ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО РЕЦЕНЗЕНТА

на диссертацию Курмангалиева Дамира Болатовича
на тему «Исследование и разработка технологии извлечения ценных компонентов из металлургических шлаков методом электрохимического гидрохлорирования»,
представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07202 – Металлургия

№ 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).	Диссертационная работа выполнена в рамках грантового финансирования исследований молодых учёных по проекту «Жас ғалым» Комитета науки МНВО Республики Казахстан на 2025–2027 годы, ИРН AP25796667 «Разработка рациональной технологии извлечения ценных компонентов из шлаков медеплавильного производства Казахстана». Тематика работы направлена на вовлечение в переработку техногенного сырья цветной металлургии - накопленных отвальных шлаков Балхашского и Жезказганского медеплавильных заводов - и соответствует задачам рационального использования природных ресурсов и снижения техногенной нагрузки на окружающую среду, закреплённым в Экологическом кодексе Республики Казахстан. Исследования выполнены на базе НАО «Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева» и Филиала РГП «НЦ КПМС РК» «ВНИИцветмет».
2.	Важность для науки	Работа вносит/не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта/не раскрыта.	Диссертационная работа вносит вклад в развитие гидрометаллургии техногенного сырья цветной металлургии. Впервые метод электрохимического гидрохлорирования, ранее изучавшийся главным образом применительно к золотосодержащему сырью, хвостам обогащения и металлической меди, применён к фаялитовым медеплавильным шлакам. Установлена связь достижимого извлечения меди с её фазовым распределением

			(сульфидная, оксидная, ферритная формы), проверенная на двух шлаках различного типа (БМЗ - 70,0 %, ЖМЗ - 45,0 %). Показано, что селективность разделения меди и железа в хлоридной среде может обеспечиваться управлением кислотностью пульпы в автокислотном режиме, при котором кислота, образующаяся при окислении сульфидов, компенсирует катодное подщелачивание. Выявлена роль удельного заряда, концентрации хлорида натрия и плотности пульпы как факторов, определяющих баланс между вскрытием медных фаз, разрушением железосиликатной матрицы и перераспределением меди на катод.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) высокий; 2) средний; 3) низкий; 4) самостоятельности нет.	Уровень самостоятельности автора является высоким. Докторант лично выполнил отбор и подготовку проб, комплекс исследований вещественного состава лежалых шлаков БМЗ и ЖМЗ и испытания методов предконцентрации (магнитная сепарация, обогащение в тяжёлых суспензиях и жидкостях, отсадка, концентрационный стол, флотация). Автором создана лабораторная установка на базе электролизера оригинальной конструкции с коаксиальным расположением восьми графитовых анодов и восьми катодов, проведены поисковые и оптимизационные серии опытов по электрохимическому гидрохлорированию, построены диаграммы E–pH, выполнена статистическая обработка плана Бокса–Бенкена, составлены материальные балансы и предварительная технико-экономическая оценка.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) обоснована; 2) частично обоснована; 3) не обоснована.	Актуальность обоснована устойчивым снижением содержания меди в добываемых рудах (до 0,52 % в 2022 г.) при прогнозируемом дефиците меди к 2035 г., а также накоплением в отвалах медеплавильных предприятий Казахстана десятков миллионов тонн шлаков с остаточным содержанием меди 0,7–1,0 % и цинка до 2,5 %. Применяемые технологии (пирометаллургическое

			обеднение, флотация) ориентированы на текущие шлаки и возврат медьсодержащего продукта в плавку и не решают задачу самостоятельной переработки лежалого материала, а известные гидрометаллургические схемы сопровождаются значительным соизвлечением железа либо требуют дорогостоящих окислителей, повышенных температуры и давления. Хлоридные методы перспективны, но ограничены необходимостью обращения с газообразным хлором; генерация активного хлора непосредственно в пульпе из хлорида натрия снимает это ограничение. Совокупность этих обстоятельств подтверждает актуальность темы.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) отражает; 2) частично отражает; 3) не отражает.	Содержание диссертации соответствует теме. В главе 1 рассмотрены гидрометаллургические методы переработки медеплавильных шлаков и физико-химические основы электрохимического гидрохлорирования; в главе 2 описаны материалы, методы анализа и лабораторная установка; в главе 3 представлены вещественный состав и обогатимость лежалых шлаков БМЗ и ЖМЗ, поисковые и оптимизационные исследования процесса, распределение компонентов по продуктам; в главе 4 выполнена предварительная технико-экономическая оценка.
		4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) соответствуют; 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют.	Цель работы - научное обоснование и разработка технологии извлечения меди из лежалых шлаков Балхашского медеплавильного завода методом электрохимического гидрохлорирования, обеспечивающей более высокое извлечение меди по сравнению с физическими методами обогащения при ограничении перехода железа в раствор, - соответствует теме диссертации. Сформулированные семь задач (изучение вещественного состава и обогатимости шлаков, теоретическое обоснование процесса, однофакторные исследования, оптимизация по плану Бокса–Бенкена, проверка режима на шлаке ЖМЗ, балансовые испытания, технико-экономическая оценка) последовательно ведут к

			достижению цели и решены в соответствующих разделах диссертации.
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: <u>1) полностью взаимосвязаны;</u> 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует.	Работа имеет логичную структуру. Литературный обзор и теоретический анализ (глава 1) обосновывают выбор метода и формулируют три ключевых условия процесса: наличие окислителя, вскрывающего сульфидную медь; ограничение разрушения железосиликатной матрицы; учёт ферритной меди как предела извлечения. Исследование вещественного состава и низкой эффективности физических методов (подразделы 3.1–3.2) обосновывает переход к прямому химическому вскрытию; однофакторные опыты (подраздел 3.4) задают область многофакторной оптимизации (подраздел 3.6); найденный режим проверен на шлаке другого типа (подраздел 3.8) и положен в основу технологической схемы и экономической оценки (глава 4). Положения, выносимые на защиту, и выводы вытекают из экспериментального материала.
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: <u>1) критический анализ есть;</u> 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов; 4) анализ отсутствует.	В главе 1 выполнен критический анализ известных гидрометаллургических способов переработки медеплавильных шлаков – сернокислотного выщелачивания с различными окислителями, сульфатизирующего обжига, автоклавного выщелачивания и биовыщелачивания, аммиачного и хлоридного выщелачивания – с оценкой не только извлечения меди, но и соизвлечения железа, расхода реагентов, гелеобразования и аппаратурной сложности (таблица 1.3). Отдельно рассмотрен опыт переработки лежалых и исторических шлаков. Предложенное решение сопоставлено с альтернативами по реагентной системе и основным ограничениям, а достигнутое извлечение меди – с результатами флотации того же шлака.

5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%).	Научные результаты являются новыми. Впервые получены экспериментальные данные о применении электрохимического гидрохлорирования к лежалым медеплавильным шлакам; установлены зависимости извлечения меди и перехода железа, свинца, цинка и серебра от силы тока, концентрации NaCl, продолжительности процесса и соотношения Ж:Т; выявлено перераспределение меди из продуктивного раствора на катод при избыточном хлоридном фоне; установлено существование автокислотного режима, позволяющего исключить постоянное дозирование соляной кислоты; получены адекватные регрессионные модели извлечения меди и остаточного железа. Новыми являются также данные о вещественном составе и формах нахождения меди, цинка и железа в лежалых шлаках БМЗ и ЖМЗ.
		5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%).	Выводы диссертации являются новыми и содержат конкретные количественные результаты: рациональный режим процесса (4,0 А, NaCl 175 г/дм³, Ж:Т = 6:1, 90 мин, удельный заряд 89,6 А·ч/кг), обеспечивающий извлечение 70,0 % меди из шлака БМЗ при переходе около 1,0 % исходного железа в конечный фильтрат и замыкании баланса меди 99,0 %; рабочее окно селективности по pH (1,2–1,5 – вскрытие меди, 3,0–4,0 – гидролиз Fe(III), 4,0–4,5 – верхняя граница); извлечение меди из шлака ЖМЗ (45,0 %) в том же режиме. Вывод о низкой эффективности магнитных и гравитационных методов для фаялитовых шлаков согласуется с литературными данными и для исследованного объекта является подтверждающим.
		5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%);	Технологические решения являются частично новыми. Новым является ключевой передел - прямое электрохимическое гидрохлорирование шлаковой пульпы без предварительного обогащения и без постоянного подкисления, защищённое патентом Республики Казахстан на полезную модель № 12292 «Способ переработки

		3) не новые (новыми являются менее 25%).	металлургических шлаков». Остальные операции схемы приняты по известным решениям.
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).	Основные выводы основаны на весомых экспериментальных доказательствах. Результаты получены в аккредитованной лаборатории ВНИИцветмет, опыты выполнялись в двух-трёхкратной повторности с расхождением не более 3 %, извлечение меди рассчитывалось по твёрдому остатку с контролем по жидким продуктам, материальные балансы меди в контрольных опытах замыкаются на 98,8–99,2 %. Оптимизация выполнена по плану Бокса–Бенкена с оценкой воспроизводимости по повторным опытам в центре плана, значимости коэффициентов по критерию Стьюдента и адекватности моделей по критерию Фишера; найденный режим подтверждён контрольными повторами. Выводы о механизме селективности опираются на термодинамический анализ диаграмм E–pH систем Cu–Cl–H_2O и Fe–H_2O.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: Положение 1	Положение 1 (вещественный состав лежалых шлаков БМЗ и ЖМЗ, неэффективность физических методов предконцентрации) доказано. Комплексом методов (рентгенофазовый анализ, оптическая микроскопия, химический фазовый анализ, ситовый анализ с поклассовым химическим анализом) установлено, что в шлаке БМЗ 82,1 % меди находится в сульфидной (штейновой) форме в виде тонкодисперсных включений в фаялитовой и стекловидной матрице и 12,6 % – в ферритной; в шлаке ЖМЗ на

		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.	сульфидную форму приходится лишь 44,4 %, на ферритную и оксидно-силикатную - 53,9 %. Испытания магнитной сепарации, обогащения в тяжёлых суспензиях и жидкостях, отсадки и концентрационного стола показали эффективность обогащения по меди не более 1–4 %; флотация при крупности 80 % класса −0,074 мм извлекает в концентрат 47,5 % меди при содержании 0,45 % Cu в хвостах. Положение 1 не является тривиальным, поскольку количественное распределение меди и цинка по формам нахождения в конкретных лежалых шлаках двух предприятий не может быть установлено без экспериментального исследования и определяет теоретический предел извлечения при окислительном вскрытии. Вместе с тем общий вывод о низкой эффективности физических методов обогащения фаялитовых шлаков согласуется с известными литературными данными. Положение 1 является новым, так как впервые получены данные о современном вещественном составе лежалых шлаков БМЗ и ЖМЗ, формах нахождения в них меди, цинка и железа и сравнительные данные об обогатимости этих шлаков комплексом физических методов. Уровень для применения положения 1 – средний, поскольку полученные данные относятся к конкретным объектам – шлаковым отвалам БМЗ и ЖМЗ – и используются как исходные данные при выборе технологии их переработки. Положение 1 доказано в статье: Kurmangaliyev D., Abdulina S. Physicochemical characteristics of copper smelting slags from Kazakhstan and their potential for secondary resource recovery // Processes. – 2026. – Vol. 14, No. 1. – Art. 113.
		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.	
		7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно.	
		7.5 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	

		Положение 2	Положение 2 (применение электрохимического гидрохлорирования к медеплавильным шлакам и селективное разделение меди и железа управлением pH в автокислотном режиме) доказано. Экспериментально показано, что активный хлор, генерируемый на аноде непосредственно в пульпе из раствора хлорида натрия, без предварительного обогащения и внешней подачи хлора вскрывает сульфидные фазы меди: из шлака БМЗ извлекается до 65,9 % меди в поисковой серии и 70,0 % в оптимальном режиме. По диаграммам E–pH систем Cu–Cl–H_2O и Fe–H_2O определено рабочее окно селективности: вскрытие меди при pH 1,2–1,5, гидролиз Fe(III) и его переход в кек при pH 3,0–4,0, верхняя граница удержания меди в растворе – pH 4,0–4,5, что подтверждено экспериментально. Установлено, что кислота, образующаяся при окислении сульфидов, компенсирует катодное подщелачивание, и процесс ведётся без постоянного дозирования соляной кислоты при переходе в конечный фильтрат около 1,0 % исходного железа. Изучено поведение сопутствующих компонентов: извлечение свинца составляет 26-36 %, цинка - 7–9 %, серебра - 9–17 %, переход золота в раствор не зафиксирован. Положение 2 не является тривиальным. Медь в шлаке заключена в тонкодисперсных штейновых включениях в фаялитово-стекловидной матрице, а основу шлака (около 40 %) составляет железо, растворение которого конкурирует со вскрытием меди за окислитель. В бездиафрагменной ячейке одновременно протекают кислотообразование при окислении сульфидов и катодное подщелачивание, поэтому возможность избирательного вскрытия медных фаз и
		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.	
		7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно.	

		7.5 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	самопроизвольного поддержания рабочей кислотности без внешнего дозирования кислоты не была очевидной. Положение 2 является новым, так как в доступной литературе сведения о применении электрохимического гидрохлорирования к медеплавильным шлакам отсутствуют, а автокислотный режим с последовательным совмещением в одном реакторе стадий вскрытия меди и гидролитического удаления железа применительно к таким шлакам ранее не описан. Уровень для применения положения 2 – средний. Принцип генерации окислителя непосредственно в пульпе из хлорида натрия и управления селективностью Cu/Fe через естественное изменение pH может быть распространён на шлаки других медеплавильных предприятий и иное железосодержащее техногенное сырьё; при этом исключается статья затрат на соляную кислоту, сопоставимая по величине с затратами на электроэнергию. Положение 2 отражено в статье: Kurmangaliyev D.B., Abdulina S.A., Krykpaeva A.A., Mamyachenkov S.V. A method for extracting valuable components from copper smelter slag // Вестник ВКТУ им. Д. Серикбаева. – 2023. – № 3. – С. 80–87, в которой изложены основы применения электрохлоринации для извлечения ценных компонентов из медеплавильных шлаков.
		Положение 3	Положение 3 (закономерности влияния параметров процесса, оптимальный режим и технологическая схема переработки лежалого шлака) доказано. На основе установленного режима предложена технологическая схема с оборотом хлоридного электролита; предварительная технико-экономическая оценка для переработки 100 тыс. т

		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.	шлака в год показала себестоимость 4 750 тг/кг катодной меди, рентабельность продукции 36,8 % и простой срок окупаемости 3,6 года. Положение 3 не является тривиальным: извлечение меди определяется конкуренцией нескольких процессов – вскрытия сульфидных фаз, растворения железосиликатной матрицы, катодного осаждения меди и её соосаждения с гидроксидом железа. Это обусловливает экстремальный характер зависимостей и требует многофакторного анализа; экономическая целесообразность переработки материала с содержанием меди 0,8 % также не очевидна и определяется совокупностью установленных технологических показателей. Положение 3 является новым, так как закономерности влияния тока, концентрации NaCl, продолжительности и соотношения Ж:Т на извлечение меди и соизвлечение железа при электрохимическом гидрохлорировании медеплавильных шлаков, а также технологическая схема их переработки на основе этого метода и её технико-экономическая оценка получены впервые. Уровень для применения положения 3 – средний: установленный режим и технологическая схема могут служить исходными данными для укрупнённых испытаний и проектирования опытно-промышленной установки для отвалов Балхашского медеплавильного завода; заинтересованность в развитии исследований подтверждена письмом поддержки филиала ТОО «Корпорация Казахмыс». Результаты, составляющие положение 3, отражены в диссертации (подразделы 3.4, 3.6, 3.8, глава 4) и в акте лабораторных испытаний Филиала РГП «НЦ КПМС РК» «ВНИИцветмет».
		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.	
		7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно.	
		7.5 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	

8.	Принцип достоверности. Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана: 1) да; 2) нет.	Методология обоснована и подробно описана. Использованы стандартные методы пробоподготовки (квартование, измельчение до 80 % класса -0,074 мм), исследования вещественного состава (рентгенофазовый анализ, оптическая микроскопия в отражённом свете, химический фазовый анализ последовательным избирательным растворением, ситовый анализ) и испытания физических методов обогащения на стандартном лабораторном оборудовании. Подробно описаны конструкция и электрические характеристики электролизера, методика проведения опытов, отбора проб, фильтрации и промывки, принцип расчёта извлечения по твёрдому остатку и составления материальных балансов. Обоснованы интервалы варьирования факторов и выбор плана Бокса–Бенкена.
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: 1) да; 2) нет.	Результаты получены с использованием современного аналитического оборудования аккредитованной лаборатории ВНИИцветмет: дифрактометра Bruker D8 Advance, поляризационного микроскопа Olympus BX 51 Pol. с системой анализа изображений SIAMS Mineral C-7, атомно-абсорбционных спектрометров PerkinElmer PinAAcle 500 и AAnalyst 400, атомно-эмиссионного спектрометра ДФС-8-3 с анализатором МАЭС, анализатора углерода и серы ELTRA ELEMENTRAC CS-i. Диаграммы E–pH построены в программном комплексе HSC Chemistry; экспериментальные данные обработаны методами планирования эксперимента и регрессионного анализа.

		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): 1) да; 2) нет.	Теоретические положения подтверждены экспериментом. Связь достижимого извлечения меди с её фазовым составом проверена на двух шлаках различного типа. Вытекающая из диаграмм E–pH последовательность «вскрытие меди при pH 1,2–1,5 – гидролиз Fe(III) при pH 3,0–4,0 – потеря меди выше pH 4,0–4,5» подтверждена опытами, в том числе фиксацией вторичного осаждения меди при превышении верхней границы. Предположение о перераспределении меди на катод при избыточном хлоридном фоне подтверждено анализом раствора катодного продукта. Закономерности влияния параметров описаны адекватными регрессионными моделями и подтверждены контрольными опытами.
		8.4 Важные утверждения подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	Важные утверждения подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу. Список использованных источников включает 101 наименование, в том числе статьи в ведущих международных журналах (Hydrometallurgy, Minerals Engineering, Waste Management, Chemical Reviews, Journal of Materials Research and Technology, Minerals, Metals и др.), классические монографии по хлоридной гидрометаллургии, электрохимии и шлакам цветной металлургии, а также работы казахстанских исследователей по переработке шлаков Балхашского медеплавильного завода.
		8.5 Использованные источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора.	Использованные источники литературы достаточны для литературного обзора. Рассмотрены публикации за 1955–2026 гг. по всем ключевым направлениям: изменение вещественного состава шлаков при хранении в отвалах, флотационная и гидрометаллургическая переработка текущих и исторических медных шлаков, теория и практика электрохлоринации, химия активного хлора, поведение меди и железа в хлоридных средах.

9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) да; 2) нет.	Диссертация имеет теоретическое значение: обоснованы физико-химические закономерности электрохимического гидрохлорирования фаялитовых медеплавильных шлаков; установлена связь между фазовым распределением меди и достижимой степенью её извлечения; обосновано рабочее окно селективного разделения меди и железа по pH в хлоридном электролите; показана возможность автокислотного ведения процесса; выявлены условия перераспределения меди между раствором и катодом в зависимости от хлоридного фона и электрической нагрузки.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) да; 2) нет.	Диссертация имеет практическое значение. Разработан режим переработки лежалого медеплавильного шлака, обеспечивающий извлечение 70 % меди без предварительного обогащения и без постоянного расхода соляной кислоты с использованием дешёвого и доступного в Казахстане реагента - хлорида натрия; предложена принципиальная технологическая схема и выполнена её предварительная технико-экономическая оценка. Практическая значимость подтверждена актом лабораторных испытаний и письмом о заинтересованности Филиала РГП «НЦ КПМС РК» «ВНИИцветмет», а также письмом поддержки филиала ТОО «Корпорация Казахмыс» «Q.I. Satbaev atyndagy Jezqazgan Tau-ken ondirisi». Вероятность промышленного применения будет определяться результатами укрупнённых испытаний, прежде всего стадий извлечения меди из хлоридного раствора и оборота электролита.
		9.3 Предложения для практики являются новыми: 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%).	Предложения для практики являются частично новыми. Новым является режим прямого электрохимического гидрохлорирования лежалого шлака в автокислотном режиме, защищённый патентом Республики Казахстан № 12292. Операции извлечения меди из продуктивного раствора, оборота электролита и вывода сульфат-иона приняты по известным технологическим решениям.

10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) высокое; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Диссертация написана грамотным научным языком с корректным использованием специальной терминологии, материал изложен последовательно и аргументированно. Структура работы и оформление соответствуют требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD).
11.	Замечания к диссертации	*1. Согласно химическому фазовому анализу, основная часть железа в шлаке БМЗ находится в двухвалентной форме. Хотелось бы уточнить, в какой форме (Fe(II) или Fe(III)) находится железо, остающееся в конечном фильтрате после стадии гидролиза, и каким образом осуществляется подъём pH до 3,0–4,0 на завершающей стадии после отключения тока в автокислотном режиме;* *2. Необходимо уточнить, какая доля пропущенного электричества расходуется непосредственно на вскрытие медьсодержащих фаз, а какая – на сопутствующие процессы (выделение кислорода, окисление железа, газовые потери хлора), а также рассматривалась ли автором возможность применения диафрагменного электролизера для повышения выхода по току активного хлора;* *3. Необходимо пояснить, каким образом были получены значения содержания золота и серебра в исходном шлаке и продуктах процесса, приведённые в таблицах 3.2, 3.11 и 3.19, и с каким пределом определения применённой методики следует сопоставлять эти значения;* *4. Хотелось бы услышать мнение автора о том, какие параметры лабораторного режима (удельный заряд, анодная плотность тока, соотношение Ж:Т) будут определяющими при переходе к укрупнённым испытаниям, и какой способ извлечения меди из хлоридного продуктивного раствора и оборота электролита автор считает наиболее предпочтительным для промышленной реализации.* *Указанные вопросы носят уточняющий характер и не снижают общей научной и практической ценности 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)	По теме диссертационной работы соискателем опубликованы 3 статьи, в том числе 1 статья в журнале, индексируемом в базах данных Scopus и Web of Science, и 2 статьи в изданиях, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК; во всех статьях соискатель является первым автором. Получен патент Республики Казахстан на полезную модель № 12292 «Способ переработки металлургических шлаков». 1. Kurmangaliyev D., Abdulina S. Physicochemical characteristics of copper smelting slags from Kazakhstan and their potential for secondary resource recovery // Processes. – 2026. – Vol. 14, No. 1. – Art. 113. – DOI: 10.3390/pr14010113. 2. Kurmangaliyev D.B., Abdulina S.A., Mamyachenkov S.V. Promising methods for hydrometallurgical processing of copper slag // Complex Use of Mineral Resources. – 2022. – No. 4(323). – P. 46–50. 3. Kurmangaliyev D.B., Abdulina S.A., Krykpaeva A.A., Mamyachenkov S.V. A method for extracting valuable components from copper smelter slag // Bulletin of D. Serikbayev EKTU. – 2023. – No. 3. – P. 80–87.	

		Журнал Processes является международным рецензируемым изданием в области химической технологии и процессов, индексируется в Scopus и Web of Science, по данным диссертанта входит во второй квартиль (Q2) по категории Chemical Engineering (miscellaneous). Журналы «Комплексное использование минерального сырья» и «Вестник ВКТУ им. Д. Серикбаева» являются профильными отечественными изданиями в области металлургии и обогащения полезных ископаемых. Научный уровень опубликованных статей соответствует требованиям, предъявляемым к публикациям по диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD).
13.	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	Диссертационная работа Курмангалиева Д.Б. является завершённым самостоятельным научным исследованием, в котором решена актуальная научно-техническая задача извлечения меди из лежалых медеплавильных шлаков методом электрохимического гидрохлорирования с селективным удержанием железа в твёрдом остатке. Работа написана грамотным научным языком, положения, выносимые на защиту, и выводы обоснованы экспериментальными данными. По актуальности, научной новизне, практической значимости и объёму выполненных исследований диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD), а её автор заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07202 – «Металлургия». **Решение официального рецензента:** **присудить степень доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07202 – «Металлургия».**

Официальный рецензент:
кандидат химических наук, профессор,
генеральный директор РГП «Институт проблем горения»
Комитета науки МНВО РК **Р.К. Надиров**