

Письменный отзыв официального рецензента на диссертационную работу
Есиркегенова Меирбека Ибрагимовича
на тему

«Переработка растворов кучного выщелачивания меди со снижением крадообразования при жидкостной экстракции в условиях Актогайского ГОКа»

на соискание степени доктора философии (PhD)
по образовательной программе 8D07204 – Металлургическая инженерия

№ п/п	Критерии	Соответствие критерии (необходимо отметить один из вариантов ответов)	Обоснование позиции официального рецензента
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) Соответствует направлениям развития науки или государственными программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: 1) <u>Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета</u> 2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы) 3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научной технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)	Диссертационная работа соответствует приоритетному направлению развития науки: «Экология, окружающая среда и рациональное природопользование». Исследования, приведенные в настоящей диссертации, были выполнены в рамках следующих программ и проектов: - Грантовый проект AP14871587 (2022–2024 гг.) — «Разработка комплексной технологии снижения крадообразования при жидкостной экстракции меди», в рамках которого выполнены основные экспериментальные и аналитические исследования диссертации; - Проект «Жас ғалым» AP19175411 (2023–2025 гг.) — «Разработка комплексной технологии интенсификации процесса электролиза при производстве катодной меди», где продолжены научные разработки автора в качестве постдокторанта и руководителя проекта; - Проект ПЦФ ИРН BR21881939 (2023–2025 гг.) — «Разработка ресурсосберегающих энергогенерирующих технологий для горно-металлургического комплекса и создание инновационного инженерингового центра», в рамках которого проводились прикладные исследования в Лаборатории металлургических процессов, теплотехники и порошковой металлургии.
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит</u> /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность <u>хорошо раскрыта</u> /не раскрыта	Результаты, полученные в ходе диссертационной работы, вносят существенный вклад в развитие фундаментальных и прикладных аспектов гидрометаллургии меди, особенно в области переработки продуктивных растворов кучного выщелачивания. В работе раскрыты новые принципы управления фазовым поведением экстракционной системы и подавления крадообразования, что имеет важное значение для повышения эффективности

		жидкостной экстракции меди. Установленные механизмы влияния примесей (кремния, марганца, ванадия) на образование третьей фазы дополняют научные представления о физико-химических взаимодействиях в экстракционных системах и могут быть использованы при моделировании и оптимизации промышленных процессов. Полученные результаты о фазовой устойчивости и межфазной структуре органических растворов расширяют возможности практического применения современных экстрагентов и добавок в меднодобывающей промышленности. Автор данной диссертационной работы внес свой весомый вклад в постановку задач и разработку методов проведения экспериментов, самостоятельно занимался обработкой и анализом полученных данных. Опубликованные работы и наличие патента свидетельствует о самостоятельности докторанта.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) Высокий 2) Средний 3) Низкий 4) Самостоятельности нет
4.	Принцип внутреннего единства	Актуальность диссертационной работы имеет высокую степень обоснованности и обусловлена потребностью в повышении эффективности переработки бедных продуктивных растворов, образующихся при кучном выщелачивании медных руд. В условиях постепенного истощения богатых ресурсов и вовлечения в эксплуатацию труднообрабатываемого сырья, особенно окисленных и смешанных медных руд, становится крайне важной задача совершенствования гидрометаллургических процессов, в том числе жидкостной экстракции. В промышленной практике, например, на Актогайском ГОКе, одной из ключевых проблем является образование крада — устойчивой эмульсионной фазы, снижающей эффективность экстракции меди и увеличивающей потери экстрагента. Диссертационная работа посвящена разработке технологии переработки таких продуктивных растворов с целью снижения крадообразования, повышения селективности извлечения меди и улучшения качества разделения фаз. Установлены условия, способствующие формированию третьей фазы, обосновано влияние компонентов раствора (Si, Mn, V) на стабильность системы, а также предложены эффективные решения с применением модифицированных экстрагентов и

		крадоподавляющих добавок. Работа направлена на повышение технологической надёжности процесса SX и является актуальной для крупных меднодобывающих производств Казахстана.
	4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) <u>Отражает</u>; 2) частично отражает; 3) не отражает.	Диссертационная работа состоит из четырёх логически взаимосвязанных глав, каждая из которых последовательно раскрывает поставленные цели и задачи исследования. Работа представляет собой завершённый научный труд, обладающий внутренней целостностью и полнотой. В ней всесторонне рассмотрены вопросы переработки продуктивных растворов кучного выщелачивания меди, включая термодинамический анализ системы, причины образования крадообразования и методы его подавления. Установлены механизмы влияния примесей (кремния, марганца, ванадия) на устойчивость фазового разделения, исследовано поведение экстракционной системы при различных технологических условиях. Представлены результаты лабораторных и укрупнённых испытаний с применением модифицированных экстрагентов и крадоподавляющих добавок, подтверждающих эффективность предложенных решений. Поставленные в диссертационной работе цели и задачи полностью соответствуют её теме и решены в полном объёме. Полнота решения обеспечена за счёт комплексного подхода к разработке технологии переработки продуктивных растворов кучного выщелачивания меди с понижением крадообразования при жидкостной экстракции. В ходе реализации поставленных задач были получены следующие результаты: Проведён термодинамический анализ поведения меди, кремния, марганца и ванадия в продуктивных растворах, выявлены условия, способствующие образованию крада. Разработан и экспериментально обоснован способ подавления крадообразования с использованием модифицированных
	4.3 Цель и задачи соответствуют теме диссертации 1) <u>Соответствуют</u>; 2) Частично соответствуют; 3) Не соответствуют.	

		экстрагентов (ACORGA M5640, M5774) и крадоподавляющих добавок (POLYPACS-30, CR60). Предложена эффективная технологическая схема жидкостной экстракции меди, включающая этап стабилизации фаз и центрифугирования, обеспечивающая снижение объёма крада на 60–70 %. 1. Получены новые экспериментальные данные о фазовой устойчивости и межфазных взаимодействиях в экстракционной системе, подтверждающие эффективность выбранных подходов и их применимость в промышленных условиях на примере Актогайского ГОКа. Разделы и научные положения между собой логически взаимосвязаны и обладают единством прослеживается единая линия экспериментальных и аналитических данных, направленных на достижение цели работы.
	4.4. Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) <u>полностью взаимосвязаны;</u> 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует. 4.5. Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) <u>критический анализ есть;</u> 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов.	Автором проведён обширный критический анализ литературных и патентных источников, а также технологической базы переработки медного сырья, в том числе продуктивных растворов кучного выщелачивания. Проанализированы современные технологии жидкостной экстракции меди, рассмотрены комбинированные схемы с учётом фазового поведения системы и влияния примесей. Особое внимание уделено проблеме крадообразования и подходам к его подавлению. Литературный обзор охватывает исследования за последние 50 лет, включая актуальные инновационные разработки. Обсуждены применяемые методы исследования, сформулированы отличия предлагаемой технологии от существующих решений, с акцентом на снижение крадообразования, повышение селективности и устойчивости фазового разделения.
5. Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) <u>полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%);	Научные результаты диссертационной работы обладают новизной и заключаются в следующем: Впервые разработан способ переработки продуктивных растворов кучного выщелачивания меди с понижением крадообразования при жидкостной экстракции, основанный на

3) не новые (новыми являются менее 25%)	использовании модифицированных альдоксимовых экстрагентов (ACORGA M5640, M5774) совместно с крадоподавляющими добавками (POLYPACS-30, CR60), что обеспечивает стабильное фазовое разделение и снижение потерь экстрагента. Впервые с применением термодинамического моделирования в программе HSC Chemistry проведён анализ поведения компонентов продуктивного раствора (Cu, Si, Mn, V), выявлены условия, способствующие образованию крадообразующих соединений, и обосновано влияние температуры, pH и концентрации примесей на устойчивость фаз. Впервые экспериментально установлено, что центрифугирование органической фазы после введения крадоподавляющих добавок позволяет снизить объём крада до 60–70 % и обеспечить эффективное фазовое разделение при извлечении меди. Полученные результаты расширяют научные представления о механизмах образования третьей фазы и термодинамических условиях устойчивости экстракционной системы, ранее не освещённых в доступной литературе.
5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25–75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Выводы диссертационной работы являются новыми и обладают высокой прикладной значимостью. Сформулированные в диссертации положения по механизму и условиям образования крада при жидкостной экстракции меди из продуктивных растворов кучного выщелачивания имеют практическую направленность и вносят вклад в повышение эффективности гидрометаллургических процессов. Разработаны рекомендации по снижению крадообразования при переработке растворов, содержащих повышенные концентрации примесей (кремний, марганец, ванадий), за счёт применения модифицированных экстрагентов (ACORGA M5640, M5774) и крадоподавляющих добавок (POLYPACS-30, CR60). Показана принципиальная возможность и эффективность стабилизации фазового разделения путём центрифугирования органической фазы после введения реагентов, что позволяет

		значительно сократить объём крада и увеличить выход товарной медной продукции. Разработанная технология может быть интегрирована в существующую SX-EW структуру на таких предприятиях, как Актогайский ГОК, без значительных капитальных вложений, с использованием имеющегося оборудования. Это обеспечит повышение технико-экономических показателей, снижение потерь экстрагента и дополнительное извлечение меди из продуктивных растворов. На основании полученных технологических данных автором диссертации впервые разработан способ переработки продуктивных растворов кучного выщелачивания меди, включающий использование модифицированных экстрагентов и крадоподавляющих добавок для снижения объёма крада и повышения стабильности фазового разделения. Также предложена технологическая схема селективной экстракции меди, применимая для растворов, содержащих повышенное количество примесей (кремний, марганец, ванадий), которая учитывает оптимальное соотношение фаз, концентрации реагентов и условия фазоразделения. Технология может быть реализована с использованием стандартного оборудования экстракционного блока SX-EW без необходимости дополнительных капитальных вложений, что делает её перспективной для промышленного внедрения, в том числе на таких предприятиях, как Актогайский ГОК и Алмалы.	Разработанные в диссертационной работе, сделаны на основе результатов проведенного комплекса экспериментальных физико-химических исследований и не противоречат теоретическим и практическим закономерностям в металлургии. Все пять положений, выносимых на защиту, доказаны экспериментально с применением современных аналитических методов и термодинамического моделирования: Положение 1: Механизм образования крадообразования в системе жидкостной экстракции меди установлен с помощью термодинамических расчётов в программе HSC Chemistry, а
	5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Все основные выводы <u>основаны</u>/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: Положение 1: <u>Результаты термодинамического анализа процесса сульфидирования.</u> 7.1 Доказано ли положение?	
6.	Обоснованность основных выводов:		
7.	Основные положения, выносимые на защиту		

	1) <u>доказано</u> 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) <u>нет</u> 7.3 Является ли новыми? 1) <u>да</u>; 2) нет 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) <u>широкий</u> 7.3 Доказано ли в статье? 1) <u>да</u>; 2) нет. Положение 2: <u>Результаты кинетического анализа процесса сульфидирования</u> 7.1 Доказано ли положение? 1) <u>доказано</u> 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) <u>нет</u> 7.3 Является ли новыми? 1) <u>да</u>; 2) нет 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) <u>широкий</u> 7.3 Доказано ли в статье? 1) <u>да</u>; 2) нет	также подтверждён методами сканирующей электронной микроскопии (SEM) в сочетании с энергодисперсионной спектроскопией (EDS). Положение 2: Влияние примесей — кремния, марганца и ванадия — на фазовое поведение установлено по результатам термogravиметрического анализа (TG/DSC) и микроскопических исследований (SEM/EDS). Выполнены расчёты по кинетике процессов, связанных с образованием трудноразделяемых фаз и эмульсионных структур на границе раздела фаз. Положение 3: Разработан и экспериментально подтверждён способ подавления крадообразования с использованием модифицированных экстрагентов (ACORGA M5640, M5774) и крадоподавляющих добавок (CR60, POLYPACS-30). Проведены укрупнённые испытания, доказана эффективность применения экстракционной схемы с добавлением ПАВ и коагулянтов. Получен патент на изобретение. Положение 4: Установлены оптимальные технологические параметры экстракции меди в условиях Актогайского ГОКа: соотношение фаз, концентрация реагентов, температура и продолжительность процессов. Показано, что добавка CR60 в комбинации с POLYPACS-30 позволяет уменьшить объём крада в 3,2 раза и повысить селективность фазового разделения. Положение 5: Выполнены исследования структуры крада и поведения полимерных форм кремнезёма методом ИК-Фурье спектроскопии, SEM/EDS, ЯГР, ЭПР, сорбометрии и макроэлектрофореза. Установлено, что образование гелеобразных структур $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и коллоидов кремния является ключевым фактором в стабилизации межфазного крада. Разработан способ их разрушения с применением крадоподавляющих реагентов и центрифугирования. Применённые методы исследования позволили в полном объёме решить все поставленные задачи и достичь цели диссертационной работы. Элементы тривиальности отсутствуют. Все полученные
--	---	--

	Положение 3: <u>Результаты разработки способа термической активации цинк-олигонитовой руды в печи КС.</u> 7.1 Доказано ли положение? 1) <u>доказано</u> 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) <u>нет</u> 7.3 Является ли новыми? 1) <u>да;</u> 2) нет 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) <u>широкий</u> 7.3 Доказано ли в статье? 1) <u>да;</u> 2) нет Положение 4: <u>Результаты способа высокотемпературного сульфидирования оксидных соединений свинца и цинка цинк-олигонитовой руды в неокислительной атмосфере в неподвижном слое.</u> 7.1 Доказано ли положение? 1) <u>доказано</u> 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) <u>нет</u> 7.3 Является ли новыми? 1) <u>да;</u> 2) нет	результаты получены с использованием современного оборудования, на поверенных установках, в аккредитованных лабораториях. Научная новизна подтверждается тем, что ранее подобные положения и полученные данные по изучаемой теме не были опубликованы в научной литературе. По теме диссертационной работы опубликованы 7 научных статей в рецензируемых отечественных и международных изданиях, входящих в перечень КОКСОН МОН РК, а также индексируемых в международных базах данных. В том числе: – в базе Web of Science — 2 статьи (журналы Q1 и Q2); – в базе Scopus — 1 статья (журнал с процентилем 41 %); – в журналах, рекомендованных КОКСОН МОН РК — 3 статьи; – в прочих научных изданиях — 1 публикация (conference paper). Список опубликованных работ приведён в приложении К, лист Л. Результаты диссертационной работы апробированы на двух международных научно-практических конференциях. По теме диссертации подана заявка и получено положительное решение на патент на изобретение № 20524/0449.1 от 03.06.2024 г. Авторы: Чепуштанова Т.А., Есиркегенов М.И., Мамырбаева К.К., Меркибаев Е.С. Также издана монография: Чепуштанова Т.А., Есиркегенов М.И., Мамырбаева К.К., Меркибаев Е.С. Устойчивое развитие гидрометаллургии меди – принципы и технологии снижения крадообразования при жидкостной экстракции меди. — 2024. — 136 с. ISBN 978-601-08-4140-6.
--	---	---

	7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) <u>широкий</u> 7.3 Доказано ли в статье? 1) <u>да</u>; 2) нет Положение 5: <u>Результаты разработки способа термической активации свинцово-цинковых промышленных продуктов обогащения в неподвижном слое.</u> 7.1 Доказано ли положение? 1) <u>доказано</u> 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) <u>нет</u> 7.3 Является ли новыми? 1) <u>да</u>; 2) нет 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) <u>широкий</u> 7.3 Доказано ли в статье? 1) <u>да</u>; 2) нет	
8.	Достоверность источников и предоставляемой информации 8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана: 1) <u>да</u> 2) нет	Выбор методологии проводился с учётом физико-химических свойств продуктивных растворов кучного выщелачивания меди и особенностей фазовых взаимодействий при жидкостной экстракции. - на основе выбранного подхода получены следующие технологические результаты:

	разработаны рекомендации по снижению крадообразования в экстракционных системах, содержащих примеси кремния, марганца и ванадия, за счёт применения модифицированных экстрагентов (ACORGA M5640, M5774) и крадоподавляющих добавок (CR60, POLYPACS-30); - доказана технологическая эффективность применения крадоподавляющих реагентов, сопровождаемая снижением объёма крада в 3,2 раза, улучшением фазового разделения и уменьшением потерь экстрагента — особенно в условиях переработки продуктивных растворов месторождений Актогай и Алмалы; - предложенная технология может быть внедрена без капитальных затрат в действующую схему SX-EW на промышленных объектах (например, Актогайский ГОК), с использованием существующего оборудования, и обеспечивает повышение технико-экономических показателей за счёт роста извлечения меди, снижения затрат и увеличения чистоты конечного катодного продукта.
8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий <u>1) да</u> 2) нет	В работе использован комплексный подход, объединивший применение современных методов исследования и методов обработки и демонстрации научных данных.
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): <u>1) да</u> 2) нет	В диссертационной работе использован комплекс методов, обеспечивающий достоверность термодинамического анализа, аналитических измерений и воспроизводимость технологических экспериментов. Для термодинамического моделирования поведения меди, кремния, марганца и ванадия в водных системах применялись специализированные программные комплексы: – HSC Chemistry (Outokumpu Oy) — для расчёта равновесных состояний и оценки устойчивости соединений в системе;

	Аналитические исследования проводились с использованием современного лабораторного оборудования: – атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-OES) на приборе Optima 8300DV; – пламенный фотометр PFP 7 (Jenway, Великобритания) — для количественного определения щелочных и щелочноземельных элементов; – ИК-Фурье спектроскопия на спектрометре Avatar 370 в диапазоне 400–4000 см⁻¹ с приставкой Transmission E.S.P. и капиллярными слоями в окнах KRS-5. Обработка ИК-данных производилась в ПО OMNIC 6 с применением электронных библиотек: – HR Aldrich FT-IR Collection Edition II (18454 спектра), – Aldrich Organometallic, Inorganic, Boron, Deuterium Compounds (632 спектра), предоставленных Nicolet Instrument Corp., 1995. В случае отсутствия данных использовались литературные источники. Дополнительно проводились: – рентгенофлуоресцентный анализ (XRF) на спектрометре Axios (PANalytical, Нидерланды); – рентгенофазовый анализ (XRD) на дифрактометре D8 ADVANCE (BRUKER AXS GmbH, Германия), с излучением CuKα, напряжением 40 кВ и током 40 мА. Обработка дифрактограмм велась с помощью программ EVA и SeaCRh/Match с использованием базы PDF-2 ICDD (США). Практическая проверка технологических решений проводилась на укрупнённо-лабораторной установке жидкостной экстракции, включающей две стадии экстракции и одну стадию резэкстракции, имитирующей промышленные условия SX-процесса.
8.4	Важные утверждения подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.

		8.5 И использованные источники литературы <u>достаточно</u>/не достаточно литературного обзора.	В работе приведены список литературы из 102 наименования. Приведенные источники более чем достаточны для формирования литературного обзора диссертационной работы.
9. Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение 1) да <u>2) нет</u>	Целью диссертационной работы является разработка технологии переработки продуктивных растворов кучного выщелачивания меди с понижением крадообразования при жидкостной экстракции, адаптированной к условиям Актогайского ГОКа. Работа ориентирована на повышение эффективности и селективности процесса SX, снижение потерь экстрагента и стабилизацию фазового разделения. Теоретические исследования направлены на изучение термодинамического поведения примесей (Si, Mn, V) и их влияния на процессы эмульгирования и крадообразования. Несмотря на это, работа носит прикладной характер и не является фундаментально-теоретической по своей сути. <i>В чём заключается прикладная значимость диссертационной работы для условий Актогайского ГОКа и аналогичных производств?</i> 9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике <u>1) да</u> 2) нет 9.3 Предложения для практики являются новыми? <u>1) полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Совокупность полученных теоретических и экспериментальных результатов доказывает, что диссертационная работа имеет прикладной характер и направлена на решение практических производственных задач в области переработки продуктивных растворов кучного выщелачивания меди. Разработанные технологические подходы способны повысить эффективность процесса жидкостной экстракции, снижению крадообразования, минимизации потерь экстрагента и повысить надёжности фазового разделения в промышленных условиях. Практические рекомендации являются новыми и имеют большую практическую ценность. Экспериментальные исследования подтверждаются укрупненными испытаниями и рекомендуются к опытно-промышленным испытаниям. <i>В чём заключаются разработанные рекомендации по снижению крадообразования при жидкостной экстракции меди из продуктивных растворов кучного выщелачивания?</i>

10.	10. Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) высокое; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Качество академического письма высокое. Диссертационная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к таким работам и отличается внутренним единством. Разделы диссертационной работы логически объединены и направлены на решение поставленных задач.
-----	-------------------------------------	--	--

Диссертационная работа Есиркегенова М.И. на тему «Переработка растворов кучного выщелачивания меди со снижением крадообразования при жидкостной экстракции в условиях Актогайского ГОКа» выполнена в полном объёме, соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD), обладает научной новизной, актуальностью и высокой практической значимостью. Представленная работа заслуживает присуждения степени PhD по образовательной программе 8D07204 – Металлургическая инженерия.

Кандидат технических наук,
заведующая лабораторией специальных методов гидрометаллургии
имени Б.Б. Бейсембаева, АО «Институт металлургии и обогащения»

Койжанова

Койжанова А.К.

