

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 научно-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 по данной диссертации; - Проект «Жас ғалым» AP19175411 (2023–2025 гг.) — «Разработка комплексной технологии интенсификации процесса электролиза при производстве катодной меди», в рамках которого соискатель продолжает научные исследования в качестве постдокторанта и руководителя проекта; - ПЦФ проект BR21881939 — «Разработка ресурсосберегающих энергогенерирующих технологий для горно-металлургического комплекса и создание инновационного инженерингового центра», в рамках которого выполнены прикладные задачи в Лаборатории металлургических процессов, теплотехники и порошковой металлургии Инновационного инженерингового центра»
2.	Важность для науки	Работа вносит /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта /не раскрыта	Результаты, полученные в ходе диссертационной работы, оказывают значительное влияние на развитие научных исследований в области гидрометаллургии меди. Полученные данные могут быть применены при разработке и оптимизации технологий жидкостной экстракции для переработки растворов

		кучного выщелачивания меди. Особенно ценны результаты, направленные на снижение образования крада, что способствует повышению эффективности извлечения меди, снижению потерь экстрагента и улучшению показателей очистки продуктивных растворов. Разработанные в ходе диссертационной работы подходы могут быть внедрены на действующих предприятиях, таких как Актогайский горно-обогатительный комбинат, а также на гидрометаллургических заводах на месторождениях Алмалы и Беркара. Полученные результаты представляют практическую ценность и могут быть использованы при проектировании и модернизации технологических схем переработки окисленных и смешанных медных руд с применением процессов жидкостной экстракции.	кучного выщелачивания меди. Особенно ценны результаты, направленные на снижение образования крада, что способствует повышению эффективности извлечения меди, снижению потерь экстрагента и улучшению показателей очистки продуктивных растворов. Разработанные в ходе диссертационной работы подходы могут быть внедрены на действующих предприятиях, таких как Актогайский горно-обогатительный комбинат, а также на гидрометаллургических заводах на месторождениях Алмалы и Беркара. Полученные результаты представляют практическую ценность и могут быть использованы при проектировании и модернизации технологических схем переработки окисленных и смешанных медных руд с применением процессов жидкостной экстракции.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) Высокий 2) Средний 3) Низкий 4) Самостоятельности нет	Автор данной диссертационной работы внес свой значительный вклад, в постановку задач и разработку методов проведения экспериментов, занимался обработкой и анализом полученных данных. В качестве показателя самостоятельности автора можно рассматривать его научные публикации, патент и монографию.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) Обоснована; 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	Актуальность диссертации имеет высокую степень обоснованности и подтверждается её практической направленностью на решение актуальной задачи — повышения эффективности переработки продуктивных растворов кучного выщелачивания меди. Работа посвящена разработке технологии снижения крадообразования при жидкостной экстракции меди, что является важной проблемой в современной гидрометаллургии. Своевременность темы обусловлена необходимостью снижения потерь экстрагента, повышения селективности извлечения меди и улучшения показателей очистки растворов на промышленных объектах, таких как Актогайский ГОК. Научная значимость результатов подтверждается публикацией статей в международных рецензируемых журналах, входящих во второй и третий кварталы баз данных WoS и Scopus. Полученные данные легли в основу разработки новых подходов к управлению фазовым поведением систем экстракции и перспективны для оптимизации промышленных процессов SX-EW (жидкостная экстракция и электролиз).

	4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) <u>Отражает;</u> 2) частично отражает; 3) не отражает.	Диссертационная работа состоит из четырех глав, которые логически взаимосвязаны и последовательно раскрывают тему исследования. Работа представляет собой завершённый научный труд, обладающий внутренней целостностью. В диссертации всесторонне рассмотрены особенности фазового поведения экстракционной системы, проведён термодинамический анализ компонентов продуктивного раствора, обоснованы пути снижения крадообразования и разработана технология жидкостной экстракции меди, адаптированная к условиям Актогайского ГОКа. Полученные результаты подкреплены экспериментальными исследованиями и практико-ориентированными выводами.
	4.3 Цель и задачи соответствуют теме диссертации 1) <u>Соответствуют;</u> 2) Частично соответствуют; 3) Не соответствуют.	Поставленные в диссертационной работе цели и задачи полностью соответствуют её тематике и решены в полном объёме. Полнота достижения целей обеспечена за счёт комплексного подхода, включающего разработку технологии переработки продуктивных растворов кучного выщелачивания меди с фокусом на снижение крадообразования при жидкостной экстракции. Проведён термодинамический анализ поведения меди, марганца, кремния и ванадия в системе, определены оптимальные условия фазового взаимодействия, исследовано влияние различных реагентов (включая POLYPACs-30, CR60 и ACORGA M5640) на стабильность системы и подавление образования третьей фазы. Разработанная технология адаптирована к промышленным условиям Актогайского ГОКа и может быть использована при проектировании новых производственных решений.
	4.4. Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) <u>полностью взаимосвязаны;</u> 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует.	Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны и обладают единством.
	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;	Автором проведён всесторонний аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы по вопросам переработки растворов кучного выщелачивания меди и технологии жидкостной экстракции. Особое внимание уделено современным подходам к снижению крадообразования, механизмам фазового разделения, а также термодинамическому поведению примесей, таких как марганец, ванадий и кремний, в системе. Проанализированы

	3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов.	существующие технологические решения, применяемые в Казахстане и за рубежом, включая опыт Актогайского и Алмалынского месторождений. Обзор охватывает широкий временной диапазон — от ранних фундаментальных исследований до актуальных публикаций последних лет. Методы решения поставленных задач обоснованы и сопоставлены с существующими аналогами, что подтверждает научную и практическую значимость выбранного направления.
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, полученные в диссертационной работе, являются полностью новыми. К ним относятся: 1. Впервые экспериментально обоснован механизм образования крадообразования в системе жидкостной экстракции меди из продуктивных растворов кучного выщелачивания, основанный на термодинамическом поведении кремния, марганца и ванадия. Показано, что полимерные формы кремниевых соединений способствуют образованию стабильной третьей фазы, взаимодействующей с органическим экстрагентом. 2. Впервые продемонстрирована эффективность использования модифицированных экстрагентов на основе альдоксимов (ACORGA M5774, M5640) в сочетании с крадоподавляющими добавками (POLYPACCS-30, CR60) для снижения содержания кремния в органической фазе, что обеспечивает стабильное фазовое разделение и сокращение потерь экстрагента. 3. Впервые установлено, что добавление в систему экстракции 1% крадоподавляющих реагентов и последующая центрифугизация при 5000 об/мин в течение 5–7 минут приводит к снижению объёма крада на 60–70%, что значительно улучшает качество экстракции и позволяет повысить ресурсный выход меди.
	5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Выводы, представленные в диссертации являются полностью новыми и обладают высокой научной и практической значимостью. Впервые обоснован механизм образования крада при жидкостной экстракции меди из растворов кучного выщелачивания, с учётом фазового поведения кремния, марганца и ванадия, что позволило установить ключевые условия для минимизации третьей фазы.

		Установлены оптимальные параметры применения модифицированных экстрагентов и крадоподавляющих добавок (POLYPACCS-30, CR60, ACORGA M5640), обеспечивающих стабильное фазовое разделение и снижение потерь экстрагента. Разработана технологическая схема двух- и трёхступенчатой противоточной экстракции меди, адаптированная к условиям Актогайского ГОКа, обеспечивающая высокий коэффициент извлечения меди (более 95%) при снижении крадообразования до 60–70%. Проведён технико-экономический анализ, показавший эффективность предлагаемой технологии за счёт сокращения расхода экстрагента, повышения степени извлечения меди и снижения затрат на очистку растворов. Полученные результаты ранее не публиковались и принадлежат лично соискателю и его научным соавторам.
	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%)	На основании проведённых исследований автором диссертационной работы впервые разработан способ снижения крадообразования при жидкостной экстракции меди из продуктивных растворов кучного выщелачивания. Предложенный метод включает применение модифицированных альдоксимовых экстрагентов в сочетании с крадоподавляющими добавками (POLYPACCS-30, CR60) и дополнительной стабилизацией фазы посредством центрифугирования. Разработанная технология адаптирована к промышленным условиям Актогайского ГОКа и показала высокую эффективность также при переработке продуктивных растворов месторождения Алмалы, характеризующихся повышенным содержанием примесей.
6.	Обоснованность основных выводов:	Выводы, приведенные в диссертации, сделаны на основе результатов проведенного комплекса экспериментальных физико-химических исследований, и не противоречат теоретическим и практическим закономерностям в металлургии.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Все 5 положений, выносимых на защиту в диссертационной работе Есиркегенова Меирбека Ибрагимовича, «Переработка растворов кучного выщелачивания меди со снижением крадообразования при жидкостной экстракции в условиях Актогайского ГОКа», обоснованы и доказаны экспериментально с применением современных аналитических методов:

	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 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>;	Положение 1: Механизм образования крада при присутствии кремниевых, марганцевых и ванадиевых соединений в продуктивных растворах доказан термодинамическим моделированием в программе HSC Chemistry, а также с использованием данных энергодисперсионной спектроскопии (EDS) и сканирующей электронной микроскопии (SEM). Положение 2: Эффективность применения модифицированных альдоксимовых экстрагентов и крадоподавляющих добавок (POLYPACS-30, CR60, ACORGA M5640) установлена по результатам лабораторных экспериментов, фазового анализа, а также с использованием фотометрических и гравиметрических методов контроля потерь экстрагента. Положение 3: Разработанная технология двух- и трёхступенчатой противоточной экстракции меди была апробирована в лабораторных условиях и с использованием имитационного моделирования. Показана высокая эффективность процесса при снижении крадообразования до 60–70 % и сохранении степени извлечения меди на уровне более 95 %. Положение 4: Установлен количественный эффект от применения крадоподавляющих добавок в сочетании с центрифугированием органической фазы: объём крада снижается более чем на 60 %, время фазового разделения сокращается до 3–5 минут. Достоверность подтверждена серией воспроизводимых экспериментов. Положение 5: Проведён технико-экономический анализ внедрения предложенной технологии на примере условий Актогайского ГОКа. Доказано снижение операционных затрат за счёт сокращения потерь экстрагента и повышения стабильности экстракционного цикла. Полученные результаты подтверждены расчётами и промышленными данными.
--	--	---

	2) <u>нет</u> 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) <u>нет</u> 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) <u>широкий</u> 7.3 Доказано ли в статье? 1) <u>да;</u> 2) <u>нет</u> 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?	Все положения, выносимые на защиту, являются новыми и не были ранее описаны в доступной научной литературе. Элементы тривиальности в диссертационной работе отсутствуют. Все механизмы и закономерности рассматриваются глубоко и системно, с учётом современных научных представлений о поведении экстракционных систем в гидрометаллургии. По теме диссертации опубликовано 7 научных работ в рецензируемых научных журналах и изданиях, входящих в перечень КОКСНВО МНВО РК, а также в международных базах данных. В том числе: в базе данных Web of Science — 2 статьи (в журналах Q1 и Q2); в базе данных Scopus — 1 статья (процентиль журнала — 41%); в журналах, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК — 3 статьи; в других научных изданиях — 1 публикация (conference paper).
--	---	---

		<u>1) да;</u> 2) нет 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; <u>3) широкий</u> 7.3 Доказано ли в статье? <u>1) да;</u> 2) нет Положение 5: Результаты разработки способа термической активации свинцово-цинковых промышленных продуктов обогащения в неподвижном слое. 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; <u>2) нет</u> 7.3 Является ли новыми? <u>1) да;</u> 2) нет 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; <u>3) широкий</u> 7.3 Доказано ли в статье? <u>1) да;</u> 2) нет	
8.	Достоверность источников и	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана: <u>1) да</u>	Выбор методологии исследований осуществился с учётом химико-минералогических и фазовых особенностей

	предоставляемой информации	2) нет продуктивных растворов, образующихся при кучном выщелачивании медных руд. На основании выбранного подхода впервые обоснованы следующие положения: - возможность интенсификации процесса экстракции меди из продуктивных растворов за счёт подавления крадообразования, возникающего вследствие присутствия примесей (Si, Mn, V), с использованием термодинамического анализа и экспериментального подтверждения механизма образования третьей фазы; интенсификация процесса жидкостной экстракции за счёт применения модифицированных экстрагентов и крадоподавляющих добавок, обеспечивающих стабильность фазового разделения и снижение потерь экстрагента; - возможность применения разработанных подходов при переработке растворов различного состава (в том числе с высоким содержанием кремния) для обеспечения устойчивой и эффективной работы экстракционного блока в промышленных условиях (Актогайский ГОК, Алматы). В работе использован комплексный подход, объединивший применение современных методов исследования и методов обработки и демонстрации научных данных. Теоретические выводы и выявленные закономерности диссертационной работы основаны на экспериментальных данных, полученных с применением современных аналитических и программных методов. Термодинамический анализ проводился с использованием программ HSC Chemistry и NETZSCH. Анализ состава и фазового поведения систем осуществлялся с применением:
	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	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
	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	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

		– атомно-эмиссионной спектроскопии (Optima 8300DV), – пламенного фотометра PFP 7 (Jenway), – энергодисперсионной рентгеноспектроскопии (EDS), – ИК-Фурье спектроскопии (Avatar 370, OMNIC 6, библиотеки Aldrich), – рентгенофазового анализа (D8 ADVANCE, BRUKER) и XRF-анализа (Axios, PANalytical). Фазовый состав расшифровывался с помощью программ EVA и Match с базой PDF-2 (ICDD). Для имитации промышленного процесса использовалась укрупнённо-лабораторная установка с двумя стадиями экстракции и одной стадией рекстракции. Полученные в ходе исследования результаты и выводы отражают содержание всех разделов и представлены в публикациях основных научных результатов в рецензируемых международных и отечественных научных изданиях. Достоверность научных выводов работы подтверждаются согласованностью с результатами независимых исследований и выводами, полученными другими авторами. В работе приведены список литературы из 102 наименования. Приведенные источники более чем достаточны для формирования литературного обзора диссертационной работы. Целью диссертационной работы является разработка технологии переработки продуктивных растворов кучного выщелачивания меди с понижением крадообразования при жидкостной экстракции, адаптированной к условиям Актогайского ГОКа. Теоретические исследования, представленные в работе, были направлены на термодинамическое обоснование поведения меди, кремния, марганца и ванадия в системе, а также на изучение фазовых взаимодействий, влияющих на образование крада. Эти исследования обеспечили научную основу для подбора эффективных экстрагентов и крадоподавляющих добавок. Однако работа ориентирована преимущественно на прикладной результат
	8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u>/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	
	8.5 Использованные источники литературы <u>достаточны</u>/не достаточны для литературного обзора.	
9. Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение 1) да 2) <u>нет</u>	

		— оптимизацию технологии SX-процесса, а не на фундаментальное теоретическое моделирование. <i>Вопрос: Как теоретические исследования, проведённые в диссертационной работе, способствовали разработке прикладной технологии переработки продуктивных растворов методом жидкостной экстракции?</i>
	9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике <u>1) да</u> 2) нет	Совокупность результатов, проведенных теоретических и экспериментальных исследований, доказывает, что диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике. <i>В то же время целесообразно уточнить, почему при более высоком извлечении меди 5% раствором Asorga 5640 в модельных условиях, в экспериментах с продуктивными растворами использовался 10% раствор без добавки CR60, а 5% раствор применялся только с добавкой. Уточнение данного аспекта позволило бы более полно обосновать выбор оптимальной концентрации экстрагента для промышленных условий.</i>
	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%)	Практические рекомендации являются новыми и обладают высокой прикладной значимостью. Разработанная технология переработки продуктивных растворов кучного выщелачивания меди с применением модифицированных экстрагентов и крадоподавляющих добавок направлена на снижение крадообразования и оптимизацию фазового разделения в процессе жидкостной экстракции. Эффективность предложенной схемы подтверждена лабораторными и укрупнёнными испытаниями, а сама технология рекомендована к дальнейшему опробованию в условиях опытно-промышленной эксплуатации на Актогайском ГОКе и аналогичных предприятиях. <i>Вопрос: В чём заключается прикладная ценность разработанной технологии переработки продуктивных растворов с использованием модифицированных экстрагентов и крадоподавляющих добавок?</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 данной работы логически объединены и направлены на решение поставленных задач. <i>Незначительное количество опечаток не снижает качество диссертационной работы.</i>
-----	-------------------------------------	--	---

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

Официальный рецензент:

PhD, Заместитель директора по научной работе, ведущий научный сотрудник,
Филiaal РГП «Национальный центр по комплексной переработке
минерального сырья Республики Казахстан» Государственное научно-
производственное объединение промышленной экологии «Казмеханобр»



Суримбаев Бауыржан Нуржанович

«20» мая 2025 г.