

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт информационных и телекоммуникационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

Байтаулов Еркеш

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

На тему: «Автоматизация процесса плавки Ванюкова»

5B070200 - Автоматизация и управление

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт информационных и телекоммуникационных технологий

Кафедра автоматизация и управление



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

На тему: «Автоматизация процесса плавки Ванюкова»

По специальности 5В070200 - Автоматизация и управление

Выполнил
Байтаулов Е.

Научный руководитель
канд. техн. наук,
ассоциированный профессор


Ибраев А.Х.
(подпись)

« 08 » 05 2019 г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт информационных и телекоммуникационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

5B070200 - Автоматизация и управление



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Байтаулов Е.

Тема «Автоматизация процесса плавки Ванюкова».

Утвержден Ученым советом института № 442 от " 14 " 11 2019 г.

Срок сдачи законченного проекта: " 17 " мая 2019 г.

Исходные данные дипломному проекту: материалы практики, проектная и эксплуатационная документация технологического процесса и системы автоматизации, отчеты по научно – исследовательской работе, научно-исследовательской работе, научно-техническая литература и каталоги технических средств автоматизации и управления.

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов или краткое содержание дипломной работы:

Перечень графического материала: технологический чертеж, функциональная схема автоматизации, структурная схема КТС, схема внешних соединений.

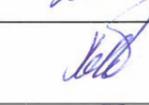
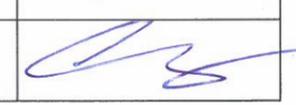
Рекомендуемая основная литература: Ванюков А.В., Быстров В.П., Васкевич А.Д. и др. Плавка в жидкой ванне / под ред. А.В. Ванюкова. – М.: Металлургия, 1988. – 207 с.; Проектирование систем контроля и автоматического регулирования ... Пособие по курсовому и дипломному проектированию / Под ред. Г.М. Глинкова/. – М.: Металлургия, 1986. 352 с. и др.

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Технологический раздел	1 марта 2019 г.	
Специальный раздел	20 марта 2019 г.	
Безопасность и охрана труда	30 апреля 2019 г.	
Экономическая часть	30 апреля 2019 г.	

Подписи

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

Наименования разделов	Научный руководитель, консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологический раздел	к.т.н.,Ибраев А.Х.,к.т.н.,асс.проф.	28.04.2019	
Специальный раздел	к.т.н.,Ибраев А.Х.,к.т.н.,асс.проф.	28.04.2019	
Экономическая часть	к.т.н.,Ибраев А.Х.,к.т.н.,асс.проф.	23.04.2019	
Безопасность и охрана труда	к.т.н.,Ибраев А.Х.,к.т.н.,асс.проф.	23.04.2019	
Нормоконтролер	Ассистент-профессор Н.С.Сарсенбаев	04.05.2019	

Научный руководитель  Ибраев А. Х.
(подпись)

Задание принял к исполнению, обучающийся  Байтаулов Е.
(подпись)

Дата " 02 " мая 2019 г.

Raport podobieństwa



Uczelnia:	Satbayev University
Tytuł:	Автоматизация процесса плавки Ванюкова
Autor:	Байтаулов Е.
Promotor:	Ахмет Ибраев
Data Raportu Podobieństwa:	2019-05-14 05:09:40
Współczynnik podobieństwa 1: ?	15,6%
Współczynnik podobieństwa 2: ?	8,7%
Długość frazy dla Współczynnika Podobieństwa 2: ?	25
Liczba słów:	3 907
Liczba znaków:	29 267
Adresy stron pominiętych przy sprawdzaniu:	
Liczba wykonanych sprawdzeń pracy dyplomowej: ?	41



Uwaga, w niektórych wyrazach w tym dokumencie pojawiają się litery z różnych alfabetów. Wystąpienia tych liter zostały wyróżnione. Może to świadczyć o próbie ukrycia niedopuszczalnych zapożyczeń. System zamienił te litery na ich odpowiedniki w alfabecie łacińskim a fragmenty, w których występują, zostały poprawnie sprawdzone. Prosimy o dokonanie szczególnie wnikliwej analizy tych fragmentów

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 появления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Байтаулов Е.

Название: «Автоматизация процесса плавки Ванюкова»

Координатор: Сәрсенбаев Н.С.

Коэффициент подобия 1: 15.6

Коэффициент подобия 2: 8.7

Тревога: 25

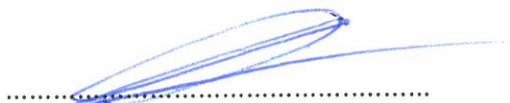
После анализа отчета подобия заведующий кафедрой/начальник структурного подразделения констатирует следующее:

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

Обоснование:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

08.05.2019



Дата
структурного подразделения

Подпись заведующего кафедрой / начальника

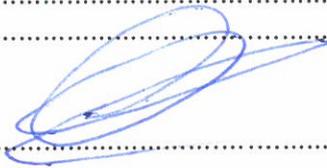
Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

К защите допущен

08.05.2019

Дата

Подпись заведующего кафедрой / начальника
структурного подразделения



Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

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

Автор: Байтаулов Е.

Название: «Автоматизация процесса плавки Ванюкова»

Координатор: Сәрсенбаев Н.С.

Коэффициент подобия 1: 15.6

Коэффициент подобия 2: 8.7

Тревога: 25

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

Обоснование:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

К защите допущен

.....
08.05.2019
.....

.....

.....

Дата

Подпись Научного руководителя

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ**

**Институт ИНФОРМАЦИОННЫХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
Кафедра АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ**

**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на дипломный проект Байтаулова Еркеша
на тему «Автоматизация процесса плавки Ванюкова»,
по специальности 5В070200 «Автоматизация и управление»

Плавка Ванюкова (ПВ) один из перспективных автогенных технологических процессов в переработке сульфидного медного сырья, в разработке которого принимали участие казахстанские ученые. Создание системы автоматизации ПВ решает вопросы повышения эффективности процесса и улучшения его технико-экономических показателей.

В технологической части проекта приведены общая характеристика технологии и оборудования медеплавильного производства, особенности и преимущества применения автогенных процессов и, в частности, комплекса плавки Ванюкова.

В специальной части проекта дана характеристика технологического комплекса, как объекта управления, сформулированы назначение и цель создания системы автоматизации, определены требования к системе автоматизации в целом и отдельным видам обеспечения. В соответствии с индивидуальным заданием построена математическая модель процесса, отражающая основные операции переработки сырья в печи Ванюкова, разработаны элементы интеллектуальной системы управления процессом. Выполнен выбор технических средств, приведено описание разработанной системы автоматизации.

В необходимых объемах выполнены экономическая часть проекта и раздел охраны труда.

За время дипломного проектирования Байтаулов Е. проявил трудолюбие, техническую грамотность, знание методов проектирования систем управления технологическими процессами, способность самостоятельно решать различные задачи создания автоматизированных систем.

Выполненный дипломный проект соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным работам, допускается к защите, а автор – Байтаулов Е., заслуживает присвоения академической степени бакалавра по специальности «Автоматизация и управление».

Научный руководитель проекта,
ассоциированный профессор
кафедры АиУ, канд. техн. наук,



А.Ибраев

АННОТАЦИЯ

Целью дипломной работы является попытка разработки системы оптимального управления процессом Ванюкова. В ходе выполнения дипломной работы были изучены основные способы применения автоматизации в этой области. Дипломная работа состоит из четырех частей, каждая из которых подробно раскрывает актуальность выбранной темы.

В каждой из частей подробно описаны технологические процессы и приведены расчетные материалы, с учетом выбранного объекта управления. Также были описаны характеристики предприятия, описание конструкций и анализ деятельности функционирующей деятельности.

АҢДАТПА

Дипломдық жұмыстың мақсаты Ванюков процесін оңтайлы басқару жүйесін әзірлеу болып табылады. Дипломдық жұмысты орындау барысында осы салада автоматтандыруды қолданудың негізгі тәсілдері зерттелді. Дипломдық жұмыс төрт бөлімнен тұрады, олардың әрқайсысы таңдалған тақырыптың өзектілігін егжей-тегжейлі көрсетеді.

Әрбір бөлікте технологиялық процестер егжей-тегжейлі сипатталған және таңдалған басқару объектісін ескере отырып, есептеу материалдары келтірілген. Сондай-ақ кәсіпорынның сипаттамасы, құрылым сипаттамасы және жұмыс істейтін қызметтің талдауы сипатталды.

ANNOTATION

The purpose of the thesis is the attempt of development of the system of optimum control of Vanyukov's process. During implementation of the thesis the main methods of application of automation in this area were studied. The thesis consists of four parts, each of which in detail discloses relevance of the chosen subject.

In each of parts technological processes are in detail described and settlement materials, taking into account the chosen object of management are given. Also characteristics of the enterprise, the description of designs and the analysis of activity of the functioning activity were described.

ВВЕДЕНИЕ

В данном дипломном проекте в соответствии с задачей, разработана система автоматизации технологическим комплексом плавки Ванюкова в условиях Балхашского ГМК. Главной целью сбора, автоматизированной систем контроля и управления процессом печи Ванюкова, является обеспечение его работоспособности и эффективного функционирования. Главной особенностью процесса печи Ванюкова является то, что он относится к многомерным и многосвязным объектам управления со многими входными и выходными характеристиками.

В настоящем проекте рассмотрены: технология получения штейна методом печи Ванюкова, сделаны расчёты материального и теплового балансов процесса. В специальной части дипломного проекта выполнен анализ процесса печи Ванюкова как объекта управления, сформулирована содержательная постановка задачи управления, определены назначение и цель возникновения системы автоматизации, приведено описание автоматизированных функций. Согласно с индивидуальным заданием рассмотрены постановки и алгоритмы решения задач централизованного контроля, расчёта ТЭП и отображение информации. Система реализуется на контроллерах фирмы Siemens.

Основной целью дипломной работы является попытка разработки системы оптимального управления процессом Ванюкова с использованием классических математических моделей.

1 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССА

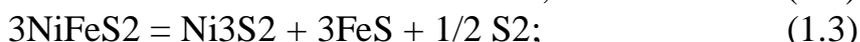
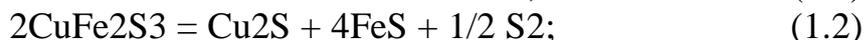
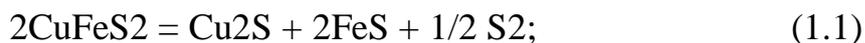
Печь Ванюкова – неповторимая, не имеющая аналогов в мире, плавильная установка, используемая предприятиями цветной металлургии Казахстана для переработки медных и медно-никелевых сульфидных концентратов. В настоящее время такие печи используются на Балхашском медеплавильном заводе (ТОО «Корпорация Казахмыс»).

Проект по созданию Интеллектуальной автоматизированной системы управления печью Ванюкова №3 на Балхашском медеплавильном заводеначалась в 2011 году. В планах проекта разработаны математические модели расчёта ряда не измеряемых параметров процесса, спроектирована и внедрена интеллектуальная система управления, расширяющая функциональные и информационные возможности АСУТП агрегата.

Процессы плавления шихты. В процессе Ванюкова, как и в других автогенных процессах, элементарные стадии процесса плавления совмещены.

Нагрев шихты и диссоциация высших сульфидов начинается во время вертикального движения шихты к поверхности расплава и завершается в барботируемой области ванны.

Поэтому могут происходить следующие реакции диссоциации высших сульфидов:



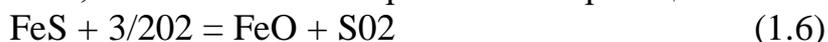
Получившаяся сера частично окисляется кислородом дутья по реакции



частично испаряется в виде элементарной серы и частично окисляется над расплавом кислородом, подсасываемого воздуха.

В процессе Ванюкова отсутствует прямой контакт кислорода дутья с шихтой. Наибольшая скорость массообмена в барботируемой ванне приводит к образованию однородной шлако-штейновой эмульсии.

При этом кислород взаимодействует с сульфидом железа, растворенным как в штейновом, так и в шлаковом расплаве по реакции



Образующийся диоксид серы может выступать в качестве окислителя с выделением элементарной серы по реакции



Оксид железа (FeO), полученный по реакциям (6) и (7), попадая в область дутьевого факела, окисляется до магнетита (Fe₃O₄) по реакции



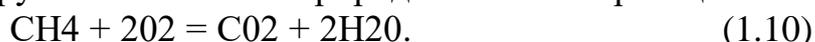
Магнетит, в интенсивно барботируемой ванне, контактирует с сульфидом железа и снова восстанавливается до оксида железа по реакции



Сущность магнетита в шлаке определяется равновесием между скоростями реакций (1.8) и (1.9).

Помимо сульфидов, в шихте процесса Ванюкова присутствуют диоксид кремния (SiO_2), оксиды кальция (CaO) и магния (MgO), окись алюминия (Al_2O_3) и других, которые наряду с образующимися оксидами железа формируют шлак. Состав шлака зависит от содержания основных шлакообразующих компонентов: FeO , SiO_2 и CaO . При плавке на силикатный шлак образуется расплав, близкий по составу к фаялиту ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$). При плавке на шлаки, содержащие кальций, могут образовываться ферриты или силикаты кальция, например, $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ и $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$.

Процесс Ванюкова может протекать как автогенно, т. е. за счет тепла экзотермических реакций окисления шихты, так и полу автогенно, когда недостаток тепла компенсируется сжиганием природного газа по реакции



На данный момент успешно эксплуатируются девять металлургических печей Ванюкова, а технология зарекомендовала себя как эффективный и надежный процесс.

Краткое описание работы печи Ванюкова, описано на рис.1.1

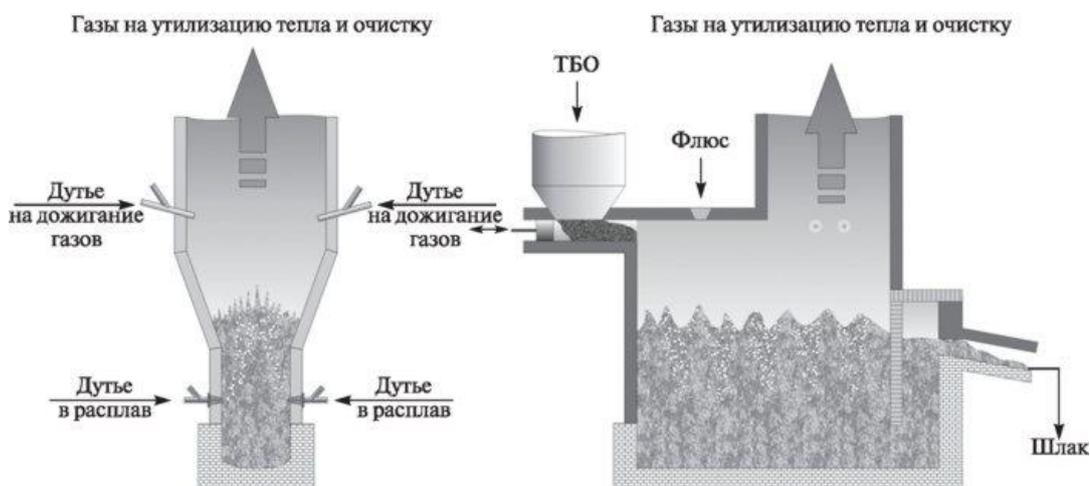


Рисунок 1.1 – Печь Ванюкова

Материалы (шихта и флюс) непрерывно загружают в печь на поверхность шлакового расплава с температурой 1300°C , интенсивно перемешиваемого кислородно-воздушным дутьем, которое подают непосредственно в объем расплава через дутьевые устройства, установленные в боковых стенах печи. Таким образом происходит замешивание загружаемых материалов в шлаковый расплав и полное сгорание. Их зольная часть и добавляемый флюс (кварцевый песок, известняк или другие материалы в зависимости от требуемого состава шлака) образуют жидкий шлак, который непрерывно либо периодически выпускается через окно в торцевой стене печи.

Отходящие газы поступают в котел-утилизатор тепла, расположенный непосредственно над печью, и далее в систему газоочистки. Тепло отходящих газов используют для выработки тепловой и электрической энергии для собственных нужд и поставки потребителям.

Благодаря интенсивному перемешиванию расплава удельная производительность печей Ванюкова — одна из самых больших среди плавильных металлургических агрегатов. На каждый квадратный метр рабочей площади печи возможна загрузка не менее 35 т/сут.

Предлагаемая технология полностью удовлетворяет требованиям, выполнение которых (как подтверждают многочисленные исследования) обеспечивает экологическую безопасность процесса:

- высокие температуры (не менее 1 200 °С);
- избыток окислителя (кислорода);
- достаточное для полного распада высокотоксичных органических соединений время пребывания газов в горячей зоне (не менее 2 с);
- интенсивное перемешивание расплава, обеспечивающее максимально быстрый нагрев отходов до рабочей температуры.

Применение обогащенного кислородом дутья позволяет:

- обеспечить автогенную (без сжигания топлива) работу агрегата даже на влажных;
- снизить объем отходящих газов более чем в 4 раза по сравнению с использованием воздуха, что существенно сокращает капитальные и эксплуатационные затраты на газоочистку.

За счет использования обогащенного кислородом дутья отходящие газы содержат значительное количество диоксида углерода (около 25 %), что после очистки позволяет применять их для производства жидкой углекислоты и сухого льда.

Результаты предварительных экономических расчетов свидетельствуют о самокупаемости и финансовой устойчивости проектов на базе предлагаемой технологии. Отсутствие необходимости предварительной подготовки **отходов**, высокая удельная производительность и экологическая безопасность процесса Ванюкова позволяют в короткие сроки решить проблемы с получением материальной выгоды.

Практический опыт, накопленный при строительстве и эксплуатации комплексов на базе печей Ванюкова, в полной мере позволяет разрабатывать проектную и технологическую документацию, а также проводить обучение персонала и осуществлять технологическую поддержку.

При рассмотрении технологии переработки медных концентратов в печи Ванюкова необходимо учитывать тот факт, что этот процесс является относительно новым, еще недостаточно изученным и внедренным лишь на нескольких объектах предприятий цветной металлургии мира.

Поэтому полезно рассмотреть эволюцию преобразования известных автогенных пирометаллургических процессов в новый эффективный процесс плавки концентратов в жидкой ванне, названный в честь его автора

процессом Ванюкова. Необходимо также рассмотреть отличительные признаки процесса плавки в печи Ванюкова (ПВ). К настоящему времени проведены исследования по моделированию гидродинамической обстановки в ПВ, которые имеют очень важное значение в понимании этого процесса и могут быть полезны при разработке системы управления.

Процесс ПЖВ, благодаря ряду принципиально отличительных признаков, обладает несомненными преимуществами, среди которых можно отметить:

- высокий удельный проплав и возможность создания агрегатов большой единичной мощностью;
- низкое содержание металла в шлаках;
- низкий пылевывос;
- низкий расход огнеупоров;
- возможность переработки влажных концентратов и кусковой руды без дорогостоящей предварительной подготовки.

Содержание кислорода в дутье для обеспечения автогенного режима при плавке сухой шихты с влажностью менее 1-2% составляет 40-45%, влажной (6-8% влаги) 55-65%. В печи можно плавить как мелкие материалы, так и кусковую шихту. Крупную и влажную шихту загружают непосредственно в слое расплава. Шлак и штейн выпускаются отдельно из нижней части ванны с помощью сифонов.

Характерной особенностью плавки в жидкой ванне, отличающей ее от всех рассмотренных ранее процессов, является то, что плавление и окисление сульфидов осуществляются в ванне шлака, а не штейна, и шлак движется в печи не в горизонтальном направлении, как это имеет место во всех известных процессах плавки, а в вертикальном – сверху вниз.

Горизонтальной плоскостью по осям фурм расплав в печи делится на две зоны: верхнюю надфурменную (барботируемую) и нижнюю подфурменную, где расплав находится в относительно спокойном состоянии.

В надфурменной зоне осуществляются плавление, растворение тугоплавких составляющих шихты, окисление сульфидов и укрупнение мелких сульфидных частиц. Крупные капли сульфидов быстро оседают в слое шлака, многократно омывая шлак за время его движения сверху вниз в подфурменной зоне. При непрерывном осуществлении процесса устанавливается динамическое равновесие между количеством поступающих с загрузкой мелких сульфидных частиц, скоростью их укрупнения и отделения от шлака. В результате одновременного протекания этих процессов устанавливается постоянное содержание сульфидов (капель) в шлаке, лежащее на уровне 5-10% от массы расплава. Таким образом, все процессы в надфурменной области протекают в шлако-штейновой эмульсии, в которой преобладает шлак.

Окисление сульфидов, как известно, является очень быстрым процессом и обычно не ограничивает конечную производительность агрегатов. В производственных процессах желательно не только не повышать, но даже

замедлять скорость окисления сульфидов. Действительно, большие скорости окисления сульфидов, например, при продувке жидких сульфидов кислородом, приводят к чрезмерному повышению температуры в области фурм.

Окисление сульфидов в шлако-штейновой эмульсии протекает менее интенсивно, чем в сульфидном расплаве, фокус горения растягивается, что позволяет избежать локального повышения температуры в области фурм даже при использовании чистого кислорода. Это в свою очередь облегчает задачу создания надежной и долговечной аппаратуры. При этом скорость окисления остается достаточно высокой и степень использования кислорода на окисление сульфидов практически равна 100% при любом необходимом его количестве, подаваемом в расплав. Таким образом, при окислении сульфидов в шлако-штейновой эмульсии скорость их окисления не лимитирует производительность агрегата. Возможность интенсивного окисления сульфидов в шлако-штейновой эмульсии без большого локального повышения температуры в области фурм является важным достоинством плавки в жидкой ванне.

Окисление сульфидов в шлако-штейновой эмульсии представляет собой сложный многостадийный процесс, состоящий из окисления капелек штейна, окисления растворенных в шлаке сульфидов, окисления FeO шлака до магнетита и окисления сульфидов магнетитом. Таким образом, шлак также является передатчиком кислорода. Наибольшее значение имеет стадия окисления сульфидов, растворенных в шлаке.

Характерная особенность окисления сульфидов в шлако-штейновой эмульсии состоит в том, что оно не сопровождается образованием первичных железистых шлаков и выпадением мелких сульфидных частиц. Оксиды, образующиеся на поверхности сульфидных капель, немедленно растворяются в шлаке конечного состава. Отсутствие условий для образования значительных количеств мелкой сульфидной взвеси является важным достоинством плавки в жидкой ванне, создающим предпосылки для получения бедных, отвальных шлаков.

Высокая степень использования кислорода обеспечивает простое управление составом штейна и соотношением количеств подаваемого через фурму кислорода и загружаемых за то же время концентратов. Состав штейна можно регулировать в широком диапазоне вплоть до получения белого мата или даже черновой меди. Потери меди со шлаком начинают резко возрастать, когда ее содержание в штейне превысит 60%. Поэтому при плавке на штейн, если в технологической схеме не предусматривается специальное обеднение шлака, увеличивать содержание меди в штейне свыше 50-55% нецелесообразно. При получении белого мата или черновой меди в технологическую схему должна обязательно включаться операция обеднения шлаков.

Растворение тугоплавких составляющих шихты является одним из относительно медленных процессов. Энергичный барботаж ванны резко

ускоряет процесс растворения кварца и компонентов пустой породы, что позволяет использовать даже сравнительно крупные флюсы. Промышленные испытания показали, что при крупности кварца около 50 мм скорость его растворения не влияет на производительность печи, по крайней мере, вплоть до удельного проплава, равного 80 т/(м²·сут). Высокая скорость растворения тугоплавких составляющих является важной особенностью плавки в жидкой ванне.

Минимальное содержание магнетита в шлаках - обязательное условие совершенного плавильного процесса, как уже говорилось, с увеличением содержания магнетита резко возрастает содержание растворенной меди в шлаках. Кроме того, повышение содержания магнетита (степени окисляемости системы) приводит к снижению межфазного натяжения на границе раздела штейна и шлака.

2 Автоматизация процесса плавки Ванюкова

2.1 Анализ процесса как объекта управления

Объект управления - промышленная печь ПЖВ. Промышленная установка ПЖВ БМЗ представляет собой двухзонную кессонированную печь с непрерывной сводовой загрузкой в зону плавления, боковым дутьем в расплав и непрерывным выводом продуктов плавки из реакционной зоны.

Попадая в расплав, шихта нагревается, растворяется, высшие сульфиды шихты диссоциируют, образуя простейшие сульфидные соединения и элементарную серу. Продукты диссоциации взаимодействуют с кислородом дутья, барботирующего расплав, в результате чего образуются штейн, шлак и богатые по сернистому ангидриду газы. Штейно-шлаковая эмульсия, опускаясь вниз, постепенно расслаивается, штейн образует сплошную донную фазу, а шлак через сифон попадает в восстановительную зону, после чего через второй сифон перетекает в шлаковый электроотстойник. Периодически, по мере накопления, штейн выпускают из печи в ковш и разливают в изложницы, предварительно взвесив.

Восстановительная зона по конструкции аналогична плавильной и служит для изучения режимов переработки руд, содержащих цинк и свинец, в других случаях она используется в качестве поточной емкости.

Печные газы выводятся из каждой зоны по газоходам и направляются в систему, состоящую из циклонного фильтра, скруббера, камер дожигания СО и охлаждения, и поступают либо в дымоход, либо в систему получения элементарной серы.

Из характеристики процесса переработки материалов в печи ПЖВ на БМЗ можно заключить, что объект управления представляет собой технологический процесс со сложной взаимосвязью характеризующих его параметров. Среди особенностей печи ПЖВ БГМК следует выделить:

- малую инерционность объекта по каналу: дутье - температура расплава и отходящих газов и относительно большую по каналу: дутье, состав входных продуктов - состав штейна и шлака;

- объект можно отнести к классу непрерывных (непрерывная подача шихты, дутья, непрерывность основных преобразований (нагревание, плавление, окисление, восстановление материалов, массо- и теплообмен) и непрерывный выпуск шлака и периодический - штейна, непрерывный отсос отходящих газов);

- многомерность технологического процесса, характеризующегося большим количеством входных и выходных переменных;

- не стационарность параметров процесса вследствие колебаний значений входных переменных, из-за недостаточного усреднения шихты;

- неполноту информации (наличие периодически контролируемых параметров, а также запаздываний, как на самом объекте, так и в каналах измерения, значительный уровень помех в последнем и т. д.);

- узкий рабочий диапазон температуры расплава в плавильной зоне;
- процессы переработки различных видов сырья, исследуемых на установке ПЖВ, имеют существенные отличия в характере протекания физико-химических явлений.

Как объект управления комплекс ПВ представляет собой непрерывный процесс, характеризуемой значительной инерционностью, большим количеством входных и выходных переменных, их коррелированностью и трудностью их измерения, влиянием возмущающих воздействий, наличием транспортных запаздываний. В рамках комплекса ПВ можно выделить следующие основные технологические процессы: загрузка шихты и угля, подача кислородовоздушной смеси и мазута, охлаждение печи, транспортировка отходящих газов, утилизация газов котла-утилизатора, деаэрирование воды.

Анализ технологического процесса ПВ как объекта управления показывает, что он характеризуется следующими особенностями:

- непрерывность основных технологических операций плавления шихты с образованием штейна и отвального шлака;
- многомерность процесса, характеризующаяся большим количеством входных и выходных переменных;
- не стационарность процесса, обусловленная изменением состава и качества шихты, изменением соотношения шихта-дутьё, старением агрегатов, изменением тягового режима печи, влиянием погодных условий;
- стохастический характер возмущающих воздействий на процесс в виде отклонении химического состава сырья от средних значений и случайных возмущений на процесс;
- временное запаздывание между входом и выходом процесса, обусловленное значительной инерционностью и запаздыванием объектов, величина которого различна для отдельных каналов объекта;
- неполнота информации о составе, свойствах сырья и вырабатываемой продукции, обусловленная характером контроля химического состава шихты, штейна, отвальных шлаков, значительной погрешностью контроля в связи с неоднородностью масс, погрешностью анализов, значительными запаздываниями, обусловленными затратами времени на транспортировку, подготовку и анализ проб.

Процесс ППВ как объект управления можно схематически изобразить следующим рисунком 2.1.

U

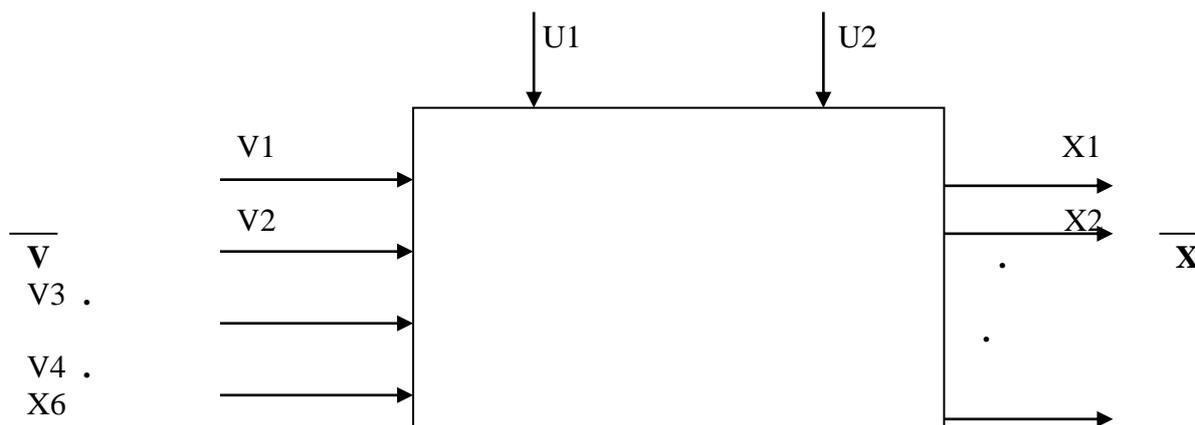


Рисунок 2.1–Процесс ППВ как объект управления

На схематическом изображении объекта управления обозначены: вектор входных управляющих воздействий – U ; вектор входных возмущающих воздействий – V ; вектор входных переменных – X .

Вектор V (V_1, V_2, V_3, V_4) имеет следующие компоненты: V_1 – содержание серы в шихте (%); V_2 – содержание меди в шихте (%); V_3 – содержание соединений железа в шихте (%); V_4 – количество проплавляемой шихты (%).

Вектор U (U_1, U_2) содержит: U_1 – расход дутья; U_2 – содержание кислорода в дутье.

Вектор X ($X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$) содержит: X_1 – содержание меди в отвальном шлаке (%); X_2 – содержание меди в штейне (т); X_3 – количество получаемого штейна (т); X_4 – количество выдаваемого шлака (т); X_5 – количество серы в отходящих газах (%); X_6 – температура процесса ($^{\circ}C$).

Таким образом, процесс плавки в печи Ванюкова относится к многомерным, многосвязным объектам управления со многими входными и выходными переменными.

Содержательная постановка задачи управления может быть сформулирована следующим образом: необходимо найти значения управляющих воздействий на процесс, обеспечивающих достижение максимума выбранного критерия оптимальности при выполнении ограничений на переменные процесса, вытекающих из технологических требований к режимам ведения процесса (расхода шихты, кислорода, воздуха, температура и уровень расплава и пр.) и продуктам плавки. Такая задача может быть решена только при создании системы автоматизации с применением средств вычислительной техники (АСУ ТП).

2.2 Назначение и цель системы управления

АСУ ТП ПВ представляет собой программно-технический комплекс (ПТК ПВ), предназначенный для автоматизированного контроля и управления технологическим процессом плавки медьсодержащего сырья в печи Ванюкова, в функции которого входят:

- сбор и обработка информации о переменных, характеризующих состояние объекта управления, её передача на компьютеры операторов технологических процессов – реализация функций локальных систем автоматического регулирования и стабилизации заданных технологических режимов;

- дистанционное управления технологическим агрегатами;
- графическое, цифровое, мнемоническое отображение оперативных данных о функционировании управляемого объекта;
- сигнализация предаварийных и аварийных ситуаций;
- формирование и печать отчётных документов.

Объектом автоматизации является совокупность технологических установок, включающих непосредственно печь Ванюкова, котел-утилизатор и паропреобразовательную установку (ППУ).

Основной целью создания автоматизированной системы контроля и управления комплексом ПВ является обеспечения его работоспособности и эффективного функционирования.

Критерий управления в АСУТП – это соотношение, характеризующее степень достижения целей управления (качество функционирования технологического объекта в целом) и принимающее различные числовые значения в зависимости от используемых управляющих воздействий. Отсюда следует, что критерий обычно является технико – экономическим (например, себестоимость выходного продукта при заданном его качестве, производительность ТОО при заданном качестве выходного продукта и т.п. или техническим показателем (параметры процесса, характеристики выходного продукта).

Поскольку данный металлургический комплекс является сложным объектом, его эффективное управление требует применения современных технологий.

Кроме того, в рамках работ по созданию АСУ ТП ПВ ставится цель реализации компонентов системы, обеспечивающих её интеграцию с существующей системой автоматизации БГМК и поэтапную модернизации последней.

Цели проекта:

- стабилизация качества продуктов плавки;
- получение не измеряемых или плохо измеряемых параметров технологического процесса и состояний агрегатов косвенным методом;
- снижение энергоёмкости процесса переработки шихты;

- стабилизация температурного режима процесса при выполнении плановых заданий и целей;
- сведение до минимума влияния человеческого фактора на выработку управляющих воздействий.

Целью работы является повышение безаварийности и технико-экономических показателей процесса плавки медного сульфидного концентрата в ПВ путем создания интеллектуальной системы управления плавкой в условиях существенной неполноты исходной информации о протекании процесса.

Достижение поставленной цели обеспечивается исследованием следующих научно-технических вопросов:

- разработка эффективной методики выбора экспертов-технологов для формирования базы знаний на основе выбора эффективных способа и критерия оценки качества работы оперативного технологического персонала по управлению процессом плавки в ПВ-2 из условия обеспечения безопасного управления и получения качества медного штейна не ниже регламентного;

- выбор и обоснование технологических переменных и их значений для формирования управляющих воздействий на основе знаний и опыта экспертов-технологов, выбранных путем идентификации величин предлагаемых автором критериев и способов оценки качества их работы за длительный интервал времени;

- разработка нечеткого интеллектуального алгоритма для выработки управляющих воздействий на процесс получения медного штейна в комплексе ПВ-2 и алгоритма оценки качества работы операторов-технологов в течение технологической смены;

- разработка интеллектуальной системы управления процессом плавки медного сульфидного концентрата в печи Ванюкова и подтверждение ее эффективности в промышленных условиях.

2.3 Постановка задачи

При создании АСУТП должны быть определены конкретные цели функционирования системы и ее назначения в общей структуре управления предприятия.

Примерами таких целей могут служить:

- экономия топлива, сырья, материалов и других производственных ресурсов;
- обеспечение безопасности функционирования объекта;
- повышение качества выходного продукта или обеспечение заданных значений параметров выходных продуктов (изделий);
- снижение затрат живого труда;
- достижение оптимальной загрузки (использования) оборудования;

- оптимизация режимов работы технологического оборудования и т. д. Достижение поставленных целей осуществляется системой посредством выполнения совокупности ее функций.

Функция АСУТП представляет собой совокупность действий системы, обеспечивающих достижение частной цели управления.

При том под совокупностью действий системы понимают описанную в документации последовательность операций и процедур, выполняемых элементами системы для ее реализации.

Частная цель функционирования АСУТП – цель функционирования или результат ее декомпозиции, для которой удается определить полную совокупность действий элементов системы, достаточную для достижения этой цели.

Функции АСУТП по направленности действий (назначению функций) делятся на основные и вспомогательные, а по содержанию этих действий – на управляющие и информационные.

К основным (потребительским) функциям АСУТП относятся функции, направленные на достижение целей функционирования системы, осуществляющие управляющие воздействия на ТОУ и обмен информацией со смежными системами управления. Обычно к ним относят такие информационные функции, обеспечивающие оперативный персонал автоматизированного технологического комплекса информацией, необходимой ему для управления технологическим процессом производства.

К вспомогательным функциям АСУТП относятся функции, направленные на достижение необходимого качества функционирования (надежности, точности) системы, реализующие контроль и управление ее работой.

К управляющим функциям относятся функции, содержанием каждой из которых является выработка и реализация управляющих воздействием на соответствующий объект управления – ТОУ или его часть для основных функций и на АСУТП или ее часть для вспомогательных. Например, основные управляющие функции, регулирование (стабилизация) отдельных технологических переменных, программное логическое управление технологическими аппаратами, оптимальное управление ТОУ, адаптивное управление ТОУ, вспомогательные управляющие функции, аварийное отключение оборудования АСУТП, переключение технических средств на аварийный источник питания и т.д.

К информационным функциям АСУТП относятся функции, содержанием которой является получение и преобразование информации о состоянии ТОУ или АСУТП и ее представление в смежные системы или оперативному персоналу автоматизированного технологического комплекса. Например, основные информационные функции, контроль и измерение технологических параметров, косвенное измерение параметров процесса (техничко – экономических показателей), подготовка и передача информации в смежные системы управления, вспомогательные информационные

функции, контроль состояния оборудования, определение показателей, характеризующих качество функционирования АСУТП или ее частей и т.д.

АСУ реализует:

- безударное переключение с режима автоматического регулирования на ручное и обратно;

- самоконтроль компонентов АСУ и сигнализацию о неисправности компонентов и цепей.

С точки зрения архитектуры АСУ строится по иерархическому принципу и состоит из нижнего, среднего и верхнего уровня.

Функции системы:

- отслеживание действий оператора по управлению технологическим процессом и оценка близости управляющих воздействий к требуемым;

- выдача рекомендаций оператору о необходимости внесения изменений в управление технологическим процессом в соответствии с известными критериями эффективности управления;

- автоматический анализ решений, принимаемых системой, на соответствие критериям эффективности и адекватности управления технологическим процессом;

- накопление базы знаний по управлению за весь период эксплуатации системы с целью выявления из всей выборки данных наиболее верных моделей (шаблонов) управления технологическим процессом;

- предоставление режима прямого управления (переход от режима «советчика» к режиму прямого управления), обеспечивающего формирование управляющих команд для действующей АСУ ПВ-3 на основании интеллектуальных моделей управления, статистически зарекомендовавших себя эффективными;

- автоматический поиск причин возникновения неисправностей, аварийных ситуаций, выхода параметров технологического режима за допустимые пределы;

- автоматический анализ качества управления технологическим процессом с предоставлением отчетов за установленные периоды;

- прогнозирование не измеряемых параметров технологического процесса;

- моделирование функционирования агрегатов и исполнительных механизмов;

- моделирование цепочек технологического оборудования;

- моделирование технологических узлов;

- моделирование зависимостей между технологическими параметрами

предоставление диагностической информации – идентификация и обнаружение критических данных на фоне большого объема разнородной и хаотичной информации.

2.4 Состав решаемых задач (7 функций с распределением их по структурным элементам СУ)

Выполняемые системой контроля и управления комплексом ПВ функции реализуются программно-техническим комплексом, условно эти функции могут быть разделены по иерархическим уровням системы. На нижнем уровне функции системы реализуются на контроллерных комплексах SimaticS7-400 и включают:

I Сбор и обработку данных с целью получения информации о фактическом состоянии объекта управления.

Контроль входных и выходных управляющих переменных осуществляется на основе опроса датчиков, перечень которых приведён в приложении, данные о состоянии объекта управления передаются на верхний уровень. Для адекватной оценки состояния объекта управления данная функция должна выполняться за счёт реализации в реальном масштабе времени совокупности программных модулей, решающих проблемы оценки достоверности полученных данных, фильтрации полезного сигнала, масштабирования, перехода в технологическую размерность. Периоды запуска программных модулей определяются динамическими свойствами технологических процессов.

Необходимо отметить, что кроме непрерывного автоматического измерения переменных, с рабочих станций технологический персонал должен осуществлять сбор данных по химическому анализу штейна и шлака и данных косвенной оценки температуры плавки (на основании данных тепловизора или других средств измерения), ввод результатов анализов насыщенного пара и котловой воды.

II Реализация функций локальных систем автоматического регулирования и стабилизации заданных технологических режимов.

По печи ПВ предусматриваются следующие контура регулирования:

- стабилизация расхода шихты;
- стабилизация расхода угля;
- стабилизация расходов технологического кислорода и вентиляторного воздуха;
- регулирование соотношения кислород/воздух;
- регулирование разряжения в печи;
- регулирование температуры перед дымососами (за счёт подсоса холодного воздуха).

При управлении котлом-утилизатором предусмотрены:

- стабилизация уровня в барабане котла;
- стабилизация давления и температуры питательной воды;
- стабилизация давления пара на выходе из котла.

III Контроль состояния оборудования.

Предусматривается контроль состояния оборудования тракта загрузки, циркуляционных, подпиточных и центробежных насосов системы охлаждения печи, питательных и циркуляционных насосов КУ РКЖ 25/40.

IV Формирование и передача данных о состоянии объекта управления на верхний уровень системы.

Функции верхнего уровня системы контроля и управления комплексом ПВ реализуются на рабочих станциях (АРМы технологов-операторов). Необходимо отметить, что ряд функций, условно отнесённых к верхнему уровню системы, инициируются операторами на рабочих станциях и реализуются решением задач, как на верхнем, так и на нижнем уровнях системы.

V Дистанционное управление технологическими агрегатами.

VI Графическое, цифровое, мнемоническое отображение оперативных данных о функционировании управляемого объекта.

VII Сигнализация предаварийных и аварийных ситуаций.

Появление предаварийных и аварийных ситуаций сопровождается звуковыми сигналами и цветовым изменением окраски технологических процессов металлургического комплекса ПВ.

VIII Формирование и печать отчётных документов.

Вид и состав отчётных документов определяются принятыми нормативными и конструктивными документами.

Вышеприведённые функции можно рассматривать как функции пускового комплекса.

2.5 Перечень входных, выходных и возмущающих переменных

В соответствии с индивидуальным заданием в настоящем дипломном проекте рассмотрены комплексы задач, реализуемые в первой очереди системы автоматизации КПВ:

- централизованный контроль переменных процессов (СЦК);
- расчёт технико-экономических показателей;
- представление информации оперативному персоналу.

Состав информационного обеспечения представляет собой совокупность системы классификации и кодирования, системы показателей (перечень входных и выходных сигналов), систем документации массивов информации (файлов), используемые в системе управления.

а) Перечень входных сигналов: температура газов в окислительной зоне печи 800-1400 °С; температура газа в электроотстойнике 800-1300 °С; температура газа в штейновом сифоне над расплавом 0-1300 °С; температура газа в шлаковом переходе над расплавом 0-1300 °С; температура кладки печи 0-1300 °С; температура подины печи 0-1300 °С; давление газа на горелки, общее 0-0,3 кгс/см²; давление воздуха на горелки 0-1,0 кгс/ м²; разряжение

газа в окислительной зоне печи – 20-0 кгс/м²; разряжение газа в восстановительной зоне печи перед камерой дожигания - 20-0 кгс/м²; разряжение газа в электроотстойнике - 20-20 кгс/см²; расход газа на горелку штейнового сифона 0-20 м³/с; расход газа на горелку шлакового перетока 0-20 м³/с; расход газа общий на горелки 0-100 м³/с; расход воздуха на горелки (P_{газа}=0,3 атм) 0-1000 м³/с; расход воздуха на штейновую горелку 0-200 м³/с; расход воздуха на горелку шлакового перетока 0-400 м³/с.

б) Перечень выходных сигналов: регулирование расходом кислорода м³/с; регулирование расходом газа м³/с; регулирование расходом воздуха м³/с; регулирование расходом химводы на кессоне М; регулирование разряжением воздуха в газоходах кгс/м²; управление отсекающим вентилем газа на фурмы; управление отсекающим вентилем подачи газа на горелки; регулирование скоростью движения ленты питателя системы загрузки флюсов; регулирование скоростью движения ленты питателя системы загрузки топлива; регулирование скоростью движения ленты питателя системы загрузки шихты; регулирование скоростью движения ленты питателя системы загрузки угля; регулирование температуры газов перед электрофильтром, °С; регулирование температуры газов перед рукавным фильтром, °С.

2.6 Описание системы и построение её функциональной схемы

Дана электрическая схема следящей системы на сельсинах, которая показана на рисунке 2.6

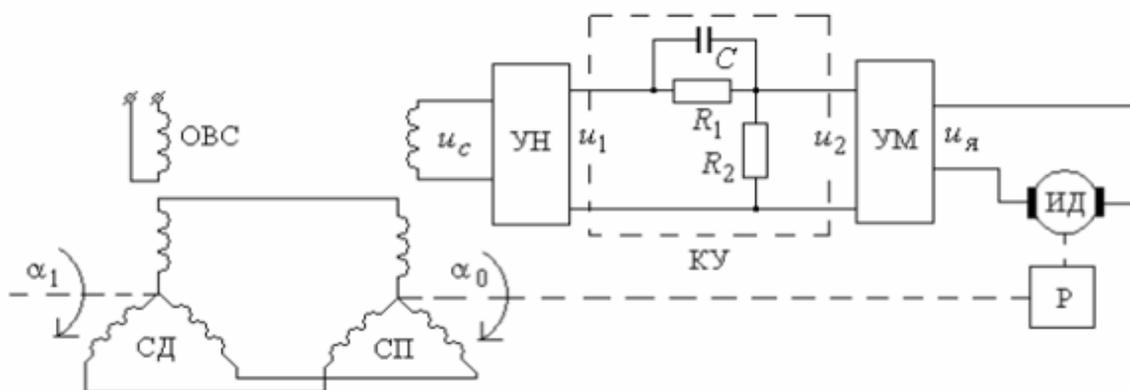


Рисунок 2.6 - Функциональная схема следящей системы на сельсинах

Здесь

СД - сельсин-датчик,

СП - сельсин-приемник,

УН - усилитель напряжения и выпрямитель,

КУ - последовательное корректирующее устройство,

УМ - усилитель мощности,

ИД - исполнительный двигатель,
Р - понижающий редуктор,
ОВС – обмотка возбуждения сельсина.

Переменный ток в роторе одного из сельсинов (сельсин-датчика) создаёт в обмотках его статора ЭДС, тем самым вызывая переменный ток через соответствующие обмотки статора второго сельсина (сельсин-приёмника). Переменное магнитное поле, создаваемое этим током, взаимодействует с переменным магнитным полем ротора сельсин-приёмника; возникающий вращательный момент пропорционален разнице между положениями роторов датчика и приёмника, и вызывает поворот последнего до тех пор, пока их положения не станут совпадать.

Усилитель — устройство для усиления входного сигнала (например, напряжения, тока или механического перемещения, колебания звуковых частот, давления жидкости или потока света), но без изменения вида самой величины и сигнала, до уровня достаточного для срабатывания исполнительного механизма (или регистрирующих элементов), за счёт энергии вспомогательного источника. Элемент системы управления (или регистрации и контроля).

Корректирующее устройство — это функциональный элемент системы автоматического регулирования по отклонению, обеспечивающий необходимые свойства этой системы, устойчивое и качественное ее действие.

Редуктор — продукция материально-технического назначения. Служит для изменения скорости вращения при передаче вращательного движения от одного вала к другому.

Исполнительные двигатели постоянного тока — маломощные машины, используемые в автоматике и телемеханике, в системах автоматического управления, регулирования и- контроля автоматизированных установок, где они преобразуют электрический сигнал измерительного органа — напряжение управления — в угловое перемещение вала для воздействия на управляющий, регулирующий или контролирующий аппарат. В тех случаях, когда поступающий сигнал недостаточен для приведения в действие исполнительного двигателя, применяют магнитный или полупроводниковый усилитель мощности.

Обмотка возбуждения сельсина - датчика подключается к источнику однофазного тока. Катушки синхронизации датчика соединены с катушками синхронизации приемника, который работает как сельсин - трансформатор. Катушки синхронизации СП являются первичной обмоткой, а статорная обмотка ОВП - вторичной (выходной) обмоткой. Она через усилитель у соединяется с исполнительным двигателем. В обмотке возбуждения сельсина - приемника индуктируется ЭДС, величина и фаза которой зависят от угла и направления результирующего потока обмотки синхронизации приемника.

Линеаризованная модель системы управления описывается следующим набором уравнений:

Сельсины

$$\Theta = \alpha_1 - \alpha_0 U_c = K_c * \Theta \quad (2.6)$$

Усилители

$$U_1 = K_u * U_c T_m * \frac{du_{я}}{dt} + U_{я} = K_m * U_2 \quad (2.7)$$

Двигатель с редуктором

$$T_{ДВ} * \frac{d\omega}{dt} + \omega = K_{ДВ} * U_{я} \frac{d\alpha_0}{dt} = k_p * \omega \quad (2.8)$$

В приведенных уравнениях:

α_1 – угол поворота задающей оси;

α_0 – угол поворота выходной оси;

u_c – напряжение переменного тока;

u_1, u_2, u_u, u_g, u_B – напряжения постоянного тока.

Исходные данные для схемы приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Данные для схемы

k_c	k_u	k_m	T_m	$k_{ДВ}$	$T_{ДВ}$	k_p	R_1	R_2	C	α_1
$\frac{В}{рад}$			с	$\frac{град}{Вс}$	с		МОм	МОм	мкФ	град
1,3	160	10	0,008	125	0,65	0,003	1,2	0,15	0,2	4+2t

Исходные данные для схемы приведены в таблице 2.6, функциональная схема для заданного системы управления следящей системы на сельсинах представлена на рисунке 2.7.

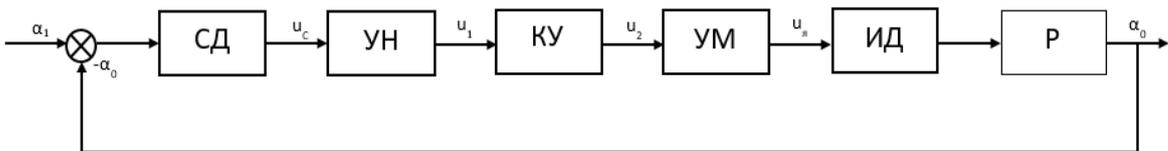


Рисунок 2.7 – Функциональная схема СУ следящей системы на сельсинах

На рисунке 2.8 представлена универсальная схема следящей системы на сельсинах.

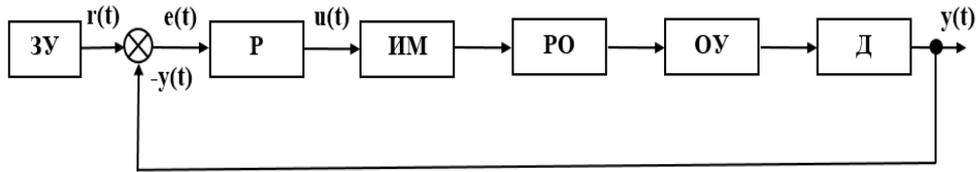


Рисунок 2.8 – Универсальная схема СУ следящей системы на сельсинах

2.7 Получение передаточных функций и характеристик элементов схемы

Передаточная функция – отношение преобразования по Лапласу выходной величины к преобразованию по Лапласу входной величины при нулевых начальных условиях.

Передаточные функции имеют вид:

Сельсины

$$G_1(s) = k_c = 1,3 \quad (2.9)$$

Усилители

$$G_2(s) = k_u = 160 \quad (2.10)$$

$$G_3(s) = \frac{k_m}{T_m \cdot s + 1} = \frac{10}{0,008 \cdot s + 1} \quad (2.11)$$

Двигатель с редуктором

$$G_4(s) = \frac{k_{дв}}{T_{дв} \cdot s + 1} = \frac{125}{0,65 \cdot s + 1} \quad (2.12)$$

$$G_5(s) = \frac{k_p}{s + 1} = \frac{0,003}{s + 1} \quad (2.13)$$

Корректирующее устройство:

$$G_{кв}(s) = \frac{0,24s + 0,1}{0,24s + 1} \quad (2.14)$$

2.8 Структурная схема системы и их передаточные функции разомкнутой и замкнутой систем (относительно задающего воздействия и ошибки)

2.8.1 Передаточная функция разомкнутой системы

Находим передаточную функцию обратной связи для упрощенной схемы и вставляем данные из формул 2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14.

$$G_{OC}(s) = \frac{G_Y(s) * G_{ДВ}(s)}{1 + G_Y(s) * G_{ДВ}(s) * G_{OC}(s)} = \frac{20000}{0,65s^2 + s + 2000} \quad (2.15)$$

Эквивалентная передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$G_{PC}(s) = G_C(s) * G_{KV}(s) * G_{OC}(s) * G_p(s) \quad (2.16)$$

Подставляем значения из таблицы 2.6 в 2.16, получаем эквивалентную передаточную функцию разомкнутой системы:

$$G_{PC}(s) = \frac{18,72s + 7,8}{0,1014s^5 + 0,7345s^4 + 313,54s^3 + 1781s^2 + 2000s} \quad (2.17)$$

С помощью формулы 2.17 строим структурную схему разомкнутой САУ



Рисунок 2.9 – Структурная схема разомкнутой САУ

На рисунке 2.10 приведена схема моделирования разомкнутой САУ в Simulink.



Рисунок 2.10 – Схема моделирования разомкнутой САУ в Simulink

На рисунке 2.11 показан конечный результат моделирования разомкнутой САУ в Simulink.

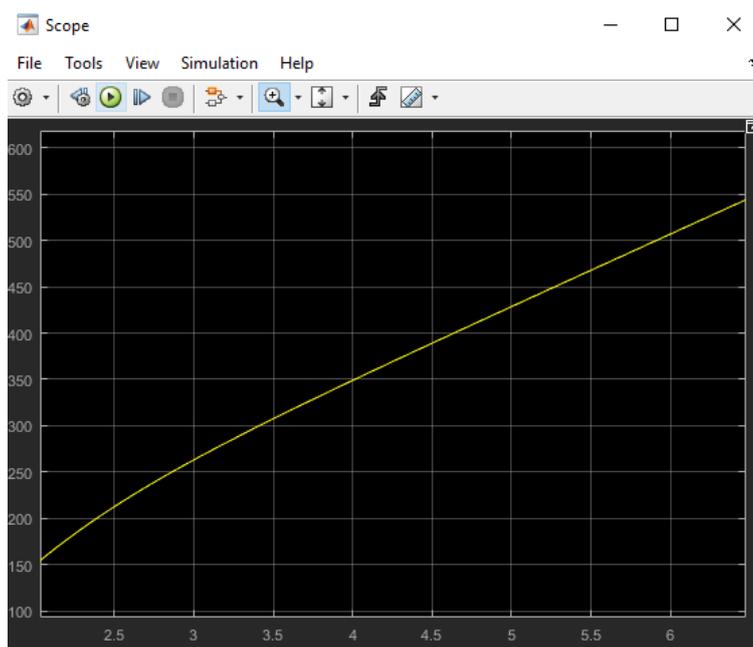


Рисунок 2.11 – Результат моделирования разомкнутой САУ в Simulink

2.8.2 Передаточная функция замкнутой системы

Эквивалентная передаточная функция замкнутой САУ:

$$G_{3C}(S) = \frac{G_{PC}(S)}{1 + G_{PC}(S)} \quad (2.18)$$

Подставляем значения в $G_{3C}(s)$:

$$G_{3C}(s) = \frac{18,72s + 7,8}{0,1014s^5 + 0,7345s^4 + 313,54s^3 + 1781s^2 + 37440s + 7,8} \quad (2.19)$$

С помощью формулы 2.19 приведена структурная схема замкнутой САУ

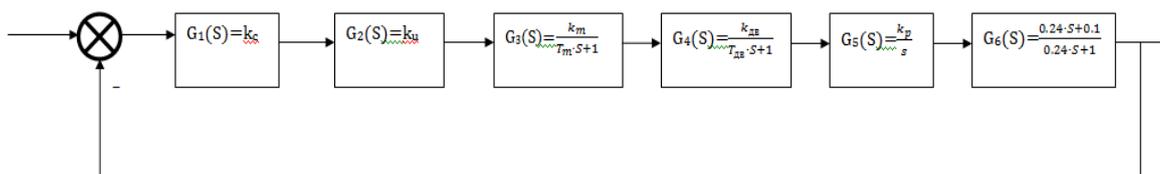


Рисунок 2.12 – Структурная схема замкнутой САУ

На рисунке 2.13 приведена схема моделирования замкнутой САУ в Simulink.

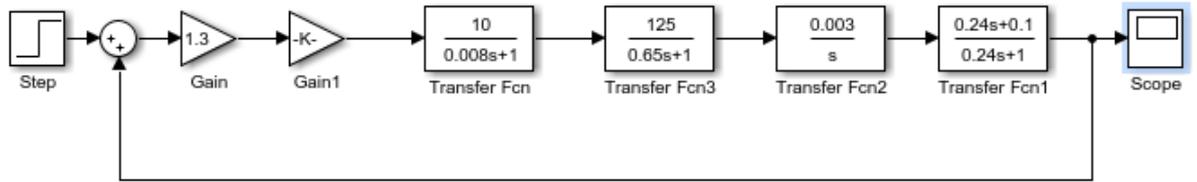


Рисунок 2.13 – Схема моделирования замкнутой САУ в Simulink

На рисунке 2.14 показан конечный результат моделирования замкнутой САУ в Simulink.

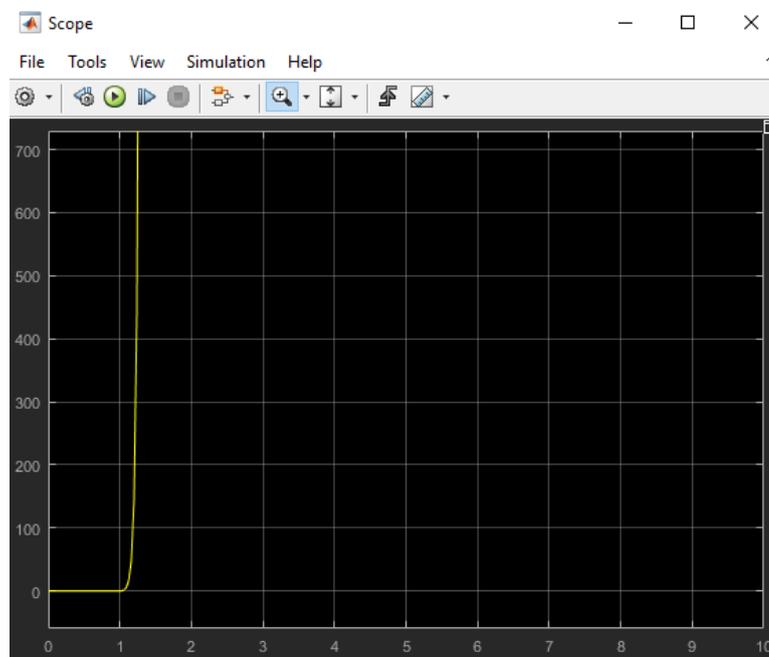


Рисунок 2.14 – Результат моделирования замкнутой САУ в Simulink

2.9 Построение частотных характеристик разомкнутой системы

2.9.1 Определение действительной и мнимой частей системы

Для определения действительной и мнимой частей системы необходимо оператор Лапласа (S) в формуле 2.17 заменяем мнимой частотой ($j\omega$) и получаем:

$$G_{PC}(s) = \frac{18,72s + 7,8}{0,1014s^5 + 0,7345s^4 + 313,54s^3 + 1781s^2 + 2000s} \quad (2.20)$$

Для избавления мнимых частей в знаменателе нужно числитель и знаменатель умножить на сопряженное число:

$$G_{PC}(j\omega) = \frac{18,72j\omega + 7,8}{j\omega(0,65\omega^2 + j\omega + 2000)(0,24j\omega + 1)(0,65j\omega + 1)} \quad (2.21)$$

Используя формулы сокращенного умножения и раскрывая скобки в числителе, получаем:

$$G_{PC}(j\omega) = \frac{2,92032j\omega^5 - 15,444\omega^4 - 8997,378j\omega^3 + 33688,2\omega^2 - 15600j\omega}{\omega^2((2000 - 0,65\omega^2)^2 + \omega^2)(0,0576\omega^2 + 1)(0,4225\omega^2 + 1)} \quad (2.22)$$

Выделяем действительную и мнимую часть по формуле:

$$G_{PC}(j\omega) = \text{Re}(\omega) + j * \text{Im}(\omega) \quad (2.23)$$

Из формулы 2.23 получаем Re и Im:

$$\text{Re}(j\omega) = \frac{-15,444\omega^4 + 33688,2}{\omega^2((2000 - 0,65\omega^2)^2 + \omega^2)(0,0576\omega^2 + 1)(0,4225\omega^2 + 1)} \quad (2.24)$$

$$\text{Im}(j\omega) = \frac{2,92032\omega^5 - 8997,378\omega^3 - 15600\omega}{\omega^2((2000 - 0,65\omega^2)^2 + \omega^2)(0,0576\omega^2 + 1)(0,4225\omega^2 + 1)} \quad (2.25)$$

2.9.2 Построение амплитудно-частотных, фазо-частотных и амплитудно-фазовых частотных характеристик разомкнутой системы

Для построения амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик используются формулы соответственно:

$$M(\omega) = \frac{k\sqrt{1+2,4^2\omega^2}}{\omega\sqrt{1+T_{дв}^2\omega^2}\sqrt{1+T_m^2\omega^2}\sqrt{1+0,24^2\omega^2}} \quad (2.26)$$

$$\varphi(\omega) = \text{arctg}2,4\omega - \text{arctg}\omega - \text{arctg}T_{дв}\omega - \text{arctg}T_m\omega - \text{arctg}0,24\omega$$

Подставляя формулы действительной и мнимой частей получаем:

$$M(\omega) = \frac{780\sqrt{1+2,4^2\omega^2}}{\omega\sqrt{1+0,65^2\omega^2}\sqrt{1+0,008^2\omega^2}\sqrt{1+0,24^2\omega^2}} \quad (2.27)$$

$$\varphi(\omega) = \text{arctg}2,4\omega - \text{arctg}\omega - \text{arctg}0,008\omega - \text{arctg}0,65\omega - \text{arctg}0,24\omega$$

Выбираем частоты ω из промежутка $[0; +\infty)$ для использования в полученных формулах АЧХ и ФЧХ. Значения АЧХ и ФЧХ приведены в таблице 2.7:

Таблица 2.7 – Значение АЧХ и ФЧХ

ω	0	1	5	10	100
$\text{Re}(\omega)$	∞	0.00559	0.00000865	-0.00000107	-0.00000000312
$\text{Im}(\omega)$	0	-0.004	-0.00043	-0.0000791	0.0000000409
$M(\omega)$	∞	17.04	460	10.93	0.999
$\varphi(\omega)$	0	-24.57°	-117.29°	-148.07°	-217.9°

На рисунке 2.15 показан график амплитудно-частотной характеристики.

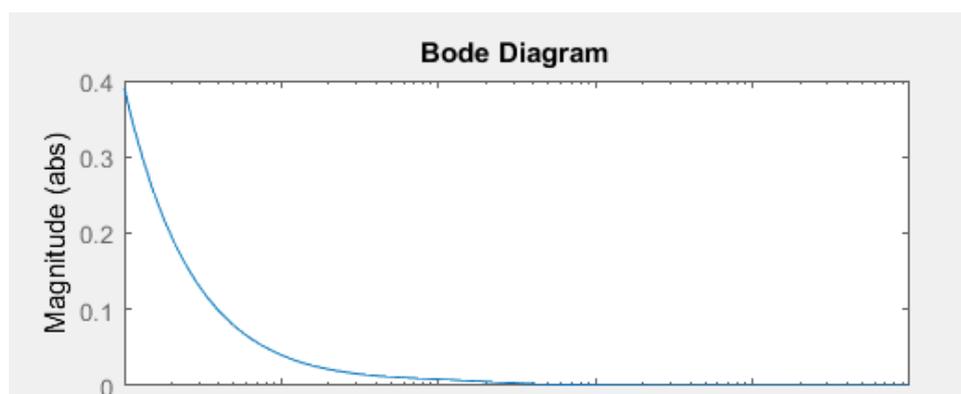


Рисунок 2.15 – График амплитудно-частотной характеристики

На рисунке 2.16 показан график фазо-частотной характеристики.

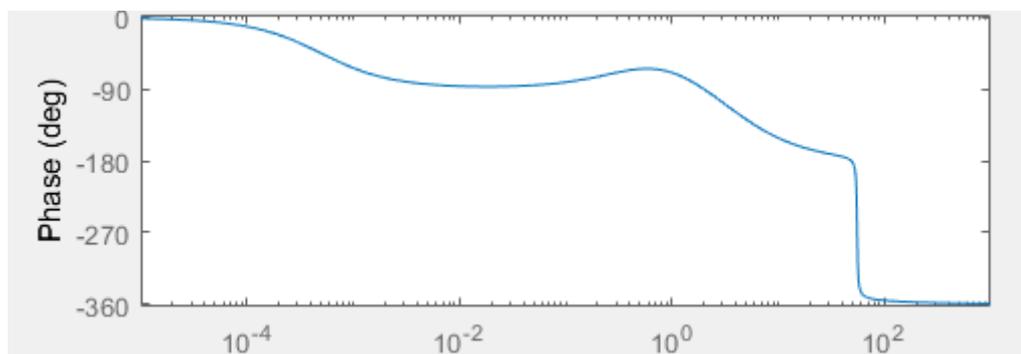


Рисунок 2.16 – График фазо-частотной характеристики

На рисунке 2.17 показан график амплитудно-фазовой частотной характеристики.

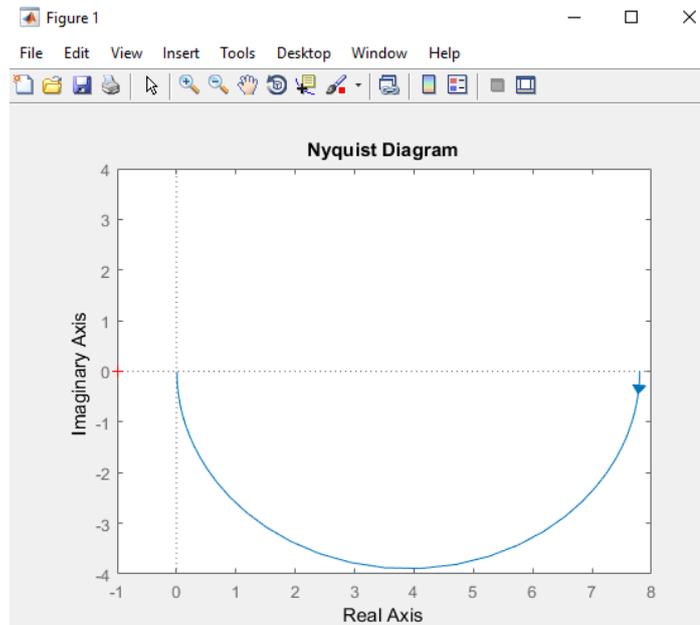


Рисунок 2.17 – График амплитудно-фазовой частотной характеристики

2.9.3 Построение логарифмических амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик разомкнутой системы

Для получения ЛАЧХ используем формулу:

$$L(\omega) = \lg(M(\omega)) \quad (2.28)$$

Вместо ω в формуле ЛАЧХ были подставляем значения из промежутка $[0; +\infty)$. Значения ЛАЧХ приведены в таблице 2.8. Полученная ЛАЧХ показана на рисунке 2.18.

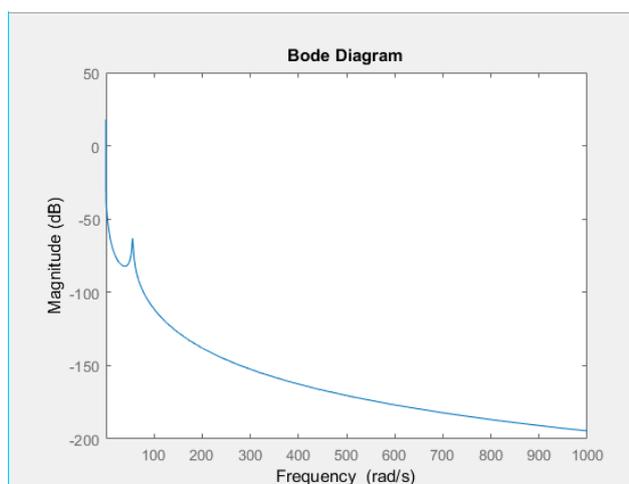


Рисунок 2.18 – График ЛАЧХ

Таблица 2.8 – Значение ЛАЧХ

ω	0	1	5	10	100
$L(\omega)$	13.6	-41	-54.9	-63	-113

Для получения ЛФЧХ используем формулу:

$$\varphi(\omega) = \varphi(\lg(\omega)) \quad (2.29)$$

Вместо ω в формуле ЛФЧХ были подставляем значения из промежутка $[0; +\infty)$. Значения ЛФЧХ приведены в таблице 2.9. Полученная ЛФЧХ показана на рисунке 2.19.

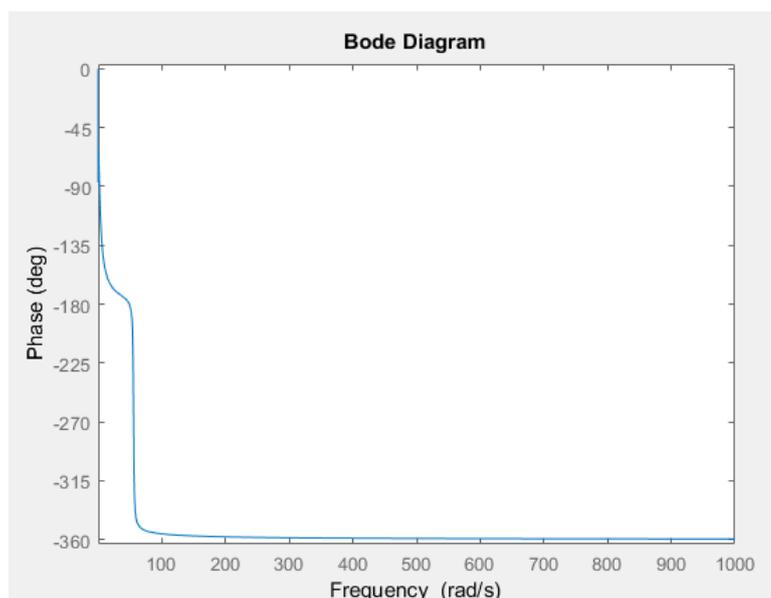


Рисунок 2.19 – График ЛФЧХ

Таблица 2.9 – Значение ЛФЧХ

ω	0	1	5	10	100
$\varphi(\omega)$	0	-67.5	-128	-153	-356

2.10 Анализ устойчивости следящей системы на сельсинах. Исследование на устойчивость по методу Ляпунова

2.10.1 Исследование на устойчивость разомкнутой системы

Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$G_{PC}(s) = \frac{18,72 \cdot s + 7,8}{0,1014 \cdot s^5 + 0,7345 \cdot s^4 + 313,54 \cdot s^3 + 1781 \cdot s^2 + 2000s} \quad (2.30)$$

Характеристическое уравнение которой имеет вид:

$$0,1014 \cdot s^5 + 0,7345 \cdot s^4 + 313,54 \cdot s^3 + 1781 \cdot s^2 + 2000s = 0 \quad (2.31)$$

Корни характеристического уравнения будут равны:

$$\begin{aligned} s_1 &= 0; \\ s_2 &= -0,7692 + 55,4647j; \\ s_3 &= -0,7692 - 55,4647j; \\ s_4 &= -4,1667; \\ s_5 &= -1,5385; \end{aligned}$$

В соответствии с теоремой Ляпунова разомкнутая система управления следящей системы на сельсина находится на границе устойчивости, так как один полюс имеет отрицательную часть, а остальные действительную часть.

2.10.2 Исследование замкнутой системы управления сельсина

Передаточная функция замкнутой системы имеет вид:

$$G_{зс}(s) = \frac{18,72 \cdot s + 7,8}{0,1014 \cdot s^5 + 0,7345 \cdot s^4 + 313,54 \cdot s^3 + 1781 \cdot s^2 + 37440s + 7,8} \quad (2.32)$$

Характеристическое уравнение которой имеет вид:

$$0,1014 \cdot s^5 + 0,7345 \cdot s^4 + 313,54 \cdot s^3 + 1781 \cdot s^2 + 37440s + 7,8 = 0 \quad (2.33)$$

Корни характеристического уравнения будут равны:

$$\begin{aligned} s_1 &= -0,6830 + 54,3953j; \\ s_2 &= -0,6830 - 54,3953j; \\ s_3 &= -2,9387 + 10,7765j; \\ s_4 &= -2,9387 - 10,7765j; \\ s_5 &= -0,0002; \end{aligned}$$

В соответствии с теоремой Ляпунова замкнутая система управления следящей системы на сельсина является устойчивой, так как все действительные части полюсов являются отрицательными.

2.11 Исследование разомкнутой системы управления сельсина на устойчивость по критерию устойчивости Гурвица

Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$G_{РС}(s) = \frac{18,72 \cdot s + 7,8}{0,1014 \cdot s^5 + 0,7345 \cdot s^4 + 313,54 \cdot s^3 + 1781 \cdot s^2 + 2000s} \quad (2.34)$$

Характеристическое уравнение которой имеет вид:

$$0,1014 \cdot s^5 + 0,7345 \cdot s^4 + 313,54 \cdot s^3 + 1781 \cdot s^2 + 2000s = 0 \quad (2.35)$$

Параметры данного характеристического уравнения равны:

$$\begin{aligned} a_0 &= 0,1014; \\ a_1 &= 0,7345; \\ a_2 &= 313,54; \\ a_3 &= 1781; \end{aligned}$$

$$a_4 = 2000;$$

$$a_5 = 0;$$

По полученным параметрам строится матрица Гурвица, которая имеет вид:

$$H_{5 \times 5} = \begin{bmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 & a_9 \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_6 & a_8 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & a_7 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & a_6 \\ 0 & 0 & a_1 & a_3 & a_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,7345 & 1781 & 0 & 0 & 0 \\ 0,1014 & 313,54 & 2000 & 0 & 0 \\ 0 & 0,7345 & 1781 & 0 & 0 \\ 0 & 0,1014 & 313,54 & 2000 & 0 \\ 0 & 0 & 0,7354 & 1781 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

Найдём определители всех главных миноров полученной матрицы:

$$\Delta_{1 \times 1} = 0,7345 > 0;$$

$$\Delta_{2 \times 2} = -1466,8 < 0;$$

$$\Delta_{3 \times 3} = 87439,8 > 0;$$

$$\Delta_{4 \times 4} = 0, E6 > 0;$$

$$\Delta_{5 \times 5} = 0.$$

Отсюда по критерию Гурвица разомкнутая система управления следящей системы на сельсина находится на границе неустойчивости, так как один определитель одного из главных миноров матрицы равен нулю, а остальные параметры и определители главных миноров имеют знак, идентичный знаку параметра при переменной наивысшей степени (a_0).

2.12 Исследование разомкнутой системы управления следящей системы на сельсина на устойчивость по критерию устойчивости Михайлова

Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$G_{PC}(s) = \frac{18,72 \cdot s + 7,8}{0,1014 \cdot s^5 + 0,7345 \cdot s^4 + 313,54 \cdot s^3 + 1781 \cdot s^2 + 2000s} \quad (2.37)$$

Характеристическое уравнение которой имеет вид:

$$0,1014 \cdot s^5 + 0,7345 \cdot s^4 + 313,54 \cdot s^3 + 1781 \cdot s^2 + 2000s = 0 \quad (2.38)$$

Откуда получим:

$$D(j\omega) = 0,1014 \cdot j\omega^5 + 0,7345 \cdot \omega^4 - 313,54 \cdot j\omega^3 - 1781 \cdot \omega^2 + 2000j\omega \quad (2.39)$$

Выделим действительную и мнимую части:

$$\text{Re}(\omega) = 0,7345\omega^4 - 1781\omega^2$$

$$\text{Im}(\omega) = j * (0,1014\omega^5 - 313,54\omega^3 + 2000\omega) \quad (2.40)$$

Таблица 2.10 – таблица значений действительной и мнимой части.

ω	0	1	5	10	100
----------	---	---	---	----	-----

Re	0	-1780.2	-44065.9	-170755	55640
Im	0	1686.5	-28875.6	-283400	700660

На рисунке 2.20 показан график годографа Михайлова.

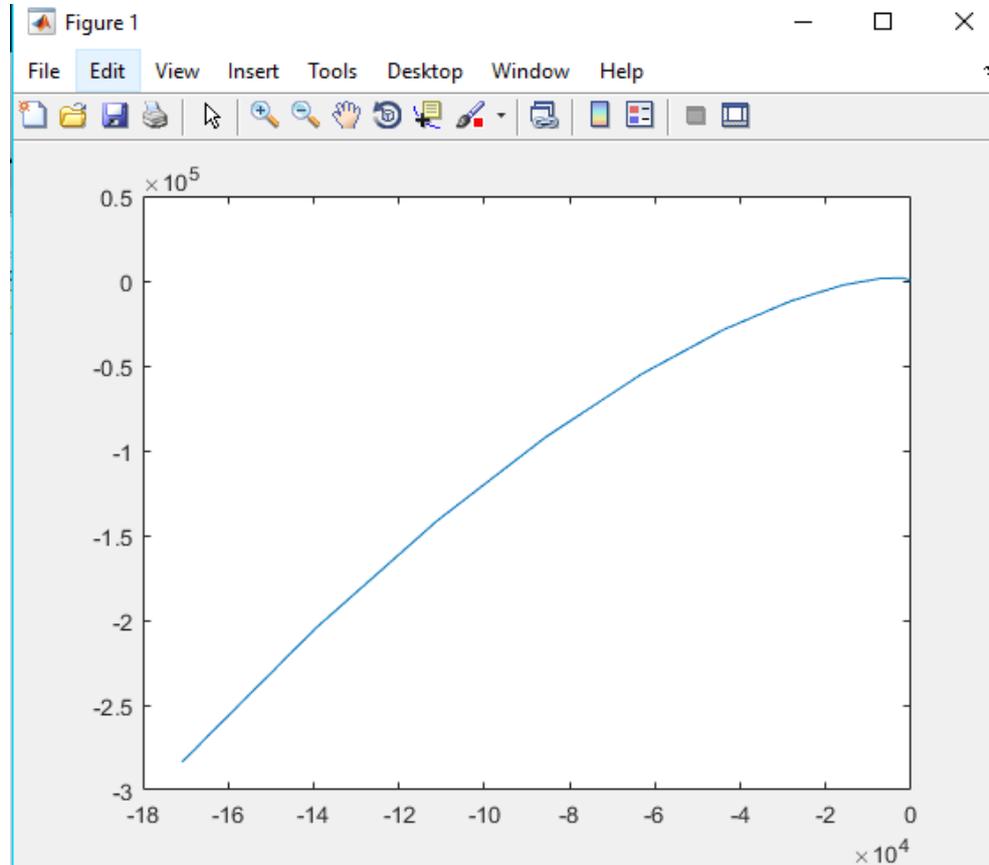


Рисунок 2.20– Построение годографа Михайлова

По критерию Михайлова разомкнутая система следящей системы на сельсинана границе устойчивости, т.к. график годографа Михайлова начинается с нуля вещественной оси, не проходит через точку $(0,0.j)$ и обходит 5 квадрантов, вращаясь в положительную сторону (против хода часовой стрелки).

2.13 Определение допустимой области значений коэффициента усиления для устойчивости замкнутой следящей системы на сельсина и нахождение предельного коэффициента усиления

Для определения допустимой области значений коэффициента усиления и предельного коэффициента усиления исходными данными является передаточная функция замкнутой системы (2.2), где вместо численного значения коэффициента усиления мы сохраняем переменную K :

$$G_{PC}(s) = \frac{18,72 \cdot s + 7,8}{0,1014 \cdot s^5 + 0,7345 \cdot s^4 + 313,54 \cdot s^3 + 1781 \cdot s^2 + 2000s} \quad (2.41)$$

Характеристическое уравнение данной передаточной функции будет иметь вид:

$$0,1014 \cdot s^5 + 0,7345 \cdot s^4 + 313,54 \cdot s^3 + 1781 \cdot s^2 + 2000s + K \cdot 2,4s + K > 0 \quad (2.42)$$

Параметрами данного характеристического уравнения являются:

$$\begin{aligned} a_0 &= 0,1014; \\ a_1 &= 0,7345; \\ a_2 &= 313,54; \\ a_3 &= 1781; \\ a_4 &= 2000+K; \\ a_5 &= 2,4+K; \end{aligned}$$

По данным параметрам строится матрица Гурвица:

$$H_{5 \times 5} = \begin{bmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 & a_9 \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_6 & a_8 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & a_7 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & a_6 \\ 0 & 0 & a_1 & a_3 & a_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,7345 & 1781 & 2,4+K & 0 & 0 \\ 0,1014 & 313,54 & 2000+K & 0 & 0 \\ 0 & 0,7345 & 1781 & 2,4+K & 0 \\ 0 & 0,1014 & 313,54 & 2000+K & 0 \\ 0 & 0 & 0,7354 & 1781 & 2,4+K \end{bmatrix} > 0 \quad (2.43)$$

Найдем определители данной матрицы Гурвица:

$$\Delta_{5 \times 5} = 1,7628 \cdot K^2 + 0,2 \cdot K + 0,05 > 0 \quad (2.44)$$

Из этих неравенств допустимой областью значений коэффициента усиления будет являться:

$$K = -0,16 \quad (2.45)$$

А предельным коэффициентом усиления будет являться:

$$K_{пр} = -0,16 \quad (2.46)$$

2.14 Исследование замкнутой следящей системы на сельсинах на устойчивость по критерию Найквиста

По критерию устойчивости Найквиста замкнутая следящей системы на сельсинах устойчива, так как по теореме Ляпунова разомкнутая система устойчива, а АФЧХ разомкнутой системы (рисунок 2.21) не охватывает точку $(-1,0j)$.

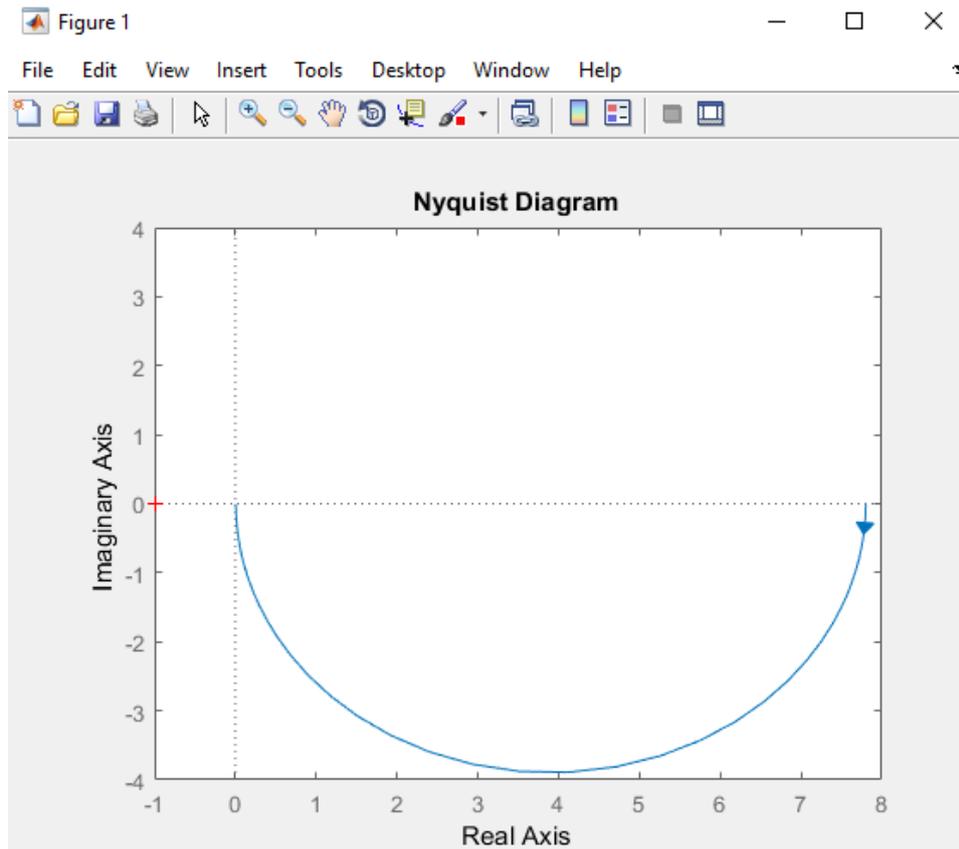


Рисунок 2.21 – АФЧХ разомкнутой системы

2.15 Исследование замкнутой следящей системы следящая система на сельсинах на устойчивость по логарифмическому критерию устойчивости Найквиста

Замкнутая следящая система на сельсинах является устойчивой, так как ЛАЧХ разомкнутой системы проходит через точку частоты среза раньше, чем ЛФЧХ проходит точку частоты равной -180° . Данный график показан на рисунке 2.22.

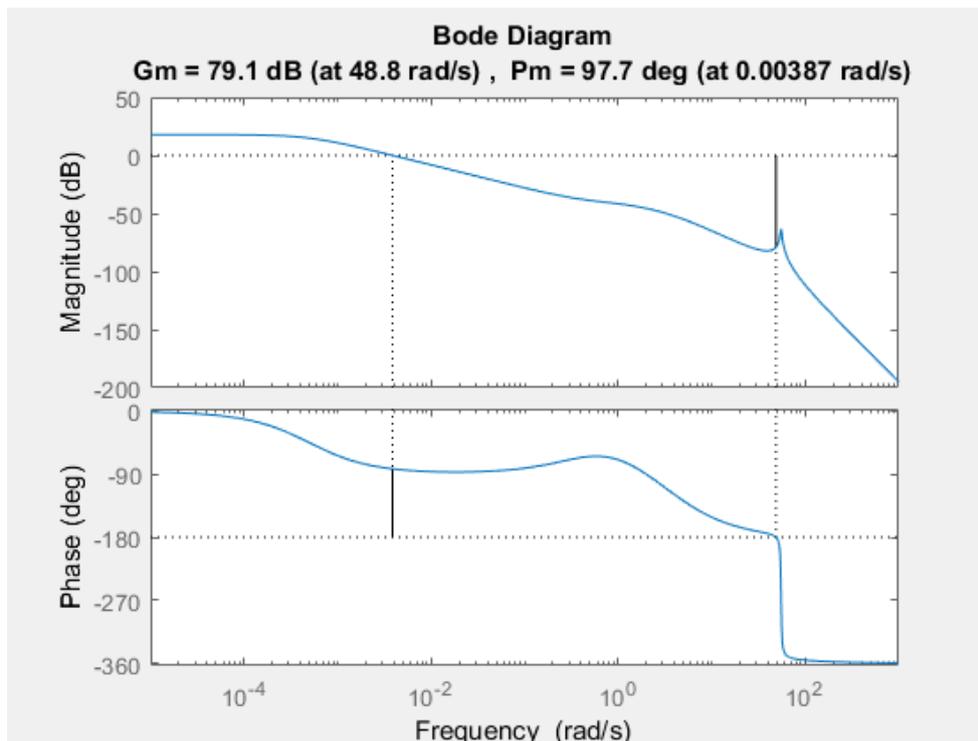


Рисунок 2.22 – ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы

2.16 Оценка запасов устойчивости по логарифмическим характеристикам

Для частоты, при которой ЛФЧХ принимает значение -180 , находится значение ЛАЧХ. Данное значение является значением запаса устойчивости по фазе. В соответствие с этим $Pm=97.7$ deg, $Gm=79.1$ dB.

2.17 Оценки качества переходного процесса, замкнутой следящая система на сельсинах

2.17.1 Прямые оценки качества замкнутой следящая система на сельсинах

Задание мгновенного значения ошибки в течение всего времени работы регулируемого объекта позволяет наиболее полно судить о свойствах системы регулирования. Однако в действительности, вследствие случайности задающего и возмущающего воздействий, такой подход не может быть реализован. Поэтому приходится оценивать качество системы регулирования по некоторым ее свойствам, проявляющимся при различных типовых воздействиях.

Исходные данные – переходной процесс замкнутой системы. Переходный процесс замкнутой системы можно получить командой `step`.

Далее нужно нажать правую кнопку мыши, где выбрать Characteristics =>PeakResponse; SettlingTime; RiseTime; SteadyState, с помощью этого можно получить прямые характеристики, которые показаны на рисунке 2.23.

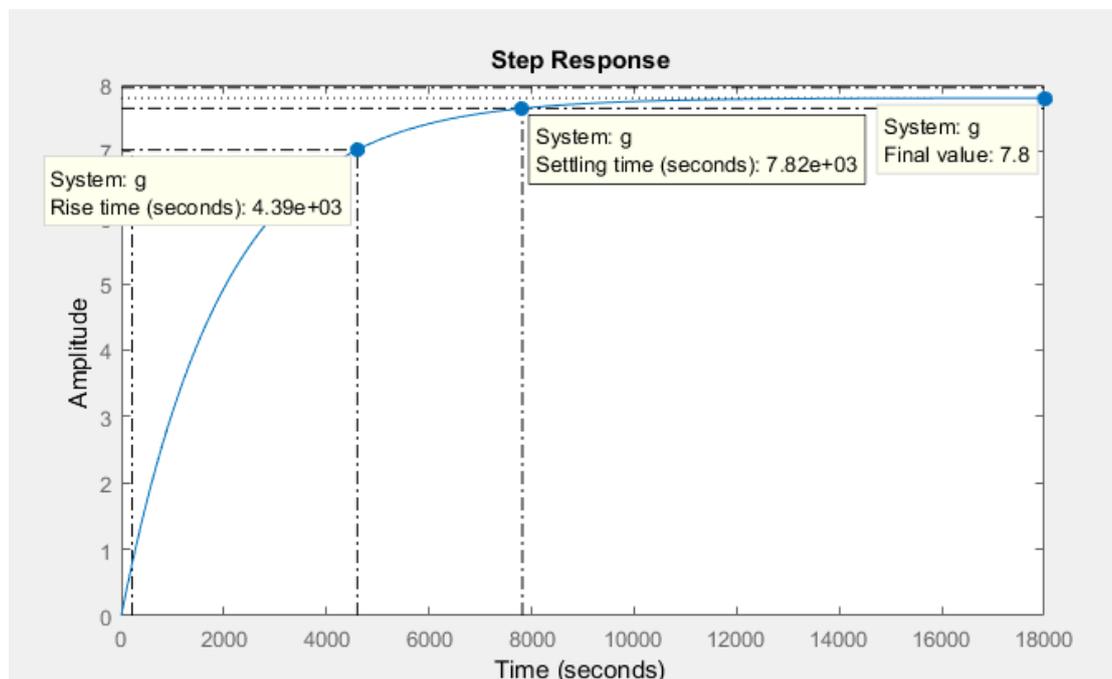


Рисунок 2.23 – Переходной процесс замкнутой системы

Таким образом, были получены следующие прямые оценки качества:

- RiseTime: время нарастания, $4.39e+03$ с;
- PeakResponse: позволяет получить оценку перерегулирования (overshoot), $P_{ov} = 2.22e - 14\%$, время достижения первого максимума, $T_{max} = 1.8e + 04$.
- SettlingTime: время регулирования, $T_{set} = 7.82e + 03$ с;
- SteadyState: установившееся состояние $y_F = 8$.

По полученным данным определим все прямые оценки качества замкнутой системы:

1 оценка - Время регулирования:

$$T_{set} = 7.82e + 03с; \quad (2.47)$$

2 оценка – Перерегулирование:

$$P_{ov} = 2.22e - 14\%; \quad (2.48)$$

3 оценка - Число колебаний –1;

4 оценка - Колебательность:

$$\mu = \frac{\Delta y_{max2}}{\Delta y_{max1}} * 100\% = \frac{0.008}{0.21} * 100\% = 3,809\% \quad (2.49)$$

5 оценка - Частота колебаний:

$$\omega_{osc} = \frac{2\pi}{T} = 27,3 \quad (2.50)$$

6 оценка - Установившаяся ошибка:

$$\epsilon_{ss} = y_{ss} - y = 0.054 \quad (2.51)$$

7 оценка- Время достижения первого максимума:

$$T_p=34e+03c; \quad (2.52)$$

8 оценка - Время нарастания:

$$T_R=4.39e+03c; \quad (2.53)$$

9 оценка - Декремент затухания:

$$\chi = \frac{|y_{\max 1} - y_{ss}|}{|y_{\max 2} - y_{ss}|} = \frac{7.82 - 1}{4.36 - 1} = 2.02 \quad (2.54)$$

2.18 Косвенные оценки качества замкнутой следящая система на сельсинах

Исходные данные – АЧХ замкнутой системы.

Для получения косвенных оценок качества замкнутой следящей системы на сельсинах отмети на графике АЧХ замкнутой системы следующие амплитуды (рисунок 2.24):

- амплитуда $M(0)=9.05$, полученная при частоте $\omega=0$ определяет полосу пропускания: $0.054 * M(0) = 0.054 * 9.05 = 0.4887$, полученная полоса пропускания $\omega_{bandwidth} \in [0; 488]$;

- амплитуда $M=1$, определяющая частоту среза $\omega_{CF} = 344$;

- амплитуда $M_{\max}=2.26$, определяющая резонансную частоту $\omega_p = 256$.

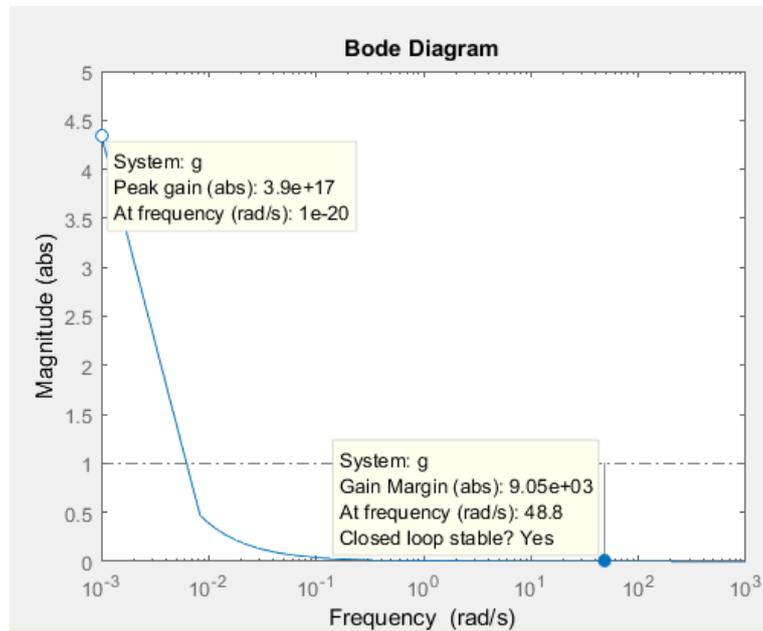


Рисунок 2.24 – Косвенные оценки качества по АЧХ замкнутой системы

В соответствии с перечнем косвенных оценок:

1 оценка - Показатель колебательности,

$$\mu = \frac{M_{\max}(\omega)}{M(0)} = \frac{9.05}{3.9} = 2.32 \quad (2.55)$$

2оценка - Резонансная частота, $\omega_p = 23$;

3оценка - Полоса пропускания системы, $\omega_{bandwidth} \in [0; 488]$;

4оценка - Частота среза, $\omega_{CF} = 256$.

Данные можно получить с помощью нахождения корневых методов, командой `pzmap(g)`.

В MATLAB можно получить собственные значения (`eigenvalues`, `dampingfactors`, `naturalfrequencies`), также с помощью команды `damp(g)` можно получить полюса.

Полученные данные позволяют получить полюса передаточной функции:

$$s_1 = -1.26,$$

$$s_2, s_3 = -0.543 * 350 \pm j350\sqrt{1 - 0.0417} = -190.05 \pm j349,$$

где собственная частота: $\omega_n = 231$;

коэффициент демпфирования: $\zeta = 0.562$;

коэффициент затухания: $\sigma = -56.77$;

действительная частота: $\omega_d = 350$.

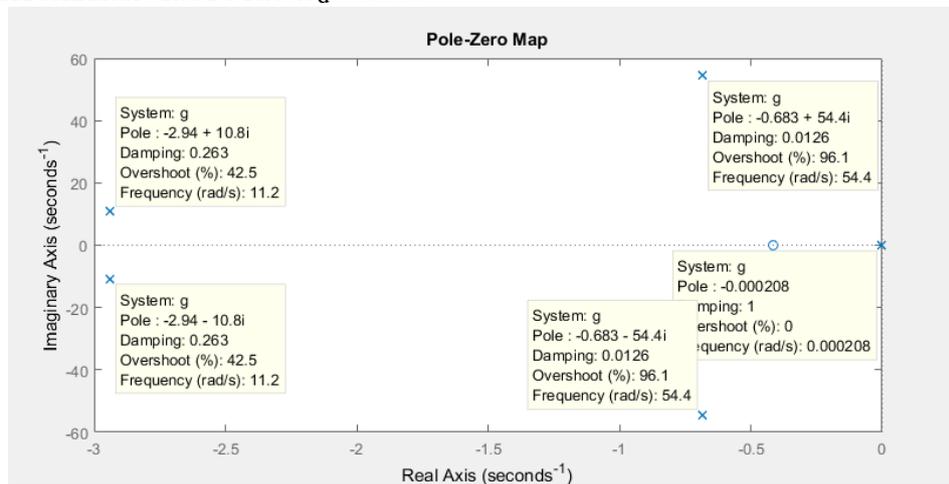


Рисунок 2.25 – Полюса передаточной функции на комплексной плоскости

Pole	Damping	Frequency (rad/seconds)	Time Constant (seconds)
-2.08e-04	1.00e+00	2.08e-04	4.80e+03
-2.94e+00 + 1.08e+01i	2.63e-01	1.12e+01	3.40e-01
-2.94e+00 - 1.08e+01i	2.63e-01	1.12e+01	3.40e-01
-6.83e-01 + 5.44e+01i	1.26e-02	5.44e+01	1.46e+00
-6.83e-01 - 5.44e+01i	1.26e-02	5.44e+01	1.46e+00

Рисунок 2.26 – Значение полученные командой `damp(g)`

Получим оценки качества следящей системы следящая система на сельсинах в соответствии с перечнем корневых оценок:

- время регулирования,

$$T_{set} = \frac{8}{|\sigma|} = \frac{8}{56.77} = 0.14 \quad (2.56)$$

- перерегулирование,

$$P_{ov} = e^{-\frac{\varepsilon\pi}{\sqrt{1-\varepsilon^2}}} * 100\% = e^{-0.542} * 100\% = 58.1\% \quad (2.57)$$

- максимальное значение, y_{max} , используя y_{ss} и ε :

$$y_{max} = y_{ss} \left(1 + \frac{P_{ov}}{100}\right) = 1.590 \quad (2.58)$$

- степень колебательности,

$$\mu = \frac{\omega_d}{\sigma} = \frac{350}{56.77} = 6.16 \quad (2.59)$$

- частота колебаний,

$$\omega_{osc} = \omega_n(1 - \varepsilon^2)^{1/2} = 350(1 - 0.562)^{1/2} = 232 \quad (2.60)$$

- время достижения первого максимума,

$$T_p = \frac{\pi}{\omega_n(1-\varepsilon^2)^{1/2}} = \frac{3.14}{350(1-0.562)^{1/2}} = 0.0135 \quad (2.61)$$

- быстродействие и степень устойчивости, система имеет минимальный полюс $s = -\sigma_{min} = -56.77$. Тогда η – степень устойчивости:

$$\eta = |\sigma_{min}| = 56.77 \quad (2.62)$$

По полученным данным составим таблицу 2.18:

Таблица 2.18 – Оценки качества замкнутой системы

№	Оценка качества		Прямые	Корневые	Соответствие требованиям
1	Время регулирования (Settling time)	T_{set}	$7.82e + 03c$	0.14 с	
2	Перерегулирование (Overshoot)	P_{ov}	$2.22e - 14\%$	58.1 %	Не соответствует
3	Число колебаний	M	8		Соответствует
4	Колебательность (Oscillation)	μ	3.809 %	6.16%	Не соответствует
5	Частота колебаний (oscillation frequencies)	ω_{osc}	$27.3 c^{-1}$	$350 c^{-1}$	
6	Установившаяся ошибка (steady-state error)	ε_{ss}	0.022		
7	Время достижения первого максимума (peak time)	T_p	$4.39e+03$	0.0135	
8	Время нарастания (rise time)	T_R	$4.39e+03$		
9	Декремент затухания	χ	2.02		

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Решение задач управления для отдельных узлов или системы в целом

Эффективное управление процессом Ванюкова (ПВ), определяемое как поддержание оптимального сочетания загрузки расходных материалов, максимальной среднесменной производительности технологического агрегата и заданного качества продуктов плавки, оказывает существенное влияние на экономические показатели Медного завода.

Обеспечение работы передела в эффективных областях факторного пространства, позволяющих решить основную задачу процесса Ванюкова — пирометаллургического разделения шихты на штейн и отвальный шлак с минимальными затратами ресурсов и энергии — цель всех операторов-технологов и АСУ ТП. В частности, АСУ ТП предполагает наличие управляющего алгоритмом или прогнозирующей модели, адекватной данному процессу. При этом цель управления по выбранному алгоритму должна быть увязана с наиболее эффективным критерием качества ведения технологического процесса (ТП). Уровень развития существовавшего до настоящего времени технического, алгоритмического и информационного обеспечения ТП представлял очень ограниченные возможности по реализации высокоэффективных способов управления ТП, учитывающих в реальном масштабе времени все основные и доступные для изменения технологические факторы.

Процесс Ванюкова относится к многофакторным процессам с трудноформализуемыми возмущениями, например, по содержаниям основных металлов в шихте. Контролировать эти возмущения не представляется возможным, а стабилизация входных материальных потоков не снимает колебаний свойств шихты и не исключает субъективные ошибки операторов-технологов, что приводит к существенным изменениям режимов работы ПВ, не исключает возможных аварийно-опасных ситуаций и существенно снижает технико-экономические показатели процесса в целом.

Из изложенного очевидно, что одним из вариантов решения актуальной задачи повышения технико-экономических показателей процесса плавки сульфидного медного концентрата в ПВ-2 является усовершенствование принципов построения алгоритмов функционирования АСУ с учетом, трудноформализуемой возмущений и многофакторный процесс.

3.2 Выбор технических средств автоматизации

В автоматизированной системе управления технологическим процессом плавки в жидкой ванне печи Ванюкова в УК МК в качестве технической базы взят программируемый логический контроллер Simatic S7-

400 с центральным процессором CPU 417-4. На нижнем уровне этой системы используются датчики, преобразователи, обеспечивающие сбор информации и ее преобразование в доступный для контроллера вид, а также различные вторичные приборы, служащие для отображения и регистрации информации о состоянии объекта управления в виде доступный для восприятия человеком-оператором.

В качестве технической базы управляющей части системы автоматизации выбран программируемый логический контроллер Simatic S7-400 с центральным процессором CPU 417-4. Контроллеры полностью отвечают требованиям концепции “TotallyIntegratedAutomation”.

Модульные программируемые контроллеры Simatic S7-400 предназначены для решения задач автоматического управления средней и высокой степени сложности.

Simatic S7-400 выбран по следующим причинам:

- конфигурирование и программирование средствами STEP 7;
- возможность включения в сети MPI и SIMATIC NET;
- высокая вычислительная мощность, комплексный набор команд, наличие MPI интерфейса;
- возможность использования распределенных структур ввода-вывода и простое включение в различные типы промышленных сетей;
- удобная для обслуживания конструкция и работа с естественным охлаждением;
- свободное наращивание возможностей при модернизации системы.
- высокая мощность, благодаря большому количеству встроенных функций;
- конфигурирование и программирование средствами STEP 7.

Промышленное программное обеспечение SIMATIC является основой для разработки всех систем автоматического управления, созданных на базе изделий SI-MATIC. Это программное обеспечение предоставляет пользователю полный комплект инструментальных средств, необходимых для всех этапов разработки и эксплуатации системы управления. Программное обеспечение SIMATIC является интегрированным:

- все данные проекта сохраняются в единой базе данных. Они могут вводиться только один раз, после чего становятся доступными для всех программных компонентов;
- символные имена, заданные в таблице символов, могут использоваться всеми инструментальными средствами;
- управление всеми инструментальными средствами и компонентами проекта осуществляется централизованно.

Основу промышленного программного обеспечения SIMATIC составляет пакет STEP 7, работающий под управлением операционных систем Windows 95/ 98/ NT/ ME/ 2000 PROF/ XP PROF. STEP 7, в полной мере отвечает требованиям международного стандарта IEC 1131-3 и европейских норм DIN EN 6.1131-3.

STEP 7 прост в применении:

- многие операции, выполнявшиеся ранее вручную, теперь поддерживаются программным обеспечением;

- STEP 7 является преемником STEP 5. Программы могут разрабатываться на языках диаграмм лестничной логики (LAD), списка инструкций (STL), диаграмм функциональных блоков (FBD);

- учет требований международных стандартов IEC 1131-3 и DIN EN 6.1131-3 облегчает изучение пакета и снижает затраты на подготовку персонала.

CPU 417-4 характеризуется следующими показателями:

- микропроцессор высокой производительности: время выполнения двоичных операций не превышает 0.1 мкс;

- быстродействующее оперативное запоминающее устройство для выполнения секций программы пользователя объемом 4 Мбайт (2Мбайт для программ, 2Мбайт для данных);

- гибкое расширение: до 262144 дискретных или до 16384 аналоговых входов-выходов;

- MPI интерфейс: встроенный MPI интерфейс позволяет создавать простейшие сетевые решения с подключением к сети до 32 станций. Скорость передачи данных до 12 Мбит/с. До 44 соединений на центральный процессор с MPI станциями или станциями, подключенными к внутренней коммуникационной шине (К-шине) контроллера;

- переключатель режимов работы (переключение с помощью ключа): выбор режимов работы центрального процессора и ограничение доступа к программе и данным пользователя;

- парольная защита: использование парольной защиты доступа к программе и данным;

- диагностический буфер: в буфере FIFO хранятся 120 последних сообщений об ошибках, отказах и прерываниях. Эта информация может считываться для анализа диагностической информации;

- встроенное обслуживание устройства человеко-машинного интерфейса: пользователь должен только определить источник и приемник информации для устройств человеко-машинного интерфейса; передача данных выполняется автоматически под управлением операционной системы центрального процессора;

- часы реального времени: диагностические сообщения центрального процессора могут сопровождаться отметками даты и времени;

- карта памяти: для работ программируемого контроллера S7-400 обязательно необходима карта памяти (RAM или EPROM). Карта памяти используется для расширения встроенной загружаемой памяти (RAM), в которой хранится программа пользователя и параметры настройки системы;

- встроенный интерфейс PROFIBUS-DP и комбинированный интерфейс MPI/ PROFIBUS-DP: интерфейс ведущего/ведомого (с операционной системой от V3.0) DP-устройства, существенно упрощающий использование

систем распределенного ввода-вывода. Обслуживание входов-выходов систем распределенного и локального ввода-вывода выполняется одними и теми же способами (одинаковые способы конфигурирования, адресации и программирования). Построение смешанных конфигураций PROFIBUS, отвечающих требованиям стандарта IEC 61158/EN 50170, и включающих в свой состав контроллеры SIMATIC S5, работающие под управлением ведущего контроллера SIMATIC S7.

Встроенные коммуникационные функции:

- PG/OP-функции связи;
- обмен глобальными данными;
- стандартные функции связи;
- S7-функции связи;
- два разъема для подключения интерфейсных модулей IF 964-DP и получения дополнительных интерфейсов PROFIBUS-DP.
- интерфейсный submodule IF 964-DP;
- интерфейсный submodule IF 964-DP;
- ведущее/ ведомое (в центральных процессорах с операционной системой от V3.0) устройство PROFIBUS-DP;
- скорость передачи данных 9.6 Кбит/с ... 12 Мбит/с;
- подключение через 9-полюсное гнездо соединителя D-типа;
- установка 1 (CPU 414-3/ CPU 416-3) или 2 (CPU 417-4) интерфейсных submodule PROFIBUS в один центральный процессор.

Для выполнения функций контроля и управления процесса ПЖВ промышленная установка оснащена количеством датчиков технологических параметров. Наиболее важными параметрами для контроля хода технологического процесса является: температура, давление, разрежение, расход. Для измерения, контроля и регулирования, управления выбраны нижеуказанные датчики:

Термоэлектрические преобразователи предназначены для преобразования температуры твердых, жидких, газообразных и сыпучих веществ в унифицированный токовый сигнал.

Обеспечивают измерение температуры нейтральных и агрессивных сред, не разрушающих материал защитной арматуры. Используются в системах автоматического контроля и регулирования температуры на объектах энергетики, нефтяной, газовой, горнодобывающей и др. отраслей промышленности.

Измерительный преобразователь представляет собой печатную плату диаметром 43 мм, залитую с двух сторон компаундом, на которой размещены элементы электронной схемы. Измерительный преобразователь преобразует сигнал, поступающий с выхода первичного преобразователя в унифицированный токовый выходной сигнал, что дает возможность построения систем АСУТП без применения дополнительных нормирующих преобразователей. Термопреобразователи устойчивы к воздействию

вибрации (частота от 5 до 80 Гц, амплитуда смещения 0,075 мм, ускорение 9,8 м/с²).

Термопреобразователи устойчивы к динамическим изменениям напряжения питания:

- глубине провалов минус 20% U_n -ном при продолжительности изменения от 10мс до 5с;

- прерыванию питания продолжительности изменения от 10мс до 10с.

Степень защиты от воздействия пыли и воды IP54 по ГОСТ 14254.

Интеллектуальные датчики давления серии Метран-100. Датчики давления Метран-100 имеют следующие преимущества:

1. Датчики серии Метран-100 - унифицированный модельный ряд. При разработке датчиков серии Метран-100 был унифицирован модельный ряд, в который вошли лучшие представители существующих датчиков давления Метран и исключено дублирование моделей по диапазонам измерений. Это позволяет облегчить выбор нужного датчика.

2. Допускаемая основная погрешность - $\pm 0,1\%$.

3. Допускаемая основная погрешность сохраняется при перенастройке от P_{max} до $P_{max}/10$.

4. Дополнительная температурная погрешность - от $\pm 0,09\%$ на 10°C. В датчиках серии Метран-100 воплотились высокая точность в сочетании с большим динамическим диапазоном, что особенно важно при решении задач коммерческого учета различных ресурсов, при эксплуатации в технологических процессах требующих высокоточных измерений (дозирование, контроль утечек, измерение уровня). Еще один немаловажный факт — это то, что датчики серии Метран-100 изготавливаются серийно —, это дает возможность Вам получать их быстро и в необходимом количестве.

5. Метран-100 с опцией HART можно устанавливать вместо датчиков с обычным аналоговым выходным сигналом. Датчики Метран-100 с опцией HART, помимо интеграции в цифровые АСУ ТП, можно устанавливать и вместо датчиков с обычным аналоговым выходным сигналом, и с помощью коммуникационных устройств использовать все преимущества цифрового обмена уже в существующей аналоговой АСУ. При этом сохраняется полная совместимость и надежность аналоговых линий 4-20 мА.

6. Метран-100 с опцией HART позволяет дистанционно считывать информацию, перенастраивать и тестировать датчик. Датчики Метран-100 с опцией HART позволяют дистанционно (с расстояния до 3000 метров) считывать информацию (значение измеряемого параметра, единицы и диапазон измерения, индивидуальные параметры прибора и др.), перенастраивать и тестировать датчики. Это особенно удобно, если датчики установлены в труднодоступных местах, на больших расстояниях друг от друга или в условиях вредных или опасных производств. Кроме того, датчик можно использовать для хранения записей о процедурах его обслуживания, например, о дате последней калибровки. Таким образом, оператор может

настраивать практически все датчики на предприятии непосредственно со своего рабочего места.

7. Метран-100 с опцией HART позволяет подсоединять к одной линии связи до 15 датчиков. Объединение интеллектуальных приборов в систему существенно снижает затраты на построение АСУ за счет сокращения расходов на кабельную продукцию и использования бесконтрольных схем.

8. Метран-100 оснащен встроенным фильтром радиопомех благодаря встроенному фильтру радиопомех Метран-100 имеет высокую электромагнитную совместимость (соответствует 4 группе исполнения по ГОСТ Р 50746-2000), что обеспечивает его стабильную работу при использовании рядом с датчиком или его линией связи мощных источников электромагнитных излучений (мобильной связи, тиристорных преобразователей, релейных устройств и т.д.).

9. Метран-100 позволяет калибровать "нуль" нажатием внешней кнопки. С помощью внешней кнопки имеется возможность калибровать "нуль" не снимая датчик с объекта, без разгерметизации оболочки электронного преобразователя и без нарушения требований взрывозащиты, что весьма актуально во взрывоопасной или агрессивной среде. Эта операция может быть выполнена и дистанционно - по HART-протоколу. 10. В Метран-100 реализован режим защиты настроек от несанкционированного доступа. При использовании датчика для коммерческого учета, защита от изменения индивидуальных настроек прибора будет наиболее актуальна.

11. Датчики серии Метран-100 с HART-протоколом обеспечены комплексом средств коммуникации и специализированным программным обеспечением. Для обеспечения взаимодействия с HART-устройствами производства ПГ "Метран" и других производителей, мы предлагаем полную гамму средств коммуникации и специализированное ПО собственного производства: портативный HART-коммуникатор, HART-модем, HART-мультиплексор, программы H-master и MUX-master.

12. Для датчиков серии Метран-100 предлагается расширенная номенклатура КМЧ. Для датчиков серии Метран-100 предлагается расширенная номенклатура КМЧ, теперь, например, низкопределные датчики Вы сможете смонтировать на трубе Ø50 мм.

Интеллектуальные датчики давления серии Метран-100 предназначены для измерения и непрерывного образования в унифицированный аналоговый токовый сигнал и/или цифровой в стандарте протокола HART, или цифровой сигнал на базе интерфейса RS485 следующих входных величин:

- избыточного давления (Метран-100-ДИ);
- абсолютного давления (Метран-100-ДА);
- разрежения (Метран-100-ДВ);
- давления-разрежения (Метран-100-ДИВ);
- разности давлений (Метран-100-ДД);
- гидростатического давления (Метран-100-ДГ).

Управление параметрами датчика:

- кнопочное со встроенной панели;
- с помощью HART-коммуникатора или компьютера;
- с помощью программы ICP-Master и компьютера или программных средств АСУТП;

-встроенный фильтр радиопомех;

-внешняя кнопка установки «нуля»;

-непрерывная самодиагностика;

-непрерывная самодиагностика обеспечивает контроль работы датчика и формирует сообщение при возникновении неисправностей.

Установка «нуля» датчика выполняется нажатием внешней кнопки без разгерметизации корпуса электронного преобразователя и без нарушения требований взрывозащиты. Это особенно важно для датчиков во взрывозащищенном исполнении, т. к. нет необходимости демонтажа и выноса датчика из взрывоопасной зоны.

В режиме измерения на дисплее ЦИ датчиков с кодом МП1, МП3, МП5, на дисплее ВИ, HART-коммуникатора, персонального компьютера отображается текущее значение измеряемого давления (для ДИВ - с учетом знака) в выбранных единицах измерения (Па, кПа, МПа, кгс/см², кгс/м², % от установленного диапазона измерений). ЦИ полностью сохраняет свою работоспособность в диапазоне температур окружающего воздуха от -40 до 700С.

Измеряемые среды: жидкости, пар, газ, в т. ч. газообразный кислород и кислородосодержащие газовые смеси.

Диапазоны измеряемых давлений:

- минимальный 0-0,04 кПа;
- максимальный 0-100 МПа.

Основная погрешность измерений до $\pm 0,1\%$ от диапазона.

Диапазон перенастроек пределов измерений до 25:1.

Исполнения по ГОСТ 12997:

- обыкновенное;
- взрывозащищенное (Ех, Вн).

Для эксплуатации на АС.

Межповерочный интервал - 3 года.

Гарантийный срок эксплуатации - 3 года.

Многопараметрический датчик - массовый расходомер модели 3095MV. В отличие от традиционных расходомеров на сужающем устройстве датчик модели 3095 MV проводит измерение массового расхода по методу полной компенсации, который учитывает динамические изменения параметров среды - температуры, давления, а также такие переменные в уравнении расхода, как плотность, вязкость, сжимаемость или расширение газа. Встроенный процессорный блок датчика обеспечивает также выполнение функции «интеллектуального» устройства и позволяет:

- скорректировать собственную нелинейность и воздействие внешних влияющих факторов;
- проводить самодиагностику прибора;
- осуществлять дистанционную перенастройку диапазонов измерений.

Использование датчика в составе АСУТП освобождает ресурсы системы, в частности память, используемую для хранения алгоритма вычисления расхода, и время, затрачиваемое на это вычисление.

Использование одного датчика 3095 MV вместо четырех традиционных обеспечивает снижение затрат на установку и уменьшение стоимости эксплуатации.

Объединение в одном компактном недорогом устройстве таких функций, как многопараметрические измерения, сложные расчеты расхода, самодиагностика и других делают датчики расхода модели 3095 MV идеальным решением для измерений расхода, с использованием различных типов сужающих устройств.

Основные технические параметры

Смещение нуля Смещение нуля может быть установлено в допустимых пределах сенсора на любую величину, пока полная шкала больше или равна минимально допустимой шкале, нижнее значение диапазона не выходит за нижнюю границу диапазона, верхнее значение диапазона не превышает верхнюю границу диапазона. Пределы перезагрузки от 0 до удвоенного диапазона сенсора, но не более 25000кПа.

Пределы статического давления. Работает с техническими характеристиками при статическом давлении в линии от 3,45 кПа до верхней границы диапазона сенсора абсолютного давления.

Демпфирование. Пользователь может установить время отклика на входной ступенчатый сигнал в пределах от 0 до 30 с. для одной постоянной времени. Это время добавляется к времени отклика сенсора 0,2с. Выходные сигналы:

- унифицированный токовый 4-20мА соответствует одному из параметров: перепаду давлений, абсолютному давлению, температуре процесса или массовому расходу (при использовании датчика 3095 MV совместно с преобразователем сигналов HART Tri-Loop-4 токовых сигналов 4-20 мА, представляющих каждый из указанных параметров);

- цифровой сигнал на базе HART-протокола накладывается на токовый сигнал и воспринимается любым устройством, поддерживающим протокол HART.

Сигнализация аварийного режима. Если программа самодиагностики обнаружит неисправность датчика, аналоговый сигнал устанавливается, либо ниже 3,75 мА, либо выше 22 мА для оповещения пользователя. Выбор высокого или низкого уровня выходного сигнала аварийного режима производится пользователем путем установки переключки.

Радарный уровнемер. Радарный уровнемер SITRANS LR-400 предназначен для измерения уровня сыпучих сред и жидкостей. Благодаря применению, частоты излучения 24ГГц, специальной FMCW (FrequencyModulatedContinuosWave) технологии обработки сигнала и интеллектуальному модулю управления возможно точное измерение уровня, устранение помех, самокалибровка и автоматический пуск.

Выходные сигналы: 4...20 мА (HART) реле граничных значений, вариант с PROFIBUS PA. Вариант исполнения с взрывонепроницаемым корпусом позволяет устанавливать расходомер во взрывоопасных зонах, существует вариант для измерения в зоне 0. Точность измерения в диапазоне до 15 м - 5 мм, до 45 м - 15 мм, диапазон температур - 40 ..2500, диаметр крепежных фланцев DN50-80-100-150, давление PN40 или PN64.

При измерении уровня в запыленных атмосферах имеется возможность снять излучатель без демонтажа крепежа для очистки.

Датчики положения SIMODRIVE. Область применения, структура

SIMODRIVE sensor - оптоэлектрические и пристраиваемые датчики для регистрации отрезков пути, углов поворота или числа оборотов. Они используются вместе с приводами и устройствами определения положения, например:

- SIMOTION –системы MotionControl;

- SINUMERIK –системы ЧПУ;

- SIMATIC - программируемые системы управления;

- SIMODRIVE и SIMOVERT MFSTERDRIVES MC - приводные системы.

Различают между инкрементальными и абсолютными процессами измерения. Для инкрементальных датчиков после каждого отключения сети необходимо провести процедуру реферирования (выход в ноль) станка, т.к. после отключения питания движения станка не регистрируются. Абсолютные датчики, напротив, регистрируют эти движения механически, и после включения питания показывают действительную позицию. Процедура реферирования (выход в ноль) не нужна.

Датчики абсолютные бывают однооборотные и многооборотные. Датчики абсолютного значения (угловые кодирующие устройства) созданы по принципу считывания подобно инкрементальным датчикам, но обладают большим числом дорожек. Например, при 13 импульсных дорожках для однооборотных датчиков, кодируются $2^{13}=1892$ шагов. Используемый код - одношаговый код Грея. Это позволяет обеспечить отсутствие ошибок считывания.

После включения станка значение позиции сразу же переносится в систему управления. Процедура реферирования не производится. Перенос данных между датчиком и системой управления происходит либо через синхронный последовательный интерфейс (SSI), EnDat или же через PROFIBUS -DP. SSI и EnDat имеют преимущества при критическом по времени использовании. При установках с большим числом датчиков

PROFIBUS -DP выгоднее за счет сокращения затрат на монтаж. Датчики с PROFIBUS -DP параметрируются.

Однооборотные датчики разрешают один оборот (3600 механически) на определенное количество шагов, например, 8192. Каждой позиции приписано определенное кодовое слово. После 3600 значения позиции снова повторяются. Многооборотные датчики, в дополнение к абсолютному положению, в течение одного оборота регистрируют также число оборотов. Это обеспечивается за счет считывания других кодирующих дисков, связанных с валом датчика через шестерни передачи. При обработке 12 следующих импульсных дорожек дополнительно могут кодироваться $2^{12}=4096$ оборотов. Учитывая все данные, выбран абсолютный датчик с интерфейсом PROFIBUS -DP S/R, многооборотные (24 бит) - 4096 шагов на оборот.

Электромеханическая цифровая система взвешивания. Технологический процесс требует наличия оборудования, позволяющего с высокой точностью автоматически осуществлять взвешивание и дозирование сырья, промежуточных продуктов переработки. Для этого выбрано, разработанное фирмой Siemens, компактные модули взвешивания SIWAREX U, которые с легкостью подключаются к контроллерам семейства SIMATIC S5/S7.

Основные свойства SIWAREX U:

- интеграция в SIMATIC S7 как функциональный модуль;
- подключение к PROFIBUS -DP через ET 200M;
- полный доступ к данным через SIMATIC;
- два исполнения: с одной и двумя каналами;
- точность 0,05%;
- два последовательных интерфейса для удаленных индикаторов и подключения к компьютеру;

Параметрирование с использованием программного обеспечения под WINDOWS;

- возможна теоретическая настройка, без применения тарировочных весов;
- функции установки нуля, программных пределов, цифровых фильтров;
- возможно искробезопасное применение;
- замена модуля без перекалибровки шкал.

Связь между SIWAREX и SIMATIC

Модули могут быть непосредственно установлены как элемент станции децентрализованной периферии ET 200M подключены к устройствам SIMATIC S7-300/400. Последовательные интерфейсы:

- RS 232C - для параметрирования модуля, а также для подключения к компьютеру;
- TTY - для подключения до 4-х удаленных цифровых индикаторов.

Параметрирование и пуско-наладка осуществляется посредством программы SIWATOOL, работающей под WINDOWS., данные могут быть запомнены на магнитном носителе, распечатаны на принтере.

Развитые инструменты диагностирования позволяют провести диагностику модулей. Подключение ячеек взвешивания: к SIWAREX U могут быть подключены любые ячейки взвешивания. В случае параллельного подключения максимально 4-х ячеек взвешивания используется подсоединительный бокс (АК), при этом расстояние от ячейки до бокса менее 20 метров, между боксом и SIWAREX U не более 1000 м (предпочтительнее использование 6-ти проводной техники). Для подключения во взрывоопасных областях необходимо использовать промежуточный бокс (ЗК).

Вычисление веса и юстировка производится каждые 100мс, причем значения располагаются в диапазоне от -32768 до +32767. Встроенный цифровой фильтр позволяет компенсировать колебания сигнала. Используя две функции параметрируемых граничных значений можно быть запрограммировать реакцию систему, в том числе и реакцию по прерыванию.

Газоанализатор. В качестве газоанализатора выбран прибор фирмы Siemens, который используется в производстве во всем мире уже более 30 лет и известны своим качеством, надежностью и точностью. Измеряемые компоненты - O₂, CO₂, CO, SO₂, NO, различные углеводороды и другие. Газоанализаторы поставляются не только отдельно, но и в составе системы, комплектуемой в соответствии с пожеланиями заказчика и включающей в себя пробоотбор, пробоподготовку, автокалибровку и другие.

3.3 Разработка структурной схемы и схемы автоматизации объекта исследования

3.3.1 Описание структурной схемы КТС

В составе системы выделяются три уровня: уровень серверов и автоматизированных рабочих мест операторов, уровень контроллеров и уровень полевой автоматики.

В качестве основного управляющей станции используется дублированный контроллер фирмы Siemens. Система удаленного ввода/вывода реализована с использованием модулей I/O, предназначенных для работы в широком диапазоне температур (от -20°C до +70°C) и позволяющих уменьшить необходимость в специальном оборудовании обогрева или охлаждения. Для управления скоростью электродвигателей питателей, миксера шлака и миксера штейна используются частотно-регулируемые преобразователи. Для обеспечения плавного пуска электродвигателей транспортеров и насосов перекачки пульпы используются устройства плавного пуска (УПП) серии SMC FLEX.

Для обеспечения надежности работы системы электропитание средств автоматизации будет произведено через источники бесперебойного питания с двойным преобразованием с технологией HotSync® (два или более ИБП работают в параллель, обеспечивая равномерное распределение нагрузки).

Все устройства АСУТП ПВ-3 (контроллеры, частотные преобразователи, устройства плавного пуска, источники бесперебойного питания и т. д.) объединены сетью Ethernet/IP, построенной с использованием топологий «кольцо» и «звезда». Это позволило организовать надежную и расширяемую систему ввода/вывода, а также легко и безопасно интегрировать АСУТП ПВ-3 в информационную среду предприятия.

Автоматизированные рабочие места операторов реализованы с использованием промышленных компьютеров с сенсорными мониторами от компании Siemens. Система визуализации выполнена на базе ПО WinCC.

Комплекс технических средств должен базироваться на технических средствах, способных обеспечить сбор, накопление, обработку, вывод и отображение информации в реальном масштабе времени.

Комплекс технических средств нижнего уровня должен включать:

- средства сбора данных с объекта;
- средства вывода на объект управляющих воздействий;
- средства обмена информацией с верхним уровнем системы;
- средства сохранения данных и программ при временных отключениях питания.

Комплекс технических средств верхнего уровня должен включать:

- средства отображения оперативных данных;
- средства накопления и хранения данных;
- средства обмена информацией с контроллерами на нижнем уровне системы;
- средства задания и корректировки технологических режимов.

С учётом функционального значения системы и используемого программного обеспечения можно предварительно определить следующий состав технических средств, обеспечивающих работоспособность системы:

- WS объём ОЗУ **64** Мб, с внешними устройствами в промышленном исполнении со степенью защиты IP65, в том числе;
- дисплей типа SVGA с разрешением 800x600 пикселей;
- клавиатура со 101 клавишей и манипулятором «трекбол»;
- жёсткий магнитный диск типа «Винчестер» ёмкостью не менее **200** Мб;
- устройство внешней памяти на гибких дисках;
- программируемые логические контроллеры SimaticS7 400 (CPU413-2DP) с необходимым УСО;
- сетевое оборудование ETHERNET;
- коммуникационная система в стандарте MPI.

Перечень технических средств приведён в таблице 3.1

Технические средства измерения (датчики), аппаратура управления и исполнительные механизмы выбирались исходя из требуемой точности измерения и эксплуатационных характеристик. Перечень низовых средств измерения, управления и используемых исполнительных механизмов приведён в спецификации.

Таблица 3.1 - Перечень технических средств

Описание	Кол-во
Simatic S7-400, ЦПУ 414-2 DP	3
Simatic S7-400, носитель модулей UR2	3
Блок питания PS 407 4 А; AC120/230V – А/10/20	3
Simatic S7-400, 5V флеш-память MC 952 FUER S7-400, 256 Кбайт	3
Simatic S5/S7, штекер PROFIBUS до 12 Мбит/сек	13
Simatic S7-300, PROFILSHIENE L=480мм	7
Simatic S7-300, интерфейсный модуль ET 200 м.	8
БП 307, AC 120/380V, DS 24V, 10A PS 307, AC 120/380V, DS 24V, 10A	3
Simatic S7-300, фронтштекер с винтовым соединением, 20-пол.	26
Simatic S7-300, SM 331, U/I/ТП/ТСП, Alarm, диагностика, разр. 9/12/14бит, 8 каналов	17
Simatic S7-300, SM 334, 4 канала входа PT 100, 2 канала входа 0-10 V	8
Simatic S7-300, модуль аналоговых выходов SM 332, U/I, диагностика, разрешение 11/12 бит, 4А	2
Simatic S7-300, SM 322, 8DA DC 24V, 2A	10
Simatic NET, кабель PROFIBUS до 2 жил, экран витая пара	320
Simatic S7-300, SM 321, 32 канала, 24V	6
Стандартный шкаф с монтажными элементами	4
Simatic PCR 125, 256 Кбайт, Кэш 3,5 1.44 Мбайт, Процессор: Pentium 200 МГц, 32 Мбайт, RAM (2x16 Мбайт), 1.6 Гбайт TIDT	4
Трекбол	4
Мембранная клавиатура IP65	4
Цветной монитор, 21	4
Карта MultiVGA, для подключения двух мониторов к системному блоку	4
Репитер RS 485	3
Simatic S7-400, SM 431, 16AE, разр. 13 bit +/- 10V, +/- 20MA, 20 MS WANDLUNGZEIT	1
Simatic S7-200, ЦПУ 215	2
Simatic S7-200, релейный выход EM 222, 8 DA, 2A	4
БП ВХ: ФС 120/230V Вых: DC 24V 3.5A	3
Simatic S7, STEP7 V4.02	1
Кабель толстый коаксиал	500

3.3.2 Описание схемы автоматизации

Требования к режиму функционирования системы включается в себе следующее:

- часть АСУ ТП начинать своё функционирование автоматически после включения;
- загрузка операционных систем и специального программного обеспечения в микропроцессорных контроллерах должна происходить автоматически;
- рабочие станции после отказа или сбоя отдельных компонентов должна продолжать выполнять свои функции (в неполном объёме) и автоматически восстанавливать свои функции при восстановлении работоспособности.

В рамках подсистем централизованного контроля предусматривается расчёт средних значений параметров на интервалах времени: 5 минут, с хранением их в течение суток; 1 час, с хранением их в течение 10 дней; смена, с хранением данных в течении календарного месяца; сутки, с хранением данных в течение трёх месяцев (год). Хранение данных, начиная с суток, может осуществляться на внешних магнитных носителях (дисках).

Ввод значений переменных через модули АЦП в составе УСО осуществляется в программном режиме с периодичностью не более 20 секунд (для аварийной сигнализации – не более 1 секунды).

Функционирование АСУ ТП в режиме реального времени с единой системой отсчёта времени обеспечит выполнение следующих задач:

- документирование времени приёма-передачи информации;
- протоколирование происходящих в АСУ ТП событий, по технологической схеме на каком объекте, в какой момент времени что произошло;
- анализ производственных ситуаций по временному принципу, учёт времени прохождения и обработки информации по каналам связи;
- задание последовательности управляющих воздействий, синхронизированных в пределах единой временной шкалы.

В соответствии с этим система реального времени должна отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать необходимую точность отчёта единого времени для устройств с минутным отсчётом (+6с), для устройства с секундным отсчётом (+0.1с);
- иметь возможность выдачи серии сигналов текущего времени (часовых, минутных, секундных и их долей), в том числе в двоичном, восьмеричном и десятиричном коде;
- обеспечивать требуемую суточную стабильность датчика времени.

4 РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

4.1 Техничко - экономическое обоснование автоматизации процесса плавки медных концентратов в печи Ванюкова.

Технический уровень промышленности на современном этапе развития во многом определяется степенью автоматизации. Автоматизация является одним из главных направлений научно-технического прогресса и важным средством повышения эффективности производства.

В общем случае управление представляет собой такую организацию того или иного процесса, которая обеспечивает достижение определенных целей.

Автоматическое регулирование и управление является наиболее сложной и совершенной формой автоматизации.

Мировые достижения в области металлургии тяжелых цветных металлов является разработка и промышленное освоение различных вариантов автогенных процессов плавки сульфидных концентратов.

Основной задачей при управлении процессом плавки в жидкой ванне является создание такой системы автоматизации, которая бы позволяла добиться максимальной производительности печи при определенных заданных параметрах процесса.

Результаты внедрения АСУТП способствуют:

а) увеличение дополнительного выпуска продукции на 2-3 процента, за счет сэкономленного времени и ресурсов, извлечение меди повышается на 1-3 процента и снижаются абсолютные потери меди со шлаком путем расчета и подготовки шихты оптимального состава, а также стабилизации режима плавки подготавливаемой шихты (по расходу кокса и кислорода);

б) снижение величины основных фондов;

в) снижение себестоимости продукции.

Разработка системы автоматизации ПЖВ дает возможность уменьшить величину транспортного запаздывания подготавливаемой шихты, угля к печи, выпуск штейна, шлака.

Внедрение данной системы повышает технико-экономические показатели, позволяет снизить затраты на эксплуатацию и ремонт основного технологического оборудования, так как новая система регулирования позволяет обеспечить работу оборудования в строго заданном режиме, тем самым, предупреждая возникновение аварийных ситуаций и увеличивая время межремонтного периода.

4.2 Капитальные затраты на создание и внедрение системы автоматизации.

$$K_B = Z_{\text{пр}} + Z_M + Z_{\text{тр}} + Z_{\text{раз}} \quad (4.2)$$

За счет внедрения АСУТП: относительная экономия заработной платы, за счет высвобожденных рабочих, прирост прибыли (экономия от снижения себестоимости продукции), относительная экономия материальных ресурсов.

Заработная плата разработчиков с отчислениями на социальные нужды.

$$Z_{\text{разр. с отч.}} = (\text{Собщ} - (\text{Собщ} \cdot \text{Нп}/100\%)) \cdot \text{Нс} \cdot 100\% + \text{Собщ} \quad (4.3)$$

где Нп – налог в пенсионный фонд,

Нс – налог на социальные нужды

$$\text{Заработная плата} = (590000 - 59000) \cdot 0,21 + 590000 = 701510 \text{ тенге} \quad (4.4)$$

Затраты на приобретение приборов и средств автоматизации.

Затраты на приобретения вычислительного комплекса SIMATICSPUS7 400-417-4 и дополнительных приборов.

Автоматизированной системе управления технологическими процессами в ПЖВ применяется вычислительный комплекс SIMATICSPUS7 400-417-4 .

Затраты на монтаж и оборудование. Затраты на монтаж оборудования составляют 25% от стоимости капитальных затрат

$$K_{\text{монт.}} = K_{\text{об}} \cdot 0,25 \quad (4.5)$$

$$K_{\text{монт.}} = 1385332,2 \cdot 0,25 = 346333 \text{ тг}$$

Итого капитальные затраты на создание системы управления составят:

$$K_B = K_{\text{об}} + K_{\text{монт.}} + Z_{\text{разр. с отч}} \quad (4.6)$$

$$K_B = 1385332 + 346333 + 701510 = 2433175 \text{ тг}$$

В таблице 4.2 представлен список наименования приборов, количество, а также стоимость данного оборудования.

Таблица 4.2 – Затраты на приобретение приборов

Наименование приборов	Тип	Количество	Стоимость, тыс. тг	
			единицы	общая
SIMATIC CPUS7 400	417-4	1	243,0	243,0
Термоэлектрический преобразователь	ТХА, ТХК Метран	8	11,5	92
Датчик давления	Метран-100	4	41,86	167,44
Расходомер	Метран3095MV	3	104,65	313,95
Уровнемер	SITRANSLR-400	1	165,9	165,9
Влагомер	П-МК Энергопромавтоматика	1	14,75	14,75
Датчик положения	SIMODRIVE	1	215,78	215,78
Газоанализатор	Sitrans	1	225,48	225,48
Компактные модули взвешивания	SIWAREX U	1	103,964	103,964
Пускатель реверсивный	Sitrans	1	1,7	16,7
Пакетный переключатель	Siemens	2	478	3,4
Шинный модуль, блоки питания, кабели			150	478
Модули аналоговых и дискретных сигналов				
Панель визуализации	ТП-170	4	95,0	600
Персональный компьютер	Pentium IV Intel	4	380	380
ИТОГО:				3400,364

Всего затраты на комплекс и приборы локальной автоматики составляют: 3400,364 тенге.

Затраты на вычислительный комплекс 2081000 тенге.

Затраты на приобретение комплектующих АСУТП составляет 1319364

тенге.

Капитальные затраты на неучтенное оборудование рассчитываем, исходя из 5% от общей стоимости

$$K_{\text{пр.об.}} = K_{\text{АСУТП}} \cdot 0,05 \quad (4.7)$$
$$K_{\text{пр.об.}} = 1319364 \cdot 0,05 = 65966 \text{ тенге}$$

Затраты на эксплуатацию системы автоматизации.

Эксплуатационные расходы после автоматизации системы:

$$\text{Э расходы} = A_0 + Z_{\text{т.р.}} + Z_{\text{с.о.}} + Z_{\text{эл.}} + Z_{\text{разр.сотч.}} \quad (4.8)$$

где A_0 – общие амортизационные отчисления на вычислительный комплекс и приборы низкой автоматики, тенге;

$Z_{\text{т.р.}}$ – затраты на текущий ремонт средств автоматики, тенге;

$Z_{\text{с.о.}}$ – затраты на содержание оборудования системы управления, тенге;

$Z_{\text{эл.}}$ – затраты на электроэнергию, тенге;

$Z_{\text{разр.сотч.}}$ – общий фонд заработной платы с отчислениями, тенге;

$$\text{Э}_{\text{расх.}} = 319888,88 + 110155,36 + 77108,75 + 194165,4 + 9459684 = 10161002,39$$

а) Амортизационные отчисления на вычислительный комплекс составляют 10% от стоимости самого комплекса:

$$(1826000 \cdot 10) / 100 = 182600 \text{ тенге}$$

б) Амортизационные отчисления на приборы низовой автоматики (ПНА) составляют 12%:

$$(1144074 \cdot 12) / 100 = 137288,88 \text{ тенге}$$

Общие амортизационные отчисления на вычислительный комплекс и приборы низовой автоматики:

$$A_0 = 182600 + 137288,88 = 319888,88 \text{ тенге}$$

Затраты на текущий ремонт средств автоматизации. Величина затрат на текущий ремонт вычислительного комплекса и средств автоматизации составят 5% от величины капитальных затрат на создание системы управления:

$$Z_{\text{т.р.}} = (K_{\text{в}} \cdot 5) / 100 = (2203107,13 \cdot 5) / 100 = 110155,36 \text{ тенге} \quad (4.9)$$

Затраты на содержание оборудования системы управления. Величина затрат на содержание оборудования системы управления составляет 3,5% от капитальных затрат на создание системы управления:

$$Z_{\text{с.о.}} = (K_{\text{в}} \cdot 3,5) / 100 \quad (4.10)$$
$$Z_{\text{с.о.}} = (2203107,13 \cdot 3,5) / 100 = 77108,75 \text{ тенге}$$

Затраты на электроэнергию. Затраты на электроэнергию, потребляемой вычислительным комплексом:

$$Z_{\text{эл.}} = U_1 \cdot \tau \cdot T_{\text{ф}} \cdot K_{\text{и}} \cdot n, \quad (4.11)$$

где U_1 – мощность электроэнергии, потребляемой вычислительным комплексом и средствами автоматизации:

$$У_1=11\text{кВт.}$$

ц – цена 1кВт*ч электроэнергии

$$ц=6,2 \text{ тенге}$$

T_{ϕ} – фонд рабочего времени в сутки.

$$T_{\phi}=8 \text{ часов.}$$

$K_{и}$ – коэффициент использования оборудования по времени равен 0,975

n – количество управляющих комплексов

$$З_{\text{эл.}}=11*8*0,975*1=85,8 \text{ кВт.ч/сутки}$$

$$З_{\text{эл.год}}=85,8*365=31317 \text{ кВт.час}$$

Для установки 1 кВт.час стоит 6,2 тенге, тогда затраты на электроэнергию составят:

$$З_{\text{эл.общ.}}=З_{\text{эл.год}}*6,2=31317*6,2=194165,4 \text{ тенге}$$

4.3 Годовой экономический расчет

Годовой фонд основной заработной платы на обслуживающий персонал составит:

$$\text{ГФЗП}=12\cdot\text{Фм}=510000\cdot12=6120000 \text{ тенге} \quad (4.12)$$

где Фм – месячный фонд заработной платы обслуживающего персонала, тенге.

Кроме основной заработной платы существует дополнительная плата, которая выплачивается за работу в ночное время и работу в праздничные дни.

Учитываем премиальные, которые составляют 10% от заработной платы.

Годовой размер премиальных составит:

$$\text{ГР.Пр.}=\text{ГФЗП}\cdot0,1=6120000\cdot0,1=612000 \text{ тенге} \quad (4.13)$$

Годовой фонд заработной платы с учетом районного коэффициента составит:

$$\text{ГФЗП.РК}=\text{ГФЗП}\cdot1,2=6120000\cdot1,2=7344000 \text{ тенге} \quad (4.14)$$

Общий фонд заработной платы составит:

$$\text{ОФЗП}=\text{ГР.Пр.}+\text{ГФЗП.РК}=612000+7344000=7956000 \text{ тенге} \quad (4.15)$$

Общий фонд заработной платы с отчислениями составит:

$$\text{Зразр.сотч}=(\text{ОФЗП}-(\text{Нп}/100\% \cdot \text{ОФЗП})) \cdot \text{Нс}/100\%+\text{ОФЗП}=(7956000-(0,1\cdot7956000))\cdot0,21+7956000=9459684 \text{ тенге} \quad (4.16)$$

4.4 Расчет экономической эффективности и срока окупаемости АСУТП ПЖВ

По данным, имеющимся до внедрения системы автоматизации на данной установке себестоимость, составила $\text{Ссеб.стар}=1350$ тенге за тонну.

Объем выпуска продукции до внедрения АСУТП составлял 10000т/год

Изменение удельной себестоимости при внедрения новой системы:

$$C_{\text{себ.нов.}} = \frac{\text{Эрасх.}}{Q_{\text{н}}} = 10161002,39 / 10000 = 1016,1 \text{ тенге} \quad (4.17)$$

Экономия за счет уменьшения себестоимости продукции:

$$\text{Э} = (C_{\text{себ.стар.}} - C_{\text{себ.нов.}}) \cdot Q_{\text{н}} = (1350 - 1016,1) \cdot 10000 = 3339000 \text{ тенге} \quad (4.18)$$

Экономический годовой эффект от внедрения системы автоматического управления определяется по формуле:

$$\text{ЭГ} = \text{Э} \cdot E_{\text{н}} \cdot K_{\text{в}} \quad (4.19)$$

где ЭГ – экономия за счет увеличения производства за год, тенге;

$E_{\text{н}}$ – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений на внедрение вычислительной техники принимается на уровне действующих в отрасли, а при отсутствии отраслевых нормативных коэффициентов принимается равным 0,3.

$$\text{ЭГ} = 3339000 \cdot 0,32 \cdot 2203107,13 = 2634005,72 \text{ тенге} \quad (4.20)$$

Срок окупаемости рассчитываем по формуле:

$$T_{\text{окуп}} = K_{\text{в}} / \text{ЭГ} = 2203107,13 / 2634005,72 = 0,8 \text{ года} \quad (4.21)$$

5 РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОХРАНЕ ТРУДА И ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

5.1 Трудовой кодекс РК. Трудовое законодательство Республики Казахстан

1. Трудовое законодательство Республики Казахстан основывается на Конституции Республики Казахстан и состоит из настоящего Кодекса, законов Республики Казахстан и иных нормативных правовых актов Республики Казахстан.

2. Запрещается включение другие законы Республики Казахстан норм, регулирующих трудовые отношения, отношения социального партнерства и охраны труда, кроме случаев, предусмотренных настоящим Кодексом.

3. Если международным договором, ратифицированным Республикой Казахстан, установлены иные правила, чем те, которые содержатся в настоящем Кодексе, то применяться правила международного договора. Международные договоры, ратифицированные Республикой Казахстан трудовым отношениям, применяются не посредственно, кроме случаев, когда из международного договора следует, что для его применения требуется издания закона.

Цель и задачи трудового законодательства Республики Казахстан

1. Целью трудового законодательство Республики Казахстан является правовое регулирование трудовых отношений и иных отношений, непосредственно связано с трудовыми, направленные на защиту прав интересов сторон трудовых отношений, установление минимальных гарантии прав и свобод в сфере труда.

2. Задачами трудового законодательства Республики Казахстан являются создание необходимых правовых условий, направленных на достижение баланса и интереса сторон трудовых отношений, экономического роста, повышение эффективности и производства и благосостоянии людей.

Сфера действия настоящего Кодекса

- 1) трудовые;
- 2) непосредственно связано с трудовыми;
- 3) социального партнерства;
- 4) по безопасности и охране труда.

Действие настоящего Кодекса, если иное не предусмотрено и законами, и международными договорами, ратифицированными Республики Казахстан, распространяется на:

1) работников, в том числе на работников организации, расположенных на территории Республики Казахстан, собственниками имущества, учениками или акционерами которых являются иностранные физические и юридические лица;

2) работодателей, в том числе на организации, расположены на

территории Республики Казахстан, собственниками имущества, участниками или акционерами, которые являются иностранные физические и юридические лица;

3) особенности правового регулирования труда отдельных категорий работников устанавливаются настоящим Кодексом и иными законами Республики Казахстан;

4) законы Республики Казахстан не должны снижать уровень прав, свобод гарантии, установленных настоящим Кодексом Республики Казахстан.

Трудовые договоры, соглашение сторон социального партнерства, коллективные договоры, акты работодателя в сфере труда:

1. Трудовые отношения, а также иные отношения, не посредственно связанные с трудовыми, регулируются с трудовым договором, актом работодателя, соглашением и коллективным договором.

2. Положения соглашений сторон социального партнерства, коллективных трудовых договоров, актов работодателей ухудшающие положения работников по сравнению с трудовым законодательством Республики Казахстан, признаются недействительными.

3. Условия соглашений, коллективных, трудовых договоров не могут быть изменены в одностороннем порядке.

5.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Охрана труда – система законодательных актов, социально-экономических, организационных, технических, гигиенических, лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность хранения здоровья и работоспособности человека в процессе труда. Процесс плавки в жидкой ванне связан с высокими температурами (до 1600⁰С), применением электродвигателей, насосов с электрическим приводом.

Из вышеперечисленного можно сделать вывод, что данное производство является опасным и требует строгого соблюдения норм техники безопасности и производственной санитарии.

Можно особо выделить следующие опасные факторы и вредности:

- электрический ток – оказывает вредное механическое, тепловое и физиологическое воздействие на организм человека;
- пыль, содержащая 70% SO₂, пыль металлов и их неорганических соединений – производит вредное воздействие на дыхательную систему;
- газ производит вредное воздействие на дыхательную систему (SO₂, CO₂, CO);
- шум и вибрации – ухудшают самочувствие работающих, способствует

- приобретению профессиональных болезней;
- повышенная температура (170-220 °С) – ухудшает самочувствие работающих.

5.3 Организационные мероприятия

В целях обеспечения благоприятных условий труда в цехе предусмотрен ряд организационных мероприятий.

Ответственным за состояние охраны труда и безопасность работы в цехе является начальник цеха. Главный механик и энергетик отвечают за исправное состояние электрических вентиляционных установок, контрольной аппаратуры. Мастер цеха проводит в установленные сроки инструктаж рабочих по соблюдению безопасных методов работы, следит за выполнением работающими правил и инструкций по технике безопасности и производственной санитарии, правил внутреннего трудового распорядка, за использованием спецодежды и защитных приспособлений, а также за работой санитарно-гигиенических установок, чистотой и порядком. Мастер также участвует в расследовании причин несчастного случая и профессиональном управлении, в разработке мероприятий по устранению причин и предупреждению несчастных случаев.

На металлургических предприятиях существуют отделы техники безопасности, основными задачами которых являются: в отношении работающего оборудования – проверка безопасности эксплуатации, качества контроля и ремонта; в отношении персонала – обеспечение технической информации, инструктаж и пропаганда.

Все ИТР перед назначением на работу проходят аттестацию в общезаводской аттестационной комиссии в составе главного инженера, заместителя главного инженера по технике безопасности, начальника отдела техники безопасности, главного механика, главного энергетика, представителей правового отдела и отдела кадров.

Существует следующие виды инструктажа рабочего персонала: вводный инструктаж на рабочем месте, текущий инструктаж, повторный и оперативный. Также большое значение имеет пропаганда безопасных методов работы в вычислительном цехе. Проводятся лекции, беседы, посвященные мерам борьбы с травматизмом, вопросам гигиены труда и др. Пропаганда ведется в специальных стенгазетах, плакатах, которые развешиваются в созданных уголках по технике безопасности.

Работа по охране труда в цехе и на предприятия в целом планируется отделом безопасности и комитетом профсоюза

5.4 Технические мероприятия

5.4.1 Обеспечение электробезопасности

Широкое использование электрического тока придает вопросам безопасности использования важное значение, так как, воздействие электрического тока на организм может вызвать опасные последствия и даже привести к смерти.

По опасности поражения людей электрическим током металлургические предприятия относятся к 11 категории, это обуславливает применение электрооборудования в защищенном исполнении. В цехах работают электродвигатели высокого напряжения. Для защиты людей от поражения электрическим током предусмотрены: диэлектрические боты, перчатки, коврики.

Проведение ремонта электрических агрегатов разрешается лишь лицам, имеющим на это право.

Поражение электрическим током является опасным фактором для работающих. На участке используется напряжение 380 В, частота тока 50Гц. Все электрооборудование и все металлические конструкции подлежат обязательному заземлению. Заземленные объекты к магистральному заземлению присоединяются параллельно. Магистраль заземления проложена по территории здания на всех отметках и соединена в двух местах с контурами заземления подстанции цеха.

В связи с тем, что при внедрении АСУТП для вычислительно-управляющих машин выделено помещение непосредственно в цехе, то контур ее заземления соединяется с контуром заземления подстанции цеха. Все мероприятия по электрозащите соответствует ПУЭ.

Проектируемый групповой заземлитель-контурный, состоит из четырех вертикальных трубообразных заземлителей длиной 5 м и диаметром 100мм и горизонтального заземлителя, в виде стальной полосы длиной 10м с площадью сечения 4х40 мм, заглубленных на 1м.

5.4.2 Организация приточно-вытяжной вентиляции

В отделении плавки содержание вредных газов и пыли не превышает ПДК. В цехе осуществляется естественный воздухообмен с движением воздуха в рабочей зоне со скоростью движения до 0,5м/с. У дверных проемов устанавливается калорифер КФСО-8, который регулирует зимой горячий, а летом – холодный воздух до температуры +19 °С. Влажность воздуха не превышает 75%. Согласно СН 245-2001 при категории средней тяжести работ допускается температура воздуха до 17-22 °С, относительная влажность не более 75%. Таким образом, отклонения от СИ нет. В цехе предусмотрена система вентилирования воздуха, которая не превышает СН 245-71.

Для вентилирования воздуха также применяют центральные системы (однозональные, многозональные) местные кондиционеры, системы с раздельной обработкой воздуха. Кондиционеры применяют для обслуживания одного помещения, в частности вычислительного цеха.

5.4.3 Защита от механических травм

Для организации планомерной борьбы с травматизмом организовывается строгий учет и документация несчастных случаев.

Все площадки и переходные мостики в отделении плавки, находящиеся на высоте более 0,5 м, снабжены лестницами и перилами с высотой 1,2 м и с перекладиной на высоте 0,5 м. площадки, расположенные на высоте более 0,3 м над уровнем пола, снабжены лестницами. Угол наклона лестниц 45°, ширина 0,7 м. все вращающиеся части агрегатов имеют ограждения и соответствующие надписи: «осторожно», «опасно». Шнеки и соединительные муфты имеют закрытые и закрепленные ограждения.

5.4.4 Санитарно-гигиенические мероприятия

При работе в цехе необходимо соблюдать правила личной гигиены, пользования индивидуальными средствами защиты и профилактики. Вновь поступающие рабочие и ИТР подвергаются предварительному медосмотру, а в дальнейшем – периодическому ежегодному.

С рабочими проводится инструктаж о правилах личной гигиены. Также проводятся мероприятия по обеспечению защиты от шума, организация освещения, мероприятия по обеспечению соответствующих метеорологических условий.

5.5 Обеспечение спецодеждой, спецобувью, предохранительными приспособлениями

Для защиты от брызг расплавленного металла пользуются спецодеждой, сделанной из льняных (брезентовых) и шерстяных тканей как не воспламеняющихся. Те части спецодежды, которые подвергаются интенсивному облучению, следует делать трехслойными: наружный слой – из льняной не воспламеняющейся ткани, средний – из шерстяной и внутренний – из мягкой хлопчатобумажной ткани. Рабочим горячих цехов полагается выдавать суконные рукавицы с брезентовыми накладками, валенки или ботинки и войлочные шляпы, каски для остальных работников цеха. Горновой, его помощник, фурмовщик и сифонщик должны использовать специальные защитные очки. Для электроперсонала,

сантехников, механиков и т.д. в качестве спецодежды выдаются костюмы из хлопчатобумажной ткани, ботинки или сапоги.

За спецодеждой организуется уход: стирка, чистка, обеспыливание, ремонт. Спецодежда подвергается периодической проверке и испытаниям. Соблюдаются сроки замены старой спецодежды.

Средства индивидуальной защиты подвергаются периодической проверке, а газо-защитные аппараты еще и проверке после каждого случая использования, перед применением. Проверку оформляют актом или регистрируют в специальном журнале.

5.6 Обеспечение метеорологических условий

Для характеристики условий труда важное значение имеет производственный микроклимат – комплекс значений физических характеристик метеорологических факторов в ограниченном пространстве производственного помещения. К метеорологическим характеристикам относятся температура воздуха, влажность, скорость движения.

Микроклимат влияет на самочувствие человека, его трудоспособность и протекание физиологических процессов, от которых зависит поддержание постоянной температуры тела. Тепловые воздействия на организм могут являться причиной быстрого утомления, снижения работоспособности, ослабление сопротивляемости организма к вредным воздействиям, различным заболеваниям. Способы защиты от лучистого потока:

- теплоизоляция нагретых поверхностей;
- экранирование теплового излучения;
- применение защитной одежды;
- использование воздушного душа с подкачкой свежего воздуха;
- организация рационального отдыха в период работы.

5.7 Организация искусственного освещения

В операционном помещении наблюдается недостаток естественного освещения. В связи с этим необходимо искусственное освещение.

Коэффициент запаса для люминесцентных ламп $k=1,5$, высота зала $h=2,5$ м. Площадь операторной $10,6$ м².

Необходимо 20 светильников, обеспечивающих общее освещение, удовлетворяющее предъявленным санитарно-гигиеническим нормам для работы с дисплеями вычислительных машин и считывания показаний датчиков.

5.8 Защита от шума и вибрации

Источниками шума в помещении цеха двигателя, вытяжная вентиляция, мостовые краны и т.д.

Шум препятствует сосредоточению внимания, затрудняет выполнение работ, вызывает изменения в нервной системе, оказывает влияние на психику.

Непосредственными инициаторами человека, сердечно-сосудистую систему, пищеварение человека, ухудшается сон.

Работа в условиях шума и вибраций может вызвать головную боль, головокружение и др., непосредственными инициаторами вибрации и шума являются двигатели, вентиляторы.

Все источники шума и вибрации учтены. Их общий уровень составляет не более 25 ГЦ. Для снижения шума в цехе в непосредственной близости от печи необходимо использовать наушники, а стены помещения операторного зала облицованы шумопоглощающим материалом по ГОСТ12.1.003-83.

5.9 Обеспечение пожарной безопасности

За пожарную безопасность ответственность несет начальник ИВЦ. Помещения, где располагаются средства вычислительной техники в соответствии с противопожарными нормами строительного проектирования промышленных предприятий по степени огнестойкости относятся к 111 группе, но пожарной опасности – к категории Г (СН и П 11-М2-72).

Информация ИВЦ – пакеты магнитных дисков, дискеты и т.п. располагаются в обособленных помещениях.

Исходя из расчета один огнетушитель на 600 м для тушения пожара устанавливаются один переносной огнетушитель ОХП-10.

В противопожарных целях по проекту предусматривается автоматизированная пожарная сигнализация: для сообщения о пожаре предусмотрено установка двух телефонов – один в помещении ВЦ, другой (телефон-автомат) – в коридоре.

Используют установку СТПХ-1, датчики которой реагируют на дым, тепло и свет пламени.

При возникновении пожара предусматриваются следующие пути эвакуации:

- дверные проемы, которые ведут из помещений непосредственно в наружу;
- переход или коридор с непосредственным выходом наружу или на лестничные площадки;
- запасные выходы, которые не используются при нормальном движении, но могут быть использованы в случае необходимости при вынужденной эвакуации.

Для тушения пожара применяется наружный трубопровод, который расположен на территории завода по кольцевой схеме. Оповещение о пожаре осуществляется через телефон, громкоговорящую связь.

В цехе предусматривается молниезащитам регламентируется указаниями проектирования и устройства молниезащитам здания и сооружений (СН и П 11-4-79) «Противопожарные нормы проектирования».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный на рассмотрение проект на тему «АСУ ТП плавки в печи Ванюкова» (в условиях БГМК) ставит своей целью повышения качества и количества выпускаемого штейна за счёт внедрения АСУ ТП.

Из пояснительной записки к проекту можно сделать вывод, что плавка методом Ванюкова до сих пор остается основным методом добычи медного штейна.

В технологической части проекта приведены расчеты материального, теплового баланса. В специальной части проекта проанализировано состояние процесса как объекта управления. Наиболее важными технологическими параметрами являются:

- режим подачи дутья;
- величина загрузки за цикл;
- температурный режим;
- качество исходных компонентов.

В общем случае задача управления заключается в разработке и построении таких систем, которые бы с высокой точностью обеспечивали проведение процесса в оптимальном технологическом режиме.

Внедрение АСУТП является рентабельным и вполне применимым для процесса плавки в печи Ванюкова.

Разработаны системы стабилизации разряжения в печи. Выполнен расчет оптимальных настроечных параметров регулятора, построение переходного процесса.

Были разработаны проектная документация на создание системы автоматизированного управления плавкой в ПВ.

В работе проводятся мероприятия по охране труда и технической безопасности, приведен расчет экономической эффективности от внедрения АСУТА.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АИП – аналоговая измерительная подсистема
АЛУ – арифметико-логическое устройство
АР – автоматический регулятор
АНАП – автоматически настраивающийся адаптивный регулятор
АУР – арифметическое устройство расширения
АУ – арифметическое устройство
АСУ – автоматическая система управления
АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическими процессами
АСУП – автоматизированная система управления производством
АТК – автоматизированный технологический комплекс
АТСС – автоматизированная транспортно-складская система
АЦП – аналого-цифровой преобразователь
БД – база данных
БИС – большая интегральная схема
БМУ – блок микропрограммного управления
БПр – блок приоритетного прерывания
БСРг – блок специальных регистров
БУ – блок управления ВИМ-сигнал – времяимпульсный сигнал
ВП – входной преобразователь
ВУ – вычислительное устройство
ВхУ – входное устройство
ВчУ – вычитающее устройство

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Диомидовский В.И. «Металлургические печи» - М.: Metallurgy, 1966 г.
- 2 Лоскутов Ф.М., Цейдлер А.А. «Расчёты по металлургии тяжёлых и цветных металлов» - М.: Metallurgy, 1975 г.
- 3 Ванюков А.В. «Плавка в жидкой ванне» - М.: Metallurgy, 1988 г.
- 4 Лоскутов А.С., Глазов Б.В., Добровский А.Х. «Проектирование систем автоматизации технологических процессов» - М.: Энергия, 1980 г.
- 5 Мамиконов А.Г. «Проектирование АСУ» - М.: Высшая школа, 1987 г.
- 6 Сольнищев Р.И. «Автоматизация проектирования систем автоматического управления» - М.: Высшая школа, 1991 г.
- 7 Бояринов А.И., Кафаров В.В. «Методы оптимизации в химической технологии» - М., 1969 г.
- 8 Ключев А.С., Глазов Б.М., Миндин М.Б. «Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля» - М.: Энергия, 1983 г.
- 9 Слепнев Т.А. «Экономика цветной металлургии» - М.: Metallurgy, 1988 г.
- 10 Лебедева К.В. «Организационные мероприятия по охране труда цветной металлургии» - М.: Metallurgy, 1975 г.
- 11 Иванов В.А., Николаева Н.И., Ибраев А.Х., Шапировский М.Р. Математическая модель надфурменной зоны печи Ванюкова. // Цветная металлургия. 1990, №8, с. 113-115.
- 12 Федоров А.Н., Павлов Р.А., Безрукова Ж.Ж. Гидродинамическая модель ванны расплава процесса Ванюкова (ч. 1) // Изв. Вузов. Цветная металлургия. 2002, №3, с. 11-13.
- 13 Ванюков А.В., Васкевич А.Д. // Изв. Вузов. Цветная металлургия. 1981. №6. С. 20-28.
- 14 Васкевич А.Д., Комков А.А., Разумовская Н.Н. и др. // Цветные металлы, 1987. №3. С. 33-38.
- 15 Васкевич А.Д., Манцевич Н.Н., Ванюков А.В. // Цветные металлы. 1986. №1. С. 15-17.
- 16 Кубашевский О., Олкокк С.В. Металлургическая термодинамика. – М.: Metallurgy, 1982. – 392 с.
- 17 Железняк А.С., Иоффе И.И. Методы расчета многофазных жидкостных реакторов. – Л.: Химия, 1974. – 320 с.
- 18 Кафаров В.В., Ветехин В.Н. Основы автоматизированного проектирования химических производств. – М.: Наука, 1987. – 623 с.
- 19 Рузинов Л.П., Гуленицкий В.С. Равновесные превращения металлургических реакций. – М.: Metallurgy, 1975. – 416 с.
- 20 Гречко А.В. // Изв. АН СССР. Металлы. 1986. №5. С. 9-19.
- 21 Савельев А.Ю., Топчаев В.П., Казанский Л.А., Шапировский М.Р. //

Всб.: Математическое моделирование и ЭВМ в цветной металлургии: Науч. тр. / ОНТК «Союзцветметавтоматика». – М., 1988. – С. 49-58.

22 Федоров А.Н., Павлов Р.А., Безрукова Ж.Ж. Гидродинамическая модель ванны расплава процесса Ванюкова (ч.1) // Изв. Вузов. Цветная металлургия. 2002, №3, с. 11-13.

23 Кожухметов С.М. Исследование в области теории и технологии автогенных процессов. Избранные труды. Алматы, 2005.