

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

Институт цветных металлов и материаловедения (ИЦМиМ)

Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель магистерской
программы

_____ Н.В. Белоусова
подпись

« _____ » _____ 2021 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

в форме магистерской диссертации

**Анализ методов расчета и снижение расхода анодной
массы**

Металлургия цветных металлов (22.04.02.02)

Руководитель	д-р хим. наук, профессор, Белоусова Н.В.
Выпускник	Дриженко А.А.
Рецензент	начальник УУТ ДЭ ПАО "РУСАЛ Братск", Вибе Р.С.
Консультанты:	канд. экон. наук, доцент, Твердохлебова Т.В.
Нормоконтролер	Белоусова Н.В.

Красноярск 2021

АННОТАЦИЯ

Методы расчета удельного расхода анодной массы, используемые на предприятиях алюминиевой промышленности, имеет большую погрешность. В работе описаны два таких метода, рассмотрены их основные ошибки, показаны этапы вычисления расхода анодной массы, проведена оценка адекватности вычислений и даны рекомендации по совершенствованию методов. В целом рассмотренные методы расчета адекватно отражают процессы расхода углерода, однако конечный результат вычислений может существенно отличаться от реального. Величины, принятые постоянными для упрощения расчета, в действительности могут меняться в процессе электролиза, что приводит к значительному изменению конечного результата вычислений. Для корректного вычисления расхода анодной массы предложено внести корректировки в расчет.

Значительную долю в себестоимости алюминия составляют затраты на производство анодной массы. Поэтому актуальна задача снижения её расхода. Расход анодной массы зависит от множества факторов. Чтобы выявить степень влияния основных причин расхода анодной массы, был проведен статистический анализ данных параметров электролиза, анода и анодной массы. Целью данного исследования было определение наиболее значимых факторов, влияющих на расход анодной массы для дальнейшего управления и прогнозирования расхода исходя из текущих технологических (исследуемых) параметров.

В результате исследований сделан вывод, что снижение расхода анодной массы возможно за счет регулирования параметров, влияющих на столб анода, но для этого нужны дополнительные исследования.

Ключевые слова: расход углерода, расход анодной массы, столб анода, анод Содерберга, анод, корреляционно-регрессионный анализ, статистический анализ.

ОГЛАВЛЕНИЕ

АННОТАЦИЯ	2
ВВЕДЕНИЕ	Error! Bookmark not defined.
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	Error! Bookmark not defined.
1.1 Каменноугольный пек	Error! Bookmark not defined.
1.1.1 Физико-химические свойства пека.....	Error! Bookmark not defined.
1.1.2 Групповой состав.....	Error! Bookmark not defined.
1.1.3 Технические требования к пеку.....	Error! Bookmark not defined.
1.2 Электродный кокс	Error! Bookmark not defined.
1.2.1 Производство нефтяного кокса	Error! Bookmark not defined.
1.2.2 Технические требования к коксу	Error! Bookmark not defined.
1.3 Рецептура анодной массы	Error! Bookmark not defined.
1.3.1 Структура анода	Error! Bookmark not defined.
1.3.2 Гранулометрический состав анодной массы.....	Error! Bookmark not defined.
1.3.3 Дозировка связующего	Error! Bookmark not defined.
1.3.4 Дозировка компонентов шихты.....	Error! Bookmark not defined.
1.3.5 Технология производства анодной массы.....	Error! Bookmark not defined.
1.4 Методы модернизации анодов Содерберга.....	Error! Bookmark not defined.
1.4.1 Технология производства альтернативного связующего.....	Error! Bookmark not defined.
1.4.2 Использование тяжелой смолы пиролиза.....	Error! Bookmark not defined.
1.4.3 Проект "Экологический Содерберг" или "коллоидный" анод.....	Error! Bookmark not defined.
1.5 Расход углерода	Error! Bookmark not defined.
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА РАСХОДА АНОДНОЙ МАССЫ.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 Метод расчета на основе статистических постоянных.....	Error! Bookmark not defined.

2.2 Метод расчета расхода анодной массы на основе изменения НЗП столба анода	Error! Bookmark not defined.
ГЛАВА 3. СНИЖЕНИЕ РАСХОДА АНОДНОЙ МАССЫ	Error! Bookmark not defined.
ГЛАВА 4. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ РАСХОДА АНОДНОЙ МАССЫ	Error! Bookmark not defined.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	Error! Bookmark not defined.
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	5
ПРИЛОЖЕНИЕ А	Error! Bookmark not defined.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Янко, Э.А. Аноды алюминиевых электролизеров [Текст] / Э.А. Янко. – М.: Руда и металлы, 2001. - 971 с.
2. Привалов, В.Е. Каменноугольный пек [Текст] / В.Е. Привалов, М. А. Степаненко. – М.: Metallurgy, 1981. – 208 с.
3. Чалых, Е.Ф. Технология и оборудование электродных и электроугольных предприятий / Е.Ф. Чалых. – М.: Metallurgy, 1972. – 432 с.
4. Шмалько, В.М. Мезофаза каменноугольных пеков [Текст]/ В.М. Шмалько, В.В. Карчакова, Ф.Ф. Чешко // Углекимический журнал. – 2013. № 12. – С. 42-48.
5. Тарасюк, Ю.А. Технологические особенности производства каменноугольного пека из смеси каменноугольных смол разных производителей и варианты совершенствования процесса / Ю.А. Тарасюк, Д.Т. Серик, А.А. Букка, Е.Ю. Иващенко, Ф.Ф. Чешко // Углекимический журнал. – 2012. № 5-6. – С. 55-63.
6. Валявин, Г.Г. Процесс замедленного коксования и производство нефтяных коксов, специализированных по применению / Г.Г. Валявин, В.П. Запорин, Р.Г. Габбасов, Т.И. Каллимуллин // Территория нефтегаз. – 2011. №8. – С. 44-48.
7. Янко, Э.А. Требования к прокаленным коксам для производства анодной массы и обожженных анодов / Э.А. Янко // Сб. докладов межотраслевой конференции "Нефтеперерабатывающая и алюминиевая промышленность – развитие сотрудничества, оптимизация связей по поставкам нефтяного кокса". Красноярск, 27-29 марта, 2001. – С. 33-37.
8. Колодин, Э.А. Производство обожженных анодов алюминиевых электролизеров / Э.А. Колодин, В.А. Свердлов, Р.В. Свобода. – М.: Metallurgy, 1980. - 84 с.

9. Твердохлебов, В.П. Нефтяной кокс для алюминиевой промышленности. Технология и свойства / В.П. Твердохлебов, С.А. Храменко, Ф.А. Бурюкин, И.В. Павлов, С.Е. Прошкин // Журнал сибирского федерального университета. Химия. – 2010. №4. – С. 369-386.
10. Луазон, Р. Кокс / Р. Луазон, П. Фош, А. Буайе. – М.: Metallurgia, 1975. - 520 с.
11. Зельберг, Б.И. Справочник металлурга. Производство алюминия и сплавов на его основе / Б.И. Зельберг, Л.В. Рагозин, А.Г. Баранцев, О.И. Ясевич, В.Г. Григорьев, А.Н. Баранов, В.В. Кондратьев. – Иркутск: ИРННТУ, 2015. – 764 с.
12. Гильдебрандт, Э.М. Качество анодной массы в технологии электролиза алюминия с анодом Содерберга / Э.М. Гильдебрандт, Е.П. Вершинина, В.К. Фризоргер // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2014. №1. – С. 17-20.
13. Минцис, М.Я. Электрометаллургия алюминия / М.Я. Минцис, П.В. Поляков, Г.А. Сиразутдинов. – Новосибирск: Наука, 2001. - 368 с.
14. Лебедева, И.П. Подбор оптимального состава пеко-коксовых композиций для Иркутского алюминиевого завода / И.П.Лебедева, Д.Г.Лазарев, Н.П.Лебедева // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2010. №2. – С. 9-13.
15. Сизяков, В.М. Формирование структуры и свойств анодов Содерберга / В.М. Сизяков, В.Ю. Бажин, Е.О. Судницин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. №7 Часть 4. – С.62-64.
16. Патуроев, В.В. Полимербетоны / В.В. Патуроев. – М.: Стройниздат, 1987. – 286 с.
17. Веселовский, В.С. Угольные и графитовые конструкционные материалы / В.С. Веселовский. – М.: Наука, 1966. – 226 с.
18. Черских, И.В. Поведение анода в условиях работы на повышенной силе тока / И.В. Черских, Г.В. Галивец, К.И. Стеблин, С.Г. Андрющенко //

Сб. докл. X междунар. конф. "Алюминий Сибири-2004". Красноярск, 2004. С. 99-106

19. Рыбаков, А.А. Стабилизация вязкости анодной массы за счет управления шихтовкой пека при термостатировании и дозировкой пека // Молодежь и наука: Сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященный 155 летию со дня рождения К.Э. Циолковского [Электронный ресурс]. – Красноярск: - Сибирский федеральный ун-т, 2012.

20. Березовская, В. В. Диаграммы состояния тройных систем: учебное пособие / В. В. Березовская, Е. А. Ишина, Н. Н. Озерец. — 3-е изд., перераб. и доп. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. — 120 с.

21. Шотт, М.В. Влияние гранулометрического состава наполнителя на пластичность анодной массы / М.В. Шотт, Ю.Ю. Спрыгина // Молодёжь и наука: Сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 50-летию первого полета человека в космос [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/section21.html>, свободный.

22. Галевский, Г.В. Совершенствование анода Содерберга при производстве алюминия: прогнозы и реальные результаты / Г.В. Галевский, Х.О. Джалолов // Вестник горно-металлургической секции российской академии естественных наук. – 2015. №34. – С. 30-34

23. Zhong-ning, S. Investigation of the failure of a 300 kA prebaked anode reduction cel / Shi Zhong-ning, Ren Bi-jun, Wang De-xi // Light Metals. - 2006. - P. 458-462.

24. Вершинина, Е.П. Тенденции развития производства связующего для анодов алюминиевых электролизеров / Е.П. Вершинина, Э.М. Гильдебрандт, Е.А. Селина // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2012. № 7. – С. 752-759.

25. Хайрутдинов, И.Р. Состояние и перспективы развития производства кокса и пека из нефтяного сырья / И.Р. Хайрутдинов, М.М. Ахметов, Э.Г. Теляшев // Рос. хим. журнал (Журнал российского химического общества им. Д. И. Менделеева). – 2006. Т. 1. – С. 25-28.

26. Хайрутдинов, И.Р. Опыт производства и применения нефтяных пеков. Тематический обзор / И.Р. Хайрутдинов, Р.Н. Гимаев, А.А. Хайбуллин. – М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1994. – 48 с.

27. United States Patent 4,959,139, IPC C10C 3/00 (20060101); C10C 001/00 (); C10C 003/00 (). Binder pitch and method of preparation / Blakeburn, II; Dave L., Fu; Ta-Wei, Roussel; Keith M.; Assignee: Conoco Inc. № 07/295,425; Filed: 09.01. 1989; Published 25.09.1990

28. Горохов, А.П. Технология получения нового связующего материала – гибридного пека – для анодной массы в алюминиевой промышленности / А.П. Горохов // Вестник ИрГТУ. – 2014. №7. – С. 100-104.

29. Дошлов, О.И. Современная ресурсосберегающая технология получения анодной массы в металлургическом производстве / О.И. Дошлов, К.И. Чижик, И.О. Дошлов, Т.А. Подгорбунская, Р.С. Афанасьева // Вестник ИрГТУ Том 22. – 2018. № 7. – С. 181-192.

30. Дошлов, О.И. Влияние тяжелой смолы пиролиза на свойства анодной массы / О.И. Дошлов, В.В. Кондратьев, А.А. Угапьев // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2013. № 2 (5). – С. 67–75.

31. Лебедева, И.П. Перспективные технологии переработки тяжелой смолы пиролиза ОАО «Ангарский завод полимеров» / И.П. Лебедева, Д.Г. Лазарев, О.И. Дошлов, М.И. Лубинский, Н.П. Лебедева // В мире научных открытий. – 2009. № 5. – С. 25–29.

32. Фризоргер, В.К. Результаты промышленных испытаний изготовления «коллоидной» анодной массы для анода Содерберга / В.К. Фризоргер, Э.М. Гильдебрандт, Е.П. Вершинина // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2010. №2. – С. 36-41.

33. Вершинина, Е.П. Свойства коксопековой композиции анода Содерберга / Е.П. Вершинина, Э.М. Гильдебрандт, В.К. Фризоргер // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2010. №3. – С. 25-28.

34. Пат. 2315711 Российская Федерация, МПК C01B 31/00 (2006.01). Способ приготовления мелкодисперсной углерод-углеродной композиции / В. К. Фризогер, В. Х. Ман, А. Н. Анушенков, С. А. Храмченко; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Русская инжиниринговая компания "(ООО "РУС-Инжиниринг"). № 2005128168/15; заявл. 12.09.2005; опубл. 27.01.2008, Бюл. № 3. – 5 с.

35. Пат. 2317849 Российская Федерация, МПК B01F 7/26 (2006.01). Гидроударно-кавитационный деспергатор для приготовления углерод-углеродных композиций / В. К. Фризогер, В. Х. Ман, А. Н. Анушенков, С. А. Храмченко, В.А. Крюковский, М.И. Крак; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Русская инжиниринговая компания "(ООО "РУС-Инжиниринг"). № 2005128169/15; заявл. 12.09.2005; опубл. 27.02.2008, Бюл. № 6. – 8 с.

36. Пат. 2317944 Российская Федерация, МПК C01B31/00 C25C3/12. Способ производства анодной массы / В. К. Фризогер, В. Х. Ман, А. Н. Анушенков, С. А. Храмченко, В. А. Матвиенко, В.А. Крюковский, М.И. Крак; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Русская инжиниринговая компания "(ООО "РУС-Инжиниринг"). № 2005140161/15; заявл. 22.12.2005; опубл. 27.02.2008, Бюл. № 6. – 5 с.

37. Галевский, Г.В. Металлургия алюминия. Технология, электроснабжение, автоматизация [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов. / Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов. – 4-е изд., стер.– М. : Флинта, 2017. – 529 с., ил.

38. Азизов, Б.С. О механизме протекания электродных процессов на угольном аноде при электролитическом производстве алюминия / Б.С.

Азизов, Х.А. Мирпочаев, Р.М. Бахретдинов // Доклады академии наук республики таджикистан. – 2012. том 55. № 2. – С. 156-162.

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

40. Азизов, Б.С. Влияние плотности тока и температуры электролита на состав анодных газов и удельный расход углерода при производстве алюминия / Б.С. Азизов, А. Муродиён, Х.А. Мирпочаев, Ш.О. Кабиров, Х. Сафиев // Доклады академии наук республики таджикистан. – 2015. том 58. № 12. – С. 1134-1139.

41. Галевский, Г. В. Экология и утилизация отходов в производстве алюминия: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. дипломир. специалистов "Металлургия" / Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис. - 2 -е изд. - М.: Флинта: Наука, 2005. – 268 с.

42. Кондратьев, В.В. Угольная пена алюминиевых электролизеров и углеродные нанотрубки (унт) в ней / В.В. Кондратьев, В.Н. Петровская, Э.П. Ржечицкий, А.А. Немаров, Н.Н. Иванчик // Вестник ИрГТУ. – 2015. №12. – С. 215-222

43. Белоусова, Н. В. Угольная пена в алюминиевом электролизере: проблемы и некоторые пути их решения / Н.В. Белоусова, Н. А. Шарыпов, С. Г. Шахрай, А.И. Безруких // Цветные металлы. – 2017. №8. – С. 43-49.

44. Янко, Э.А. Производство алюминия. Пособие для мастеров и рабочих цехов электролиза алюминиевых заводов / Э.А. Янко. – С.Птб.: Издательство С.Петербургского Университета, 2007. – 305 с.

45. Виноградов, А.М. Исследование влияния состава электролита на расход обожженных анодов при электролитическом получении алюминия / А.М. Виноградов, И.П. Васюнина, Ю.Г. Михалев, П.В. Поляков // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2008. № 5. – С. 28-32

46. Исследование влияния состава электролита на расход анода при электролитическом получении алюминия / Ю.И. Двинин, П.А. Койнов, СИ.

Кузнецов, В.А. Щербаков // Известия вузов. Цветная металлургия. – 1973. – №2. – С. 93-97.

47. Пат. 2415972 Российская Федерация, МПК С25С 3/06 (2006.01)/ С25С 3/12 (2006.01). Ингибитор для анодной массы самообжигающегося анода алюминиевого электролизера / И.В. Лубинский, О.И. Дошлов, М.И. Лубинский, К.И. Чижик, И.П. Лебедева, Д. Г. Лазарев, И.О. Дошлов, Б. В. Щербаков, Е.А. Вершилло, П.А. Синьшинов; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Ангарский завод полимеров" (ОАО "АЗП"). № 2009106900/02; заявл. 26.02.2009; опубл. 10.04.2011, Бюл. №. 10. – 8 с.

48. Гильдебрандт, Э.М. Защита поверхности анода алюминиевого электролизёра от окисления / Э.М. Гильдебрандт, Е.П. Вершинина, В.К. Фризоргер // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2010. - №3. – С. 272-282.

49. А.с. 922183 СССР, МПК С25С 3/06(2006.01). Способ определения удельного расхода углерода анода / А. А. Реваян, Р. М. Казарян, А. О. Гарибян, Г. В. Тоноян, Л. И. Агасиев, А. О. Пайтян, Ц. К. Минасян (СССР). - № 2932914/22-02; заявл. 29.05.80; опубл. 23.04.82, Бюл. № 15. – 5 с.

50. Пат. 2 281 988 Российская Федерация, МПК С25С 3/12(2006.01). Способ определения удельного расхода анодной массы/ Лазарев Валерий Дмитриевич; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Сибирский научно-исследовательский, конструкторский и проектный институт алюминиевой и электродной промышленности (ОАО "СибВАМИ"). № 2002123628/02; заявл. 2002.09.04; опубл. 2006.08.20, Бюл. №. 23. – 7 с.

51. Fisher, W.K. Inderdependence between anode net consumption and pot design, pot operating parameters and anode properties [Текст] / W.K. Fisher, F. Keller, R.C. Perruchoud // Light Metals. - 1991. - P. 681-686.

52. Shimanskii, A. Aluminum Smelting Carbon Dust as a Potential Raw Material for Gallium and Germanium Extraction / A. Shimanskii, A. Yasinskiy, I. Ya-

kimov, V. Losev, O. Buyko, A. Malyskin, Y. Kazantsev // JOM. – 2021. – Vol. 73. – P. 1103–1109.

53. Sommerseth, C Spatial methods for characterising carbon anodes for Alu-minium production / C. Sommerseth, R. J. Thome, S. Rorvik, E. Sandnes, A. P. Ratvik, L. P. Lossius, H. Linga, A. M. Svensson // Light Metals. – 2015. – P. 1141 – 1146.

54. Piskazhova, T.V. Multivariate statistical investigation of carbon consumption for hss reduction cell / T. V. Piskazhova, P. V. Polyakov, N. A. Sharypov, A. V. Krasovitsky, S. A. Sorokin// Light Metals. – 2012. – P.643-647.

55. Belousova, O.V. The Analysis of the Influence of Manufacturing Practice of Anode Paste on Its Consumption / O. V. Belousova, K. V. Kostina // Materials Science Forum. – 2019, February. - Vol. 946 - P. 395–400.

56. Feshchenko, R.Yu. Analysis of the anode paste charge composition / R. Yu. Feshchenko, E. A. Feshchenko, R. N. Eremin, O. O. Erokhina, V. M. Dydin // Metallurgist, Vol. 64, Nos. 7-8, November, 2020 (Russian Original Nos. 7-8, July–August, 2020). –P. 615-622

57. Furquim, B. Dry aggregate particle size distribution optimization for Soderberg anode paste production applied to Aluminum industry / Beatriz Furquim Vry, Walter Pomarico, Fabio Ferraço, Rodrigo Sampaio Fernandes, Sylma Carvalho Maestrelli // Materials Science Forum. – 2014, December. – Vol. 802. – P. 291-296

58. Perez, S.P. Quality Improvement for Anode Paste Used in Electrolytic Production of Aluminium / S.P. Perez, J. Doval-Gandoy, A. Ferro, F. Silvestre // Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2005 Industry Applications Conference. - 2005. – P. 523 – 528.

59. Shakhrai, S. G. Increasing the efficiency of the impregnation of coke with pitch in the production of anode paste for aluminum cells / S. G. Shakhrai, N. A. Sharypov, A. V. Belyanin // Metallurgist, Vol. 58, Nos. 11–12, March, 2015 (Russian Original Nos. 11–12, November–December, 2014). – P. 1046 – 1048.

60. Einar Saue, Nils Improvement of anode paste quality and performance of alcoa lista / N. E. Saue, J. O. Ystgaard, J.-I. Johannessen, M. W. Meier, R. C. Peruchoud // Light Metals. – 2012. – P. 1159-1163.

61. Kolodin, É. A. Use of petroleum pitches in production of anode paste and baked anodes / É. A. Kolodin & V. A. Sverdlin // Chemistry and Technology of Fuels and Oils volume. – 1982. – P. 392–394.

62. Алпатов, Ю.Н. Методика декомпозиции модели производственного процесса на звенья первого порядка / Ю.Н. Алпатов, А.А. Дриженко // Системы. Методы. Технологии. – 2015. - №2 (26). - С. 94-100

63. Мещеряков, И.В. Разработка и исследование многоступенчатого гидроударно-кавитационного устройства для мелкодисперсного измельчения труднообогатимых руд: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Мещеряков Иван Валерьевич. – Красноярск, 2014. – 209 с.

64. Есипов, В. Коммерческая оценка инвестиций: учебное пособие / В.Е. Есипов, Г.А.Маховикова, Т.Г. Касьяненко, С.К. Мирзажанов; под ред. В.Е. Есипова. — М.: КНОРУС, 2016. — 698 с.

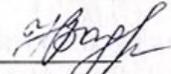
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения (ИЦМиМ)

Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель магистерской
программы


подпись

Н.В. Белоусова

« 21 » июня 2021 г.

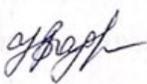
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

в форме магистерской диссертации

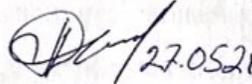
Анализ методов расчета и снижение расхода анодной массы

Металлургия цветных металлов (22.04.02.02)

Руководитель

 д-р хим. наук, профессор,
21.06.21 Белоусова Н.В.

Выпускник

 27.05.21 Дриженко А.А.

Рецензент

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

Консультанты:

 19.06.21 канд. экон. наук, доцент,
Твердохлебова Т.В.

Нормоконтролер

21.06.21 Белоусова Н.В.

Красноярск 2021