

## **О Т З Ы В**

**официального оппонента, доктора технических наук, доцента Лаврова Владислава Васильевича на диссертацию Нгуен Хю Хоанг на тему «Цифровая автоматизированная система управления электролитическим рафинированием меди», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами**

### **1. Актуальность темы диссертации**

Электролитическое производство катодной меди является одним из самых энергоемких металлургических процессов и требует значительных материальных затрат. Основные проблемы связаны с несовершенством контроля и управления технологическими параметрами при электролитическом рафинировании меди, что влияет на удельный расход электроэнергии и приводит к потерям ценных металлов, концентрирующихся в электролитных шламах.

Высокий расход электроэнергии и неконтролируемое энергетическое состояние электролитических ячеек объясняются наличием поверхностных и дендритных образований на электродах, а также шламовых осадков, которые вызывают короткие замыкания. Своевременный контроль состояния электродов и уровня накопленного осадка с использованием современных датчиков и приборов в системе цифрового двойника может значительно повысить эффективность процесса.

Таким образом, актуальной задачей является разработка цифровой автоматизированной системы управления электролитическим рафинированием меди, которая позволит снизить удельный расход электроэнергии, увеличить извлечение полезных компонентов и сократить количество коротких замыканий электродов за счет оперативного контроля и управления состоянием системы.

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

Научная новизна диссертационной работы Нгуен Хю Хоанг заключается в следующих основных положениях:

– определен вид функциональной зависимости увеличения площади и объема дендритных замыканий между электродами электролизной ячейки от состава электролита и его температуры при заданном межэлектродном расстоянии;

– определена скорость роста уровня донных шламовых осадков в электролитической ячейке при различных технологических параметрах, которая зависит от количества и объема ликвидированных дендритных образований, сформировавшихся в контролируемый промежуток времени;

– разработана модель цифрового двойника для определения высоты осадка, позволяющая после измерений задавать время слива шлама, обеспечивая при этом снижение удельного расхода электроэнергии на 12–15 %.

Таким образом, научная новизна диссертационной работы заключается в создании новых методов и алгоритмов для контроля и управления процессом электролитического рафинирования меди с использованием современных технологий и подходов. Это позволяет значительно

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-363 от 11.09.24  
АУ УС

повысить эффективность и надежность производственного процесса, снизить затраты на электроэнергию и увеличить извлечение полезных компонентов.

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

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертационной работе, подтверждаются следующими факторами:

– в работе применены известные методы статистического анализа, что обеспечивает высокую точность и надежность полученных данных. Обработка результатов исследований проведена с использованием встроенных программных библиотек языка Python;

– теоретические модели и расчеты, выполненные в рамках исследования, подтвердились результатами экспериментальных исследований. Это свидетельствует о корректности использованных методик и моделей, а также о достоверности полученных выводов;

– разработанная система управления протестирована на архивных данных промышленного предприятия о протекании технологического процесса электролитического рафинирования меди, что подтверждает ее применимость и эффективность в реальных условиях производства. В частности, данные были предоставлены Медеплавильным заводом г. Лаокай (Социалистическая Республика Вьетнам);

– основные результаты теоретических и экспериментальных исследований доложены и обсуждены на нескольких всероссийских и международных научно-практических конференциях.

Личный вклад автора состоит в постановке цели, формулировке задач и разработке методологии исследования; в проведении анализа научно-технической литературы и патентного поиска; в выполнении исследований; в разработке технических решений, адаптированных к условиям действующего производства электролитического рафинирования меди; в научном обобщении полученных результатов и подготовке публикаций.

Полученные на всех этапах выполнения диссертации результаты, публикации автора, положительные оценки на конференциях и выставках различного уровня подтверждают обоснованность выдвинутых научных положений, выводов и рекомендаций.

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

Научные результаты работы заключаются в установлении связей между ростом дендритных замыканий и изменением состава и температуры электролита, что позволяет более точно управлять процессом электролитического рафинирования меди. Впервые была разработана и внедрена система тепловизионного контроля, обеспечивающая сокращение времени на устранение коротких замыканий, что повышает стабильность и эффективность процесса. Также была создана модель цифрового двойника, которая позволяет прогнозировать высоту шламового осадка и время его удаления, что снижает удельное потребление электроэнергии на 12–15 %.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 4-х 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 (Перечень ВАК), в 2-х статьях в изданиях, входящих в международные

базы данных и системы цитирования Scopus. Также получены 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

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

Практическая значимость диссертационной работы определяется следующими аспектами:

– внедрение разработанной системы тепловизионного контроля оборудования позволяет сократить время устранения коротких замыканий в 3 раза, что значительно уменьшает простой оборудования и снижает затраты на электроэнергию. Контроль объема и уровня донных шламовых осадков в электролитической ячейке приводит к снижению расхода электроэнергии на 12–15 %, что существенно повышает общую энергоэффективность процесса;

– введение контроля донных осадков в электролитических ячейках не только снижает энергозатраты, но и увеличивает степень извлечения полезных компонентов. Это позволяет более эффективно использовать сырьевые ресурсы и уменьшить потери ценных металлов в процессе рафинирования меди;

– разработанные программные продукты для контроля основных параметров процесса рафинирования катодной меди получили свидетельства о государственной регистрации и были апробированы в промышленных условиях на типовых электролизных цехах АО «Новгородский металлургический завод» и Медеплавильного завода «Лаокай» во Вьетнаме. Это подтверждает возможность их практического применения и эффективность в реальных производственных условиях;

– разработанный и обоснованный алгоритм контроля и управления процессом электролитического рафинирования меди включает контроль дополнительных параметров, что позволяет локализовать место коротких замыканий на электродах и сократить время их устранения. Этот алгоритм внедрен в системы АСУ ТП электролиза на промышленном уровне, что подтверждается актами о внедрении результатов диссертационного исследования.

Таким образом, результаты диссертационной работы Нгуен Хю Хоанг имеют высокую практическую значимость, способствуя улучшению энергетической эффективности, увеличению извлечения полезных компонентов и повышению общей производительности процесса электролитического рафинирования меди в промышленных условиях.

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

Результаты работы нашли практическое применение в деятельности в АО «Союзцветметавтоматика им. Топчаева В.П.» (Акт о внедрении подписан генеральным директором Деминым А.В.) и медеплавильного завода «Лаокай» во Вьетнаме (Акт о внедрении подписан зам. директора Института горной науки и технологий Ньы Вьет Туан). Это свидетельствует о высокой прикладной ценности разработок и их востребованности в промышленности.

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

1. Содержание 1-й главы диссертации «Анализ технологии и систем управления электролитическим рафинированием меди» не в полной мере соответствует заголовку. В главе основное внимание уделено анализу существующих технологий производства меди. Следовало бы расширить аналитический обзор передовых практик и технического состояния систем АСУ ТП в электролитическом рафинировании меди.

2. На с. 57 диссертации утверждается, что «В ходе работы над Главой 2 были сформулированы следующие научные положения, выносимые на защиту: 1. Система тепловизионного контроля оборудования позволяет определить объем и место дендритных осадков на электродах электролитической ячейки и обеспечивает сокращение времени устранения коротких замыканий в 3 раза. 2. Контроль объема и уровня донных шламовых осадков в электролитической ячейке снижает расход электроэнергии на 12-15% при увеличении степени извлечения полезных компонентов.». Однако, из содержания 2-й главы осталось непонятным, на чём основаны данные утверждения?

3. В работе не представлено описание структуры базы данных (БД) цифрового двойника лабораторной электролитической установки для обнаружения дендритных осадков и не указана программная платформа для ее реализации. Какие данные содержатся в базе данных цифрового двойника, какова ее структура? Как обеспечивается взаимодействие пользовательского приложения с БД?

4. На какой программной платформе были созданы 3D-модели различных типов механизмов образования дендритов, речь о которых идет в 3-й главе диссертации (с. 60–63)? К сожалению, в тексте диссертации не представлены характеристики этих моделей и последовательность процесса компьютерного моделирования.

5. Рисунок 3.18, как следует из подрисуночной подписи, демонстрирует процесс сканирования тепловизором каждой ванны. Однако представленный график отражает зависимость температуры электродов от времени сканирования, что является, на наш взгляд, не информативным. Достаточно было бы привести временной таймер процесса сканирования и итоговые результаты выполнения процесса (электроды с повышенной температурой), представленные в верхней части рисунка 3.18.

6. На с. 74 диссертации в качестве функции разработанной программы цифрового автоматизированного контроля процесса электролитического рафинирования меди указано, что «Программа способна автоматически регулировать и поддерживать технические параметры на оптимальном уровне». Каким образом программа осуществляет регулирующие функции? Какие законы регулирования при этом использованы? Как определялись настройки регуляторов?

7. В выводах к главе 3 на с. 75 диссертации отмечается, что «В рамках проведения испытаний получены кинетические зависимости роста площади и объема короткого замыкания между электродами, данные скорости роста температуры поверхности электрода и температуры электролита, ИК характеристики на различных стадиях процесса поле замыкания электродов для идентификации параметров». Однако в 3-й главе эти данные не представлены.

8. В Главе 4, п. 4.1 не приведено описание процесса создания и характеристики виртуальной модели электролизера для определения влияния осадка на дне ванны на качество меди, представлены лишь результаты моделирования. Какие физические и математические модели, граничные и начальные условия положены в основу создания этой виртуальной модели? На какой программной платформе она реализована?

9. На с. 81 диссертации отмечено, что «В ходе работы были получены математические модели при различных сценариях процесса во время образования осадка на дне электролизной

ячейки на различных стадиях процесса [59].». Однако в тексте не представлены математическое описание математических моделей, их возможности и ограничения.

10. Представленная на рис. 4.12 (с. 89) функциональная схема автоматизации системы управления высотой шламовых осадков электролитической ванны для рафинирования меди не содержит обязательную спецификацию. На схеме, выполненной по ГОСТ 21.208-2013, присутствуют условные обозначения датчиков температуры и концентраций, а также исполнительные механизмы. Где расположена регулирующая аппаратура?

11. В тексте диссертации встречаются редакционные замечания:

- С. 15 диссертации: «... наиболее эффективным процессом ...», надо «процессом»;
- С. 15 диссертации: «... аноды виде пластин, кот орые помещают...», лишний пробел;
- С. 15 диссертации: «Ионы меди под действие электрического тока ...», надо «действием»;
- С. 39 диссертации: заголовок параграфа 2.1.2 «Тепловизионный контроль как пример неразрушающего метода диагностики металлургических агрегатов», надо «неразрушающего»;
- С. 51 диссертации: «Многочисленные исследования Российских и зарубежных ученых...», надо «российских»;
- С. 47 диссертации: «...выявление влияния короткого замыкания на температуры электродов...», надо температуру;
- С. 59 диссертации: ошибка в названии главы, последнее слово в названии – «ГЛАВА» – лишнее;
- С. 69 диссертации: «На рисунке 3.15 показан результат, где светлыми линиями, обозначаются целевые значения информационного потока, обнаруженные а □ С. 69 диссертации: «На рисунке 3.15 показан результат, где светлыми линиями, обозначаются целевые значения информационного потока, обнаруженные алгоритмом идентификации», надо «идентификации»;
- С. 84 диссертации: представленная на рисунке 4.8 блок-схема математической модели параметрического анализа электролитического производства катодной меди выполнена не по стандарту ГОСТ 19.701–90 «Единая система программной документации»;
- С. 84 диссертации: «...поясняется соответствующей блок-схемой (рис. 4).». Рисунка 4 не существует;
- с. 84 диссертации: «...в процессе электролитического рафинирования мед[43].», надо «меди»;
- в конце подрисуночных надписей отдельных рисунков (1.6, 1.8, 1.9, 2.1, 2.2, 2.4, 3.4, 3.16–3.19, 4.1, 4.8, 4.12) стоит точка. В подрисуночной подписи рисунка 1.9 встречается слово «Рис. 1.9» вместо «Рисунок»;
- на отдельных графиках (рис. 4.2, с. 76; рис. 4.4, с. 77) не подписаны оси.

Высказанные замечания, в целом, не снижают научной и практической значимости выполненной работы.

Исследовательская работа в полной мере отвечает требованиям по актуальности, научной новизне, практической значимости, личному вкладу автора, отражению результатов в

