

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

Институт цветных металлов и материаловедения

Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель магистерской
программы

_____ Н. В. Белоусова

« ____ » _____ 2021 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
в форме магистерской диссертации

**Поиск путей повышения энергетической и экологической
эффективности электролизеров на ПАО «Русал Братск»**

Металлургия цветных металлов (22.04.02.02)

Научный руководитель

доцент, канд. тех. наук,
Кравцова Е.Д.

Выпускник

студент группы ЦМ19-28 М,
Кеберлейн А. И.

Рецензент

начальник УУТ ДЭ ПАО
"РУСАЛ Братск", Вибе Р.С.

Консультанты

канд. экон. наук, доцент
Твердохлебова Н.В.

Нормоконтролер

Белоусова Н.В.

Красноярск 2021 г.

АННОТАЦИЯ

Актуальность данной работы подчеркивается тем, что частые и длительные анодные эффекты отрицательно сказываются на показателях электролиза и, в первую очередь, на выходе по току, так же во время возникновения анодного эффекта происходит значительное выделение перфторуглеродов CF_4 и C_2F_6 , которые являются парниковыми газами.

Цель данного исследования – выбор оптимального, технически приемлемого варианта снижения частоты анодных эффектов на ПАО «Русал Братск». Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: проведен анализ известных решений по проблемам сокращения частоты анодных эффектов; сделан анализ имеющихся статистических данных по количеству анодных эффектов на ПАО «Русал Братск»; собраны и обработаны технологические данные на испытуемых электролизерах, с параллельным анализом данных электролизеров свидетелей; выполнен экономический расчет для подтверждения эффективности и целесообразности предлагаемых решений.

После реализации запланированных мероприятий в рамках данного исследования, удалось добиться снижения частоты анодных эффектов на алюминиевых электролизерах на 10-11%, что непосредственно привело к экономии электроэнергии и снижению выделения парниковых газов при эксплуатации электролизеров с самообжигающимися анодами.

Ключевые слова: анодный эффект, анодный массив, парниковые газы.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация.....	2
СОДЕРЖАНИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	Error! Bookmark not defined.
Цель и задачи исследования	Error! Bookmark not defined.
Методы решения задач	Error! Bookmark not defined.
Ожидаемые результаты	Error! Bookmark not defined.
1 Обзор и анализ мирового и Российского рынка алюминиевой продукции	Error! Bookmark not defined.
1.1 Анализ мирового рынка алюминия	Error! Bookmark not defined.
1.2 Характеристика Российской алюминиевой промышленности	Error! Bookmark not defined.
1.3 Технология производства анодной массы в ПАО «Русал Братск».....	Error! Bookmark not defined.
1.4 Специфика эксплуатации электролизеров с самообжигающимися анодами	Error! Bookmark not defined.
1.5 Анодный эффект. Причины и методы устранения	Error! Bookmark not defined.
2 Основные направления повышения экологической безопасности при эксплуатации электролизеров Содерберга	Error! Bookmark not defined.
2.1 Экологические проблемы при эксплуатации электролизеров Содерберга	Error! Bookmark not defined.
2.2 Пример решения экологических проблем на заводе компании Elkem Aluminium	Error! Bookmark not defined.
2.3 Возможности применения фонарной газоочистки	Error! Bookmark not defined.
2.4 Вторичное укрытие электролизера как способ снижения вредных выбросов	Error! Bookmark not defined.
2.5 Газосборный колокол электролизера с самообжигающимся анодом.	Error! Bookmark not defined.
2.6 Разработка рациональных конструктивных параметров газосборного колокола	Error! Bookmark not defined.
2.7 Оценка эффективности работы горелочных устройств ...	Error! Bookmark not defined.

3 Основные направления энергосбережения в электролизном производстве	Error! Bookmark not defined.
3.1 Мероприятия интенсивного энергосбережения в производстве алюминия	Error! Bookmark not defined.
3.2 Энергетическая модернизация алюминиевых электролизеров	Error! Bookmark not defined.
3.3 Утилизация теплоты анодных газов, удаляемых от алюминиевых электролизеров	Error! Bookmark not defined.
4 Экономическое обоснование и расчет экономической оценки проекта	Error! Bookmark not defined.
4.1 Проект повышения энергетической эффективности на электролизерах ПАО «Русал Братск»	Error! Bookmark not defined.
4.2 Экономическая оценка предлагаемых технологических решений	Error! Bookmark not defined.
5 Возможности снижения анодных эффектов при получении алюминия на электролизерах с обожженными анодами	Error! Bookmark not defined.
6 Оценка экономического эффекта проекта	Error! Bookmark not defined.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	Error! Bookmark not defined.
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	5
Приложение А	82

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. The website of the International Aluminium Institute / Primary aluminium production [Electronic resource] – URL: <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/#linegraph> (accessed: 10.05.2020).
2. Annual report 2019 from the website RUSAL [Electronic resource] – URL: <https://rusal.ru/upload/iblock/a80/a80d85131b9767b1a6eabbe0ab40bae8.pdf> (accessed: 10.05.2020)
3. Ребрик И.И. Экологические проблемы алюминиевого производства / И.И. Ребрик, Б.П.Куликов, И.А. Тарасов // Техничко – экономический вестник «Русского алюминия». – 2003., №2. – С. 20 – 29.
4. Хельге О. Форберг, Возможности повышения конкурентоспособности заводов с технологией Содерберга / Хельге О. Форберг // Техничко – экономический вестник РУСАЛа. – 2006.- №14. – С. 48 – 53.
5. Троицкий, И. А. Металлургия алюминия : [Учеб. пособие для техникумов цв. металлургии] / И. А. Троицкий, В. А. Железнов. – 2-е изд., доп., перераб. – М. : Металлургия, 1984. – 398 с.
6. Marks J. Updated Factors for Calculating PFC Emissions from Primary Aluminum Production / J. Marks, P. Nunez // Light Metals. – 2018. – P. 1519–1525.
7. А. с. 1786194 А1 СССР, МПК С 25 С 3/06. Устройство для гашения анодного эффекта / Деревягин В. Н. – 4893039; заявл. 20.11.1990 ; опубл. 07.01.1993, Бюл. № 1 . – 4 с.
8. Патент 2 321 686 С2 Российская Федерация, МПК С25С 3/20 Способ предотвращения анодного эффекта при получении алюминия / заявитель и патентообладатель Алкан Интернейшнел Лимитед. –

2005114496/02 ; заявл. 29.06.2003 ; опубл. 10.04.2008, Бюл. № 10. – 10 с.

9. Скуратов А. П. Повышение экологической и энергетической эффективности производства алюминия: монография / А. П. Скуратов, С. Г. Шахрай, И. В. Фомичев, А. В. Белянин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2018. – 180 с.

10. Изучение состояния промышленной ванны путем оперативного измерения концентрации глинозема : Сб. докл. XII междунар. конф. «Алюминий Сибири-2006» / А. В. Фролов [и др.]. – Красноярск, 2006. – С. 58–61.

11. Беляев А. И. Поверхностные явления в металлургических процессах / А. И. Беляев, Е. А. Жемчужина - М.: Металлургиздат, 1952. - 371 с.

12. Поведение анода в условиях работы на повышенной силе тока : Сб. докл. X Между-нар. конф. «Алюминий Сибири-2004» / И. В. Черских [и др.] – Красноярск, 2004. – С. 99–106.

13. Бажин, В. Ю. Обоснование ресурсосбережения в технологии производства алюминия в высокоамперных электролизерах с обожженными анодами: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.16.02 / Бажин В. Ю. СПб., - 2012. - с. 40.

14. OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North – East Atlantic. Ministerial Meeting of the OSPAR Commission./ Sintra: 22 – 23 July 1998.

15. Свойства анодной массы на высокотемпературных пеках : Сб. докладов на XIII Международной конференции «Алюминий Сибири – 2007» / В.К. Фризоргер [и др.] – Красноярск, 2007 г. – С. 303-305.

16. Бузунов В.Ю. Технические аспекты экологической безопасности алюминиевого производства / В.Ю. Бузунов, Б.П.

Куликов // Технико-экономический вестник РУСАЛа, – 2005., №11, – С. 5–14.

17. Шахрай С.Г. Проблемы очистки газовых выбросов алюминиевых заводов и пути их решения. Ресурсосберегающие и природозащитные технологии в производстве глинозема, алюминия и сопутствующей продукции / С.Г. Шахрай, Е.В. Сугак : материалы Междунар. Научн. – практ. Конф. – Санкт-Петербург, 2006. – С. 137-152.

18. Пат. 2083727 Российская Федерация. МПК6 С 25 С 3/14. Устройство для укрытия алюминиевого электролизера и подачи глинозема в криолит / А.И. Бегунов; И.С. Гринберг; Б.С. Громов; В.Н. Деревягин; В.Н. Кульков; Р.В. Пак ; ; заявитель и патентообладатель ТОО «Межотраслевой центр проблем экологии и эффективности производства алюминия». - № 94010353/02, заявл. 23.03.1994 ; опубл. 10.07.1997. – 7 с.

19. Пат. 2009266 Российская Федерация, МПК С 25 С 3/10. Укрытие алюминиевого электролизера с обожженными анодами / И.П. Сухоплечев ; заявитель и патентообладатель ОАО «Всероссийский алюминиево-магниевый институт. - № 5009853/02 ; заявл. 5.07.1991 ; опубл. 15.3.1994. – 8 с.

20. Пат. 1388463 СССР, МПК С 25 С 3/22. Укрытие электролизера для получения алюминия / И.Н. Попченков, Я.М. Абугов, В.С. Строгов, Ю.Н. Колосов, заявитель и патентообладатель Всесоюзный науч.-исслед. и проек-й ин-т алюм-й., магн-й и электр-й. пром-ти.,- № 4062149 ; заявл. 25.04.1986 ; опубл. 15.04.1988. – 5 с.

21. Пат. 2309200 Российская Федерация, МПК С 25 С 3/22. Способ обезвреживания газов электролитического производства алюминия / Б.П. Куликов, В.С. Буркат, С.Г. Шахрай ; заявитель и патентообладатель ООО «русская инжиниринговая компания». - № 2006102799/02 ; заявл. 31.01.2006; опубл. 27.10.2007. – 5 с.

22. Нестеров Т.Е. Снижение вредных выбросов в атмосферу при электролизе алюминия (зарубежная практика). / Т.Е. Нестеров // Цветная металлургия, 1983, № 9. – С.12-14.

23. Расчетная инструкция (методика) по определению состава и количества вредных (загрязняющих) веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух при электролитическом производстве алюминия (в ред. Приказа Ростехнадзора от 29.11.2005 № 892).

24. Лашинский А. А. Основы конструирования расчета химической аппаратуры: справочник / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. – Москва : Машгиз, 1970. – с. 752.

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

26. Козьмин, Г. Д. Освоение и эксплуатация способа автоматической подачи глинозема в электролизные ванны / Г. Д. Козьмин, Ф. К. Тепляков // Техн.-экон. вестн. БрАЗа. – 2002. - №6. – С. 11–16.

27. Буркат, В. С. Сокращение выбросов в атмосферу при производстве алюминия : монография / В. С. Буркат, В. А. Друкарев – СПб.: Любавич, 2005. – с. 275.

28. пат. 2324012 Российская Федерация МПК С 25 С 3/22. Газосборное устройство алюминиевого электролизера (варианты) / С. Г. Шахрай, Б. П. Куликов, А.М. Петров и др.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Русская инжиниринговая компания». - №2006114244/02; заявл. 26.04. 2006; опубл. 10.05.2008, Бюл. №13. – 9 с.

29. Шахрай С. Г. Влияние состояния газоходов на эффективность эвакуации газов / С. Г. Шахрай, Э. П. Ржечицкий, В. В. Кондратьев // Сб. докл. XIV Ме-ждунар. конф. «Алюминий Сибири-2008». Красноярск, 2008. – С. 408–411.

30. А. с. 124627 СССР, С 25 С 3/14. Устройство для непрерывной и полунепрерывной подачи глинозема в электролит / П. С. Саакян, М. М. Анабабян. - 624616/22; заявл. 08.04.1959; опубл. 1.01.1959, Бюл. №23.

31. Пат. 2186881 Российская Федерация, МПК7 С 25 С 3/12. Электролизер для получения алюминия с боковым подводом тока / А. И. Бегунов ; заявитель и патентообладатель А. И. Бегунов. - № 2000128961/02; заявл. 20.11.00; опубл. 10.08.02.

32. Исаева, Л.А. Глинозем в производстве алюминия электролизом : монография / Л.А. Исаева, П.В. Поляков ; под общ. ред. А. В. Сыроева ; Красноурьинск: Изд. Дом ОАО «БАЗ», 2000. – с. 199.

33. Попов Ю. Н. Экономическая эффективность литиевых электролитов с учетом очистки алюминия от лития и других примесей / Ю. Н. Попов, М. Adkins, R. Вауер и др. // Сб. докл. IX междунар. конф. «Алюминий Сибири–2003». Красноярск, 2003. – С. 55–68.

34. Юшкова, О. В. Интенсификация растворения глинозема в криалитовом расплаве с использованием предварительной механической активации [Текст] : автореф. дис.канд. техн. наук : 05.16.02 / Юшкова Ольга Васильевна.- Санкт-Петербург, 2012. - 20 с.

35. Бажин В. Ю. Технология дискретного питания для алюминиевых электролизеров / В. Ю. Бажин, В. М. Сизяков, А. А. Власов [и др.] // Сб. докл. IV междунар. конгр. «Цветные металлы–2012». Красноярск, 2012. – С. 454–463.

36. Бузунов В. Ю. Напряжение на ванне. Анодный эффект / В. Ю. Бузунов, П. В. Поляков // Красноярск: VII Высшие алюминиевые курсы, 2004. – с. 9.

37. Рыбьянец И. В. Оптимизация уплотняемости подовых масс алюминиевых электролизеров засчет выбора компонентов и рецептуры / И. В.Рыбьянец, Г. Д. Апалькова, Н. П. Нонишнева [и др.] //

Сб. докл. XIV междунар. конф. «Алюминий Сибири-2008». Красноярск, 2008. – С. 10-11.

38. Иванов В. В. Материал смачиваемого катода алюминиевого электролизера на огнеупорном вяжущем / В. В. Иванов, Г. Е. Нагибин, С. Д. Кирик [и др.] // Сб. докл. II междунар. конгр. «Цветные металлы-2010». Красноярск, 2010. – С. 536–541.

39. Галемов Т. Т. Новый класс разъемных соединений ошиновки алюминиевого электролизера / Т. Т. Галемов, А. М. Петров, Ю. В. Васильев [и др.] // Сб. докл. XIII междунар. конф. «Алюминий Сибири-2007». Красноярск, 2007. – С. 53–57.

40. Галемов Т.Т. Соединение алюминие-вых деталей ошиновки электролизера «гибкий катодный спуск-катоднаяшина» / Т.Т. Галемов, В.И. Кирко, А.М. Петров // Сб. докл. IV междунар. конгр. «Цветные металлы-2012». Красноярск, 2012. – С. 526–531.

41. An innovative compact heat exchanger solution for aluminum off-gas cooling and heat recovery / El Hani Bouhabila, Erling Næss, Victoria Kielland Einejord and [etc.] // Light Metals, 2013. – P. 793–797.

42. Кондратьев В. В. Разработка технологии интенсификации процессов газоудаления и газоочистки алюминиевого производства / В. В. Кондратьев, Е. Р. Шайдуллин, А. В. Завадяк [и др.] // Сб. докл. Четвертого междунар. конгр. «Цветные металлы-2012», 2012. – С. 416–419.

43. Виноградов А. М., Повышение эффективности укрытия электролизеров Содерберга / А. М. Виноградов // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2017. – № 1. – С. 19–30.

44. Балынин И.В. Оценка результативности инвестиционных проектов: правила, показатели и порядок их расчета / И.В. Балынин // Экономический анализ: теория и практика, 2016. – №6. – с.26

45. Белянин, А.В. Энерго- и ресурсосбережение в производстве алюминия : монография / А.В. Белянин – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2014. – с. 146.

46. Бусарова Т.А. Оценка экономического эффекта от внедрения ниокр. на наукоемком предприятии / Т.А. Бусарова // Вестник НГИЭИ, 2018. – №3(82). – с.130

47. Дошлов О.И. Современная ресурсосберегающая технология получения анодной массы в металлургическом производстве / О.И. Дошлов // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2018. – №1. – с.14

48. Ермакова К.Л. Инструменты стратегического анализа деятельности организации / К.Л. Ермакова // Политика, экономика и инновации, 2018. – №4(21). – С.87-91

49. Зельберг, Б.И. Справочник металлурга. Производство алюминия и сплавов на его основе : справочник / Б.И. Зельберг и др. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2015. – с. 64.

50. Бажин В.Ю. Управление анодным эффектом на алюминиевом электролизере / В.Ю. Бажин, А.А. Власов, А.В. Лупенков // Металлург. 2011. № 5. – С. 89-93.

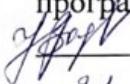
51. Сокращение выбросов перфторуглеродов на ОАО «Русал Братский алюминиевый завод» [Электронный ресурс] : Братск, 2011. – Режим доступа : <https://docplayer.ru/45747504-Naimenovanie-proekta-sokrashchenie-vybrosov-perftoruglerodov-na-oao-rusal-bratskiy-alyuminievyy-zavod.html>

Кеберлейн, А. А., Возможности снижения анодных эффектов при получении алюминия / А.И. Кеберлейн, Кравцова Е. Д. // Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Иркутск, 2021 – С. 20-23.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт цветных металлов и материаловедения
Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ:

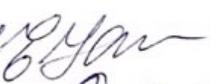
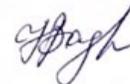
Руководитель магистерской
программы

 Н. В. Белоусова
« 21 » 06 2021 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
в форме магистерской диссертации

**Поиск путей повышения энергетической и экологической
эффективности электролизеров на ПАО «Русал Братск»**

Металлургия цветных металлов (22.04.02.02)

Научный руководитель	15.06.2021 	доцент, канд. тех. наук, Кравцова Е.Д.
Выпускник	2.06.2021 	студент группы ЦМ19-28 М, Кеберлейн А. И.
Рецензент	18.06.2021 	начальник УУТ ДЭ ПАО "РУСАЛ Братск", Вибе Р.С.
Консультанты	15.06.2021 	канд. экон. наук, доцент Твердохлебова Н.В.
Нормоконтролер	21.06.21 	Белоусова Н.В.

Красноярск 2021 г.