

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.12  
ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 26.09.2024 № 9

О присуждении Нгуен Хю Хоанг, гражданину Вьетнама, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Цифровая автоматизированная система управления электролитическим рафинированием меди» по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами принята к защите 24.06.2024, протокол заседания № 6, диссертационным советом ГУ.12 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от и от 03.07.2023. № 1025 адм, с изменениями от 24.05.2024 № 780 адм.

Соискатель Нгуен Хю Хоанг, 20.05.1991 года рождения, в 2016 году с отличием окончил федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны» по специальности 230101 Вычислительные машины, комплексы, системы и сети.

С 01.10.2020 по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры автоматизации технологических процессов и производств федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре автоматизации технологических процессов и производств в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Бажин Владимир Юрьевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра металлургии, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

**Лавров Владислав Васильевич** – доктор технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра теплофизики и информатики в металлургии, профессор;

**Солёный Сергей Валентинович** – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», кафедра электромеханики и робототехники, заведующий кафедрой; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»**, г. Иркутск, в своем положительном отзыве, подписанном Елшиным Виктором Владимировичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой автоматизации и управления, Голодковым Юрием Эдуардовичем, кандидатом технических наук, доцентом, доцентом той же кафедры, секретарем заседания, и утвержденном Корняковым Михаилом Викторовичем, доктором технических наук, доцентом, ректором, указала, что полученные Нгуен Хю Хоанг результаты дополняют и расширяют теоретические основы разработки методических подходов к автоматизации технологических процессов электролитического рафинирования катодной меди, совершенствуя системы управления и контроля. Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанных автором автоматизированных решений на металлургических предприятиях и в научных организациях, занимающихся внедрением и оптимизацией автоматизированных систем управления производственными процессами, что способствует повышению их эффективности и надежности.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 4 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, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 3 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus; получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Общий объем – 4,06 печатных листов, в том числе 3,0 печатных листов – соискателя.

**Публикации в изданиях из Перечня ВАК:**

1. **Хоанг, Н.Х.** Совершенствование системы контроля и управления параметрами электролитического рафинирования меди / Н.Х. Хоанг, В.Ю. Бажин // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2023. – Т. 29, № 3. – С. 5-16. – DOI: 10.17073/0021-3438-2023-3-5-16. (ВАК-МБД №650 ред. 25.12.2023).

*Соискателем проведен анализ научных источников в сфере автоматизированных систем управления параметрами электролитического рафинирования меди. Обоснованы предпосылки и возможность внедрения подобных систем на примере производств катодной меди. Обоснована необходимость включения в состав системы управления средств дополнительного контроля технологических параметров – датчиков уровня иламового осадка, для снижения безвозвратных потерь при отсутствии замыканий дендритного осадка на электроды в нижней части электролизера. Построены модели образования катодного осадка (шлама) и дендритных замыканий на электродах. Анализ возможных проблем и отклонений, связанных с образованием иламового осадка, дал возможность смоделировать ряд возможных сценариев. Разработанный алгоритм управления и программа ЭВМ для дополнительных действий в системе АСУ ТП позволяет снизить энергетические потери (на 10-15%) и повысить выход по току на 2%.*

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

2. Bazhin, V.Yu. Increasing the speed of information transfer and operational decision-making in metallurgical industry through an industrial bot / V.Yu. Bazhin, O.N. Masko, **Н.Н. Nguyen** // Non-Ferrous Metals. – 2023. – Vol. 1. – P. 62-67. – DOI: 10.17580/nfm.2023.01.10. Бажин В.Ю. Повышение скорости передачи информации и принятия оперативных решений в металлургическом производстве через промышленный бот / В.Ю. Бажин, О.Н.Масько, **Х. Х. Нгуен** // Non-Ferrous Metals. – 2023. – Том.1. – С. 62-67. – DOI: 10.17580/nfm.2023.01.10.

*Соискателем проведен анализ текущей ситуации в промышленности, отмечено отсутствие специализированной системы контроля цехового уровня в условиях глобальной цифровизации и автоматизации; предложена концепция использования промышленного чат-бота в рамках существующей системы управления производственными процессами в металлургии. Внедрение этого подхода имеет следующие преимущества: повышение*

*скорости передачи информации внутри системы управления; возможность прогнозирования технологической ситуации; сокращение количества передаточных функций в системе управления; передача влияния на системы управления через ПИ или ПИД-регуляторы; повышение уровня информационной безопасности. В связи с этим сделано предположение, что использование промышленного чат-бота может привести к значительному улучшению эффективности и конкурентоспособности в промышленных отраслях.*

3. **Nguyen, H. H.** Optimization of the Control System for Electrolytic Copper Refining with Digital Twin During Dendritic Precipitation / H. H. Nguyen, V. Y. Bazhin // Metallurgist. – 2023. – Vol. 67, No. 1-2. – P. 41-50. – DOI 10.1007/s11015-023-01487-3. Оптимизация системы управления электролитическим рафинированием меди при помощи цифрового двойника во время образования дендритного осадка / **Х.Х. Нгуен**, В.Ю. Бажин // *Металлург* – 2023 – Том.67, № 1-2. – С. 41-50. – DOI 10.1007/s11015-023-01487-3.

*Соискателем проведен ряд исследований на лабораторной электролитической ячейке в условиях, близких к промышленным; установлено, при различных условиях и разном межэлектродном расстоянии действует три типа механизмов образования дендритных осадков, которые приводят наряду с повышением температуры процесса к изменению концентрации электролита, а также к неконтролируемому образованию осадков медеэлектролитного шлама, и увеличению расхода электроэнергии. Соискателем созданы 3D-модели для различных нарушений процесса рафинирования, что позволяет через ПО цифрового двойника имитировать управляющее воздействие и отслеживать его результат.*

4. Bazhin, V.Y. Vietnamese metallurgy on the way out of the crisis with the use of automated control systems / V.Y. Bazhin, **H.H. Nguyen** // AIP Conference Proceedings: 2, Krasnoyarsk, 29–31 июля 2021 года. – Krasnoyarsk, 2022. – P. 030018. – DOI: 10.1063/5.0092750. Бажин В.Ю. Вьетнамская металлургия на выходе из кризиса с использованием автоматизированных систем управления / В.Ю. Бажин, **Х.Х. Нгуен** // AIP Conference Proceedings: 2, Красноярск, 29–31 июля 2021 года. – Красноярск, 2022 – С. 030018. - DOI: 10.1063/5.0092750.

*Соискателем проведено исследование перспективных автоматизированных систем управления электролитическим рафинированием катодной меди. Произведен обзор 5 статей, 4 патентов и 5 программ для ЭВМ, представляющих наибольшую перспективу для внедрения на производстве. На основе исследования патентных и литературных источников определено наиболее актуальное направление в*

*сфере разработки систем АСУ ТП рафинированием катодной меди во Вьетнаме.*

***Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:***

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022614039 Российская Федерация. Программа цифрового автоматизированного контроля процессом электролитического рафинирования меди: № 2022613110: заявл. 10.03.2022; опубл. 16.03.2022 / **Х.Х. Нгуен, В.Ю. Бажин**; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – 1 с.: ил. – Текст: непосредственный.

*Соискателем разработан алгоритм для изучения влияния режимов автоматизированного контроля и регулирования процессом электролитического рафинирования меди. Программное обеспечение разработано в среде PyChart от компании JetBrains на основе IntelliJ IDEA, при помощи которого можно программировать и управлять процессом с использованием накопления информации BigData. Программа обеспечивает выполнение функций автоматизированного контроля за ходом технологического процесса и выявления технологических нарушений на основании данных от датчиков (температуры электролита, напряжения, уровня шлама, уровня электролита, концентрации серной кислоты в электролите) и с учетом технологической ситуации в электролитической ячейке во время всего процесса, за счет оперативного вмешательства и использования накопленной информации BigData при замыкании электродов.*

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023665289 Российская Федерация. Программа цифрового автоматизированного контроля основных параметров процесса рафинирования катодной меди: № 2023663835: заявл. 03.07.2023; опубл. 13.07.2023 / **Х.Х. Нгуен, В.Ю. Бажин, М.А. Пилипушко**; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – 1 с.: ил. – Текст: непосредственный.

*Соискателем разработан алгоритм и программа, предназначенная для управления процессом рафинирования меди в электролитической ванне. Программное обеспечение разработано в среде Unity XL Pro от компании Schneider Electric. Программа обеспечивает выполнение следующих функций: сбор данных, управление скоростью циркуляции и температуры электролита, аварийное завершение работы установки, а также отслеживание коротких замыканий и дальнейшее их устранение в результате получения предобработанных данных с помощью тепловизора.*

Апробация диссертационного исследования проведена на научно-практических мероприятиях с докладами:

- XVI Международном форуме-конкурсе студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (Санкт-Петербург, 31 мая – 06 июня 2021 г.);

- II Международной конференции «SAMSTech-II 2021: Современные достижения в области материаловедения и технологий», (Красноярск 29-31 июля 2021 г.);

- Международном симпозиуме «Нанопизика и Наноматериалы» НиН-2021 г., (Санкт-Петербург 24-25 ноября 2021 г.);

- Международной научной конференции, посвященной 80-летию С. С. Набойченко, (Екатеринбург, 24–25 марта 2022 г.).

В диссертации Нгуена Хю Хоанга отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от:

Заведующего кафедрой «Горная электротехника и автоматика им. Р.М. Лейбова», ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», д.т.н. **К.Н. Маренича**;

Руководителя научно-исследовательского центра АО "ГК "Русредмет", к.т.н. **А.В. Смирнова**;

Доцента кафедры управления в технических системах ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», к.т.н. **В.И. Бойкова**;

Доцента кафедры машиностроения и металлургии Северо-Западного открытого технического университета, к.т.н. **Т.А. Александровой**;

Доцента кафедры металлургии цветных металлов ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», д.т.н. **А.А. Шопперта**.

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечена актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования, логическое построение работы с использованием актуальной научной и статистической информации, однако отмечены ряд замечаний:

1. Цель работы сформулирована в контексте решения инженерной, а не научной задачи. Из формулировки не следует привязка цели исследования к научной специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами и, собственно, к конкретике научных исследований автора в рамках вышеуказанной научной специальности (д.т.н. **К.Н. Маренич**);

2. Из текста автореферата следует значимость полученной зависимости плотности тока от межэлектродного расстояния, что иллюстрируется рисунком 3. Однако в автореферате не приведена соответствующая аналитическая зависимость (д.т.н. **К.Н. Маренич**);

3. Позиции 1 – 6 рисунка 4 в автореферате не описаны. Поэтому рисунок 4 – не информативен (д.т.н. **К.Н. Маренич**);

4. Не ясно, как соотносится изображение на рисунке 8 с подрисуночной подписью этого же рисунка (д.т.н. **К.Н. Маренич**);

5. В автореферате имеются некорректности отдельных фраз: стр. 4 – в формулировке объекта исследования (не согласованность окончаний слов); стр. 16 – ошибочно дана ссылка на рисунок 14 вместо рисунка 13; стр. 16 – фраза: «На алгоритме приняты следующие обозначения»; стр. 17 – формулировка п. 12 (не согласованность окончаний слов); стр. 18 – формулировка первого абзаца «заключения» (не согласованность окончаний слов); рисунок 13 – здесь изображена блок-схема алгоритма, а не алгоритм (д.т.н. **К.Н. Маренич**);

6. Из текста автореферата не понятно, как с помощью тепловизорной камеры можно зафиксировать точное время образования дендрита, площадь отложений на поверхности катода и т.д.? По каким признакам эти параметры может система рассчитать (к.т.н. **А.В. Смирнов**);

7. Автор уделяет большое внимание влиянию количества шлама на возможность коротких замыканий, но столько шлама не образуется на производстве, т.к. чистота «черновой» меди редко бывает ниже 95% и расстояние от дна ванны до электродов гораздо более 1 м. Таким образом, вероятность замыкания дендритным осадком практически исключена, но с научной точки зрения изучение этого вопроса, безусловно, представляет интерес (к.т.н. **А.В. Смирнов**);

8. На какой программной платформе виртуальная модель электролизера реализована (к.т.н. **А.В. Смирнов**);

9. В работе представлена обширная экспериментальная база. Каковы ключевые показатели эффективности внедрения разработанной системы на реальных производствах (к.т.н. **А.В. Смирнов**);

10. Хотелось бы увидеть более глубокий анализ влияния состава электролита и условий его циркуляции на образование дендритных осадков. Поскольку именно эти параметры существенно влияют на эффективность процесса рафинирования, их исследование могло бы дать дополнительные ценные результаты (к.т.н. **В.И. Бойков**);

11. В описании промышленных испытаний разработанных алгоритмов следовало бы привести более детализированные данные о

конкретных условиях эксплуатации, типах оборудования и результатах внедрения на различных этапах производства. Это позволило бы точнее оценить масштабируемость предложенных решений и их применимость в различных производственных условиях (**к.т.н. В.И. Бойков**);

12. Автором предложен эффективный подход к управлению технологическими процессами на основе цифрового двойника, однако в работе недостаточно освещены вопросы интеграции предложенных решений с уже существующими системами управления на предприятиях. Более подробное рассмотрение этих аспектов могло бы способствовать лучшему пониманию возможностей и ограничений предложенной системы (**к.т.н. В.И. Бойков**);

13. Как именно изменение температуры электролита влияет на формирование дендритных осадков? Возможно ли использование других методов для предотвращения этого процесса (**к.т.н. Т.А. Александрова**);

14. Каким образом система реагирует на неожиданные изменения параметров, например, скачки напряжения (**к.т.н. Т.А. Александрова**);

15. Каким образом было рассчитано снижение энергетических потерь на 10-15% (**д.т.н. А.А. Шопперт**);

16. Можно ли использовать результаты работы на предприятиях Свердловской области, какие изменения потребуются в аппаратном оформлении (**д.т.н. А.А. Шопперт**);

17. При контроле уровня шлама на сколько чаще приходится отправлять шлам на слив в приемник (**д.т.н. А.А. Шопперт**).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**обоснован и предложен** способ обнаружения коротких замыканий в процессе электролитического рафинирования меди (ЭРМ) с применением системы технического зрения (с применением тепловизора);

**выявлены** функциональные зависимости температуры электродов и электролита от роста дендритных осадков;

**получены** результаты трехмерного виртуального моделирования электролизера в процессе появления дендритных осадков и коротких замыканий;



**разработана и внедрена** компьютерная программа и алгоритм определения количества коротких замыканий в промышленных условиях производства катодной меди на заводе.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**  
**изложены** современные концепции и методические подходы к автоматизации контроля основных параметров процесса рафинирования меди, а также выявлены особенности управления технологическими процессами, высокой степенью сложности производственных процессов;  
**раскрыты** условия применения и ограничения способов к автоматизированному контролю и управлению технологическими процессами ЭРМ, связанные с использованием существующих средств измерения;  
**изучены** причинно-следственные связи между качеством катодной меди, основными параметрами технологического процесса рафинирования меди и чистотой конечного продукта, а также выявлены внутренние и внешние факторы, влияющие на эффективность автоматизированных систем контроля и управления при производстве катодной меди;

**Личный вклад соискателя состоит** в постановке цели и формулировке задач диссертационного исследования; анализе зарубежной и отечественной литературы по теме автоматизации и управления технологическими процессами; проведении аналитического обзора существующих систем контроля основных параметров при производстве катодной меди; концептуализации научной идеи автоматизированного контроля основных технологических параметров процесса; выборе методов и приборов исследования, включая системы обнаружения коротких замыканий; выполнено моделирование процесса ЭРМ в среде Rhino 7 и Simcenter STAR-CCM+; определено количество коротких замыканий с использованием тепловизионной камеры; разработан алгоритм системы контроля основных параметров процесса ЭРМ.

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

**реализованы** в промышленных условиях программные продукты для контроля основных параметров процесса рафинирования катодной меди в электролизных цехах (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022614039 и №2023665289), АО «Новгородский металлургический завод» и Медеплавильный завод «Лаокай» во Вьетнаме;  
**внедрены** результаты диссертационного исследования на предприятии АО «СоюзЦМА» для систем АСУ ТП электролиза, а также в существующие системы АСУ ТП электролитического рафинирования меди для предприятия

«Медеплавильный завод» (г. Лаокай, Социалистическая Республика Вьетнам).

**определены** перспективы использования в промышленной практике разработанного способа, основанного на применении тепловизионного контроля, виртуального моделирования и расширенного контроля технологических параметров. Этот способ направлен на повышение точности и оперативности определения КЗ в процессе ЭРМ, что способствует сокращению времени;

**представлены** предложения по использованию результатов исследования металлургическими компаниями, занимающимися производством катодной меди. Основные результаты работы, выводы и рекомендации могут быть применены профильными научными организациями и научно-исследовательскими центрами при проектировании и внедрении автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**теория** построена на современных исследованиях в области автоматизации и управления технологическими процессами, теории цифровой обработки изображения и методах виртуального моделирования. Эти исследования согласуются с опубликованными научными работами по теме диссертации;

**идея базируется** на анализе практики и обобщении передового опыта в области автоматизации технологических процессов, что позволило предложить способ определения коротких замыканий и контроля основных технологических параметров;

**использованы** общенаучные и частно-научные методы сравнения, анализа и синтеза, а также инструменты математического моделирования и статистического анализа для подтверждения выдвинутых гипотез;

**установлено** соответствие полученных результатов поставленной цели исследования и отсутствие противоречий выводов и рекомендаций соискателя с положениями теоретико-методологической базы по теме диссертации.

В ходе защиты диссертации критических замечаний не было высказано.

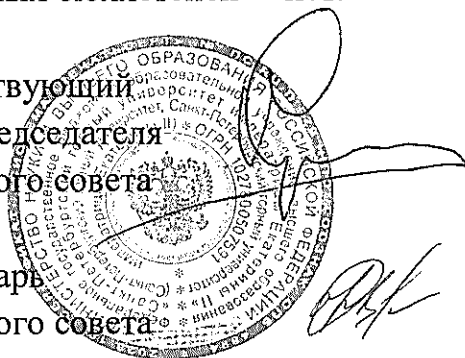
Соискатель Нгуен Хю Хоанг ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию по обоснованию положений диссертационной работы.

На заседании 26 сентября 2024 года диссертационный совет принял решение присудить **Нгуен Хю Хоанг** ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи повышения контролируемости технологического процесса электролитического рафинирования меди за счет

использования современных приборов и способов устранения отклонений, а также использования алгоритма для определения места, времени и количества коротких замыканий в электролизере с помощью тепловизионной камеры на основе разработанного программного комплекса. Повышение экономической эффективности процесса электролиза меди в электролизере достигается за счет ограничения появления коротких замыканий и минимизации сопротивления шламов качеству катодной меди и содержанию редких металлов, которые могут найти применение на действующем производстве.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 4 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председательствующий  
заместитель председателя  
диссертационного совета



Кульчицкий  
Александр Александрович

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Васильева  
Наталья Васильевна

26.09.2024 г.