

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизации и управления

Алимов Ернар Муратович

«Интеллектуальная система автоматизированного управления
процессом конвентирования медных штейнов»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность: 5В070200 - Автоматизация и управление

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизации и управления



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой АиУ

к.ф.м.н., ассоц.профессор

Алдияров Н.У.

2022 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Интеллектуальная система автоматизированного управления процессом конвентирования медных штейнов»

По специальности: 5В070200 - Автоматизация и управление

Выполнил

Алимов Е.М.

Рецензент

Доктор технических наук,
профессор

Битеев Ш.Б.
«10» 2022 г.



Научный руководитель

Канд., технических наук,
профессор

Кошимбаев Ш.К.
«14» 2022 г.



Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

5В070200 - Автоматизации и управления



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающийся Алимов Ернар Муратович

Тема «Интеллектуальная система автоматизированного управления процессом конвертирования медных штейнов»

Утвержден приказом Ректора Университета №489-П/Ө от «24» декабря 2021 г.

Срок сдачи законченной работы: «__» мая 2022 г.

[1] Исходные данные к дипломной работе: Mark E. Schlesinger; Kathryn C. Sole, Converting of cooper matte; In book: Extractive Metallurgy of Cooper, 2022; pp.185-229.

Краткое содержание дипломной работы: а) описание технологического процесса конвертирования медных штейнов; б) анализ динамических свойств замкнутой АСУ ТП; в) разработка структурной и функциональной схем АСУ ТП.

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

Рекомендуемая основная литература:

[2] Mark E. Schlesinger; Kathryn C. Sole, Converting of cooper matte; In book: Extractive Metallurgy of Cooper, 2022; pp.185-229

[3] Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. С - П.: Профессия., 2004. - 752с.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект
Алимов Ернар Муратович
5B070200 – Автоматизация и управление

На тему: Интеллектуальная система автоматизированного управления
процессом конвертирования медных штейнов

Выполнено: пояснительная записка на 37 страницах

В рецензируемом дипломном проекте рассматривается актуальная задача разработки интеллектуальной системы автоматизированного управления процессом конвертирования медных штейнов.

В первой части данного дипломного проекта была изучена технологическая часть процесса конвертирования, с описанием продуктов конвертирования и выбором технических средств автоматизации.

Во второй части была разработана структурная схема, функциональная схема и процесс конвертирования был рассмотрен в качестве объекта управления. Была разработана и смоделирована САР объекта управления, были успешно подобраны регуляторы для САР процесса конвертирования.

В третьей части была рассчитана экономическая часть, где удалось обосновать, что внедрение автоматизации способствует интенсификации производства и в дальнейшем она дает существенный экономический эффект.

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

Оценка работы

Считаю, что дипломный проект заслуживает оценки «хорошо», а студент Алимов Е.М. присвоения академической степени бакалавр по специальности 5B070200 – Автоматизация и управление.

Рецензент

Доктор технических наук, профессор

Битеев Ш.Б.

«16» мая 2022 г.



ОТЗЫВ РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломный проект
Алимов Ернар Муратович
5B070200 – Автоматизация и управление

На тему: Интеллектуальная система автоматизированного управления
процессом конвертирования медных штейнов

Выполнено: пояснительная записка на 37 страницах

В данном дипломном проекте рассматривается актуальная задача разработки интеллектуальной системы автоматизированного управления процессом конвертирования медных штейнов.

Дипломная работа состоит из трех основных глав.

В первой главе данного дипломного проекта была изучена технологическая часть процесса конвертирования, с описанием продуктов конвертирования и выбором технических средств автоматизации.

Во второй главе была разработана и смоделирована САР объекта управления, были успешно подобраны регуляторы для САР процесса конвертирования. Была разработана структурная схема, функциональная схема и процесс конвертирования был рассмотрен в качестве объекта управления.

В третьей части была рассчитана экономическая часть, где удалось обосновать, что внедрение автоматизации способствует интенсификации производства и в дальнейшем она дает существенный экономический эффект.

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

Оценка работы

Считаю, что дипломный проект заслуживает оценки «хорошо», а студент Алимов Е.М. присвоения академической степени бакалавр по специальности 5B070200 – Автоматизация и управление.

Рецензент

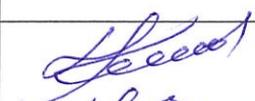
Канд. технических наук, профессор



Кошимбаев Ш.К.

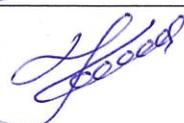
«16» мая 2022 г.

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Технологический раздел	28 февраля 2022 г.	
Специальный раздел	25 апреля 2022 г.	

Подписи

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

Наименования разделов	Научный руководитель, консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологический раздел	Кошимбаев Ш.К. доктор технических наук, профессор		
Программный раздел	Кошимбаев Ш.К. доктор технических наук, профессор		
Нормоконтролер	Сарсенбаев Н.С. ассистент профессор	18.05.22.	

Научный руководитель  Кошимбаев Ш.К.

Задание принял к исполнению обучающийся  Алимов Е.М.

Дата "24" декабря 2021 г

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: АЛИМОВ Е.

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Интеллектуальная система автоматизированного управления процессом конвентирования медных штейнов

Научный руководитель: Шамиль Кошимбаев

Коэффициент Подобия 1: 11.3

Коэффициент Подобия 2: 3.1

Микропробелы: 1

Знаки из здругих алфавитов: 11

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: АЛИМОВ Е.

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Интеллектуальная система автоматизированного управления процессом конвентирования медных штейнов

Научный руководитель: Шамиль Кошимбаев

Коэффициент Подобия 1: 11.3

Коэффициент Подобия 2: 3.1

Микропробелы: 1

Знаки из других алфавитов: 11

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата

проверяющий эксперт

АНДАТПА

Бұл тезисте мыс штейндерін түрлендірудің технологиялық процесі зерттелді.

Дипломдық жұмыстың бірінші бөлімінде мыс штейндерін түрлендірудің технологиялық процесі қарастырылады. Мыс түрлендіргіші басқару нысаны ретінде таңдалды, ол мыс штейндерін түрлендіру кезінде ең маңызды қондырғы болып табылады. Сондай-ақ, төменгі және жоғарғы деңгейлерді автоматтандырудың техникалық құралдары таңдалды.

Дипломдық жұмыстың екінші бөлімінде алынған құрылымдық схема мен беріліс функциясы бар басқару объектісінің математикалық моделі жасалды. Басқару объектісінің өтпелі процесінің графиктері алынды, математикалық модельдің динамикалық қасиеттеріне талдау жасалды, жүйенің тұрақтылығы тексерілді, жүйенің өтпелі процесінің сапасына тікелей және жанама баға берілді. Алынған нәтижелер негізінде есеп шығарылды және жүйенің көрсеткіштерін жақсарту үшін PID реттегіші салынды.

Дипломдық жұмыстың үштен бір бөлігінде мыс штейндерін айырбастау процесін басқарудың зияткерлік жүйесін әзірлеу тиімділігінің негізділігі көрсетілді, сондай-ақ мыс штейндерін айырбастау процесі үшін автоматтандырылған басқару жүйесін енгізу құны есептелді.

Қорытындыда орындалған жұмыстың қорытындылары шығарылады, мыс штейндерін айырбастау процесі үшін автоматтандырылған басқару жүйесін енгізудің артықшылықтары негізделеді.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе был исследован технологический процесс конвертирования медных штейнов.

В первой части дипломной работы рассматривается технологический процесс конвертирования медных штейнов. В качестве объекта управления был выбран медный конвертер, являющийся самым главным агрегатом при конвертировании медных штейнов. Также были выбраны технические средства автоматизации нижнего и верхнего уровней.

Во второй части дипломной работы была построена математическая модель объекта управления, при полученной структурной схеме и передаточной функции. Были получены графики переходного процесса объекта управления, был произведен анализ динамических свойств математической модели, произведена проверка на устойчивость системы, получение прямых и косвенных оценок качеств переходного процесса системы. На основе полученных результатов была произведена постановка задачи и построен ПИД-регулятор для улучшения показателей системы.

В третьей части дипломной работы была показана обоснованность эффективности разработки интеллектуальной системы управления процессом конвертирования медных штейнов, а также произведен расчет стоимости внедрения автоматизированной системы управления для процесса конвертирования медных штейнов.

В заключении подводятся итоги выполненной работы, обосновываются преимущества внедрения автоматизированной системы управления для процесса конвертирования медных штейнов.

ANNOTATION

In this thesis, the technological process of converting copper matte was investigated.

In the first part of the thesis, the technological process of converting copper matte is considered. A copper converter was chosen as the control object, which is the most important unit for converting copper matte. Technical automation tools of the lower and upper levels were also selected.

In the second part of the thesis, a mathematical model of the control object was constructed, with the resulting block diagram and transfer function. Graphs of the transient process of the control object were obtained, the dynamic properties of the mathematical model were analyzed, the stability of the system was checked, direct and indirect assessments of the qualities of the transient process of the system were obtained. Based on the results obtained, the task was formulated and a PID controller was built to improve the system's performance.

In the third part of the thesis, the validity of the effectiveness of the development of an intelligent control system for the conversion of copper matte was shown, and the cost of implementing an automated control system for the conversion of copper matte was calculated.

In conclusion, the results of the work performed are summarized, the advantages

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	11
1	Технологический процесс конвертирования медных штейнов	12
1.1	Современное состояние конвертирования медных штейнов	12
1.2	Процесс конвертирования медных штейнов	13
1.3	Описание продуктов конвертирования	15
1.4	Выбор технических средств автоматизации	17
2	Расчетная часть	18
2.1	Разработка схем и моделирование процесса конвертирования медных штейнов	18
2.2	Получение результатов моделирования разомкнутой системы управления медным конвертором	22
2.3	Анализ динамических свойств АСУ ТП медного конвертора	26
2.4	Оценки качества переходного процесса АСУ ТП конвертора	29
2.5	Построение ПИД-регулятора для процесса конвертирования медных штейнов	33
2.6	Нейро-нечеткий регулятор	36
3	Экономическая часть	40
	Заключение	43
	Список использованной литературы	44

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день большинство автоматизированные систем большинства металлургических предприятий стали неэффективными. С развитием новейших технологий становится актуальным вопрос о внедрении интеллектуальных систем управления. Интеллектуальные системы управления дают возможность эффективной работоспособности системы при малых затратах.

Целью данной работы является разработка интеллектуальной системы автоматизированного управления процессом конвертирования медных штейнов. Существующие системы управления конвертирования медных штейнов попросту устарели и не являются эффективными.

Актуальность работы заключается в том, что конвертирования медных штейнов нуждается в автоматическом регулировании.

На основе изученного теоретического материала будет рассмотрен процесс конвертирования медных штейнов, будут описаны продукты конвертирования. Также будет рассматриваться выбор средств автоматизации.

В качестве объекта управления будет рассматриваться медный конвертер. На основе структурной схемы и передаточной функции отдельных звеньев, будет построена математическая модель объекта управления. Также будут получены графики переходного процесса, будет произведен анализ динамических свойств математической модели.

В данном дипломном проекте **задачами являются:**

-на основе желаемого результата для системы будет разработана постановка задачи управления и далее будет построен ПИД-регулятор и будут получены оценки качества.

-на основе выбора средств автоматики, будет рассчитана экономическая составляющая для внедрения АСУТП для процесса конвертирования медных штейнов.

В заключении приводятся основные полученные результаты, подводятся итоги проделанной работы.

1 Технологический процесс конвертирования медных штейнов

1.1 Современное состояние конвертирования медных штейнов

Практически все современные отрасли производства нуждаются в металлургических изделиях.

Горная добыча является одной из основных отраслей производства Казахстана. Все найденное сырье, по предварительным оценкам, имеет стоимость в 15 трлн долларов США.. Богатые природные запасы являются основой экономического благополучия Казахстана.

Традиционный двухстадийный процесс в значительной степени был заменен более новыми процессами взвешенной плавки или плавки в ванне. Они начинаются с сухого концентрата, содержащего менее 1 процента воды, который вместе с флюсом контактирует в печи с потоком кислорода или воздуха, обогащенного кислородом. Железо и сера окисляются, и тепла, выделяемого этими экзотермическими реакциями, достаточно для плавки концентрата в жидкий штейн и шлак. В зависимости от состава концентрата можно проводить плавку автогенно, т. е. без применения вспомогательного топлива, как это требуется при отражательной или электродуговой плавке. В дополнение к сокращению потребления топлива новые процессы производят относительно небольшие объемы газа, который благодаря высокому содержанию диоксида серы хорошо подходит для производства серной кислоты. Новые плавильные печи могут удерживать свыше 90 процентов серы из исходного сырья.

Таблица 1 – Производство меди по годам

	2011	2012	2013	2014	2015
Черновая медь, тонн	302 975	302 183	269 220	214 058	309 355
Медь рафинированная необработанная, нелегированная, тонн	338 524	367 161	352 061	294 808	394 641
Медная проволока, тонн	32 300	24 300	12 300	12 800	8 200

Процесс конвертирования штейна — одна из основных составляющих всего технологического производства меди, при котором медь очищается от железа, серы и других примесей. Это напрямую влияет на качество конечного продукта. Как уже известно, производители черновой меди в нашей стране используют старые способы конвертирования медного штейна, требующие технического усовершенствования. Это связано с тем, что продукт конверсии не является чистым по современным меркам, а также с тем, что энергия,

вырабатываемая экзотермическим эффектом, утилизируется не полностью, поэтому требует модернизации.

1.2 Процесс конвертирования медных штейнов

Пиromеталлургический процесс производства водянистых штейнов свинцовых, никелевых и медных заводов подвергаются процессу окисления. С целью выплавки черного или цветного металла, в частности сульфида именуется конвертированием штейна. Этот процесс протекает внутри конвертора с помощью продувки воздухом расплавленного штейна или специальным кислородом. В то время, когда потоки воздуха перемещаются сквозь расплав главным способом проходят процесс окисления сульфидами металлов, сходство их к кислороду выше, нежели к сере. Железо играет роль цветного металла в штейнах в процессе металлургии. Водянистые окислы железа формируются с помощью процесса шлакования кремнеземом, добавляющий в конвертер в роли флюса.

Диоксида кремния в шлаке содержится 22-35%, остальное составляют оксиды железа. Штейн имеет более высокую плотность, чем конвертерный шлак, поэтому он всплывает сверху и часто извлекается из конвертера. В медной промышленности процесс обмена делится на последовательные периоды. Первым делом необходимо удалить весь металл с матовой поверхности. Оставшийся слой меди подвергается окислению воздухом по следующей реакции: $Cu_s + O_2 = 2Cu + SO_2$. Этот процесс происходит во втором периоде. На основании особенностей штейна меди делаются выводы о соотношении содержания меди и железа в штейне. Более половины меди в штейне с долей сульфида железа. Поэтому продолжительность процесса конверсии напрямую связана с составом меди в штейне. В качестве альтернативы, если содержание меди в штейне низкое, то время реакции непрерывного изменения увеличивается, поэтому потери меди, шлака и пыли увеличиваются, а концентрация шлака будет выше.

Таблица 2 – Пропорциональность содержания меди и железа

Содержание меди в штейне, %	10	25	50
Прямое извлечение в черновую медь, %	65-70	90	98
Извлечение в шлак, %	25	7-8	1,7
Переход в пыль и газы, %	5-8	2-3	0,3

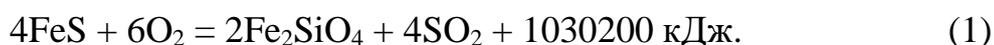
Процесс конвертации представляет собой стопроцентный автогенный процесс. Во время процесса окисления сульфидов горячего воздуха формируется предельное количество как с целью поддержания штейна в конвертере в жидкой форме, так и с целью расплавления добавляемых в расплав холодных присадок, содержащих цветные металлы. На крупных заводах в конвертеры помещают

рудный концентрат, подвергнутый для начала окатыванию, а потом и сушке. Газовые составляющие, образующиеся во время конвертации, имеют в составе часто из 3—4% SO₂ не полностью сгорают в процессе работы производства в купе с сернокислотными компонентами. Конверторные шлаки, имеют в своем составе 3% цветных металлов, являются конечным продуктом и поступают обратно в плавильные агрегаты. Конверторную пыль обычно перегоняют обратно в конверторы в пределах 20—30% цветных металлов.

Ведущей целью конвертирования считается получение темной меди методом окисления серы и железа, содержащихся изнутри конвертора. Переустройство случается методом продувки воздуха сквозь конвертер в горизонтальном преобразователе. Покрытые штейны как правило содержат сульфид меди (Cu₂S) и сульфид железа (FeS). Количество меди напрямую зависит от того, из чего состоит сырье. А оглавление плавления находится в диапазоне 10-70%. В связи с тем, собственно, что меж содержанием меди и железа в конверторе есть оборотная подневольность, его состав воздействует на технико-экономические характеристики процесса конверсии. Этих как затрата детонации, незапятнанная длительность, размер струи, а еще конвертерный шлак, оформляющий процесс термического режима.

Конвертация штейнов взаимосвязана с процессом окисления при помощи кислородом сульфидного расплава.

Все начинается с окисления сульфида железа реакцией:



До тех пор, пока же в расплаве находится важный концентрат железа, сульфид меди буквально не окисляется, спасибо реакции равновесия, которая содержит формула:



всецело перемещено направо по причине максимального соединения железа с кислородом, а также меди и серой. По предоставленной основанию в первом периоде конвертирования случается селективное окисление сульфида железа. В фурменной области по основанию условного «переизбытка» воздуха окисление сульфида железа откликается по следующему пути $2\text{FeS} \rightarrow 2\text{FeO} \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4$. По окончанию реакции при глубочайшем окислении все железо имеет возможность быть переокислено до магнетита, который при температурах конвертирования приходится в жестком состоянии (тплав магнетита равна 1590 °С). При смещении расплава воздухом станет создаваться однородная гетерогенная множество, состоящая из магнетита и остальных сульфидов. Этим образом, при предельном повторном окислении расплава, назло на буквально абсолютное окисление сульфида железа, разьединение оксидной и сохранившийся сульфидной фаз делается нецелесообразным.

Для реакции филиалы оксидов железа от сульфидов надо их акцентировать в водянистом продукте, но ни в коем случае не в жесткой форме и достигаться вполне вероятно наименьшего многократного окисления железа до магнетита и выведения его в ведущем в облике FeO по этой реакции:



Туда же подается кварц в первом отделе конвертирования. Он необходи для появления железосиликатного расплава. Вюстит разлагается, и снижается энергичность его шлака, гораздо больше, чем более сосредоточение SiO₂ в шлаке. Сокращение энергичности вюстита затормаживает процесс окисления, впрочем предупредить реакцию переокисления железа до магнетита лишь только методом добавлением кварца всецело не получается. Остаток магнетита в шлаке находится в зависимости от такого, как благорасположенные обстоятельства сделаны для того, чтобы случилась реакция (4):



повторная переработка магнетита сульфидам железа. С высочайшей скоростью предоставленный процесс начинает протекать с температуры 1200°C. По той причине, что с наращиванием температуры скорость, а еще полнота разъединения магнетита возрастают, процесс конвертирования лучше производить при очень максимально повышенных температурах. Но дело в повышении срока гарантии огнеупоров настоятельно просит сокращения трудящихся температур процесса. Их как правило сохраняют в границах 1290-1330°C.

1.3 Описание продуктов конвертирования

Конечными продуктами реакции конвертирования представляют собой черную медь, конвертный шлак и газы с большим содержанием пыли.

Конвертерные шлаки медного изготовления включают в себя %: 1,2 – 3 Cu; 20 – 28 SiO₂; 50 – 55 Fe; маленького числа CaO, MgO, Cr₂O₃, Al₂O₃. Шлаки содержат железо в облике 2-ух оксидов: FeO и Fe₃O₄. Еще здесь присутствует магнетик, имеющий возможность переменяться в достаточно широких границах 10-30 %.

Преобразования меди в черную медь при конвертировании ключевым образом находится в зависимости от конечного конвертерного шлака и сосредоточении в нем меди. Последний компонент конвертерного шлака делается меньше с переработкой штейна медью, и, не обращая внимания на некоторое количество повышенное оглавление меди в наименьшем размере шлака, ее филиале при конвертировании роскошных штейнов возрастает.

Конвертирование штейнов считается достаточно действенным ходом. Характеризуется он высочайшим коэффициентом расходования воздуха дутья, высоким коэффициентом выработки при работе в режиме дутья. Процесс всецело случается в процессе образования теплоты из-за сульфидного окисления может быть описан получением с высокой концентрацией оксида серы (10-14%) изначальных газов. Происходит реализация этих нужных технологических запросов, которые представляются реакции плавки, как напряженный глобальный и температурный обмены, а еще подходящие обстоятельства для протекания процесса коалесценции маленьких сульфидных частей при смешивании шлака со штейном.

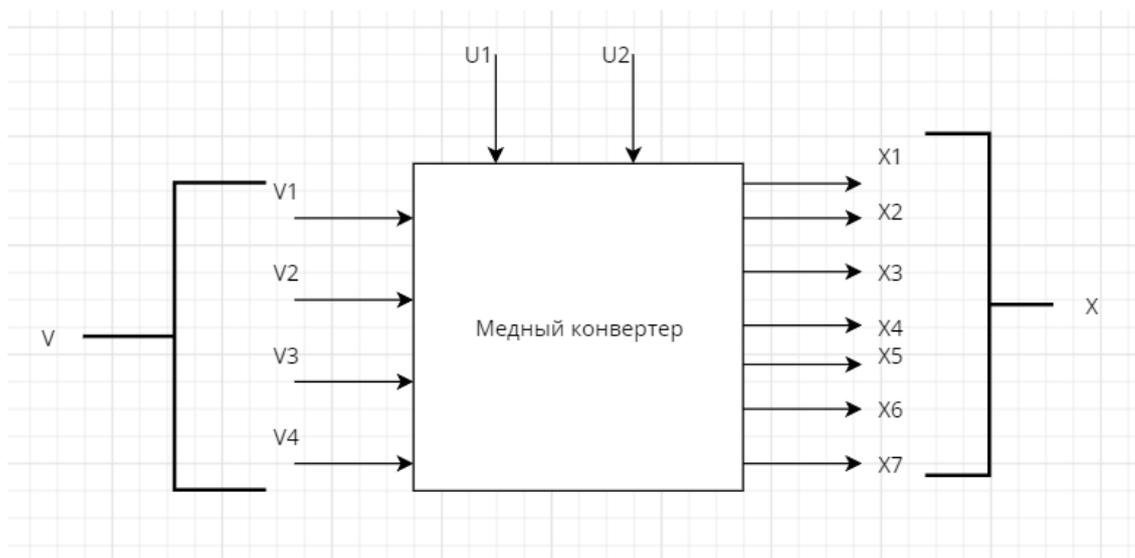


Рисунок 1.2 – Медный конвертер как объект управления

На рисунке 1.2 изображен медный конвертер как объект управления. Обозначены:

- группа входов управления величин U ,
 - группа входов возмущения величин V ,
 - группа выходов величин X
- Группа V ($V1, V2, V3, V4$) состоит из:
- $V1$ - концентрация серы в конверторе (%)
 - $V2$ - концентрация меди в конверторе (%)
 - $V3$ - концентрация железа в конверторе (%)

Группа U ($U1, U2, U3$):

- $U1$ - расход дутья;
- $U2$ - содержание кислорода в дутье
- $U3$ – количество загружаемого флюса.

Группа X ($X1; X2; X3; X4; X5; X6$)

- $X1$ - количество меди в конверторном шлаке (%)
- $X2$ - содержание меди в черновой меди (т)
- $X3$ - количество конверторного шлака (т)

- X4 – количество черновой меди (т)
- X5 – массовая доля серы в выходящих газах (%)
- X6 - температура выходящих газов (С);
- X7 – количество выходящих газов

1.4 Выбор технических средств автоматизации

В нынешних АСУТП металлургии есть 3 основных управляющих уровня:

1. управляющий аппаратами;
2. управляющий переделами;
3. управляющий цехами;

На каждом уровне будет стоять своя централизованная станция управления Exregion PKS с PCY контроллерами Honeywell C300. На каждом отдельном участке будет стоять локальная система с контроллерами Honeywell Control Edge, данные с которых будут поступать на PCY контроллер C300 по протоколу FTE, Fault Tolerant Ethernet. Данный протокол является универсальной разработкой компании Honeywell, минимизируя риски потери связи и потери сигналов. SCADA система также будет соединена с контроллерами C300 по протоколу FTE. Архитектура представлена на рисунке 1.3.

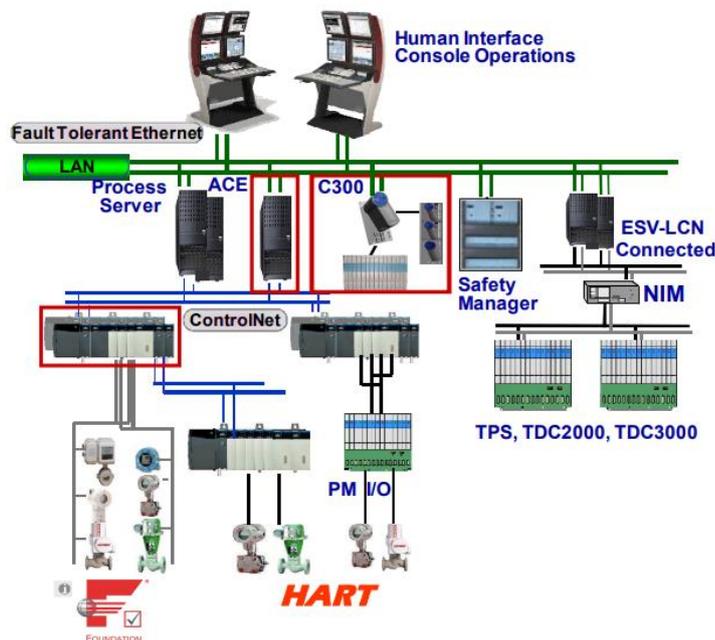


Рисунок 1.3 – Архитектура средств автоматизации

На рисунке 1.3 показана архитектура выбранных средств автоматизации.

2 Расчетная часть

2.1 Разработка схем и моделирование процесса конвертирования медных штейнов

Объектом управления был выбран медный конвертер, играющий важнейшую роль в процессе конвертирования медных штейнов. Конструкция данного конвертера показана на рисунке 2.1

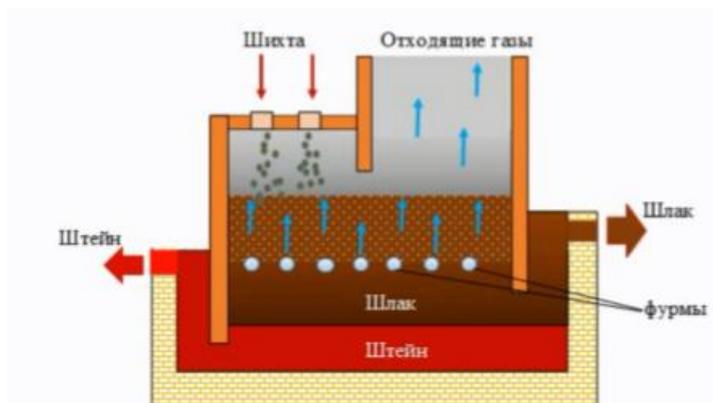


Рисунок 2.1 – Конструкция медного конвертера

На рисунке 2.1 показана конструкция медного конвертера.

На рисунке 2.2 показана принципиальная схема системы управления процессами в медном конвертере.

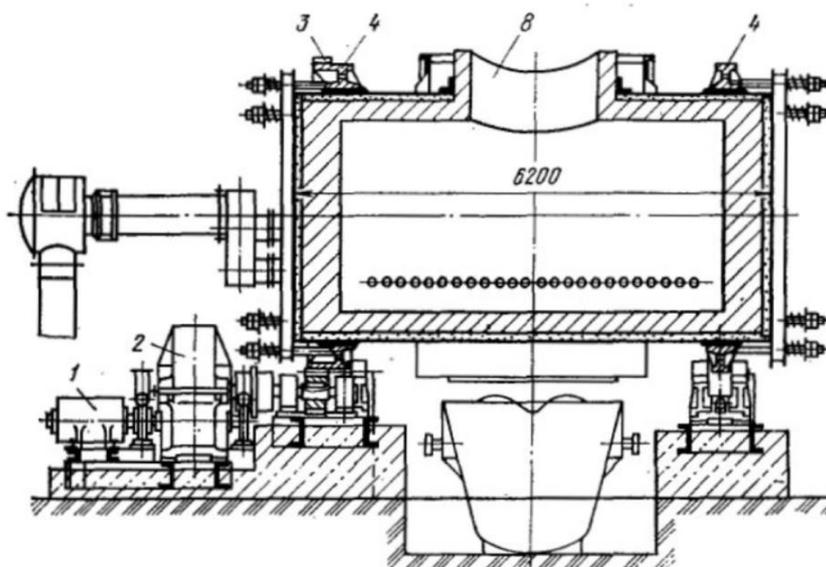


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема управления процессом в медном конвертере

Медный конвертер — устройство для получения стали из максимально расплавленного чугуна и шихты путем продувки воздухом или технически чистым кислородом.

На рисунке 2.2 показана функциональная схема, которая была построена в полном соответствии с уже имеющейся принципиальной схемой, а также описанию всей системы в целом.

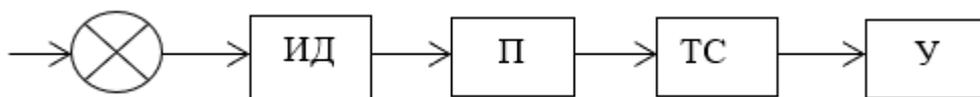


Рисунок 2.2 - Функциональная схема САР

На рисунке 2.2 представлена функциональная схема системы автоматического регулирования медного конвертора.

Передаточная функция представляет собой соотношение лапласовских преобразований входа и выхода. При этом начальные условия задаются нулевыми.[3]. Передаточная функция находится на основе уравнения (2.1).

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{s^n + a_1 s^{n-1} + a_2 s^{n-2} + \dots + a_0} = G(s) \quad (2.1)$$

Все элементы системы в процессе линеаризации в дифференциальной форме представлены в следующем виде:

Медный конвертер:

$$\Delta\theta = \theta_3 - \theta, \quad (2.2)$$

$$T_0 \frac{d}{dt} \Delta\theta + \Delta\theta = k_0 \cdot \mu - k \cdot f \quad (2.3)$$

Двигатель:

$$T_{\text{дв}} \cdot \frac{d^2}{dt^2} \mu + \frac{d}{dt} \mu = k_{\text{дв}} \cdot u_u$$

Мост потенциометра:

$$u_t = k_d \cdot \theta$$

Усилитель:

$$T_t \cdot \frac{d}{dt} u_u + u_u = k_t \cdot u_t$$

В приведенных уравнениях:
 θ - температура конвертора (может регулироваться);

θ_3 – изначально установленная температура конвертора;
 $\Delta\theta$ – отклонение температуры;
 u_0 – напряжение питания моста;
 u_m – напряжение моста на выходе;
 μ – сдвиг клапана в соответствии с его перемещением;
 f – различного рода возмущения.

Исходные данные показаны в таблице 2.1

Таблица 2.1- Таблица исходных данных

№	T_0	k_0	k_1	k_d	T_t	k_t	$T_{дв}$	$k_{дв}$	F
	С	см	см	См			С	$\frac{см}{Вс}$	См
1	2,0	5,0	1,2	0,8	0,01	20	0,05	0,10	1+0,5t

Передаточные функции в соответствии с выражениями (2.2) - (2.6) для каждого элемента АСУ ТП конвертора будут иметь вид:

Мост потенциометра:

$$G_t = \frac{u_m}{\theta} = K_d = 0,8 \text{ (Пропорциональное звено)} \quad (2.7)$$

Усилитель:

$$G_y = \frac{u_t}{u_u} = \frac{k_t}{T_t s + 1} = \frac{20}{0,01s + 1} \text{ (обычно это простое апериодическое звено)} \quad (2.8)$$

Мотор с редуктором:

$$G_{ид} = \frac{u_u}{u_{я}} = \frac{k_{дв}}{T_{дв} s^2 + s} = \frac{0,1}{0,05s^2 + s} \text{ (интегрирующее звено)} \quad (2.9)$$

Конвертер:

$$G_{п}(s) = \frac{k_o}{T_o \cdot s + 1} = \frac{5}{2s + 1} \text{ (Апериодическое звено 1-го порядка)} \quad (2.10)$$

На рисунке 2.3 показана схема разомкнутой системы. Эквивалент данной передаточной функции имеет вид:

$$G_p(s) = G_m \cdot G_y \cdot G_{ид} \cdot G_{п} \quad (2.11)$$

$$G_p(s) = \frac{8}{0,001s^4 + 0,1205s^3 + 2,06s^2 + s} \quad (2.12)$$

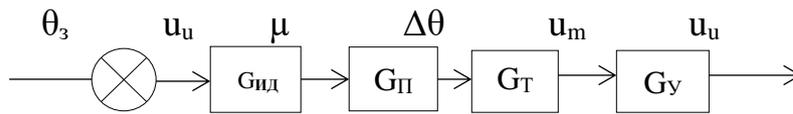


Рисунок 2.3 - схема разомкнутой системы

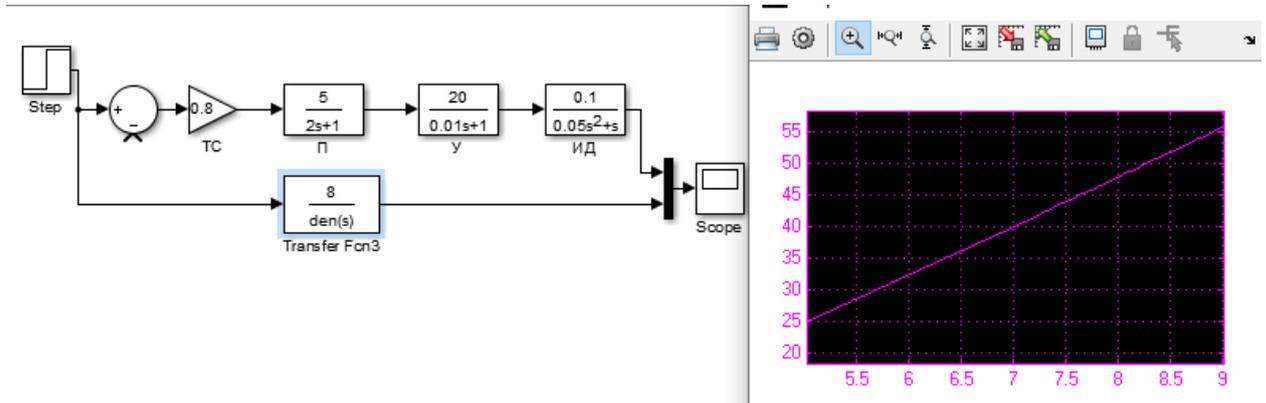


Рисунок 2.4 - Результат моделирования разомкнутой системы

На рисунке 2.5 показана схема замкнутой системы.

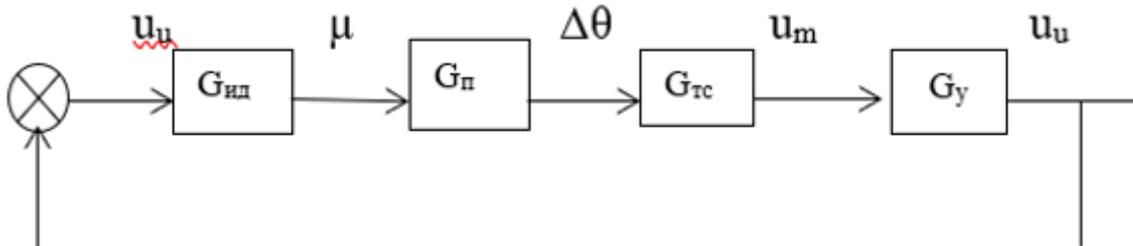


Рисунок 2.5 - Структурная схема

Эквивалент данной передаточной функции имеет вид:

$$G_{зс}(s) = \frac{G_{PC}(s)}{1 + G_{PC}(s)} \quad (2.13)$$

Подставив все значения и сократив получим эквивалентную передаточную функцию замкнутой системы:

$$G_{зс}(s) = \frac{8}{0.001s^4 + 0.1205s^3 + 2.06s^2 + s + 8} \quad (2.14)$$

На рисунке. 2.6 показано моделирование переходного процесса.

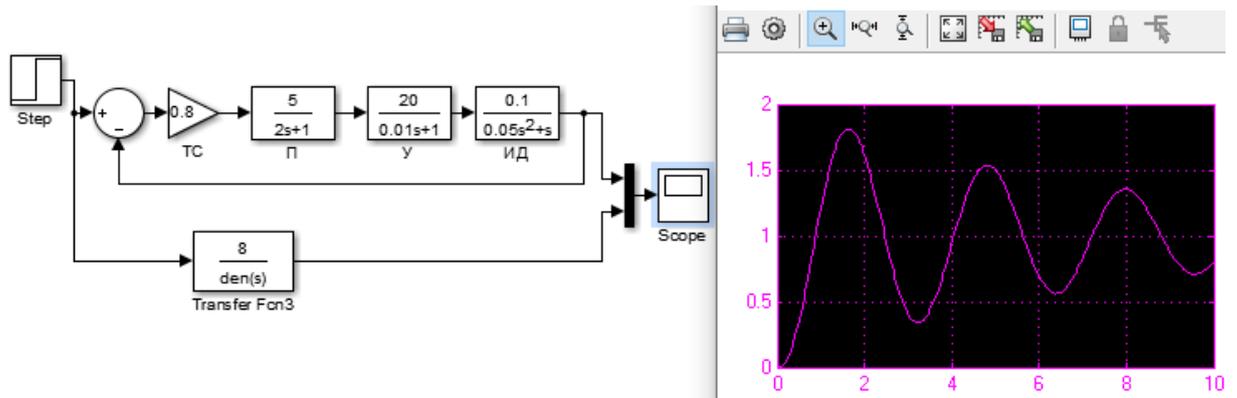


Рисунок 2.6 - Результат моделирования замкнутой системы

2.2 Получение результатов моделирования разомкнутой системы управления медным конвертором

Разбивка передаточной функции на действительную и мнимую часть производится заменой оператора Лапласа на комплексную переменную. В уравнении (2.15) подставлена комплексная переменная $j\omega$:

$$G_P(j\omega) = \frac{8}{0.001\omega^4 - 0.1205j\omega^3 - 2.06j\omega^2 + j\omega} \quad (2.15)$$

Умножаем уравнение (2.15) на сопряженное число для избавления от мнимой части в знаменателе:

$$G_P(j\omega) = \frac{8(0.001\omega^4 + 0.1205j\omega^3 - 2.06\omega^2 - j\omega)}{(0.001\omega^4 - 0.1205j\omega^3 - 2.06\omega^2 + j\omega)(0.001\omega^4 + 0.1205j\omega^3 - 2.06\omega^2 - j\omega)} \quad (2.16)$$

После умножения (2.16) получаем следующее:

$$G_P(j\omega) = \frac{(0.008\omega^4 - 0.964j\omega^3 - 16.48\omega^2 - 8j\omega)}{(0.000001\omega^8 + 0.00186\omega^6 - 4.0026\omega^4 + \omega^2)}$$

Разбивка на мнимую и действительную части проходит по формуле:

$$G_P(j\omega) = \text{Re}(\omega) + j\text{Im}(\omega)$$

Из этого следует:

$$\text{Re}(\omega) = \frac{0.008\omega^4 - 16.48\omega^2}{(0.000001\omega^8 + 0.00186\omega^6 - 4.0026\omega^4 + \omega^2)} \quad (2.17)$$

$$\text{Im}(\omega) = \frac{-0.964\omega^3 - 8\omega}{(0.000001\omega^8 + 0.00186\omega^6 - 4.0026\omega^4 + \omega^2)} \quad (2.18)$$

Для построения АФЧХ находятся значения данных частей при изменяемой частоте. Все значения указаны в таблице 2.2. АФЧХ, построенная в Matlab, изображена на рисунке 2.7.

Таблица 2.2 – Таблица значений реальной и мнимой частей для построения АФЧХ

ω	2	1	0.5	0.2
Re	-1.06	-3.14	-7.7	-12.7
Im	-0.153	-1.33	-6.8	-20.4

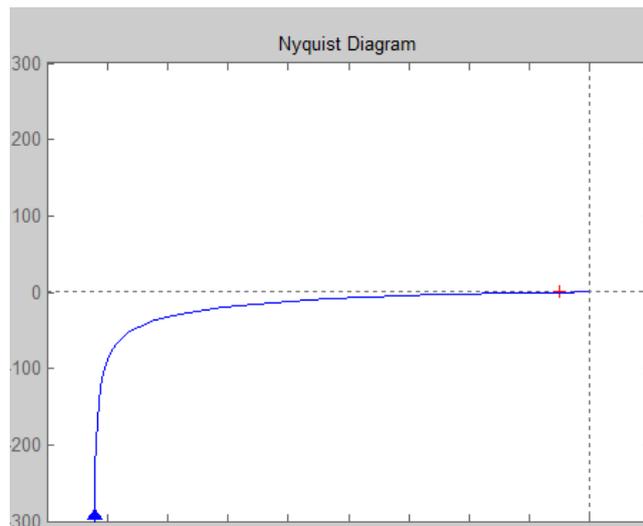


Рисунок 2.7 - АФЧХ разомкнутой системы

Для расчета АЧХ используется следующая формула:

$$M(\omega) = \sqrt{\text{Re}^2(\omega) + \text{Im}^2(\omega)},$$

Далее, подставив формулы действительной и мнимой частей получим:

$$M(\omega) = \frac{\sqrt{(0.008w^4)^2 + (16.48w^2)^2 + (-0.964w^3)^2 + (-8w)^2}}{(0.000001w^8 + 0.00186w^6 - 4.0026w^4 + w^2)}$$

$$M(\omega) = \frac{\sqrt{0.000064w^8 + 271.59w^4 + 0.929w^6 + 64w^2}}{(0.000001w^8 + 0.00186w^6 - 4.0026w^4 + w^2)}$$

Далее из промежутка $[0; +\infty)$ выбраны частоты ω для использования в полученной формуле АЧХ. Значения АЧХ приведены в таблице 2.3.

Полученная АЧХ показана на рисунке 2.8.

Таблица 2.3 - Таблица значения АЧХ

ω	0	2.5	10	∞
$M(\omega)$	∞	-3.81	-30.2	0

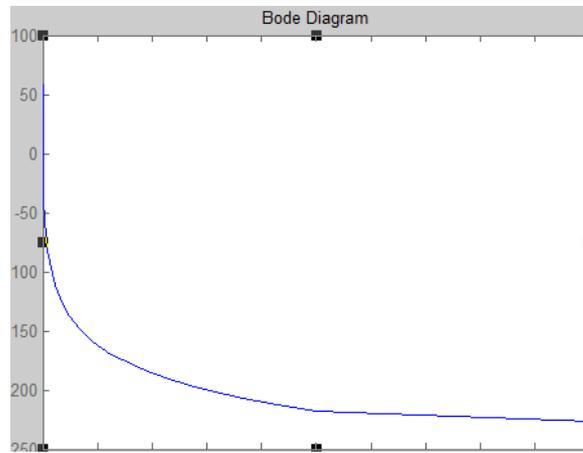


Рисунок 2.8 - График АЧХ разомкнутой системы, построенный в среде MatLab

Для построения ФЧХ используется формула:

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Re}(\omega)}{\operatorname{Im}(\omega)};$$

$$\varphi(\omega) = = \operatorname{arctg} \frac{-0.964\omega^3 - 8\omega}{0.008\omega^4 - 16.48\omega^2}$$

Вместо частоты подставляем значения из диапазона $[0; +\infty)$. Все параметры ФЧХ указаны в таблице 2.4.

Полученная ФЧХ показана на рисунке 2.9.

Таблица 2.4 – параметры ФЧХ

ω	1	10	100	1000	∞
$\Phi(\omega)$	-154	-210	-298	-353	360

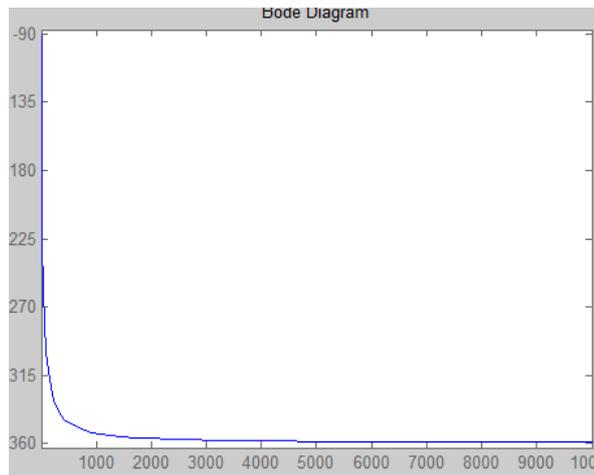


Рисунок 2.9 - График ФЧХ разомкнутой системы

Для построения ЛАЧХ используется формулы

$$L(\omega) = \lg(M(\omega)),$$

Вместо частоты подставляем значения из диапазона $[0; +\infty)$. ЛАЧХ изображена на рисунке 2.10.

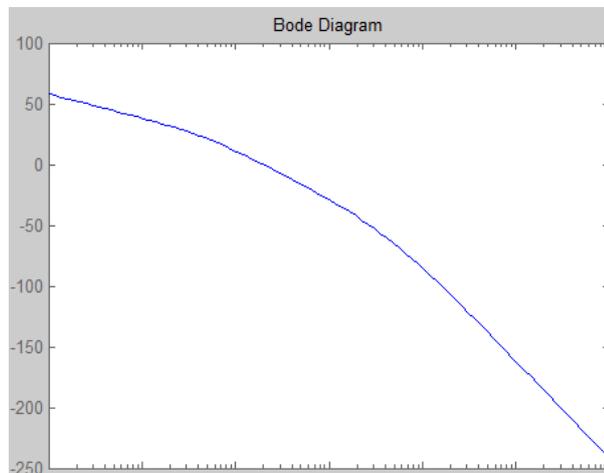


Рисунок 2.10 - График ЛАЧХ разомкнутой системы

ЛФЧХ строится по формуле:

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{\text{Re}(\omega)}{\text{Im}(\omega)}$$

Вместо частоты подставляем значения из диапазона $[0; +\infty)$. ЛАЧХ изображена на рисунке 2.11.

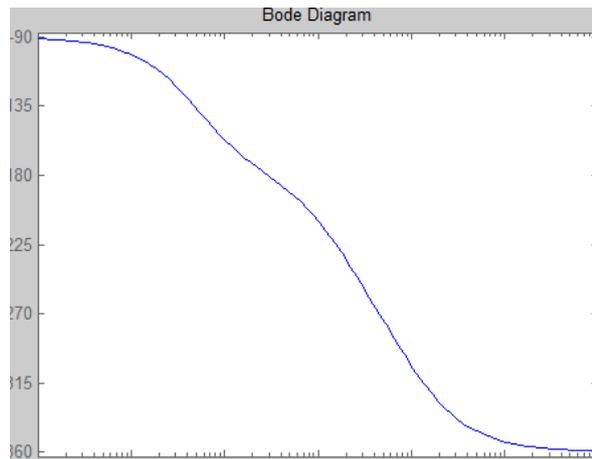


Рисунок 2.11 - График ЛФЧХ разомкнутой системы

2.3 Анализ динамических свойств АСУ ТП медного конвертора

Передаточная функция разомкнутой системы:

$$G = \frac{8}{0.001s^4 + 0.1205s^3 + 2.06s^2 + s}$$

Характеристическое уравнение:

$$0.001s^4 + 0.1205s^3 + 2.06s^2 + s = 0 \quad (2.19)$$

Корни уравнения:

$$\begin{aligned} s_1 &= 0; \\ s_2 &= -100; \\ s_3 &= -20; \\ s_4 &= -0.5; \end{aligned}$$

Так как один из корней является нулевым, то система находится на границе устойчивости. Это значит, что она имеет нулевой запас устойчивости.

Замкнутая система имеет следующую передаточную функцию:

$$G_{\text{зс}}(s) = \frac{8}{0.001s^4 + 0.1205s^3 + 2.06s^2 + s + 8}$$

Характеристическое уравнение:

$$0,001s^4 + 0,1205s^3 + 2.06s^2 + s + 8 = 0 \quad (2.20)$$

Корни уравнения:

$$s_1 = -99.98;$$

$$\begin{aligned}
 s_2 &= -20.25; \\
 s_3 &= -0.1296 + 1.9834j; \\
 s_4 &= -0.1296 - 1.9834j.
 \end{aligned}$$

Так как все корни являются отрицательными, система является устойчивой. При этом система является колебательной по причине наличия комплексных корней.

Помимо этого система на устойчивость может быть проверена при помощи критерия Гурвица.

Этот критерий определяет устойчивость по характеристическому уравнению (2.20).

$$0,001s^4 + 0,1205s^3 + 2.06s^2 + s = 0 \quad (2.20)$$

Параметры уравнения:

$$\begin{aligned}
 a_0 &= 0.001; \\
 a_1 &= 0.1205; \\
 a_2 &= 2.06; \\
 a_3 &= 1; \\
 a_4 &= 0;
 \end{aligned}$$

Из этих параметров строится матрица Гурвица:

$$\begin{bmatrix}
 0.1205 & 1 & 0 & 0 \\
 0.001 & 2.06 & 0 & 0 \\
 0 & 0.1205 & 1 & 0 \\
 0 & 0.001 & 2.06 & 0
 \end{bmatrix}$$

Нужно найти определители:

$$\begin{aligned}
 \Delta_1 &= 0,1205; \\
 \Delta_2 &= 0,2472; \\
 \Delta_3 &= 1.0321e+0.04; \\
 \Delta_4 &= 0;
 \end{aligned}$$

Система находится на границе устойчивости, так как имеется нулевой определитель.

Также устойчивость может быть определена по Найквисту. АФЧХ разомкнутой системы (рисунок 2.12) проходит через точку $(-1,0j)$ из-за чего находится на границе устойчивости.

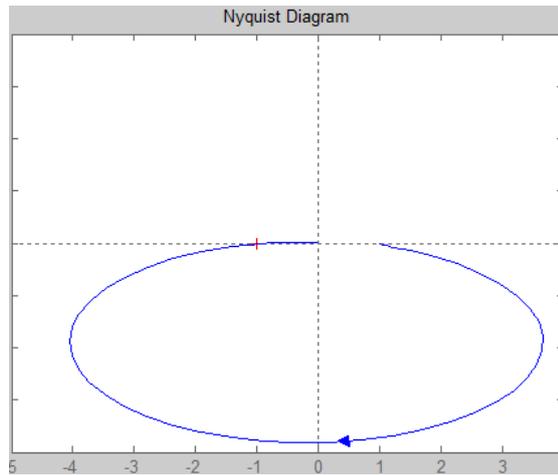


Рисунок 2.12 - АФЧХ разомкнутой системы

Система является устойчивой по причине того, что ЛАЧХ проходит частоту среза раньше, чем ЛФЧХ проходит частоту -180° . Полученный график изображен на рисунке 2.13.

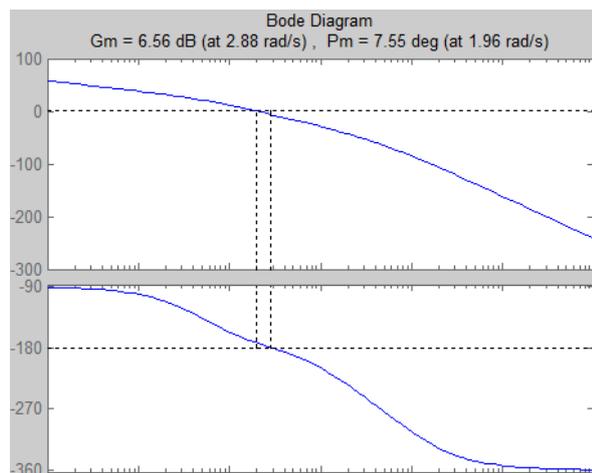


Рисунок 2.13 - ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы

Оценка запасов устойчивости системы по логарифмическим характеристикам.

Устойчивости по амплитуде показана на рисунке 2.13 и равно 6.56 дБ.

Устойчивости по фазе показана на рисунке 2.13 и равно -7.55° .

2.4 Оценки качества

На графике переходного процесса можно указать оценки качества. Они показаны на рисунке 2.14.

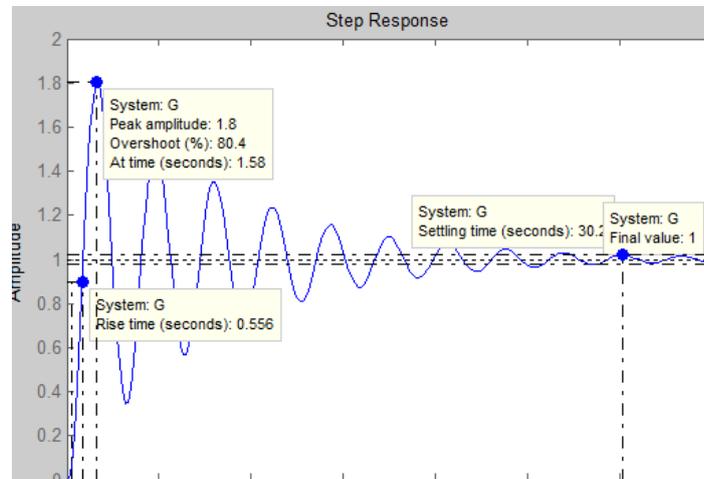


Рисунок 2.14 – Переходной процесс

Оценки качества:

- Settling Time: время регулирования, $T_{SET} = 18.1\text{с}$;
- Peak Response: максимальное значение графика. По нему определяется перерегулирование (overshoot), $P_{ov} = 32.4\%$, а также время достижения максимума, $T_{\max} = 5.15$
- Steady State (Final value): установившееся состояние $y_F = 1$.
- Rise Time: время нарастания, $T_R = 2.24\text{с}$;

Все прямые оценки:

- 1) Время регулирования, $T_{\text{set}} = 30.2$;
- 2) Перерегулирование, $P_{ov} = 80.4\%$;
- 3) Количество колебаний – 8;
- 4) Колебательность: $\mu = \frac{\Delta y_{\max 2}}{\Delta y_{\max 1}} * 100\% = 66.25\%$
- 5) Частота колебаний: $\omega_{osc} = \frac{2\pi}{T} = 2\text{рад/с}$
- 6) Время достижения максимума, $T_p = 1.58\text{с}$;
- 7) Время нарастания, $T_R = 0.55\text{с}$;
- 8) Декремент затухания: $\chi = \frac{|y_{\max 1} - y_{ss}|}{|y_{\max 2} - y_{ss}|} = \frac{1.88 - 1}{1.69 - 1} = 1.275$

Косвенные оценки качества отмечаются на графике АЧХ (рисунок 2.15) замкнутой системы следующие амплитуды:

- Амплитуда $M(0) = 0.36$, при частоте $\omega=0$ определяется полоса пропускания: $0.707 * M(0) = 0.707 * 0.36 = 0.25$, полученная полоса пропускания $\omega_{bandwidth} \in [0; 0.336]$.
- Амплитуда $M = 1$, частота среза $\omega_{CF} = 2.88$.
- Амплитуда $M_{max}=17.7$, резонансная частота $\omega_p = 1.98$.

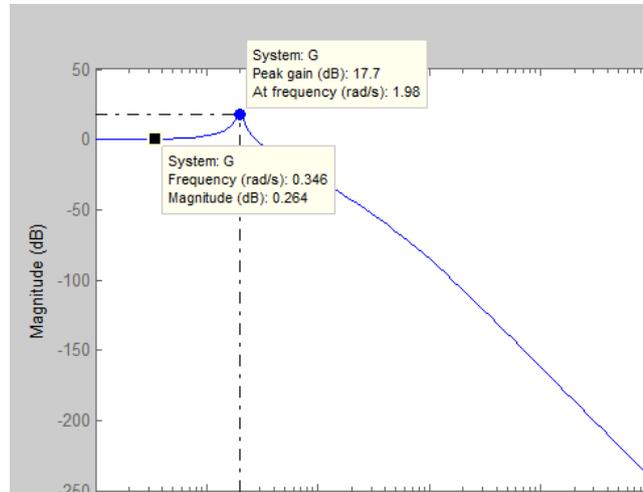


Рисунок 2.15 – Косвенные оценки качества

Косвенные оценки:

- 1) Частота среза, $\omega_{CF} = 0.78$
- 2) Показатель колебательности,

$$\mu = \frac{M_{max}(\omega)}{M(0)} = \frac{17.7}{0.36} = 49.1$$

- 3) Полоса пропускания системы, $\omega_{bandwidth} \in [0; 0.336]$.
- 4) Резонансная частота, $\omega_p = 1.98$

Также эти оценки можно получить корневыми методами. На рисунке 2.16 показаны полюса на комплексной плоскости.

Командами можно получить коэффициент демпфирования (damping factors), значения собственные (eigenvalues) и частоты (natural frequencies), командой `damp`. Выполнение команды изображено на рисунке 2.17.

На их основе выводим полюса:

$$\begin{aligned} s_1, s_2 &= -0.1296 \pm 1.9843i \\ s_3 &= -99.98 \\ s_4 &= -20.25. \end{aligned}$$

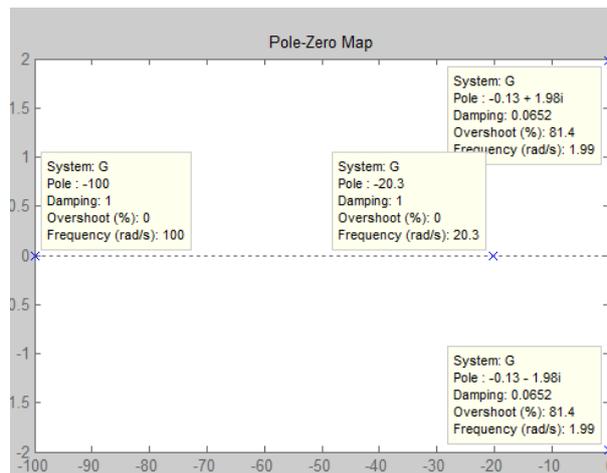


Рисунок 2.16 – Полюса передаточной функции

Pole	Damping	Frequency (rad/seconds)	Time Constar (seconds)
-1.30e-01 + 1.98e+00i	6.52e-02	1.99e+00	7.71e+00
-1.30e-01 - 1.98e+00i	6.52e-02	1.99e+00	7.71e+00
-2.03e+01	1.00e+00	2.03e+01	4.94e-02
-1.00e+02	1.00e+00	1.00e+02	1.00e-02

Рисунок 2.17 – полученные данные

Оценки качества на основе корневых оценок:

Время регулирования,

$$T_{set} = \frac{4}{|\sigma|} = \frac{4}{0.130} = 30.76 \text{ с}$$

Перерегулирование,

$$P_{ov} = e^{-\frac{\varepsilon\pi}{\sqrt{1-\varepsilon^2}}} * 100\% = e^{-0.637} * 100\% = 52\%$$

Частота колебаний,

$$\omega_{osc} = \omega_n \sqrt{(1 - \varepsilon^2)} = 0.199 \sqrt{(1 - 0.652^2)} = 0.15 \text{ с}^{-1}$$

Время достижения максимума,

$$T_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{(1 - \varepsilon^2)}} = \frac{3.14}{0.199 \sqrt{(1 - 0.652^2)}} = 20.8 \text{ с}$$

Значение, y_{max}

$$y_{max} = y_{ss} \left(1 + \frac{P_{ov}}{100} \right) = 1.8$$

Степень колебательности,

$$\mu = \frac{\omega_d}{\sigma} = \frac{0.198}{0.130} = 1.52\%$$

7) Быстродействие и степень устойчивости, система имеет минимальный полюс $s = -\sigma_{min} = -20.3$ Тогда η – степень устойчивости:

$$\eta = |\sigma_{min}| = 20.3$$

По полученным данным составим таблицу 2.5:

Таблица 2.5 – Оценки качества

	№	Оценка качества		Прямые	Косвенные	Соответствие требованиям
Основные	1	Время регулирования (Settling time)	T_{set}	30.2	30.76 с	Не соответствует
	2	Перерегулирование (Overshoot)	P_{ov}	80.4%	52.8 %	Не соответствует
	3	Время нарастания (rise time)	T_R	0.55		
	4	Число колебаний	M	8		
	5	Колебательность (Oscillation)	M	66.25	49.1	Не соответствует
	6	Частота колебаний (oscillation frequencies)	ω_{osc}	2	0.56 с ⁻¹	
Дополнительные	7	Время достижения первого максимума (peak time)	T_p	1.58	20.8	
	8	Колебательность (Oscillation)	M	66.25	49.1	Не соответствует
	9	Время нарастания (rise time)	T_R	0.55		
	8	Декремент затухания	X	1.275		

На основе указанных оценок можно сделать вывод, что система имеет неудовлетворительное перерегулирование.

2.5 Построение ПИД-регулятора для процесса конвертирования медных штейнов

Постановка задачи: для интеллектуальной системы автоматизированного управления процессом конвертирования медных штейнов необходимо синтезировать типовой ПИД-регулятор, при которой квадратичная интегральная оценка качества становится минимальной:

$$I = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \rightarrow \min .$$

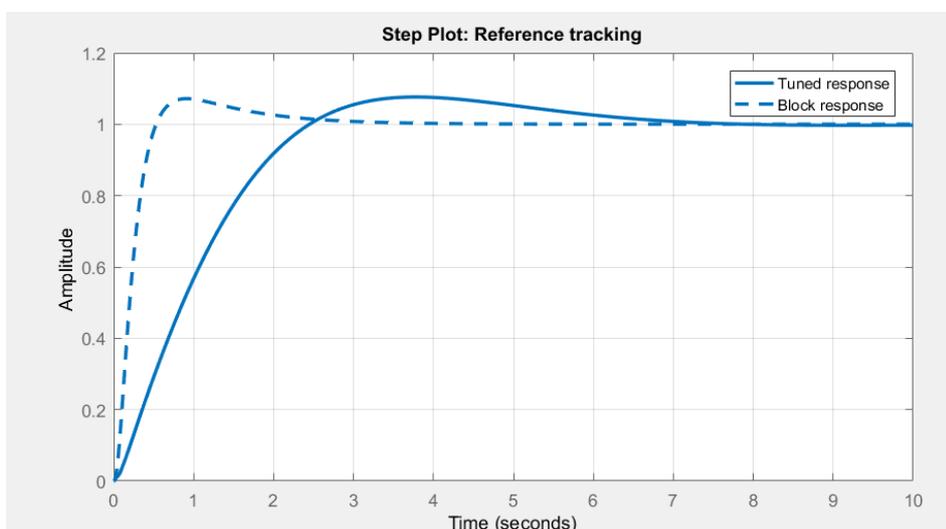


Рисунок 2.18 – Результат работы Autotune

На рисунке 2.18 представлен результат работы программного обеспечения Matlab утилиты Autotune. Как видно из данного графика, Autotune уменьшил коэффициент колебательности.

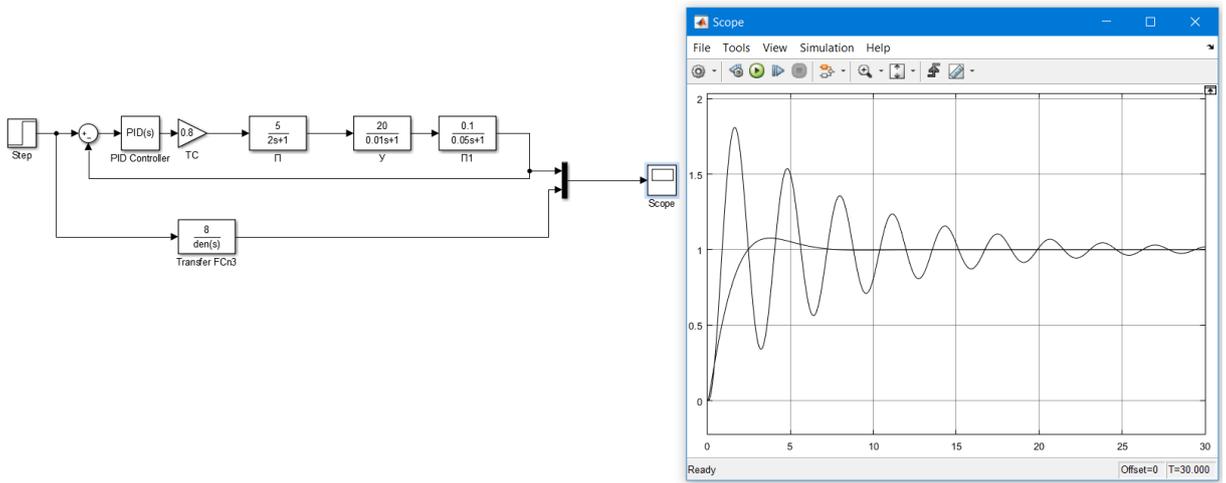


Рисунок 2.19 – Результат моделирования замкнутой системы с PID регулятором

На рисунке 2.19 показан результат моделирования замкнутой системы с PID регулятором.

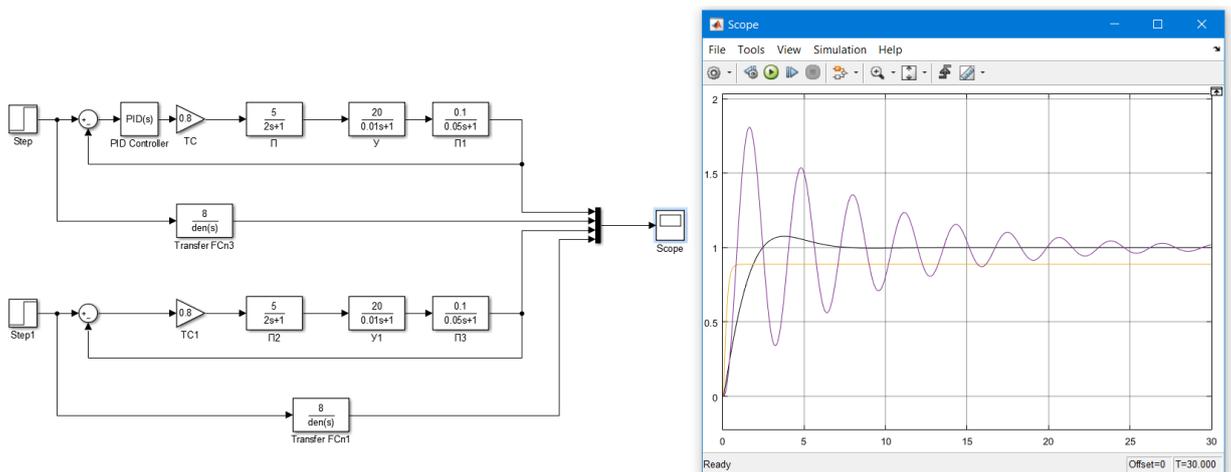


Рисунок 2.20 – Сравнительный график замкнутой системы без и с PID регулятором

На рисунке 2.20 показан сравнительный график замкнутой системы без и с PID регулятором.

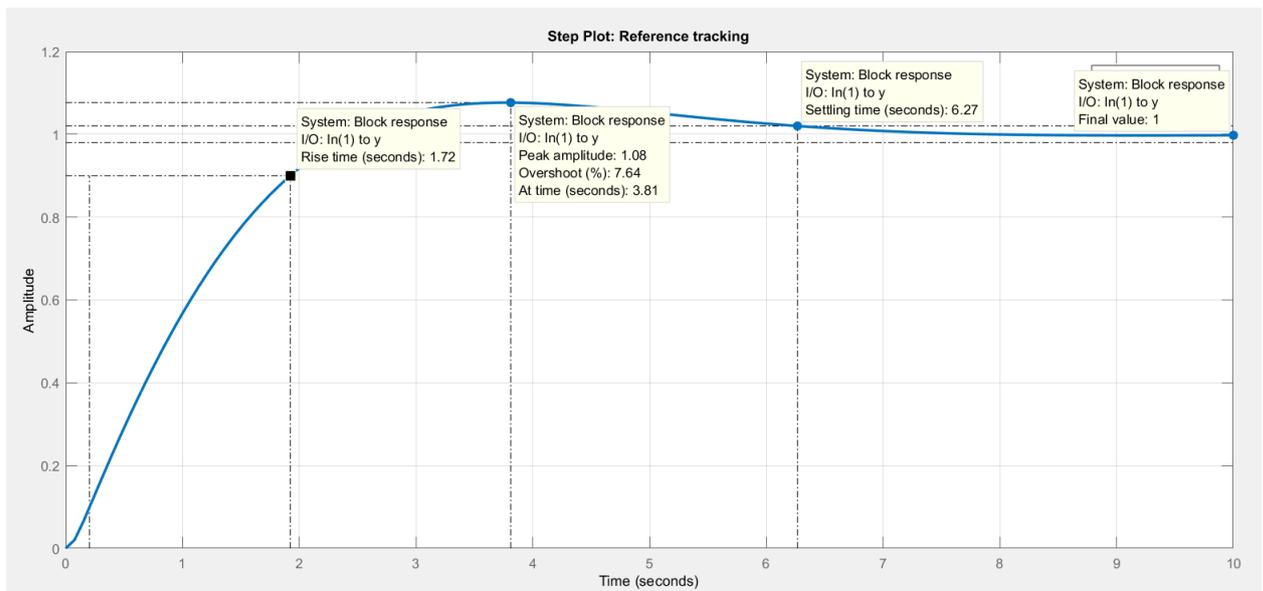


Рисунок 2.21 – Оценки качества системы с PID регулированием

Таблица 2.6 оценки качества замкнутой системы с PID регулятором

	№	Оценка качества		Прямые
Основные	1	Время регулирования (Settling time)	T_{set}	6.27
	2	Декремент затухания	X	0.006
	3	Частота колебаний (oscillation frequencies)	ω_{osc}	0.23
	4	Перерегулирование (Overshoot)	P_{ov}	7.64%
	5	Колебательность (Oscillation)	M	5.26%
Дополнительные	6	Время достижения первого максимума (peak time)	T_p	3.81
	7	Время нарастания (rise time)	T_R	1.75
	8	Число колебаний	M	1

2.6 Нейро-нечеткий регулятор

Нечёткий регулятор — регулятор, построенный на базе нечеткой логики. Нечёткая логика — раздел математики, являющийся обобщением классической логики и теории множеств, базирующийся на понятии нечёткого множества, впервые введённого Лотфи Заде в 1965 году как объекта с функцией принадлежности элемента ко множеству, принимающей любые значения в интервале $[0,1]$ $[0, 1]$, а не только или 1. На основе этого понятия вводятся различные логические операции над нечёткими множествами и формулируется понятие лингвистической переменной, в качестве значений которой выступают нечёткие множества. Предметом нечёткой логики считается исследование рассуждений в условиях нечёткости, размытости, сходных с рассуждениями в обычном смысле, и их применение в вычислительных системах.

Для реализации нечеткого регулятора необходимо:

- определить входные лингвистические переменные;
- определить лингвистическую переменную, которую необходимо получить;
- определить правила образования результирующей переменной из входных.

В результате, получена возможность определять необходимые значения, такие как посещаемость сайта или любое другое необходимое значение, например, мощность котла для обогрева воды, обороты в стиральной машинке и т. д.

Нечеткая логика предназначена для формализации человеческих способностей к неточным или приближенным рассуждениям, которые позволяют более правильно описывать ситуации с неопределённостью. В классической логике проблема неопределенности ни как не решается, так как все рассуждения и высказывания могут быть «истиной» (И, 1) или «ложью» (Л, 0), что эквивалентно человеческому «да» или «нет». Однако человеком могут быть приняты различные решения такие как «Возможно да», «Не могу сказать», «Возможно нет», «Уже нет» и другие, поэтому истинность рассуждений в нечеткой логике оценивается как некая степень, которая может принимать разные значения отличные от «И» или «Л».

На рисунке 2.22 показана архитектура нечеткого управления основана на замене классической системы управления системой нечеткого управления, в качестве которой используются системы нечеткого вывода.

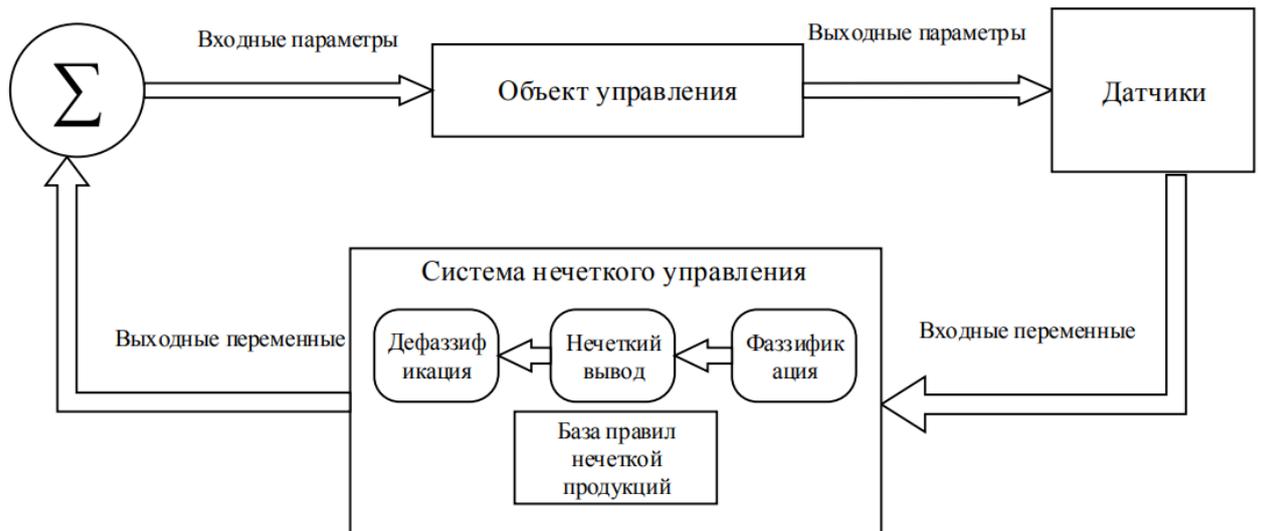


Рисунок 2.22 - Архитектура нечеткого управления

Для формирования системы нечеткого вывода необходимо сформировать базу правил нечетких продукций и реализовывать нечеткий вывод заключений на основе посылок или условий, представленных в форме нечетких лингвистических высказываний.

На рисунке 2.23 представлена диаграмма процесса нечеткого вывода.



Рисунок 2.23 - Диаграмма процесса нечеткого вывода

При построении нечеткого регулятора необходимо сформировать базу правил в форме ЕСЛИ (предпосылка), ТО (вывод) и базу данных с функциями принадлежности для предпосылок, то есть необходимо определить все лингвистические правила с лингвистическими переменными и термами. На

рисунке 2.24 показан пример составления базы правил для управления температурным режимом в помещении.

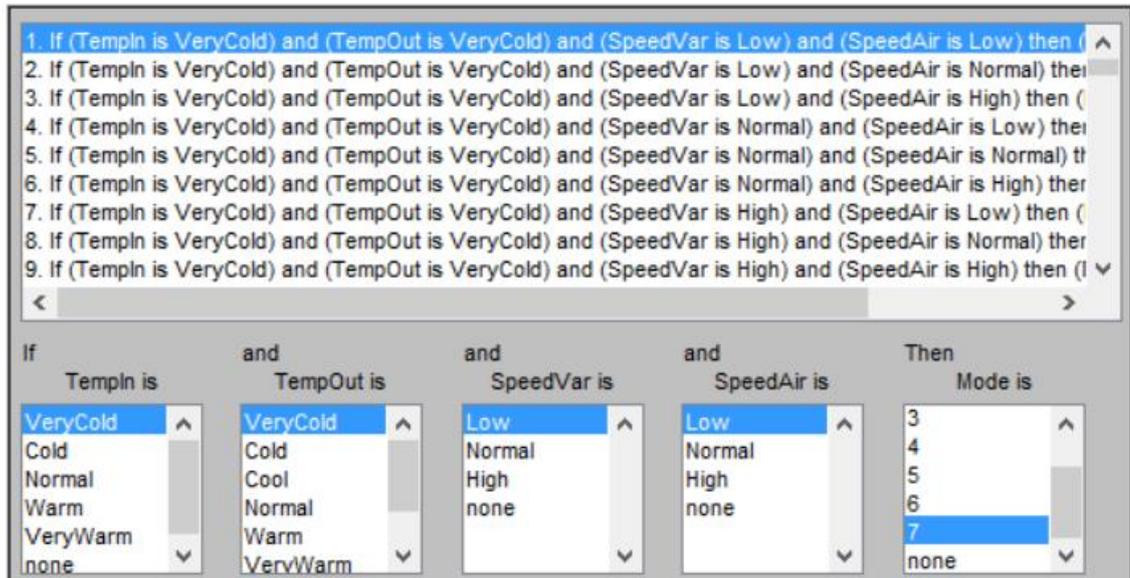


Рисунок 2.24 - База лингвистических правил нейронной сети

В качестве переменных вектора входных данных выбраны значения показателей:

- температура воздуха внутри медного конвертора x_1 ;
- температура воздуха вне медного конвертора x_2 ;
- скорость изменения температуры x_3 ;
- скорость потоков воздуха в медном конверторе x_4 .

Вектор выходных данных:

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}$$

На рисунке 2.25 показан результат работы нейро-нечеткого регулятора.

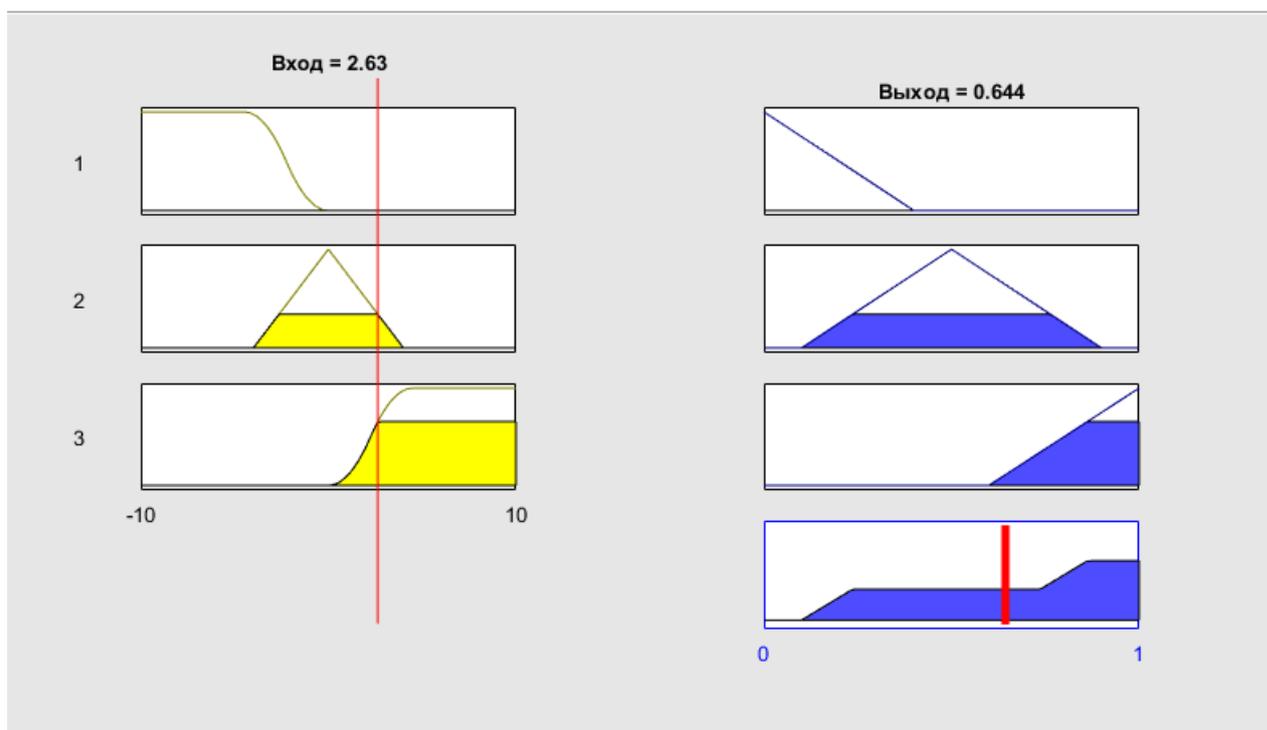


Рисунок 2.25 - Результат работы нейро-нечеткого регулятора

Нечеткие нейронные сети основаны на составлении правил нечеткой логики. Из этого следует их недостаток – ограниченность использования. Это связано с тем, что база правил – это четкие указания зависимостей лингвистических и численных переменных, о которых нужно иметь априорное представление. В таких сетях существует четкая зависимость между входными параметрами и выходными.

3 Экономическая часть

Обоснованность эффективности разработки интеллектуальной системы управления процессом конвертирования медных штейнов.

Общая сумма внедрения АСУТП на металлургический комплекс будет рассчитан из производственных затрат и капитальных вложений.

Капитальные вложения на создание системы АСУТП состоят из стоимости оборудования и стоимости монтажа и пуско-наладки.

Одним из важнейших элементов повышения эффективности экономики является автоматизация технологических процессов. Автоматизация технологических процессов обеспечивает их интеграцию, снижение расходов сырья, улучшение качества продукции, поддержание заданных значений технических параметров. Эффективность внедрения систем и устройств автоматического управления зависит от степени оснащения ими производств. Автоматизация технологических процессов объекта является одним из решающих факторов повышения производительности и улучшения условий труда.

Таким образом мероприятие по внедрению автоматизации способствует интенсификации производства, даёт существенный экономический эффект. Спецификация оборудования, изделий и материалов – это текстовый проектный документ, определяющий состав оборудования, изделий и материалов, предназначенный для комплектования, подготовки и внедрения проекта.

Таблица 4.1 – Спецификация оборудования

Наименование оборудования	Единица измерения	Количество
Контроллер Honeywell C300	Шт.	1
Safety Manager	Шт.	1
ESV-LCN Connected	Шт.	1
NIM	Шт.	1
Honeywell Control Edge	Шт.	3
Process server	Шт.	2
Преобразователь Метран 350	Шт.	2
TDC2000	Шт.	1
TDC3000	Шт.	1
Термопара ТХК	Шт.	3

Данная таблица отображает приборы, нужные для обеспечения контроля и автоматизации медеплавильного конвертора. По данным этой таблицы можно составить сметную стоимость оборудования.

Таблица 4.2 – Стоимость оборудования

Наименование оборудования	Единица измерения	Количество	Стоимость за единицу(тг)	Общая стоимость (тг)
Контроллер Honeywell C300	Шт.	1	1330302	1330302
Safety Manager	Шт.	1	565821	565821
ESV-LCN Connected	Шт.	1	283456	283456
NIM	Шт.	1	123723	123723
Honeywell Control Edge	Шт.	3	594420	1783260
Process server	Шт.	2	324560	649120
Преобразователь Метран 350	Шт.	2	25000	50000
TDC2000	Шт.	1	97630	97630
TDC3000	Шт.	1	145680	145680
Термопара ТХК	Шт.	3	980	2940
Итого				
4522932				

Таблица «Сметная стоимость оборудования» составляется по данным таблицы «Спецификация оборудования». Сметная стоимость оборудования определяется как сумма всех затрат на приобретение оборудования. Стоимость всех приборов показывает, какое количество средств, придётся потратить для обеспечения автоматизации предприятия.

Таким образом использование оборудование от компании Honeywell экономически более эффективнее и выгоднее, чем от аналогичных компаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной дипломной работе был рассмотрен технологический процесс конвертирования медных штейнов. Проведен обзор на классификацию медных конвертеров. Был выбран медный конвертер в качестве объекта управления. Были рассмотрены продукты конвертирования. Также были выбраны технические средства автоматизации при конвертировании медных штейнов.

На основе существующих структурных схем и передаточных функциях всех звеньев медного конвертера, была получена математическая модель объекта управления. Для полученной математической модели был произведен анализ переходного процесса, получены прямые и косвенные оценки качества. Система без регулятора имела высокий процент перерегулирования, а также большое количество колебаний и большое значение частоты колебаний. Система с ПИД-регулятором значительно улучшила систему, уменьшив процент перерегулирования до минимума, а также уменьшив частоту колебаний.

Была рассчитана экономическая составляющая при внедрении АСУТП для технологического процесса конвертирования медных штейнов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бесекерский В.А., Изранцев В.В. Системы автоматического управления с микроЭВМ. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1987. -320с
- 2 Воронов А.А. Теория автоматического управления. Часть 1. - Москва: Высшая школа, 1986. – 367 с
- 3 Воронов А. А. Теория автоматического управления. Часть 2. - Москва: Высшая школа, 1986. – 367 с
- 4 Mark E. Schlesinger; Kathryn C. Sole, Converting of cooper matte; In book: Extractive Metallurgy of Cooper, 2022; pp.185-229
- 5 Schlesinger, M.; King, M.; Sole, K.; Davenport, W. Batch converting of copper matte. In Extractive Metallurgy of Copper; Elsevier: Oxford, UK, 2011; pp. 127–153.
- 6 Prietl, T.; Filzwieser, A.; Wallner, S. Productivity increase in a Peirce-Smith converter using the COP KIN and OPC system. In Converter and Fire Refining Practices, Proceedings of the Annual TMS Meeting, San Francisco, CA, USA, 13–17 February 2005.
- 7 Бледнов Б.П., Дульнева В.Е. Расчеты по металлургии меди и никеля. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 2016. -440с
- 8 Злобинский Б.М. Охрана труда в металлургии. - М.: Металлургия, 2010. -334с
- 9 Грацерштейн Н.М., Малинова Р.Д. Организация, планирование и управление на предприятиях цветной металлургии. - М.: Металлургия, 2019. - 315с
- 10 Диомидовский Д.А., Шалыгин Л.М., Гальнбек А.А., Южанинов Н.А. Расчеты пиропроцессов и печей цветной металлургии. - М.: Металлургиздат, 2015. – 216с
- 11 Стандарт организации. Система качества. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию текстового и графического материала. - Алматы, КазНТУ, 2009. - 49с.
- 12 Орловский Б.Я., Абрамов В.К., Сербинович П.П. Архитектурное проектирование промышленных зданий. - М.: Высшая школа, 1982. – 2019
- 13 Ванюков А.В., Уткин Н.И. Комплексная переработка медного и никелевого сырья. - Челябинск: Металлургия, 1988. – 300с