

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ 212.224.03
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 28.09.2022 г. № 17

О присуждении **Полякову Андрею Александровичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Распределение тока и потенциала по поверхности вертикальных электродов при электролитическом получении алюминия» по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов принята к защите 26.07.2022 года, протокол заседания № 14 диссертационным советом ГУ 212.224.03 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Горного университета о создании диссертационного совета от 25.06.2019 № 836 адм, с изменениями от 25.11.2019 № 1605 адм, от 08.12.2020 № 1775 адм, от 05.02.2021 № 178 адм, от 21.04.2021 № 788 адм, от 30.06.2021 № 1307 адм, от 12.07.2021 № 1382 адм, от 22.04.2022 № 711 адм.

Соискатель, **Поляков Андрей Александрович**, 8 марта 1994 года рождения, в 2018 году окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» по направлению подготовки 22.04.02 Metallургия.

С 2019 года по настоящее время является аспирантом очной формы обучения на кафедре металлургии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре металлургии в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель - доктор технических наук, **Горланов Евгений Сергеевич**, заместитель директора по научному обеспечению Научного центра «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Официальные оппоненты:

Цымбулов Леонид Борисович – доктор технических наук, профессор, Общество с ограниченной ответственностью «Институт Гипроникель», департамент по исследованиям и разработкам, директор департамента;

Федорова Елена Николаевна – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», Политехнический институт, кафедра прикладной механики, доцент; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»**, г. Екатеринбург – в своем положительном отзыве, подписанном Мамяченковым Сергеем Владимировичем, доктором технических наук, старшим научным сотрудником, заведующим кафедрой металлургии цветных металлов, и утвержденном Германенко Александром Викторовичем, доктором физико-математических наук, доцентом, проректором по науке, указал, что разработка технических решений, обеспечивающих повышение стабильности электролиза криолитоглиноземных расплавов является актуальной задачей для алюминиевой отрасли.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 7 печатных работах, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 5 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Зарегистрирована заявка на патент.

Общий объем – 2,38 печатных листов, в том числе 1,23 печатных листов - соискателя.

Публикации в изданиях из Перечня ВАК

1. Горланов, Е.С. К вопросу о применении твердых электродов для электролиза криолитоглиноземных расплавов. Часть 3. Распределение электрического поля на электродах / Е.С. Горланов, А.А. Поляков // Вестник Иркутского государственного технического университета – 2021. – Т. 25. – № 2. – С. 27-32 (№ 360 перечня, ред. 25.12.2020).

Соискателем выполнены расчеты третичного распределения тока и потенциала по гладкой и шероховатой поверхности катодов алюминиевых электролизеров, получены аналитические модели распределения тока,

устанавливающие функциональную зависимость между распределением тока, неравномерной геометрией электродов и кинетическими параметрами катодного процесса.

2. Горланов, Е.С. Электролитическое производство алюминия. Обзор. Часть 1. Традиционные направления развития / Е.С. Горланов, В.Н. Бричкин, **А.А. Поляков** // Цветные металлы – 2020. – Т. 2020. - № 2. – С. 36-41 (№ 957 перечня, ред. 24.07.2019 МБДиСЦ СА(pt), Scopus).

Соискателем проведена часть аналитического обзора текущего состояния технологии электролитического получения алюминия Эру-Холла, выявлены и обоснованы дальнейшие пути совершенствования существующей технологии электролиза.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. **Polyakov, A.A.** Analytical modeling of current and potential distribution over carbon and low-consumable anodes during aluminum reduction process / **A.A. Polyakov**, E.S. Gorlanov, E.A. Mushihin // Journal of the Electrochemical society – 2022. V. 169 - № 5. – 053502.

Поляков, А.А. Аналитическое моделирование распределения тока и потенциала по поверхности углеродных и малорасходуемых анодов при электролитическом получении алюминия / **А.А. Поляков**, Е.С. Горланов, Е.А. Мушихин // Журнал электрохимического сообщества – 2022. Т. 169 – № 5. – 053502.

Соискателем разработана аналитическая модель третичного распределения тока по поверхности вертикальных малорасходуемых анодов при электролитическом получении алюминия, получена функциональная зависимость между распределением тока, неравномерной геометрией электродов и кинетическими параметрами анодного процесса с использованием малорасходуемых анодов.

4. Gorlanov, E.S. Electrolytic production of aluminium. Review. Part 2. Development prospects / E.S.Gorlanov, R. Kawalla, **A.A. Polyakov** // Tsvetnye Metally – 2020. – V. 2020. - № 10. – P. 42-49.

Горланов, Е.С. Электролитическое производство алюминия. Обзор. Часть 2. Перспективные направления развития / Е.С. Горланов, Р. Кавалла, **А.А. Поляков** // Цветные металлы – 2020. – Т. 2020. – № 10. – С. 42-49.

Соискателем проведена часть литературного обзора перспективных технологий электролитического получения алюминия, определены дальнейшие пути совершенствования технологии электролиза с инертными анодами и технологий утилизации теплопотерь, установлено, что неравномерное распределение тока и потенциала является одной из

основных причин дестабилизации электролиза и повышенной коррозии малорасходуемых анодов

5. Zavadyak, A. Transfer processes in the bath of high amperage aluminium reduction cell / A. Zavadyak, P. Polyakov, A. Yasinskiy, I. Puzanov, Y. Mikhalev, S. Shakhrai, N. Sharypov, O. Yushkova, **A. Polyakov** // TMS: Light Metals – 2019. – p. 773-777.

Завадяк, А. Транспортные процессы в электролите высокоамперного алюминиевого электролизера / А. Завадяк, П. Поляков, А. Ясинский, И. Пузанов, Ю. Михалев, С. Шахрай, Н. Шарыпов, О. Юшкова, **А. Поляков** // TMS: Легкие металлы – 2019. – с. 773-777.

Соискателем проводились измерения направлений потоков электролита на различных участках промышленных электролизеров на базе Саяногорского алюминиевого завода с последующей обработкой экспериментальных данных, получено распределение скорости электролита в алюминиевом электролизере, установлены величины скорости потоков электролита.

6. Polyakov, P. Anode overvoltage on the industrial carbon blocks / P. Polyakov, A. Yasinskiy, **A. Polyakov**, A. Zavadyak, Y. Mikhalev, I. Puzanov // TMS: Light Metals – 2019. – p. 811-816.

Поляков, П. Анодные перенапряжения на промышленных угольных блоках анодов / П. Поляков, А. Ясинский, **А. Поляков**, А. Завадяк, Ю. Михалев, И. Пузанов // TMS: Легкие металлы – 2019. – с. 811-816.

Соискателем проводилась подготовка образцов кернов анодных блоков и последующие лабораторные экспериментальные измерения их кинетических параметров в процессе электролиза, принималось участие в измерительных работах, проводившихся на базе Саяногорского алюминиевого завода; получены поляризационные зависимости анодного перенапряжения от параметров качества обожженных анодных блоков.

7. Mikhalev, Y.G. Spikes generation on anode of aluminum reduction cell/ Y.G. Mikhalev, P.V. Polyakov, A.S. Yasinskiy, **A.A. Polyakov** // Tsvetnye Metally – 2018. – V. 2018. - № 9. – p. 43-48.

Михалев, Ю.Г. Возникновение конусов на аноде алюминиевого электролизера / Ю.Г. Михалев, П.В. Поляков, А.С. Ясинский, **А.А. Поляков** // Цветные металлы – 2018. – Т. 2018. - № 9. – с. 43-48.

Соискателем проведен поиск и анализ литературных источников по теме конусообразования на современных высокомоощных алюминиевых электролизерах, разработана математическая модель распределения тока по поверхности обожженных анодов, учитывающая влияние концентрации глинозема и угольной пены на равномерность распределения тока.

Патент:

8. Заявка на изобретение № 2022118534 (дата приоритета: 07.07.2022). «Способ получения композитного углеродсодержащего материала». Авторы: **А.А. Поляков**, Е.С. Горланов, И.Н. Пягай, В.А. Рудко, Е.А. Мушихин. Заявитель: федеральное государственное бюджетное образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Соискателем проведен патентный поиск и подробный анализ аналогов.

Апробация работы проведена на всероссийских и международных конференциях, где обсуждались положения и результаты исследований диссертационной работы:

- XVIII Международный форум-конкурс для студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования», 16-28 мая 2022 г., на базе Санкт-Петербургского горного университета.
- Международный форум-конкурс докладов Молодых Ученных, проводимого институтом ИОМ³, Великобритания, 12 ноября 2020 г., участие в формате онлайн.

В диссертации Полякова Андрея Александровича отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: заведующего лабораторией химии гетерогенных процессов, главного научного сотрудника ФГУБН Института химии твердого тела УрО РАН, д.т.н. **Н.А. Сабирзянова**; заместителя генерального директора ООО «Эксперт-Ал», к.т.н. **А.П. Скворцова**; заведующего кафедрой «Композиционные материалы и физико-химия металлургических процессов» Института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», д.т.н., профессора **А.Ф. Шиманского**; директора ООО ТД «Легкие металлы», к.т.н. **О.Н. Поповой**; советника АО «РУССКИЙ АЛЮМИНИЙ Менеджмент», д.т.н., профессора **В.А. Крюковского**;

В отзывах дана положительная оценка выполненного исследования, отмечена актуальность темы диссертации, обоснованность выбранных методов и подходов, их грамотное изложение, степень проработки проблемы, высокий уровень предложенных решений и рекомендаций, практическая применимость результатов, однако имеется ряд вопросов и замечаний:

К сожалению, в автореферате не уделено достаточно внимания влиянию материала электродов, в частности инертных на основе Cu-Fe-Ni (д.т.н. **Н.А. Сабирзянов**).

В автореферате не обсуждается вопрос влияния формы эллипса, например его эксцентриситета, на распределение тока и потенциала (д.т.н. **Н.А. Сабирзянов**).

Проведение укрупненных испытаний, демонстрирующих влияние распределения тока на электролитический процесс, в большей мере способствовало бы доказательности проводимых автором рекомендаций (к.т.н. **О.Н. Попова**).

На аналитической модели не проведена оценка формы электрода при различной концентрации глинозема. Результаты получены при концентрации 5 %. При промышленной эксплуатации концентрация может быть ниже, что и приведет к росту потенциала в локальных точках, увеличению концентрационного и диффузионного перенапряжения. В этом случае неравномерность распределения тока и стабильность ванны может значительно ухудшиться. Тогда параметром, определяющим оптимальную плотность тока, может быть не форма электрода, а условия доставки глинозема и эвакуации анодных газов (к.т.н. **А.П. Скворцов**).

В литературном обзоре излишне подробно описаны достижения в области традиционного электролиза алюминия при горизонтально расположенных электродах. Опыт работы на вертикальных электродах, в т.ч. распределение тока при производстве магния, никеля и меди не описан. Также не отражены работы отечественных исследователей (Г.В. Форсблом, А.М. Цыплаков и др.) по данной тематике. Работа безусловно выиграла бы при ее дополнении патентным обзором по рассматриваемой тематике (к.т.н. **А.П. Скворцов**).

Экономический эффект подсчитан неточно. Приведен расчет ожидаемой эффективности за счет увеличения производительности за счет расчетного увеличения плотности и пропорционального увеличения силы тока. При этом не учтены возможные изменения выхода по току и расхода электроэнергии. Также не учтены рост производственных затрат, увеличение стоимости электродов и расходы на НИР при проведении опытно-промышленных исследований (к.т.н. **А.П. Скворцов**).

Рекомендацией и логическим продолжением работы могли бы быть не дальнейшие лабораторные исследования, а необходимость проведения опытно-промышленных испытаний (к.т.н. **А.П. Скворцов**).

Имеются стилистические неточности в описании, например: степень достоверности обусловлена соответствием тенденциям развития, описана разработка модели, получена заявка на патент и др. (к.т.н. **А.П. Скворцов**).

Согласно современным трендам развития производства первичного алюминия, электролиз с применением малорасходуемых электродов

осуществляется в легкоплавких электролитах системы $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ с целью снижения скорости коррозии материалов электродов. Однако в исследованиях, проведенных автором, рассматриваются системы только с традиционным составом электролита, используемого в системах с обожженными анодами (д.т.н. **В.А. Крюковский**).

В качестве катодов рассматриваемых автором систем используются металлические электроды, которые, очевидно, не могут быть использованы в реальных промышленных условиях, так как их использование приведет к получению алюминиевых сплавов, а не чистого алюминия (д.т.н. **В.А. Крюковский**).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетенцией в данной области.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан способ электролиза электролиза криолитоглиноземных расплавов с применением вертикальных электродов эллиптической формы, обеспечивающей наиболее равномерное распределение тока по поверхности электродов;

предложены механизмы ускоренной коррозии анода и солевой пассивации катода, вызванные неравномерным распределением тока и потенциала;

установлено повышение неравномерности распределения тока до 50 % на краях и в периферийных областях электрода.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

разработаны аналитические модели третичного распределения тока и потенциала по поверхности вертикальных электродов при электролитическом получении алюминия;

определена функциональная зависимость распределения тока и потенциала от геометрии электродов и кинетических параметров анодного и катодного процессов;

использован метод физического моделирования высокотемпературного электролиза криолитоглиноземных расплавов и его аналитическое моделирование методом конформных отображений;

изложены основные элементы теории распределения тока и потенциала, теории электролитического получения алюминия, теории высокотемпературной электрохимии.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработана и внедрена методика моделирования распределения тока и потенциала по поверхности электродов при электролитическом получении алюминия (акт внедрения результатов диссертации в процесс разработки и реализации мероприятий по увеличению срока службы обожженных анодов действующих алюминиевых электролизеров Казахстанского алюминиевого завода сотрудниками ООО «Эксперт-Ал» от 18.05.2022)

представлен способ получения композитных углеродсодержащих материалов (Заявка на изобретение № 2022118534), позволяющий осуществлять выравнивание поверхности электродов путем электрохимического борирования для повышения равномерности микрораспределения тока и стабилизации электролиза.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Результаты экспериментальных работ получены с использованием апробированных известных методик измерения на оборудовании научного центра «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов» и научно-образовательного центра коллективного пользования высокотехнологичным оборудованием «Центр коллективного пользования» на базе Санкт-Петербургского горного университета;

теория разработана на основе фундаментальных закономерностей электрохимии, согласуется с опубликованными экспериментальными результатами и промышленной практикой электролитического получения алюминия;

идея базируется на использовании вертикальных электродов эллиптической формы, обеспечивающих возможность равномерного распределения тока и потенциала по поверхности электродов с целью повышения стабильности электролиза криолитоглиноземных расплавов;

использованы современные методологические принципы сбора, анализа и обработки исходной информации;

установлено качественное и количественное соответствие результатов исследований теории и практике электролитического получения алюминия;

Личный вклад соискателя состоит в постановке цели и задач диссертационного исследования; анализе объекта и предмета исследования, разработке методических и методологических подходов для проведения теоретических и экспериментальных исследований, организации и проведении экспериментальных работ, обработке и обобщении полученных результатов, а также их апробации и подготовке материалов к публикации.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний.

Соискатель Поляков А.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, привел собственную аргументацию и согласился с рядом замечаний.

На заседании 28 сентября 2022 года диссертационный совет принял решение присудить **Полякову Андрею Александровичу** ученую степень кандидата технических наук за научно обоснованные технические решения, которые обеспечивают повышение стабильности электролиза криолитоглиноземных расплавов с применением вертикальных электродов и имеют существенное значение для развития производства первичного алюминия в Российской Федерации.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Сизяков
Виктор Михайлович

Бричкин
Вячеслав Николаевич

28.09.2022 г.