



«УТВЕРЖДАЮ»

И. о. ректора РХТУ им. Д. И. Менделеева,  
д.т.н., проф. И. В. Воротынец

« 0 » июня 20 23 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация на тему: «Повышение эффективности электрофлотационного процесса извлечения ионов меди, никеля и цинка в составе многокомпонентных систем» по научной специальности 2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии (технические науки) выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» на кафедре технологии неорганических веществ и электрохимических процессов.

В процессе подготовки диссертации Аунг Пьяе (31 марта 1991 года рождения) был аспирантом кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева в период с 1 сентября 2017 г. по 30 августа 2021 года, а затем с 31 августа 2021 года по настоящее время является соискателем той же кафедры.

Документ о сдаче кандидатских экзаменов (справка об обучении в аспирантуре) выдан ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» в 2023 году.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» Колесников Артём Владимирович.

По результатам рассмотрения диссертации на тему: «Повышение эффективности электрофлотационного процесса извлечения ионов меди, никеля и цинка в составе многокомпонентных систем» принято следующее заключение.

Актуальность темы диссертационной работы направлена на решение научно-технологической проблемы: улучшения экологической обстановки на предприятиях, использующих гальванохимические процессы обработки поверхности металлов и пластмасс, широко представленных в Республике Союз Мьянма. Снижение опасности для окружающей среды и общества в целом достигается за счет повышения эффективности электрофлотационного способа извлечения труднорастворимых токсичных компонентов цветных металлов в составе многокомпонентной смеси и органических загрязнений.

Научная новизна заключается в следующем:

- установлено, что для двухкомпонентной системы Cu-Zn наибольшая степень извлечения наблюдается в сульфатном фоновом электролите в присутствии катионного ПАВ при  $pH=9$  и составляет 98 %, что обусловлено влиянием катионных ПАВ на заряд поверхности частиц извлекаемых гидроксидов и смещением в более положительную область;

- выявлено, что для двухкомпонентных систем Cu-Zn и Ni-Zn наибольшая степень извлечения достигается в условиях фонового электролита  $NH_3 \cdot H_2O$  и составляет 95 % и 94 % соответственно, что обусловлено, вероятно, образованием более крупных частиц гидроксидов извлекаемых ионов металлов;

- впервые установлено влияние органических композиций, таких как: очищающая жидкость ОЖ-1, пенетрант ЛЖ-6А, лак ФЛ-5111 и растворитель Р-5, применяемых в обработке поверхности металлов, на процесс электрофлотационного извлечения двухкомпонентных смесей труднорастворимых соединений меди, никеля и цинка при  $pH=9$ ;

- определена роль катионных ПАВ (КатаПАВ, СептаПАВ) и флокулянта на основе полиакриламида (Zetag-8160) в интенсификации на 20–40% и повышении эффективности процесса электрофлотационного извлечения многокомпонентной смеси труднорастворимых соединений меди, никеля и цинка при  $pH=9$  для

фоновых электролитов  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , заключающаяся в изменении как знака заряда, так и размера флотируемых гидроксидов металлов.

Практическая ценность работы состоит в том, что:

- установлены новые закономерности электрофлотационного процесса извлечения различных труднорастворимых соединений меди, никеля, цинка в фоновом электролите  $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ .

- определена роль фоновых электролитов ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$  и  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) в процессе электрофлотационного извлечения труднорастворимых соединений цветных металлов в составе многокомпонентных стоков. Предложены подходы к повышению эффективности, заключающиеся в смещении рН проведения процесса в область существования гидроксидов всех извлекаемых металлов и влиянием на их дисперсную фазу путем введения ПАВ или флокулянтов для укрупнения или изменения электрокинетического потенциала.

- показано влияние органических композиций (очищающая жидкость ОЖ-1, пенетрант ЛЖ-6А, лак ФЛ-5111 и растворитель Р-5), применяемых в обработке поверхности металлов на предприятиях в Республике Союз Мьянма на процесс электрофлотационного извлечения. В присутствии растворителя Р-5 наибольшая степень извлечения для двухкомпонентной системы Cu-Ni достигает 94 %; лака ФЛ-5111 наибольшая степень извлечения в парах Cu-Zn и Ni-Zn достигает 98 % и 90 % соответственно; очищающей жидкости ОЖ-1 наибольшая степень извлечения в паре Cu-Zn достигает 98 %.

- определены оптимальные условия процесса электрофлотационного извлечения труднорастворимых соединений меди, никеля, цинка в составе многокомпонентных стоков. Разработана принципиальная схема обезвреживания сточных вод от смеси тяжелых металлов в присутствии органических композиций для машиностроительных предприятий Республики Союза Мьянмы.

Основные положения диссертации получили полное отражение в 27 печатных работах, в том числе 4 публикации в изданиях, входящих в международные научные базы Scopus и Web of Science и 5 статей в журналах, входящих в перечень ВАК.

Результаты диссертации представлены на международных и всероссийских конференциях: Успехи в химии и химической технологии МКХТ-2017, Успехи в химии и химической технологии МКХТ-2018, Успехи в химии и химической технологии МКХТ-2019, Успехи в химии и химической технологии МКХТ-2020. XIV Конференция молодых ученых, аспирантов и студентов ИФХЭ РАН Физикохимия – 2019. XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, г. Санкт-Петербург, Россия, 9-13 сентября 2019. Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды, г. Чебоксары, 2020. Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2020». Инновационные материалы и технологии: Международная научно-техническая конференция молодых ученых 2020, Беларусь. Инновационные материалы и технологии – 2021. г. Минск, Республика Беларусь. Всего 18 тезисов докладов.

Публикации по теме диссертации:

1. **Аунг Пьяе**. Электрофлотационное извлечение смеси ионов меди и цинка из водных растворов в присутствии  $\text{NH}_3$ / **Аунг Пьяе**, Колесникова О.Ю., Хейн Тху Аунг, Колесников В.А.// Известия высших учебных заведений. Серия "Химия и химическая технология". – 2021. – V. 64. – № 10. – С. 119 - 124. (*Scopus, Web of Science*)

2. Meshalkin V.P. Electroflotation Recovery of a Mixture of Cu, Ni, and Zn Hydroxides from Aqueous Ammonia Alkaline Solutions/ Meshalkin V.P., Kolesnikov V.A., Perfilova A.V., **Aung Pyae**, Kolesnikov A.V.// Doklady Physical Chemistry, издательство Maik Nauka/Interperiodica Publishing (Russian Federation), 2021. – V. 497. – P. 35-40. (*Scopus, Web of Science*)

3. Kolesnikov A.V. Establishment of regularities of electroflotation extraction of non-ferrous metal (Cu, Ni, Zn, Co, Fe) hydroxides from wastewater of various compositions in the presence of industrial surfactants/ Kolesnikov A.V., **Aung Pyae**, Davydkova T.V., Kolesnikov V.A.// Non-ferrous Metals. 2021. – № 1. – P. 3-9. (*Scopus, Web of Science*)

4. Than Zaw Htay. Investigation of the process for electroflotation extraction of insoluble compounds aluminium (III) in the presence of magnesium, calcium, barium and surfactants/ Than Zaw Htay, **Aung Pyae**, Hein Thu Aung, Kolesnikov A.V.//

Conference proceedings - METAL 2020, 29th International Conference on Metallurgy and Materials. – P. 1013-1018. (*Scopus, Web of Science*)

5. Hein Thu Aung. Study of the efficiency of electroflotation process on a mixture of heavy hydroxides and nonferrous metals in various electrolytes/ Hein Thu Aung, **Aung Pyae**, Than Zaw Htay, Kolesnikov A.V.// Conference proceedings – METAL 2020, 29th International Conference on Metallurgy and Materials. – P. 1019-1023. (*Scopus, Web of Science*)

6. **Аунг Пьяе**. Исследование процессов электрофлотационного извлечения смеси труднорастворимых соединений меди и никеля в присутствии органических композиций, применяемых в обработке поверхности металлов/ **Аунг Пьяе**, Хейн Тху Аунг, Колесников А.В.// Гальванотехника и обработка поверхности. 2020. – Том 28. – № 4. – С 38-45. (*ВАК*)

7. Хейн Тху Аунг. Электрофлотация и седиментация в очистке сточных вод от гидроксидов тяжёлых и цветных металлов/ Хейн Тху Аунг, **Аунг Пьяе**, Тхан Зо Хтай, Колесников В.А.// Химическая промышленность сегодня. 2019. – № 6. – С. 30-37. (*ВАК*)

8. **Аунг Пьяе**. Исследование эффективности электрофлотационного процесса совместного извлечения ионов Cu, Ni и Zn в составе многокомпонентных систем/ **Аунг Пьяе**, Щербакова Г.А., Щербакова Л.А., Хейн Тху Аунг, Колесников А.В.// Вода: химия и экология. 2019. – № 3-6. – С. 54-60. (*ВАК*)

9. **Аунг Пьяе**. Влияние композиции фосфатирования DecorrDal на электрофлотационное извлечение труднорастворимых соединений Cu, Ni, Zn, Co, Fe, Al из промывных и сточных вод/ **Аунг Пьяе**, Хейн Тху Аунг, Колесников А.В.// Гальванотехника и обработка поверхности. 2019. – Том 27. – № 2. – С. 31-39. (*ВАК*)

Публикации в сборниках материалов международных и всероссийских конференций

1. Щербакова Г.А. Влияние растворителя Р-5 на электрофлотационное извлечение смеси гидроксидов меди и цинк/ Щербакова Г.А., **Аунг Пьяе**, Хейн

Т.А., Колесников А.В.// XIV Конференция молодых ученых, аспирантов и студентов ИФХЭ РАН Физикохимия – 2019. 2 – 6 декабря 2019. – С. 220-221.

2. Аунг Пьяе. Влияние органических композиций применяемых в обработке поверхности металлов на электрофлотационное извлечение смеси труднорастворимых соединений цинка и никеля/ Аунг Пьяе, Колесников А.В., Колесников В.А.// Инновационные материалы и технологии: Международная научно-техническая конференция молодых ученых 2020. – Беларусь. – С. 102-105.

3. Аунг Пьяе. Влияние поверхностно-активных веществ различной природы на электрофлотационное извлечение смеси труднорастворимых меди, цинка и никеля в присутствии пенетранта ЛЖ-6А/ Аунг Пьяе., Оршанский А.В., Хейн Т.А., Колесников А.В.// Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды, г.Чебоксары. 2020. – С. 31-32.

4. Аунг Пьяе. Электрофлотационное извлечение смеси труднорастворимых соединений цинка и никеля в присутствии органических компонентов, применяемых в обработке поверхности металлов/ Аунг Пьяе, Хейн Тху Аунг., Колесников А.В.// Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ–2020» [Секция – Химия], – 2020. – С. 8.

5. Сравнение эффективности очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов цинка и никеля методом электрофлотации в присутствии комплексообразователя  $\text{NH}_4\text{OH}$ / Аунг Пьяе, Вей Мьо Хтун, Хейн Тху Аунг, Колесников В.А.// Инновационные материалы и технологии – 2021. (Минск). – С.344-347.

6. Аунг Пьяе. Электрофлотационное извлечение ионов  $\text{Cu}$ ,  $\text{Ni}$  из водных растворов в присутствии лиганда  $\text{NH}_4\text{OH}$ / Аунг Пьяе, Хейн Т.А., Колесников В.А., Давыдкова Т.В.// Сборник тезисов XXI Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Санкт-Петербург. – том 3. – 2019. – С. 254-254.

7. Аунг Пьяе. Катионный ПАВ в электрофлотационном процессе извлечения смеси фосфата никеля и меди/ Аунг Пьяе, Вей Мьо Хтун, Колесников А.В.// В

«Экологические вопросы коррозии, противокоррозионных и электрохимических технологий. Очистка, регенерация, обезвреживание и утилизация отходов электрохимических производств и использование отходов в противокоррозионной технике».

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Аунг Пьяе является завершённой научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Аунг Пьяе; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Повышение эффективности электрофлотационного процесса извлечения ионов меди, никеля и цинка в составе многокомпонентных систем» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Диссертация рассмотрена на заседании кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов, состоявшемся 23 мая 2023 года, протокол № 16. В обсуждении приняли участие: доц. Морозов А.Н., и.о. зав. кафедрой Колесников А.В., проф. Почиталкина И.А., к.х.н. проф. Новиков В.Т.

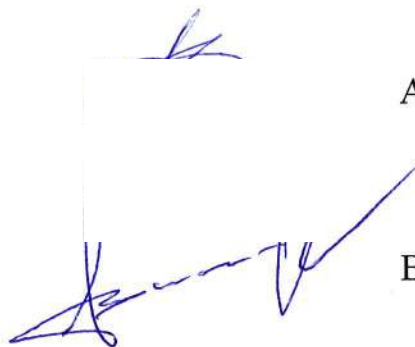
Принимало участие в голосовании 14 человек. Результаты голосования:  
«За» - 14 человек, «Против» - 0 человек, воздержались - 0 человек, протокол № 16  
от 23 мая 2023 года.

И.о. заведующего кафедрой  
технологии неорганических веществ  
и электрохимических процессов

А.В. Колесников

Секретарь заседания

В.А. Бродский





# ПРОТОКОЛ

заседания кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов

Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева  
от «23» мая 2023 г. № 16

Присутствовали: и.о. зав. кафедрой, к.т.н. Колесников А.В., доц., к.х.н. Бродский В.А., доц., к.х.н. Поляков Н.А., доц., к.т.н. Гайдукова А.М., доц., к.т.н. Стоянова А.Д., проф., д.х.н. Алехина М.Б., проф., к.т.н. Царькова Т.Г., доц., к.т.н. Нефедова Н.В., проф., д.х.н. Либерман Е.Ю., проф., д.т.н. Конькова Т.В., проф., д.х.н. Попов А.Н., проф., к.х.н. Новиков В.Т., доц., д.т.н. Почиталкина И.А., доц., к.х.н. Морозов А.Н.

Всего присутствовало: 14 человек.

## ПОВЕСТКА ДНЯ

Предварительное рассмотрение диссертационной работы соискателя кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов РХТУ им. Д.И. Менделеева Аунг Пьяе «Повышение эффективности электрофлотационного процесса извлечения ионов меди, никеля и цинка в составе многокомпонентных систем».

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Тема диссертационной работы Аунг Пьяе и научный руководитель кандидат технических наук, доцент Колесников Артём Владимирович утверждены на заседании Ученого совета университета (протокол № 8 от 29 марта 2023 г.).

СЛУШАЛИ:

Сообщение Аунг Пьяе, изложившего основное содержание своей диссертационной работы.

Аунг Пьяе были заданы следующие вопросы:

д.т.н. проф. Попов Андрей Николаевич: за счет чего происходит очистка в сорбционной колонне?

к.т.н. проф. Новиков Василий Тимофеевич: на сколько эффективно проходит электрофлотационная очистка от органических загрязнителей, и какие дальнейшие рекомендации для производств при использовании их в качестве очищающих компонентов?

к.х.н. доц. Морозов Александр Николаевич: вследствие чего в сточной воде может образовываться хлориды, почему не использовались в работе и как их извлекать?

к.т.н. проф. Царькова Татьяна Григорьевна: какие фильтры были использованы для очистки от органических соединений?

к.т.н. проф. Конькова Татьяна Владимировна: для чего нужна напорная фильтрация и за счет чего она очищает?

к.т.н. доц. Милютин Алёна Дмитриевна: изучались ли ранее в электрофлотации такие органические компоненты?

В обсуждении приняли участие: доц. Морозов А.Н., и.о. зав. кафедрой Колесников А.В., проф. Почиталкина И.А., проф. Новиков В.Т.

ПОСТАНОВИЛИ:

Заслушав и обсудив диссертационную работу Аунг Пьяе, принять следующее заключение.

Председатель заседания



А.В. Колесников

Секретарь заседания



В.А. Бродский