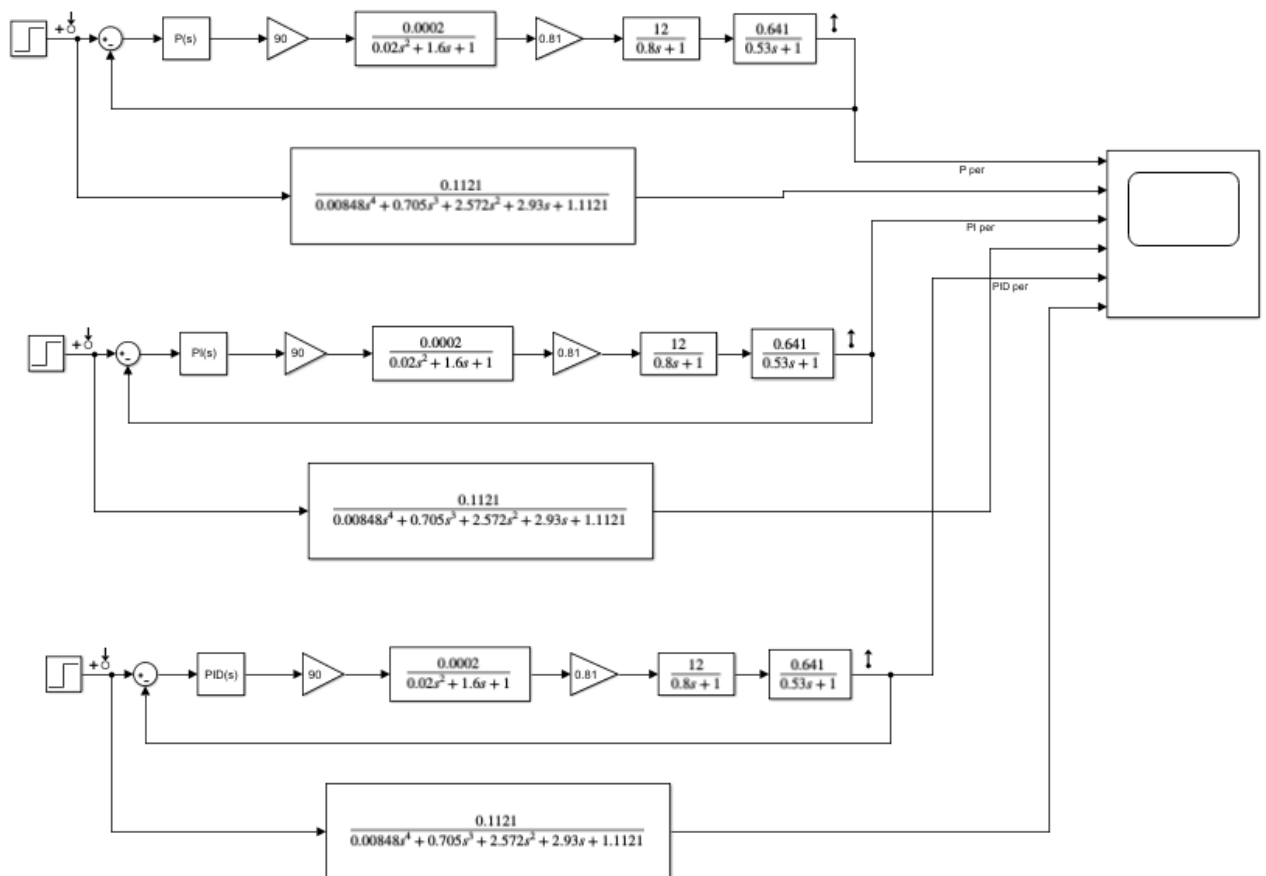


Рисунок 2.17 – Построение ЗСАР с задаваемым входным и выходным сигналом с PID-регулятором

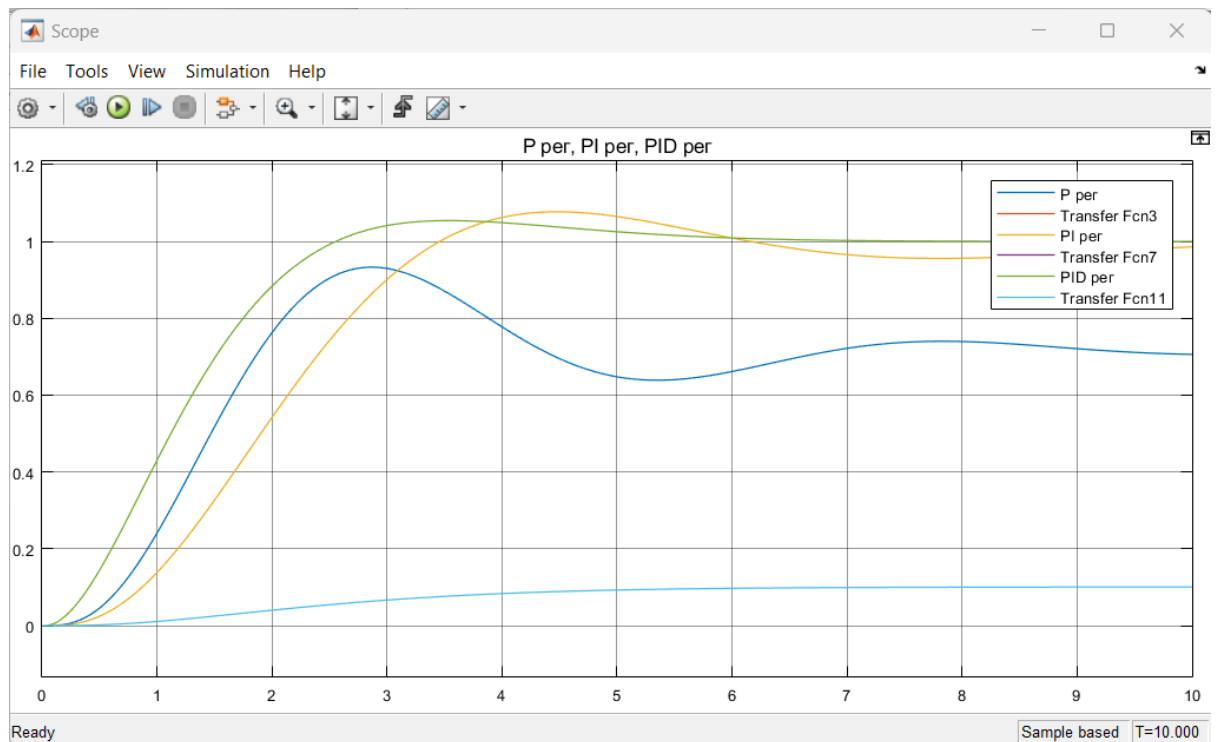


Рисунок 2.18 – Графики ЗСАР с Р-регулятором, PI-регулятором, PID-регулятором

Вывод по результатам моделирования ЗСАР с регуляторами.

Исходя из исследования прямых оценок качеств ЗСАР химического аппарата восстановления без регулятора и с различными типами регуляторов наиболее целесообразным будет выбор PID регулятора.

У данного типа регулятора, время регулирования 5.26, перерегулирование достигает наименьшего значения равным 5.26, время достижения первого максимума 1.05, а также быстрее всех достигает нарастания, оно принимает значение 1, по сравнению с остальными регуляторами.

3 Разработка проекта щита распределения и автоматики для аппарата восстановления тетрахлорида титана

Распределительные щиты, как и щиты ВРУ относятся к слаботочной системе. Сначала от трансформаторной будки, находящейся неподалёку от объекта или здания попадает на главный распределительный щит тока, называемым щитом ВРУ. От него по отдельным автоматам питание подаётся на групповые щиты [5].

Концепция и размер щитов по своему назначению и количеству автоматов внутри различаются. Прежде всего нужно учитывать количество компонентов, которые будут устанавливаться внутрь щита. Затем степень защиты корпуса, так для внутреннего применения непосредственно в здании используются щиты со степенью защиты (IP 41), а для внешнего (например, на улице или в подвальных помещениях отлично подойдут щиты с IP55 и выше) [4].

Разработка однолинейной электрической схемы производится с подсчётом затрачиваемой электроэнергии. Это легко просчитать зная к каким оборудованьям и питающимся элементам подводить электропитание.

Также немаловажным является тип установки щитов распределения, это настенные и напольные. Настенные бывают различных размеров и вариаций, когда как напольные отличаются своим объёмом и габаритами [1].

Щиты автоматики (ЩА). Щиты автоматики используются в регулировании автоматизации процессов производства, где ручную переключение или отключение режимов работы является нецелесообразным или невозможным. Структура внутреннего оснащения щита является одной из самых сложных, так как имеет множество компонентов управления, поддаваемые программированию или внесению логики в систему. К группе щитов автоматики можно отнести и щиты управления (ЩУ), чаще всего применяют щиты с маркировкой ЩАУ [5].

При составлении и разработки данного проекта электроснабжения был использован модульный щит класса ЩУА для производственного процесса обработки тетрахлорида титана.

Автоматические выключатели были выбраны по типу защиты оборудования находящихся непосредственно на производственной части. В основном были использованы АВ 2, 3 и 4-х полюсные, также УЗО от защиты заземления, реле перенапряжения, контакторы для насосного оборудования и силовой автоматики и были включены предохранители токов для различных дополнительных цепей питания. Что касается третьего щита управления, то на него подаётся постоянное напряжения до 24В. Модули контроллера принимают питание от выходного щита и подают постоянное напряжение на сам контроллер. Сигнал на дисплеи идут напрямую от датчиков, расположенных по месту оснащения.

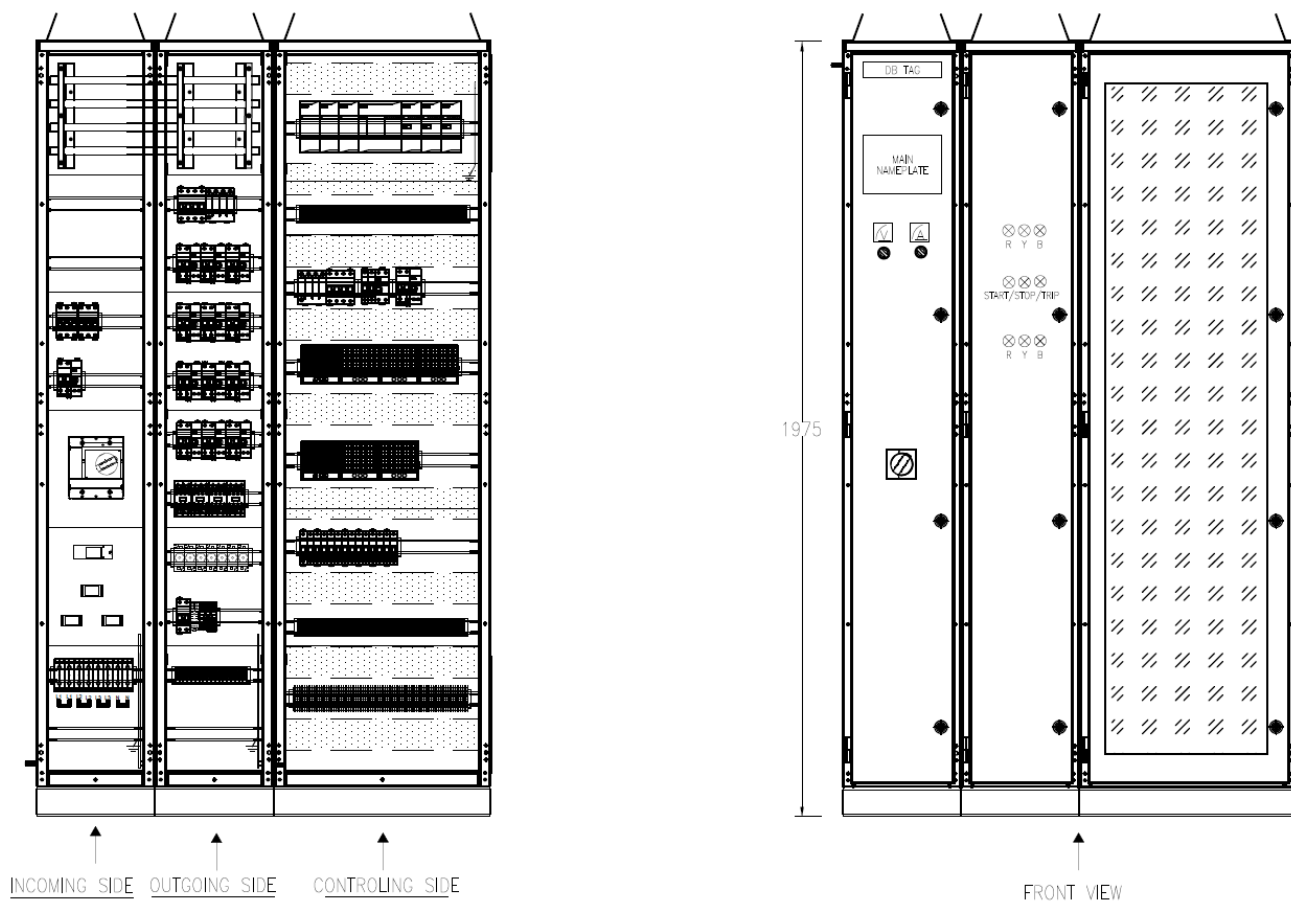


Рисунок 3.1 – Проектная часть ЩУА химического процесса

Таблица 3.1 – Спецификация материалов электроцита ЩУА

Входная группа		
Наименование	Характеристика	Количество
МССВ (автоматический выключатель в литом корпусе)	4 poles, 4A, 100A, 400V, 50Hz, 25kA	1
МСВ (автоматический выключатель)	3 poles,	2
МСВ + RCD	МСВ: 2 poles, 16A, 230Vac, 10kA, 50Hz, C-curve RCD: ADD-ON, 2 poles, 25A, 30mA, 230Vac, 50Hz	1
Current transformer	50Hz, Class: 1, 3VA	3
Core balance transformer	160A	1
Terminal block (Клеммы)	For 2x0.75...35mm ² cable	8

7	End stop	for din 32/35 rail	6
Выходная группа			
№	Наименование	Характеристика	Количество
1	MCB	4pole, 4A, 400Vac, 50Hz, 10kA, C-curve	1
2	Модульный ограничитель перенапряжения (SPD PRD40r)	4pole + N, 230/400 V AC (+/- 10 %) at 50/60 Hz	1
3	MCB + RCD	MCB: 2pole, 16A, 230Vac, 50Hz, 10kA, C-curve RCD: Add-on, 2pole, 25A, 100mA, 230Vac, 50Hz	12
4	Contactator	3pole, 25A, 230Vac, 50Hz с норм. откp. Контактom и норм. закр. контактом	4
5	Предохранитель на дин- рейку	63A fuse holder	7
6	MCB	MCB: 2pole, 20A, 230Vac, 50Hz, 10kA, C-curve	1
7	Реле защиты двигателя	6A, 50Hz, 250Vac	1
8	LC1-D12-10 DIN Rail Mounting Contactator	4P, 25A, HO+H3,220B,50/60ГЦ	1
9	Terminal block (Клеммы)	For 3x2.5...35mm ² cable	18
10	End stop	for din 32/35 rail	18
Панель автоматического контроля			
1	Terminal block	for 2x0.2...6mm ² cable	144
2	Knife terminal block	UT2.5MT (P. CONTACT) (0.14-2.5) FERRULE	73

3	SIMATIC S7-1200 Базовый контроллер	CPU 1211C: CM/CP CPU 1 плата CPU 1212C: CM/CP CPU 1 плата SM	3 1 1 1 3 1 1
4	MCB	4pole, 4A, 400Vac, 50Hz, 10kA, C-curve	1
5	Модульный ограничитель перенапряжения (SPD PRD40r)	4pole + N, 230/400 V AC (+/- 10 %) at 50/60 Hz	1
6	MCB + RCD	MCB: 2pole, 16A, 230Vac, 50Hz, 10kA, C- curve RCD: Add-on, 2pole, 25A, 100mA, 230Vac, 50Hz	1
7	MCB + УЗО	MCB: 2pole, 16A, 230Vac, 50Hz, 10kA, C- curve 40A, 30mA	1
8	Display	DPM METSEPM2120	7
9	MCB	MCB: 2pole, 16A, 230Vac, 50Hz, 10kA, C- curve 40A, 30mA	7
10	End stop	for din 32/35 rail	16

Щит ЩУА для процесса обработки тетрахлорида титана был разработан в соответствии с международным стандартом электросилового оборудования (IEC-61439). Щит разделяется на три панели (1 – панель входной группы, 2 – панель выходной группы и 3 – панель автоматизации). В первой панели подаётся питание на трёхфазную шину (3L+N), от этой шины напряжение переходит на выходную панель, где распределяется по автоматическим выключателям для каждой цепи регулирования (насосные станции, отгонки паров и газов, теплоснабжения, печи и т.д.). Оборудования подключаются в нижней части через клеммы питания. От некоторых клемм питание подаётся через кабель питания напряжения на третью панель (панель автоматического регулирования). В ней находятся реле регулирования напряжения, главный мозг системы — это контроллер Simatic-1200, дисплеи для отслеживания состояния датчиков и их параметров, а также несколько автоматов для предотвращения короткого

замыкания. Внутри панелей также предусмотрен тепловой кабель для защиты от конденсации, автомат к нему подведён в третьей панели [10].

Две панели переменного напряжения выполнены в виде закрытого щита, а в третьей панели дверь по центру вырезана и приделано бронированное стекло толщиной 2.5 мм. Это сделано в первую очередь для удобства наблюдения за системой и отслеживания каких-либо изменений.

Также немаловажным является защита от постороннего проникновения, то есть первую панель куда подаётся напряжения невозможно открыть, предварительно не отключив всю систему подачи напряжения. В первую очередь это сделано для повышения безопасности и предотвращения несчастных случаев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном диплом проекте была разработана система автоматизированного управления процессом восстановления четыреххлористого титана ($TiCl_4$).

Сначала был изучен и разработан проект по технологической схеме производственного процесса. Затем производилось подробное описание процесса восстановления при помощи реторты, это нужно было для того, что в дальнейшем произвести правильный анализ технологического процесса как объекта управления.

В ходе анализа была разработана и спроектирована структурная схема автоматического управления процесса восстановления тетрахлорида титана. Были обозначены управляющая система и объект управления, а также инициализированы входные сигналы и выходные на систему. Были отобраны и внесены в систему все имеющиеся возмущающиеся, задающиеся и регулирующие воздействия на систему.

Были выбраны точки контроля для регулирования параметров технологического процесса для дальнейшего моделирования синтеза системы.

Второй частью проекта было производство расчётов относительно системы автоматического регулирования технологического процесса. Первым делом была исследована система автоматического управления процесса восстановления. Произведён расчёт передаточной функции системы давления в реторте с помощью проработанных и выведенных передаточных функций электронного усилителя, электродвигателя, постоянного тока, электромагнитного клапана и химического реактора. Далее была построена система автоматического управления в программном обеспечении MATLAB. Спроектирована САУ структурной схемы давления в реторте восстановления и получены разомкнутая и замкнутая системы автоматического регулирования. По данным РСАР и ЗСАР был произведён анализ в командной строке MATLAB. Были доказаны устойчивости обеих систем управления и определены запасы устойчивости по фазе и амплитуде систем.

Исследование влияния типовых регуляторов на объект управления производился с учётом различных типов регулирования, сначала были выведены прямые оценки качества без регуляторов, затем с подключением поочерёдно Р, PI и PID регуляторов. Были выведены их графики ЗСАР и сравнение между четырьмя системами.

Заключительной частью проекта является разработка распределительного щита и щита автоматики для технологического процесса восстановления тетрахлорида титана. Разработана проектная часть ЩУА химического процесса, учитывая функциональную схему промышленного производства. Вся спецификация и информация относительно панелей управления приведена в отчёте дипломной работы.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ТХТ	–	Тетрахлорид титана
ЩР	–	Щит распределения
ЩРУ	–	Щит распределения и управления
ЩУА	–	Щит управления автоматики
ВРУ	–	Внутреннее распределительное устройство
ГОСТ	–	Государственный стандарт
IEC	–	International Electrotechnical Commission
АСУТП	–	Автоматическая система управления технологическим процессом

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Тепловые и атомные электростанции: Справочник/ Под общ. ред. чл.-корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2003.- 645 с.
- 2 Редкоземельные металлы. – Москва: Металлургия, 2015. – 232с. Михайличенко А.И., Михлин Е.Б., Патрикеев Ю.Б.
- 3 Технология металлов и других конструкционных материалов. Изд. «Высшая школа», 2019г. Н.П. Дубинин.
- 4 Технология литейного производства – М.: «Машиностроение», 2018г. А.П. Гуляев.
- 5 ГОСТ 21-404.85 ЕСКД Автоматизация технологических процессов.
- 6 Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы.-СПб.: Питер, 205.-336 с.: ил.
- 7 Ширяева О.И. Проектирование систем автоматики. Для студентов специальности 6М070200 - Автоматизация п управление, Алматы: КАЗНТУ, 2012. - 118с.
- 8 Сергеев В.В., Металлургия титана. [Учебное пособие для техникумов цветной металлургии] — 2019. – 358 с.
- 9 Автоматизация технологических процессов и САУ. Бродин И.Ф., Андреев С.А., 2020. – 396 с.
- 10 Тарасов А.В. Металлургия титана. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 335с.

Приложение Б

ЩУА для управления процессом восстановления четырёххлористого титана ($TiCl_4$)

