

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

Нуркенов Нурлан Нурлыбекович

На тему: "Автоматизация технологического процесса рудотермической
электроплавки медных концентратов"

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

5B070200 – Автоматизация и управление

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

Автоматизация и управление

Кандидат физико-математических наук,
ассоциированный профессор

Алдияров Н.У.

« » 2022 г.



ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: " Автоматизация технологического процесса рудотермической
электроплавки медных концентратов "

5B070200 – Автоматизация и управление

Выполнил:

Нуркенов Н.Н.

Рецензент
Магистр техники и технологий,
По специальности РЭТ

Сихимбаев А.С.
«18» 05 2022 г.



Научный руководитель
Кандидат технических наук,
ассистент-профессор кафедры АиУ
Кошимбаев Ш.К.

«18» 05 2022 г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

5В070200 – Автоматизация и управление

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
Автоматизация и управление
Кандидат физико-математических наук,
ассоциированный профессор

Алдияров Н.У.

2022 г.



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Нуркенов Нурлан Нурлыбекович

Тема: «Разработка и исследование интеллектуальных алгоритмов управления процессом переработки жёлтого фосфора»

Утверждаю приказом Ректора Университета № 489-п от «24» декабря 2021 г.

Исходные данные к дипломной работе: Автоматизация технологического процесса рудотермической электроплавки медных концентратов.

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Введение;
- б) Основная часть;
- в) Экспериментальная часть.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): Схема автоматизации РТП, конструкция печи, структурная схема автоматизации.

Рекомендуемая основная литература: Васильев В.В. Управление рудотермической электроплавкой сульфидного медно-никелевого сырья на основе гармонического анализа тока и напряжения электродов, 2010.

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Основная часть	17.04.2022	
Экспериментальная часть	24.04.2022	

Подписи

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

Наименование разделов	Консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Кошимбаев Ш.К. Кандидат тех. наук ассистент профессор кафедры АиУ		
Экспериментальная часть	Кошимбаев Ш.К. Кандидат тех. наук ассистент профессор кафедры АиУ		
Нормоконтролер	Сарсенбаев Н.С. Кандидат тех. наук, ассистент профессор	18.05.22	

Научный руководитель  Кошимбаев Ш.К.

Задание принял к исполнению обучающийся  Нуркенов Н.Н.

Дата «24» декабря 2021 г.

АҢДАТПА

Осы диплом жобасында мыс концентраттарын кендітермиялық пеште электрбалқыту үрдісін автоматтандыру міндеттері қойылған және жазылған. Басқару объектісінің технологиялық үрдісі сипатталып, қойылған басқару міндеттері мен үрдістің алгоритмдік қамсыздандыруы келтірілді.

Осы қойылған міндеттерді шешу үшін: автоматтандыру сұлбасы, техникалық құралдар кешенінің сұлбасы, кендітермиялық пештің құрылымдық сызбасы және құрастыру жұмыстарын орындауға қажетті сызбалар жасалды. Басқарудың жалпы құрылымының сипаттамасы және басқару жүйесі үшін техникалық құралдар кешенін таңдаудың негіздемесі берілді. Диплом жобасында басқару жүйесінің қызметіне жалпы сипаттама берілді, материалдық және жылу балансына, экономикалық тиімділікке есеп жасалды, еңбек қорғау және өндірістік тазалық мәселелері шешілді. Жұмыс қорытындысына қойылған мәселелерді шешудің басты аспектілері және қолданылған әдебиеттер тізімі берілді.

АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте поставлены и разработаны задачи автоматизации процесса электроплавки медного концентрата в руднотермической печи. Дано описание технологического процесса как объекта управления, приведены постановка задачи управления и алгоритмическое обеспечение процесса.

Разработаны необходимые для решения поставленной задачи: схема автоматизации, схема комплекса технических средств, конструктивный чертеж руднотермической печи и чертежи для выполнения монтажных работ. Дано описание общей структуры управления и обоснование выбора комплекса технических средств для управляющей системы. В дипломном проекте приведено общее описание функций системы, управления, приведен расчет материального и теплового баланса, экономической эффективности, решены вопросы охраны труда и производственной санитарии. В заключение проекта приведены основные аспекты решения поставленной проблемы и список литературы.

ANNOTATION

In this diploma project the tasks of automation of process of electrofusion of copper concentrate are put and worked out in a stove. Description of technological process is Given as a management object, raising over of management task and algorithmic providing of process is brought.

The necessary are worked out for a decision the set problem: chart of automation, chart of complex of technical equipments, structural draft of stove and drafts for implementation of assembling works. Description of general structure of management and ground of choice of complex of technical equipments are Given for the sensor-based system. To the diploma project common description of functions of the system, management is driven, a calculation over of material and thermal balance, economic efficiency is brought, the questions of labour and productive sanitation protection are decided. In conclusion of project basic aspects over of decision of the put problem and list of literature are brought.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	10
1.1 Описание технологического процесса электроплавки	10
1.2 Краткое описание руднотермической печи	13
1.3 Существующие принципы построения автоматических систем управления руднотермическими печами	15
2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	21
2.1 Описание руднотермической печи для переработки медных концентратов как объекта управления	21
2.2 Энергетический баланс электроплавки медных концентратов	23
2.3 Алгоритм расчета математической модели	24
2.4 Постановка задач для системы управления	26
2.5 Выбор критерия управления	28
2.6 Влияние положения электродов на показатели работы печи.	28
2.7 Структура системы управления	30
2.8 Алгоритм стабилизации тока	30
2.9 Алгоритм стабилизации активного сопротивления	32
2.10 Алгоритм перепуска электродов	34
2.11 Подготовка схемы автоматизации	35
2.12 Функциональная структура микропроцессорного контроллера	35
3 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	37
3.1 Техничко-экономическое обоснование процесса автоматизации электроплавки	37
3.2 Определение роста прибыли	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	38
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	39

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы: Целью настоящей работы является разработка автоматизированной системы управления процессом рудно-термической плавки, позволяющей повысить технико-экономические показатели процесса.

Актуальность работы: Производство меди и никеля имеет большое значение для экономики Казахстана. Наибольшее распространение при производстве меди и никеля получили пирометаллургические методы, в том числе с использованием автогенных процессов. Однако сегодня все еще сохраняет свое значение традиционная технология получения штейна путем электроплавки сырья в руднотермических печах (РТП). Существующая технология электроплавки в РТП характеризуется невысокими технико-экономическими показателями, неблагоприятной экологической обстановкой, трудностями в обслуживании печей. Все эти факторы требуют модернизации технологий и систем управления процесса переработки сульфидного медно-никелевого сырья до уровня, соответствующего современным требованиям, т.к. разработка и внедрение более прогрессивных автогенных методов производства потребует значительно больше ресурсов.

Сложность создания автоматизированных систем управления объясняется тем, что технологические процессы протекают, как правило, в высокотемпературных и химически агрессивных средах, в агрегатах большой единичной мощности, слабо оснащенных системами автоматического контроля основных технологических параметров, что не позволяет оперативно контролировать изменение этих параметров по ходу процесса.

В результате этого встает вопрос создания некоторой системы управления процессом рудно-термической плавки, включающей как математическое описание, так и установление взаимосвязей внутри объекта.

Задачи, поставленные в работе:

- Анализ процесса получения штейна в руднотермической печи как объекта управления;
- Анализ существующих принципов построения автоматических систем управления руднотермическими печами;
- Определение связи гармонического состава напряжения и тока электродов с технологическими параметрами работы печи;
- Разработка математической модели процесса электроплавки сульфидного медно-никелевого сырья;
- Разработка системы управления руднотермической печью для переработки сульфидного медно-никелевого сырья.

1 Технологическая часть

1.1 Технологический процесс электроплавки

Одним из основных цветных металлов, нашедших широкое применение в народном хозяйстве, является медь, широкое применение которого обусловлено открытием его легирующих свойств, резко повышающих прочность и коррозионную стойкость материалов. В природе никель не встречается в чистом виде. Поэтому для получения металлического никеля необходимы технологические процессы переработки никельсодержащих руд [1].

Одним из основных процессов получения меди из медно-никелевых сульфидных руд и концентратов является рудно-термическая плавка медно-никелевого сырья, которая позволяет получить более 60%.

На предприятиях медной промышленности в основном перерабатываются медно-никелевые руды и концентраты, а также окисленные медные руды. Переработка медно-никелевых руд и концентратов осуществляется в рудно-термических печах (РТП).

В рамках настоящей работы рассмотрен процесс рудно-термической электроплавки медно-никелевых руд и концентратов.

Электропечь для плавления сульфидных медно-никелевых руд представляет собой тепловую ванну, имеющую два расплавленных слоя: шлаковый и штейновый. Загруженная в ванну шихта погружена в шлак в виде конических откосов. Плавление шихты осуществляется за счет тепла, источником которого является электроэнергия. Основные технические характеристики электропечей приведены в таблице 1. РТП- шестиэлектродные с расположением электродов в одну линию. Электроды само спекающиеся диаметром 1100 мм. Загрузка печи производится из 12 промежуточных печных бункеров через загрузочные точки диаметром 530 мм, опущенные под свод на 500–700 мм. Расстояние от продольной оси печи до центра загрузочных отверстий в своде составляет 2700 мм. На руднотермической печи установлены три однофазных трансформатора. Эксплуатационная суммарная мощность трансформаторов каждой печи - 45 МВА.

Электропечь для плавки сульфидных медно-никелевых руд схематично можно представить в виде ванны, в которой имеются два расплавленных слоя (рис. 1). Толщина верхнего (шлакового) слоя составляет 1500–2000 мм, толщина нижнего (штейнового) слоя 600-1000мм [2].

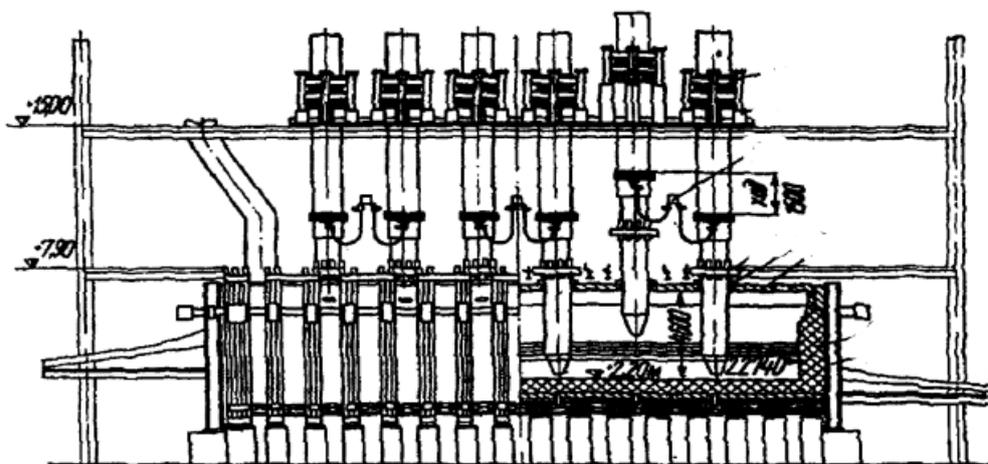


Рисунок 1 – Продольный разрез рудно-термической печи

Электрический ток подводится в ванну при помощи электродов, погруженных в шлак на 300-700мм. Ток в ванне может проходить двумя путями. Соотношение между распределением энергии по схемам «звезда» и «треугольник» зависит от величины погружения электродов в шлаковую ванну, ее высоты, наличия в печи конусов шихты и величины их заглубления в расплав. При наличии в ванне откосов шихты ток протекает в основном по схеме «звезда» и частично по схеме «треугольник». В шлаковой ванне происходит преобразование электрической энергии в тепловую [4]. От 40 до 80% энергии образуется при контактном слое электрод - шлак, остальная часть - в шлаковой ванне.

Количество тепла, выделяемого в контакте электрод-шлак, зависит от заглубления электрода в шлак. При малом заглублении (0,6 м) до 50%. Остальная часть электроэнергии преобразуется в тепловую в самом шлаке вследствие наличия у него электросопротивления. Токопроводящей частью ванны является около электродная зона, находящаяся от оси печи на расстоянии двух диаметров электрода, причем 90% токовых линий проходит от оси электродов на расстоянии одного диаметра. Общая зона активных тепловыделений составляет 30–40% от полного объема ванны печи. Участки шлаковой ванны, удаленные от оси электродов более чем на два диаметра, в токопроводе не участвуют и не имеют собственных выделений. Они обогреваются за счет теплообмена в ванне печи, который происходит в результате конвекционного движения шлака, переносящего тепловую энергию из горячих зон в более холодные.

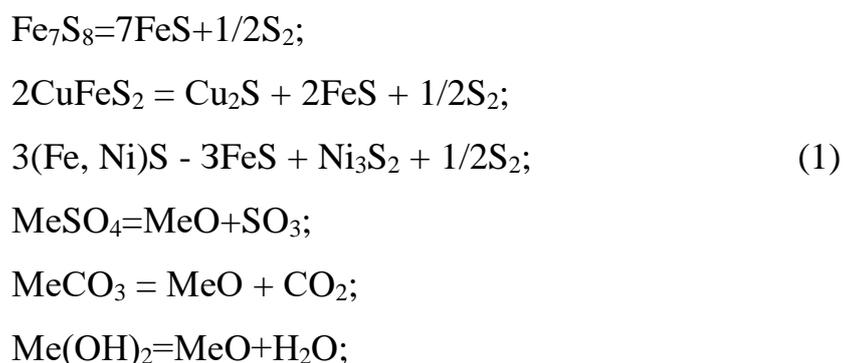
Тепловое поле печи так же, как и электрическое, определяет величина заглубления электрода. С увеличением заглубления электрода происходит перемещение вглубь ванны зон, отвечающих наиболее активному выделению энергии. Верхние слои шлаковой ванны имеют наибольшую температуру, примерно равную температуре жидкотекучести шлака (1350–1450 °С). Верхняя зона практически является изотермической вследствие интенсивного конвекционного теплообмена. Нижний слой шлаковой ванны характеризуется

значительным перепадом температур в вертикальном направлении, поэтому температура шлака на границе со штейном снижается до 1200–1250 °С [3].

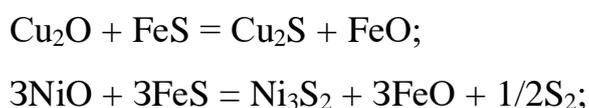
Тепловое поле печи так же, как и электрическое, определяет величина заглубления электрода. С увеличением заглубления электрода происходит перемещение вглубь ванны зон, отвечающих наиболее активному выделению энергии. Верхние слои шлаковой ванны имеют наибольшую температуру, примерно равную температуре жидкотекучести шлака (1350–1450 °С). Верхняя зона практически является изотермической вследствие интенсивного конвекционного теплообмена. Нижний слой шлаковой ванны характеризуется значительным перепадом температур в вертикальном направлении, поэтому температура шлака на границе со штейном снижается до 1200–1250 °С.

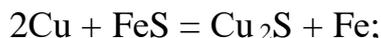
Компоненты шихты рудной электроплавки состоят из следующих сульфидных минералов: халькопирита, пентландита, пирротина, и химических соединений: Cu₂S, NiO, CoO, CoS, FeS, FeO, Fe₂O₃, SiO₂, MgO, CaO и прочих

Физико-химические превращения шихтовых материалов и образование продуктов плавки происходит в основном в ванне печи на поверхности шихты, погруженной в шлак. Перегретый шлак, соприкасаясь с поверхностью шихты, отдает ей избыток своего тепла и нагревает шихту до температуры плавления штейна и шлака. При нагревании шихты до 1000 °С в ней протекают процессы термического разложения сложных сульфидов, сульфатов, карбонатов и гидратов:



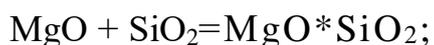
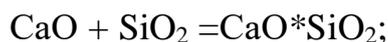
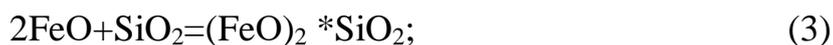
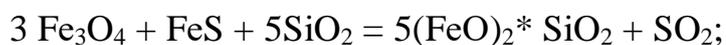
В результате термического разложения состав шихты упрощается - образуются более простые и устойчивые соединения. При повышении температуры шихты до 1000–1300 °С получают активное развитие процессы взаимодействия между различными химическими соединениями, наиболее важными из которых являются реакции между сульфидами и оксидами. Сульфиды никеля, кобальта, меди, железа расплавляются и, взаимно растворяясь, образуют основной продукт электроплавки - штейн, в котором также растворяются благородные металлы. Реакции штейнообразования можно представить следующим образом:





В результате этих реакций образуется смесь жидких компонентов штейна: Ni₃S₂, Cu₂S, CoS, FeS, Fe₃O₄, Cu, благородные металлы

В результате взаимодействия SiO₂ с окисленным железом и другими основными оксидами (CaO, MgO) образуются силикаты типа mMeOnSiO₂, которые, смешиваясь в расплавленном состоянии, образуют другой продукт электроплавки - шлак. Ниже приведены основные реакции шлакообразования:



В результате этих реакций образуется смесь компонентов шлака: (FeO)₂SiO₂, CaOSiO₂, MgOSiO₂. Расплавленная смесь штейна и шлака разделяется в ванне печи по плотности.

В ходе плавки, кроме жидких продуктов плавки, образуются и газообразные, основная масса которых всплывает на поверхность ванны и поступает в пространство печи; другая часть растворяется в шлаке, чем и объясняется большая его нагазованность. Вместе с отходящими газами из печи выносятся и пыль. Запыленность отходящих газов зависит от гранулометрического состава шихты, качества шихтоподготовки, разрежения в газодной системе. При электроплавке вынос пыли составляет примерно 0,5–2 % от массы загружаемого материала. Уловленная пыль возвращается в электроплавку.

1.2 Краткое описание руднотермической печи

Электропечи типа РПЗ-33-ШНО₂, установленные на Жезказганском медном заводе - трехфазные, шестиэлектродные, прямоугольные, площадью 168 м².

Внутренняя футеровка периметральных линий шлаковой зоны печи выполнена из высокоплотных магнезитовых огнеупорных материалов, стенки

канала - из блокированного кирпича, наружная - из шамотного кирпича. Для увеличения срока службы футеровки печи на стене на высоте шлаковой полосы размещают латунные водоохлаждаемые кессоны (холодильники) со стальными змеевиками.

Купол печи футерован шамотным кирпичом. Отверстия под электроды, каналы засыпки ограждающего шлака выполнены из жаропрочного бетона. Огнеупорная часть стенки печи выполнена из одного слоя магнезитового кирпича, двух слоев магнезито-хромитового кирпича и построена на бетонной подушке. Подушка печи охлаждается, для чего в бетонной подушке предусмотрены воздухопроводы от вентилятора. Все облицовки электрической духовки закрыты стальным каркасом.

Торцевая стенка печи, обращенная к оболочке, имеет 4-х дырочное приспособление для удаления мата. На противоположной стороне находится 3-х дырочное устройство для извлечения шлака.

Плавка шихты осуществляется за счет тепла, выделяемого из резервов электроэнергии, поступающей от трех однофазных трансформаторов ЭОНН-25000/35 мощностью 16667 кВт, расположенных каждый в трансформаторном отделении. Питание от трансформатора к электродам подается через пакет медных трубок, называемых водоохлаждаемыми короткозамыкателями, и далее по токопроводящим трубкам, соединенным с гибкими медными петлями и контактными поверхностями электродов.

Короткая линия, контактная поверхность и подвижные титановые уплотнения электродов работают в условиях высоких температур и подключаются к отдельной системе циркуляции умягченной воды, чем другие водоохлаждаемые элементы промышленных водоохлаждаемых печей.

Все шесть электродов работают попарно в электрической цепи 1-2, 3-4, 5-6 электродов однофазного трансформатора 1, 2, 3 соответственно.

Каждый трансформатор имеет 23 ступени перегрева электродов. Происходит резкий сброс электродов от насосно-аккумуляторной станции, который осуществляется с помощью электрогидравлического регулятора. Для увеличения количества обжигаемых электродов предусмотрена секция электродов и загрузка на нее электродной массы [3].

Штейн удаляется из печи лотком через одно из 4-х отверстий в печи объемом 8 м³, установленной в пролете конвертера, и транспортируется к конвертерам мостовыми кранами. Отверстия штейна вскрываются либо кислородным обжигом, либо струйной обработкой специальным отбойным молотком после небольшого перерыва не более 10-15 минут при удалении штейна. Отверстия в штейнах закрывают глиняной пробкой с помощью пневматической иглы. Производство штейна зависит от потребности конвертеров и его размера в печи. При размере штейна печи 800 мм ванну штейна считают аварийной и принимают меры по предотвращению вытекания штейна из печи. Шлак перемещается из печи по стальному водоохлаждаемому лотку через одно из трех отверстий в шлаковую емкость объемом 16,5 м³, а пустая порода вывозится железнодорожным локомотивом. Шлаковые отверстия

разрушаются с помощью кислородоподобных штейновых отверстий. Заделывает отверстия для шлака, вставляя стальной бреккер, как в случае. Утилизацию отработанного шлака проводят периодически в зависимости от его накопления в печи и количества шлака в печи. Когда печь заполнена, ее с помощью электромеханического устройства проворачивают и шлак высыпает в отвал.

Газы поступают из отверстия в своде печи в пылевую камеру (левую и правую) на отдельной подвижной колонне, из которой направляются в циклоп и далее в скоростной газгольдер с двумя выхлопами емкостью 40 тыс. м³/ч. Затем газы направляются в аккумулятор. Там он смешивается с конверторными газами и через соединительный коллектор поступает в коллектор грязных газов. Оттуда направляется на очистку в сухие электрофильтры и далее на производство серной кислоты. Доля диоксида серы в технологических газах составляет от 0,5% до 2,5%.

Преимущества электроплавки в агрегате по сравнению с другими способами производства в основном обусловлены использованием электроэнергии для нагрева сырья, в частности:

- возможность концентрировать малое количество энергии, а значит, получать высокую температуру, которую невозможно достичь никаким другим способом;
- возможность распределять необходимое количество тепла в малом количестве, что позволяет нагревать большие массы материалов с большой точностью и равномерностью;
- возможность работы в вакууме или в защитной атмосфере;
- Простота управления распределением тепловой энергии, что позволяет регулировать и автоматизировать процесс;
- Простота сборки полностью автоматизированных узлов; улучшение условий труда обслуживающего персонала.

Электрические плавильные печи – это все установки для плавки сырья с использованием электролиза.

1.3 Существующие принципы построения автоматических систем управления руднотермическими печами

Основой технологии электроплавки сульфидных руд и концентратов является быстрое расплавление шихты на максимальном для данного оборудования уровне мощности и достижение минимального удельного расхода электроэнергии. Для успешного решения задачи управления работой печи необходимо создание системы управления, учитывающей динамику процесса. Система управления должна изменять электрический режим в соответствии с технологическими требованиями, предъявляемыми к процессу [6].

Стабильность работы РТП обусловлена поддержанием заданного распределения энергии в ванне печи. Его изменение вызывает изменение электрических и технологических параметров технологического процесса. Это

предполагает возможность оценки технологических параметров по распределению энергии в ванне печи и оценки распределения энергии, в свою очередь, по электрическим параметрам. Однако управление РТП осложняется тем, что большинство параметров процесса взаимосвязаны между собой, и случайное изменение одного параметра технологического процесса может повлечь за собой изменение других. Сложные взаимосвязи технологических параметров (состав шихты, масса загрузки, состав расплава) с электрическими (напряжение, сила тока, сопротивление расплава), значительная часть которых исследована еще недостаточно, являются характерной особенностью руднотермических печей. Даже зная о взаимосвязи параметра, который мы хотели бы контролировать (но значение которого по некоторым объективным причинам мы измерить прямо не можем), с некоторыми другими (значения которых легко оценить), мы в большинстве случаев из-за недостаточной изученности их взаимосвязей не можем даже приблизительно оценить значение искомого параметра.

Связь электрических и технологических параметров не всегда носит явный характер. Это, прежде всего, объясняется тем, что преобразование электрической энергии в тепловую происходит в материалах, находящихся в разных агрегатных состояниях. Выделение тепла при прохождении тока через твердый шихтовой материал сопровождается относительно равномерным нагревом этого материала; выделение энергии в электрической дуге происходит в небольшом по сравнению с самой ванной объеме, и температура в зоне горения дуги значительно превосходит среднюю температуру в ванне - до 3000°С [27]. Количественное определение изменения распределения энергии в РТП является исключительно сложной задачей, не имеющей до настоящего времени достаточно простого и надежного решения. Однако предполагается возможность оценки распределения энергии в печи и протекания физико-химических процессов в ней на основе явлений, сопровождающих прохождение тока через твердую шихту, дугу и расплав. В различные периоды плавки в зависимости от количества расплава и не проплавленного концентрата в электропечи изменяется сопротивление ванны, и, следовательно, распределение энергии и режим горения дуги. Наблюдаемые при работе печи колебания мощности и тока объясняются нестабильным горением дуги. Определение степени развития дуги по гармоническому составу тока и напряжения на электродах позволит оценить распределение энергии между дугой, шихтой и расплавом и, следовательно, характер физико-химических процессов в ванне печи, что, в свою очередь, позволит правильно определять моменты окончания стадий плавки. Как уже отмечалось, РТП характеризуется ограниченной наблюдаемостью (моменты слива и доводки продукта на многих производствах до сих пор определяются визуально на основании штанговых проб), недостаточной изученностью и потенциальной опасностью. Все это создает препятствия для разработки эффективных систем управления [5]. Из-за агрессивности среды и высоких температур нет возможности использования многих необходимых датчиков для прямого непрерывного измерения параметров, а также определения характера

процессов, протекающих в руднотермической печи. Поэтому управление процессом плавки сульфидных медно-никелевых руд ведется в условиях неполноты информации, причем часть данных может быть оценена только качественно. Большие сложности при управлении печью вносит и то, что процесс управления идет в условиях неопределенности, т. е. зачастую нет даже возможности получения вероятностных характеристик тех или иных случайных явлений[1].

К таким явлениям можно отнести: свод образование и обвал сводов; залипание и сколы электродов; распределение токовой нагрузки по шихте; скачки питающего напряжения и т. п., что является причиной возникновения возмущений высокого уровня. Построение эффективных систем управления подобными объектами возможно при использовании компьютерных технологий обработки получаемой информации на основе статистических оценок ее достоверности, а также накопления опыта управления такими объектами. Для решения этой задачи необходимо предварительное накопление опыта квалифицированных операторов по множеству плавок с различным составом сырья, разным характером загрузки шихты, разным уровнем расплава в ванне печи.

В данное время уровень автоматизации РТП не соответствует современным требованиям и ограничивается централизованным сбором доступной для контроля технологической информации и регулированием электрических режимов. Внедрение РСКУ в практику управления печами сдерживается целым рядом проблем, среди которых, прежде всего, следует отметить недоступность для прямого текущего контроля технологического состояния процесса плавки в закрытой печи (герметичной ванне), как следствие, неразрывной взаимосвязи одновременно протекающих, существенно разно инерционных электроэнергетических (ЭЭП) и химико-металлургических процессов (ХМП) в ванне печи, обусловленную принципом прямого нагрева. Отсутствует алгоритмическое обеспечение процессов управления РТП в реальном времени и методология его разработки, ориентированная на архитектуру и вычислительные возможности РСКУ.

Принцип прямого нагрева, как отмечают многие исследователи (А.С. Микулинский, В. А. Ершов и др.), приводит к опосредованному влиянию управляющих воздействий на технико-экономические показатели (ТЭП) работы РТП. Прежде всего, они влияют на электроэнергетические процессы, а химико-металлургические процессы протекают в соответствии с условиями, которые устанавливаются в ванне в результате сложного взаимодействия процессов, выделяющих и потребляющих энергию. В то же время химико-металлургические процессы изменяют свойства среды протекания электрического тока, и как следствие, изменяется электроэнергетический режим плавки. Отмечено, что условия совместного протекания ЭЭП и ХМП характеризуются набором внутренних переменных, недоступных для прямого контроля в реальном времени, поскольку высокие температуры и агрессивная среда в зоне реакций, переход промышленности к закрытым и

герметизированным печам затрудняют непосредственный отбор информации о технологическом состоянии ванны печи (ТСВ). Контроль фактически ведется по целому набору косвенных показателей, не входящих непосредственно в целевой критерий, но позволяющих получить полезную информацию о ТСВ [13].

Попытки найти косвенные показатели, однозначно характеризующие переменные ТСВ, как правило, не приводят к желаемым результатам и требуется совместная обработка информации, получаемой с различных измерительных устройств, с учетом ошибок измерений, динамики процессов в каналах управления и т.д. Более полное извлечение информации из косвенных показателей возможно лишь с помощью интеллектуальных датчиков (идентификаторов ТСВ), в основе которых лежат математические модели, связывающие входные воздействия на печь со скрытым для прямых измерений внутренними переменными и наблюдаемыми на ее выходе косвенными показателями.

Для успешного выполнения поставленных технико-экономических задач необходимо решить ряд научных и инженерных проблем, к которым, в первую очередь, следует отнести: разработку новых, более прогрессивных процессов плавки (окускование руд, предварительный нагрев и частичное восстановление шихты); комплексную механизацию технологических процессов и операций; комплексную автоматизацию процесса с применением ЭВМ. Значительное энергопотребление и расход материальных природных ресурсов в процессе получения готового продукта определяют значимость решения проблемы автоматизации печей как средства улучшения их техника экономических показателей. Это может быть достигнуто, в частности, за счет автоматизации повторяющихся операций по управлению печами.

Как уже отмечалось, для руднотермических печей характерна тесная взаимосвязь технологических и электрических параметров, наличие большого числа прямых и обратных связей, значительная часть которых не поддается в настоящее время точному учету. Примерами электрических параметров, по значению и характеру изменения которых оценивают технологические параметры, могут быть гармонический состав токов и напряжений на электродах, электромагнитное излучение, сопровождающее горение дуги, напряжение печного трансформатора, мощность печи и т. п.

Электросопротивление рудных материалов очень велико. Однако, наличие в шихте электропроводного восстановителя - кокса снижает общее сопротивление ванны и в результате возможна работа печи в режиме прямого нагрева. В то же время в силу различных причин при работе печи возможно развитие электрической дуги, играющей в работе руднотермической печи далеко неоднозначному характеру.

Наличие высоких температур в области горения дуги не только повышает скорость восстановительных реакций, но и способствует развитию нежелательных побочных процессов, в том числе диссоциации целевых продуктов, процессов пылеобразования, когда к частицам шихты, механически увлекаемым газами, покидающими печь, прибавляются конденсаты паров

элементов шихты и их оксидов. Конденсируясь в верхних горизонтах ванны печи, пары, образующиеся в области горения дуги, способствуют спеканию шихты, ухудшают ее газопроницаемость. Это ведет к тому, что на колошнике образуются так называемые «свищи», когда газы из печи выходят по отдельным каналам, а не по всему сечению ванны. Температура отходящих газов при этом повышается, что приводит к росту температуры под сводом или на колошнике и росту тепловых потерь с отходящими газами. Поэтому, выбирая в качестве параметра регулирования работы печи силу тока или напряжение, меняя те или иные технологические параметры, необходимо учитывать не только электротехнические и технологические возможности печи, но и обязательно возможные теплофизические и химические последствия возможного возникновения электрической дуги. Отсюда следует, что главным требованием, предъявляемым к руднотермическим печам, является трансформация электрической энергии в тепловую с наибольшим технологическим эффектом, при чем эта энергия определенным образом должна распределяться не только в объеме печи, но и между электрической дугой и сопротивлением компонентов, заполняющих ванну печи.

Управление работой электропечи заключается в изменении напряжения путем переключения ступеней печного трансформатора; в изменении тока при неизменном вторичном напряжении за счет перемещения электродов; в корректирующей загрузке компонентов шихты. И хотя существует специальная технологическая карта ведения плавки, различия в мастерстве и опыте обслуживающего персонала нередко приводят к тем или иным колебаниям характеристик плавки (расход электроэнергии, длительность процесса плавки, показатели качества и т.д.). Управление работой печи весьма сложный процесс. Необходимо поддерживать с высокой точностью на заданном уровне не только мощность, выделяющуюся в печи, но и определенное соотношение ее составляющих, т.е. распределение этой мощности в дуге, шихте и расплаве.

Обзор публикаций, посвященных автоматическим системам управления РТП, показал, что вплоть до конца 80-х гг. в различных институтах и лабораториях проводились опыты и исследования, направленные на получение более глубоких теоретических знаний о специфике этого процесса с целью его совершенствования. Высокая температура, агрессивная среда и затрудненность доступа к реакционному пространству в большой степени препятствуют исследованию работы электрических печей традиционными методами. Поэтому в последнее время все шире разрабатываются и применяются косвенные методы контроля, основанные на использовании явлений, сопровождающих протекание основного технологического процесса [10].

Электрический режим характеризуется высоким напряжением, достигающим 800 В. При выборе оптимального электрического режима следует иметь в виду, что лучшие результаты достигаются на более высоких напряжениях, т. е. при меньшем заглублении электродов. Однако уменьшать заглубление возможно до определенного предела во избежание дугового режима.

Процессом плавления в печи управляет оператор, одной из задач которого и является поддержание текущего равномерного распределения нагрузки между фазами. При этом оператору необходимо контролировать показания, как минимум, шести приборов и реализовывать управляющие воздействия. В работе разработан новый подход к решению проблем автоматизации на основе объектно-ориентированного анализа электрических величин и параметров состояния фаз и зон рабочего пространства.

2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Описание руднотермической печи для переработки сульфидного медно-никелевого сырья как объекта управления

Технологический процесс получения штейна относится к сложным объектам управления. Он характеризуется большим количеством физико-химических процессов и электроэнергетических зависимостей, а также большим разнообразием их взаимосвязей [4].

Физико-химические процессы и взаимодействия, протекающие в ванне печи, не поддаются непосредственному контролю, поэтому у оператора нет полной информации об их параметрах и текущем состоянии. Активное сопротивление шихты и расплава в ванне, уровень самой ванны (возможно только дискретное измерение), высота откосов шихты, уровень развития электрической дуги между электродами, содержание компонентов в расплаве до момента выпуска невозможно непосредственно измерить в ходе технологического процесса из-за труднодоступности реакционного пространства печи [2]. Характер изменения этих параметров остается неопределенным. Математическая модель процесса выплавки штейна позволяет оператору получить недостающую информацию о параметрах процесса.

Построение математической модели основано на формализации описания объекта моделирования. При этом аналитический аспект моделирования заключен в описании объекта на математическом языке в виде некоторой системы уравнений и функциональных соотношений между отдельными параметрами модели. Процесс моделирования сводится к установлению вида математической зависимости между указанными параметрами:

$$Y = (X, U). \quad (4)$$

Здесь,

- Y - вектор выходных параметров процесса,
- X - вектор входных параметров процесса,
- U - вектор возмущающих воздействий.

Уравнение (4) представляет собой формализованное представление математической модели, в общем виде описывающей состояние процесса. К входным параметрам X относятся:

- физико-химические составы металлосодержащей шихты, конвертерного шлака, флюса, восстановителя;
- расходы шихты, конвертерного шлака, флюса, восстановителя;
- максимальная электрическая мощность печной установки;
- напряжение питания;
- номинальное индуктивное сопротивление ванны;
- активное и реактивное сопротивление короткой сети.

Значения этих параметров могут быть измерены, но они не зависят от режима процесса, и возможность воздействия на них отсутствует.

Выходные параметры можно разделить на два типа: параметры, значения которых могут быть измерены, и параметры, значения которых рассчитываются по разработанной математической модели.

К группе выходных параметров Y , значения которых могут быть измерены, относятся:

- сила тока, проходящая через электроды;
- общий расход электроэнергии;
- напряжение на выводах трансформатора;
- относительное содержание в токе электродов гармонических составляющих с частотами 100 и 150 Гц;
- мощность, потребляемая из сети;
- величина постоянной составляющей фазного напряжения;
- высота посадки электродов.

К группе выходных параметров Y , рассчитанных по модели, относятся:

- количество и состав штейна, отвального шлака, пыли, отходящих печных газов;
- удельный расход электроэнергии;
- полезная электрическая мощность на электродах;
- активное сопротивление шихты и расплава в ванне;
- производительность печи.

К вектору возмущающих воздействий U относятся:

- случайные колебания химического и гранулометрического состава шихты;
- скачки напряжения в питающей сети трансформатора печной установки;
- ухудшение газопроницаемости шихты в результате ее спекания;
- зависания шихты;
- обвал откосов шихты;
- повреждения электродов (например, в результате неправильного температурного режима коксования электродов или слишком быстрого разогрева печи после простоя).

Эти факторы пока неуправляемы. Однако в результате этих воздействий появляются колебания сопротивления подэлектродной зоны, изменяется характер распределения энергии в подэлектродном пространстве, в результате чего, либо развивается дуга, либо ухудшаются условия протекания целевых реакций. Это приводит к снижению производительности печной установки в целом.

Пока контроль и регулирование процесса основываются на интуитивном, преимущественно качественном восприятии обслуживающим персоналом характеристик состояния печи [10].

Таким образом, задача управления процессом сводится к регулированию технологических параметров (постоянной составляющей фазного напряжения, сопротивление расплава, уровень расплава) посредством оперативного изменения состава и массы загружаемой шихты и изменения электрических параметров

печной установки (тока и напряжения на электродах). Поддержание заданного распределения энергии на протяжении плавки обуславливает качество получаемого продукта.

2.2 Энергетический баланс электроплавки медных концентратов

В руднотермической печи переработки сульфидных медно-никелевых руд происходит нагрев и плавление шихтовых материалов, идут химические реакции с затратами электроэнергии и выделением тепла, часть энергии теряется в окружающую среду, поэтому для определения удельного расхода электроэнергии необходимо составить энергетический баланс [1]. Исходными данными являются результаты расчета материального баланса, состава сырья и продуктов плавки, а также термодинамические характеристики веществ [3]. В алгоритме расчета теплового баланса плавки используются следующие исходные данные на основе материального баланса, т/сутки [4]:

- $M_{\frac{м}{с}}$ - проплав металлосодержащего сырья в РТП;
- $M_{\text{флюс}}$ - переработка в печах кварцевого песка;
- $M_{\text{восст}}$ - переработка в печах восстановителя;
- $M_{\text{конв.шлак}}$ - переработка в печах конверторного шлака;
- $M_{\text{шт}}$ - выход штейна;
- $M_{\text{отв.шлак}}$ - Выход отвального шлака;
- $M_{\text{отв.газ}}$ - количество серы в газах РТП.

Удельный расход электроэнергии определяется по формуле:

$$W_{\text{эл}} = \frac{1,1 * (Q_{\text{расх}} - Q_{\text{прих}})}{860 * P_p} \quad (5)$$

- Где, $Q_{\text{прих}}$ - статьи прихода тепла в тепловом балансе, ккал/сутки;
- $Q_{\text{расх}}$ - статьи расхода тепла в тепловом балансе, ккал/сутки;
- 1,1 - коэффициент, учитывающий потери в электросетях;
- 860 - коэффициент перевода (ккал в кВт час);
- P_p - суточный проплав металлосодержащего сырья (вл. вес), тонн.

Расчет статей прихода тепла:

1) Физическое тепло твердой шихты:

$$Q_{\text{шихт}} = 1000 * (M_{\frac{м}{с}} + M_{\text{флюс}} + M_{\text{восст}}) * c_{\text{шихт}} * t_{\text{шихт}} \quad (6)$$

- Где, $c_{\text{шихт}}$ - теплоемкость шихты, 0,18 ккал/кг *°С;
- $t_{\text{шихт}}$ - среднегодовая температура шихты, 10 °С

2) Физическое тепло подсосов воздуха.

Существующая технология электроплавки и эксплуатации руднотермической печи обеспечивает подсос воздуха в соотношении 95% от объема отходящих газов.

$$Q_{\text{шихт}} = V_{\text{возд}} * c_{\text{возд}} * t_{\text{возд}} \quad (7)$$

Где, $V_{\text{возд}}$ - объем подсосов, нм³ /сутки;
 $c_{\text{возд}}$ - теплоемкость воздуха, 0,3 ккал/нм³ * °С;
 $t_{\text{возд}}$ - температура воздуха, 10 °С.

Расчет статей расхода тепла:

1) Физическое тепло штейна.

$$Q_{\text{шт}} = 1000 * M_{\text{шт}} * c_{\text{шт}} * t_{\text{шт}} \quad (8)$$

Где, $c_{\text{шт}}$ - теплоемкость штейна, 0,18 ккал/кг * °С;
 $t_{\text{шт}}$ - температура штейна, 1150 °С.

2) Физическое тепло отвального шлака.

$$Q_{\text{отв.шлак}} = 1000 * M_{\text{отв.шлак}} * c_{\text{отв.шлак}} * t_{\text{отв.шлак}} \quad (9)$$

Где, $c_{\text{отв.шлак}}$ - теплоемкость отвального шлака, 0,28 ккал/кг * °С;
 $t_{\text{отв.шлак}}$ - температура отвального шлака, 1370 °С.

Уравнения энергетического баланса позволяют провести вычисление о больших затратах электроэнергии на проплав и удельных затрат на 1 тонну выплавляемого штейна.

2.3 Алгоритм расчета математической модели

Структура математической модели процесса электроплавки сульфидного медно-никелевого сырья включает в себя следующие блоки расчета: - материального баланса - энергетического баланса - активного сопротивления расплава - моментов начала и окончания перепуска электродов. Результаты расчета в каждом из блоков используются для разработки структуры системы управления. На основании предложенной структуры математической модели процесса получения медно-никелевого штейна разработан алгоритм ее решения. Блок-схема алгоритма представлена [11].

Блок расчета материального баланса. Для определения материальных

потоков по предлагаемой модели в качестве задания на расчет вводятся следующие данные:

- количества (т) и составы (%) шихтовых металлосодержащих материалов;
- содержание серы в отвальном шлаке (%);
- содержание диоксида кремния в отвальном шлаке (%);
- удельный расход восстановителя на т проплава (кг/т);
- содержание углерода в восстановителе (%);
- потери цветных металлов (неучтенные) (%);

В результате расчета материального баланса на выходе получаются следующие данные:

- количества (т) и составы (%) продуктов электроплавки
- штейна и отвального шлака;
- количества серы (т) в газах;
- количество (нм) и состав (об. %) отходящих газов;
- извлечение цветных металлов в штейн (%);
- степень десульфуризации (%);
- расход флюса(т) и удельный расход на тонну проплава (кг/т);
- потери металлов (т).

Блок расчета энергетического баланса. Для выполнения тепловых расчетов РТП следует ввести в качестве исходных данных температуры продуктов плавки.

Необходимым условием использования математической модели объекта при решении задач управления является ее адекватность реальному объекту, т. е. требуется, чтобы модель отражала заданные свойства объекта с погрешностью, не выше допустимой.

Результаты расчетов в каждом из перечисленных блоков используются системой управления.

Таблица 1 – Температуры продуктов плавки

№	Продукт	Температура, °С
1.	Шлак отвальный	1300–1400
2.	Штейн	1150–1250
3.	Газы(реакционные)	1200–1250
4.	Газы(отходящие)	200–400
5.	Шлак конвертерный	1200–1250

Исходными данными для расчета энергии являются данные материального баланса. По результатам теплового расчета определяются:

- расход электроэнергии на проплав (кВт-час) и удельный расход электроэнергии (кВт-час/т);
- рабочая мощность одной печи (МВт).

2.4 Постановка задач для системы управления

Проблема автоматизации контроля и управления электротехнологическими процессами в многоэлектродных руднотермических печах непосредственно связана с разработкой программно-технических средств, реализующих разработанные алгоритмы идентификации внутренних электротехнологических параметров, недоступных для непосредственного контроля зон токопроводящей среды ванны в процессе нормальной эксплуатации [12]. В ходе технологического процесса требуется получение информации о характере изменения электротехнологических параметров, анализ выделения мощности в характерных зонах ванны печи, недоступных для измерения, определение рациональных режимов плавки.

При постановке задачи необходимо учитывать, что наилучшие показатели технологического процесса могут быть достигнуты при соблюдении следующих требований:

1. Оптимальный электрический режим работы электропечи.
2. Поддержание в печи необходимой высоты шлакового и штейнового слоев.
3. Своевременная загрузка в печь шихты.
4. Своевременный выпуск расплавленных продуктов плавки.

Электрический режим работы печи характеризуется следующими параметрами: рабочей мощностью, напряжением и силой тока. Электрический режим, при котором достигается максимальная производительность печи при минимальном расходе электроэнергии на тонну проплавляемой шихты, называется оптимальным.

Величина электрической мощности, вводимой в печь, выбирается исходя из задания по проплаву шихты на данный промежуток времени, состава шихты (плавкости и электропроводности шлака), характеристики печных трансформаторов, технического состояния печи.

Напряжение - самый ответственный параметр электрического режима. При прочих равных условиях величина напряжения определяет заглубление электрода в расплав.

Обозначим количество тепловой энергии, выделяющейся в электрической дуге или в контакте электрод-шлак, буквой «р», а буквой - «q», - тепло, выделяющееся при прохождении тока непосредственно через расплав (шлак). При электроплавке шихты выбор соотношения «р» и «q», зависит от глубины погружения обратного конуса (откоса) шихты в шлаковую ванну, которая определяется насыпной массой шихты, плотностью шлака и высотой откоса над уровнем зеркала ванны.

Плавку кусковой руды с большой насыпной массой ($\sim 2,8 \text{ т/м}^3$) ведут, создавая на поверхности шлаковой ванны откосы шихты, погруженные в шлаковый расплав на глубину 1300–1500 мм. В этом случае для интенсивного плавления шихты требуется установить электрический режим, который обеспечил бы необходимый подвод тепла к глубоко погруженным в шлак откосам

шихты и создал бы условия для надлежащего перегрева шлака, т. е. «q», должно быть значительно больше «р».

Необходимое соотношение «р» и «q» достигается за счет изменения глубин погружения электродов в шлаковый расплав. При погружении электродов в шлак снижается мощность, выделяемая в контакте электрод-шлак (р) и увеличивается доля мощности, выделяемой в шлак «q». Наоборот, при уменьшении заглубления электрода в расплав увеличивается «р» и снижается

Величина погружения электрода в шлаковую ванну зависит от рабочего напряжения, силы тока, электропроводности шлакового расплава и диаметра электрода.

Рабочее напряжение и сила тока определяются параметрами печного трансформатора, электропроводность шлака - его химическим составом и температурой.

При постоянных выбираемой мощности, электропроводности шлака, силе тока и диаметра электрода увеличение рабочего напряжения вызовет (согласно закону Ома) уменьшение погружения электродов в шлаковый расплав. И, наоборот, при постоянной мощности снижение рабочего напряжения сопровождается ростом силы тока, для чего необходимо заглубить электрод в расплав.

При прочих равных условиях увеличение электропроводности вызывает уменьшение погружения электрода в расплав, а снижение электропроводности - увеличение погружения электрода в расплав.

Следует указать, что излишнее заглубление электродов может вызвать перегрев штейна и охлаждение верхнего слоя расплава. Недостаточное заглубление может вызвать дуговой режим плавки и перегрев верхнего слоя шлакового расплава. Поэтому электрический режим плавки и высота шлакового слоя в печи должны обеспечить такое распределение в печи мощностей «р» и «q» при котором достигаются оптимальные показатели плавки.

Оптимизация работы печи достигается:

- поддержанием баланса между загрузкой шихты и выпуском продуктов плавки, что осуществляется постоянством уровня ванны;
- изменением заглубления электродов и высоты шлакового слоя в зависимости от свойств шлака (его электро- и теплопроводности).

Система загрузки электропечи шихтой должна обеспечивать: максимальный проплав шихты при экономичном расходе электроэнергии, минимальные потери металлов с отвальным шлаком, безопасные условия работы.

Количество шихты, загружаемой в печь в единицу времени, должно соответствовать ее плавильной способности (потребляемой мощности). При этом уровень поверхности расплавленной ванны должен оставаться в заданном пределе (2400–2700 мм), что достигается балансом масс загружаемой шихты и выпускаемых из печи продуктов плавки [9].

В связи с изложенным, задача системы управления сводится к поддержанию на оптимальном уровне критерия, который учитывает основные параметры, характеризующие процесс, а также к поддержанию в ходе управления процессом в реальном времени оптимального: электрического режима, длины рабочей

части электродов, уровня шлака и штейна в ванне.

2.5 Выбор критерия управления

При математической формулировке задачи оптимизации управления любым технологическим процессом важный этап - построение функционала, являющегося критерием эффективности и качества управления. Процесс электроплавки проходит в условиях неопределенности. Для условий неопределенности нет, и, по-видимому, не может быть достаточно хорошего критерия для соизмерения эффекта, получаемого при различных сочетаниях исходных данных [7].

Задача системы управления сводится к поддержанию на оптимальном уровне критерия, который учитывает основные параметры, характеризующие процесс, а также к поддержанию в ходе управления процессом в реальном времени оптимального: электрического режима, длины рабочей части электродов, уровня шлака и штейна в ванне.

Все эти параметры влияют на производительность печи, которая определяется по значениям расхода электроэнергии и активной мощности печи:

$$Q = \frac{P}{W} \quad (10)$$

Q- производительность печной установки, т/ч;

P - активная мощность печи (показания прибора на пульте управления), кВт

W- расход электроэнергии (показания счетчика), кВт-ч.

В качестве критерия управления процессом электроплавки медных концентратов предлагается использовать величину производительности печной установки при ограничении на величины сопротивления и уровня расплава. Снижение удельного расхода электроэнергии обеспечивается соблюдением оптимального режима процесса, т. е. стабилизацией степени развития дуги, сопротивления и уровня расплава. Степень развития дуги целесообразно определять по величине третьей гармонической составляющей тока и корректировать изменением электрического режима. Поддержание сопротивления расплава осуществляется перемещением электродов, т. е. изменением тока. Поддержание уровня расплава достигается за счет баланса загрузки шихты и выпуска продуктов плавки.

2.6 Влияние положения электродов на показатели работы печи.

Электроды – важнейшие элементы электрической духовки. Под ними имеется зона реакции, где распределяется основная часть электроэнергии и

образуется большая часть целевого продукта. Теоретически разумный метод выбора оптимального расположения концов электродов. Известно, что один и тот же целевой продукт может быть получен при разной глубине электродов. Позиции слишком высокие или нижние концы электродов приводят к снижению экономических показателей процесс. Их верхние положения достигаются при работе с открытой дугой. При этом фактическая стоимость редуктора и электроэнергии. По оценкам, она выше на 20-30 % [65], что связано с более активным горением в верхней части кокса и повышенными джоулевыми потерями тепла виде излучения, а также выхлопных газов. Также могут возникать побочные реакции, приводящие к образованию пыли в духовке. образуются газы и ухудшается качество получаемого продукта. Таким образом, негативное влияние подъема нижних концов электродов на показатели Работа блока печи легко объяснима. Гораздо сложнее достоверно оценить влияние нижнего положения кончиков электродов на работоспособность. процесс восстановления. Экспериментальные исследования показали, что температура расплава в ванне определяется его химическим составом и практически неопределенна потребляемая мощность, время между сливами, тип окислительно-восстановительного потенциала, гранулометрический состав и ряд других переменных [6]. Исходя из этого, мы можем предположить, что увеличение удельной объемной емкости за счет изменения глубины электрического тока. Электроды не должны отрицательно влиять на процесс. Однако расстояние между рабочими концами электродов и диммером уменьшается приводит к перегреву. Заглубление электродов обеспечивает заданную производительность печи. увеличение тока и уменьшение напряжения, что усложняет конструкцию источника тока [6], снижает коэффициент мощности и Самое главное, это увеличивает потери тепла при коротком замыкании. Например, в работающей печи потребляемая мощность при коротком замыкании составляет 3 %, после чего проплавление электродов эквивалентно удвоению тока. приводит к увеличению энергопотребления до 12%. Однако, это не так поэтому явно не рекомендуется работать на таком токе Реконструкция КЗ, если она экономически оправдана, позволяет снизить затраты на отопление.

Трудно экспериментально определить влияние расположения нижних концов электродов на выход целевого продукта, как и многие другие. переменные также влияют на производительность процесса. Результаты исследований, пытавшихся установить эту зависимость, опубликовано. Анализ рудоулавливающих печей видно, что зависимость между выходом целевого продукта одинаковой мощности и глубиной электродов имеет вид выпуклой кривой мягкий максимум. Поэтому движение в достаточно широких масштабах Нижние концы электродов при оптимальных условиях существенно не влияют на экономические показатели процесса [9].

При эксплуатации печного агрегата ставится задача ввести в ванну максимально возможное количество электроэнергии [7]. Однако для выплаты компенсации нарушение электрического режима изменяет глубину

расположения электродов, ограничивается конструкцией электрододержателя. Большинство рудно-термических печей имеют диапазон перемещения электрододержателя до 1 м, движение разрешено, если печь работает оптимально отношение тока к напряжению. При неправильном выборе этого соотношения производительность процесса будет ухудшаться. Многие современные печные трансформаторы имеет постоянный диапазон мощностей при номинальных значениях тока и напряжения на дне варьируются в широких пределах. Это позволяет работать на заданной мощности с разными электрическими параметрами и на разной глубине электродов соответственно.

Анализ научно-технической и патентной литературы показал, что с его помощью можно подобрать оптимальное соотношение тока и напряжения. анализ гармонических составляющих тока электроды [2].

2.7 Структура системы управления

Регулирование сопротивления ванны для достижения оптимального режима плавки осуществляется изменением тока путем перемещения электродов, а при достижении крайних положений электрододержателя изменением напряжения путем переключения ступеней трансформатора. На основании зависимости постоянной составляющей напряжения в печи от степени развития дуги предлагается способ определения моментов начала и окончания перепуска электродов.

Команда на перепуск электродов дается на основании значений постоянной составляющей фазного напряжения при минимальных и максимальных длинах рабочих концов электродов, Стабилизация уровня расплава в ванне на основе анализа постоянной составляющей фазного напряжения достигается балансом масс загружаемой шихты и выпускаемых из печи продуктов плавки. Определение момента переключения ступеней трансформатора осуществляется по величине третьей гармонической составляющей тока, протекающего через электроды, с учетом положения электродов держателя. В силу того, что постоянные времени переходных процессов, обусловленных указанными управляющими воздействиями, существенно различаются, необходимо учитывать определенные ограничения на частоту применения того или иного воздействия. Реализация управляющих воздействий на технологический процесс осуществляется с помощью приведенных ниже алгоритмов, отвечающих за соответствующий контур управления.

2.8 Алгоритм стабилизации тока

Данный контур формирования управляющих воздействий обеспечивает

заданную мощность, потребляемую печной установкой, при колебаниях химического состава сырья электрической мощности. Также этот контур позволяет поддерживать заданную степень развития электрической дуги в соответствии с гармоническим анализом состава тока, проходящего через электроды. Данный контур поддерживает по принципу обратной связи значения тока и напряжения путем перемещения электродов и переключения ступеней напряжения печного трансформатора, тем самым поддерживая необходимую заданную мощность. Соотношение величин тока и напряжения определяется исходя из анализа гармонического состава тока, проходящего через электроды, с целью исключения отрицательного влияния электрической дуги.

Величина электрической мощности, вводимой в печь, выбирается исходя из задания по проплаву шихты на данный промежуток времени, состава шихты (плавкости и электропроводности шлака), характеристики печных трансформаторов, технического состояния печи. Расчет необходимой мощности в киловаттах выполняется по формуле:

$$P = \frac{G \cdot \omega_{эл}}{24 \cdot \cos \varphi \cdot k_1 \cdot k_2} \quad (11)$$

Где, P - мощность печных трансформаторов, кВА;

G - суточная производительность печи, т;

$\omega_{эл}$ - удельный расход электроэнергии, кВт-ч/т;

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности (0,97-0,98);

k_1 - коэффициент использования мощности трансформаторов;

k_2 - коэффициент, учитывающий время работы печи под нагрузкой.

Величина удельного расхода электроэнергии $\omega_{эл}$ - выбирается исходя из рассчитанного значения с помощью математической модели.

Алгоритм работы данного контура приведен на рис. 4.3. Для поддержания мощности на заданном уровне при изменении сопротивления реакционного пространства ванны в рамках заданной ступени напряжения на трансформаторе изменяют положение электродов путем их перемещения для поддержания постоянного тока $I^{ном}$. Если при управлении процессом достигаются предельные значения перемещения электродов, то осуществляют переход на соответствующую (пониженную или повышенную) ступень печного трансформатора, а электроды устанавливаются в положение, соответствующее необходимому значению тока для заданной мощности.

При этом по принципу обратной связи осуществляется постоянный контроль над степенью развития электрической дуги по величине относительного содержания третьей гармонической составляющей тока электрода. Если при опускании электродов величина $(I_3 / I_9)^{сп}$ уменьшается и становится меньше заданного значения $(I_3 / I_9)^{зад}$, то напряжения повышается, а электроды поднимаются до уровня, при котором значение силы тока обеспечит требуемую мощность. Если при поднятии электродов величина $(I_3 / I_9)^{сп}$ превышает заданное значение, то снижается напряжение, а электроды опускаются до уровня, при

котором значение силы тока обеспечит требуемую мощность печи.

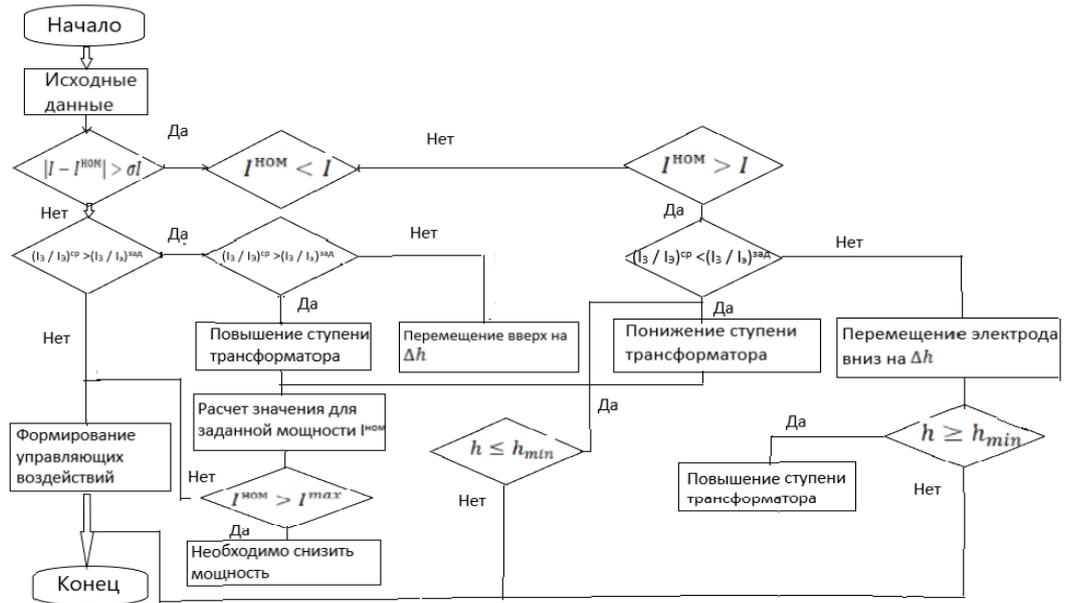


Рисунок 2 - Блок-схема алгоритма стабилизации тока.

Оптимальное значение $(I_3 / I_3)^{зад}$ находят, из требования минимального удельного расхода электроэнергии после анализа результатов плавки при разных вариантах переключения и исследования распределения.

2.9 Алгоритм стабилизации активного сопротивления

В блоке стабилизации сопротивления производится регулирование величины активного сопротивления расплава R_0 и устранение отклонения ΔR_0 от эталонного заданного значения $R_0^{эт}$. Блок-схема данного алгоритма представлена на рис. 3

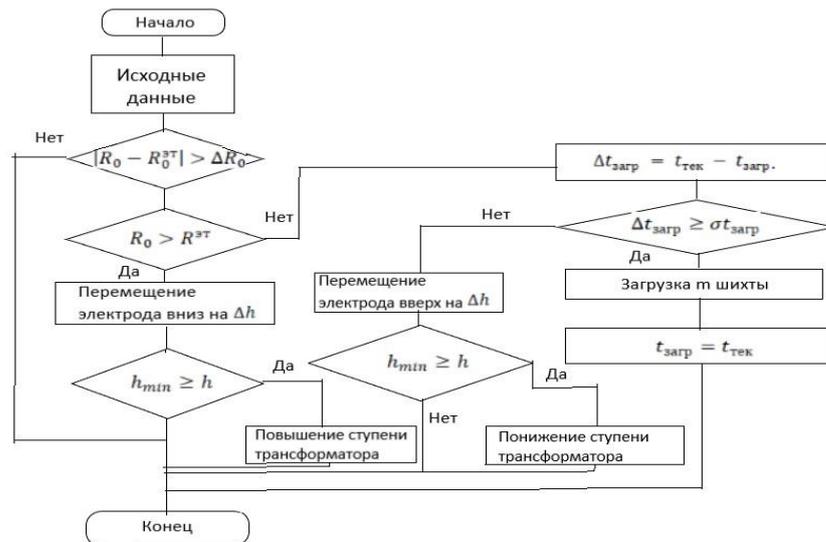


Рисунок 3 - Блок-схема алгоритма стабилизации активного сопротивления.

Поддержание активного сопротивления расплава в ванне на уровне, соответствующем заданному значению обеспечивается за счет перемещения электродов и переключения ступеней напряжения трансформатора. На величину активного сопротивления расплава значительное влияние оказывает наличие в печи электрической дуги, степень развития которой определяют на основании гармонического состава тока электродов. Отклонение текущего значения активного сопротивления от эталонного, полученного в результате анализа результатов плавки при разной производительности, определяется по формуле:

$$\Delta R_0 = R_0 - R_0^{\text{эТ}} \quad (12)$$

Если такое отклонение имеет место, то стабилизация электротехнологического режима осуществляется путем перемещения электродов. Шаг перемещения электрод держателей Δh выбирается исходя из показателя инерционности для каждой конкретной печи.

Если при управлении процессом достигаются предельные значения по перемещению электродов h_{\min} , то осуществляется переход на соответствующую (пониженную или повышенную) ступень трансформатора.

В данном алгоритме реализована возможность определения моментов корректирующих загрузок шихтовых материалов. Для наиболее быстрого проплавления шихты важно поддерживать максимально допустимую мощность печи и одновременно сдерживать степень развития дуги в заданных пределах. Поэтому очень важно точно определять моменты дозагрузки шихтовых материалов.

Для этого в случае отклонения значения активного сопротивления ниже эталонного рассчитывают время, прошедшее от последней загрузки до текущего момента времени $\Delta t_{\text{загр}} = t_{\text{тек}} - t_{\text{загр}}$. Если время, прошедшее от последнего

момента загрузки меньше минимально допустимого времени между двумя загрузками, то отклонение устраняют путем перемещения электрода вверх.

Иначе производится корректировочная загрузка шихты, и момент времени последней загрузки принимают равным текущему моменту.

Рассмотрим влияние относительного содержания в токе, проходящем через электроды, гармонических составляющих с частотой 100 и 150 Гц на сопротивление расплава в ванне.

2.10 Алгоритм управления перепуском электродов

На современных печах для производства штейна отсутствует возможность непосредственного измерения длин рабочих концов электродов. Для управления режимом перепуска электродов в данной диссертационной работе предлагается использовать постоянную составляющую фазного напряжения, что дает возможность определять время начала и окончания перепуска с большой точностью.

При нормальном устойчивом режиме работы печи перепуск обычно осуществляется через определенный промежуток времени ($t_{пе}$), поэтому следующую проверку постоянной составляющей фазного напряжения на необходимость начала перепуска электродов следует проводить тогда, когда текущее значение счетчика времени достигнет значения момента корректирующего значения на перепуск электродов ($t_{кор}$) равного:

$$t_{кор} = t_{пе} + t_{тек} \quad (13)$$

При этом необходимо следить затем, чтобы уровень электродной массы не опустился ниже минимального предела.

Алгоритм работы данного контура содержит следующие шаги. Сравнивается текущее значение счетчика времени со значением момента корректирующего значения на перепуск электродов. В случае если $t_{тек} > t_{кор}$, то команды на начало перепуска электродов не будет. Начало перепуска осуществляется каждый раз, когда величина постоянной составляющей фазного напряжения достигает рассчитанного значения, соответствующего минимальной длине рабочих концов электродов.

Далее определяется момент окончания перепуска по значению постоянной составляющей фазного напряжения при максимальной длине рабочих концов электродов. Система управления дает команду на окончание перепуска по достижении постоянной составляющей значения $U_{н.е.}^{min}$.

По окончании перепуска электрода значения единичных перепусков накапливаются, поэтому при достижении суммарным перепуском $h_{пэ}$ максимального значения $h_{н.е.}^{max}$ необходимо загрузить электродную массу.

Преимуществом предложенного способа управления перепуском является

высокая точность стабилизации длины рабочих концов электродов.

2.11 Подготовка схемы автоматизации

1) Автоматический контроль расхода материалов осуществляется комплектом устройств. Устанавливаемые на стационарных носителях с правой и левой стороны конвейерные весы и встраиваемые регистрирующие приборы осуществляют измерение расхода шихты перед загрузкой в печь. Были использованы весы ДВСТ–10 ТУ–25. Их всего 12 штук, расположены под каждым бункером.

2) автоматический контроль уровня загрузки шихты бункеров печи. Сигнал загрузки бункера печи упаковщик в систему автоматической загрузки поступает от концевых выключателей транспортера.

3) Автоматический контроль напряжения на электродах и фазных токах. Измеряет напряжение и ток вольтметром и амперметром. В Контроллере находятся преобразователи для ввода показаний, напряжения и тока.

4) Автоматический контроль электроэнергии. Измерение мощности осуществляется ваттметрами. В Контроллере находятся преобразователи для ввода показаний, мощности.

5) Автоматический контроль состояния электродов. Расположение и перемещение электродов электроды могут контролироваться благодаря датчикам уровня погружения и дистанционным указателем положения ДУП-М.

6) Автоматический контроль уровня расплава. Уровень расплава можно измерить с помощью уровнемера. Он работает по принципу измерения времени прохождения волны расстояния от датчика до уровня жидкости и обратно. Был использован акустический уровнемер ЭХО-5М.

2.12 Функциональная структура микропроцессорного контроллера

Вычислительная машина для электрического режима состоит из мощного устройства "SIMATIC S5-115u" с аналоговыми и цифровыми входами и выходами, необходимыми интерфейсами. В качестве устройства управления используется устройство "SIMATIC S5-100u". Это устройство управления имеет все необходимые блоки. Объединение модулей в контроллере осуществляется по общей сети.

Центральный контроллер "SIMATIC S5-115u" и контроллеры "SIMATIC S5-100u" соединены между собой шинной системой "SINEC L2".

Система шин дает большие преимущества. Он не требует больших затрат при прокладке кабеля, легко расширяется, позволяет осуществлять прямое коммутационное соединение абонентов. Сеть SINEC построена в соответствии с международными нормами. В него могут быть интегрированы различные компоненты разных производителей [14].

В качестве вычислительной машины используется коммуникационный

процессор CP 581 (модульный персональный компьютер). С помощью этой системы могут быть зарегистрированы данные, полученные из различных полей данных S5, таких как модули данных, маркеры и т. д. Из CPU, которые затем считываются в определенном растре из этого поля данных и собираются в один или несколько файлов. Данные процессора, собранные и преобразованные независимо от процессов на стороне процессора, записываются в память и обрабатываются по соответствующей программе MS-DOS. Интерпретатор команд любой MS из CPU.

DOS позволяет выводить команды на CP 581. Для решения специальных задач предусмотрена функция "свободное Программирование". CP 581 имеет интерфейсы для подключения принтера, монитора, стандартной клавиатуры, мыши. Или через коммуникационный процессор осуществляется прямой выход IBM.

Схема движения информационных потоков микропроцессорного контроллера приведена на рисунке.

Все инструменты программируются на языке программирования "STEP 5". Программирование при этом может осуществляться в виде списка инструкций или в виде функционального плана.

К преимуществам выбранного контроллера можно отнести:

- простота обслуживания и техники подключения;
- прочность конструкции;
- адаптация к различным требованиям благодаря совместимости входных и выходных напряжений со стандартами;
- наличие большого спектра модулей ОУ (устройств связи с объектами), позволяющих осуществлять подключение большинства датчиков технологических переменных без промежуточного преобразователя.
- возможность создания производственной локальной вычислительной сети для подключения микропроцессорных контроллеров, с помощью локальной вычислительной сети можно создавать системы контроля и управления, разделенные расстоянием до 3000 м.

3 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Технико-экономическое обоснование процесса автоматизации электроплавки

Невозвратность затрат драгоценных металлов с отвальным шлаком, стабилизация состава штейна для нормального проведения процесса обмена потребности, большие энергетические затраты на химический процесс. Основная задача автоматизации процесса электроплавки:

- 1) Повышение производительности печи;
- 2) Снижение затрат;
- 3) выплавка шихты в каждой электропечи;
- 4) снижение расхода навалочного шлака.

Это возможно при автоматическом управлении температурой печи в заданном режиме, это приведет к полному извлечению меди, а значит, и к длительности операции, и расход энергии меняется. Кроме того, снижение расхода электроэнергии, снижение теплового режима при правильной организации труда, особенно на этапах плавки и погрузки за счет повышения производительности труда, снижения расхода электроэнергии. При более полном внедрении АСУТП себестоимость процесса также значительно меняется.

3.2 Определение роста прибыли

«Казахмыс» занимает 20 место в мире по выпуску меди 271000т (271 тысяча тонн) Все расчеты ведутся на 2020 год. На основе изучения опыта работы других предприятий, использующих прогнозируется увеличение выпуска меди на 0,5%, что составит 1080тонн, также на 0,03% за счет стабилизации технологических параметров (64,8 тонн).

Таким образом, общий объем дополнительной продукции:

$$V_{\text{доп}} = 1080 + 64,8 = 1144,8 \text{ тонн} \quad (13)$$

Рассчитаем дополнительную прибыль:

$$P_{\text{доп}} = C + V_{\text{доп}} \quad (14)$$

Где,

C -цена за тонну меди;

$V_{\text{доп}}$ - дополнительный объем полученной товарной продукции;

$$P_{\text{доп}} = 4636800 * 1144,8 = 5.304.499.200 \text{ (тг)}. \quad (15)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По выполненной дипломной работе можно сделать следующие выводы:

1. Разработана и реализована математическая модель процесса электроплавки медных концентратов на базе уравнений материально-энергетических балансов, а также электрических характеристик, которая позволяет осуществлять расчет состава продуктов плавки, удельный расход электроэнергии, а также активное сопротивление расплава.

2. Обосновано изменение величины постоянной составляющей напряжения, зависящей от положения рабочего конца электрода относительно уровня ванны, что влияет на развитие дугового режима, на основании чего предложен метод определения начала и окончания перепуска электродов. Это дает возможность управлять процессом перепуска с большей точностью, чем существующие методы.

3. Разработан метод непрерывного контроля уровня расплава с использованием нулевой гармоники фазного напряжения, позволяющий вести процесс при глубине шлаковой ванны, соответствующей технологической инструкции.

4. Разработаны общий алгоритм и структура системы управления материальными потоками и электрическим режимом работы РТП, обеспечивающая повышение эффективности и качества ведения процесса

5. Разработан способ управления работой руднотермической печи, основанный на непрерывном контроле постоянной составляющей фазного напряжения, который включает в себя прогнозирование обрушений шихты и принятие соответствующих мер по их устранению.

6. Численное моделирование алгоритмов управления показало, что разработанная система управления на основе модифицированной математической модели обеспечивает заданное распределение энергии в ванне печи, позволяет поддерживать заданное активное сопротивление и уровень расплава.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Васильев В.В. Управление руднотермической электроплавкой сульфидного медно-никелевоо сырья на основе гармонического анализа тока и напряжения электродов. 2010. На сайте <https://www.dissercat.com/content/upravlenierudnotermicheskoi-elektroplavkoi-sulfidnogo-medno-nikelevogo-syrya-na-osnovegarm>.
- 2 Ижорин М. Н. Сооружение промышленных печей. Том 2: Справочное издание / М. 11. Ижорин, К). 11. Сторожков – М: Изд-во «Теплотехник», 2006. – 671 с.
- 3 Правила охраны труда при эксплуатации электроустановок, от 24.07.2013 г. № 32811.
- 4 Федоров А. А. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети/Под ред. А. А. Федорова, Г. В. Сербиновского. М.: Энергия, 1980.
- 5 Автоматизированная рудовосстановительная печь постоянного тока / Нехамин С. М., Котюк А. В., Фридман М. А. [и др.] // Электromеталлургия, 2001, № 3. - С. 25–27.
- 6 Нехамин С. М. Зонная структура ванны электродных плавильных печей при работе на постоянном токе и токе пониженной частоты // Metallurg, 2014, № 2. - 57–64.
- 7 Плавка кремния в руднотермической печи на выпрямленном токе / С. М. Нехамин, М. А. Фридман, В. И. Щербинин [и др.] // Цветные металлы, 2000, № 2. - С. 60–63.
- 8 Руднотермические печи выпрямленного тока как ресурсосберегающие агрегаты / А. Н. Попов, С. М. Нехамин, М. А. Фридман, Котюк А. В. // Электromеталлургия, 1998, № 1. - С. 11 – 16.
- 9 Системы управления плавильных электропечей для металлургии и машиностроения / Елизаров К. А., Деднев А. А., Киссельман М. А., Нехамин С. М. // Электromеталлургия, 2012, № 9. - С. 27–36.
- 10 Mathematical Simulation of Electromagnetic Stirring of Liquid Steel in DC Arc Furnace / S. A. Smirnov, V. V. Kalaev, S. M. Nekhamin [etc.] // High Temperature, 2010, v. 48, No 1. - P. 74 – 83.

ОТЗЫВ РЕЦЕНЗЕНТА

На дипломную работу
Нуркенов Нурлан Нурлыбекович
5B070200 – Автоматизация и управление

Тема: «Автоматизация технологического процесса рудотермической электроплавки медных концентратов»

В рецензируемой бакалаврской работе рассматривается актуальная задача разработка системы управления для процесса электроплавки в РТП.

В первой части дипломной работы был описан технологический процесс электроплавки в РТП и рассмотрены существующих способов автоматизаций системы управления в РТП.

Во второй части дипломной работы была сформулирована математическая модель электроплавки. Была создана структура системы управления и по ней далее были созданы алгоритмы нахождения нужных нам параметров для дальнейшего использования. Так же была создана схема автоматизации электроплавки. Проведенная работа с системой управления позволяет сделать вывод о том, что предложенные критерии обеспечивают повышение производительности печной установки.

Оценка работы

Считаю, что дипломная работа заслуживает оценки «В/80/хорошо», что дипломант справился с поставленной задачей, дипломная работа соответствует требованиям. На основании характеристики выполненных исследований, уровня и качества выполненных результатов, студента Нуркенов Н.Н. по специальности 5B070200 – Автоматизация и управление допускается к защите.

Рецензент
Магистр техники и технологии,
по специальности РЭТ
Сихимбаев А.С.
«» 2022 г.



**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На дипломную работу
Нуркенов Нурлан Нурлыбекович
5B070200 – Автоматизация и управление

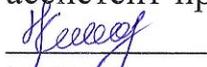
Тема: «Автоматизация технологического процесса рудотермической электроплавки медных концентратов»

Перед дипломантом ставилась задача создания автоматизированной системы управления технологического процесса электроплавки.

В дипломной работе был рассмотрен способ улучшения качества управления технологическим процессом электроплавки. В данной дипломной работе разработаны алгоритмы управления, использующие величины сопротивления расплава и постоянной составляющей фазного напряжения для контроля распределения энергии в ванне печи и непрерывного контроля уровня ванны.

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

Заключение: считаю, что дипломант справился с поставленной задачей, дипломная работа соответствует требованиям, предъявляемым к дипломным работам по специальности 5B070200 – Автоматизация и управление. На основании характеристики выполненных исследований, уровня и качества выполненных результатов, оцениваю работу на «80/В/хорошо» студент Нуркенов Н.Н. допускается к защите.

Научный руководитель
Кандидат технических наук,
ассистент-профессор Кафедры АиУ
 Кошимбаев Ш.К.

«18» мая 2022 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Нуркенов Н

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Автоматизация технологического процесса рудотермической электроплавки медных концентратов

Научный руководитель: Шамиль Кошимбаев

Коэффициент Подобия 1: 9.8

Коэффициент Подобия 2: 4.6

Микропробелы: 4

Знаки из здругих алфавитов: 9

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

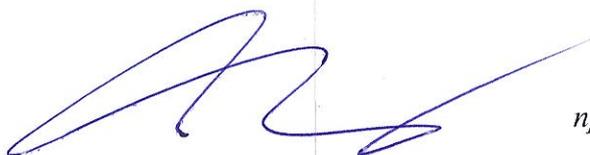
Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

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

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

Обоснование:

Дата



проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Нуркенов Н

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Автоматизация технологического процесса рудотермической электроплавки медных концентратов

Научный руководитель: Шамиль Кошимбаев

Коэффициент Подобия 1: 9.8

Коэффициент Подобия 2: 4.6

Микропробелы: 4

Знаки из здругих алфавитов: 9

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата

Заведующий кафедрой

