

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО «Тамбовский  
государственный технический университет»,  
д.т.н., профессор Муромцев Д.Ю.  
\_\_\_\_\_ 2023 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации - Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Тамбовский государственный технический университет" на диссертационную работу Аунга Пьяе «Повышение эффективности электрофлотационного процесса извлечения ионов меди, никеля и цинка в составе многокомпонентных систем», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.9. – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии

#### **Актуальность темы исследования**

Диссертационная работа Аунга Пьяе направлена на решение **актуальной** научно-технологической **проблемы**: улучшение экологической обстановки на машиностроительных предприятиях Республики Союз Мьянма.

**Конкретная цель работы** состоит в установление базовых закономерностей (интенсивность и эффективность) по влиянию природы дисперсной фазы и  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  на процесс электрофлотационного извлечения труднорастворимых соединений меди, цинка и никеля в составе многокомпонентных систем для поиска направлений по повышению эффективности электрофлотационных процессов очистки сточных вод сложного состава.

#### **Достоверность результатов и основных выводов диссертации**

Все представленные в работе результаты и выводы получены на основе анализа литературных источников по теме исследования, экспериментального материала и математического описания электрофлотационного процесса извлечения труднорастворимых соединений меди, цинка и никеля в составе многокомпонентных систем. Их достоверность обеспечивается использованием комплекса апробированных

экспериментальных методов, воспроизводимостью результатов экспериментов.

### **Научная новизна диссертационной работы**

К наиболее важным результатам работы, характеризующим ее научную новизну, следует отнести следующие:

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

2. Выявлено, что для двухкомпонентных систем Cu-Zn и Ni-Zn наибольшая степень извлечения достигается в условиях фонового электролита  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и составляет 95% и 94% соответственно, что обусловлено, вероятно, образованием более крупных частиц гидроксидов извлекаемых ионов металлов.

3. 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  $\text{pH}=9$ .

4. 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  $\text{pH}=9$  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 значимость**

Практическая значимость работы определяется разработкой новой принципиальной схемы обезвреживания сточных вод от смеси тяжелых металлов в присутствии органических композиций для машиностроительных предприятий Республики Союза Мьянмы. Технологическая схема разработана на основе выбранных (установленных в ходе выполнения диссертационной работы) оптимальных условий проведения процесса электрофлотационного извлечения труднорастворимых соединений меди, никеля, цинка в составе многокомпонентных стоков и в присутствии органических компонентов.

### **Апробация работы**

Основные результаты диссертационной работы представлены на 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.

**Личный вклад** автора заключается в постановке совместно с руководителем цели и задач исследования, подборе объектов исследования (растворов промышленных производств и мембран, удовлетворяющих задачам очистки исследуемых растворов), выборе экспериментальных установок и методик исследования для решения поставленных задач, проведении экспериментальных исследований, обработке и обсуждении полученных экспериментальных данных, написании научных статей.

### **Оценка содержания работы**

Диссертация Аунг Пьяе по структуре и содержанию соответствует требованиям к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук. Диссертационная работа изложена на 109 страницах машинописного текста, содержит 55 рисунка, 51 таблицы и состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы из 88 источников.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна и положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** содержит системный и детальный анализ различных методов очистки сточных вод и технологических растворов, содержащих ионы тяжёлых и цветных металлов, а также ПАВ различной природы и нефтепродукты. Показано, что наибольшее распространение получили физико-химические методы разделения фаз, а именно: электрофлотационный метод очистки сточных вод от ионов тяжелых и цветных металлов.

Отмечено, что информация об используемых поверхностно-активных веществах, флокулянтах и органических компонентах, которые можно применить для очистки сточных вод, представлена в ограниченном количестве, что свидетельствует об актуальности проводимых исследований и научной новизне работы. В научно-технической литературе описано влияние лиганда на процессы очистки сточных вод от цветных металлов, однако не рассмотрены многокомпонентные смеси и полностью отсутствуют данные по электрофлотационной активности для таких систем.

Во второй главе описаны объекты исследований, которыми являлись модельные растворы, содержащие труднорастворимые соединения меди, никеля и цинка в составе многокомпонентных систем в присутствии ПАВ различной природы, флокулянта и органических композиций. Исследование процесса электрофлотационного извлечения труднорастворимых соединений проводилось по классической, широко описанной в литературе методике в непроточном аппарате объемом 0,5 л с нерастворимыми электродами ОРТА в качестве анода и катодами из нержавеющей стали. Электрофлотационную активность частиц дисперсной фазы оценивали по базовым параметрам, которыми выбрали степень извлечения  $\alpha$  (%) за 5 и 20 минут ( $\alpha_5$  и  $\alpha_{20}$ , соответственно) проведения электрофлотационного процесса. Измерение массовой концентрации металлов в растворах осуществлялось по стандартизированной методике на атомно-абсорбционном спектрометре КВАНТ-АФА в центре коллективного пользования имени Д. И. Менделеева.

В третьей главе изложена кинетика электрофлотационного процесса извлечения дисперсной фазы смеси двухкомпонентной системы из модельных сточных вод в слабощелочной области рН в присутствии катионных ПАВ и флокулянта. Приведены исследование процессов электрофлотационного извлечения смеси труднорастворимых соединений меди, никеля и цинка в присутствии органических композиций, применяемых в обработке поверхности металлов. Определены условия для эффективного протекания электрофлотационного процесса в электролитах  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaNO}_3$  и  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  для трехкомпонентных систем  $\text{Cu}^{2+}$ - $\text{Ni}^{2+}$ - $\text{Zn}^{2+}$ . Выполнен анализ эффективности для электрофлотационного извлечения труднорастворимых соединений  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$ .

В четвертой главе представлены экспериментальные результаты исследования процесса электрофлотационного извлечения смеси труднорастворимых соединений меди, никеля и цинка в присутствии органических композиций, применяемых в обработке поверхности металлов (растворитель Р-5, пенетрант ЛЖ-6А, лак ФЛ-5111 и очищающая жидкость ОЖ-1). Выявлено, что присутствие в двухкомпонентной системе Cu-Zn

органических загрязняющих веществ: очищающая жидкость ОЖ-1, лак ФЛ-5111 с концентрацией 10 мг/л улучшает процесс электрофлотации. Степень извлечения достигает 98% (без добавления ПАВ). Отмечено, что растворитель Р-5 увеличивает степень извлечения в системе Cu-Ni с 35% до 94%.

В пятой главе исследована трехкомпонентная система, которая встречается на практике в реальных сточных водах промышленных предприятий, где в процессах подготовки поверхности металлов к различным технологическим операциям часто применяются процессы травления в соляной, фосфорной, азотной и серной кислотах.

Исследовано влияние фоновых электролитов  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  на процесс извлечения трехкомпонентной смеси ионов меди, никеля и цинка из сточных вод. Установлено, что максимальная степень извлечения (94%) может быть достигнута в растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  при  $\text{pH}=9$ ,  $j_v=0.4$  А/л, за время 20 минут.

В растворе  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  степень извлечения металлов может быть увеличена с 84% до 93% путем введения 5 мг/л КатаПАВ или СептаПАВ.

В шестой главе проанализированы экспериментальные результаты, представленные в главах три, четыре, пять и определены базовые параметры электрофлотационного процесса для всех исследуемых в работе систем. На основании проведенных экспериментальных исследований предложена принципиальная схема очистки многокомпонентных сточных вод машиностроительных предприятий Республики Союз Мьянма.

**Автореферат** диссертационной работы отражает ее содержание, научную новизну, практическую значимость, заключение и другие ключевые моменты.

### **Замечания по работе**

1. Автор привел достаточно подробный литературный обзор по исследованию электрофлотационного процесса извлечения ионов металлов из промышленных растворов гальванических производств, где процитировано 87 отечественных и зарубежных работ. Однако соискателю стоило бы в конце литературного обзора привести заключительный пункт, в котором сформулировать проблему, записать цель и расписать задачи исследования.

2. В диссертационной работе приведен большой экспериментальный материал, однако не затронул тепловые процессы. В процессе электрофлотации из-за разной электропроводности электродов, очищаемого

раствора и поляризационных явлений часть электроэнергии превращается в Джоулево тепло. Влияет ли тепло на процесс электрофлотации?

3. В работе красной чертой прослеживается большой полученный экспериментальный материал. Но почему-то автор в своих исследованиях не затронул вопросы математического описания процесса электрофлотации. Так как методы математического описания позволяют теоретически прогнозировать результаты исследования и проверять адекватность полученных экспериментальных данных.

4. Соискатель по результатам своих исследований разработал технологию очистки многокомпонентных сточных вод гальванических производств, но не запатентовал её патентом на изобретение.

5. В своей диссертационной работе автору надо было бы более обобщенно подходить к своим результатам исследований и, например, в конце каждой главы приводить раздел как выводы по главе. Следует отметить, что количество задач исследования должно соответствовать количеству выводов в заключении диссертации.

Приведенные замечания носят дискуссионный характер и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Аунга Пьяе.

Результаты работы могут быть рекомендованы к использованию на предприятиях Республики Союз Мьянма, в учреждениях высшего образования и науки в России; на химических предприятиях, сточные воды которых содержат многокомпонентные смеси тяжелых и цветных металлов.

#### **Заключение о соответствии диссертационной работы требованиям ВАК Минобрнауки России**

**Оценка качества оформления работы.** В диссертации Аунга Пьяе для изложения материала использован достаточно грамотный научный язык, приведен широкий набор первичных экспериментальных данных и выдержана логическая последовательность представления экспериментальных и теоретических результатов исследования.

**Публикации.** По диссертации опубликовано 27 печатных работ, в том числе 5 публикаций в изданиях, входящих в международные научные базы Scopus и Web of Science и 4 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК.


Диссертационная работа Аунга Пьяе «Повышение эффективности электрофлотационного процесса извлечения ионов меди, никеля и цинка в составе многокомпонентных систем» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новые научно-обоснованные технические и технологические решения по электрофлотационной очистке сточных вод от смеси ионов тяжелых металлов и органических компонентов. Внедрение данных технических решений внесёт вклад в развитие промышленного комплекса Республики Союз Мьянма в области защиты окружающей среды.

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.6.9. «Технология электрохимических процессов и защита от коррозии» (п.8). По своей актуальности, научной новизне, достоверности, практическому и теоретическому значению диссертационная работа соответствует требованиям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом № 1523 ст от 17.09.2021 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

По объему исследований, актуальности, научной новизне и практической значимости диссертация соответствует также требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г № 842 (ред. от 18.03.2023) "О порядке присуждения ученых степеней" как научно-квалификационная работа, направленная на решение задачи, имеющей существенное значение для развития теоретических и прикладных аспектов электрофлотационной очистки промышленных растворов и сточных вод в гальваническом производстве, а ее автор Аунг Пьяе. заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.


Отзыв на диссертацию Аунг Пьяе обсужден и одобрен на расширенном заседании кафедры «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» (протокол № 12 от 04.07.2023 года). На заседании присутствовало 15 человек. Результаты голосования: "за" 15 чел., "против" – нет, "воздержались" – нет.

Отзыв подготовил: профессор кафедры  
"Механика и инженерная графика"  
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доктор технических наук,  
доцент (специальность по диплому 2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии)

 Абоносимов О.А.

« 5 » июня 2023 г.

Заведующий кафедрой  
"Механика и инженерная графика"  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет»,  
доктор технических наук, профессор (специальность по диплому 2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии)

 Лазарев С.И.

« 5 » июня 2023 г.

**ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ**  
**ВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ ТГТУ**

 Г.В. Мозгова

« 5 » июня 2023 г.

392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет»  
моб. 8 (906) 596-45-49  
e-mail: sergey.lazarev.1962@mail.ru