

## ОТЗЫВ

официального оппонента, к.т.н. Саитова Антона Викторовича на диссертацию Еремина Романа Николаевича на тему: «Повышение устойчивости графитированных анодов магниевых электролизеров к высокотемпературному окислению», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов

### Актуальность темы

Магний и сплавы на его основе широко применяются в различных отраслях промышленности, в том числе оборонной, авиа- и автомобилестроительной. Объемы потребления таких материалов непрерывно растут, что обуславливает увеличение мирового производства первичного магния.

Российская Федерация занимает второе место по объему производства магния в мире, на ее территории расположены два завода, работающих по способу электролизу хлоридных расплавов. Электролизеры с верхним вводом анодом характеризуются рядом технологических преимуществ, поэтому широко применяются в промышленности. Одним из их основных недостатков является разрушение непогруженных в электролит частей графитированных анодов, которое приводит к нарушению технологического режима, снижению выхода по току и преждевременному отключению электролизеров в капитальный ремонт.

Существуют различные технологии повышения окислительной стойкости углеграфитовых изделий, в том числе пропитка их прекурсорами стеклообразных покрытий или же формирование слоя тугоплавких соединений на их поверхности. Применительно к условиям электролитического получения магния нашла применение технология обработки электродов расплавом метафосфата натрия в ортофосфорной кислоте, разработанная институтом ВАМИ. Для нее характерны высокие экономические издержки и выделение химически агрессивных веществ в процессе эксплуатации пропитанных электродов, которые нарушают атмосферу рабочей зоны электролизных цехов, приводят к коррозии

**ОТЗЫВ**

ВХ. № 365-9 от 20.09.21  
АУ УС

токоподводов и последующем ухудшению контактов в данных узлах. В настоящее время на территории РФ в промышленном масштабе аноды для магниевых электролизеров с повышенной стойкостью к окислению не производятся. Разработка технологии их получения и ее последующее внедрение обеспечат повышение рентабельности производства первичного магния.

### **Научная новизна**

К научной новизне работы можно отнести глубокий анализ механизма взаимодействия цинк-алюмофосфатных растворов в ортофосфорной кислоте с электродным графитом, а также разработку модели окисления электродного графита с учетом особенностей его морфологии.

### **Практическая значимость**

Разработанная автором технология получения устойчивого к окислению в условиях электролитического получения магния электродного графита обладает рядом преимуществ, низкими экономическими издержками по причине коммерческой доступности используемых реагентов и отсутствию энергозатратных переделов, поэтому может быть внедрена в промышленность, обеспечив при этом повышение экономической эффективности процесса получения первичного магния. Разработанные методы контроля и установки могут быть рекомендованы для эксплуатации в условиях отраслевых и заводских лабораторий, поскольку обеспечивают получение достоверных, воспроизводимых данных.

### **Структура работы**

Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 78 наименований. Диссертация изложена на 187 страницах машинописного текста, содержит 91 рисунок и 43 таблицы.

Во введении обоснована актуальность работы, дано ее краткое описание, определены задачи исследования, сформированы научная новизна и практическая значимость.

В первой главе рассмотрены литературные данные по механизму окислению конструкционных и электродного графита, а также других углеродных материалов, проанализированы подходы к повышению их окислительной стойкости, выбрано направление исследований.



Во второй главе приведено описание методов аналитических и экспериментальных исследований, применяемых в работе, изложен ряд оригинальных методов контроля и установок для их реализации, разработанных с учетом накопленного отраслевого опыта.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований по разработке технологии обработки графитированных электродов для повышения их окислительной стойкости на модельных образцах, оптимизации отдельных показателей отдельных стадий технологии, масштабированию разработанных решений на образцы с сечением, соответствующим сечению анодов промышленных электролизеров, оценке технологических аспектов применения технологии таких как оборачиваемость пропиточных растворов и возможность их очистки.

В четвертой главе приведено описание разработанной технологии и результаты предварительной ее технико-экономической оценки.

Выводы, сделанные по главам и в заключении, логически верны и отвечают поставленным задачам исследования. Достоверность полученных данных и возможность применения разработанной технологии подтверждаются большим количеством экспериментальных данных и воспроизводимостью полученных результатов, учетом основных технологических факторов при физическом моделировании процессов, применением современных методов анализа, обработкой результатов с помощью традиционного математического аппарата. Полученные результаты согласуются с теоретическим базисом физической химии и выполненными ранее исследованиями, результаты которых изложены в открытых литературных источниках.

#### **Апробация работы**

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 10 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, в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и системы цитирования Scopus; зарегистрирована 1 заявка на получение патента.

### **Замечания по диссертации**

При рассмотрении диссертационной работы Еремина Романа Николаевича возникли следующие вопросы и замечания:

1. Не проведен сравнительный анализ окислительной стойкости образцов, обработанных по предложенной технологии и образцов анодов, производимых в настоящее время на ЧАО «Укрграфит».

2. Не обоснован выбор компонентов пропиточного раствора и их соотношения.

3. Не производилась оценка реологических свойств пропиточных растворов и их влияния на глубину пропитки образцов.

4. Гипотеза о капиллярном взаимодействии пропиточных растворов и образцов электродного графита, заявленная в качестве одного из пунктов научной новизны работы, недостаточно обоснована.

5. В тексте преобладают стилистические и грамматические ошибки, например «кинетики окислению».

Следует отметить, что указанные замечания не снижают ценности приведенных в работе результатов исследований и могут быть рассмотрены в качестве рекомендаций для дальнейшего развития предложенной технологии.

### **Заключение**

Диссертация Еремина Романа Николаевича «Повышение устойчивости графитированных анодов магниевых электролизеров к высокотемпературному окислению» является законченной научно-квалификационной работой, в которой предложено научно-техническое решение по уменьшению окисляемости графитированных анодов магниевых электролизеров в токе воздуха.

Автореферат и диссертация соответствуют паспорту научной специальности 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов (технические науки). Задачи, поставленные в ходе научных исследований, решены в полной мере. Технология может быть внедрена на предприятия производства углеграфитовой продукции.

Диссертация «Повышение устойчивости графитированных анодов магниевых электролизеров к высокотемпературному окислению», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов (технические науки), соответствует требованиям раздела 2 «Положения о



присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 19.12.2019 № 1755 адм, а ее автор – Еремин Роман Николаевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент,  
ведущий инженер  
департамента оборудования,  
Акционерное общество  
«Север Минералс», к.т.н.  
Тел.: +79117830082  
e-mail: [saitov.anton@inbox.ru](mailto:saitov.anton@inbox.ru)  
17.09.2021



Сайтов Антон  
Викторович

Подпись Сайтова Антона Викторовича заверяю

Директор по персоналу  
АО «Север Минералс»



Заякин Алексей Юрьевич

Адрес: 196158, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, д. 40, корп. 4 лит. Д, офис  
С4070

Акционерное общество «Север Минералс»

Телефон: 8 800 500 67 17 (Россия), +7 812 317 11 17 (Санкт-Петербург)

Сайт: <https://severminerals.com/>