

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизации и управления

Свичкарь Алексей Сергеевич

Разработка системы автоматического регулирования секции
теплообменников ректификационной колонны нефтяной отрасли

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

Специальность 5B070200 – Автоматизация и управление

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизации и управления



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

На тему: “Разработка системы автоматического регулирования секции
теплообменников ректификационной колонны нефтяной отрасли”

по специальности: 5В070200 - Автоматизация и управление

Выполнил

Свичкарь А. С.



Научный руководитель
канд. техн. наук, ассоц проф
Ширяева О. И.
(подпись)
"11" мая 2022 г.

Алматы 2022

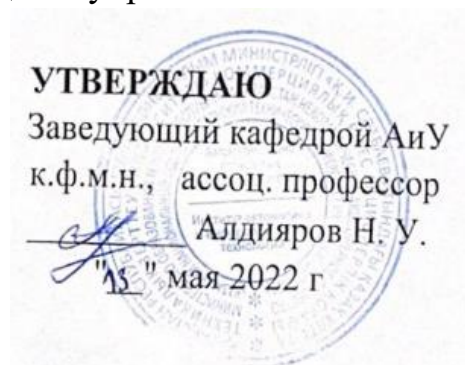
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра автоматизации и управления

5B070200 - Автоматизация и управление



ЗАДАНИЕ на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Свичкарь А. С.

Тема: “Разработка системы автоматического регулирования секции теплообменников ректификационной колонны нефтяной отрасли”.

Утвержден приказом ректора Университета № 489-П/Ө от "24" декабря 2021 г.

Срок сдачи законченной работы: "___" мая 2022 г.

Исходные данные дипломного проекта: технологическая схема ректификационной установки.

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов или краткое содержание дипломного проекта: а) анализ технологического процесса; б) разработка функциональной схемы автоматизации и структурный схемы системы управления; в) решение задач анализа и синтеза системы. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): принципиальная схема теплообменника, функциональная схема автоматизации ректификационной колонны.

Рекомендуемая основная литература: 1) Барашкин Р. Л. Проектирование систем управления ректификационными колоннами – М.: ОмГТУ, 2017, 2) Андреев Е. Б. Автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа. – М.: Машгиз, 2019.

ГРАФИК

подготовки дипломного проекта

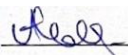
Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Технологический раздел	28.02.2022 г.	
Специальный раздел	01.04.2022 г.	

Подписи

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

Наименования разделов	Научный руководитель, консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологический раздел	канд.техн.наук, ассоц. профессор Ширяева О.И.	20.02.2022	
Специальный раздел	канд.техн.наук, ассоц. профессор Ширяева О.И.	05.04.2022	
Нормоконтролер	Ассистент-профессор Сарсенбаев Н. С.	10.05.2022	

Научный руководитель _____  _____ Ширяева О. И.

Задание принял к исполнению обучающийся _____  _____ Свичкарь А.С.

Дата

"5" 01 2022 г.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыс мұнай өнеркәсібіндегі айдау колоннасының жылу алмастырғыш секциясын автоматты басқару жүйесін әзірлеуге арналған. Жұмыста жылу алмастырғышты басқару объектісі ретінде қарастырып, жылуалмастырғышты автоматты басқарудың функционалдық схемасы әзірленді, реттеудің технологиялық процестерінің математикалық моделі, АБЖ – температура, технологиялық процестерді реттеу және жылу алмастырғышты басқару алгоритмі әзірленді.

Дипломдық жұмысты аяқтау барысында жылу алмастырғыштың технологиялық процесінің ерекшеліктері зерттеледі, сонымен қатар жылу алмастырғышты автоматты басқарудың әртүрлі әдістері қарастырылады.

Екінші бөлімде есептелген математикалық модель талданады. Басқару жүйесінің тұрақтылығы, тұрақтылық шегі және сапасын бағалау, сонымен қатар жүйе реттегішінің синтезі анықталады.

Matlab ортасында математикалық модельді бастапқы пішінде және контроллермен модельдеу нәтижелері алынды.

Tia порталының бағдарламалық құралында бағдарлама жазылады және реттеушінің басқару графигі алынады.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа предназначена для разработки системы автоматического регулирования секции теплообменника ректификационной колонны нефтяной отрасли. В работе рассмотрен теплообменник в качестве объекта управления, разработана функциональная схема автоматического регулирования теплообменника, математическая модель технологических процессов регулирования, САР – температуры составлен алгоритм регулирования технологических процессов и управления теплообменником.

В процессе выполнения дипломной работы будут изучены особенности технологического процесса теплообменника, а также рассмотрены различные методы автоматического управления теплообменником.

Во втором разделе идет анализ рассчитанной математической модели. Определены устойчивость, запасы устойчивости и оценки качества системы управления, а также синтез регулятора системы.

В среде Matlab были получены результаты моделирования математической модели в исходном виде и с регулятором.

В программном обеспечении Tia portal написана программа и получен график управления регулятором.

ABSTRACT

The thesis is intended for the development of an automatic control system for the heat exchanger section of a distillation column in the oil industry. The paper considers the heat exchanger as a control object, developed a functional diagram of automatic control of the heat exchanger, a mathematical model of technological processes of regulation, ACS - temperature, an algorithm was developed for regulating technological processes and controlling the heat exchanger.

In the process of completing the thesis, the features of the technological process of the heat exchanger will be studied, as well as various methods of automatic control of the heat exchanger will be considered.

The second section analyzes the calculated mathematical model. Stability, stability margins and assessments of the quality of the control system, as well as the synthesis of the system regulator are determined.

In the Matlab environment, the results of modeling the mathematical model in the original form and with the controller were obtained.

In the Tia portal software, a program is written and a regulator control graph is obtained.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение		
1	Технологическая часть	10
1.1	Описание процесса ректификации	10
1.2	Особенности управления процессом ректификации	13
1.3	Теплообменник, как объект управления	17
1.4	Разработка функциональной схемы автоматизации и обоснование выбора средств автоматики	19
2	Расчётная часть	22
2.1	Разработка системы автоматического регулирования	22
2.2	Анализ разомкнутой и замкнутой систем управления	26
2.3	Регулирование с использованием PID регулятора	33
3	Аппаратная часть	39
3.1	Программирование PID регулятора на Tia Portal	39
Заключение		43
Список литературы		44

ВВЕДЕНИЕ

Современное производство невозможно представить без автоматизации технологического процесса. По причине невозможности создания эффективного производства без средств автоматического регулирования. Внедрение автоматизированных средств управления позволяет уменьшить экономические и человеческие затраты на производство, а также добиться необходимого высокого качества выпускаемой продукции. Исходя из этого разработка системы автоматического регулирования является трудной задачей, но в то же время крайне необходимой, в том числе и для Казахстана. В нашей стране большое количество добывающих, перерабатывающих заводов и фабрик, поэтому задача автоматизации этих процессов носит приоритетный характер.

Теплообменник в качестве объекта управления является простой динамической системы, имеющий один вход и один выход, связанные между собой. Для того, чтобы разработать систему автоматического регулирования необходима математическая модель на основе каналов управления, полученных с действующего объекта.

Актуальность работы заключается в том, что ректификационный процесс сложен и нуждается в автоматическом регулировании.

В первой части будет описан технологический процесс ректификации нефтяных продуктов, а также системы автоматического регулирования секции теплообменника. Также будут представлены функциональная и структурная схемы автоматического регулирования и обоснование выбора средств автоматизации.

Во второй части будет разработана и рассчитана система автоматического регулирования. Будет проведен анализ устойчивости систем, получение прямых и косвенных оценок качеств, а также синтез регулятора и сравнение оценок качества системы с и без использования регулятора.

В третьей части будет представлена аппаратная часть. В этой части показана программирование и загрузка программы регулятора при помощи программного обеспечения Tia portal.

Целью дипломного проекта является разработка системы автоматического регулирования секции теплообменника ректификационной колонны нефтяной отрасли.

В данном дипломном проекте **задачами являются:**

- разработка функциональную схему автоматического регулирования секции теплообменника;
- синтез регулятора;
- разработка математическую модель теплообменника, выбрать наиболее эффективный регулятор, регулирование и моделирование в среде MatLab Simulink и в Tia portal.

1 Технологическая часть

1.1 Описание процесса ректификации

Процесс ректификации представляет собой очень широко применяемый способ разъединения жидких или водянистых смесей на отдельные составляющие ее части. Данный процесс основан на том, что жидкости, которые составляют исходную смесь, располагают различную упругость паров и плотность. Разъединение жидких или водянистых смесей добывается одновременным повторяющимся испарением, а также конденсацией в тарельчатых и насадочных аппаратах.

В настоящее время процесс ректификации масштабно используется в нефтеперерабатывающем процессе для разъединения естественных углеводородов нефти на отдельные фракции, в металлургии редкостных металлов – для предварительного обогащения растворов солей металлов. Впрочем, для сепарации веществ, имеющих чувствительность к высоким температурам, для извлечения нужных компонентов или примесей из сильно разбавленных растворов, а также для разъединения продуктов с похожими температурами кипения иногда может оказаться более лучшим применение иных способов, например, такой как экстракция.

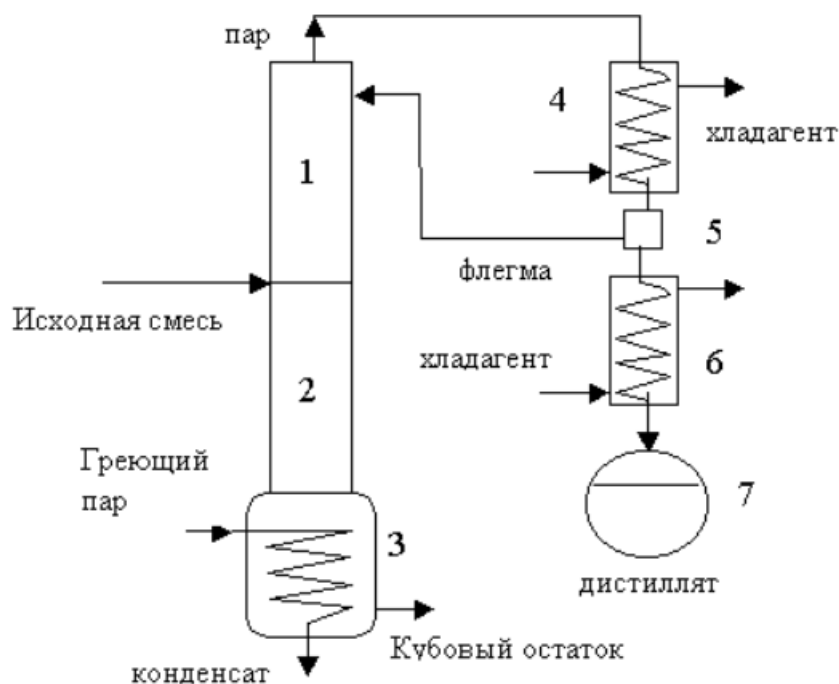
Начальная смесь, которая разогрета до температуры кипения, поступает в среднюю часть ректификационной колонны, оттуда перемещается по тарелкам или насадке, отчасти испаряясь. Для испарения компонентов, имеющих низкую температуру кипения из жидкости в нижнюю область колонны подается глухой или острый водянистый пар. Испарения компонентов поднимают вверх по колонне начинают барботировать сквозь жидкость, которая находится на тарелках, также обогащаются компонентом смеси, имеющий низкую температуру кипения. После выхода из верха колонны испарения попадают в дефлегматор или конденсатор. Часть потока конденсата возвращается в верхнюю часть колонны для процесса орошения, а оставшееся часть поступает в сборник. Высококипящий компонент удаляется из низа колонны.

Во время ректификационного процесса исходная смесь компонентов на следующие составляющие: дистиллят и кубовой остаток. Дистиллят представляет собой смесь, обогащенную легколетучим компонентом. В свою очередь кубовой остаток подразумевает смесь, обогащенную наоборот труднолетучим компонентом. Компонент с максимально низкой температурой кипения является легколетучим, протекающий в процессе испарения [1].

Ректификационный процесс происходит в колонне ректификации непрерывно или же многократно. В первом случае разъединяемая смесь, в первую очередь нагретая до температуры близкой к температуре кипения, перенаправляется в аппарат бесперебойно. В среднюю часть установки по-другому питающую тарелку ректификационной колонны осуществляется подача, которая разделяет полностью всю установку на верхнюю и нижнюю

части рисунок 1.1. Нижняя область установки работает словно отгонная. В нижней части протекает удаление легколетучего компонента из рассоединяемой смеси, укрепляющая смесь протекает в верхней области установки. Обогащение паровой фазы в верхней области ректификационной установки.

Ректификационный процесс происходит в ректификационной установке непрерывно или периодически. В первом случае рассоединяемая смесь, для начала нагретая до температуры кипения, направляется в установку непрерывно.



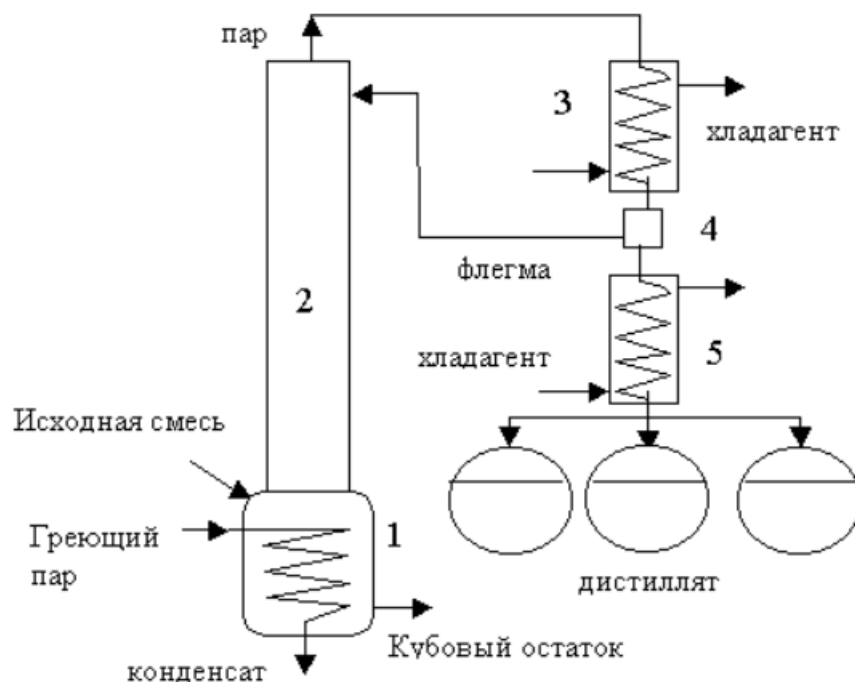
1 – верхняя часть колонны; 2 – нижняя часть колонны; 3 – куб колонны; 4 – дефлегматор; 5 – отделитель флегмы; 6 – холодильник; 7 – сборник готового продукта.

Рисунок 1.1 – Схема ректификационной установки непрерывного действия

Ректификационная установка в данном случае, всегда находится в установившемся режиме, поэтому получает продукт, а также кубовый остаток с беспрерывной концентрации по времени легколетучего компонента.

Во время многократной реакции рисунок 1.2 разъединяемая смесь заранее заливается в устройство испарителя – кубовая колонна, доводится до температуры близкой к температуре кипения и после этого испаряется. Полученный пар проходит сквозь ректификационную колонну, орошается подведенной сверху флегмой, которая похожа на часть сконденсированного продукта. Вовремя реагирования флегмы и паровой фазы конечная часть обогащается легколетучим компонентом. Аппарат периодического действия работает в динамическом режиме. Это означает, что состав и концентрация

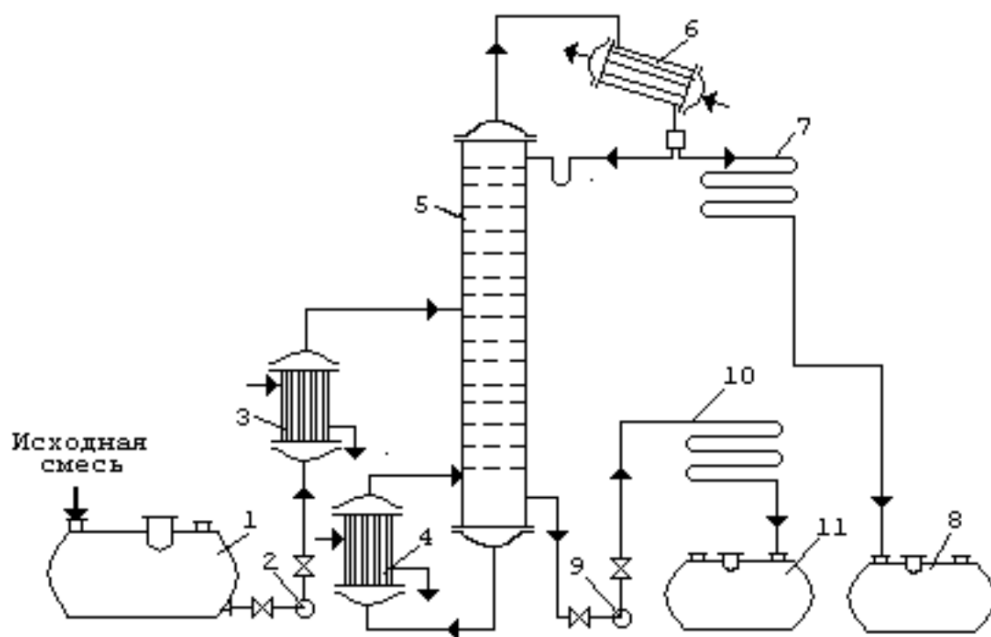
легколетучего компонента и с учетом с непрерывным временем уменьшается, при условии, постоянства расхода флегмы [2].



1 – куб колонны; 2 – ректификационная колонна; 3 – дефлегматор; 4 – отделитель флегмы; 5 – холодильник; 6 – сборники готового продукта.

Рисунок 1.2 – Схема ректификационной установки непрерывного действия

Смысл ректификационного процесса заключается в неполном испарении начальной смеси вместе с отводом и позднее конденсацией появившейся паровой фазы. Конечный конденсат повторно испаряется, далее конденсируется и т.д. С помощью этого появляется продукт, обогащенный легколетучим компонентом.



1 – бак для исходной смеси; 2, 9 – насосы; 3 – теплообменник; 4 – кипятильник; 5 – ректификационная колонна; 6 – дефлегматор; 7 – холодильник дистиллята; 8 – бак для сбора дистиллята; 10 – холодильник кубовой жидкости; 11 – бак для кубовой жидкости.

Рисунок 1.3 – Принципиальная схема ректификационной установки

Перемещаясь вниз по колонне, водянистое вещество реагирует с поднимающимся вверх паром. Пар в свою очередь образуется во время кипения кубовой жидкости в кипятильнике 4. Исходный состав и концентрация пара примерно равен составу кубового остатка. В итоге массового обмена с жидкостью пар обогащается легколетучим компонентом. Для более масштабного обогащения верхнюю область колонны подвергают процессу орошения в зависимости от заданных количествах флегмы, которую в свою очередь получают в дефлегматоре 6 с помощью конденсации пары, выходящего из колонны. Небольшая часть конденсата выводится из дефлегматора в виде конечного продукта разделения дистиллята, в котором падает температура в теплообменнике 7 и переносится в резервуар 8. Из кубовой области ректификационной колонны насосом 9 бесперебойно удаляется кубовая жидкость. Под кубовой жидкостью рассматривается продукт, обогащенный труднолетучим компонентом, охлаждаемый в 10 и перекачивается в емкость 11.

1.2 Особенности управления процессом ректификации

Главнейшей целью управления технологическим процессом является сохранение необходимого состава, а также концентрации конечного продукта.

Основополагающие технологические свойства, нуждающиеся в контроле, регулировании и управлении обычно выступает температура, давление и расход. Значения данных параметров в колонне определяют возможность верного протекания технологического процесса ректификации нефти, а также его экономические показатели. К таким параметрам относят в первую очередь температуру и давление.

Время и эффективность работы ректификационных колонн значительно зависит от типа используемого исходного продукта, режима работы, условий работы, наладки и работы систем автоматизации, а также качества производства и монтажа колонны и тарелок и т.д. Используемые данные об эффективности промышленных ректификационных колонн одинаковых установок обычно весьма разнятся.

Одновременно с этим, данные позволяют более верно и обоснованно сделать выбор касательно характеристики и параметров колонны при проектировании, оценить реальные показатели при эксплуатации, реализовать подбор изначальных настроенных коэффициентов регулирующего оборудования системы автоматического управления.

Простейшая ректификационная колонна имеет единственный исходный поток, несколько продуктовых потоков, один теплоотвод и один теплоприток по концам установки.

Для процесса ректификации нефтяной смеси на две фракции, обогащенные и, в необходимом количестве или же с требуемым содержанием в них конечных компонентов используется технологическая схема ректификационной установки с полной ректификационной колонной. В данном аппарате исходная смесь перемещается в середину колонны ректификации – на питающую тарелку. Дистиллят, обогащенный и фракциями, удаляется сверху, а обогащенный остаток соответственно из нижней части колонны. Область колонны, расположенная выше ввода исходной смеси принято называть укрепляющей или концентрационной. Секция ректификационной колонны находящейся ниже ввода исходного продукта называется отгонной, реже исчерпывающей [3].

Использование сложных ректификационных колонн, позволяет значительно снизить эксплуатационные и масштабные затраты за счет улучшения термальных и динамических условий разъединения, оптимальной организации теплового обмена, которая совмещается в только одной установке нескольких технологических процессов.

К многомерным ректификационным аппаратам, используемых для синтеза двух и более продуктов иными словами промежуточных, необходимо отнести также типы колонн. Группируются эти колонны тепловыми и материальными потоками. Способ присоединения отдельных колонн между собой предусматривает выбор технологической схемы установки. Данный способ выбирается исходя от технико-экономических расчетов, а также требованиями к конечным продуктам, термической

стабильностью, и наконец присутствием определенных хладагентов и тепловых носителей.

После этого необходимо рассмотреть влияние горения начального сырья, дистиллята, флегмы, кубового остатка, теплового, содержание хладоносителей и температуры исходного продукта. Немалую роль в этом играет температурный профиль по всей площади колонны, давления в разных областях колонны, а также перепад давлений на работу колонны.

При условии, что начальное сырье вводится в колонну ректификации в меньшем количестве, чем необходимо, то это может привести к возрастанию концентрации в дистилляте и уменьшению производительности колонны. В ином случае при слишком большом исходной смеси температуры, подводящей в куб колонны, будет недостаточно для процесса испарения. Прямо пропорционально увеличится концентрация в отсеке с кубовым остатком. Это повлияет на качество и свойства конечного продукта. Для того, чтобы этого не произошло необходимо привести работу колонны к более экономической эксплуатации, а именно стабилизировать нагрузку колонны. Таким образом удастся не только добиться экономической работы, но и выдачи чистого продукта. Однако в данном случае это невозможно по причине расхода начального сырья зависящей от работы предыдущего процесса, регулирование нагрузки следует учитывать, как сильное стороннее воздействие.

Изменение состава начальной смеси также негативно отражается на эксплуатацию колонны, потому что снижение концентрации в начальном сырье приводит к снижению расхода энергии на испарение. Температура в ректификационной колонне возрастает, необходимая мощность процесса в колонне отходит от заданных параметров. В ином случае, повышение концентрации в начальной смеси приводит к нарушению качества конечного продукта. Неоднократные и большие колебания состава начальной смеси достаточно затрудняют управление процессом. По этой причине состав начального сырья стабилизации не подлежит. Данный факт нужно принять во внимание при выборе единственного верного варианте автоматизации.

Немалое значение для ректификационного процесса играет температура начальной смеси. Если же смесь начинает перемещаться в колонну при температуре меньшей температуре кипения, то ее необходимо нагревать парами пока температура не приблизится к температуре кипения. Обычно эти пары следуют из низа колонны. Паровая конденсация в таком случае увеличивается, этим самым происходит нарушение всего режима процесса ректификации. Именно по этой причине температуру начального сырья принято стабилизировать изменением расхода теплового носителя, подаваемого в устройство теплообменника. Этим самым вероятнее всего удастся ликвидировать одно из нескольких возмущений [4].

От значения расхода сильно нагретого пара прямо пропорционально зависит скорость движения паров в колонне, которая, затем определит интенсивность и рациональность процесса. Разделение компонентов зависит

от скорости паров, а именно чем больше слой пены и брызг, тем больше скорость перемещения паров в колонне. С противоположной стороны, повышение скорости паров может привести к явлению так называемого эффекта «захлебывания» колонны. При возникновении данного эффекта восходящий поток паров начинает мешать перемещению жидкости вниз по тарелкам.

Отсюда делается вывод о том, что рациональный и эффективный режим эксплуатации ректификационной колонны соответствует скорости паров несколько меньшему, чем в начале процесса «захлебывания». При постоянной нагрузке перекачку пара необходимо стабилизировать. При переменной нагрузке колонны она должна изменяться прямо пропорционально повышению или уменьшению подаваемой нагрузки.

Для обеспечения оптимальной работы колонны необходимо сделать уровень колонны стабильным. По той причине, что он может варьироваться при изменении расхода и состава начальной смеси, а также для поддержания материального баланса. Уровень в ректификационной колонне управляется величиной расхода кубовой жидкости в технологические резервуары.

Частота и содержание дистиллята главным образом зависит от уровня подачи флегмы в колонну. Увеличение притока флегмы приводит к увеличению мощности колонны по кубовой жидкости, однако приводит к перерасходу тепла на испарение предельного количества флегмы предельного количества флегмы. Иными словами, снижает производительность технологического процесса. Поэтому подвод флегмы рекомендуется корректировать либо по составу дистиллята, либо по температуре верха колонны.

Состав паровой и жидкой фаз на каждой из тарелок зависит от величин давления и температуры. Стабилизировав давление зависимость между составом и температурой будет равнозначной. При помощи датчиков температуры можно получать актуальную информацию о составах подводимых потоков. Датчики температур устанавливаются вблизи выхода потоков из колонны, а устройства для регулирования состава продуктов необходимы для периодической корректировки измерителей температур [5].

Негативно влияющим фактором для изменения давления обычно возникают резкое изменение концентрации и состава начальной смеси, а также количества флегмы. Стабилизация давления в верху колонны нужна для удержания заданного состава конечного продукта, а также и для уравнивания нормального гидродинамического режима ректификационной колонны, потому что при уменьшении давления часто происходит эффект «захлебывание» колонны. Эффект «захлебывание» колонны означает появление восходящего потока пара, который мешает перемещению вниз по тарелкам жидкости. Однако при его увеличении давления снижается скорость парового потока, который связывают с снижением мощности колонны. Стабилизация давления паров в кубе является не рациональным, по причине обладания ректификационной колонны

хорошими выраженными свойствами саморегулирования по данному параметру, и регулирование давления в укрепляющей области ректификационной колонне приводит к определенному давлению в кубе. Важно помнить, что при стабилизации давления в колонне состав кубового остатка зависит исключительно от температуры.

Снижение температуры в секции куба колонны приводит к уменьшению интенсивности испарения кубового остатка, снижает давление сначала в кубе, а затем и в верхней части колонны. Регулятор давления перекрывает подачу хладагента в дефлегматор, и выбор паров уменьшается внутри колонны ректификации. Часть переходит в куб колонны. По этой причине ухудшается качество конечного продукта.

Увеличение значения температуры в ректификационной колонне приводит к повышению концентрации в дистилляте, что приводит к снижению производительности колонны. При постоянном давлении значение температуры в колонне зависит от значений начальной смеси, от количества флегмы и пара, подводящего в кипятильник.

Специфическую роль отводится регулированию и управлению физико-химических значений конечных компонентов. К таким значениям относят разность парциальных давлений паров продукта и эталонной жидкости, плотность, температура вспышки, разность температур кипения жидкости и эталонного сырья, время закипания. Особенно предпочтительны устройства и датчики, имеющие на выходе сигнал, пропорциональный разности параметров конечного продукта и эталонной жидкости, потому что их выход непосредственно используется в схемах автоматического регулирования.

Главной характеристикой эффективности процесса ректификации является концентрация компонента, обладающий низкой температурой кипения компонента в секции дистиллята, однако в остатке тот же компонент имеет высокую температуру кипения. Значение данных параметров необходимо поддерживать неизменяемым. Данное условие является главной целью управления. Цель управления ректификационным процессом является в добывании компонентов разьединения дистиллята и кубового остатка нужной концентрации при заданной производительности аппарата и как можно меньшем расходе нагревающего пара [6].

Основными негативно влияющими воздействиями для ректификационной колонны является расхождение состава, расхода, питающей температуры, давления в используемой колонне и давление в линии нагревающего пара.

1.3 Теплообменник, как объект управления

Массообменный технический аппарат, внутри которого протекает обмен температур меж двух и более сред, обладающие разными температурами характеризуется теплообменник. По типу работы данные технические

устройства делятся на рекуператоры и регенераторы. Движущиеся тепловые носители разъединены стеной. Такая конструкция характерна для рекуператорных теплообменников. Рекуператорные теплообменники относятся к наиболее распространенным типам теплообменников, которые имеют разнообразные конструкции. В регенеративных теплообменниках горячий и холодный теплоносители контактируют с одной и той же поверхностью поочередно. Горячий воздух накапливается в стенке при образовании контакта с более горячим теплоносителем и отдается при контакте с холодным.

Данные технологические устройства используются в производственных процессах газовой-нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, атомной, холодильной отраслях промышленности.

В зависимости от условий использования теплообменника применяется определенная конструкция. В производственных процессах применяются технические устройства, в которых в одно и то же время с теплообменным происходят и смежные явления. Подобные установки имеют свои названия такие как: испарители, обычные конденсаторы смешения, градирни и другие.

Также как от условий использования, так и от направления движения теплоносителей зависит рекуперативные теплообменники могут быть прямоточными при параллельном движении, а также при взаимно поперечном движении нескольких взаимосвязанных сред [7].

На рисунке 1.3 показана принципиальная схема теплообменника.

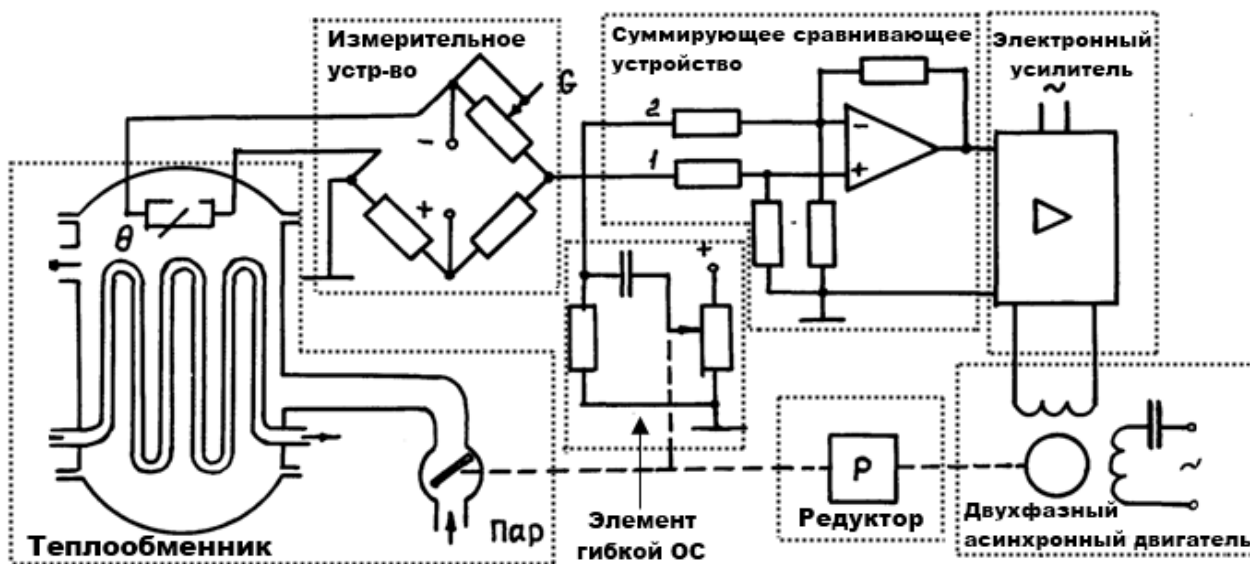


Рисунок 1.3 – Принципиальная схема теплообменника

На рисунке 1.3 показана принципиальная схема секции теплообменника, состоящая из самого теплообменника, редуктора, измерительного устройства, суммирующего сравнивающего устройства, электронного усилителя, элемента гибкой обратной связи и двухфазного асинхронного двигателя.

В исследуемой системе автоматического регулирования объектом исследования и управления будет являться теплообменник, входной величиной является напряжение, выходной температура.

Входным воздействием создается положением двигателем реостата, с которым напрямую связана величина задающего напряжения.

Элементами системы автоматического регулирования признаются: измеряющее устройство, суммирующее сравнивающее устройство, электронный усилитель, двухфазный электронный двигатель, редуктор, гибкая обратная связь. Все эти элементы необходимы для управления температуры в секции теплообменника – образуют управляющее устройство.

Измерительное устройство определяет температуру в теплообменнике и создает конечный сигнал, таким сигналом является напряжение. Далее этот сигнал перемещается на сравнивающее суммирующее устройство. На это суммирующее устройство попадает также сигнал элемента гибкой обратной связи. На суммирующее устройство в свою очередь попадает также сигнал элемента гибкой обратной связи. Данный сигнал измеряет угол поворота редуктора в зависимости от его значений создает выходной сигнал – напряжение.

Сравнивающее суммирующее устройство определяет разность между конечным сигналом измерительного устройства и выходным сигналом элемента гибкой обратной связи. Если сигналы разнятся, то разность увеличивается электронным усилителем и переходит на двухфазный асинхронный двигатель.

Асинхронный двигатель вращает редуктор, тем самым меняется положение затворки клапана на входе теплообменника, что приводит к корректировке его температуры.

1.4 Разработка функциональной схемы автоматизации и обоснование выбора средств автоматики

Схема автоматизации необходима для постройки системы автоматического регулирования, так как является одним из главных технических документов, который характеризует функциональную блочную структуру отдельных блоков автоматического регулирования, а также объектом управления оборудованием и средствами автоматизации. Функциональные цели автоматизации обычно проектируются техническими средствами, а также специально выбранными устройствами, средствами получения необходимых сведений, устройства преобразования и обработки информации. А также при проектировании функциональных схем часто учитывают средства визуализации и представления, а также отображения и передачи информации конечному пользователю. При проектировании схем автоматизации технологического процесса решаются следующие задачи:

- необходимо сть наладки сигнализации, контроля, регистрации и учета технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования;

- получение необходимой информации о параметрах технологического процесса и средств автоматизации.

На рисунке 1.4 показана функциональная схема автоматизации теплообменника.

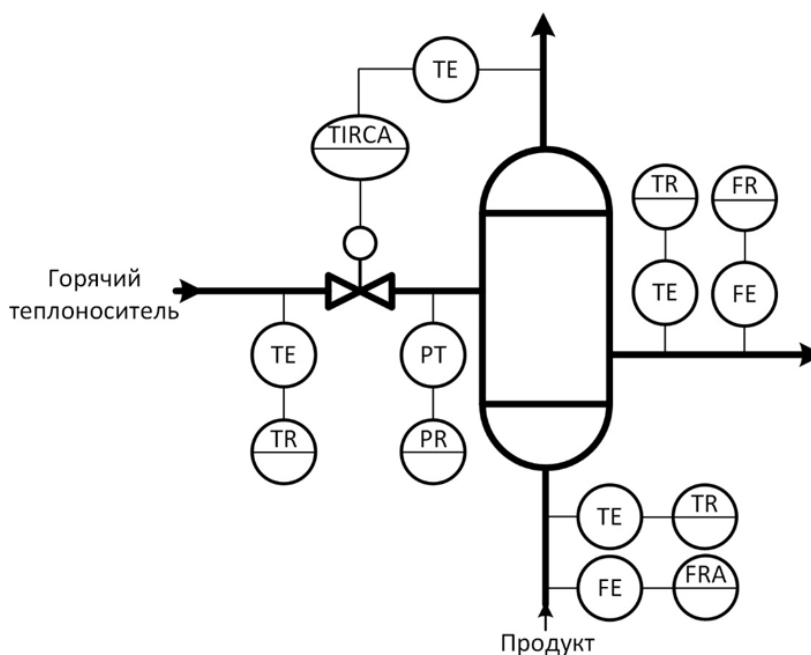


Рисунок 1.4 – Функциональная схема автоматизации теплообменника

На рисунке 1.4 изображена функциональная схема автоматизации секции теплообменника на которой показаны все датчики и приборы.

В качестве преобразователя давления был выбран МЕТРАН-43 принцип действия которого основан на пьезорезистивном эффекте. Чувствительным элементом датчика является пьезорезистивный преобразователь. Предельно допускаемые рабочие избыточные давления датчиков разности давлений и гидростатического давления от 0,25 до 25 Мпа. Пределы допускаемой основной погрешности в % от нормирующего значения: $\pm 0,15$; $\pm 0,2$; $\pm 0,25$; $\pm 0,4$; $\pm 0,5$; ± 1 . Данный датчик необходим для измерения давления исходного теплоносителя.

Для измерения температуры продукта выбран термопреобразователь сопротивления ТСР-0879 50 П.

Измерение температуры термопреобразователями сопротивления основано на свойстве платины или меди изменять электрическое сопротивление пропорционально изменению температуры. Чувствительный элемент платиновых термопреобразователей представляет собой спираль, намотанную из платиновой проволоки диаметром 0,05 мм, помещенную в

каналы керамического каркаса. Концы спирали припаяны серебром к выводам из сплава иридий— родий. Диапазон измерений от - 50 до + 600 °С.

Измерение расхода теплоносителя и расхода продукта осуществляется при помощи камерной диафрагмы ДК-6. Данный прибор устанавливается в турбопровод.

Камерная диафрагма ДК-6 применяется для измерения расхода жидкости, пара или газа по методу переменного перепада давления в комплекте с преобразователями разности давления. Номинальное значение составляет 15кг/с.

Для преобразования унифицированного электрического непрерывного сигнала постоянного тока в унифицированный пропорциональный пневматический непрерывный сигнал. Преобразователи используют для связи электрических приборов и систем регулирования с пневматическими приборами и системами. С этой целью по месту установлен преобразователь электропневматический ЭПП-М.

2 Расчетная часть

2.1 Разработка системы автоматического управления

Для расчета передаточной функции системы автоматического управления необходимы исходные данные для объекта управления, то есть теплообменника.

В таблице 2.1 указаны исходные данные теплообменника для расчета и анализа передаточных функций.

Таблица 2.1 – Исходные данные теплообменника

Параметры	Значения
$K_{и1}$, В/рад	12
$K_{и2}$, В/град	2,5
$T_{и}$, с	0
K_{y1}	1
K_{y2}	1
$K_{эу}$	13,7
$K_{д1}$, рад/В · с	1,06
$K_{д2}$, рад/н · м · с	0
$T_{эм}$, с	0
$T_{м}$, с	0
K_p	0,017
$K_{п}$, В/рад	8,9
$T_{ос}$, с	3,47
$K_{Т1}$, град/рад	163
$K_{Т2}$, рад/град	1
$T_{Т1}$, с	84
$T_{Т2}$, с	1
f_n , град	32

Передаточная функция — главный метод математического описания динамической системы. Применяется главным образом в теории автоматического управления, связи и цифровой обработке сигналов. Представляет собой дифференциальный оператор, который выражает взаимосвязь между входным и выходным сигналами линейной стационарной системы. Имея представление о входном сигнале системы и передаточную функцию, возможно смоделировать выходной сигнал системы.

В теории автоматического регулирования передаточная функция динамической системы представляет собой отношение преобразования по Лапласу выходного сигнала к преобразованию по Лапласу входного сигнала с учетом нулевых начальных условиях.

По причине полного определения динамическими свойствами передаточной функции, изначальная цель расчета сводится к определению ее передаточной функции. При расчете настроек регуляторов обширно применяются достаточно примитивные динамические модели промышленных объектов управления.

Для построения структурной схемы системы автоматического регулирования, необходимо рассмотреть каждый элемент функциональной схемы и определить его передаточную функцию.

Измерительное устройство

$$(T_u s + 1)\Delta U(t) = K_{u1}(T_u s + 1)\Delta G(t) - K_{u2}\Delta\theta(t), \quad (1)$$

где: G – положение движка реостата (задающее воздействие);
 θ – температура объекта измерения;
 U – напряжение на выходе устройства;
 K_{u1} – коэффициент передачи устройства по задающему воздействию;
 K_{u2} – коэффициент передачи устройства по измеряемой величине;
 T_u – постоянная времени устройства.

Передаточная функция

$$W_{u1}(s) = K_{u1}; \quad W_{u2}(s) = \frac{K_{u2}}{T_u s + 1}; \quad (2)$$

Электронный усилитель

$$\Delta U_2(t) = K_{\text{эу}} \Delta U_1(t); \quad (3)$$

где: U_1 – напряжение на входе;
 U_2 – напряжение на выходе;
 $K_{\text{эу}}$ – коэффициент усиления.

Передаточная функция электронного усилителя исходя из формулы (3) выглядит:

$$W_{\text{эу}}(s) = K_{\text{эу}}; \quad (4)$$

Сравнивающее суммирующее устройство

$$\Delta U_{\text{вых}}(t) = K_{y1} \Delta U_1(t) + K_{y2} \Delta U_2(t) \quad (5)$$

где: U_1, U_2 – напряжения на входах;

$U_{\text{вых}}$ – напряжение на выходе.

Передаточные функции, полученные с помощью уравнений (4) и (5) соответственно

$$W_{cy1}(s) = K_{y1} \quad (6)$$

$$W_{cy2}(s) = K_{y2} \quad (7)$$

Двухфазный асинхронный двигатель

$$(T_{эм} s + 1) s \Delta \varphi(t) = K_{\phi} \Delta U_y(t), \quad (8)$$

где: φ – угол поворота выходного вала АД;

U_y – действующее значение напряжения на обмотке управления;

K_{ϕ} – коэффициент передачи асинхронного двигателя;

$T_{эм}$ – электрохимическая постоянная времени асинхронного двигателя.

Передаточная функция, выведенная из формулы (8):

$$W_{ad}(s) = \frac{K_{\phi}}{s(T_{эм} s + 1)} \quad (9)$$

Редуктор

$$\Delta \varphi_2(t) = K_p \Delta \varphi_1(t), \quad (10)$$

где: φ_1 – угол поворота входного вала;

φ_2 – угол поворота выходного вала;

K_p – коэффициент передачи редуктора.

Передаточная функция редуктора, полученная из уравнения (10)

$$W_p(s) = K_p \quad (11)$$

Теплообменник

$$(T_{T1} s + 1)(T_{T2} + 1) \Delta \theta(t) = K_{T1} \Delta \varphi(t) + K_{T1} K_{T2} \Delta z(t), \quad (12)$$

где: θ – температура в теплообменнике;

φ – угол поворота регулирующего органа печи;

Z – возмущающее воздействие;

K_{T1}, K_{T2} – коэффициенты передачи теплообменника;

T_{T1}, T_{T2} – постоянная времени теплообменника.

Передаточные функции теплообменника получены из формулы (12):

$$W_{T\varphi}(s) = \frac{K_{T1}}{(T_{T1}s + 1)(T_{T2}s + 1)} \quad (13)$$

$$W_{Tz}(s) = \frac{K_{T1}K_{T2}}{(T_{T1}s + 1)(T_{T2}s + 1)} \quad (14)$$

Элемент гибкой обратной связи

$$(T_{oc}s + 1)\Delta U(t) = K_n T_{oc} s \Delta \varphi(t), \quad (15)$$

где: φ – угол поворота движка потенциометра (входная величина);

U – напряжение на выходе элемента;

T_{oc} – постоянная времени элемента;

K_n – коэффициент передачи потенциометра.

Передаточная функция, выведенная из формулы (15):

$$W_{эзoc}(s) = \frac{K_n T_{oc} s}{T_{oc} s + 1} \quad (16)$$

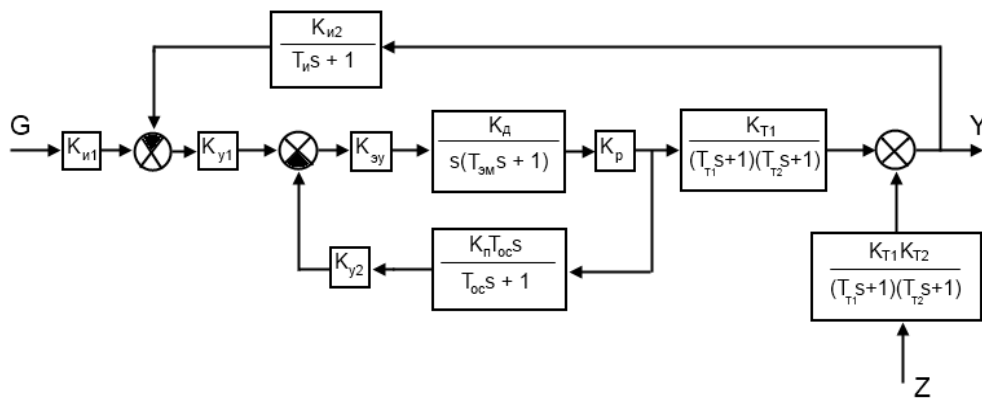


Рисунок 2.1 – Структурная схема теплообменника

На рисунке 2.1 показана структурная автоматизации и регулирования теплообменника с гибкими обратными связями.

Прежде всего, необходимо построить функциональную схему системы для дальнейшей работы. Для получения передаточной функции всей системы необходимо перемножить последовательно соединенные элементы, замкнув отрицательной обратной связью. На рисунке 2.2 представлена функциональная схема автоматизацию.

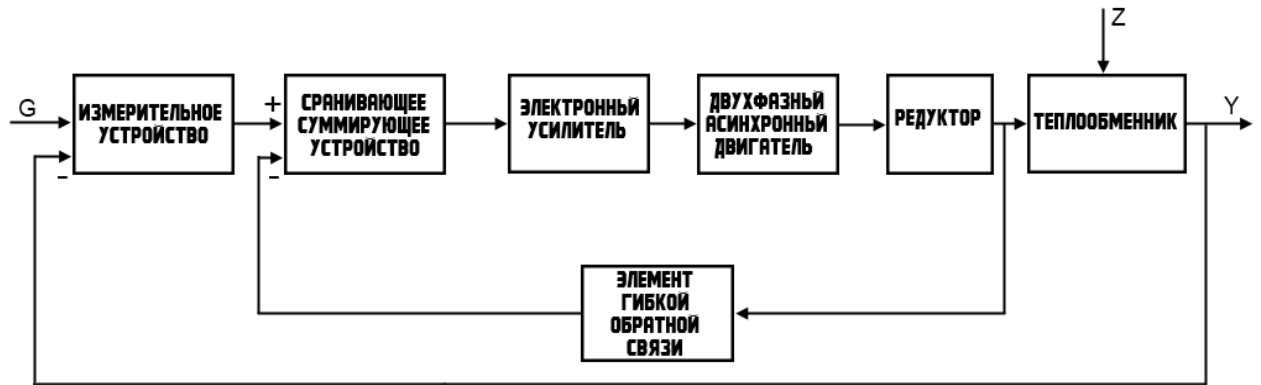


Рисунок 2.2 – Функциональная схема теплообменника

Передаточные функции системы автоматического регулирования по задающему воздействию.

При подстановке численных значений получена разомкнутая передаточная функция:

$$W_{zg}(s) = \frac{1675,6s + 482,88}{291,48s^4 + 1019,4s^3 + 736,52s^2 + 357,7s + 100,6} \quad (17)$$

Прибавив числитель к знаменателю передаточной функции была получена замкнутая передаточная функция:

$$W_{zg}(s) = \frac{1675,6s + 482,88}{291,48s^4 + 1019,4s^3 + 736,52s^2 + 2033,3s + 583,48} \quad (18)$$

2.2 Анализ замкнутой системы управления

Необходимым условием работоспособности системы автоматического управления, является её устойчивость. Система может быть устойчивой, неустойчивой и находится на грани устойчивости. Под устойчивостью понимают свойство системы восстанавливать исходное положение, из которого она была выведена под влиянием возмущающих факторов после прекращения их воздействия. Без данного свойство системой автоматического регулирования невозможно управлять, поэтому любую систему необходимо из неустойчивой или находящейся на грани устойчивости необходимо сделать

устойчивой. Главным методом определения устойчивости системы является метод Ляпунова, из которого вытекают два критерия, определяющих устойчивость системы. Это критерий Гурвица и критерий Михайлова. Помимо этих двух критериев существует также критерий Найквиста.

Метод Ляпунова для определения устойчивости системы. Для определения устойчивости находим полюса данной системы. Согласно первому методу Ляпунова для линейных систем:

Система будет устойчивой, если все корни характеристического полинома будут отрицательными. Система будет неустойчивой, если хотя бы один из корней будет положительным.

И, следовательно, система будет на границе устойчивости, если хотя бы один корень характеристического полинома будет равен нулю, либо иметь мнимое значение. Далее на рисунке 2.3 показана переходная характеристика

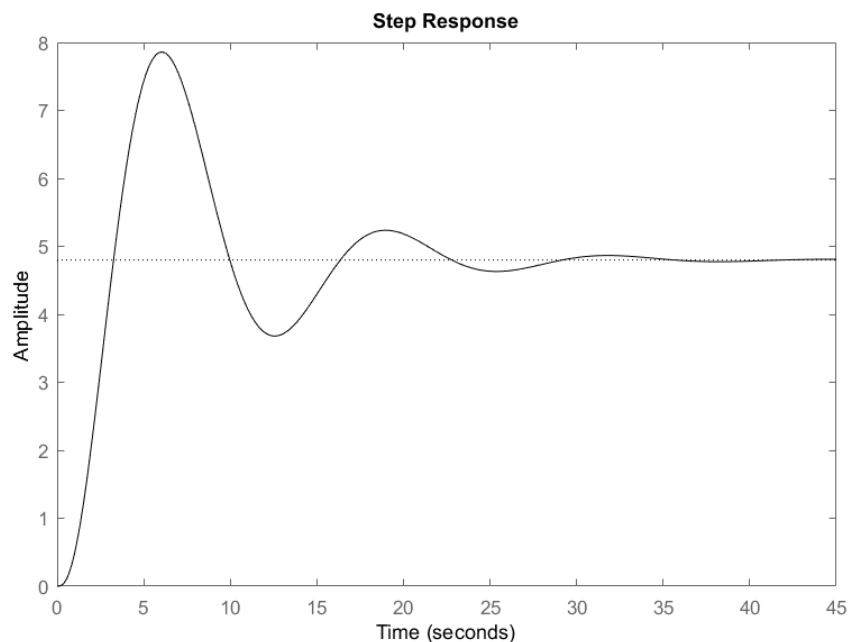


Рисунок 2.3 Переходная характеристика

Следуя передаточной функции 11, получена переходная характеристика системы, которая представлена на рисунке 2.3. Из данной переходной характеристики видно, что система 11 устойчива, поскольку система приходит к установившемуся значению.

```
>> pole(g)

ans =

-2.7161 + 0.0000i
-0.1477 + 0.4896i
-0.1477 - 0.4896i
-0.4858 + 0.0000i
```

Рисунок 2.4 – Полюса замкнутой системы

Как видно на рисунке 2.4, замкнутая система устойчива по I методу Ляпунова, так как имеет отрицательные действительные части.

Далее будет представлен разбор АЧХ, ФЧХ и АФЧХ системы.

В условиях реальной эксплуатации системы автоматического регулирования часто возникает необходимость определить реакцию на периодические сигналы, т.е. определить сигнал на выходе САР, если на один из входов подается периодически сигнал гармонической формы. Решение этой задачи возможно получить путем использования частотных характеристик. Различия между параметрами входных и выходных гармонических сигналов не зависят от амплитуды и фазы входного сигнала, а определяется только динамическими свойствами самого объекта и частотой колебаний. Поэтому в качестве динамических характеристик объекта используют частотные характеристики: амплитудно-частотная характеристика АЧХ – $A(\omega)$; фазовая частотная характеристика – $\varphi(\omega)$ и амплитудно-фазовая частотная характеристика – $W(j\omega)$.

Данные характеристики описывают систему в частотной области. Амплитудно-частотная характеристика показывает зависимость амплитуды выходного сигнала от частоты входного, а фазо-частотная разность фаз между ними. Отношение и разность называют соответственно амплитудно-частотной АЧХ и фазо-частотной характеристиками ФЧХ рассматриваемого звена или системы. АЧХ представляет, как звено пропускает сигналы различной частоты. ФЧХ же, какое отставание или опережение выходного сигнала по фазе создает звено при различных частотах.

Для получения характеристик необходимо заменить в передаточной функции оператора Лапласа s оператором Фурье $j\omega$, благодаря чему найдем реальную и мнимую части системы.

$$W_{zg}(s) = \frac{1675,6(j\omega) + 482,88}{291,48(j\omega)^4 + 1019,4(j\omega)^3 + 736,52(j\omega)^2 + 2033,3(j\omega) + 583,48} \quad (12)$$

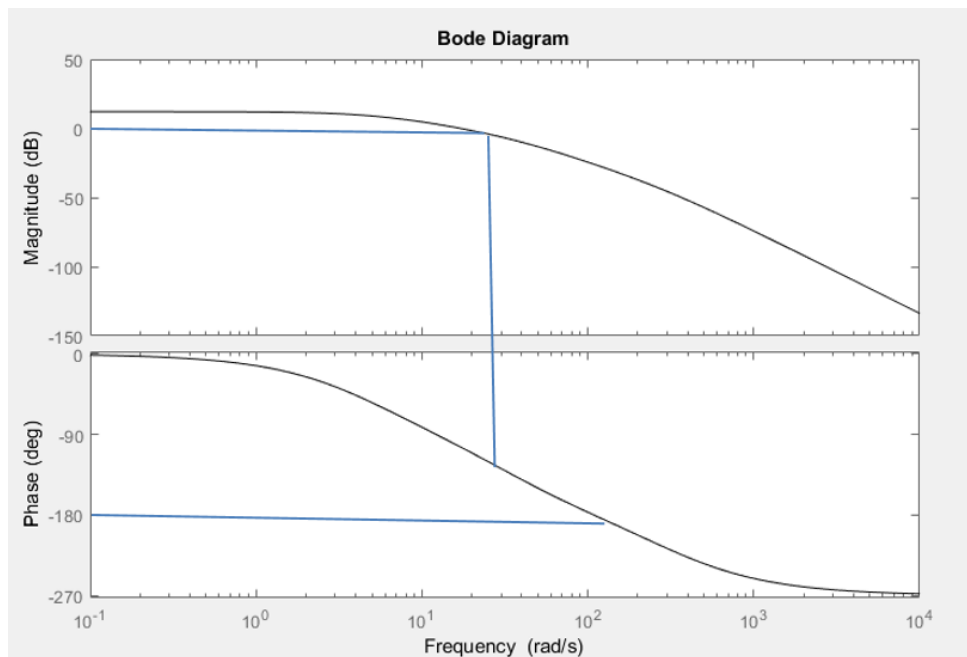


Рисунок 2.4 – АФЧХ замкнутой системы

На рисунке 2.4 представлена АФЧХ замкнутой системы выведенная при помощи программного обеспечения MatLab.

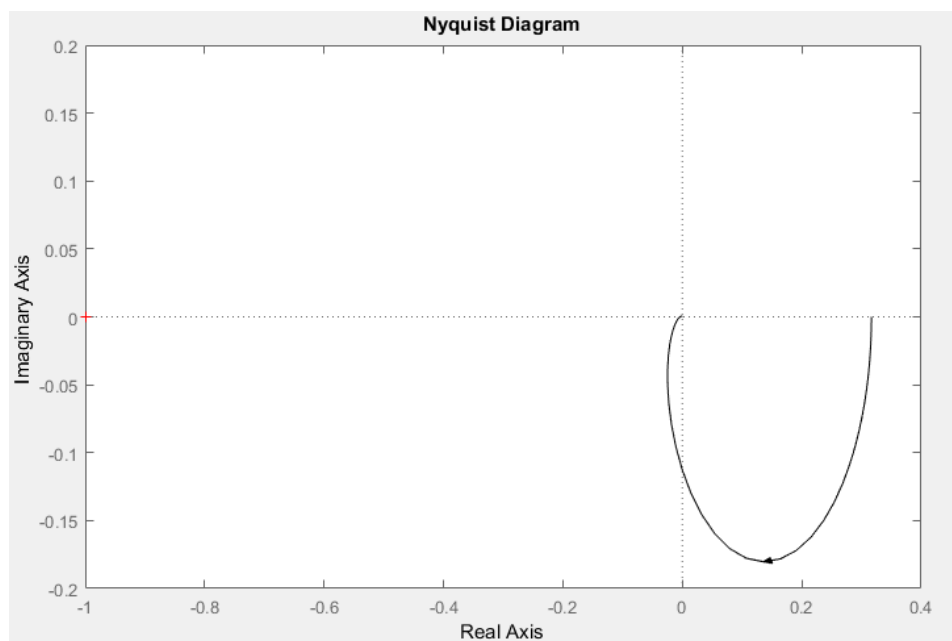


Рисунок 2.5 – АЧХ, ФЧХ разомкнутой систем

На рисунке 2.5 отображены амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики разомкнутой системы. Так как АФЧХ замкнутой системы автоматического регулирования 11 не охватывает точку $(-1; j0)$ и при этом разомкнутая система автоматического регулирования 10 устойчива, сделан вывод о том, что система 11 устойчива.

Определение запаса устойчивости. Запас устойчивости является показателем того, насколько система удалена от границы устойчивости. Минимально допустимым запасом устойчивости является запас в 30 градусов по фазе и 6 дБ по амплитуде. При помощи команды `margin` в программе Matlab были найдены запасы устойчивости системы по фазе и амплитуде.

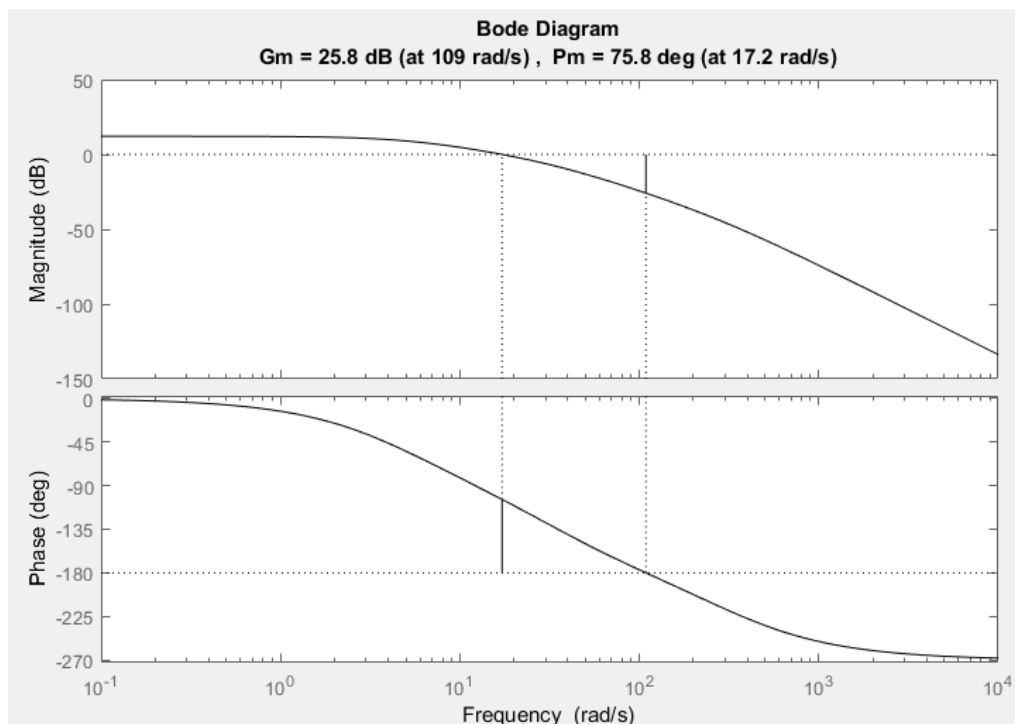


Рисунок 2.8 – Запас устойчивости

На рисунке 2.8 показаны запасы устойчивости по АЧХ и ФЧХ.

Запас устойчивости по амплитуде равен 25,8 децибел, что больше диапазона 10–15 децибел, следовательно, система имеет большой запас устойчивости по амплитуде. Запас устойчивости по фазе равен 75,8 градусов, что больше диапазона 30–40 градусов, что также говорит о большом запасе устойчивости ЗСАР по фазе. Вывод: система имеет достаточный предел устойчивости.

Оценки качества. Для того чтобы в дальнейшем убедиться в эффективности синтезируемого управления. Необходимо сравнить оценки качества системы. Оценки качества системы бывают прямые и косвенные. Также прямые и косвенные оценки качества подразделяются на динамические и статические. Динамические оценки качества определяют переходной процесс, в свою очередь статические только установившийся режим. По оценкам качества также можно сделать вывод о устойчивости системы. Система устойчива если переходной процесс имеет затухающие колебания.

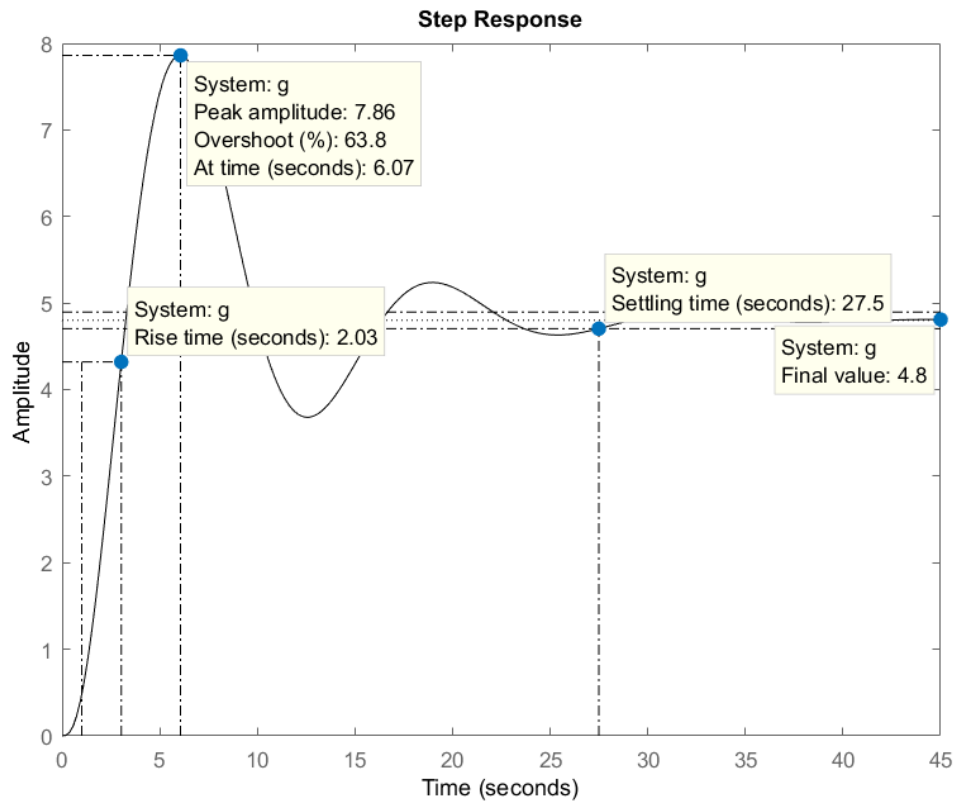


Рисунок 2.9 – Прямые оценки качества системы в Matlab

Исследуемая замкнутая система автоматического регулирования имеет следующие оценки качества:

- 1) время регулирования: $T_{\text{set}} = 27,5\text{с}$;
- 2) перерегулирование: $P_{\text{ov}} = 63,8\%$;
- 3) число колебаний: $M = 2$;
- 4) колебательность: $\mu = 31,9\%$;
- 5) период колебаний: $T = 3,37\text{с}$;
- 6) время достижения первого максимума: $T_p = 7,86\text{с}$;
- 7) время нарастания: $T_R = 2,03\text{с}$;
- 8) декремент затухания: $\chi = 2,45$;
- 9) установившееся ошибка

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t); \quad (13)$$

$$e_{ss} = s \cdot \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{291,48s^4 + 1019,4s^3 + 736,52s^2 + 2033,3s + 583,48}{291,48s^4 + 1019,4s^3 + 736,52s^2 + 2033,3s + 1166,96} \cdot \frac{1}{s} = \frac{1}{2} \quad (14)$$

Косвенные оценки качества. Косвенные оценки качества бывают корневые и частотные, которые высчитываются по полюсам системы. Частотные:

- 1) показатель колебательности;

$$\mu = \frac{M_{\max}(\omega)}{M(0)} = 5,67 \quad (15)$$

- 2) полоса пропускания: $[0 - 2,6]$;
- 3) резонансная частота: $\omega_p = 2,15$;
- 4) частота среза: $\omega_{CF} = 3,32$;

Далее рассмотрены корневые оценки качества.

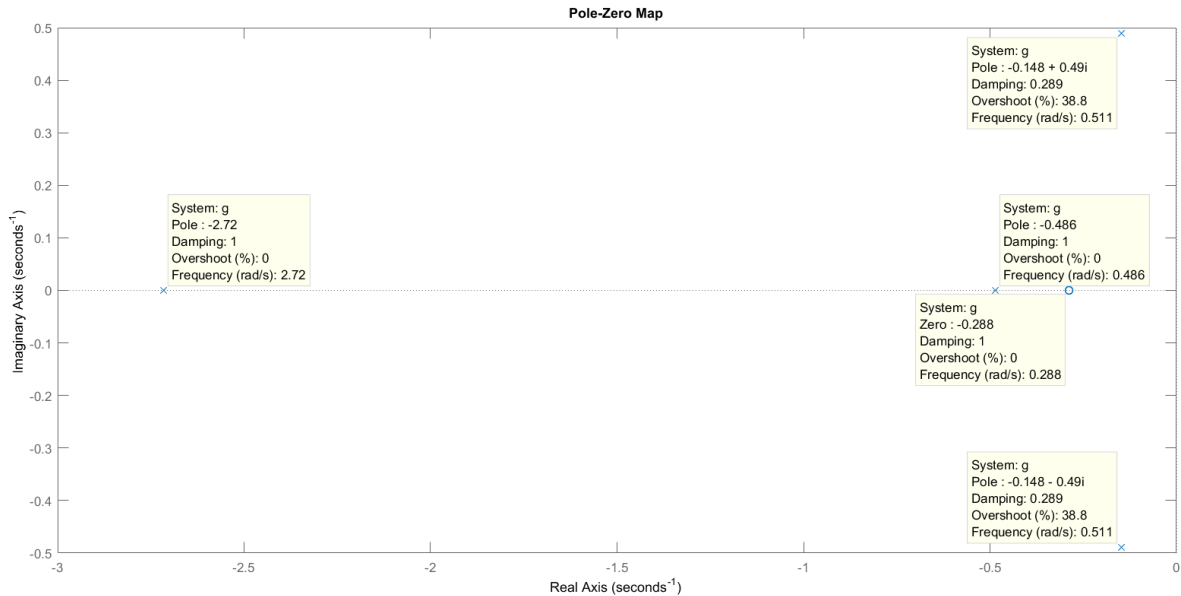


Рисунок 2.10 – Корневые полюса

На рисунке 2.10 представлены корневые полюса замкнутой системы автоматического регулирования.

С помощью функции pole-zero map программного обеспечения MatLab выведены четыре полюса и один ноль передаточной функции.

Основные косвенные оценки качества:

- 1) Степень устойчивости: $\eta = |\alpha_{\min}| = 3,38$
- 2) Колебательность: $\mu = \frac{\beta}{\alpha} = 0,64$
- 3) Перерегулирование: 0% и 38,8

Команда `pzplot` позволяет строить карты нулевого полюса с более широким диапазоном параметров настройки графика, чем `pzmap`. Можно использовать `pzplot`, чтобы получить дескриптор графика и использовать его для настройки графика, например, для изменения меток осей, пределов и единиц измерения. Также возмможете использовать `pzplot` для рисования графика полюс-ноль на существующем наборе осей, представленном маркером осей.

В таблице 2.2 представлены прямые оценки переходного процесса.

Таблица 2.2 - Значения оценок качества системы без регулирования

Оценка качества	Система без регулятора
Время регулирования	$T_{set} = 27,5с$
Перерегулирование	$P_{ov} = 63,8\%$
Число колебаний	$M=2$
Колебательность	$\mu = 31,9\%$
Период колебаний	$T = 3,37с$
Время достижения первого максимума	$T_p = 7,86 с$
Время нарастания	$T_r = 2,03с$
Декремент затухания	$\chi = 2,45$
Установившаяся ошибка	$e_{ss} = 1/2$

2.3 Регулирование с использованием PID регулятора

Пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор проще говоря PID регулятор — устройство, находящийся в управляющем контуре с использованием обратной связью. Применяется в системах автоматического регулирования для создания управляющего сигнала для того, чтобы получить необходимые точности и качества переходного процесса.

Формула П-регулятора имеет вид:

$$u(t) = k_p e(t), \quad (16)$$

где k_p - коэффициент усиления пропорциональной составляющей.

Симуляция регулирования PID регулятора будет происходить при помощи программного обеспечения Matlab Simulink.

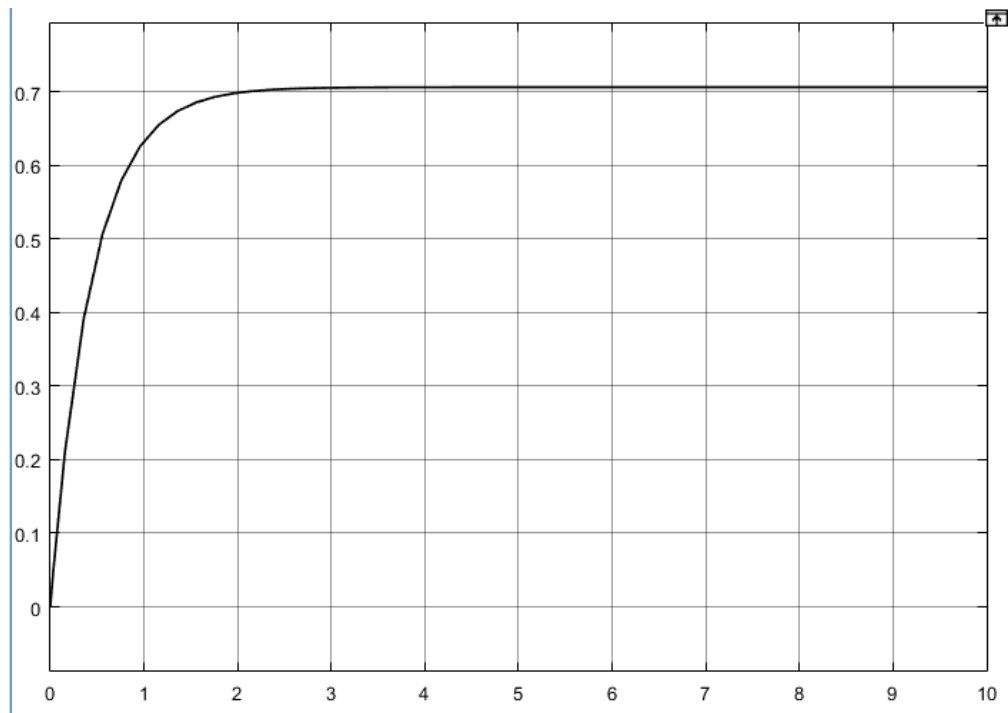


Рисунок 2.11 – Переходной график системы с Р регулированием

На рисунке 2.11 представлен график переходного процесса с использованием Р регулятора

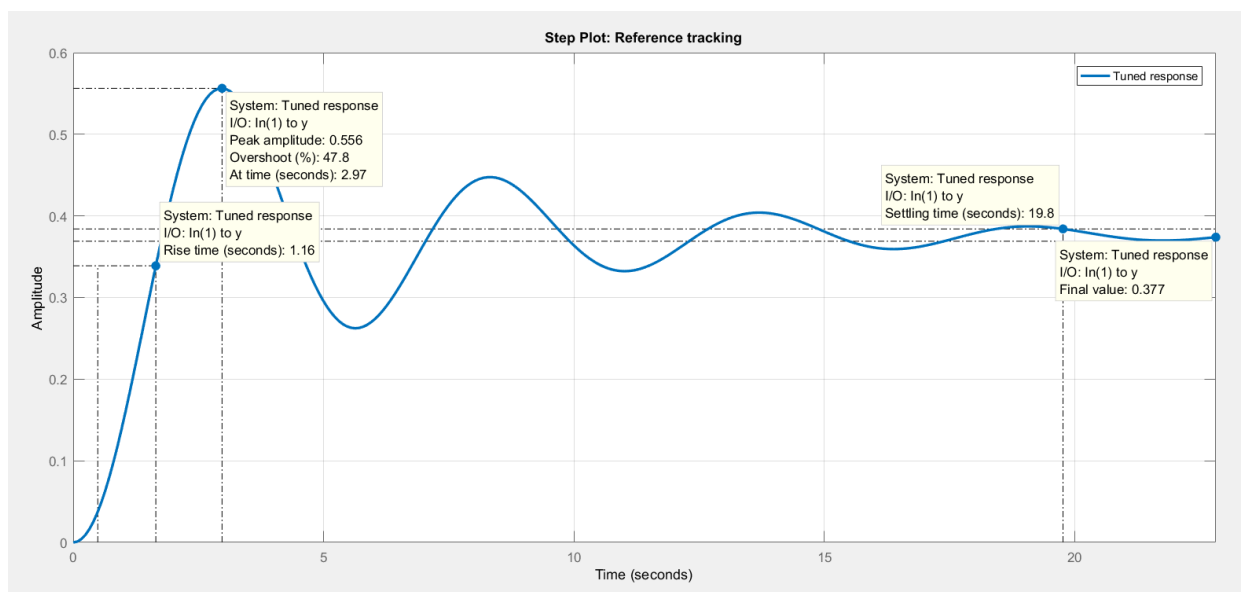


Рисунок 2.12 – Оценки качества системы с Р регулятором

На рисунке 2.12 показан переходной процесс замкнутой системы с использованием Р регулятора.

В таблице 2.3 представлены прямые оценки переходного процесса с использованием Р регулятора.

Таблица 2.3 - Значения оценок качества системы с Р регулятором

Оценка качества	Система без регулятора
Время регулирования	$T_{set} = 19,8с$
Перерегулирование	$P_{ov} = 47,8\%$
Число колебаний	$M=2$
Колебательность	$\mu = 25,9\%$
Период колебаний	$T = 3,21с$
Время достижения первого максимума	$T_p = 2,97 с$
Время нарастания	$T_r = 1,16с$

При помощи Р регулятора удалось уменьшить время регулирования и время нарастания, а также процент перерегулирования. Однако данный регулятор не смог избавить систему от ошибки, так как переходной процесс не достиг значения единицы. Именно по этой причине в данной системы автоматического управления использование Р регулятора не целесообразно.

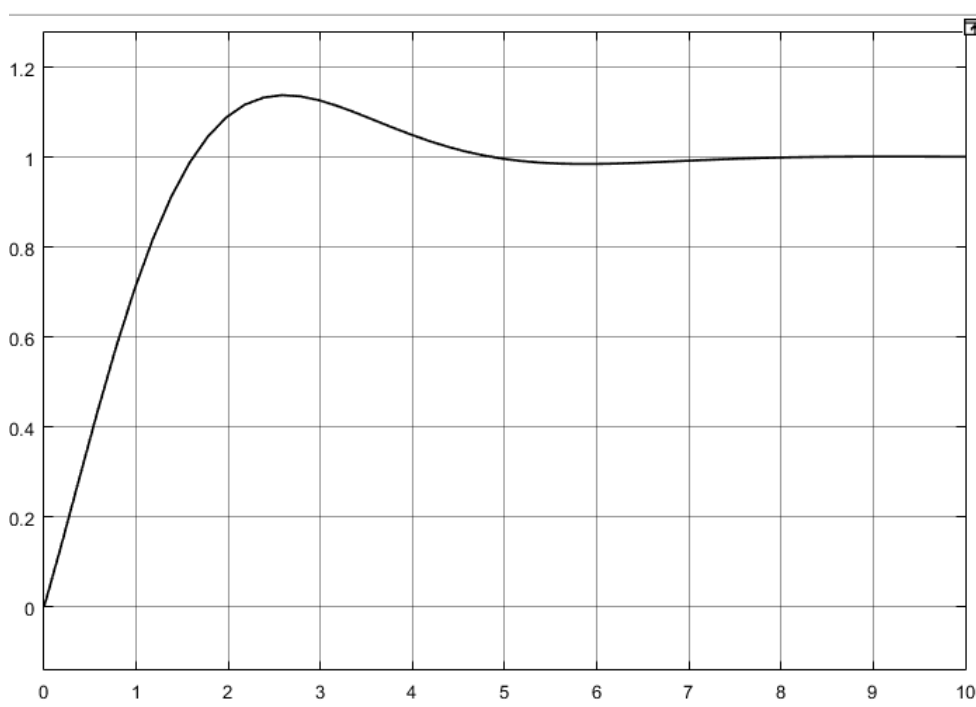


Рисунок 2.13 – Переходной график системы с PI регулированием

На рисунке 2.13 представлен переходной график системы с PI регулированием.

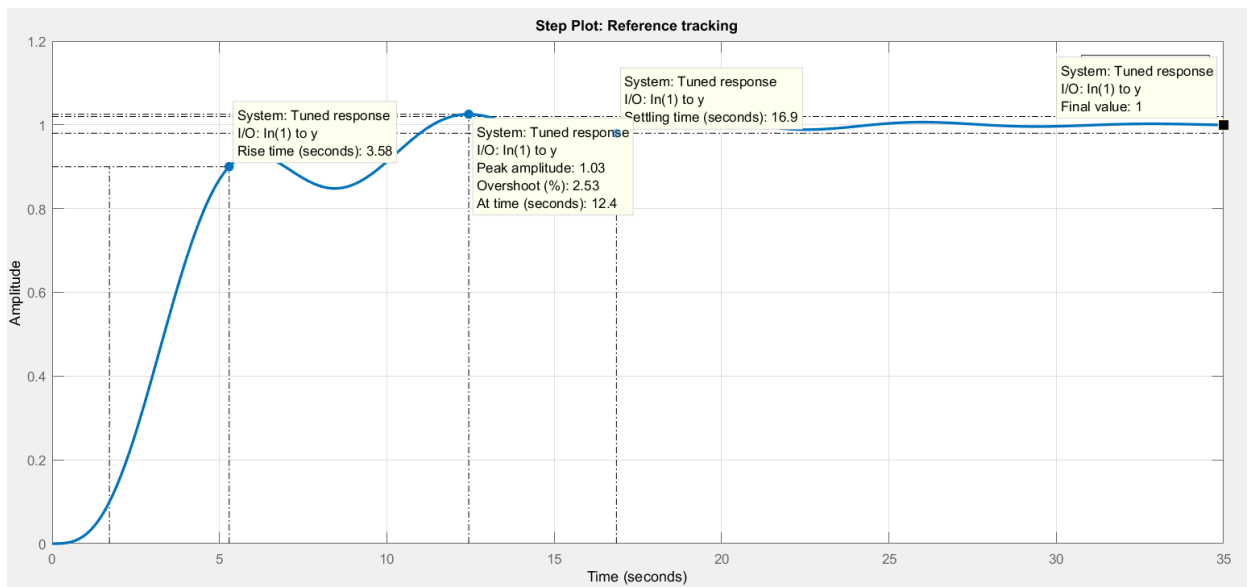


Рисунок 2.14 – Оценки качества системы с PI регулятором

На рисунке 2.11 показан переходной процесс замкнутой системы с использованием PI регулятора.

В таблице 2.4 представлены прямые оценки переходного процесса с использованием PI регулятора.

Таблица 2.4 – Значения оценок качества системы с PI регулятором

Оценка качества	Система без регулятора
Время регулирования	$T_{set} = 16,9c$
Перерегулирование	$P_{ov} = 2,53\%$
Число колебаний	$M=2$
Колебательность	$\mu = 18,3\%$
Период колебаний	$T = 3,21c$
Время достижения первого максимума	$T_p = 12,4 c$
Время нарастания	$T_r = 3,58c$

При помощи PI регулятора удалось уменьшить время регулирования и время нарастания, а также значительно уменьшить процент перерегулирования. Также данный регулятор смог полностью избавить систему от ошибки, так как переходной процесс не достиг значения единицы. Именно по этой причине в данной системы автоматического управления использование P регулятора не целесообразно.

И наконец было исследовано влияние PID регулятора на систему.

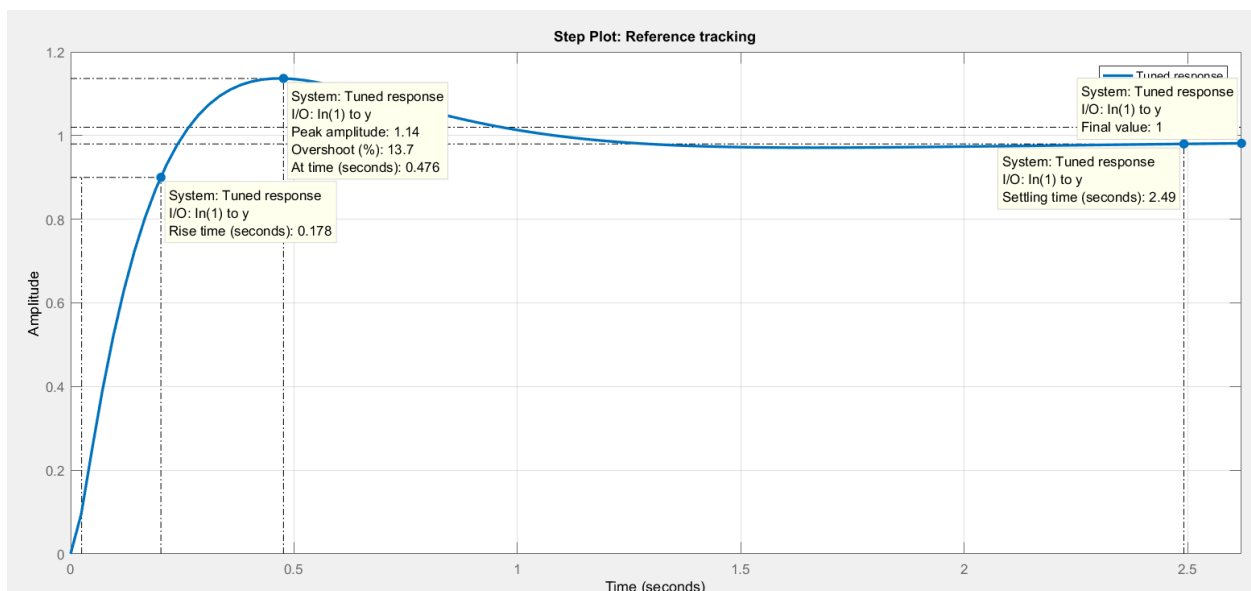


Рисунок 2.13 – Оценки качества системы с PID регулятором

Таблица 2.5 – Значения оценок качества системы с PID регулятором

Оценка качества	Система без регулятора
Время регулирования	$T_{set} = 2,49c$
Перерегулирование	$P_{ov} = 13,7\%$
Время достижения первого максимума	$T_p = 0,476c$
Время нарастания	$T_r = 0,178c$

В таблице 2.5 представлены оценки качества замкнутой системы с использованием PID регулятора. По данным оценкам качества видно, что PID регулятор значительно снизил время регулирования и время нарастания, а главное регулятор установил значение переходного процесса на значение равной единице.

Пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор — устройство в управляющем контуре с обратной связью. Используется в системах автоматического управления для формирования управляющего сигнала с целью получения необходимых точности и качества переходного процесса. ПИД-регулятор формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трёх слагаемых, первое из которых пропорционально разности входного сигнала и сигнала обратной связи, второе — интегралу сигнала рассогласования, третье — производной сигнала рассогласования.

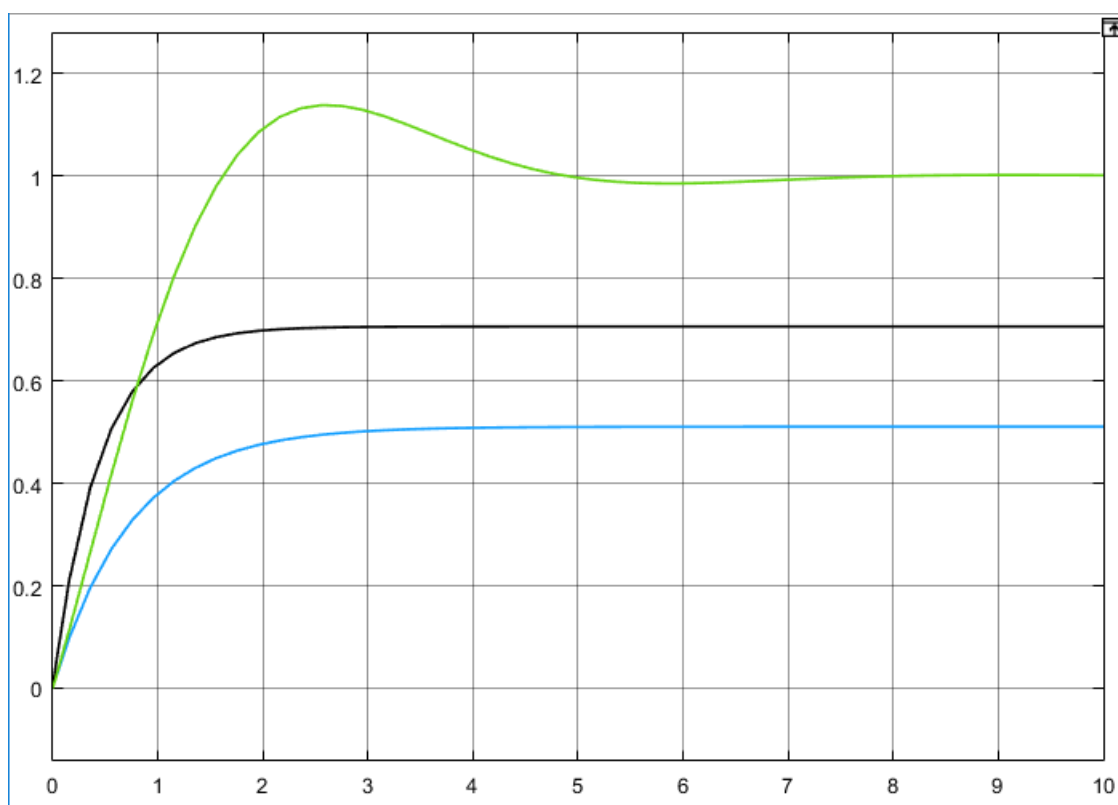


Рисунок 2.14 – Общая переходная характеристика системы

На рисунке 2.14 показана переходная характеристика системы с использованием P, PI, PID, а также без использования регулирования.

Зеленым цветом помечен система с PID и PI регулированием, черным цветом покрашена система с использованием P регулятора и синем цветом помечена система без регулирования.

По данным таблиц 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, а также рисунка 2.14 можно сделать вывод о том, разработанная система автоматического регулирования секции теплообменника ректификационной колонны имеет наилучшие показатели с использованием PID регулятора.

3 Аппаратная часть

3.1 Программирование PID регулятора на Tia Portal

После подбора средств автоматики и выбора регулятора необходимо написать программу для контроллера. В качестве контроллера выбран Simatic S7-1200 от компании Siemens. ПЛК серии Simatic S7-1200 — это новейшее поколение микроконтроллеров Siemens, предназначенные для решения самых разнообразных задач автоматики малого уровня. Главными достоинствами ПЛК Simatic S7-1200 является удобная и компактная конструкция, относительно небольшая стоимость, и обширный набор команд. Все эти достоинства позволяют решать обширный спектр задач автоматизации и управление технологическими процессами.

На контроллере Simatic S7-1200 будет спrogramмирован PID регулятор для замкнутой системы в 11. Для этой цели использована интегрированная среда разработки Tia portal.

В первую очередь для написания программы необходимо сконфигурировать контроллер в программном обеспечении Tia portal.

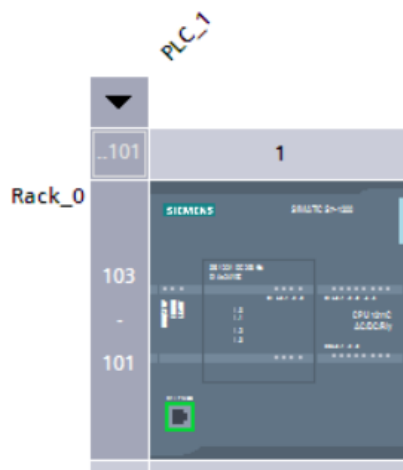


Рисунок 3.1 – Конфигурирование оборудования

На рисунке 3.1 представлено конфигурирование оборудования. Был выбран ПЛК Simatic S7-1200 с процессором CPU 1211C. Также одним из главных преимуществ контроллера серии S7-1200 является то, что не нужны дополнительные слоты для аналоговых и дискретных входов/выходов. Все находится непосредственно на самом контроллере. Связь между Tia portal и контроллером будет осуществляться через протокол Profinet.

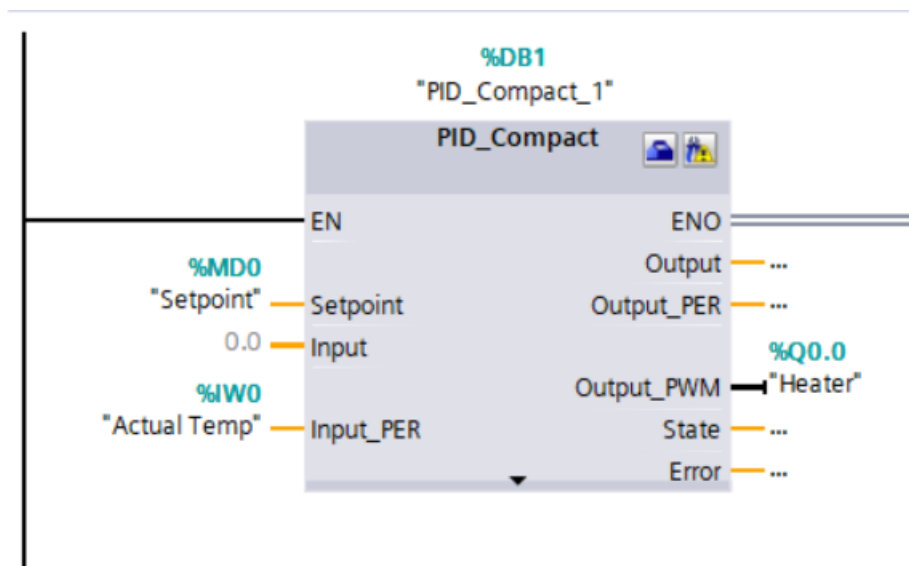


Рисунок 3.2 – ПИД регулятор PID_Compact

На рисунке 3.2 представлен блок ПИД регулятор PID_Compact. Данный блок позволяет симулировать работу реального ПИД контроллера замкнутой системы (11).

В данном случае блок PID_Compact имеет два входа и один выход. Во входе Setpoint находится установленное значение температуры. Значение, которому необходимо придерживаться. На входе Actual Temp текущее значение температуры. Соответственно на выходе Heater выводится конечное значение.

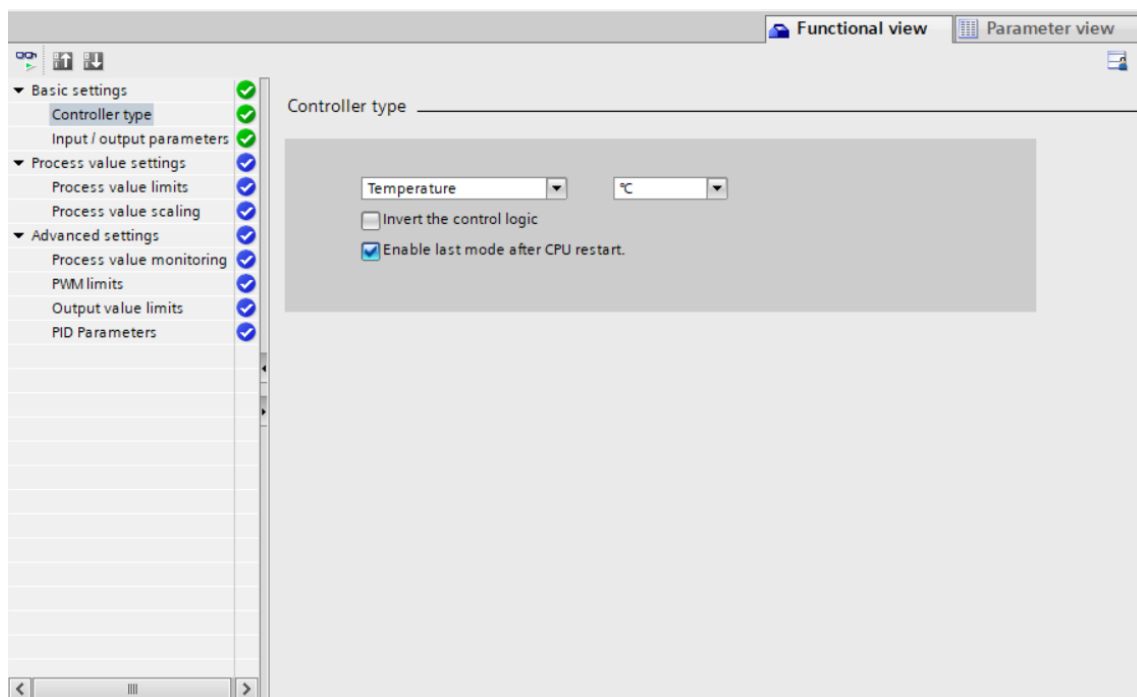


Рисунок 3.3 – Настройка блока PID_Compact

На рисунке 3.3 показан процесс настройки блока PID_Compract. Так регулируемая величина является температура, то при настройке необходимо выбрать соответствующий тип переменной и единицу измерения температуры.

После написания программы и конфигурирования оборудования необходимо загрузить программу в контроллер.

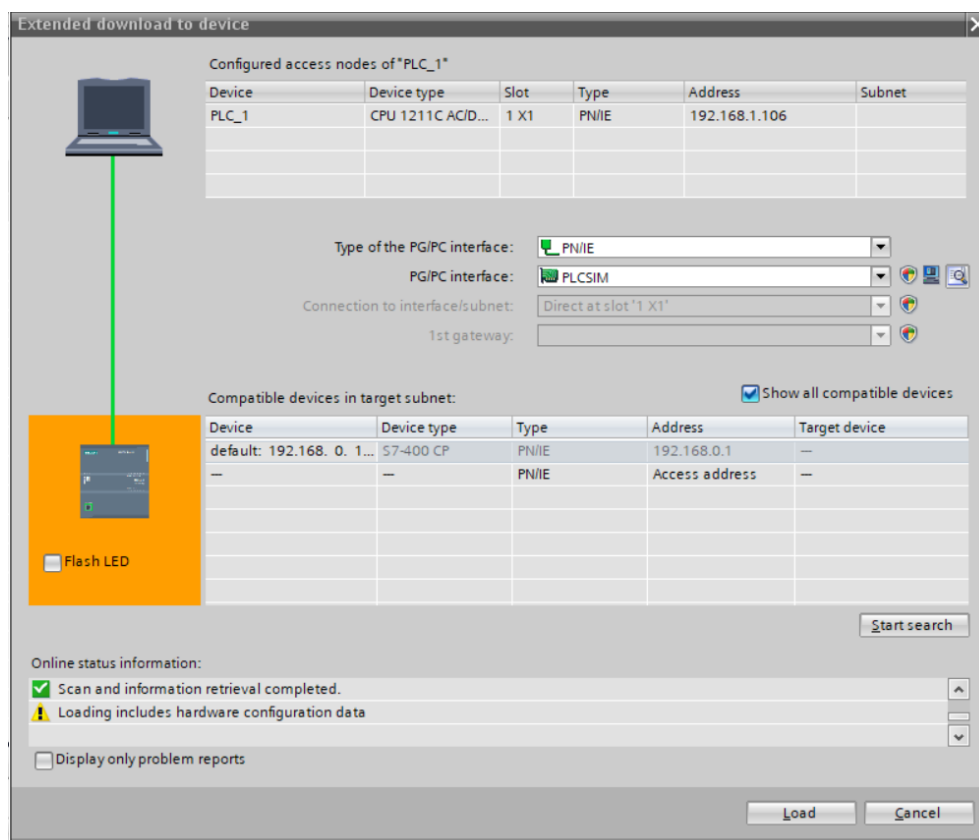


Рисунок 3.4 – Загрузка программы

На рисунке 3.4 показана загрузка программы в контроллер. PG/PC interface используется для симуляции. Для загрузки программы в реальный контроллер необходимо будет выбрать иной интерфейс.

ПЛК Simatic S7-1200 имеет собственный IP адрес. Данный IP адрес должен находиться в одной подсети с персональным компьютером. После успешной загрузки программы в ПЛК, можно начать настраивать PID регулятор.

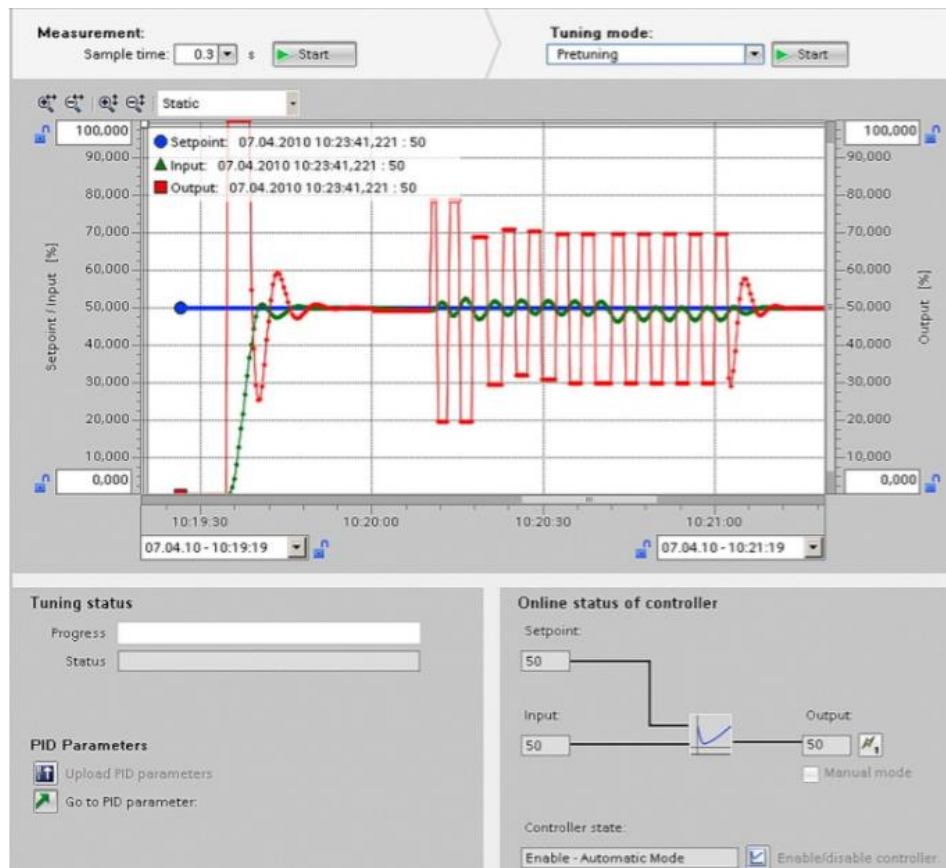


Рисунок 3.5 – График регулирования PID регулятора

На рисунке 3.5 показан график регулирования PID регулятора в программном обеспечении Tia Portal.

При помощи изменения значений в области Setpoint и Input можно добиться необходимой настройки PID регулятора. Таким образом при помощи данной программы можно настраивать реальные PID регуляторы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном дипломном проекте были реализованы следующие задачи:

Разработана система автоматического регулирования секции теплообменников ректификационной колонны нефтяной отрасли

В процессе разработки системы были изучены особенности технологического процесса теплообменника, а также рассмотрены различные способы автоматического регулирования теплообменником.

Разработана функциональная и структурная схемы для теплообменника. Выбраны необходимые средства для разработки системы автоматического регулирования.

Были исследованы динамические свойства разомкнутой и замкнутой систем и получены результаты моделирования в временной и частотной областях. А также найдены и проанализированы оценки качества системы и проведен сравнительный анализ главных оценок качеств с Р, PI и PID регуляторами.

Написана программа регулятора в программном обеспечении Tia portal. Данная программа может быть залита в реальный контроллер и с помощью него можно эффективно настраивать PID регулятор.

Для разработки системы автоматического регулирования, произведено математическое моделирование теплообменника, исследование системы без регулятора, с Р, PI и PID регуляторами и выбран наилучший вариант. Также была написана программа PID регулятора в программном обеспечении Tia portal.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бесекерский В. А., Попов Е. П. - Теория систем автоматического управления – С-П.: Профессия, 2004. – с. 214-216.
- 2 ГОСТ 21.208-2013. Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Условные обозначения приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: Изд-во стандартов, 2013.
- 3 Настройка типовых регуляторов по методу Циглера–Никольса: Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов / О.С. Вадутов. – Т.: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 10 с.
- 4 ГОСТ 21.408-2013. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов. – М.: Изд-во стандартов, 2013.
- 5 Андреев Е. Б., Ключников А. И., Кротов А. В., Попадько В. Е., Шарова И. Я., - Автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа. – В.: Изд-во Москва Недра, 2007. – 400 с.
- 6 Байков Н. М. Сбор, транспорт и подготовка нефти. – М.: Недра, 1975. – 168 с.
- 7 Розин В. Е., Коган Л. Б. Автоматизация технологических процессов. – Л.: Химия, 2018. – 235 с.
- 8 Розин В. Е., Коган Л. Б. Автоматизация технологических процессов. – Л.: Химия, 1982. – 235 с.
- 9 Purro V., Sedjakin A. Автоматизация процессов // Электронная версия на сайте <http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/134.html>.
- 10 Ким Д. П. Теория Автоматического Управления. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. — с. 90-92.
- 11 Sayda A. F., Taylor J. H. Modeling and Control of Three-Phase Gravity Separators in Oil Production Facilities. American Control Conference, 2007 – pp. 4847-4853.
- 12 Черножуков Н. И. Технология переработки нефти и газа. - М.: Химия, 2005. – 378 с.
- 13 Wu K., Yu C, Cheng Y. A two degree of freedom level control. Journal of Process Control, 2001 – pp 311-319.
- 14 Проскурякова В.А. Химия нефти и газа - СПб: Химия, 2005. – 358 с.
- 15 ГОСТ 21.208-2013 – Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации.

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: Свичкарь Алексей Сергеевич

Название: Разработка системы автоматического регулирования секции теплообменников ректификационной колонны нефтяной отрасли

Координатор: Ширяева Ольга Ивановна

Коэффициент подобия 1: 5.5

Коэффициент подобия 2: 0.5

Коэффициент цитирования: 0.38

Замена букв: 0

Интервалы: 0

Микропробелы: 0

Белые знаки: 0

Парафразы: 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 и 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:

.....

.....10.05.2022...

Дата

..........

Подпись научного руководителя

**Протокол анализа Отчета подобия
Заведующего кафедрой / Начальника структурного подразделения**

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с полным отчетом подобия, который был сгенерирован системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Свичкарь Алексей Сергеевич

Название: Разработка системы автоматического регулирования секции теплообменников ректификационной колонны нефтяной отрасли

Координатор: Ширяева Ольга Ивановна

Коэффициент подобия 1: 5.5

Коэффициент подобия 2: 0.5

Коэффициент цитирования: 0.38

Замена букв: 0

Интервалы: 0

Микропробелы: 0

Белые знаки: 0

Парафразы: 0

После анализа Отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем работа признается самостоятельной и допускается 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 и 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 работа не допускается к защите.

Обоснование:

Протокол анализа Отчета подобия
Заведующего кафедрой / Начальника структурного подразделения

[illegible]

Дата _____ Подпись _____
кафедрой / начальника структурного подразделения _____

Подпись заведующего

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Рисунки прилагается 11.09.2013

13.05.2013

Дата

Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

11.09.2013

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект студента
Свичкарь Алексей Сергеевича
5B070200 – Автоматизация и управление

На тему: Разработка системы автоматического регулирования секции теплообменников ректификационной колонны нефтяной отрасли выполнено:

а) пояснительная записка на 44 страницах.

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В пояснительной записке, представленной на рецензирование, показана разработка системы автоматического регулирования температуры в теплообменнике.

В первой главе произведено моделирование системы автоматического управления. Рассмотрены объект управления, устройства регулирования.

Во второй главе проведен анализ системы автоматического регулирования температурой в теплообменнике. Проведены анализ устойчивости различными способами, также выведены прямые оценки качества переходного процесса замкнутой системы автоматического регулирования. Был внедрен в систему Р, PI и PID регуляторы и проведен сравнительный анализ работы системы с каждым из регуляторов и выбран PID регулятор как самый эффективный.

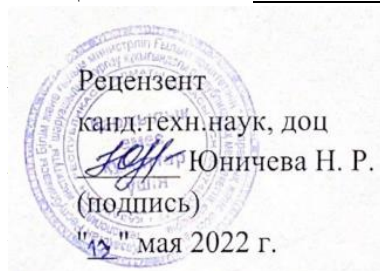
В третьей главе была написана программа регулятора для системы автоматического регулирования секции теплообменника в программном обеспечении Tia Portal и выведен график PID регулятора.

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

Данный дипломный проект отличает проработанность, научноисследовательский подход и полноту изложенного теоретического материала. Приведенные исследования доказывают отличную теоретическую подготовку дипломанта.

Оценка работы

Считаю, что дипломный проект заслуживает оценки « », а студент Свичкарь А. С. присуждения академической степени бакалавра по специальности 5B070200 – Автоматизация и управление.



**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На дипломный проект

Свичкарь Алексея Сергеевича

5B070200 – Автоматизация и управление

Тема: «Разработка системы автоматического регулирования секции теплообменников ректификационной колонны нефтяной отрасли»

Перед дипломантом ставилась задача разработки системы автоматического регулирования температуры в секции теплообменника в ректификационной колонне с применением программ «Matlab», «Simulink», а также Tia Portal.

В ходе выполнения дипломного проекта была выполнена большая работа по сбору материала для описания функционирования системы автоматического управления температурой в теплообменнике. Согласно данному методу, была составлена схема системы автоматического регулирования температуры в теплообменнике, подобраны устройства управления и регулирования.

В соответствии с системой, к каждому выбранному оборудованию были выведены свои математические модели и в следствии передаточные функции. По составленным функциональной и структурной схемам были выведены передаточные функции замкнутой системы.

Далее в среде «Matlab» был произведен анализ системы автоматического регулирования температурой в теплообменник. После анализа в систему были включены последовательно P, PI и PID – регуляторы и начался синтез. Регуляторы были настроены с помощью Tunner. В связи с наиболее подходящими результатами выбран PID – регулятор. После того, как желаемые параметры были достигнуты, было произведено сравнение системы с регулятором и без него. Также была написана программа PID регулятора и выведен его график в программном обеспечении Tia Portal.

В процессе работы автор проекта показал себя дисциплинированным, исполнительным и трудолюбивым с высоким уровнем теоретической подготовки.

Заключение: считаю, что дипломант справился с поставленной задачей, дипломный проект соответствует требованиям, предъявляемым к дипломным проектам по специальности 5B070200 – Автоматизация и управление. На основании характеристики выполненных исследований, уровня и качества выполненных результатов студент Свичкарь Алексей Сергеевич допускается к защите.

Научный руководитель
ассоциированный профессор, канд.техн.наук

(подпись) Ширяева О.И.
«11» мая 2022 г.