

## **О Т З Ы В**

**официального оппонента, кандидата технических наук, доцента**

**Ремизовой Ольги Александровны 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 диссертационной работы**

Производство первичного алюминия является энергоемким и экологически значимым процессом. Управление электролизом криолито-глиноземного расплава (КГР) осуществляется в условиях высокой температуры, агрессивной среды, магнитных полей и существенной неопределенности технологических параметров. Существующие автоматизированные системы управления (АСУ ТП) опираются преимущественно на измерение тока серии и напряжения на ванне, тогда как ключевые параметры – уровень электролита, концентрация глинозема, состояние корки – контролируются дискретно, с интервалами до нескольких суток, что приводит к анодным эффектам, выбросам перфторуглеродов (ПФУ) и снижению выхода по току.

Работа направлена на решение актуальной научно-технической задачи: повышение эффективности управления процессом электролиза за счет оперативного контроля уровня электролита, косвенной оценки содержания глинозема по низкочастотным шумам напряжения и автоматического обнаружения нарушений сплошности криолито-глиноземной корки с использованием технического зрения. Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.3.3. «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

### **2. Научная новизна диссертации**

Научная новизна диссертационного исследования заключается:

- 1) Научно обоснован выбор способа измерения уровня электролита в автоматическом режиме без локальной разгерметизации створчатых укрытий электролизера.
- 2) Определены преобладающие низкие частоты и значения амплитуды напряжения в интервале 0 – 1 Гц для косвенной оценки текущего содержания глинозема в криолито-глиноземном расплаве.
- 3) Разработан и обоснован алгоритм питания электролизной ванны глиноземом, учитывающий изменение значений уровня электролита при каждом цикле питания.
- 4) Разработан алгоритм автоматического обнаружения видимых пылегазовых выбросов в электролизном цехе на основе анализа изображений с применением нейросетевой модели.

**3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями с

ОТЗЫВ

использованием установки для электролиза расплавов и системы АПГ, учитывающей изменение уровня электролита и осуществляющей косвенную оценку содержания глинозема для расчета дозы подачи, а также воспроизводимостью результатов исследований.

1) Проведен глубокий анализ отечественных и зарубежных систем управления («Алюминий», «ЭЛЕКТРА», «ТРОЛЛЬ», «СААТ-4», АРС+), выявлены их ограничения: низкая частота измерений, отсутствие обратной связи по факту пробития корки, реактивное управление анодными эффектами.

2) Предложен научно обоснованный способ измерения уровня электролита без разгерметизации укрытий – с использованием модернизированного пневмоцилиндра АПГ, оптического дальномера ToF и изолированной электрической измерительной цепи.

3) Экспериментально на лабораторной установке (980 °С, ток до 45 А, КО = 2,4) методом быстрого преобразования Фурье установлены доминирующие частоты в диапазоне 0–1 Гц и их амплитуды для концентраций  $Al_2O_3$  от 0,5 до 3,5 %, что позволяет косвенно оценивать содержание глинозема в реальном времени.

4) Разработана и обучена нейросетевая модель (FPN, TensorFlow, `ssd_resnet50_v1_fpn`) для обнаружения видимых выбросов вредных веществ с точностью по классификации 96 % и по локализации 98,7 %.

Достоверность результатов подтверждается воспроизводимостью экспериментов, использованием поверенного оборудования (АЦП NI USB-6009, тепловизор Optris, 3D-сканер), корректным применением методов математической статистики и сравнением с промышленными данными.

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

Диссертация Шестакова А.К. является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи повышения эффективности управления процессом электролиза криолито-глиноземного расплава. Работа выполнена на высоком методическом уровне: сочетаются теоретический анализ, оригинальные лабораторные эксперименты, цифровая обработка сигналов, нейросетевое моделирование и технические разработки, доведенные до патента и акта внедрения.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 5 печатных работах, в том числе в 1 статье – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (далее – Перечень ВАК), в 3 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus, кроме того в 1 материалах конференции, индексируемых в международной базе данных Scopus. Подана 1 заявка на патент (патент на полезную модель № 219339 Российская Федерация, МПК С25С 3/14 (2006.01), опубл. 12.07.2023).

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

1) Разработано усовершенствованное пробойное устройство системы автоматической подачи глинозема, оснащенное оптическим дальномером. Данное техническое решение обеспечивает возможность автоматического измерения уровня

электролита без выполнения ручных замеров и защищено патентом на полезную модель № 219339.

2) Сокращена продолжительность контакта наконечника пробойного устройства АПГ с расплавом электролита. Такое решение направлено на снижение интенсивности износа рабочего наконечника и, соответственно, на увеличение срока его эксплуатации.

3) Разработана система технического зрения, предназначенная для автоматического выявления видимых выбросов в электролизном цехе. Применение данной системы позволяет повысить оперативность контроля состояния воздушной среды, улучшить условия труда персонала и сократить время реагирования при обслуживании электролизеров (акт внедрения АО «СоюзЦМА» от 11.10.2022 г.).

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

Результаты диссертационной работы в первую очередь представляют интерес для предприятий алюминиевой промышленности, эксплуатирующих электролизеры с обожженными анодами и АПГ, при совершенствовании автоматизированных систем управления технологическим процессом электролиза криолито-глиноземного расплава, прежде всего в части контроля уровня электролита, управления подачей глинозема, оценки состояния криолито-глиноземной корки и мониторинга видимых выбросов в электролизном корпусе. Практический интерес представляют предложенные решения в области интеллектуальных подсистем АСУ ТП, виртуальных датчиков, автоматизированного визуального контроля и алгоритмов, предназначенных для снижения вероятности возникновения анодных эффектов. Отдельные положения диссертации также могут быть использованы в образовательной деятельности при подготовке специалистов по автоматизации технологических процессов и применению цифровых технологий в металлургии. Применение полученных результатов способствует реализации задач импортонезависимости в сфере цифровизации производства.

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

Несмотря на высокий уровень работы, имеются следующие замечания и вопросы:

1) Автор утверждает, что косвенная оценка содержания глинозема по низкочастотным шумам позволяет поддерживать концентрацию 3,5 %, однако в тексте диссертации отсутствует прямое сравнение с лабораторными химическими анализами проб электролита, выполненными в те же моменты времени. Насколько точно частота пика коррелирует с истинной концентрацией?

2) В главе 4 (система технического зрения) обучение нейронной сети проводилось на 1000 фотографий макета электролизера с генератором дыма. Указано, что модель тестировалась на реальных фото цеха, однако не приведена количественная оценка точности (precision/recall) на реальных промышленных данных, что важно для практического внедрения.

3) В работе встречаются стилистические и редакционные погрешности: дублирование подписей к рисункам (например, с. 50–51), избыточно подробное описание общеизвестных сведений (история алюминиевой промышленности, типы электролизеров) при недостаточной детализации некоторых алгоритмических решений (блок-схема принятия

решения о подаче глинозема приведена только для пробойника, но не для контура регулирования концентрации).

4) Каков физический механизм смещения доминирующей частоты пузырькового шума с 0,05 Гц (при 0,5 %  $Al_2O_3$ ) до 1 Гц (при 3,5 %  $Al_2O_3$ )? Почему именно этот диапазон частот выбран как информативный, и не маскируются ли эти сигналы промышленными помехами (выпрямители, МГД-пульсации)?

5) В реальном электролизере на 300 кА уровень электролита изменяется также за счет накопления металла и его выливки. Как предлагаемый алгоритм различает изменение уровня электролита от изменения уровня металла, если измерительная цепь замыкается только при касании электролита?

6) Разработанная система технического зрения обнаруживает видимые выбросы. Как она поведет себя при выбросах прозрачных газов (например,  $CO_2$ , HF без конденсации тумана), которые опасны, но не образуют устойчивого облака?

Вместе с тем, отмеченные замечания не снижают общей позитивной оценки диссертации, научной и практической значимости полученных результатов.

## 8. Заключение по диссертации

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.

Официальный оппонент

доцент кафедры автоматизации процессов

химической промышленности

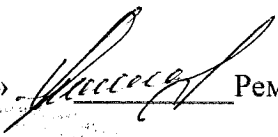
федерального государственного

бюджетного образовательного учреждения

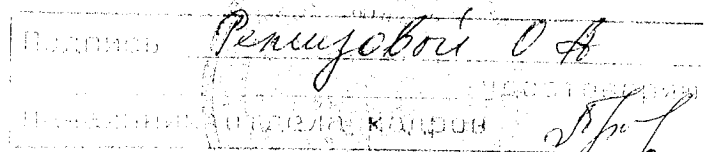
высшего образования «Санкт-

Петербургского технологического

института (технического университета)»

 Ремизова Ольга Александровна

03.06.2026



  
Ф.Ю. Прохорова

Контактная информация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

Адрес: 190013, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, 24-26/49

тел. +7 (812) 494-9253

e-mail: [aphp@spbti.ru](mailto:aphp@spbti.ru)