ОТЗЫВ

официального рецензента на диссертационную работу
Нуртазиной Айжан Еркинбеккызы на тему «Разработка интегральной технологии получения медного порошка из комплексных электролитов», предоставленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «6D072000 – Химическая технология неорганических веществ»

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (подчеркнуть один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента (замечания выделить курсивом)
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: 1) диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы); 2) диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы); 3) **диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).**	1) Диссертационная работа Нуртазиной А.Е. выполнялась в рамках проекта AP09058539 «Разработка интегральной технологии получения медного порошка из комплексных электролитов в нейтральной среде» (2021-2023). 3) Тема диссертации, утвержденная 18.03.2021, соответствует приоритетному направлению развития науки «Научные исследования в области естественных наук» и «Геология, добыча и переработка минерального и углеводородного сырья, новые материалы, технологии, безопасные изделия и конструкции», утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан на 2021-2023 годы.
2.	Важность для науки	Работа **вносит**/не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо **раскрыта**/не раскрыта.	Диссертационная работа представляет собой значимый научный вклад, что подтверждается разработкой эффективной технологии получения медного порошка с высокой чистотой (99,54%) и выходом по току (95,5%). Исследование электрохимического поведения ионов меди в комплексных электролитах с органическими лигандами расширяет фундаментальные знания в области электрохимии. Разработка и успешное тестирование

			установки вихревого электролиза демонстрируют практическую значимость работы. Оптимизация параметров процесса и их математическое моделирование обеспечивают возможности масштабирования технологии до промышленного уровня.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) высокий; 2) **средний**; 3) низкий; 4) самостоятельности нет.	Уровень самостоятельности автора диссертации можно оценить как средний, что подтверждается её активным участием на всех этапах выполнения работы. Автор самостоятельно проводила эксперименты, осуществляла первичный анализ данных и интерпретацию полученных результатов. Значительная часть подготовки текстов, включая описание введения, методологии, результатов и выводов, а также оформление графиков, рисунков и окончательных материалов, выполнена непосредственно диссертантом. Кроме того, автор принимала участие в техническом и организационном сопровождении работы, включая оформление документов и материалов, что свидетельствует о её высокой компетентности и независимости в научной деятельности.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) **обоснована**; 2) частично обоснована; 3) не обоснована.	Принцип внутреннего единства диссертации реализован через изучение закономерностей электроосаждения меди и разработку технологий получения медного порошка. Актуальность темы связана с значимостью меди и необходимостью совершенствования экологически и экономически эффективных технологий. В работе рассмотрены ключевые аспекты процесса, включая влияние органических добавок, что способствует повышению чистоты и энергоэффективности. Инновационное применение вихревого электролиза подтверждает практическую значимость исследования.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) **отражает**;	Содержание диссертации соответствует её теме, охватывая ключевые аспекты разработки технологии получения медного порошка методом электролитического осаждения.

		2) частично отражает; 3) не отражает.	Рассмотрены свойства порошков, методы их получения и влияние параметров процесса. Экспериментальная часть включает использование вихревого электролиза, анализ компонентов электролита и математическое планирование. Структура работы чётко отражает её цель и научные задачи.
		4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) **соответствуют**; 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют.	Цель и задачи исследования полностью соответствуют теме диссертации. Цель — синтез медного порошка из органических комплексных электролитов и оптимизация процесса — тесно связана с разработкой новых технологий. Задачи охватывают ключевые аспекты: изучение параметров процесса, синтез и характеристику порошка, проектирование установки вихревого электролиза и математическое моделирование. Они направлены на достижение как фундаментальных, так и прикладных результатов, что соответствует теме исследования.
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) полностью взаимосвязаны; 2) **взаимосвязь частичная**; 3) взаимосвязь отсутствует.	В целом, все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны и соответствуют цели и задачам исследования. Основные положения отражают систематическое изучение влияния параметров процесса на эффективность и качество осаждения меди. Положения охватывают взаимосвязь концентрации органических комплексообразователей, использование вихревого электролиза и влияние плотности тока, что объединяет фундаментальные исследования с практическими разработками. Структура диссертации в целом имеет внутреннюю логику и целостность. *Однако, в положениях не отражены результаты так называемого первого этапа экспериментов.*
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) критический анализ есть;	Предложенные автором решения, включая использование органических комплексообразователей (НТФ и ОЭДФ) и вихревого электролиза, обоснованы анализом их влияния на процесс электроосаждения меди. Эти подходы обеспечивают более высокий выход по току (до 96,8%) и

		2) **анализ частичный**;	улучшенные свойства порошка, включая чистоту и дисперсность. Вихревой электролиз позволяет эффективно формировать мелкодисперсные частицы меди (5–10 мкм). Проведённый анализ подтверждает энергоэффективность и экологическую безопасность решений, что делает их конкурентоспособными и перспективными для внедрения. *С другой стороны, сравнительные таблицы и графики с соответствующими ссылками на источники не приведены.*
		3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов;	
		4) анализ отсутствует.	
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми?	Научные результаты и положения диссертации являются новыми. Разработан уникальный подход к получению медного порошка с использованием НТФ и ОЭДФ, определены оптимальные концентрации добавок, обеспечивающие высокий выход по току и улучшенные свойства порошков. Внедрение установки вихревого электролиза для мелкодисперсного порошка и использование методов математического планирования для оптимизации параметров подтверждают оригинальность работы. Результаты исследования вносят вклад в развитие технологий порошковой металлургии и электрохимии.
		1) **полностью новые**;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	
		5.2 Выводы диссертации являются новыми?	Выводы диссертации являются новыми, поскольку в работе впервые определены оптимальные параметры электроосаждения меди с использованием органических комплексообразователей в кислых и нейтральных средах. Установлены закономерности влияния концентрации компонентов, плотности тока и температуры на процесс, что позволило добиться высокого выхода по току и улучшенных характеристик порошка. Разработана и экспериментально проверена установка вихревого электролиза, которая продемонстрировала эффективность при получении мелкодисперсных порошков. Также предложено обобщённое математическое уравнение процесса, применимое для масштабирования технологии. Эти
		1) **полностью новые**;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	

			результаты обоснованно выделяют оригинальность исследования.
		5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) **полностью новые;** 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%).	Технические, технологические и экономические решения, предложенные в диссертации, являются новыми и обоснованными. Установка вихревого электролиза обеспечивает высокий выход по току (до 98%) и получение мелкодисперсного порошка меди с улучшенными характеристиками. Использование органических комплексообразователей (НТФ и ОЭДФ) оптимизирует процесс осаждения и устраняет побочные эффекты. Экономическая эффективность достигается за счёт энергоэффективности, использования малоконцентрированных растворов и исключения токсичных компонентов. Математическое моделирование повышает точность масштабирования, что делает технологию применимой в полупромышленных масштабах.
6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы **основаны**/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research (куолитатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	Все основные выводы диссертации основаны на научных данных, подтверждённых экспериментальными исследованиями. Автор изучила влияние концентрации комплексообразователей, плотности тока и температуры на выход по току и характеристики порошка, а результаты подкреплены анализом его чистоты, размера частиц и структуры. *Однако несогласованность концентраций на разных этапах экспериментов снижает обоснованность некоторых выводов: влияние температуры изучалось при 14 г/л НТФ и 4 г/л Cu, тогда как поляризационные кривые рассматривались только до 10 г/л и 2 г/л Cu, а в заключении оптимальными указаны 14–17,5 г/л НТФ и 4-5 4 г/л Cu, что требует пояснения. Кроме того, в начале описания результатов первого этапа экспериментов автор утверждает, что без НТФ при pH 7 раствор неустойчив, однако в выводах рассматривается эффект добавления НТФ, но эксперименты без НТФ, судя по тексту, не*

			представлены. Также не во всех разделах представлены визуальные доказательства заявленных эффектов, например, устойчивости растворов или морфологических изменений порошков при варьировании условий приготовления растворов и самого электролиза. Методы математического моделирования и обобщённое уравнение подтверждают достоверность закономерностей, *однако в конце каждой подглавы недостаточно чётких выводов, отражающих корреляции между изменяемыми параметрами и характеристиками порошка, что снижает целостность интерпретации данных.*
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: **Положение №1:** 7.1 Доказано ли положение? 1) доказано; 2) **скорее доказано**; 3) скорее не доказано; 4) не доказано; 5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно. 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) **нет**; 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно. 7.3 Является ли новым? 1) **да**; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно.	**Положение №1.** В кислой среде в присутствии нитрилометилтриенфосфоновой кислоты ($C_3H_{12}NO_9P_3$) наибольший выход по току меди установлен при концентрации НТФ равной 7,5 г/л и составил 96,7%, а в нейтральной среде максимальный ВТ приходится на концентрацию НТФ 8 г/л и составляет 35%. *Положение частично доказано. Графики подтверждают полученные зависимости, но различие концентраций НТФ в кислой и нейтральной средах требует пояснения. Следует уточнить, учитывалось ли влияние концентрации меди и pH при формулировке данного вывода, чтобы исключить влияние сторонних факторов.*

		7.4 Уровень для применения:	
		1) узкий;	
		2) **средний**;	
		3) широкий;	
		4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно.	**Положение №2.** Добавление нитрилометилтриенфосфоновой кислоты ($C_3H_{12}NO_9P_3$) в электролит повышает чистоту медного порошка на 1,2% и улучшает физико-химические характеристики в сравнении с электролизом без НТФ.
		7.5 Доказано ли в статье?	
		1) **да**;	
		2) нет;	
		3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	*Положение №2 не доказано в полном объёме. В диссертации отсутствуют данные по электролизу без НТФ, что делает невозможным корректное сравнение и подтверждение заявленного эффекта. Для обоснованности вывода необходимы либо собственные экспериментальные данные без НТФ, либо чёткая ссылка на литературу с аналогичными условиями.*
		Положение №2:	
		7.1 Доказано ли положение?	
		3) **скорее не доказано**;	
		7.2 Является ли тривиальным?	
		2) **нет**;	
		7.3 Является ли новым?	
		1) **да**;	**Положение №3.** В кислой среде в присутствии оксиэтилидендифосфоновой ($C_2H_8O_7P_2$) наибольший выход по току меди установлен при концентрации ОЭДФ равной 5 г/л и составил 96,8%, а в нейтральной среде максимальный ВТ приходится на концентрацию ОЭДФ 10 г/л и составляет 40,5%.
		7.4 Уровень для применения:	
		4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно.	
		7.5 Доказано ли в статье?	
		2) **нет**;	
		Положение №3:	*Положение не до конца доказано, так как различие концентраций меди в кислой и нейтральной средах может существенно влиять на выход по току. Для корректного обоснования необходимо либо проводить эксперименты при одинаковой концентрации меди, либо дополнительно*
		7.1 Доказано ли положение?	
		2) **скорее доказано**.	
		7.2 Является ли тривиальным?	
		2) **нет**;	
		7.3 Является ли новым?	

		1) **да**; 7.4 Уровень для применения: 3) **широкий**; 7.5 Доказано ли в статье? 2) **нет**; **Положение №4:** 7.1 Доказано ли положение? 2) **скорее доказано**. 7.2 Является ли тривиальным? 2) **нет**; 7.3 Является ли новым? 1) **да**; 7.4 Уровень для применения: 3) **широкий**; 7.5 Доказано ли в статье? 1) **да**; **Положение №5:** 7.1 Доказано ли положение? 2) **скорее доказано** 7.2 Является ли тривиальным? 2) **нет**; 7.3 Является ли новым? 1) **да**; 7.4 Уровень для применения: 3) **широкий**; 7.5 Доказано ли в статье? 1) **да**;	*анализировать влияние концентрации меди на выход по току.* **Положение №4.** Установка вихревого электролиза обеспечивает высокий ВТ 95,5% и получение мелкодисперсных порошков меди с размером частиц 5-10 мкм. *Положение не до конца доказано, так как отсутствуют ключевые параметры процесса, влияющие на заявленные характеристики. Для полной доказанности необходимо указать концентрацию меди, силу и плотность тока, температуру, pH, скорость циркуляции электролита, либо добавить уточнение «при оптимизированых концентрациях/условиях» непосредственно в текст положения.* **Положение №5.** Наибольшее влияние на эффективность формирования медного порошка методом вихревого электролиза оказывает плотность тока. *В текущей формулировке проверить полную доказанность положения сложно, так как оно не содержит количественных данных и не определяет степень влияния плотности тока относительно других параметров процесса.*
8.	Принцип достоверности.	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана:	Выбор методологии в целом обоснован и соответствует задачам исследования. Результаты работы получены с

	Достоверность источников и предоставляемой информации	1) **да**;	использованием современных методов, включая вольтамперометрию и потенциометрию для анализа электрохимического поведения ионов меди, а также сканирующую электронную микроскопию и элементный анализ для изучения морфологии и состава порошка. Эти подходы обеспечивают точность данных и их соответствие целям оптимизации процесса электроосаждения.
		2) нет.	
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:	В работе применялись современные методики обработки и интерпретации данных, включая метод многофакторного математического матричного планирования, который позволяет одновременно оценивать влияние нескольких параметров процесса. Этот подход, реализованный с использованием компьютерных технологий, обеспечил высокую точность анализа, обобщение закономерностей и выведение оптимальных условий для процесса электроосаждения меди.
		1) **да**;	
		2) нет.	
		8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента):	Теоретические выводы, модели и выявленные закономерности в диссертации основаны на экспериментальных данных, *однако их интерпретация требует большей обоснованности и согласованности.* Установленные зависимости между концентрацией комплексообразователей, плотностью тока, температурой и выходом по току меди обоснованы экспериментально, *но в работе отсутствуют визуальные доказательства некоторых заявленных эффектов. Например, при анализе стабильности растворов с различными массовыми соотношениями меди и комплексонов не представлены таблицы или графики, подтверждающие устойчивость систем, а сделанные выводы основаны только на наблюдениях самого диссертанта. Обоснованность выводов снижает несогласованность концентраций: влияние температуры изучалось при 14 г/л, тогда как поляризационные кривые рассматривались только до 10 г/л,*
		1) **да**;	
		2) нет.	

			где они не отличались от фона. В третьем этапе концентрации снижены до менее 1,0 г/л, тогда как в заключении оптимальными указаны 14–17,5 г/л, что требует пояснения. Дополнительно, в конце каждой подглавы отсутствуют чёткие обобщающие выводы, отражающие установленные закономерности и взаимосвязи между результатами различных методов анализа. Недостаточно раскрыты корреляции между изменяемыми параметрами и характеристиками полученного порошка, что снижает целостность интерпретации. Для повышения научной обоснованности рекомендуется представить систематизированное обсуждение взаимосвязей и их подтверждение визуальными данными.
		8.4 Важные утверждения подтверждены/**частично подтверждены**/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	Важные утверждения диссертации подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу. Использованы современные исследования по электроосаждению металлов, влиянию органических добавок и вихревому электролизу, что подчёркивает обоснованность выводов. *Однако, во введении, в разделе об актуальности темы и в литературном обзоре, отдельные утверждения остаются неподкреплёнными ссылками, что требует дополнения для повышения научной строгости и убедительности изложения.*
		8.5 Использованные источники литературы **достаточны**/не достаточны для литературного обзора.	Использованные источники литературы в целом достаточны, поскольку они охватывают аспекты, связанные с электроосаждением меди и вихревым электролизом. *Однако в обзоре отсутствует обоснование применения НТФ и ОЭДФ как органических комплексообразователей, а также недостаточно раскрыто влияние органических добавок на свойства электролитов. Для повышения научной обоснованности рекомендуется дополнить литературный*

			обзор публикациями, описывающими свойства этих соединений и их влияние на процесс электроосаждения.
9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:	Исследование расширяет знания об электрохимическом поведении ионов меди в присутствии НТФ и ОЭДФ, демонстрируя возможность проведения электролиза в нейтральной среде с экологическими преимуществами. Установленные закономерности повышения эффективности и чистоты процесса, а также применение математического моделирования создают основу для оптимизации технологий. Разработка установки вихревого электролиза открывает перспективы для новых исследований и применения в электрохимии и металлургии.
		1) **да**;	
		2) нет.	
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:	Диссертация имеет практическое значение с высокой вероятностью применения её результатов. Разработанная технология получения медного порошка демонстрирует эффективность и конкурентоспособность, обеспечивая высокую чистоту продукта. Математическое моделирование оптимизирует процесс, сокращая необходимость дополнительных экспериментов, что приносит экологические и экономические выгоды. Результаты работы могут быть востребованы компаниями, такими как «Казахмыс», KAZ Minerals и ТОО «Eurasia Copper PLC», что подтверждает её прикладную ценность.
		1) **да**;	
		2) нет.	
		9.3 Предложения для практики являются новыми:	Предложения для практики являются новыми. Использование НТФ и ОЭДФ в комплексных электролитах и вихревого электролиза обеспечивает высокую чистоту и эффективность процесса. Внедрение математического моделирования для оптимизации параметров без экспериментов сокращает ресурсы и снижает экологическую нагрузку. Эти инновации имеют высокий потенциал для промышленного применения.
		1) **полностью новые**;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма:	Качество написания и оформления диссертации в целом среднее: содержание в целом логично структурировано,
		1) высокое;	

		2) **среднее**; 3) ниже среднего; 4) низкое.	цели, задачи, методы и результаты изложены чётко и научно обоснованно. Все разделы взаимосвязаны и соответствуют заявленной теме исследования. Оформление таблиц, рисунков и графиков выполнено корректно, *хотя качество рисунков можно было бы улучшить. Кроме того, вместо нумерации этапов рекомендуется использовать конкретные названия подглав, отражающие их содержание. Сокращения должны быть обозначены при первом упоминании и далее применяться в сокращённом виде по всему тексту. В тексте есть опечатки, например, в описании рисунка 6 (влияние различного pH), где вместо постоянной концентрации НТФ указано значение pH 7. Также следует проверить текст на предмет других возможных неточностей и несоответствий.*
11.	Замечания к диссертации	*1. Минимальное соотношение меди к НТФ, обеспечивающее устойчивость раствора, указано как 1:3,5. О каком соотношении идёт речь – массовом или молярном? Сохранялось ли это соотношение при изменении концентрации НТФ в растворе? Как это могло повлиять на интерпретацию результатов? Судя по названию рисунка, концентрация меди была постоянной (2 г/л), но в самом тексте такого уточнения нет.* *2. На чём основан выбор концентраций в разных экспериментах? Почему для исследования влияние температуры были увеличены концентрации НТФ и меди в два раза (14 г/л и 4 г/л, соответственно) по сравнению с предыдущими анализами? Чем обусловлено снижение концентраций до менее 1,0 г/л в третьем этапе экспериментов. Откуда взялось заключение об оптимальных концентрациях в 14–17,5 г/л? Почему при изучении влияния концентрации НТФ на выход по току в кислой и нейтральной средах берутся разные концентрации меди?* *3. Как изменяются реологические свойства растворов при изменении концентрации компонентов? Влияет ли это на электроосаждение?* *4. Почему в Таблице 3 не приведены значения pH, если его влияние обсуждается в тексте? Какой конкретный pH подразумевается под сильнокислой средой?* *5. В начале описания результатов первого этапа экспериментов утверждается, что без НТФ при pH 7 раствор неустойчив. Однако в выводах рассматривается влияние добавления НТФ, но эксперименты без НТФ в работе не представлены. На чём основан этот вывод?* *6. Элементный анализ сам по себе без рентгеноструктурного анализа, рентгено-фотоэлектронной спектроскопии или ИК-спектроскопии показать образование фосфата меди не может.*	

		Высказанные комментарии и замечания носят уточняющий характер и не влияют на общее качество диссертационной работы.
12.	Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)	Научный уровень статей докторанта по теме исследования подтверждается публикацией в международных и национальных журналах, а также патентом, что свидетельствует о востребованности выполненных исследований в профессиональном сообществе. 1. Obtaining of copper powder by method of a vortex electrolysis from acid sulphate electrolytes // Results in Engineering. – 2022, *16*, 100604 – DOI: 10.1016/j.rineng.2022.100604. Индексируется в Web of Science и Scopus, первый квартиль (Q1), процентиль: 74% (General Engineering). 2. Получение медного порошка в присутствии нитрилометилтриенфосфоновой кислоты // Материалы электрохимии и химии. – 2021. – DOI: 10.32014/2021.2518-1483.93. Журнал рекомендован Комитетом по контролю в сфере образования и науки Республики Казахстан. 3. Патент 32109 РК: МПК C25C 5/02 «Мыс ұнтағын алу тәсілі». Выдан «Национальным институтом интеллектуальной собственности» Министерства юстиции Республики Казахстан. Публикации охватывают теоретические и прикладные аспекты технологии получения медного порошка, что подчеркивает актуальность и прикладное значение работы докторанта. *Однако, публикации в соавторстве с научными консультантами отсутствуют.*
13.	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	Присудить степень доктора философии (PhD).

Доктор химической науки и инженерии (PhD),
Ведущий научный сотрудник,
ЧУ «National Laboratory Astana» **А.Д. Белгібаева**

Старший менеджер Отдела по управлению персоналом и делопроизводству **Г.Н. Акпарова**

20.01.2025