

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЕ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

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

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизации и управления

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Қабдолова Іңкәр Нұрлыбекқызы

Разработка систем автоматического регулирования процессами ректификационной
колонны Атырауского НПЗ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

6B07103 – Автоматизация и роботизация

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

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой АиУ
канд. физ.-мат. наук
С.А. Алдияров Н. У.
«6» июня 2023г.



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

На тему: «Разработка систем автоматического регулирования процессами
ректификационной колонны Атырауского НПЗ»

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Выполнила

Қабдолова І. Н.

Рецензент

канд. техн. наук, доц.

Ю.П. Юничева Н. Р.

«6» июня 2023г.

Научный руководитель

канд. техн. наук, ассоц. проф.

О.И. Ширяева О. И.

«31» мая 2023г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЕ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

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

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизации и управления

6B07103 – Автоматизация и роботизация

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой АиУ
канд. физ.-мат. наук
Алдияров Н. У.
« 6 » *июня* 2023 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающейся Қабдоловой І. Н.

Тема: «Разработка систем автоматического регулирования процессами ректификационной колонны Атырауского НПЗ»

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

Срок сдачи законченной работы «15» мая 2023г.

Исходные данные к дипломному проекту: технологический регламент установки ЭЛОУ-АВТ-3 производства переработки нефти Атырауского НПЗ, технологическая схема установки ЭЛОУ-АВТ-3, данные с производственной практики №2.

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

- а) технологический процесс в ректификационной колонне К-2 Атырауского НПЗ;
- б) разработка функциональной схемы контуров управления ректификационной колонны К-2;
- в) анализ и синтез систем автоматического регулирования температурой верха колонны.
- г) разработка программного обеспечения логической САУ ректификационной колонны К-2.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): функциональная схема автоматизации ректификационной колонны; структурная схема САУ.

Рекомендуемая основная литература:

1 Ким Д.П. Теория Автоматического Управления. – 2-е изд., испр. и доп. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2016. – С. 90-92.

2 Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – 4-е изд., перераб. и доп.– С-П.: «Профессия», 2004. – 752 с.

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Технологический раздел Технологический процесс ректификационной колонны К-2	15 марта 2023 г.	
Технологический раздел Анализ и синтез системы регулирования ректификационной колонны К-2	15 апреля 2023 г.	
Раздел расчётной части Синтез логической системы управления ректификационной колонны К-2	15 мая 2023 г.	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с указанием относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата	Подпись
Технологический раздел	О. И. Ширяева канд. техн. наук	25.05.23	
Раздел расчётной части	О. И. Ширяева канд. техн. наук	25.05.23	
Нормоконтролер	Э. Ж. Жанабаева маг. техн. наук, ассистент	25.05.23	

Научный руководитель



Ширяева О. И.

Задание принял к исполнению обучающийся



Қабдолова І. Н.

Дата

«5» января 2023 г.

АНДАТПА

Диплом жобасында Атырау мұнай өңдеу зауытының аралық бағанасының технологиялық процестерін автоматты басқару жүйелерін әзірлеу мәселесі қаралуда.

К-2 аралық бағанының технологиялық процесі сипатталып, автоматтандырудың функционалдық диаграммасы, колоннаның жоғарғы бөлігінің температураны автоматты бақылау жүйесінің бақылау ілмегі жасалды.

Осы сипаттаманың негізінде жүйені талдау, динамикалық қасиеттерді анықтау және жүйе сапасын бағалау орындалды. Типтік реттегіштерді синтездеу рәсімдері реттеуші параметрлерін белгілеудің түрлі әдістерін, атап айтқанда, Чин-Хронес-Ресвик, Зиглер-Николс № 1 эмпирикалық әдістерін және параметрлерді «Автотун» әдісімен автоматты түрде реттеуді қолдана отырып жүзеге асырылады. Сондай-ақ, СКАДА жүйелерінің ортасында айдау бағанасы процесін техникалық іске асыру жүзеге асырылды.

АННОТАЦИЯ

В дипломном проекте рассмотрена разработка систем автоматического регулирования процессами ректификационной колонны Атырауского нефтеперерабатывающего завода.

Был описан технологический процесс ректификационной колонны К-2, была разработана функциональная схема автоматизации, контур управления САР температуры верха колонны.

На основе данного описания был выполнен анализ системы, определение динамических свойств и оценок качества системы. Реализованы процедуры синтеза типовых регуляторов с использованием различных методов настройки параметров регулятора, а именно эмпирические методы Чина-Хронеса-Ресвика, Циглера-Никольса №1 и автоматической настройки параметров метод «Auto-tune». Также была выполнена техническая реализация процесса ректификационной колонны в среде SCADA-систем.

ANNOTATION

The diploma project considers the development of automatic control systems for the processes of the distillation column of the Atyrau oil refinery.

The technological process of the K-2 distillation column was described, a functional diagram of automation, a control loop for the SAR of the temperature of the top of the column was developed.

Based on this description, the analysis of the system, the determination of dynamic properties and estimates of the quality of the system were performed. Procedures for the synthesis of typical regulators are implemented using various methods for setting the parameters of the regulator, namely the empirical methods of Chin-Chrones-Reswick, Ziegler-Nichols № 1 and the automatic adjustment of parameters by the "Auto-tune" method. Also, the technical implementation of the distillation column process in the environment of SCADA systems was carried out.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Технологическая часть	8
1.1 Описание процесса ректификации	8
1.2 Краткое описание ректификационной колонны	9
1.3 Технологический процесс ректификации колонны К-2	10
1.4 Ректификационная колонна К-2 как объект управления	12
2 Расчетная часть	14
2.1 Постановка задачи для синтеза контуров управления	14
2.2 Математическая модель САР температуры верха колонны	15
2.3 Анализ динамических свойств разомкнутой и замкнутой САР	17
2.4 Синтез типового регулятора САР температуры верха колонны	26
3 Техническая реализация логического управления расходом подачи исходного сырья ректификационной колонны К-2 в среде TIA Portal	37
Заключение	41
Список использованной литературы	42
Приложение А	43
Приложение Б	44

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время разработка систем автоматического регулирования процессами ректификационной колонны представляет собой сложную задачу, требующую учета множества факторов, таких как температура, давление, расход сырья и продуктов, состав смесей и другие параметры. Целью таких систем является поддержание оптимальных условий работы колонны, минимизация энергозатрат, улучшение качества продукции и снижение вероятности возникновения аварийных ситуаций. Разработка систем автоматического регулирования требует использования современных технологий и методов. Это включает в себя применение датчиков для измерения параметров процесса, алгоритмов управления, которые определяют оптимальные значения регулируемых величин, и исполнительных механизмов, которые осуществляют физическое воздействие на процесс.

Общая характеристика. Данный дипломный проект состоит из следующих основных частей:

В технологической части представлен процесс ректификации на установке ЭЛОУ-АВТ-3 Атырауского НПЗ с использованием ректификационной колонны К-2, как объекта управления. Далее была разработана математическая модель на основе структурной и параметрической идентификации в среде MatLAB.

В расчетной части проекта дается описание анализа и синтеза системы автоматического регулирования температуры верха ректификационной колонны. В ходе анализа системы рассматриваются прямые и косвенные оценки качества, определяется устойчивость системы исходя из первого метода Ляпунова. В ходе синтеза системы рассматриваются различные методы настройки параметров регулятора. PID-регулятор синтезируется на основе эмпирических методов таких как, метод Циглера-Никольса №1 и Чина-Хронеса-Ресвика, а также метод автоматической настройки параметров регулятора «Auto-tune».

В заключительной части проекта идет разработка технической визуализации контура логического управления расходом подачи исходного сырья на основе SCADA-систем.

Цель работы. Разработка систем автоматического регулирования процессами ректификационной колонны Атырауского НПЗ. Основываясь на технологических данных необходимо синтезировать PID-регулятор системы автоматического регулирования температуры верха ректификационной колонны.

Задачи. Задачами дипломного проекта являются анализ системы автоматического регулирования температуры верха ректификационной колонны и синтез типового регулятор, обеспечивающего наилучшие желаемые показатели оценок качества.

1 Технологическая часть

1.1 Описание процесса ректификации

Процесс ректификации, также известный как дистилляция, является одним из основных этапов переработки сырой нефти. Этот процесс используется для разделения различных компонентов сырой нефти на основе их точек кипения путем их испарения и конденсации при различных температурах. Процесс ректификации осуществляется в ректификационной колонне и является сложным и энергоемким процессом, который требует тщательного контроля и оптимизации для достижения оптимальных результатов.

Процесс ректификации в нефтепереработке обычно делится на две стадии: первичная дистилляция и вторичная дистилляция. Стадия первичной дистилляции используется для разделения сырой нефти на основные фракции, а стадия вторичной дистилляции используется для дальнейшей переработки этих фракций в конкретные продукты. [1]

На этапе первичной дистилляции сырая нефть поступает в ректификационную колонну через входное отверстие, где она нагревается до температуры кипения. По мере испарения сырая нефть поднимается по колонне и конденсируется на лотках или упаковочных материалах. Более тяжелые компоненты, такие как асфальт и тяжелые мазуты, конденсируются в нижней части колонны, а более легкие компоненты, такие как бензин и нефтя, конденсируются в верхней части.

Различные фракции, которые собираются в процессе первичной перегонки, обычно направляются в отдельные резервуары, где они анализируются и подвергаются дальнейшей очистке. Более тяжелые фракции, такие как мазут, могут потребовать дополнительной обработки для снижения их вязкости, а более легкие фракции, такие как нефтя, могут быть дополнительно очищены на стадии вторичной перегонки для получения бензина.

Стадия вторичной перегонки используется для дальнейшей переработки отрубей, полученных в результате первичной перегонки, в конкретные продукты. На этом этапе обычно используется ряд ректификационных колонн, каждая из которых предназначена для разделения определенных компонентов сырой нефти в зависимости от их температуры кипения. Легкие фракции обычно легче перерабатывать, а самые тяжелые фракции требуют более сложных и энергоемких процессов.

Например, бензиновая нефть обычно перерабатывается с помощью процесса каталитического крекинга, который расщепляет тяжелые углеводороды на более легкие, пригодные для использования в бензине. Дизельное топливо и керосин обычно перерабатываются с помощью процесса гидроочистки, который включает удаление серы и других примесей из углеводородов.

Процесс ректификации в нефтепереработке является энергоемким, поэтому оптимизация процесса имеет решающее значение для снижения затрат

и повышения эффективности. Одним из способов повышения эффективности является предварительный подогрев сырой нефти, что снижает количество энергии, необходимой для испарения сырой нефти. Другим способом оптимизации процесса является утилизация тепла, выделяемого в ходе процесса, для предварительного нагрева сырой нефти или получения пара для других процессов.

1.2 Краткое описание ректификационной колонны

Ректификационная колонна, также известная как дистилляционная колонна, является ключевым устройством в технологическом процессе переработки нефти. Это устройство играет решающую роль в разделении сырой нефти на различные компоненты в зависимости от их температуры кипения, что позволяет производить широкий спектр очищенных нефтепродуктов, таких как бензин, дизельное топливо и смазочные материалы. [2]

Ректификационная колонна обычно представляет собой большой вертикальный сосуд из стали, высота которого может составлять от нескольких метров до более 100 метров. Сосуд состоит из ряда лотков или тарелок, которые укладываются друг на друга, образуя башнеподобную структуру. Лотки обычно расположены на расстоянии от одного до двух метров друг от друга.

В нижней части колонны сырая нефть нагревается и испаряется с помощью печи или другого источника нагрева. Затем испарившаяся сырая нефть поступает в нижнюю часть ректификационной колонны и поднимается по лоткам. По мере подъема пар вступает в контакт с более холодными поверхностями и конденсируется обратно в жидкость. Каждый лоток в колонне предназначен для конденсации определенных фракций паров в зависимости от их температуры кипения.

В лотках имеются небольшие отверстия или щели, через которые проходит пар. Пар конденсируется при контакте с более холодной жидкостью на лотке, и полученная жидкость стекает в лоток, расположенный ниже. Лотки сконструированы таким образом, что их температура немного ниже, чем температура вышележащего лотка, так что при конденсации пара он становится более обогащенным компонентами с более низкой температурой кипения.

Ректификационная колонна обычно делится на несколько секций в зависимости от диапазона температур кипения разделяемых компонентов. Верхняя секция колонны обычно используется для отделения самых легких компонентов, таких как газы и нефть. Средняя секция используется для отделения более тяжелых компонентов, таких как керосин и дизельное топливо. Нижняя секция используется для отделения самых тяжелых компонентов, таких как мазут и остаточные продукты.

Эффективность работы ректификационной колонны зависит от нескольких факторов, таких как температура и давление в колонне, конструкция лотков и скорость потока сырой нефти. Контролируя эти факторы, операторы

могут разделять сырую нефть на широкий спектр продуктов с различными температурами кипения и характеристиками.

Конструкция ректификационной колонны имеет решающее значение для ее работы в процессе нефтепереработки. Конструкция лотков должна обеспечивать правильное распределение потоков пара и жидкости по колонне, а также достаточный расход жидкости для предотвращения затопления или сухости лотков. Конструкция лотков также играет ключевую роль в достижении эффективного разделения различных компонентов, поскольку она должна обеспечивать достаточную площадь поверхности для контакта потоков пара и жидкости.

Еще одним важным конструктивным моментом для ректификационной колонны является наличие систем предварительного подогрева сырья и рекуперации тепла. Эти системы помогают снизить энергопотребление процесса за счет использования тепла, выделяемого при испарении сырой нефти, для предварительного нагрева поступающего сырья. Кроме того, тепло от конденсации паров может быть восстановлено и использовано для предварительного нагрева других потоков в рамках процесса.

Работа ректификационной колонны обычно контролируется автоматизированной системой, которая отслеживает температуру и давление в колонне и при необходимости регулирует скорость потока сырой нефти и других потоков сырья. Эта система помогает поддерживать оптимальную эффективность разделения и предотвращать такие проблемы, как затопление или сухие лотки.

В целом, ректификационная колонна является важнейшим устройством в технологическом процессе переработки нефти. Ее эффективная работа является ключом к производству широкого спектра очищенных нефтепродуктов, и ее конструкция должна быть тщательно оптимизирована для достижения желаемой эффективности разделения при минимизации энергопотребления.

1.3 Технологический процесс ректификации колонны К-2

Одной из ключевых установок на Атырауском нефтеперерабатывающем заводе является установка ЭЛОУ-АВТ-3. Установка отвечает за первичную перегонку сырой нефти, разделяя ее на различные фракции в зависимости от температуры кипения. Мощность установки ЭЛОУ-АВТ-3 составляет 5,5 млн тонн в год, она способна перерабатывать различные виды сырой нефти, включая тяжелую и кислую нефть, добываемую на нефтяных месторождениях Казахстана. Установка состоит из двух основных блоков: атмосферной и вакуумной.

Атмосферная колонна является первой колонной в процессе дистилляции и разделяет сырую нефть на различные фракции. В колонне имеется ряд лотков, в которых собираются различные фракции.

Вакуумная колонна является второй колонной в процессе дистилляции и используется для дальнейшего разделения тяжелых компонентов сырой нефти на различные фракции. Вакуумная колонна работает при более низком давлении, чем атмосферная колонна, что позволяет отделять компоненты с более высокой температурой кипения.

Рассмотрим сам процесс ректификации в колонне К-2, краткая характеристика которой описана в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Краткая характеристика ректификационной колонны К-2

Размеры	Диаметр	2600 мм
	Высота	52582 мм
	Объем	520 м ³
Количество тарелок		49
Тип тарелок		Трапециевидно-клапанные
Питательные тарелки		8
Максимальное рабочее	Давление	1,73 кг/см ²
	Температура	140/375°С

В ректификационной колонне К-2 происходит разделение нефти на фракции, различающиеся по температурам кипения.

Сущность ректификации заключается в двустороннем массо- и теплообмене между потоками пара и жидкости, движущимся противотоком.

В результате массообмена, отделяющиеся от горячей жидкости пары, обогащаются низкокипящими, а жидкость - высококипящими компонентами.

Сырая нефть по трубопроводу подается на прием насоса. С выкида насоса сырая нефть прокачивается через теплообменники, где нагревается до температуры не менее 380 °С. Расход сырой нефти регулируется регулятором расхода поз. FIC-1. Температура исходного сырья регулируется регулятором температуры поз. TIC-2. Нагретая до температуры не менее 380 °С нефть поступает на 8 тарелку колонны К-2. Парожидкостной поток сырья, поступающий в зону питания колонны К-2, разделяется на паровую и жидкую фазу.

С верха колонны К-2 отводятся углеводородные газы, пары бензиновой фракции с температурой до 140 °С, а также водяной пар. По шлемовому трубопроводу они поступают в конденсаторы – холодильники воздушного охлаждения и водяные холодильники. В шлемовый трубопровод подаются растворы «Додиген» и «Додикор» для защиты от коррозии верхней части колонны К-2 и ее конденсационно-холодильной системы. Температура верха колонны К-2 регулируется регулятором температуры поз. TIC-3, связанным с клапаном на трубопроводе подачи острого орошения в колонну К-2.

1.4 Ректификационная колонна К-2 как объект управления

Объект управления – это сущность, система или процесс, который подвергается управлению с целью достижения определенных результатов. В общем смысле объект управления представляет собой сущность, над которой осуществляется контроль, регулирование и направление с целью достижения заданных целей и оптимальных результатов.

В дипломном проекте объектом управления является ректификационная колонна К-2. Процесс в ректификационной колонне представляет собой систему, имеющую множество входных и выходных сигналов. Поэтому выделим основные переменные данного технологического процесса (рисунок 1.1).

Входными переменными, то есть управляющими воздействиями, являются такие переменные, как:

- расход флегмы;
- расход пара;
- расход кубовой жидкости.

К возмущающим воздействиям относятся такие переменные, как:

- фракционный состав сырья;
- расход сырья;
- давление в колонне.

Выходными переменными являются такие переменные как:

- температура верха;
- температура низа;
- уровень в кубе.

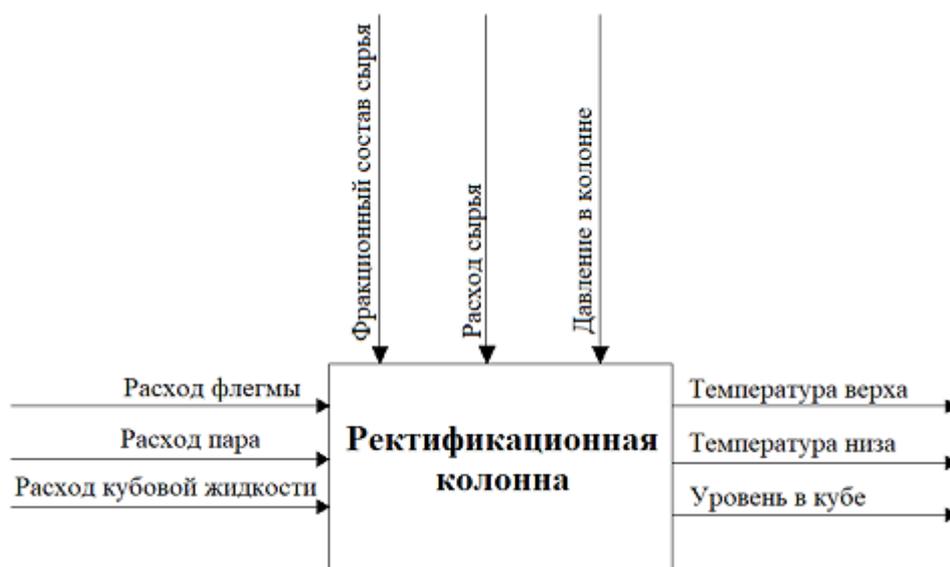


Рисунок 1.1 – Структурная схема ректификационной колонны как объект управления

В ректификационной колонне применяются различные контуры управления для обеспечения оптимальной работы процесса разделения.

Один из основных контуров управления в ректификационной колонне связан с поддержанием оптимальной температуры в различных секциях колонны. Этот контур обеспечивает оптимальное разделение компонентов с разными температурами кипения.

Контур управления расходом сырья в ректификационной колонне позволяет регулировать количество сырья, поступающего в колонну. Это важно для поддержания стабильных условий разделения и предотвращения перегрузки или недогрузки колонны.

Контур управления давлением в ректификационной колонне обеспечивает оптимальные условия разделения при различных уровнях давления.

В данном проекте будут рассмотрены два контура управления. Первый контур – это регулирование температуры верха колонны, которое должно составлять не менее 140 °С. Второй контур – это логическое управление расходом подачи исходного сырья. Основываясь на этих данных, можно составить схему автоматизации ректификационной колонной.

Упрощенная схема автоматизации ректификационной колонны К-2 представлена на рисунке 1.2.

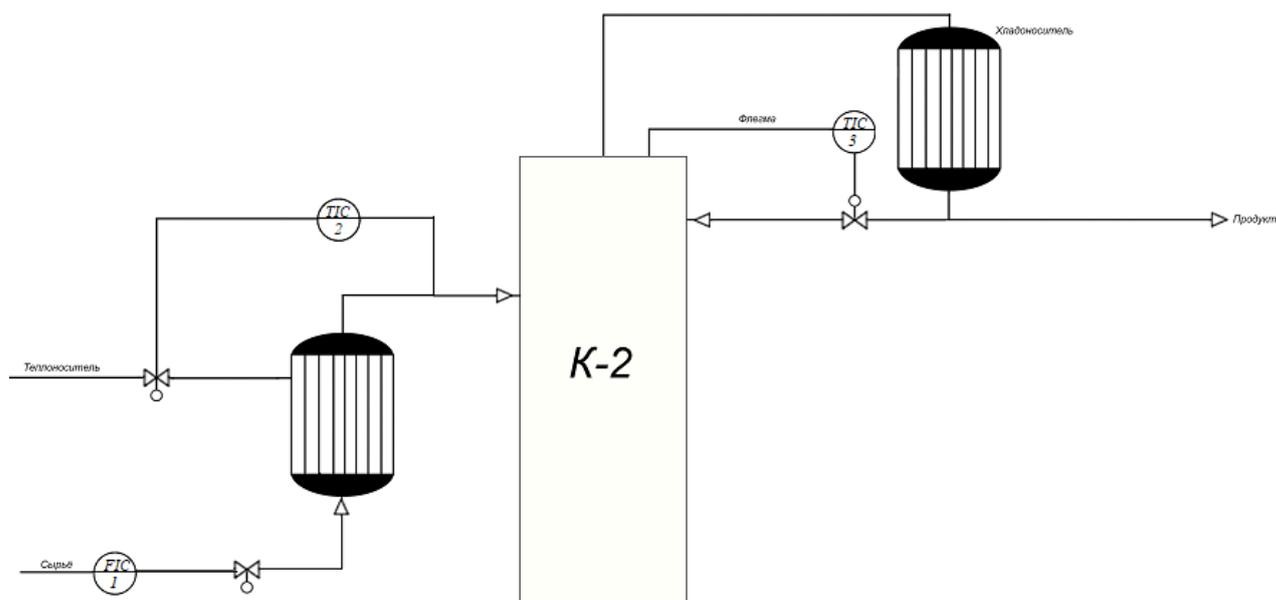


Рисунок 1.2 – Упрощенная схема автоматизации ректификационной колонны К-2

Полная развернутая схема автоматизации ректификационной колонной К-2 дана в приложении А.

2 Расчетная часть

2.1 Постановка задачи для синтеза контуров управления

В соответствии с техническим заданием необходимо синтезировать два контура управления для ректификационной колонны К-2:

– контур регулирования по температуре верха колонны на основе принципа управления по обратной связи (рисунок 2.1).

– контур программного управления расходом подачи исходного сырья на основе принципа управления по разомкнутой (рисунок 2.2).

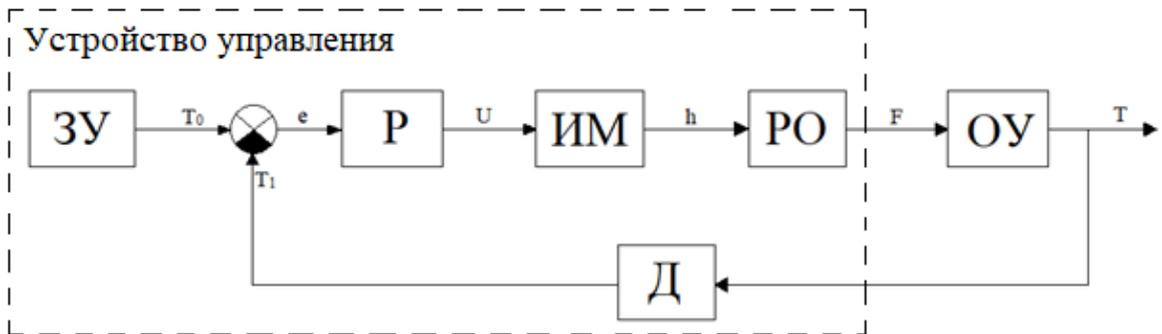


Рисунок 2.1 – Функциональная схема контура регулирования температуры верха колонны

Здесь,

ЗУ – задающее устройство;

Р – регулятор;

ИМ – исполнительный механизм;

РО – регулирующий орган;

ОУ – ректификационная колонна;

Д – датчик температуры;

Т – температура верха колонны;

T_0 – задающий сигнал;

T_1 – сигнал на выходе датчика температуры;

e – ошибка, возникающая при отклонении параметра от задания;

U – напряжение;

h – перемещение регулирующего органа;

F – расход флегмы на выходе регулирующего органа.

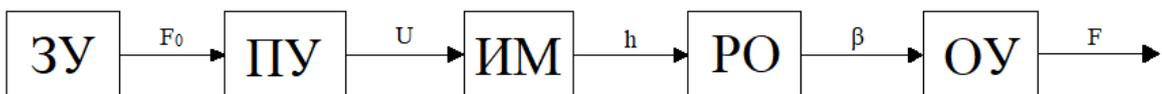


Рисунок 2.2 – Функциональная схема контура программного управления расходом подачи исходного сырья

Здесь,
 ЗУ – задающее устройство;
 ПУ – программное управление (ПЛК);
 ИМ – исполнительный механизм;
 РО – регулирующий орган;
 ОУ – ректификационная колонна;
 F_0 – задающий сигнал;
 U – напряжение;
 h – перемещение регулирующего органа;
 β – угол регулирующего органа (задвижки);
 F – расход флегмы на выходе регулирующего органа.

На основе рассматриваемых контуров управления сформулируем постановки задачи.

Постановка задачи №1. Исходя из математической модели замкнутой системы регулирования (рисунок 2.1) и с целью обеспечения желаемых оценок качества необходимо синтезировать типовой регулятор.

Постановка задачи №2. В соответствии с техническим заданием составить алгоритм управления для контура логического управления расходом подачи исходного сырья (рисунок 2.2).

2.2 Математическая модель САР температуры верха колонны

В ходе производственной практики были получены значения данных технологического процесса ректификации. Входным параметром является расход флегмы, а выходным параметром считается температура верха колонны. Исходные значения этих параметров приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные значения

Расход флегмы F , кг/час	Температура верха колонны T , °C
10699	93.73
10887	96.42
10947	101.79
11527	109.80
11575	118.49
11658	121.23
11815	127.55
11847	132.63
11986	137.41
12262	140

Используя пакет System Identification Toolbox системы MatLAB, выведем математическую модель системы автоматического регулирования ректификационной колонной, основываясь на исходных значениях входной и выходной величины в таблице 2.1. Процесс моделирования в системе MatLAB System Identification можно рассмотреть на рисунке 2.3.

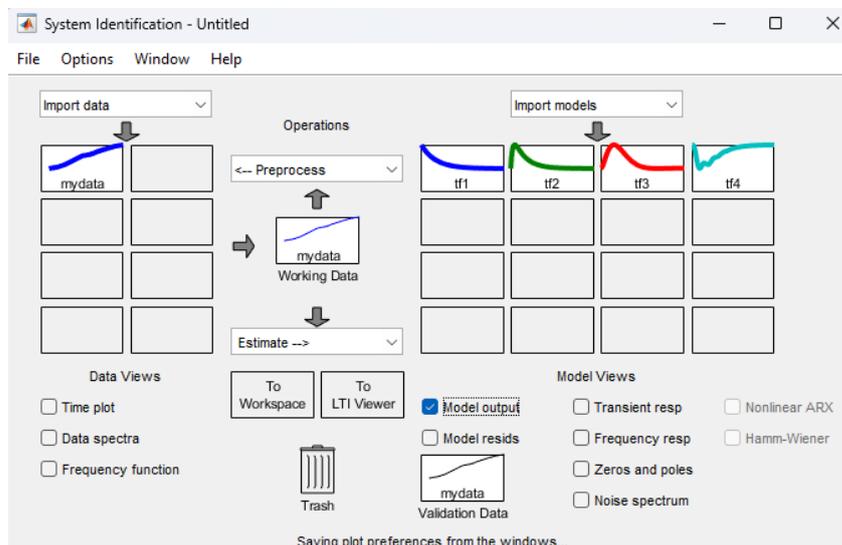


Рисунок 2.3 – Моделирование в MatLAB System Identification

В ходе нахождения математической модели основополагающим фактором служит оценка адекватности. Исходя из рисунка 2.4 видно, что при подборе различных передаточных функций самой адекватной оказалась модель под номером 2, процент адекватности которой составил 94.39 %.

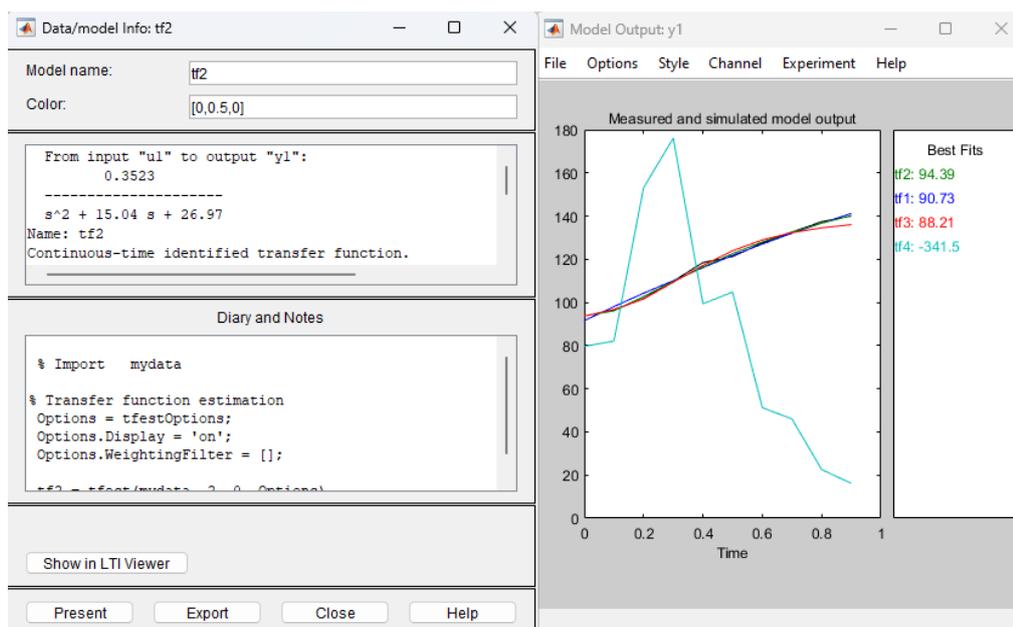


Рисунок 2.4 – Математическая модель и процент адекватности моделей, выведенные через MatLAB System Identification

2.3 Анализ динамических свойств разомкнутой и замкнутой САР

Согласно рисунку 2.4 математическая модель САР ректификационной колонны имеет вид разомкнутой системы 2-го порядка

$$G(s) = \frac{0.3523}{s^2 + 15.04s + 26.97} \quad (1)$$

Соответственно передаточная функция замкнутой системы имеет следующий вид

$$T(s) = \frac{0.3523}{s^2 + 15.04s + 27.3223} \quad (2)$$

Промоделировав разомкнутую (1) и замкнутую (2) системы автоматического регулирования ректификационной колонны (рисунок 2.5), получим графики невозмущенного движения (рисунок 2.6), по которым можно сделать вывод из свойства устойчивости.

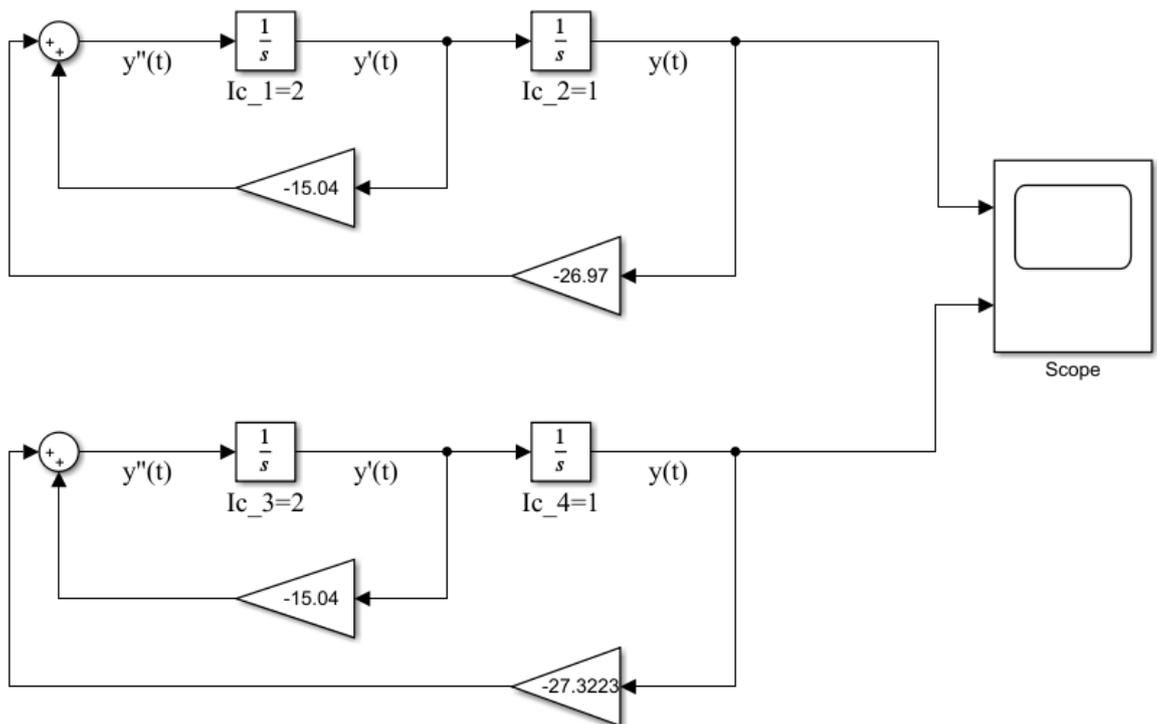


Рисунок 2.5 – Схема моделирования невозмущенного движения РСАР и ЗСАР

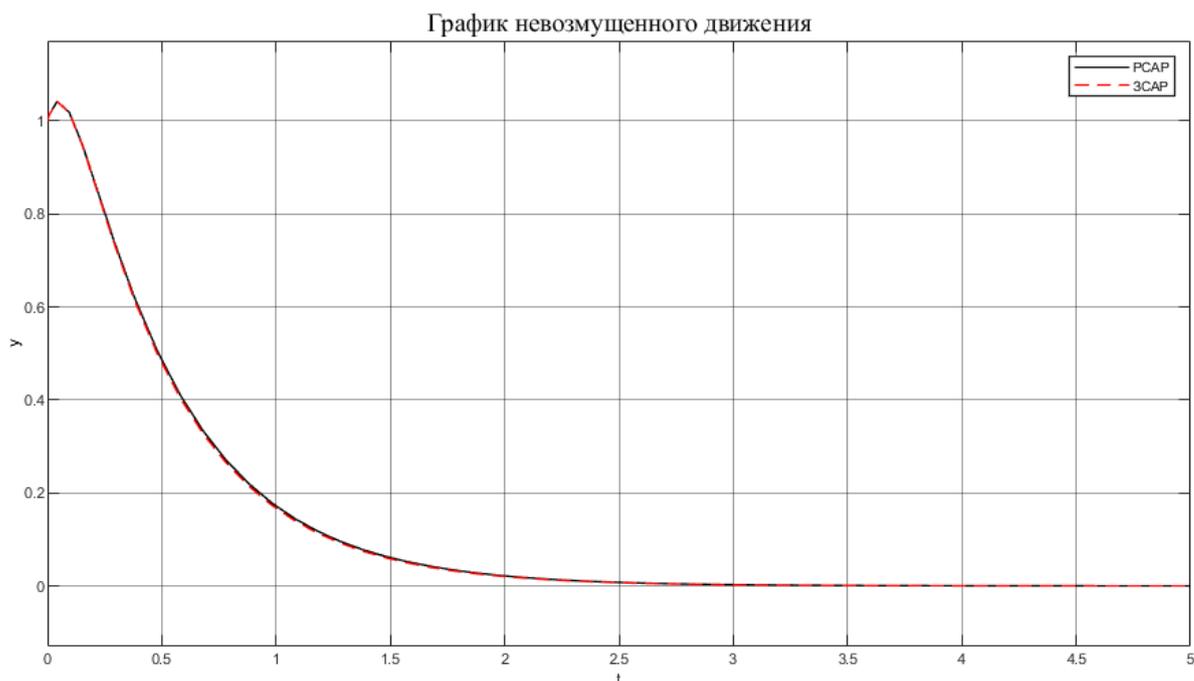


Рисунок 2.6 – График невозмущенного движения при ненулевых начальных условиях $y'(t_0)=2$, $y(t_0)=1$

Из рисунка 2.6 можно сказать, что процесс и разомкнутой, и замкнутой системы монотонно сходящийся, то есть невозмущенное движение стремится к нулю при ненулевых начальных условиях. Из чего следует, разомкнутая и замкнутая САР устойчивы.

На невозмущенное движение в частности влияют полюса системы. Поэтому исследуем разомкнутую систему на устойчивость первым методом Ляпунова.

Алгоритм решения:

Шаг 1. Определим характеристическое уравнение разомкнутой САР. Исходя из уравнения (1), запись характеристического уравнения имеет вид

$$s^2 + 15.04s + 26.97 = 0, n = 2 \quad (3)$$

Шаг 2. Вычислим корни характеристического уравнения (3), решив простое квадратное уравнение методом поиска дискриминанта.

$$D = b^2 - 4ac = (15.04)^2 - 4 * 1 * 26.97 = 118.3216 > 0$$

$$s_1 = \frac{-15.04 + \sqrt{118.3216}}{2} = -2.08121$$

$$s_2 = \frac{-15.04 - \sqrt{118.3216}}{2} = -12.95879$$

Проверим полученные результаты через команду `pole` (рисунок 2.7).

```
>> G=tf([0.3523],[1 15.04 26.97])

G =

      0.3523
-----
s^2 + 15.04 s + 26.97

Continuous-time transfer function.

>> pole(G)

ans =

-12.9588
-2.0812
```

Рисунок 2.7 – Нахождение полюсов разомкнутой САР

Изобразим полученные полюса на комплексной плоскости через команду `pzmap` в MatLAB (рисунок 2.8).

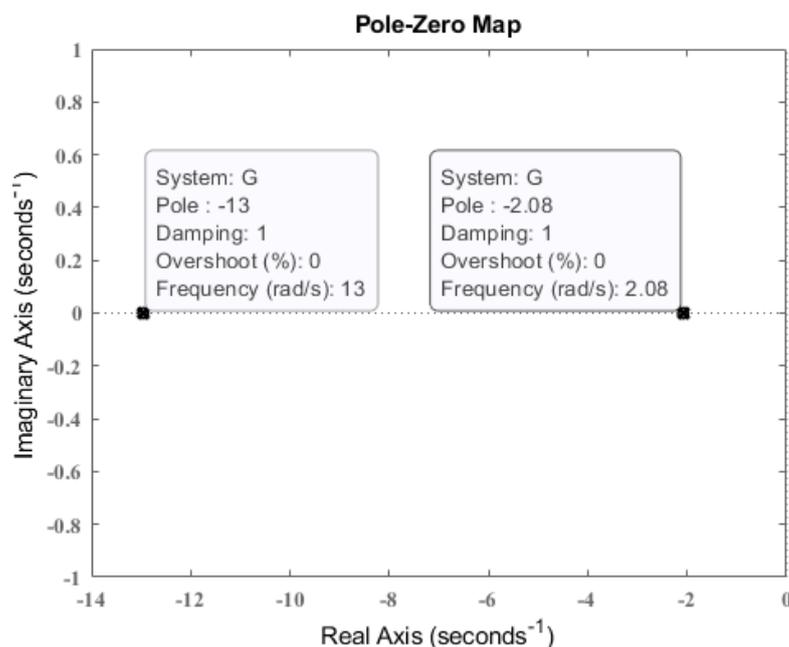


Рисунок 2.8 – Полюса РСАР на комплексной плоскости

Полюса разомкнутой САР равны отрицательным действительным значениям, следовательно, согласно первому методу Ляпунова система устойчива. Аналогично, проверим на устойчивость замкнутую систему на основе первого метода Ляпунова.

Алгорит решения:

Шаг 1. Определим характеристическое уравнение замкнутой САР. Исходя из уравнения (2), запись характеристического уравнения имеет вид

$$s^2 + 15.04s + 27.3223 = 0, n = 2 \quad (4)$$

Шаг 2. Вычислим корни характеристического уравнения (4).

$$D = b^2 - 4ac = (15.04)^2 - 4 * 1 * 27.3223 = 116.9124 > 0$$

$$s_1 = \frac{-15.04 + \sqrt{116.9124}}{2} = -2.1137$$

$$s_2 = \frac{-15.04 - \sqrt{116.9124}}{2} = -12.9263$$

Шаг 3. Проверим результаты через команду pole (рисунок 2.9).

```
>> T=tf([0.3523],[1 15.04 27.3223])

T =

      0.3523
-----
s^2 + 15.04 s + 27.32

Continuous-time transfer function.

>> pole(T)

ans =

-12.9263
-2.1137
```

Рисунок 2.9 – Нахождение полюсов замкнутой САР

Шаг 4. Изобразим полученные полюса на комплексной плоскости через команду pzmap в MatLAB (рисунок 2.10).

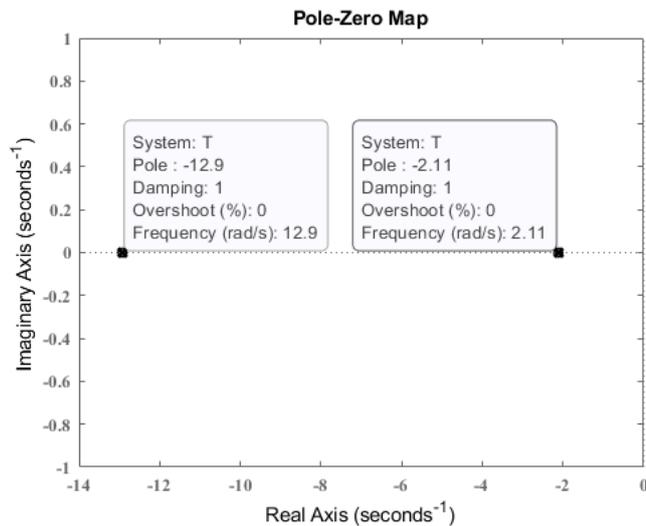


Рисунок 2.10 – Полюса ЗСАР на комплексной плоскости

Корни характеристического уравнения замкнутой системы равны отрицательным действительным значениям, согласно теореме Ляпунова система устойчива.

Следующим шагом в анализе системы автоматического регулирования ректификационной колонны является определение оценок качества замкнутой САР. В свою очередь оценки качества делятся на прямые, получаемые по переходному процессу системы, и косвенные, определяемые по полюсам системы. Проведем анализ качества замкнутой системы автоматического регулирования температуры верха колонны по переходному процессу из рисунка 2.11 и занесем данные о прямых оценках качества в таблицу 2.2.

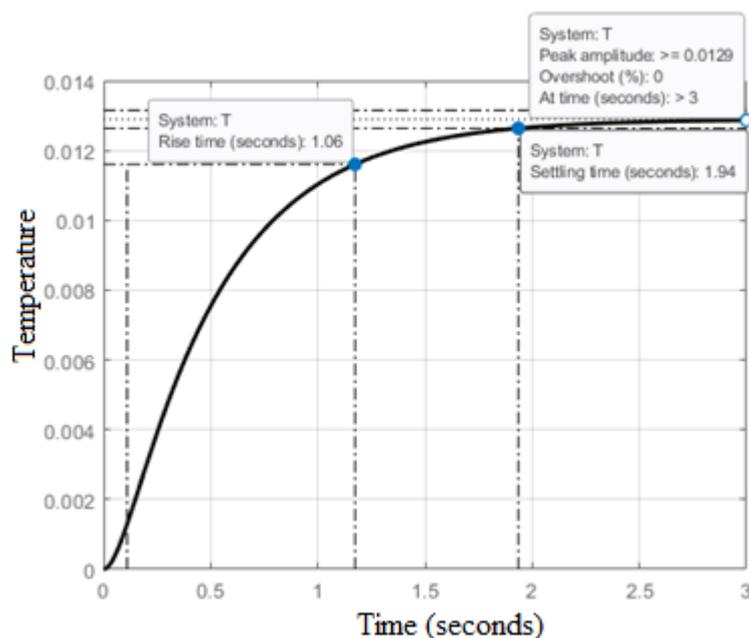


Рисунок 2.11 – Переходной процесс с прямыми оценками качества ЗСАР

Таблица 2.2 – Прямые оценки качества замкнутой САР без регулятора

	№	Оценки качества	Обозначение	По переходному процессу	Желаемые
Основные	1	Время регулирования	T_{set}	1.94 с	–
	2	Перерегулирование	P_{ov}	0 %	0-20 %
	3	Число колебаний	M	0	0
	4	Колебательность	μ	–	–
	5	Период колебаний	T	–	–
	6	Установившаяся ошибка	e_{ss}	0.9871	0
Дополнительные	7	Время достижения первого максимума	T_P	–	–
	8	Время нарастания	T_R	1.06 с	–
	9	Декремент затухания	χ	–	–

Установившаяся ошибка в переходном процессе САР обозначает разницу между желаемым значением выходного сигнала и его фактическим значением, когда система достигла установившегося состояния после воздействия на нее внешних возмущений

$$e(t) = r(t) - y(t), \quad (5)$$

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) \quad (6)$$

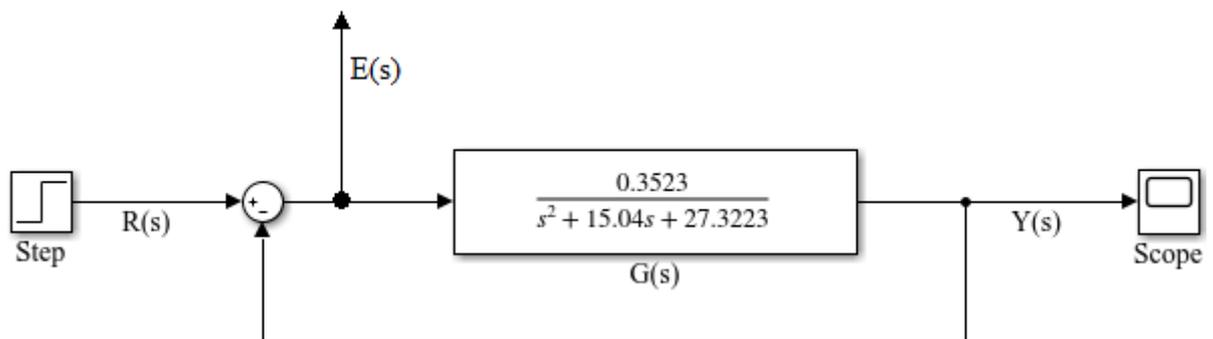


Рисунок 2. 12 – Структурная схема замкнутой САР по ошибке относительно задающего воздействия

Получение установившейся ошибки относительно задающего сигнала, т.е. единичного ступенчатого воздействия, осуществляется следующим образом.

Шаг 1. Получим передаточную функцию относительно задающего сигнала по структурной схеме из рисунка 2.12.

$$T(s) = \frac{E^R(s)}{R(s)} = \frac{1}{1 + G(s)} = \frac{s^2 + 15.04s + 27.3223}{s^2 + 15.04s + 27.6746} \quad (7)$$

Шаг 2. Найдем выражение динамической ошибки, $E(s)$.

$$E^R(s) = T(s) * R(s) = \frac{s^2 + 15.04s + 27.3223}{s^2 + 15.04s + 27.6746} * \frac{1}{s} \quad (8)$$

Шаг 3. Находим значение статической ошибки.

$$E_{SS}^R = \lim_{t \rightarrow \infty} e^R(t) = \lim_{s \rightarrow 0} [s * E^R(s)], \quad (9)$$

$$E_{SS}^R = \lim_{s \rightarrow 0} \left[s * \frac{s^2 + 15.04s + 27.3223}{s^2 + 15.04s + 27.6746} * \frac{1}{s} \right] = \lim_{s \rightarrow 0} \left[\frac{s^2 + 15.04s + 27.3223}{s^2 + 15.04s + 27.6746} \right] = 0.9871$$

В контексте САР, установившаяся ошибка отражает степень точности регулирования системы при постоянных или повторяющихся изменениях заданного значения входного сигнала. Она является показателем того, насколько хорошо САР поддерживает заданное значение выходного сигнала в установившемся состоянии. Из вышесказанного можно сделать вывод о точности исходной системы, значение установившейся ошибки, e_{SS} , равно 0.9871, следовательно замкнутая система является статической, т.е. неточной.

Помимо прямых оценках качества замкнутой системы рассмотрим косвенные оценки качества, которые подразделяются на корневые, частотные и интегральные.

Корневые оценки качества определим по полюсам системы, показанных на рисунке 2.10.

Характеристика №1. Время регулирования, T_{set}

$$T_{set} = \frac{4}{|\sigma_{min}|} = \frac{4}{|-2.1137|} = 1.89 \text{ с} \quad (10)$$

где σ_{min} – минимальный полюс с действительным значением.

Исходя из рисунка 2.10 минимальным полюсом с действительным значением является число минус 2.1137.

Характеристика №2. Перерегулирование, P_{ov}

$$P_{ov} = e^{-\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}} * 100\% \quad (11)$$

Перерегулирование переходного процесса зависит только от коэффициента демпфирования. Основываясь на том, что полюса замкнутой системы отрицательные и действительные, сделаем вывод, замкнутая САР является апериодическим звеном 2-го порядка, соответственно перерегулирование такой системы равно 0.

Характеристика №3. Степень устойчивости, η

$$\eta = |\sigma_{min}| = 2.1137 \quad (12)$$

Определим запасы устойчивости по амплитуде и фазе через графики ЛАЧХ и ЛФЧХ (рисунок 2.13). Полученные корневые оценки качества занесем в таблицу 2.3.

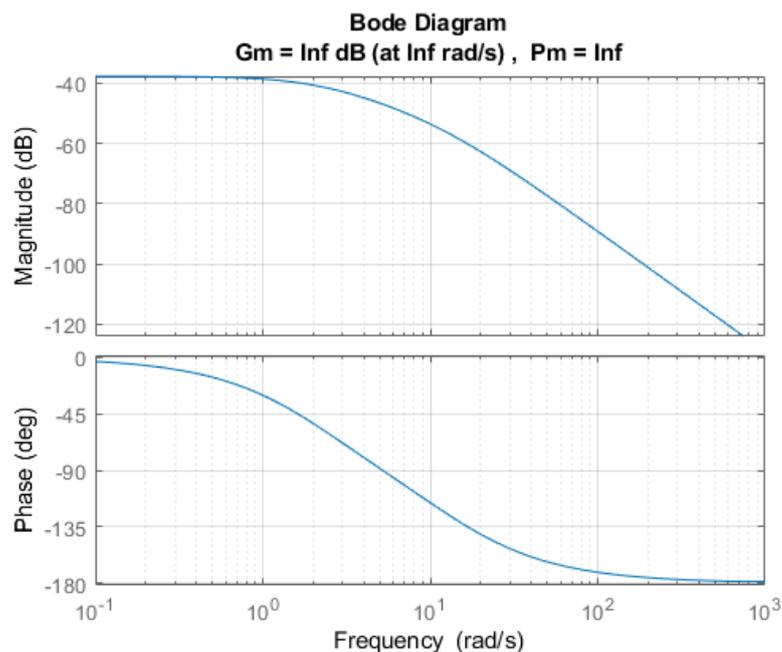


Рисунок 2.13 – Запасы устойчивости по амплитуде и фазе разомкнутой системы без регулятора

Запасы устойчивости по амплитуде и фазе оказались равны бесконечности. Допустимый предел запасов устойчивости по амплитуде равен $10 \div 15dB$, по фазе – $(30 \div 40^\circ)$. Следовательно, полученные запасы устойчивости не соответствуют вышеуказанным требованиям.

Таблица 2.3 – Прямые и косвенные оценки качества системы без регулятора

	№	Оценки качества	Обозначение	По переходному процессу	По полюсам
Основные	1	Время регулирования	T_{set}	1.94 с	1.89 с
	2	Перерегулирование	P_{ov}	0	0
	3	Число колебаний	M	0	–
	4	Колебательность	μ	–	–
	5	Период колебаний	T	–	–
	6	Установившаяся ошибка	e_{ss}	0.9871	–
Дополнительные	7	Время достижения первого максимума	T_p	–	–
	8	Время нарастания	T_R	1.06 с	–
	9	Декремент затухания	χ	–	–

Проанализировав полученные оценки качества, видим, что перерегулирование замкнутой системы равно нулю, следовательно, система не имеет колебаний. Быстродействие системы определяет как быстро система реагирует на входное воздействие. Быстродействие связано с временем регулирования и полюсами системы. Время регулирования равно 1.94 с и время переходного процесса, то есть время нарастания, равно 1.06 с, это говорит о том, что быстродействие системы удовлетворительно.

Однако большим недостатком системы является ее неточность, исходя из этого необходимо синтезировать типовой регулятор.

Целесообразным будет рассмотрение системы с PID-регулятором, так как интегрирующая составляющая обеспечивает точность системы, пропорциональная составляющая обеспечивает быстродействие системы. Дифференциальная составляющая, представляющая собой производную от ошибки, позволяет предсказывать ее будущее изменение. Это позволяет PID-регулятору быстро реагировать на изменения в системе и быстро устанавливать стабильное значение выходного сигнала.

2.4 Синтез типового регулятора САР температуры верха колонны

Постановка задачи синтеза типового регулятора. При заданной математической модели объекта управления в виде передаточной функции (1) необходимо найти параметры PID-регулятора

$$u(t) = k_P \left(e(t) + k_I \int_0^t e(t) dt + k_D \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (13)$$

(идеальная форма) на основе эмпирического метода Чина-Хронеса-Ресвика (CHR) для обеспечения желаемых оценок качества: точности и быстродействия.

Метод CHR используется для двух случаев:

- при работе с заданным сигналом;
- при работе со случайными внешними возмущениями.

Данный метод был выбран исходя из переходной характеристики разомкнутой системы (1), так как метод CHR предназначен для систем с монотонным процессом. Алгоритм решения выбранного метода заключается в следующем.

Шаг 1. По переходному процессу разомкнутой системы найдем такие параметры как коэффициент передачи, постоянную времени и время запаздывания (рисунок 2.14).

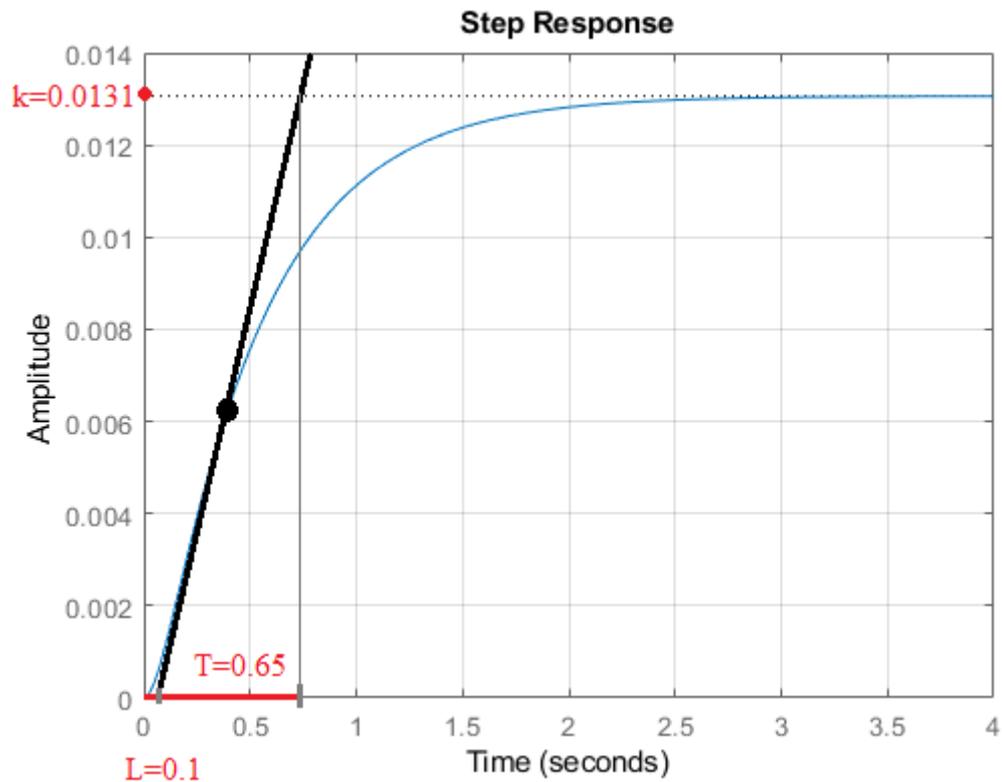


Рисунок 2.14 – Переходной процесс разомкнутой системы

Для нахождения неизвестных параметров необходимо найти точку перегиба переходной характеристики, далее провести к ней касательную. Время запаздывания определяется как интервал времени от момента подачи входного ступенчатого воздействия до начала движения сигнала, $L=0.1$. Коэффициент передачи равен установившемуся значению переходной характеристики, $k=0.0131$. Постоянная времени – это время которое определяется по переходной характеристике как разность между t_k и L : $T=0.65$ с.

Проверим соответствие полученных значений с требованием.

$$0.15 < \frac{L}{T} < 0.6 \quad (14)$$

Полученное значение, равное 0.1538, удовлетворяет требованию.

Шаг 2. Учитывая, что процесс без перерегулирования, вычислим параметры PID-регулятора по формулам для наблюдения отклика при изменении уставки и занесем результаты в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Вычисление параметров PID-регулятора методом CHR

Тип регулятора	k_P	$T_I = 1/I$	k_D
PID	$0.6 \frac{T}{kL} = 297.71$	$T_I = 1L=0.1$ $k_I = \frac{1}{T_I} = 10$	$0.5L=0.05$

Зная параметры регулятора, можно записать закон управления PID-регулятора следующим образом

$$u(t) = 297.71 \left(e(t) + 10 \int_0^t e(t) dt + 0.05 \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (15)$$

Используя полученные параметры типового регулятора методом CHR, промоделируем систему с PID-регулятором (рисунок 2.15).

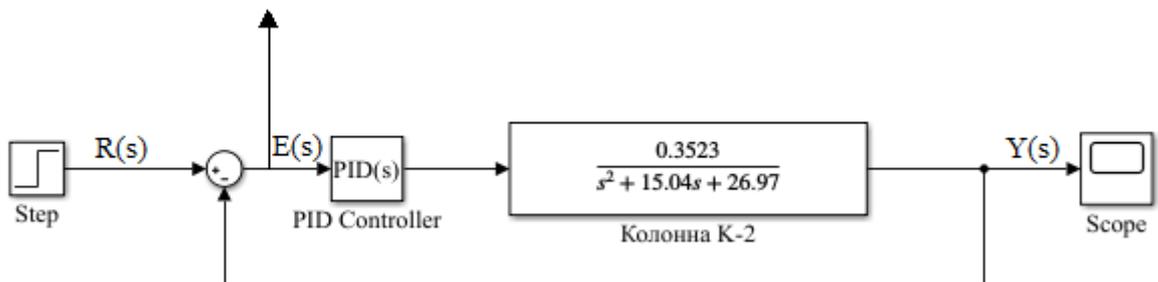


Рисунок 2.15 – Схема моделирования системы с PID-регулятором

Результаты моделирования показаны на рисунке 2.16.

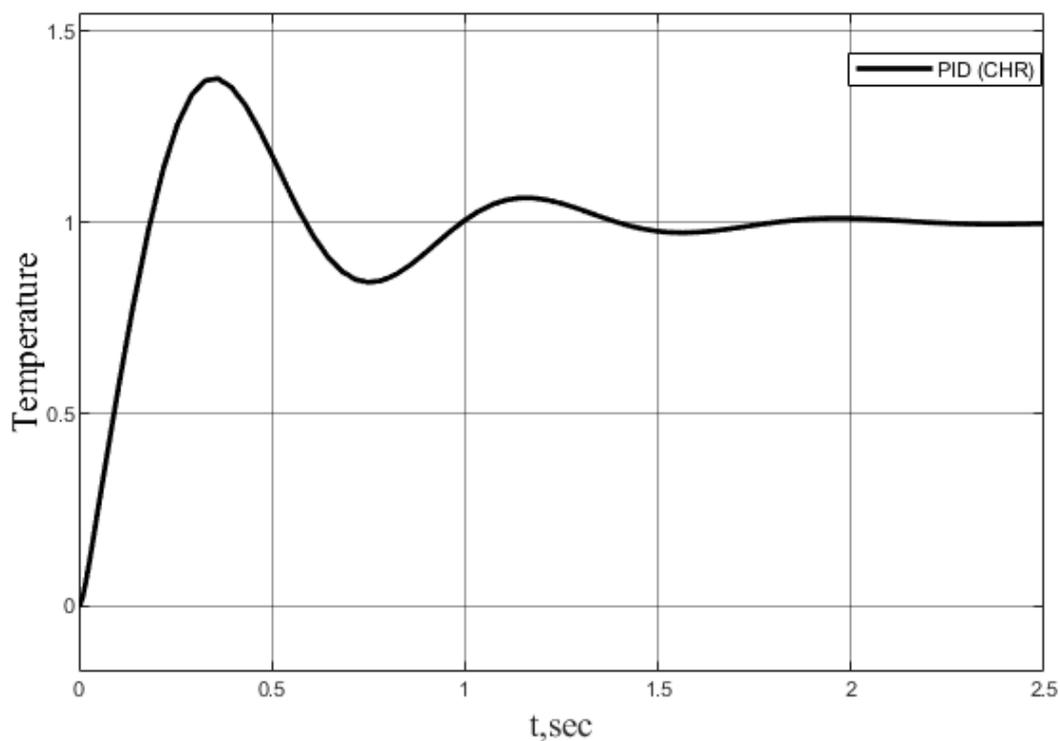


Рисунок 2.16 – Переходной процесс системы с PID-регулятором (CHR)

Согласно рисунку 2.17 степень устойчивости системы с PID-регулятором равна 2.07.

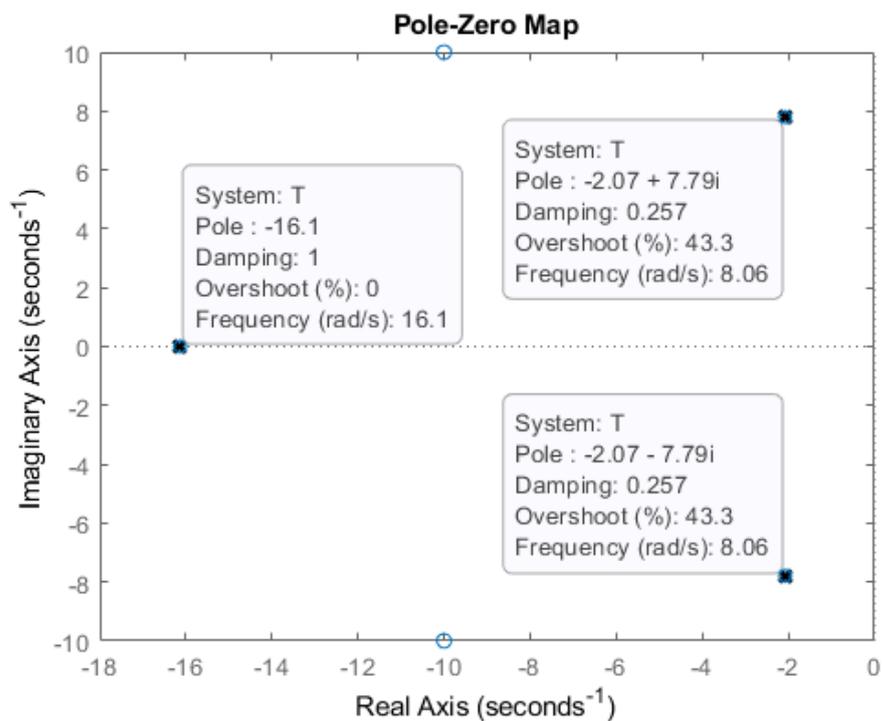


Рисунок 2.17 – Полюса системы с PID-регулятором (CHR)

Из рисунка 2.18 видно, что запас устойчивости по амплитуде равен бесконечности, а по фазе равен минус 180° , что также не соответствует нормам.

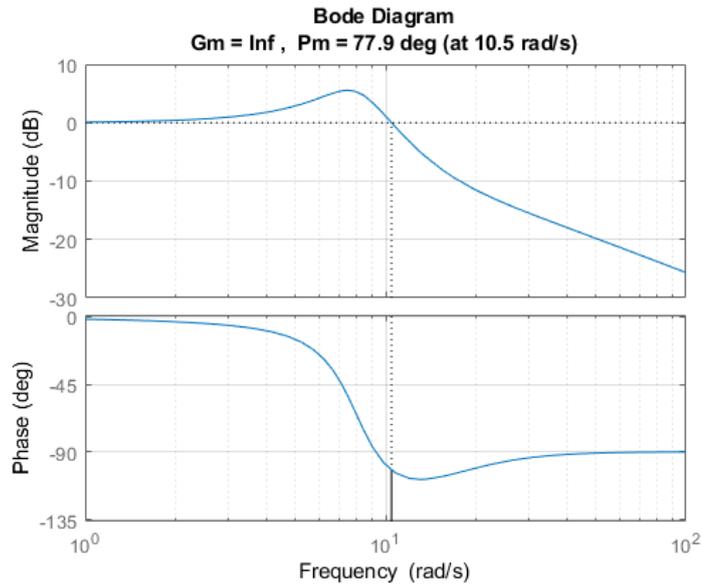


Рисунок 2.18 – Запасы устойчивости системы с PID-регулятором (CHR)

Для сравнения регулятора, синтезированного методом CHR, рассмотрим систему с регулятором с помощью другого эмпирического метода Циглера-Никольса №1 (ZN1). Алгоритм данного метода схож с методологией Чина-Хронеса-Ресвика. Поэтому вычислим параметры PID-регулятора и занесем результаты в таблицу 2.5

Таблица 2.5 – Вычисление параметров PID-регулятора методом ZN1

Тип регулятора	k_P	$T_I = 1/I$	k_D
PID	$1.2 \frac{T}{kL} = 595.42$	$T_I = 2L=0.2$ $k_I = \frac{1}{T_I} = 5$	$0.5L=0.05$

Закон управления PID-регулятора, синтезированного методом Циглера-Никольса №1, выглядит следующим образом

$$u(t) = 595.42 \left(e(t) + 5 \int_0^t e(t) dt + 0.05 \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (16)$$

Используя полученные параметры типового регулятора методом ZN1, промоделируем систему с PID-регулятором и получим результаты моделирования (рисунке 2.19).

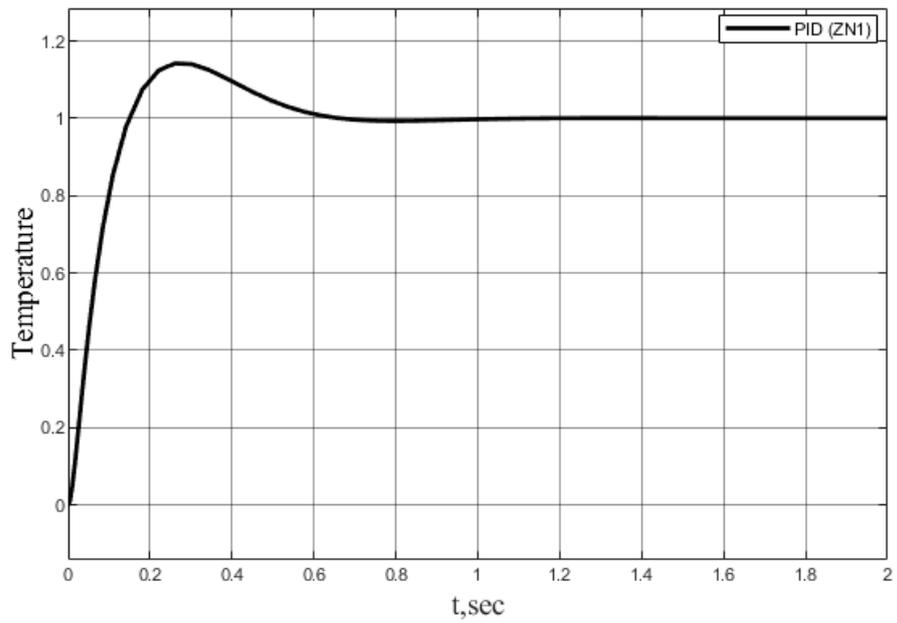


Рисунок 2.19 – Переходной процесс системы с PID-регулятором (ZN1)

Согласно рисунку 2.20 степень устойчивости системы с PID-регулятором равна 5.79.

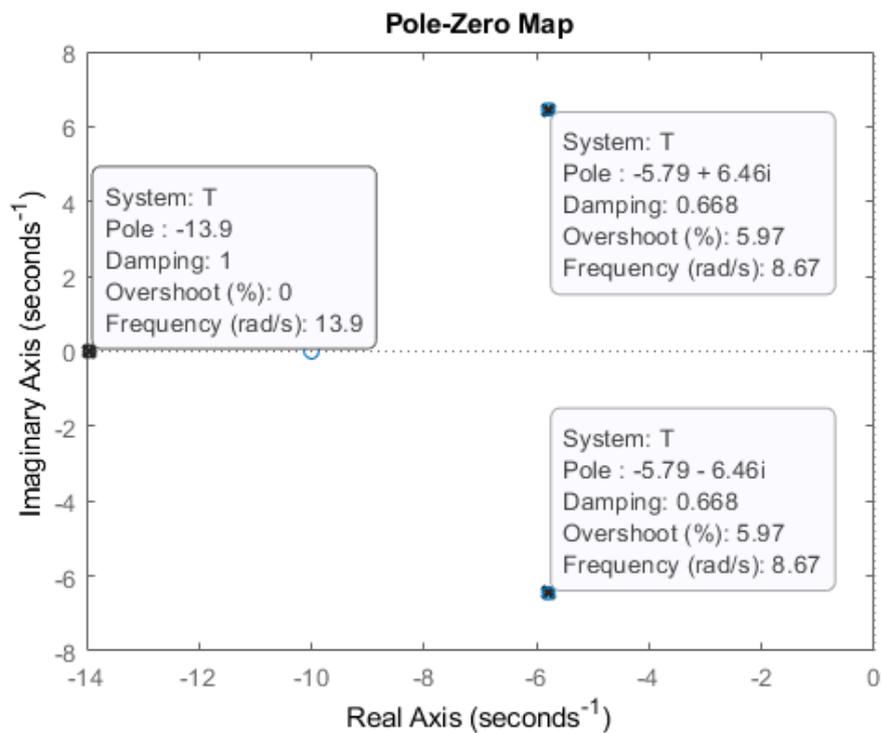


Рисунок 2.20 – Полюса системы с PID-регулятором (ZN1)

Из рисунка 2.21 видно, что запас устойчивости по амплитуде равен бесконечности, а по фазе равен 130° .

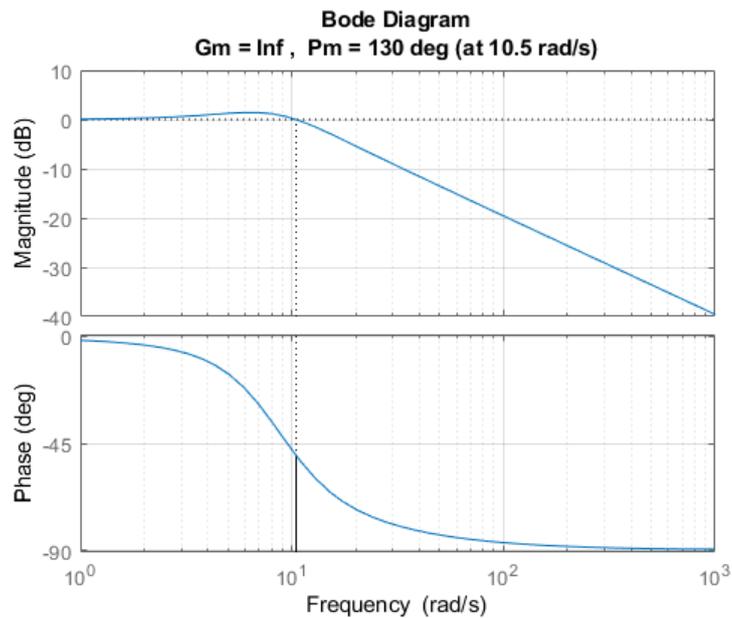


Рисунок 2.21 – Запасы устойчивости системы с PID-регулятором (ZN1)

Для сравнения двух предыдущих эмпирических методов рассмотрим автоматическую настройку параметров регулятора в среде MatLAB, т.е. метод «Auto-tune». Есть два пути нахождения параметров регулятора. Первый способ заключается в использовании функции «pidtune» в MatLab. Алгоритм решения данного способа показан в приложении Б. Результаты, полученные через функцию «pidtune», предоставлены на рисунке 2.22.

```

Command Window
>> pidtune
Kp: 146.2616
Ki: 446.1935
Kd: 10.0795

```

Рисунок 2.22 – Параметры PID-регулятора через «pidtune» для параллельной формы

Второй способ основан на настройке параметров регулятора в графической среде Simulink. Для этого сначала необходимо промоделировать систему с PID-регулятором (рисунок 2.23).

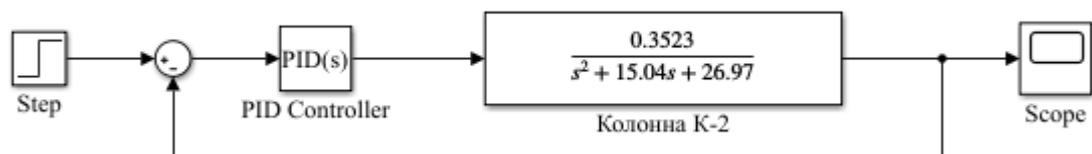


Рисунок 2.23 – Схема моделирования системы с PID-регулятором

Далее в блоке настройки параметров регулятора следует нажать кнопку «Tune» для запуска «PID tuning tool» (рисунок 2.24).

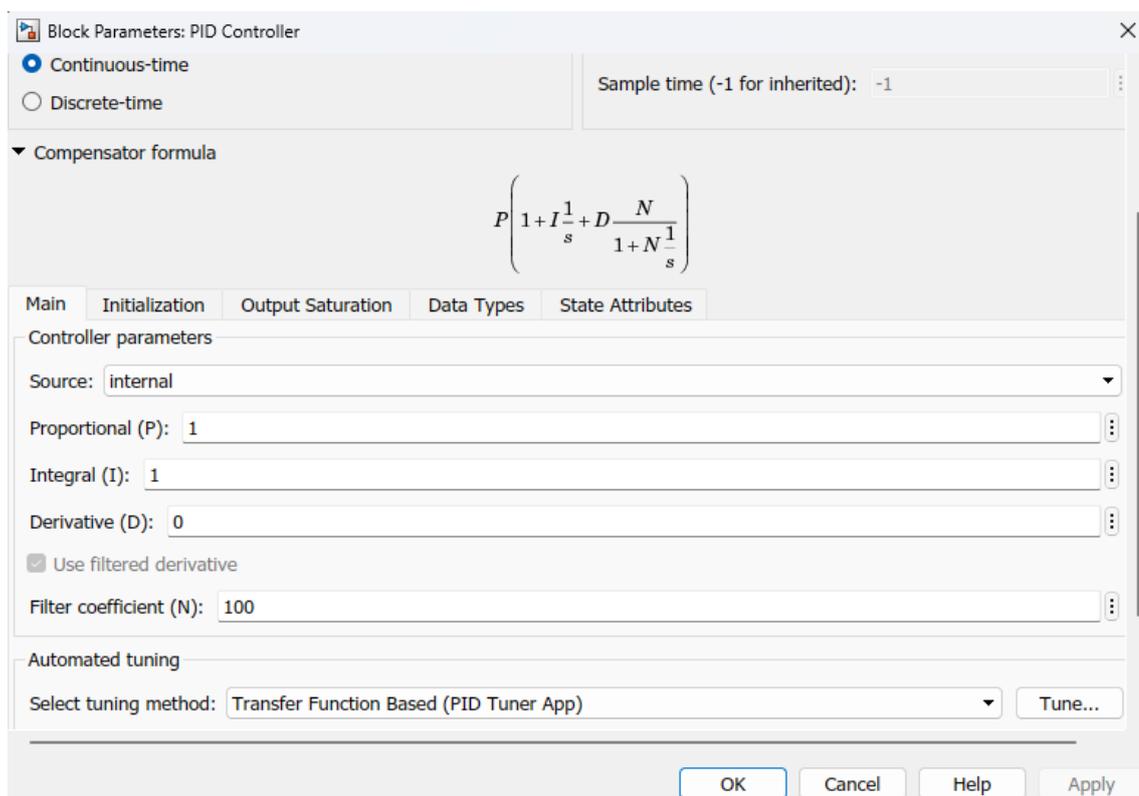


Рисунок 2.24 – Окно параметров PID-регулятора

После нажатия кнопки «Tune» появилось окно с переходным процессом системы с PID-регулятором, настроенным с помощью функции «PID Tuner» (рисунок 2.25).

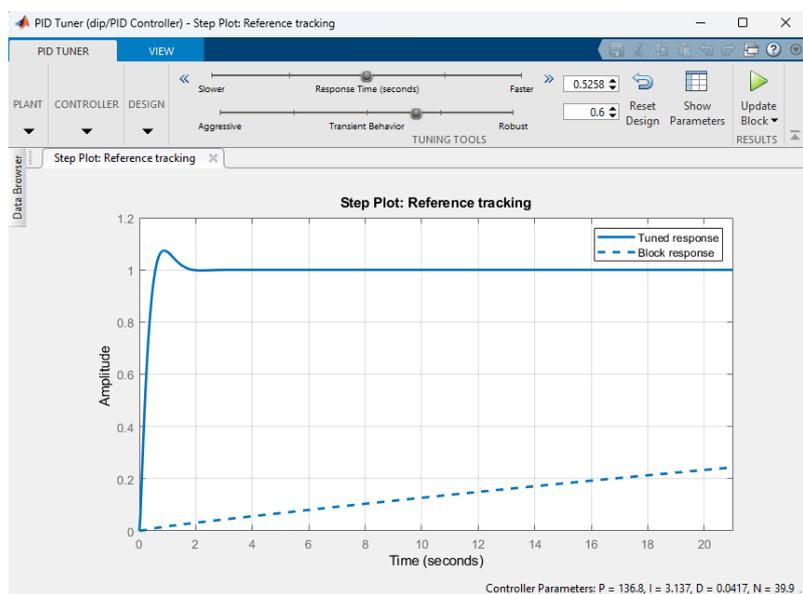


Рисунок 2.25 – Окно переходного процесса системы с PID-регулятором

Параметры регулятора представлены в нижней части рисунка 2.23, также их можно найти нажав на иконку «Show Parameters» (рисунок 2.26).

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	136.8244	1
I	3.1369	1
D	0.041695	0
N	39.8999	100

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	0.391 seconds	169 seconds
Settling time	1.47 seconds	301 seconds
Overshoot	7.41 %	0 %
Peak	1.07	1
Gain margin	Inf dB @ Inf rad/s	Inf dB @ Inf rad/s
Phase margin	69 deg @ 3.8 rad/s	90.3 deg @ 0.0131 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

Рисунок 2.26 – Параметры PID-регулятора

Переходной процесс системы с PID-регулятором, который был синтезирован методом «Auto-tune», показан на рисунке 2.27.

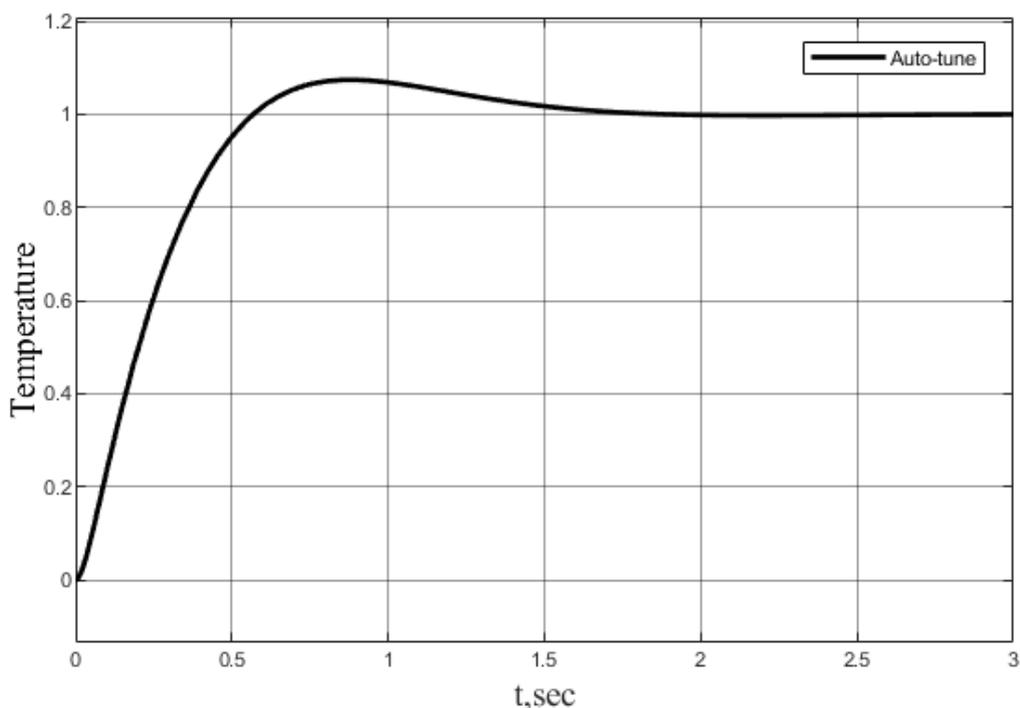


Рисунок 2.27 – Переходной процесс системы с регулятором (Auto-tune)

Полюса системы с PID-регулятором изображены на комплексной плоскости (рисунок 2.28). Степень устойчивости системы с PID-регулятором равна 2.62.

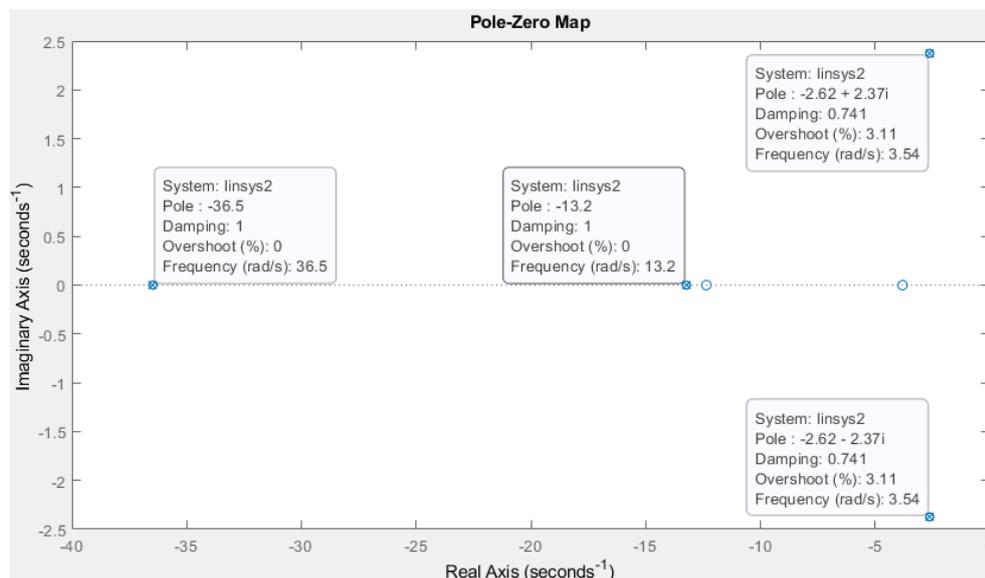


Рисунок 2.28 – Полюса системы с PID-регулятором (Auto-tune)

Можно заметить, что после синтеза регулятора методом «Auto-tune» в системе появился новый полюс, который по значению приблизительно равен минус коэффициенту фильтрации ($N=39.9$). Однако этот коэффициент не является полюсом полученной системы с PID-регулятором без компенсатора поэтому его можно не учитывать.

Запасы устойчивости системы с PID-регулятором представлена на рисунке 2.29. Запас устойчивости по амплитуде равен бесконечности, а по фазе равен 138° .

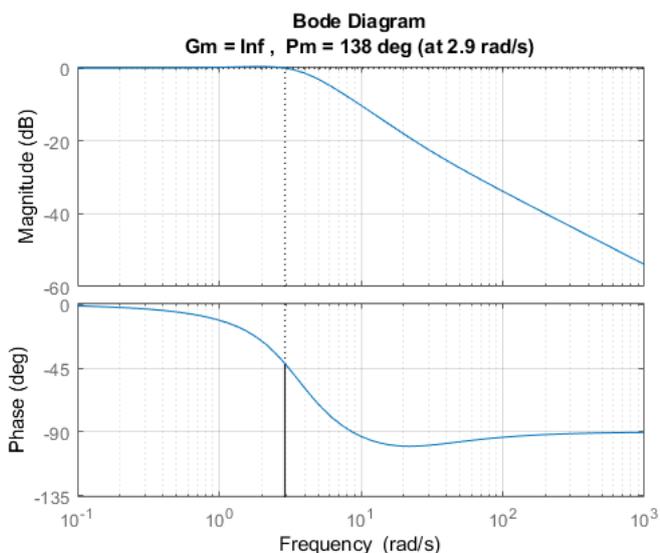


Рисунок 2.29 – Запасы устойчивости системы с регулятором (Auto-tune)

Проведем сравнительный анализ всех рассмотренных методов настройки параметров типового регулятора по переходной характеристике (рисунок 2.30).

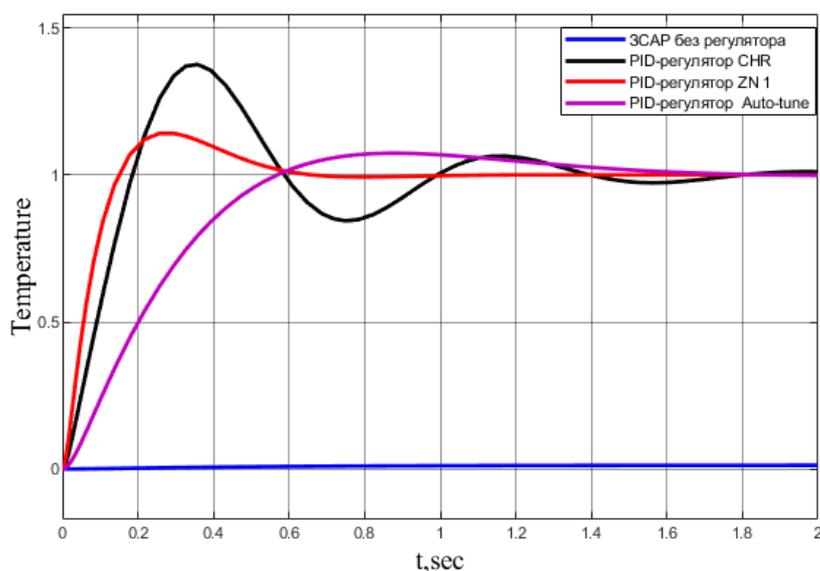


Рисунок 2.30 – Переходные процессы системы с PID-регулятором при различных методах

Рассмотрим прямые оценки качества системы без регулятора и с PID-регулятором (таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Прямые оценки качества системы без регулятора и с PID-регулятором

	№	Прямые оценки качества	Система без регулятора	Метод	Метод	Метод	Желаемые
				CHR	ZN1	Auto-tune	
Основные	1	T_{set}	1.94 с	1.66 с	0.565 с	1.47 с	–
	2	P_{ov}	0 %	37.7 %	14.3 %	7.41 %	0-20 %
	3	M	0	2	0	0	–
	4	μ	–	15.8 %	–	–	–
	5	T	–	0.806 с	–	–	–
	6	e_{ss}	0.9871	0	0	0	0
Дополнительные	7	T_P	–	0.352 с	0.275 с	0.878 с	–
	8	T_R	1.06 с	0.139 с	0.104 с	0.391 с	–
	9	χ	–	6.3	–	–	–

Рассмотрим косвенные оценки качества систем с PID-регулятором и без регулятора (таблица 2.7).

Таблица 2.7 – Косвенные оценки качества системы без регулятора и с PID-регулятором

№	Косвенные оценки качества	Система без регулятора	Метод CHR	Метод ZN1	Метод Auto-tune
1	Запасы устойчивости по амплитуде	inf	inf	inf	inf
2	Запасы устойчивости по фазе	inf	77.9 °	130 °	139 °
3	Степень устойчивости	2.1137	2.07	5.79	2.62

По переходной характеристике (рисунок 2.30) можно сказать, что метод «Auto-tune» дает более монотонный процесс, нежели эмпирические методы CHR и ZN 1.

Проанализировав прямые оценки качества, сделаем вывод, что регулятором, обеспечивающим желаемые результаты, является PID-регулятор, синтезируемый эмпирическим методом Циглера-Никольса №1. Данный метод обеспечил системе меньшее время регулирования и время переходного процесса, тем самым улучшил быстродействие системы, перерегулирование равно 14.3 %, в целом это значение лежит в допустимых пределах, установившаяся ошибка равна нулю, что говорит о точности системы, число колебаний равно нулю, соответственно значений колебательности и декремента затухания отсутствует.

Относительно косвенных оценок качества степень устойчивости системы с регулятором, синтезированного по методу Циглера-Никольса №1, равная 5.79, получается больше значения степени устойчивости системы без регулятора. Запасы устойчивости по амплитуде и по фазе во всех случаях оказались больше допустимых значений. Следовательно, система и без регулятора, и с регулятором во всех методах имеет большие запасы устойчивости по амплитуде и по фазе.

3 Техническая реализация логического управления расходом подачи исходного сырья ректификационной колонны К-2 в среде TIA Portal

Техническая реализация логического управления производится на основе SCADA-системы в программе TIA Portal. SCADA – это системы наблюдения и управления процессами в промышленности, энергетике, транспорте и других сферах. Они предназначены для сбора данных из распределенных и удаленных объектов, мониторинга их состояния и управления ими. SCADA-системы используются для управления и контроля различными процессами, такими как производство, транспортировка и распределение электроэнергии, водоснабжение, нефтяные и газовые операции, системы охраны и другие. [10]

TIA Portal – это программная платформа, разработанная компанией Siemens для интегрированного проектирования и программирования систем автоматизации и управления. Она обеспечивает единую среду для различных компонентов автоматизации Siemens, включая программируемые логические контроллеры (ПЛК), человеко-машинные интерфейсы (HMI), промышленные приводы и другие устройства.

На основе контура логического управления расходом подачи исходного сырья и постановки задачи №2 необходимо составить блок-схему алгоритма управления (рисунок 3.1).

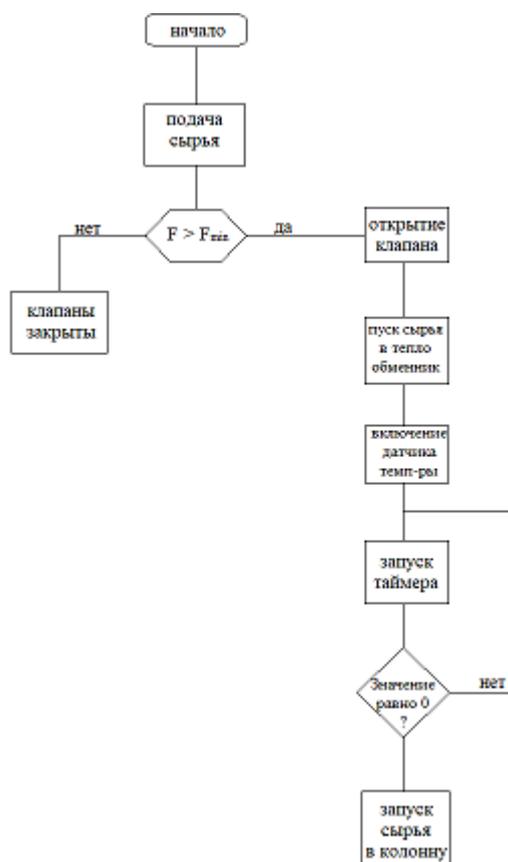


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритма логического управления

Для реализации алгоритма используем программный комплекс Siemens TIA Portal. В первую очередь настроим аппаратные устройства. Контроллер выбираем CPU 317-2 PN/DP и подключаем модули ввода-вывода SM327, SM335 (рисунок 3.2).

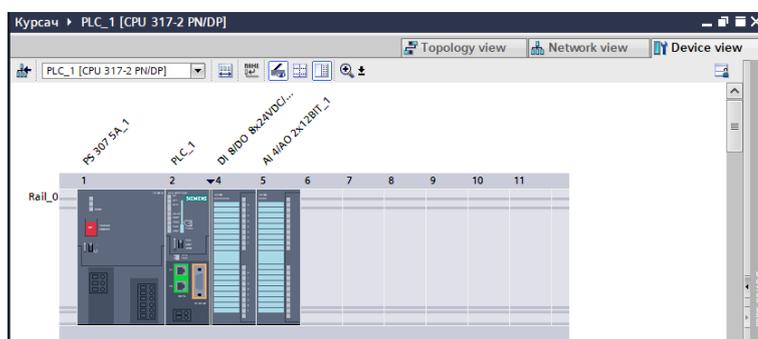


Рисунок 3.2 – Окно выбора аппаратных устройств

Для визуализации технологического процесса настроим системный интерфейс «PC-system» (рисунок 3.3).

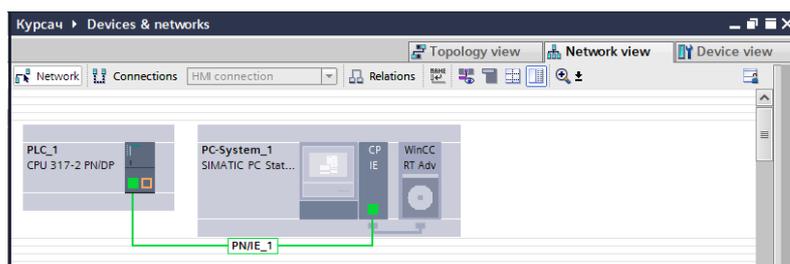


Рисунок 3.3 – Окно сетевого подключения контроллера

Далее, создадим список определенных тегов (рисунок 3.4). Теги используются для представления переменных, параметров или других данных, которые могут быть использованы в программах контроллера или для связи с внешними устройствами.

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Visibl...	Comment
1	START	Bool	%I0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Кнопка запуска сырья
2	STOP	Bool	%I0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Кнопка остановки работы
3	D1	Bool	%I0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Датчик температуры
4	D2	Bool	%I0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Датчик расхода
5	C1	Counter	%C2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Счетчик
6	T1	SSTime	%IW1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Таймер 1
7	T2	Timer	%T1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Таймер 2
8	COLUMN	Bool	%Q0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Кнопка запуска колонны
9	Расход 1	Int	%IW272		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	Расход 2	Int	%IW274		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	Расход 3	Int	%IW276		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	Расход 4	Int	%IW278		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	DF	Real	%MD20		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	Tag1	Word	%MW24		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Рисунок 3.4 – Список тегов

После создания тегов можно записать логику программы на языке STL, используя организационный блок OB1 (рисунок 3.5). В TIA Portal организационный блок используется для структурирования и организации программного кода в программе контроллера. Он представляет собой особый тип блока, который может содержать другие блоки кода и подпрограммы.

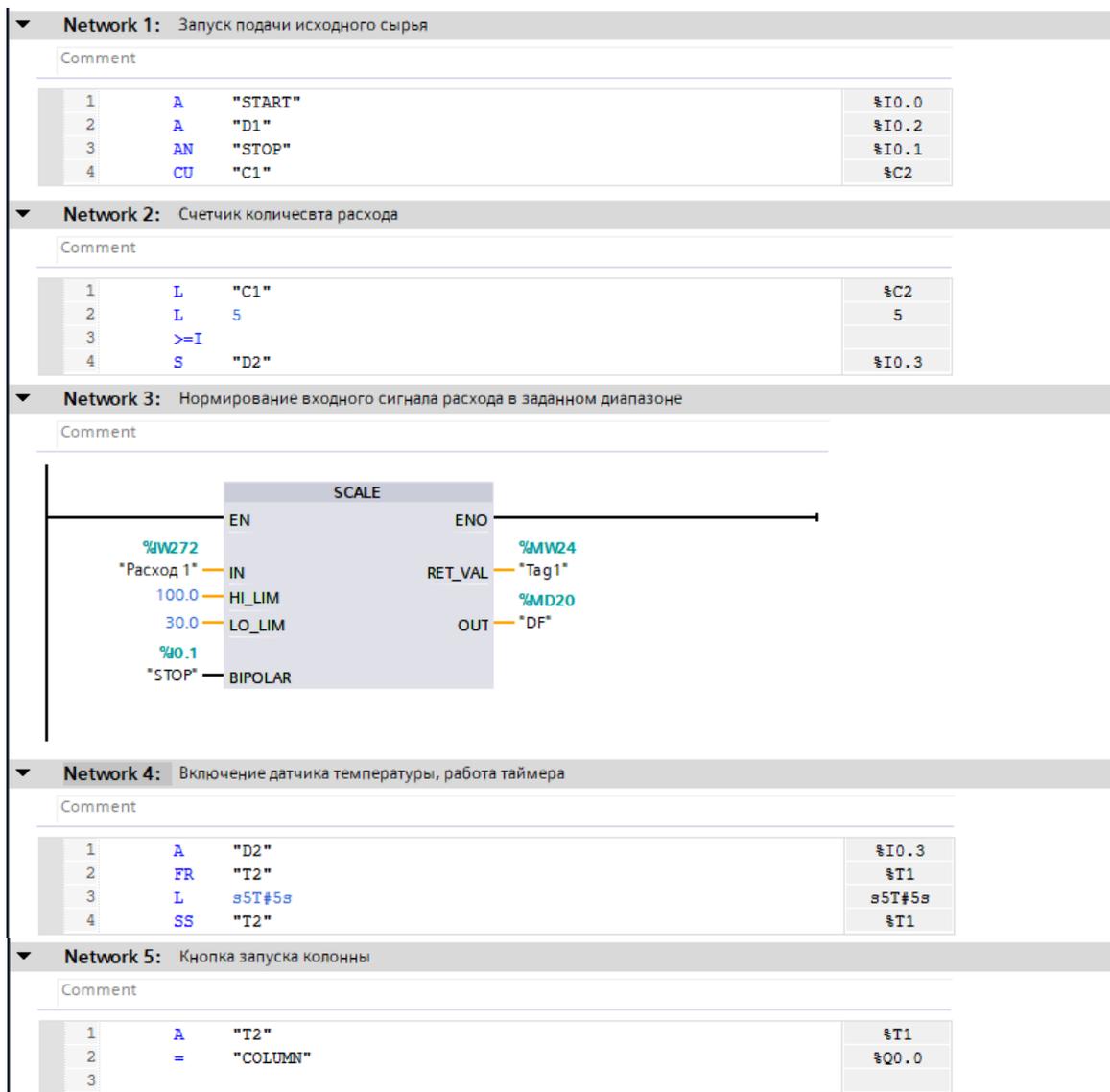


Рисунок 3.5 – Логика программы управления расходом и температурой исходного сырья в блоке OB1

Проверив синтаксическую правильность программы, скомпилируем ее в TIA Portal. Далее, загружаем созданную программу в ЦПУ и запускаем проверку процесса (рисунок 3.6).

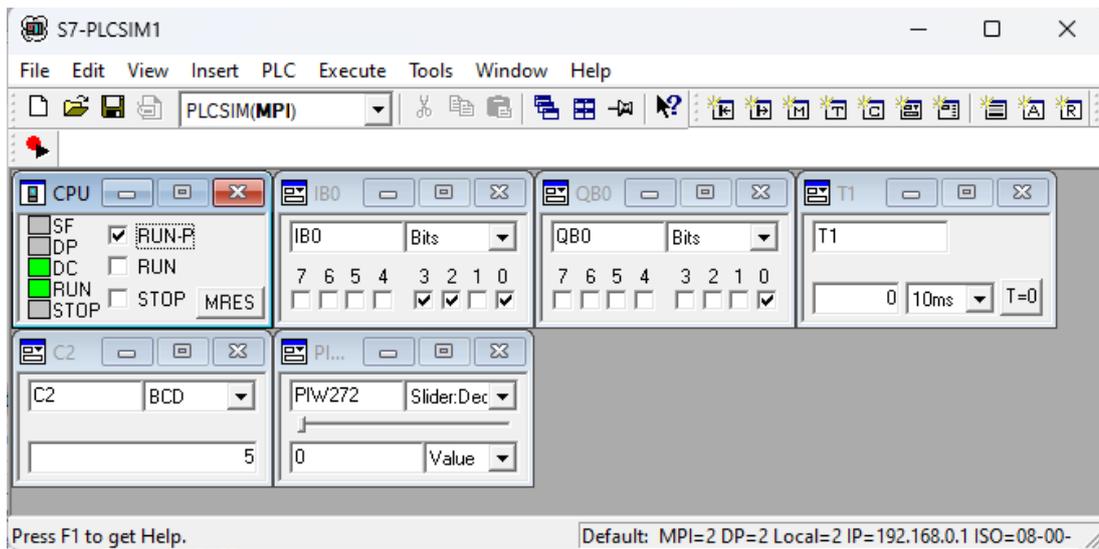


Рисунок 3.6 – Тестирование работы программы

С помощью РС-систем с установленным программным обеспечением TIA Portal инженеры и операторы могут разрабатывать автоматизированные решения, создавать и редактировать программы, конфигурировать устройства, визуализировать и мониторить процессы (рисунок 3.7).

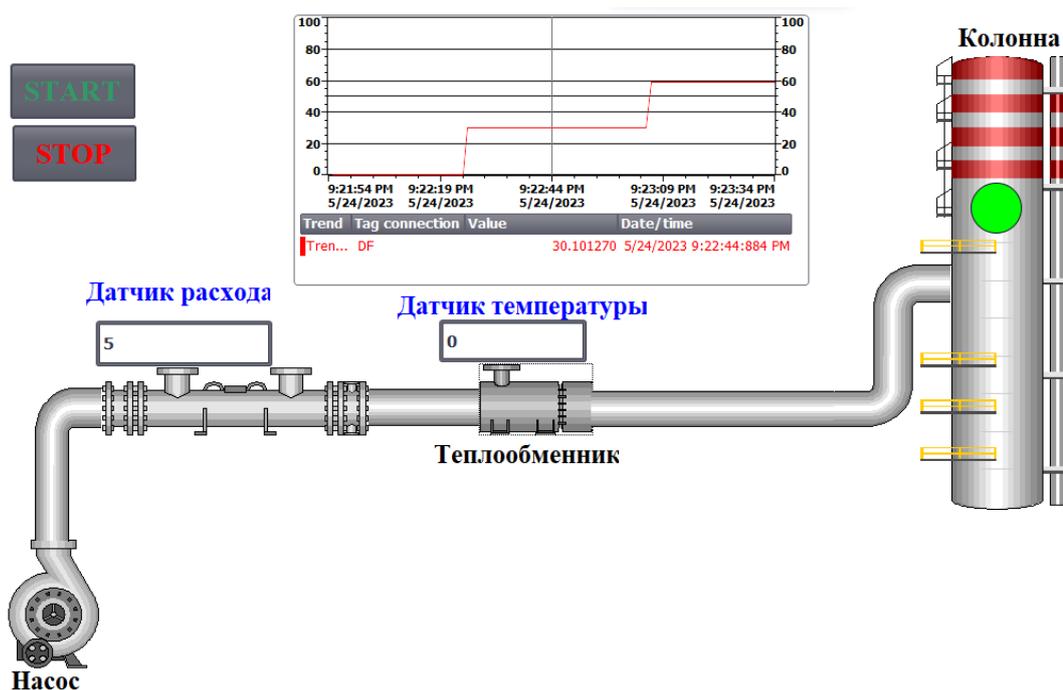


Рисунок 3.7 – Техническая визуализация логического управления расходом подачи исходного сырья ректификационной колонны

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе дипломного проекта была рассмотрена задача разработки систем автоматического регулирования процессами ректификационной колонны Атырауского НПЗ.

В первом разделе изложено описание процесса ректификации, был изучен принцип работы ректификационной колонны. Также был описан технологический процесс ректификационной колонны К-2 на установке ЭЛОУ-АВТ-3 Атырауского НПЗ. Вследствие чего ректификационная колонна была рассмотрена как объект управления, где были описаны основные управляющие и регулируемые переменные.

Во втором разделе были сформулированы постановки задачи для синтеза контура управления температуры верха колонны К-2 на основе принципа управления по обратной связи и контур программного управления расходом подачи исходного сырья на основе принципа управления по разомкнутой, также составлены их функциональные схемы. На основе структурной и параметрической идентификации System Identification Toolbox системы MatLAB была построена математическая модель системы автоматического регулирования температуры верха колонны К-2. Был проведён анализ динамических свойств разомкнутой и замкнутой САУ, исследована устойчивость разомкнутой и замкнутой САУ по графику невозмущенного движения при ненулевых начальных условиях и по первому методу Ляпунов. Были получены прямые и косвенные оценки качества для определения основных требований для регулятора. Была разработана постановка задачи синтеза ПИД-регулятора на основе эмпирических методов Чина-Хронеса-Ресвика и Циглера-Никольса №1 для обеспечения желаемых оценок качества, а именно точность и быстродействие системы. Помимо эмпирических методов был синтезирован регулятор на основе автоматической настройки параметров регулятора методом «Auto-tune». В результате сравнительного анализа наилучшим регулятором оказался PID-регулятор, полученный эмпирическим методом Циглера-Никольса №1. Соответственно, регулятор обеспечил точность системы, так как установившаяся ошибка стала равной нулю, уменьшил время регулирования и время переходного процесса, благодаря чему улучшилось быстродействие системы.

В третьем разделе разработана SCADA-система по контуру логического управления расходом подачи исходного сырья. Была разработана блок-схема алгоритма логического управления. Была написана программа на языке STL в среде TIA Portal. После чего была создана техническая визуализация с использованием человеко-машинного интерфейса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Pratima Acharya, geetanjali Dumpa, Tarun Kumar Dan. Modelling and control of distillation column. – ICCREIC. – 2016. – 124 p.
- 2 Тугашова Л.Г. Моделирование статических и динамических режимов процесса ректификации нефти. – М: Роспатент, 2017.
- 3 Комиссаров Ю.А., Гордеев Л.С., Вент Д.П. Научные основы процессов ректификации: учебное пособие для вузов / под ред. Л.А. Серафимова. – М: Химия, 2004. – 416 с.
- 4 Технологический регламент ЭЛОУ-АВТ-3, 2016.
- 5 Паршаков С.И. Основы управления техническими процессами и системами: учебное пособие / М.В.Ерпалов. – Екатеринбург: Издательство Урал. ун-та, 2017. – 148 с.
- 6 Ушева Н.В. Математическое моделирование химико-технологических процессов: учебное пособие. – Томск: Издательство Томск. политехн. инс, 2014. – 135 с.
- 7 Ким Д.П. Теория Автоматического Управления. – 2-е изд., испр. и доп. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2016. – С. 90-92.
- 8 Малафеев С.И., Малафеева А.А. Основы автоматики и системы автоматического управления: учебник для студ. высш. учеб. Заведений. – М: Издательский центр «Академия», 2010. – 384 с.
- 9 Ang K.H., Chong G., Li Y. PID control system analysis, design, and technology // IEEE Trans. on Control Systems Techology, 2005. – P. 559-576.
- 10 Кангин В.В., Кангин М.В., Ямолдинов Д.Н. Разработка SCADA-систем: учебное пособие. – Вологда: Издательство Инфра-Инженерия, 2019. – 564 с.

Приложение Б

Листинг алгоритма метода «Auto-tune»

```
% Определение передаточной функции системы управления
sys = tf([0.3523], [1 15.04 26.97]);

% Автонастройка PID-регулятора
controller = pidtune(sys, 'pid');

% Получение оптимальных параметров регулятора
Kp = controller.Kp;
Ki = controller.Ki;
Kd = controller.Kd;

% Вывод результатов
disp(['Kp: ' num2str(Kp)]);
disp(['Ki: ' num2str(Ki)]);
disp(['Kd: ' num2str(Kd)]);
```

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Қабдолова Іңкәр Нұрлыбекқызы

Название: Разработка систем автоматического регулирования процессами ректификационной колонны Атырауского НПЗ

Координатор: Ширяева Ольга Ивановна

Коэффициент подобия 1: 4.68

Коэффициент подобия 2: 1.11

Замена букв: 0

Интервалы: 0

Микропробелы: 5

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 4.68 и Коэффициент подобия 2: 1.11. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

«31» мая 2023 г.

Дата



Подпись Научного руководителя

**Протокол анализа Отчета подобия
заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения**

Заведующий кафедрой / начальника структурного подразделения заявляет, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Қабдолова Іңкәр Нұрлыбекқызы

Название: Разработка систем автоматического регулирования процессами ректификационной колонны Атырауского НПЗ

Координатор: Ширяева Ольга Ивановна

Коэффициент подобия 1: 4.68

Коэффициент подобия 2: 1.11

Замена букв: 0

Интервалы: 0

Микропробелы: 5

Белые знаки: 0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальника структурного подразделения констатирует следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем не допускаю работу к защите.

Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 4.68 и Коэффициент подобия 2: 1.11. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

« 31 » мая 2023 г.
Дата



Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:
Дипломный проект допускается к защите.

« 31 » мая 2023 г.
Дата



Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На дипломный проект

Кабдолова Іңкәр Нұрлыбекқызы

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Тема: «Разработка систем автоматического регулирования процессами
ректификационной колонны Атырауского НПЗ»

Перед дипломантом ставилась задача разработки систем автоматического регулирования процессами ректификационной колонны Атырауского НПЗ.

В ходе выполнения дипломного проекта был изучен технологический процесс ректификационной колонны К-2. Были собраны материалы, на основе которых была разработана функциональная схема автоматизации объекта исследования.

Для разработанной системы управления была получена математическая модель регулирования температуры верха колонны путем структурной и параметрической идентификации с помощью инструментария MatLAB Identification Toolbox. Проведя анализ оценок качества полученной системы, был разработан типовой регулятор, настроенный эмпирическими методами Чина-Хронеса-Ресвика и Циглера-Никольса №1. Для системы логического управления расходом подачи сырья была разработана программа управления и реализована техническая визуализация в среде TIA Portal, разработана SCADA-система.

В процессе работы автор проекта показала себя дисциплинированной, исполнительской и трудолюбивой с высоким уровнем теоретической подготовки.

Заключение: Считаю, что дипломант справился с поставленной задачей, дипломный проект соответствует требованиям, предъявляемым к дипломным проектам по специальности 6B07103 – Автоматизация и роботизация. На основании характеристики выполненных исследований, уровня и качества выполненных результатов, студент Кабдолова Іңкәр Нұрлыбекқызы допускается к защите.

Научный руководитель
ассоциированный профессор, канд.техн.наук

 Ширяева О. И.

«31»  2023г.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект студента
Кабдоловой Іңкәр Нұрлыбекқызы
6B07103 – Автоматизация и роботизация

На тему: Разработка систем автоматического регулирования процессами
ректификационной колонны Атырауского НПЗ

Выполнено:

- а) презентация на 24 слайдах
- б) пояснительная записка на 44 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Разработка систем автоматического регулирования процессами ректификационной колонны имеет актуальность для оптимизации процесса, снижения затрат, повышения качества и безопасности производства, а также для улучшения управляемости процесса.

В пояснительной записке, предоставленной на рецензирование, показана разработка систем автоматического регулирования процессами ректификационной колонны Атырауского НПЗ.

В первом разделе приведен технологический процесс ректификационной колонны К-2, вследствие чего была разработана функциональная схема автоматизации объекта исследования.

Во втором разделе получена математическая модель путем структурной и параметрической идентификации с помощью MatLAB Identification Toolbox. На основе полученной модели показан полный анализ системы, а именно выполнена проверка на устойчивость, найдены запасы устойчивости, также определены прямые и косвенные оценки качества для выявления основных требований для регулятора. В ходе синтеза регулятора были использованы эмпирические методы Чина-Хронеса-Ресвика и Циглера-Никольса 1, а также автоматическая настройка параметров регулятора метод Auto-tune.

В третьем разделе предоставлена техническая реализация логического управления расходом подачи исходного сырья в среде TIA Portal, также разработана SCADA-система.

Графический и текстовый материал оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ, предъявляемыми к оформлению учебных работ.

Данный дипломный проект отличает проработанность, полноту изложенного теоретического материала. Приведённые исследования доказывают отличную теоретическую подготовку дипломанта.

Оценка работы

Учитывая вышеизложенное, считаю, что дипломный проект заслуживает оценки «95» (отлично) а студент Кабдоловой Іңкәр Нұрлыбекқызы присвоения академической степени бакалавра по специальности 6B07103 – Автоматизация и роботизация.

Рецензент

доцент, канд.техн.наук,
ведущий научный сотрудник РБП
«Институт информационных и вычислительных технологий»

Юшичева Н. Р.

« 6 » июня 20

