

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

Институт цветных металлов и материаловедения (ИЦМиМ)  
Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующая кафедрой МЦМ  
\_\_\_\_\_ Н.В. Белоусова  
подпись, инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
в форме магистерской диссертации**

**Автоматическое определение положения анодной рамы и анодного  
кожуха**

Металлургия цветных металлов (22.04.02.02)

Руководитель	д-р хим. наук, профессор Белоусова Н.В.
Выпускник	Меркулов Е.И.
Рецензент	менеджер ДЭ ПАО «РУСАЛ Братск», Ножко С.И.
Консультанты	канд. эконом. наук, доцент Твердохлебова Т.В.
Нормоконтролер	Белоусова Н.В.

Красноярск 2021

## **Аннотация**

На сегодняшний день определение положения анодной рамы и анодного кожуха на алюминиевых электролизерах с самообжигающимся анодом производят обычной линейкой. Обзор предлагаемых методов измерений показал, что в настоящее время нет полностью автоматизированных решений, исключающих участие технического персонала в этой процедуре

В работе разработано полностью автоматизированное устройство для непрерывного мониторинга положения анодной рамы и кожуха, способное проводить непрерывные измерения без участия технического персонала.

Способ является бесконтактным, предполагает использование специальных датчиков, обработку данных контроллером на базе Atmel и сбор информации в облачной среде Blynk.

Также в работе представлен новый способ оценки производительности электролизеров с самообжигающимся анодом и верхним токоподводом.

В экономическом разделе рассчитаны затраты на оборудование и экономическая выгода от внедрения предлагаемого решения в производство.

**Ключевые слова:** электролизер, самообжигающийся анод, технико-экономические показатели, автоматизация измерений, анодная рама, газосборный колокол

## Содержание

Введение .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1. Конструкция анодного устройства и обслуживание	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2. Анализ способов определения положения анодного кожуха и анодной рамы в автоматическом режиме .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3. Описание устройства для определения положения анодной рамы и кожуха в автоматическом режиме .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4 Способы определения уровня металла в электролизере	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1 Измерение уровня металла с помощью ломика ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2 Измерение положения анода относительно внешней точки .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3 Вывод по оценке производительности из существующих способов определения наработки металла в электролизерах .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3 Автоматическое определение положения анодного кожуха.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5 Расчёт экономического эффекта .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.1 Экономический эффект от мониторинга положения рамы .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2 Эффект от внедрения стабилизации положения анодного кожуха	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Список используемой литературы.....	3

## Список используемой литературы

1. Производство алюминия : справочник металлурга по цветным металлам / А. А. Костюков [и др.] ; под ред.: Ю. В. Баймаков. - Москва : Металлургия, 1971. - 560 с.
2. Пат. 2155825 МПК C25C 3/12 Анодное устройство электролизера с самообжигающимся анодом с верхним токоподводом / А. П. Спиридонов ; патентообладатель : Акционерное общество открытого типа «Всероссийский аюминиево-магниевый институт» - № 97120590/02 ; заявл. 11.12.1997 ; опубл. 10.09.2000
3. Пат. RU2266984C1 МПК C25C 3/10 Устройство для прорезки периферии самообжигающегося анода алюминиевого электролизера / А. Г. Маркунин ; патентообладатель Открытое акционерное общество «ВОЛГОГРАДСКИЙ АЛЮМИНИЙ» - № 2004118647/02 ; заявл. 18.06.2004 ; опубл. 27.12.2004, Бюл. № 36
4. Пат. RU2177054C2 МПК C25C 3/12 Установка для подачи анодной массы в электролизер для получения алюминия / Ю. М. Сотников ; патентообладатель Открытое акционерное общество «Братский алюминиевый завод» - № 99102231/02 ; заявл. 04.02.1999 ; опубл. 20.12.2001
5. Пат. RU2486293C1 МПК C25C 3/22 (2006.01) Способ перестановки штырей на алюминиевом электролизера с верхним токоподводом / Э. М. Гильдебрандт ; патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет» - № 2011154398/02 ; заявл. 29.12.2011 ; опубл. 27.06.2013, Бюл. № 18
6. Технологическая инструкция "Электролитическое получение алюминия-сырца" ПАО «РУСАЛ-Братск» ТРП №440.01.01.07 редакция 15
7. Технологическая инструкция "Электролитическое получение алюминия-сырца" ПАО «РУСАЛ-Братск» КПВО №440.01.01.16.02

8. Пат. RU152438U1 МПК C25C 3/22 (2006.01). Газосборный колокол алюминиевого электролизера с самообжигающимся анодом / Е. С. Голоскин ; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Объединенная Компания РУСАЛ Инженерно-технологический центр" - № 2014147231/02 ; заявл. 24.11.2012 ; опубл. 27.05.2015, Бюл. № 15

9. Пат. SU1089175A1 МПК C25C 3/06 (2006.01). Способ определения удельного расхода углерода анода / А. А. Ревазян ; патентообладатель Научно – исследовательский и проектный институт цветной металлургии № 3500623/02-22 ; заявл. 18.10.1982 ; опубл. 30.04.1984, Бюл. № 16

10. Власов А. А. Использование глинозема песчаного типа для производства алюминия / А. А. Власов // Вестник иркутского государственного технического университета – 2017. – Т. 21, № 6. – С. 111–118.

11. Пат. RU2517623C1 МПК C25C 3/12 (2006.01). Способ обслуживания алюминиевого электролизера с самообжигающимся анодом / В.В. Пингин ; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Объединенная Компания РУСАЛ Инженерно-технологический центр" - № 2012158363/02 ; заявл. 29.12.2012 ; опубл. 27.05.2014, Бюл. № 15

12. Пат. RU2690903C1 МПК C25C 3/10(2006.01)C25C 7/06(2006.01). машина для перетяжки анодных рам алюминиевого электролизера / Д.А. Купин ; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Объединенная Компания РУСАЛ Инженерно-технологический центр" - № 2018135901 ; заявл. 16.03.2016 ; опубл. 06.06.2019, Бюл. № 16

13. Пат. RU2631074C1 МПК C25C 3/20(2006.01). способ автоматической стабилизации положения анодного кожуха алюминиевого электролизера и устройство для его осуществления / А.В. Своевский ; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Объединенная Компания РУСАЛ Инженерно-технологический центр" - № 2000123486/02 ; заявл. 22.06. 2016 ; опубл. 18.09.2017, Бюл. № 26

14. Пат. RU2213164C2 МПК C25C 3/20(2006.01). способ автоматической стабилизации положения анодного кожуха электролизера для получения алюминия / В.Н. Деревягин; патентообладатель Открытое акционерное общество "Красноярский алюминиевый завод" - № 2016125084 ; заявл. 11.09.2000 ; опубл. 27.09.2003

15. Пат. SU827603A1 МПК C25C 3/20(2006.01). Устройство для измерения перемещения анода алюминиевого электролизера / З.М. Туринский ; патентообладатель Всесоюзный научно – исследовательский и проектный институт алюминиевой, магниевой и электродной промышленности и Днепровский алюминиевый завод - 2790411, 1979.06.11 ; заявл. 11.06.1979 ; опубл. 07.05.1981

16. Сорокина, А. А. Разработка парктроника на базе arduino uno : сборник статей Международной научно-практической конференции/ А.А.СОРОКИНА. – Уфа: 2020.- 62-66с.

17. Bohn, D. A. Effects of environment on accuracy of ultrasonic sensor operates in millimeter range / D. A. Bohn // Perspectives in Science.2016. -vol. 8. PP. 574—576

18. Лексин, К. А. Мобильная система для оптимального построения 2-D схемы замкнутого пространства с препятствиями на МК Arduino : дис. ... канд. тех. наук 02.03.03 / Лексин Кирилл Александрович. – Белгород, 2018. – 71 с.

19. Кульков, А. В. Математическая модель зависимости значения распространения скорости звука в воздухе от его физических характеристик / А.В. Кульков / Современные тенденции в науке и образовании : сб. науч. тр. - Нефтекамск : Научно – издательский центр «Мир науки», 2017. – С. 21–25.

20. Калинин, А. И. Компенсация ошибки измерения импульсных ультразвуковых дальномеров по показаниям датчиков температуры, атмосферного давления и относительной влажности воздуха / А.И. Калинин //

Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. - 2015,  
- № 52 – С. 125- 130.

21. Калинин, А. И. Калибровка импульсных ультразвуковых дальномеров по показаниям датчиков температуры, атмосферного давления и относительной влажности воздуха на отладочном макете пЛИС altera de1 board / А. И. Калинин // Многоядерные процессоры, параллельное программирование, пЛИС, системы обработки сигналов. - 2015. – Т. 1. - № 5. – С. 33-38

22. Могильный, С. Б. Разработка системы управления роботизированной платформой с ультразвуковым радаром HC-SR04 / С. Б. Могильный // Вісник національного технічного університету україни кївський політехнічний інститут. серія: радіотехніка. радіоапаратобудування, - 2017. – № 68. – С. 43–47

23. Ультразвуковой датчик измерения расстояния hc-sr04 / В. А. Жмудь [идр.] // Автоматика и программная инженерия, 2017. - № 4 (22). – С. 18 – 26.

24. Колотухина, К. И. Изучение микроконтроллеров: подключение ультразвукового дальномера к Arduino / К. И. Колотухина / Инновационные технологии в науке и образовании. – Пенза: Наука и Просвещение, – 2017 - С. 197-199.

25. Джереми Б. Инструменты и методы технического волшебства / Б. Джереми - Спб.:БХВ-Петербург, 2015. – 336 с.

26. Петин В. А. Проекты с использованием контроллера Arduino (+коды) / В. А. Петин - СПб.: БХВ Санкт-Петербург, 2014. –400 с.

27. Техническая документация на микроконтроллер ARDUINO UNO – Режим доступа: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3> (16.03.2020)

28. Техническая документация на ультразвуковой датчик HC-SR04 - Режим доступа: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf> (16.03.2020)

29. Разбираемся с ARDUINO IDE – Режим доступа: <https://alexgyver.ru/lessons/arduino-ide/> (20.03.2020)

30. Толстошеев, В. В. Цифровой измеритель температуры на arduino / В. В. Толстошеев // Молодежь XXI века шаг в будущее : Материалы XXI региональной научно-практической конференции. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2020. – С. 226-227.

31. Айнакулов, Ж. Ж. Подключение датчика температуры и влажности DHTXX к контроллеру АРМ на базе платы Arduino для использования на мультикоптерах / Ж. Ж. Айнакулов / Проблемы оптимизации сложных систем – Алматы : Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК. – 2018. –С. 79-91.

32. Абдрахманов, В. Х Разработка средств автоматизации с использованием wi-fi модулей esp8266 и lрwan технологий. / В. Х. Абдрахманов// Электротехнические и информационные комплексы и системы – 2017.– Т. 13, № 4. – С. 98-108.

33. Кухтик, М. П. Проектирование интерфейса системы управления "умный дом" на базе платформы blynk / М. П. Кухтик // Известия волгоградского государственного технического университета. – 2020. - № 1 (236). – С. 65 – 67.

34. Филимонов, Н. Е. Разработка системы автоматизации "умный дом" на базе платформы для "интернета вещей" blynk / Н. Е. Филимонов/ Смотр-конкурс научных, конструкторских и технологических работ студентов волгоградского государственного технического университета. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет. – 2019. – С. 49–50.

35. Перельгин, Ю. П. Зависимость катодного выхода по току металла при электролизе расплавов от режимов электролиза / Ю.П. Перельгин // Альманах современной науки и образования. - 2013, - № 6 (73) – С. 125- 127.

36. Пат. RU2018660874. ПО АРМ «СМиТ» («Старшего мастера и технолога» / Н.М. Кухтенко ; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Объединённая Компания РУСАЛ Инженерно-



технологический центр» - № 2018660874 ; заявл. 24.07.2018 ; опубл. 29.08.2018  
Бюл. №9

37. Пат. RU19835U1 МПК C25C 3/12 (2000.01). Устройство для измерения уровня металла и электролита в ванне алюминиевого электролизера / Ю.А. Щербаков ; патентообладатель Открытое акционерное общество "Сибирский научно-исследовательский, конструкторский и проектный институт алюминиевой и электродной промышленности" - № 2001107237/20 ; заявл. 20.03.2001 ; опубл. 10.10.2001

38. Добрынина, Н. Ю. Электрохимия расплавов : учебное пособие / Н. Ю. Добрынина, Т. М. Барбина, А. Н. Ватолин. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018. – 104 с.

39. Пат. RU2425178C2 МПК C25C 3/06 (2006.01). Способ измерения уровней расплавов металла и электролита на электролизере для производства алюминия / С. И. Ножко ; патентообладатель С. И. Ножко - № 2009125370/02 ; заявл. 02.07.2009 ; опубл. 27.07.2011 Бюл. № 21

40. Лондонская биржа металлов: LME Алюминий – Режим доступа: <https://www.lme.com/en-GB/Metals/Non-ferrous/Aluminium#tabIndex=0> (дата обращения 01.06.2021)

41. Сафиев, Х. О механизме протекания электродных процессов на угольном аноде при электролитическом производстве алюминия / Х.Сафиев // Доклады академии наук республики Таджикистан. – 2012, №2 (55). – С. 156-162.

42. Пискажова, Т.В Анализ расхода анодной массы и электроэнергии для электролизеров Надвоицкого алюминиевого завода методами многомерной статистической обработки / Т.В Пискажова // Журнал сибирского федерального университета. Серия : Техника и технологии. -2012, № 5 (5). – С. 538 – 553.

43. Прайс на требуемое оборудование - Режим доступа: <https://store.arduino.cc/usa/other-shields/components-sensors>(дата обращения 01.10.2020)

44. Поляков, П.В. Пути снижения удельного расхода энергии при электролитическом получении алюминия / П.В. Поляков :Материалы III Международной научно-технической конференции, посвященной 75-летию кафедры металлургии легких металлов – Екатеринбург : УрФУ. – 2014. С. 91-96.

45. Николаев, А. Ю. Расчет цеха электролитического получения алюминия: электронное текстовое издание : учебно-методическое пособие / А. Ю. Николаев, А. В. Суздальцев - Екатеринбург : Информационный портал УрФУ, 2015. – 45 с.

46. Терентьев, В. Г. Производство алюминия : пособие для специалистов / В. Г. Терентьев, Р. М. Школьников – Новокузнецк : НП "Алюминий". 2000. – 338с.

47. Криворученко, В. В. Тепловые и энергетические балансы алюминиевых и магниевых электролизеров : учеб. пособие для студентов / В.В.Криворученко, М.А. Коробов. – Москва : Металлургиздат, 1963. – 320с.

48. Скуратов, А. П. Увеличение энергоэффективности алюминиевого электролизера на основе математического моделирования / А. П. Скуратов, А. А. Пьяных, С. Д. Скуратова // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 5(32). – С. 163-168.

49. Великанова, И. А. Электрохимический синтез и гидроэлектрометаллургия : Сборник задач / И. А. Великанова, Н. П. Иванова, И. М. Жаринский. – Минск : БГТУ, 2013. – 105 с.

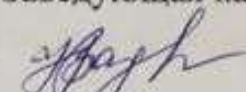
50. Иркутскэнергообит - Режим доступа:  
<https://sbyt.irkutskenergo.ru/qa/6825.html>(дата обращения 01.03.2021)

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

Институт цветных металлов и материаловедения (ИЦМиМ)

Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующая кафедрой МЦМ



Н.В. Белоусова

подпись

« 21 » 06 2021 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**в форме магистерской диссертации**

**Автоматическое определение положения анодной рамы и  
анодного кожуха**

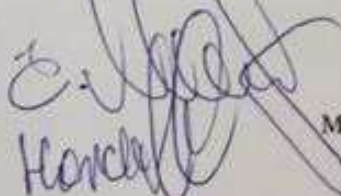
Металлургия цветных металлов (22.04.02.02)

Руководитель



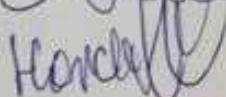
21.06.21 д-р хим. наук, профессор,  
Белоусова Н.В.

Выпускник



14.06.21 Меркулов Е.И.

Рецензент



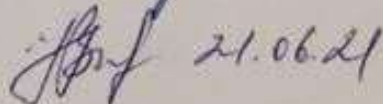
менеджер ДЭ ПАО "РУСАЛ Братск",  
15.06.21 Ножко С.И.

Консультанты:



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

Нормоконтролер



21.06.21 Белоусова Н.В.

Красноярск 2021