

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «Иркутский  
национальный исследовательский  
технический университет» (ИРНИТУ),



Д.Т.Н. доцент

М.В. Корняков

«10» июня 2026 г.

М.П.

## О Т З Ы В

ведущей организации на диссертацию *Шестакова Алексея Константиновича* на тему: **«Разработка автоматической системы сбора и обработки данных алюминиевого электролизера с использованием многофункционального пробойника и системы технического зрения»**, представленную на соискание ученой степени **кандидата технических наук по специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.**

### 1. Актуальность темы диссертации

Процесс электролиза криолито-глиноземного расплава относится к технологическим процессам, функционирующим в условиях неопределенности и агрессивной среды технологического процесса (высокая температура процесса, вредные выбросы, пыление исходного сырья). Существующая система управления технологическими процессами производства алюминия не обеспечивает оперативный контроль и корректировку технологических параметров процесса электролиза, таких как содержание глинозема, уровень электролита, контроль разрушения криолито-глиноземной корки перед процедурой питания оксидом алюминия, а также автоматический контроль наблюдаемых выбросов в электролизном цехе. Интервалы между измерениями для данных параметров могут достигать нескольких суток, а для осуществления измерения требуется производить локальную разгерметизацию створчатых укрытий, что приводит к попаданию вредных веществ в атмосферу электролизного цеха. Таким образом, совершенствование системы автоматического управления технологическими параметрами процесса электролиза криолито-глиноземного расплава, а именно оперативный контроль уровня электролита, содержания глинозема, а также контроль сплошности криолито-глиноземной корки является актуальной задачей.

### 2. Научная новизна диссертации

ОТЗЫВ

Вх. № 9-168 от 15.06.26  
АУ УС

- разработан метод измерения уровня электролита в автоматическом режиме с использованием модернизированного пневмоцилиндра АПГ с оптическим дальномером и измерительной цепью постоянного тока;
- разработан алгоритм питания электролизной ванны, учитывающий изменение значений уровня электролита при каждом цикле питания;
- разработана методика контроля разрушения корки криолито-глиноземного расплава, позволяющая поддерживать концентрацию глинозема, при которой не возникает анодный эффект;
- разработан алгоритм определения видимых выбросов вредных веществ в атмосфере электролизного цеха с использованием системы технического зрения и нейронной сети.

### **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями с использованием установки для электролиза расплавов и системы АПГ, учитывающей изменение уровня электролита и осуществляющей косвенную оценку содержания оксида алюминия для расчета дозы подачи, а также воспроизводимостью результатов исследований.

### **4. Научные результаты, их ценность**

На основе анализа существующих технических решений в области управления процессом электролиза криолито-глиноземного расплава выявлены актуальные проблемы управления содержанием глинозема в электролите. Для снижения числа анодных эффектов целесообразно контролировать разрушение криолитоглиноземной корки, определять уровень электролита, а также производить анализ низкочастотных шумов напряжения на электролизере.

Для контроля уровня электролита в автоматическом режиме без локальной разгерметизации створчатых укрытий электролизера предложен способ и разработана конструкция пневмоцилиндра АПГ со встроенным в «мертвый» объем цилиндра оптическим датчиком, в конструкцию электролизера добавлена измерительная электрическая цепь постоянного тока, один контакт которой подключен на электрически изолированный пробойник АПГ, а второй контакт – к блоку электролизера. Данное решение позволяет регистрировать момент касания электролита наконечником пробойника и определять уровень расплава в электролизной ванне. Выполнена оценка погрешности метода измерения.

Проведен анализ низкочастотных шумов напряжения электролизера методом быстрого преобразования Фурье, определены преобладающие частоты в диапазоне 0 – 1 Гц и их амплитуды, соответствующие содержанию глинозема от 0 до 3,5%. На основании косвенных значений текущего содержания глинозема и определенном уровне электролита производится расчет дозы глинозема.

Разработана система мониторинга с использованием технического зрения для обнаружения наблюдаемых выбросов в электролизном цехе. В рамках предложенной системы выполнены сбор и разметка изображений алюминиевого электролизера с наблюдаемыми

выбросами, обучена нейронная сеть, подтверждена точность системы технического зрения. Разработаны схема установки системы технического зрения в электролизном цехе и архитектура системы обработки информации.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 5 печатных работах, в том числе в 1 статье – в издании 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 3 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus, кроме того в 1 материалах конференции, индексируемых в международной базе данных Scopus; подана 1 заявка на патент.

#### **5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации**

– разработано модифицированное пробойное устройство АПГ с оптическим дальномером, позволяющее измерять уровень электролита в автоматическом режиме (патент на полезную модель №219339);

– обосновано уменьшение времени нахождения наконечника пробойного устройства АПГ в электролите для увеличения его срока службы;

– разработана система технического зрения для обнаружения видимых выбросов в электролизном цехе с целью улучшения качества воздуха, что приводит к увеличению скорости обслуживания персоналом (акт внедрения АО «СоюзЦМА» от 11.10.2022 г.).

#### **6. Рекомендации по использованию результатов работы**

Результаты работы могут быть использованы в системах управления процессом электролиза криолито-глиноземного расплава для электролизеров с обожженными анодами. Достигается путем снижения частоты анодных эффектов и числа выбросов перфторуглеродов за счет оперативного контроля дополнительных параметров (уровня электролита, преобладающих низких частот напряжения и наблюдаемых выбросов с поверхности электролизера) на основе использования исполнительного устройства пробивки криолитоглиноземной корки системы автоматической подачи глинозема (АПГ), снабженного датчиком положения для измерения уровня электролита, анализа низкочастотных шумов (амплитуды) напряжения методом быстрого преобразования Фурье для косвенной оценки и согласования текущего содержания глинозем. Предлагаемая система технического зрения повышает оперативность обнаружения видимых выбросов, нарушений сплошности (целостности) криолито-глиноземной корки по сравнению с визуальным наблюдением (рабочим персоналом) минимум в 2 раза, что позволяет своевременно восстановить укрытие электролизера.

Перспективным направлением дальнейших исследований является повышение эффективности управления процессом для электролизеров с самообжигающимся анодом за счет снижения числа анодных эффектов на основе разработки и использования технических и программных решений для системы АПГ.

## **7. Замечания и вопросы по работе**

7.1. Автор в разделе 3.1.3 приводит данные состава глинозема, который использовался для питания лабораторной ячейки. В табл. 3.1 представлен химический состав глинозема и отсутствуют данные физических свойств (гранулометрический состав, угол естественного откоса и т.д.). При этом название таблицы не соответствует её содержанию.

7.2 В диссертационной работе упоминается о применении систем сухой газоочистки на алюминиевых заводах (стр. 36, 44, 157). В результате, основным сырьем для производства алюминия на этих заводах является фторированный глинозем. При этом автор для проведения экспериментальных исследований использует первичный глинозем, физико-химические свойства которого отличаются от фторированного.

7.3. В разделе 3.4.7 автор приводит следующую информацию «Эффективность тока повышается за счет использования автоматической системы измерения уровней электролита и расплавленного металла в электролизере, а также за счет использования автоматической системы измерения температуры электролита». При этом и в автореферате, и диссертации не приводится конкретная информация о использовании автоматической системы измерения температуры электролита, чрезвычайно важного параметра в работе электролизёра.

7.4. В разделе 3.5 автор приводит установленные преобладающие низкие частоты и их амплитуды, характерные для содержания глинозема в расплаве от 0,5 до 3,5 %. При этом не дается пояснение, почему выбран данный диапазон. Однако на стр. 14 приведены данные, что при снижении концентрации глинозема до 1 – 1,5 % по данным [10] и 0,5 – 1,5 % в соответствии с [44] происходит анодный эффект. В разделе 2.2 представлена открытая Вельчем в 1965 г. зависимость сопротивления электролизной ячейки от концентрации глинозема в диапазоне от 0 до 8 %. А в автореферате на стр. 15 автор говорит, что предложенные решения позволят поддерживать содержание глинозема в расплаве в диапазоне 3-4%.

7.5. В разделе 4.1 сказано, что вредные вещества попадают в атмосферу электролизного цеха по причине разгерметизации электролизера (например, оставленная снятой боковая створка укрытия электролизера после его обслуживания), при нарушении сплошности криолито-глиноземной корки, возникновении длительного анодного эффекта или в результате отклонения в работе системы сухой газоочистки. При этом не упоминается возможное запыление воздуха в электролизном цехе при работе централизованной раздачи глинозема в бункера системы АПГ. В связи с этим не понятно, как будет реагировать предложенная автоматическая система мониторинга видимых выбросов вредных веществ в атмосфере электролизного цеха на данную ситуацию.

7.6. В разделе 4.2 не указаны ссылки на приведенные данные, такие как удельные выбросы загрязняющих веществ в электролизерах с обожжёнными анодами (табл. 4.1) и выбросы загрязняющих веществ в атмосферу предприятиями ОК РУСАЛ за 2023 г. (табл. 4.2).

## **8. Заключение по диссертации**

Несмотря на отмеченные замечания по работе диссертация «Разработка автоматической системы сбора и обработки данных алюминиевого электролизера с использованием многофункционального пробойника и системы технического зрения», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор, Шестаков Алексей Константинович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Отзыв на диссертацию и автореферат диссертации Шестакова Алексея Константиновича обсужден и утвержден на заседании кафедры Автоматизации и управления ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ИРНИТУ), протокол № 18 от 09.06.2026 года.

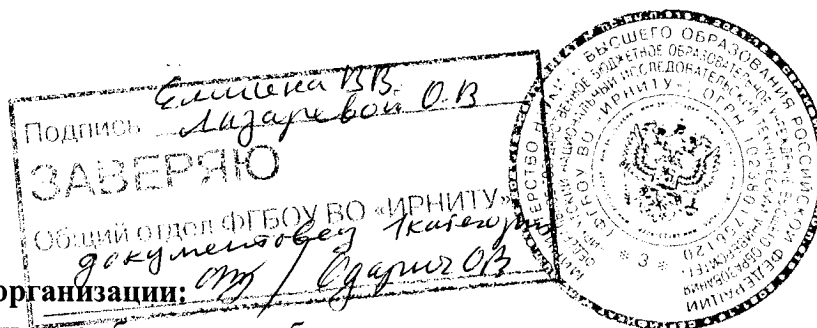
Председатель заседания,  
Заведующий кафедрой автоматизации и управления  
ФГБОУ ВО ИРНИТУ, д.т.н., профессор

Елшин  
Виктор Владимирович

Секретарь заседания  
Доцент кафедры автоматизации и управления  
ФГБОУ ВО ИРНИТУ, к.т.н., доцент

Лазарева  
Ольга Викторовна

Подпись ФИО председателя заседания и ФИО секретаря заседания заверяю  
м.п.



Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ИРНИТУ)

Почтовый адрес: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83

Официальный сайт в сети Интернет: <https://www.istu.edu/>

эл. почта: [info@istu.edu](mailto:info@istu.edu) телефон: +7 (3952) 405-009