

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения

Кафедра «Автоматизация производственных процессов в металлургии»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Т.В. Донцова
подпись

«___» июля 2020 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**Исследование алгоритмов управления процессом электролитического
получения алюминия с помощью программного обеспечения
«Виртуальный электролизер»**

Направление 27.04.04 Управление в технических системах
Магистерская программа 27.04.04.02 Автоматизация и управление
техническими системами в металлургии

Руководитель	_____	доцент, канд. техн. наук	В.А. Осипова
	подпись, дата		
Выпускник	_____		Д.А. Труфанов
	подпись, дата		
Рецензент	_____	главный научный сотрудник вычислительных моделей в гидрофизике ИВМ СО РАН, д-р физ.-мат. наук	В.М. Белолипецкий
	подпись, дата		
Консультант	_____	д-р техн. наук, профессор	Т.В. Пискажова
	подпись, дата		
Нормоконтролер	_____		В.А. Осипова
	подпись, дата		

Красноярск 2020

АННОТАЦИЯ

Магистерская диссертация по теме «Исследование алгоритмов управления процессом электролитического получения алюминия с помощью программного обеспечения «Виртуальный электролизер»» содержит 91 страницу текстового документа, 78 использованных источников.

Целью данной работы является разработка методического обеспечения для изучения алгоритмов управления процессом электролитического получения алюминия.

Тема данной работы выбрана на основании анализа существующих проблем и путей их решения в области обучения и переподготовки технологического персонала для предприятий цветной металлургии, где технологические процессы протекают в высокотемпературных и химически агрессивных средах, имеют агрегаты большой единичной мощности.

Обучение персонала на действующих технологических установках требует значительных капитальных затрат и зачастую невозможно, т.к. может привести к возникновению аварийных режимов работы и нештатных технологических ситуаций.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- изучение технологического процесса электролитического получения алюминия и основного технологического оборудования;
- обзор существующих АСУ ТП в производстве алюминия;
- изучение режимов работы и алгоритмов управления АПГ;
- изучение программного обеспечения «Виртуальный электролизёр»;
- разработка методического обеспечения в форме лабораторных работ для обучения студентов и технологического персонала.

Новизна заключается в следующем:

- исследованы алгоритмы управления автоматической подачи глинозема с использованием программного обеспечения «Виртуальный электролизёр»;
- разработан новый учебно-методический комплекс для обучения студентов основам электролиза алюминия и управлению этим процессом и подготовки персонала к работе с АСУ ТП «СААТ»».

Внедрение в процесс подготовки технологического персонала учебно-консультационной программы «Виртуальный электролизер» позволяет изучить динамику процессов, протекающих в электролизере, оценивать реакцию электролизера на управляющие воздействия, изменение внутренних и внешних факторов, правильно пользоваться современными алгоритмами управления.

Разработанный комплекс методических указаний, состоящий из 5 лабораторных работ, позволит повысить уровень подготовки специалистов металлургического профиля за счет получения базовых навыков работы с системой управления без риска негативно повлиять на ход реального технологического процесса.

ЭЛЕКТРОЛИЗ, ВИРТУАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОЛИЗЕР, АПГ, АСУ ТП.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Технология производства алюминия	Ошибка! Закладка не определена.
1.1 Теоретические основы производства алюминия ...	Ошибка! Закладка не определена.
1.1.1 История развития алюминиевой промышленности	Ошибка! Закладка не определена.
1.1.2 Краткое описание процесса электролиза.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.1.3 Технологические схемы производства алюминия	Ошибка! Закладка не определена.
1.1.4 Основы электролитического метода получения алюминия ..	Ошибка! Закладка не определена.
1.2 Сырье, применяемое в производстве алюминия....	Ошибка! Закладка не определена.
1.2.1 Алюминиевые минералы.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.2.2 Глинозём	Ошибка! Закладка не определена.
1.2.3 Фтористые соли	Ошибка! Закладка не определена.
1.3 Процессы, протекающие на аноде и катоде	Ошибка! Закладка не определена.
1.3.1 Анодный эффект	Ошибка! Закладка не определена.
1.3.2 Образование карбида алюминия	Ошибка! Закладка не определена.
1.3.3. Поведение примесей в электролите	Ошибка! Закладка не определена.
1.3.4 Пропитка угольной футеровки ...	Ошибка! Закладка не определена.
1.3.5 МГД-нестабильность	Ошибка! Закладка не определена.
1.4 Технологические и технические особенности производства алюминия на сверхмощных электролизерах	Ошибка! Закладка не определена.
1.4.1 Краткая характеристика промышленного электролита	Ошибка! Закладка не определена.
1.4.2 Характеристика основного технологического оборудования	Ошибка! Закладка не определена.
1.4.3 Электролизеры с самообжигающимися анодами и верхним токоподводом.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.4.4 Электролизеры с обожженными анодами	Ошибка! Закладка не определена.

- 1.4.5 Особенности конструкций и серий сверхмощных электролизеров **Ошибка! Закладка не определена.**
- 1.5 Техничко-экономические показатели электролиза .**Ошибка! Закладка не определена.**
- Выводы по главе 1..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 2 Автоматизация процесса электролиза алюминия.....**Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.1 Алюминиевый электролизер как объект управления**Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.2 Общая характеристика систем управления электролизерами.....**Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.3 Задачи и функции АСУ ТП..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.4 Типовые модули АСУ ТП электролиза**Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.5 Система управления «СААТ-1» **Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.6 Задачи и функции АСУ ТП «СААТ-1»**Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.6.1 Функции системы..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.6.2 Краткая характеристика основных функций АСУ ТП.....**Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.6.3 Функции контроля основных технологических операций**Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.6.4 Дополнительные функции современных АСУ ТП**Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.6.5 Алгоритмы управления АСУ ТП электролиза.**Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.7 Автоматизированное управление работой АПГ**Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.7.1 Цель и задачи системы управления АПГ**Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.7.2 Краткое описание работы АПГ... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.7.3 Принципы работы системы управления АПГ ..**Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.7.4 Режимы работы алгоритмов управления АПГ.**Ошибка! Закладка не определена.**
- 2.7.5 Управление питанием электролизёра при выполнении других технологических операций..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- Выводы по главе 2..... **Ошибка! Закладка не определена.**

3 Проведение исследований и разработка методических указаний для изучения алгоритмов управления АСУ ТП «СААТ»	Ошибка! Закладка не определена.
3.1 Решение задачи повышения уровня подготовки технологического персонала	Ошибка! Закладка не определена.
3.2 Моделирование как необходимая составляющая подготовки специалистов	Ошибка! Закладка не определена.
3.3 Учебно-консультационная программа «Виртуальный электролизер»	Ошибка! Закладка не определена.
3.3.1 Назначение программы	Ошибка! Закладка не определена.
3.3.2 Организация исследовательской деятельности на программе «Виртуальный электролизер»	Ошибка! Закладка не определена.
3.3.3 Описание дистрибутива и интерфейса программы «Виртуальный электролизер»	Ошибка! Закладка не определена.
3.4 Изучение влияния массы дозы глинозема при работе системы АПГ	Ошибка! Закладка не определена.
3.4.1 Краткое описание работы системы АПГ	Ошибка! Закладка не определена.
3.4.2 Изучение режимов АПГ	Ошибка! Закладка не определена.
3.4.3 Базовая уставка АПГ	Ошибка! Закладка не определена.
3.5 Разработка методических указаний для обучения работе персонала с АСУ ТП «СААТ»	Ошибка! Закладка не определена.
3.5.1 Лабораторная работа №1 «Знакомство с интерфейсом программы»	Ошибка! Закладка не определена.
3.5.2 Лабораторная работа №2 «Изучение работы режимов АПГ»	Ошибка! Закладка не определена.
3.5.3 Лабораторная работа №3 «Влияние анодного эффекта на переменные электролиза»	Ошибка! Закладка не определена.
3.5.4 Лабораторная работа №4 «Влияние массы дозы глинозема»	Ошибка! Закладка не определена.
3.5.5 Лабораторная работа №5 «Изменение уставки АПГ»	Ошибка! Закладка не определена.
Выводы по главе 3	Ошибка! Закладка не определена.
Заключение	9
Список использованных источников	10

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

В настоящее время алюминиевая промышленность в России представляет собой развитый сектор экономики. В мировом производстве алюминия Россия занимает второе место и, несмотря на сложные экономические условия последних лет, производство металла остаётся практически на прежнем уровне, а спрос на алюминиевую продукцию, благодаря особым свойствам алюминия, неуклонно растёт [1-3].

Производство алюминия является многоступенчатым процессом, который включает в себя производство сырья, получение алюминия электролизом криолитоглиноземного расплава и литьё заготовок для дальнейшей переработки. Основным технологическим оборудованием в производстве алюминия является электролизер. В настоящее время на заводах России используется несколько типов электролизеров различной мощности, в том числе внедряются электролизеры большой единичной мощности (более 300 кА). Среди основных проблем отечественной алюминиевой промышленности можно выделить значительный дефицит собственного сырья (60 % глинозёма импортируется с мирового рынка), необходимость повышения уровня экологической безопасности и др.

Для повышения эффективности производства мощным электролизерам необходимы системы управления, оснащенные современными системами контроля и автоматизации. Но использование систем автоматизации формирует более высокие требования к технологическому персоналу. Следовательно, одной из важнейших задач является повышение уровня обучения и переподготовки технологического персонала с использованием современных информационных технологий, в том числе тренажерных комплексов.

Согласно работам в области автоматизированных систем обучения и компьютерных тренажеров для подготовки производственного персонала таких авторитетных ученых как В. М. Дозорцев, Т. Б. Чистякова, Э. Л. Ицкович, В. С. Балакирев, С. И. Магид; в области математического моделирования и систем управления процессом получения алюминия – работы М. Я. Фитермана, Р. Г. Локшина, М. Я. Минциса, А. И. Беляева, Т. В. Пискажовой и других, отмечается необходимость обучения производственного персонала с помощью современных программных средств [4-10].

Использование компьютерных систем обучения (тренажеров) даёт неоспоримые преимущества при решении задачи повышения качества подготовки специалистов: обучаемые быстрее знакомятся с технологией, оборудованием и системой управления процессом, качественнее осваивают стандартные процедуры, а также получают навыки действий в сложных, предаварийных и аварийных ситуациях. Компьютерные системы обучения позволяют отрабатывать каждое управление неограниченное число раз в реальном и ускоренном масштабе времени, что особенно актуально для медленно протекающих металлургических процессов в агрегатах большой

единичной мощности. В результате технологический персонал начинает глубже понимать физико-химические явления изучаемого процесса, у персонала быстрее формируется представление о совокупности технологических параметров в нормальном и внештатном режимах работы, эффективнее отрабатываются действия в предаварийных и аварийных ситуациях, что позволяет вырабатывать правильную стратегию действий.

С целью отработки навыков оптимизации работы электролизера, важно исследовать автоматическое управление периодом подачи глинозема, так как это, с одной стороны, является не простым для понимания технологов, а с другой стороны, правильное использование системы питания ведет к снижению расхода электроэнергии и вредных выбросов [11-17].

Объектом исследования является процесс электролитического получения алюминия.

Предмет исследования: алгоритмы управления процессом электролитического получения алюминия с помощью программного обеспечения «Виртуальный электролизер».

Цель работы: разработка методического обеспечения для изучения алгоритмов управления процессом электролитического получения алюминия.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- изучение технологического процесса электролитического получения алюминия и основного технологического оборудования;
- обзор существующих АСУ ТП в производстве алюминия;
- изучение режимов работы и алгоритмов управления автоматической подачи глинозема;
- изучение программного обеспечения «Виртуальный электролизёр»;
- разработка методического обеспечения в форме лабораторных работ для обучения студентов и технологического персонала.

Новизна состоит в следующем:

- исследование алгоритмов управления автоматической подачи глинозема с использованием программного обеспечения «Виртуальный электролизёр»;
- разработка нового учебно-методического комплекса для обучения и подготовки персонала к работе с АСУ ТП «СААТ».

Практическая значимость работы заключается в следующем:

Внедрение в процесс подготовки технологического персонала программы «Виртуальный электролизер» позволяет изучить динамику процессов, протекающих в электролизере, адекватно оценивать реакцию электролизера на управляющие воздействия, на изменение внутренних и внешних факторов. Обучение с использованием «Виртуального электролизёра» дает возможность

понимать персоналу корпуса динамику управляемого процесса, чтобы правильно пользоваться современными алгоритмами управления.

Разработанный комплекс методических указаний, состоящий из 5 лабораторных работ, позволит повысить уровень обучения и переподготовки специалистов металлургического профиля за счет получения базовых навыков работы с системой управления и действий в аварийных ситуациях без риска повлиять на ход реального технологического процесса.

Также при подготовке студентов по направлениям «Автоматизация технологических процессов и производств» и «Управление в технических системах» этот комплекс даёт возможность рассмотреть примеры реально существующих алгоритмов и увидеть базовые принципы управления.

Личный вклад автора заключается в проведении анализа литературных и патентных источников, составлении аналитического обзора, по теме исследования; изучении различных алгоритмов управления АПГ; в разработке методических указаний для подготовки технологического персонала.

Публикации

Результаты исследований по теме диссертации докладывались на научно-исследовательских семинарах. Подготовлена публикация в сборник Международной научной конференции «Перспективы-2020» [18].

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованных источников из 78 наименований, содержит 43 рисунка и 7 таблиц. Объем диссертации составляет 91 страницу.

Главы 1, 2 и 3 изъяты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результат работы соответствует поставленным задачам.

Выполнен анализ технологического процесса получения алюминия электролитическим способом, изучены особенности конструкции и принцип действия основного технологического оборудования процесса. Проведенный анализ показал, что технологии производства алюминия в мире непрерывно развиваются, непрерывно продолжаются работы по усовершенствованию конструкции алюминиевой ванны. Для российской алюминиевой промышленности актуальным является внедрение электролизеров большой единичной мощности (более 300 кА). Для повышения эффективности производства мощным электролизерам необходимы системы управления, оснащенные современными системами контроля и автоматизации.

Выполнен обзор существующих АСУ ТП электролиза. Современные системы имеют различные программно-технические решения, но характеризуются общими задачами и функциями АСУ ТП и имеют иерархическую структуру. Выполнен анализ алгоритмов управления АСУ ТП электролиза алюминия.

С целью решения поставленных в работе задач изучено программное обеспечение – учебно-консультационная программа «Виртуальный электролизёр» и исследованы алгоритмы работы АСУ ТП.

По результатам моделирования различных режимов разработаны методические указания по лабораторным работам, которые могут быть использованы при построении процесса обучения, а также в случае самостоятельного изучения материала обучающимся, так как позволяют продемонстрировать особенности процесса электролиза на виртуальном тренажере.

По полученным материалам лабораторных работ разработан самостоятельный документ «Учебно-методический комплекс для лабораторных работ с использованием программы «Виртуальный электролизёр»».

Учебно-методический комплекс выполнен в формате .pdf, имеет встроенную навигацию для удобства работы и может быть использован при подготовке студентов по направлениям «Автоматизация технологических процессов и производств» и «Управление в технических системах».

Дальнейшим продолжением данной работы может быть построение интерактивного курса обучения состоящего из комплексных модулей обучения, теоретического и практического материала, с модулями демонстрирующими подходы к поиску эффективных алгоритмов (на основе анимации), включая систему тестирования для закрепления полученных знаний.

Работа выполнена и оформлена в соответствии с требованиями СТО 4.2-07-2014 «Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности» [78].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Как устроен мировой рынок алюминия [Электронный ресурс] : Сайт об алюминии // Проект компании RUSAL, лидера мировой алюминиевой отрасли РУСАЛ. – Режим доступа : https://aluminiumleader.ru/economics/how_aluminium_market_works/
- 2 Металлургия : Аналитическая справка / совместная разработка ВНИИ труда. Минтруда России и РЭУ. – 2019. – 92 с.
- 3 Фомин, Д. А. Алюминиевая промышленность Красноярского края как предмет исследования учебного проект по дисциплине Химия металлов : тезис / Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых / Д. А. Фомин, А. В. Шпильков. – Красноярск : СФУ, 2018. – С. 283–287.
- 4 Пискажова, Т. В. Программа-имитатор для поддержки принятия технологических решений при получении алюминия / Т. В. Пискажова // Автоматизация в промышленности. – 2010. – №7. – С. 41–44.
- 5 Дозорцев, В. М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов опыт разработки и перспективы развития / В. М. Дозорцев. – 6 с.
- 6 Дозорцев, В. М. Имитационные модели технологических процессов в компьютерных тренажерах для обучения операторов / В. М. Дозорцев / ИММОД. – 2007. – С.58–61.
- 7 Портянкин, А. А. Учебно-консультационная компьютерная программа для изучения теплообменных процессов / А. А. Портянкин, С. М. Тинькова, Т.В. Пискажова // Теплоэнергетика металлургической отрасли – Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2016. – Т.14, №1. – С. 116–123.
- 8 Белолипецкий, В. М. Упрощенная компьютерная модель динамики настыви виртуального электролизера / В.М. Белолипецкий, Т.В. Пискажова // Вычислительные технологии. – 2003. – Том 8, №6,– С. 24–30.
- 9 Кануков, С. Г. Использование энергосберегающих виртуальных тренажеров в процессе подготовки специалистов инженерных специальностей / С. Г. Кануков // Информационные ресурсы образования в России. – 2014. – №1. – С. 27–29.
- 10 Гурдзибеева, А. Р. Исследование и разработка методов и алгоритмов имитационного моделирования для тренажеров операторов сложных объектов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Гурдзибеева, Алана Руслановна. – Владикавказ, 2004. – 188 с.
- 11 Бажин, В. Ю. Управление сверхмощным алюминиевым электролизером при помощи интеллектуальных систем АПГ / В. Ю. Бажин, А. В. Лупенков, А. А. Власов // Сборник Второй международной конференции «Цветные металлы–2010», 2–4 сентября, г. Красноярск, – 2010. – С. 523–528.
- 12 Исаева, Л. А. Глинозём в производстве алюминия электролизом / Л. А. Исаева, П. В. Поляков // Издательский дом ОАО «БАЗ». – Красноурьинск, 2000. – 199 с.

13 Пат. 2596560 Российская Федерация, МПК С25С 3/20 (2006.01) Способ управления подачей глинозема в электролизер при получении алюминия / Д. А. Симаков, А. О. Гусев, К. Б. Бакин; Патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Объединенная Компания РУСАЛ» Инженерно-технологический центр ; заявл. 2015115666/02: опубл. 10.09.2016, Бюл. № 25. – 18 с.

14 Лебедев, В. А. Эффективность работы системы автоматической подачи глинозема на Казахском электролизном заводе / В. А. Лебедев, Ж.Ж. Камзин // ВЕСТНИК ИрГТУ. –2016. – Т. 20, № 10. – С. 163–170.

15 Ершов, В. А. Автоматическая подача глинозема на электролизерах с боковым токоподводом / В. А. Ершов // Системы. Методы. Технологии. – 2014. – № 4 (24). – С. 99–102.

16 Ершов, В. А. Пути совершенствования автоматического управления частотой подачи порций глинозема / В. А. Ершов, Ю. В. Богданов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – №3 (47). – С. 116–123.

17 Ершов, В. А. Подбор параметров системы управления / В. А. Ершов, А. В. Подкорытов, В. О. Горовой // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 1 (49). – С. 99–102.

18 Труфанов, Д. А. Изучение влияния массы дозы глинозема при работе системы автоматической подачи глинозема / Д. А. Труфанов, В. А. Осипова // – Сибирский федеральный университет. – Красноярск, 2020.

19 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 11-2019 Производство алюминия, утв. приказом Росстандарта №2980 от 12.12.2019 г. – Введ. 01.03.2020. – Москва : Бюро НДТ, 2019. – 247 с.

20 Янко, Э. А. Производство алюминия : пособие для мастеров и рабочих цехов электролиза алюминиевых заводов / Э. А. Янко – : Изд-во С-Петербур. ун-та, – Санкт-Петербург, 2007. – 304 с.

21 Цветные металлы и сплавы : учеб. пособие / Т. В. Мальцева, Н. Н. Озерец, А. В. Левина, Е. А. Ишина. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2019. – 176 с.

22 Минцис, М. Я. Электрометаллургия алюминия / М. Я. Минцис, П. В. Поляков, Г. А. Сиразутдинов. – Новосибирск : Наука, 2001. – 368 с.

23 Борисоглебский, Ю. В. Metallургия алюминия / Ю. В. Борисоглебский, Г. В. Галевский, Н. М. Кулагин. – Новосибирск : Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1999. – 438 с.

24 Александров, В. М. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Учебное пособие. Часть 1. Материаловедение. Стандарт третьего поколения / В. М. Александров. – Архангельск : Северный (Арктический) федеральный ун-т, 2015. – 327 с.

25 «Обойтись без нашего металла и сплавов очень сложно» [Электронный ресурс] : Тематическое приложение к газете «Коммерсантъ» – 10.12.2019 №227. – Режим доступа : <https://www.kommersant.ru/doc/4187719>

26 Аналитическая справка «О результатах анализа национальных программ Беларуси, Казахстана, России в сфере промышленности» [Электронный ресурс] : Евразийская экономическая комиссия. – Режим доступа : <http://www.eurasiancommission.org>

27 Как устроен мировой рынок алюминия [Электронный ресурс] : Сайт об алюминии // Проект компании RUSAL, лидера мировой алюминиевой отрасли РУСАЛ. – Режим доступа : https://aluminiumleader.ru/economics/how_aluminium_market_works/

28 История алюминия [Электронный ресурс] : сайт об алюминии. Проект компании RUSAL, лидера мировой алюминиевой отрасли РУСАЛ. – Режим доступа : https://aluminiumleader.ru/history/industry_history/

29 Мурсалимов, М. М. Усовершенствование технологии электролиза и повышение экологической безопасности производства алюминия : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.16.02 / Мурсалимов Марат Мингалиевич. – Санкт-Петербург, 2004. – 24 с.

30 Ветюков, М. М. Электрометаллургия алюминия и магния / М. М. Ветюков А. М. Цыплаков, С. Н. Школьников. – Москва : Metallurgia, 1987. – 320 с.

31 Минцис, М. Я. Электрометаллургия алюминия / М. Я. Минцис, П. В. Поляков, Г. А. Сиразутдинов. – Новосибирск : Наука, 2001. – 368 с

32 Башмаков, А. И. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем / А. И. Башмаков, И. А. Башмаков. – Москва : Высш.шк., 1991. – 416 с.

33 ГОСТ 10561-80 Криолит искусственный технический. Технические условия. – Введ. 01.01.1982. – Москва : Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1980. – 34 с

34 Бажин, В. Ю. Диагностика технологического процесса мощных алюминиевых электролизеров с помощью прикладных программ / В. Ю. Бажин, П. А. Петров // Записки Горного института Т.192. – Санкт-Петербург, 2011. – С. 140–144.

35 Терентьев, В. Г. Производство алюминия / В. Г. Терентьев, Р. М. Школьников, И. С. Гринберг, А. Е. Черных, Б. И. Зельберг, В. И. Чалых. – Новокузнецк, 2000. – 339 с.

36 Развитие технологии без анодных эффектов на высокоамперных электролизерах [Электронный ресурс] : Евразийский Союз Ученых. Технические науки. – Режим доступа: <https://euroasia-science.ru/tehicheskie-nauki/razvitiye-tehnologii-bez-anodnykh-effe/>

37 Бертини, И. Биологическая неорганическая химия. Структура и реакционная способность. Учебник. В 2-х томах. – 472 с.

38 Якивчук, П. Н. Разработка алгоритма управления заданным напряжением в алюминиевом электролизере / П. Н. Якивчук, Т. В. Пискажова. – Красноярск, 2018. – 5 с.

39 Янко, Э. А. Аноды алюминиевых электролизеров / Э.А. Янко . – Санкт-Петербург : Руда и металлы, 2007. – 305 с.

40 ГОСТ 34196-2017 Электролизеры для производства алюминия. Общие технические условия. – Введ. 01.03.2018. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 9 с.

41 Бажин, В. Ю. Концепция энергоэффективного производства алюминия «ЭЛЕКТРОЛИЗ 600+» / В. Ю. Бажин, А. Д. Смольников, П. А. Петров // Международный научно-исследовательский журнал. – Екатеринбург, 2016. – № 5 (47) – С. 37–40.

42 Шанин, И. М. Многоуровневое управление сверхмощными электролизерами с учетом теплового состояния : дис. ... канд. тех. наук : 05.13.06 / Шанин Игорь Михайлович. – Санкт-Петербург, 2017. – 156 с.

43 Туринский, З. М. Динамика технологических нарушений в работе алюминиевых электролизеров / З. М. Туринский // Цветные металлы. – 1999. – № 10. – С. 32–39.

44 Калькуляция себестоимости алюминия [Электронный ресурс] : Строительный портал. – Режим доступа: <http://zastroykaplus.ru/metallurgiya-legkih-metallov/1184-kalkulyaciya-sebestoimosti-alyuminiya.html>

45 Пискажова, Т. В. Использование методов многомерной обработки данных для анализа расхода электроэнергии алюминиевых электролизеров / Т. В. Пискажова, П. В. Поляков, Н. А. Шарыпов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. – Красноярск, 2015. – С. 89–95.

46 Фролов, Ю. И Анализ современных систем управления сериями алюминиевых электролизеров / Ю. И. Фролов, С. Н. Ахмедов, Б. С. Громов, Р.В. Пак // Цветные металлы, – 2004. – №7. – С. 56–72.

47 Хазарадзе, Т. Система автоматизации производства алюминия / Т. Хазарадзе, В. Гейнцк // Системная интеграция, Металлургия. – 1997. – С. 56–61.

48 ГОСТ 34.003-90 Автоматизированные системы. Термины и определения. – Введ. 27.12.1990. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 16 с.

49 Платонов, В. В. Расчет магнитогидродинамических (МГД) параметров ошиновки торцевых электролизеров в корпусах электролиза БоАЗ с учетом согласованных расстояний между корпусами / В. В. Платонов // Отчет. – Красноярск, Саяногорск, – 2007. – 14 с.

50 Внедрение проекта «Экологически приемлемая технология Содерберга» АО «РУСАЛ Красноярск».

51 Попов, Е. П. Автоматизированные системы управления технологическим процессом / Е. П. Попов. – Краснодар: ГБПОУ КК КТК , 2015. – 44с.

52 Руководство по эксплуатации по обслуживанию, эксплуатации и ремонту АСУ ТП «СААТ-1». – 71с.

53 АСУ ТП Электролиза «СААТ» электролизеров Содерберга, Описание алгоритмов. ОАО «РУСАЛ Красноярск». – 79 с.

54 Шахрай, С. Г. Повышение энергетической эффективности и экологических показателей оборудования для производства первичного

алюминия : дис. ... док. Тех.наук : 05.14.04 / Шахрай Сергей Георгиевич. – Красноярск, 2018. – 289 с.

55 Фролов, А.В., Богомолов, Н.К., Гусев, А.О. и [др.]. Изучение состояния промышленной ванны путем оперативного измерения концентрации глинозема. – Сб. докладов XII межд. конф. «Алюминий Сибири. – Красноярск, 2006. – С. 58–61.

56 Соснин, О. М. Основы автоматизации технологических процессов / О. М. Соснин // – 2-е изд., Москва : Академия, 2009. – 239 с.

57 Фитерман, М. Я. Оперативное оценивание показателей процесса электролиза алюминия / М. Я. Фитерман, Д. Р. Казаков // Цветные металлы.– 1990. – №12. – С. 101–105.

58 Фитерман, М. Я. Пути повышения эффективности производства и улучшения организации труда при автоматизации предприятий алюминиевой подотрасли / М. Я. Фитерман, В. И. Берх, Р. Г. Локшин // Цветная металлургия.– 1989. – №2. – С. 1–11.

59 Кадричев, В. П. Измерение и оптимизация параметров алюминиевых электролизеров / В. П. Кадричев, М. Я. Минцис. – Челябинск : Металл, 1995. – 136 с.

60 Петров, П.А. Алгоритм управления дозированием глинозема в производстве алюминия [Электронный ресурс] : П.А. Петров // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 5. Ч. 1 – Режим доступа : <http://web.snauka.ru/issues/2014/05/34966>

61 ТЭК 360 – Нехватка кадров [Электронный ресурс] : информационный портал РБК. – Режим доступа : <http://tek360.rbc.ru/articles/135/>

62 В Алюминщики пойду – пусть меня научат // Алюминиевый вестник. – 2018. – №10 (21). – 16 с.

63 Шнейдер, Е. М. Из опыта применения виртуальных лабораторных работ в практике изучения блока естественнонаучных и общеинженерных дисциплин / Е. М. Шнейдер, М. В. Богданова // – FUNDAMENTAL RESEARCH. – 2015. – № 2. – С. 2724–2727.

64 Ткачева, С.В. Моделирование профессиональной деятельности в учебном процессе [Электронный ресурс] : учеб. пособие / С.В. Ткачева // 16 с. – Режим доступа : http://www.stv.runnet.ru/_docs/pdf/methods/bank/xp/master/01.pdf

65 Компьютерная реализация решения научно-технических и образовательных задач : учеб. пособие. «Менеджмент организаций» / В.В. Белов, И.В. Образцов, В.К. Иванов, Е.Н. Коноплев. – Тверь : «Тверской гос. техн. ун-т» (ТвГТУ), 2015. – 102 с.

66 Свидетельство №2017612828 о государственной регистрации программы для ЭВМ. Учебно-консультационная программа «Виртуальный электролизер», версия 2.0. / Пискажова Т. В., Завадяк А. В., Пузанов И. И., Толкачев Н. М., Макеев А. В. – Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 03 марта 2017 г.

67 Пискажова, Т. В. Математическое моделирование процесса электролитического получения алюминия. Решение задач управления

технологией / Т.В. Пискажова, В.М. Белолипецкий. – Красноярск : Сиб. федерал.ун-т, 2013. – 272 с.

68 Дворников, Н. А. Математическое моделирование физико-химических процессов при разработке новых способов получения алюминия / Н.А. Дворников // Актуальные научно-технические проблемы алюминиевой промышленности. Ответств. ред. А.Н. Платэ. – Москва : Типография МИФИ, 2002. – С. 248–253.

69 Портянкин, А. А. Модели и алгоритмы для управления процессами электролитического получения алюминия и нагрева слябов в конвективных печах : дис. ... канд. тех. наук : 05.13.06 / Портянкин Артем Александрович. – Красноярск, 2018. – 160 с.

70 Бажин, В. Ю. Управление анодным эффектом на алюминиевом электролизере / В. Ю. Бажин, А. А. Власов, А. В. Лупенков // Журнал «МЕТАЛЛУРГ». – 2011. – №6. – С. 89–93.

71 Башмаков, А. И. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем / А. И. Башмаков, И. А. Башмаков. – Москва : Информационно-издательский дом «Филинь», 2003. – 616 с.

72 Бегунов, А. И. Решения по радикальной модернизации электролизных производств с анодами Зодерберга Российской алюминиевой промышленности / А. И. Бегунов, И. А. Бегунов // Сборник Второй международной конференции «Цветные металлы–2010», 2–4 сентября. – Красноярск, 2010. – С. 581–588.

73 Белолипецкий, В. М. Численная модель поведения гарнисажа в алюминиевом электролизере / В. М. Белолипецкий, Т. В. Пискажова, А.А. Портянкин // Вестник Иркутского государственного технического университета. – Иркутск, 2017. – Т. 21, № 8.– С. 151–166.

74 Бобрикова, И.Г. Введение в электрохимические технологии: учеб. пособие / И.Г. Бобрикова // Южно-Российский гос. политехнический ун-т (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск : ЮРГПУ(НПИ), 2017. – 184 с.

75 Бойков, А. В. Автоматизированная система мониторинга и управления процессом производства алюминия в электролизерах с ОА : автореф. Дис. ... канд.тех.наук : 05.13.06 / Бойков Алексей Викторович. – Санкт-Петербург, 2015. – 24 с.

76 Большая, Е. П. Высокие технологии в металлургии. ч.1 Производство цветных металлов. : учеб. пособие / Е. П. Большая. – Новотроицк : НФ МИСиС, 2008. – 68 с.

77 Шандров, Б. В. Технические средства автоматизации : учебник для студ. Высш. Учеб. Заведений / Б.В. Шандров, А.Д. Чудаков // – : Издательский центр «Академия». – Москва, 2007. – 368 с.

78 СТО 4.2-07-2014 Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Введ. 30.12.2013. – Красноярск : ИПК СФУ, 2013. – 60 с.

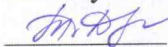
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения

Кафедра «Автоматизация производственных процессов в металлургии»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Т.В. Донцова
подпись

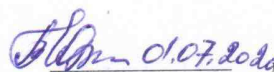
« 8 » июля 2020 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**Исследование алгоритмов управления процессом электролитического
получения алюминия с помощью программного обеспечения
«Виртуальный электролизер»**

Направление 27.04.04 Управление в технических системах
Магистерская программа 27.04.04.02 Автоматизация и управление
техническими системами в металлургии

Научный
руководитель


подпись, дата

доцент, канд. техн. наук

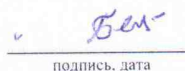
В.А. Осипова

Выпускник


подпись, дата

Д.А. Труфанов

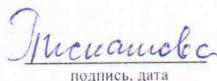
Рецензент


подпись, дата

главный научный сотрудник
отдела вычислительной
математики ИВМ СО РАН,
д-р физ.-мат. наук

В.М. Белолипецкий

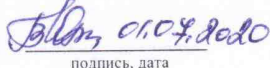
Консультант


подпись, дата

д-р техн. наук, профессор

Т.В. Пискажова

Нормоконтролер


подпись, дата

В.А. Осипова

Красноярск 2020