

Письменный отзыв официального рецензента на диссертационную работу
Маханбетовой Бактыгул Алимжановны
на тему

«Комплексная переработка оксидного природного и сульфидного техногенного цинксодержащего сырья месторождения Шалкия»
на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07220 – Металлургия.

№ 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 государственным 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)	Тема диссертационной работы соответствует приоритетному направлению развития науки «Экология, окружающая среда и рациональное природопользование»; соответствует специализированному научному направлению «Глубокая переработка минеральных и органических ресурсов» национального научного совета при Правительстве Республик Казахстан. Область исследования в соответствии с Классификатором научных направлений «Инжиниринг и технологии; Инжиниринг материалов; Metallurgy». Диссертационная работа выполнялась по целевому программному финансированию по теме «Разработка комплексной технологии переработки труднообогатимых полиметаллических руд месторождений Шалкия и Жайрем» в рамках программы BR19777171 «Разработка принципиально новых технологий комплексной переработки полиметаллического сырья» на 2023-2025 гг по договору № 35 от 16 июня 2023 г. между РГП на ПХВ «Национальным центром по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» и Комитетом промышленности Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан.
2.	Важность для науки	Работа вносит/не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта/не раскрыта	Результаты диссертационной работы вносят заметный вклад в области пирометаллургии цветных металлов и ферросплавов, а также в решении проблемы комплексной переработки техногенного и труднообогатимого цинксодержащего сырья. В частности, на основании результатов исследования углетермического восстановления цинка и свинца из сульфидов, кремния из его оксида, а также из руд и хвостов в присутствии магнетитового концентрата- донора кислорода (для окисления сульфидов) и источника железа при образовании кремнийсодержащих сплавов, становится возможным получение из руды и хвостов

			электроплавкой в одном печном агрегате одновременно кремнийсодержащих ферросилиция и возгонов, содержащих цинк и свинец. Актуальность и научная значимость темы подтверждаются востребованностью разработанных решений в практической металлургии, а также публикациями автора в рецензируемых научных изданиях. Созданный способ переработки цинк-свинце-кремний содержащих руд может быть использован для переработки других подобных руд, например, руд месторождения Жайрем, содержащих 3-5% цинка и свинца и до 70% SiO_2.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) Высокий 2) Средний 3) Низкий 4) Самостоятельности нет	По работе сделано 16 публикаций, объявленных в диссертации. Соискатель Маханбетова Б.А. в списке авторов имеет первую позицию 7 раз, и вторую 5 раз. Это является косвенным признаком того, что соискатель обладает высоким уровнем самостоятельности на всех этапах исследований: от планирования экспериментов, обработки полученных данных, термодинамического моделирования и обобщения результатов. Это свидетельствует о том, что соискатель имеет необходимые компетенции и способности к самостоятельному проведению научных исследований различного уровня сложности.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) Обоснована; 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	В виду наблюдаемой в настоящее время тенденции уменьшения концентрации металлов в рудах и увеличение доли труднообогатимого сырья, техногенных отходов актуальной становится задача не только создания эффективных технологий извлечения из них цветных металлов, но и комплексной переработки руд и производственных отходов. В частности, сейчас проблемой для цинковой подотрасли является низкие технологические показатели переработки высококремнистой (40-50% SiO_2) руды одного из наиболее крупных мировых цинковых месторождений - месторождения Шалкия. При переработке руды в цинковый концентрат извлекается не более 70% цинка, а в свинцовый концентрат - менее 50% свинца. Окисленные руды, содержащие $\sum \text{Zn}$ и Pb 3-3,8%, 40-50% SiO_2 на долю которых приходится около 3,5-5,0% запасов цинка практически не перерабатываются гравитационным и флотационным методами. Учитывая это, в настоящее время для решения обозначенных проблем первостепенной и актуальной задачей является создание новой технологии, переработки не только окисленных руд месторождения Шалкия, но и хвостов обогащения сульфидной руд

			со значительным увеличением извлечения в целевой продукт не только основных металлов, но и нерудного компонента - кремнезема.
	4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) Отражает; 2) частично отражает; 3) не отражает.		Тема диссертационной работы отражает ее содержание. Все главы и разделы диссертации логически взаимосвязаны в соответствии с темой диссертации, охватывая как теоретическую, так и прикладную составляющие. Исследование однозначно посвящено разработке технологии комплексной переработки окисленного сырья месторождения Шалкия и хвостов его обогащения, что соответствует названию и цели работы.
	4.3 Цель и задачи соответствует теме диссертации 1) Соответствуют; 2) Частично соответствуют; 3) Не соответствуют.		Цели и задачи, объявленные в диссертационной работе, соответствуют теме диссертации и решены в полном объеме. Они связаны с необходимостью создания технологии комплексной переработки окисленных цинксодержащих руд месторождения Шалкия и хвостов обогащения сульфидной руды с получением товарной продукции кремнистых ферросплавов и цинковых возгонов.
	4.4. Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) полностью взаимосвязаны; 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует.		Работа обладает необходимой последовательностью. Разделы в достаточной степени имеют сопряженность и направлены на достижение объявленной в работе цели. Структура диссертации построена последовательно: от постановки проблемы - к теоретическому обоснованию, затем к и практической реализации до укрупненно-лабораторных исследований и расчету экономических показателей. Диссертация - это целостное научное исследование, результатом которого является разработка новой, высокоэффективной технологии комплексной переработки окисленных руд и хвостов обогащения руды месторождения Шалкия.
	4.5. Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) критический анализ есть; 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов.		В литературном обзоре представлен анализ современного состояния и перспективные технологии переработки окисленных, сульфидных цинковых руд и хвостов обогащения. Диссертация содержит критический обзор существующих методов переработки окисленных, сульфидных руд и хвостов обогащения цинксодержащих руд. В работе обоснована необходимость создания принципиально новой, эффективной технологии комплексной переработки окисленных цинковых руд, хвостов обогащения со значительным увеличением извлечения в целевой продукт не только основных металлов, но и нерудного компонента - кремнезема.

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%) 5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Впервые разработан новый подход к переработке труднообогатимой оксидной цинксодержащей руды и хвостов обогащения руды Шалкия на основе совмещения в одном агрегате получения ферросилиция и извлечения цинка и свинца с заменой части стальной стружки на магнетитовый концентрат. Установлено, что температура углестермического восстановления сульфида цинка значительно снижается (от 1619 до 1205 °С), если процесс проводится в присутствии магнетита. Найдено, что в равновесных условиях углестермическое восстановление ZnS в присутствии магнетита происходит через ряд стадий: на первой стадии Fe_3O_4 восстанавливается до Fe и FeO. Затем происходит восстановление части (27,3%) ZnS железом. На последней стадии ($T > 1600^\circ C$) завершается образование (до 88,3% при $1800^\circ C$) элементарного цинка вследствие взаимодействия ZnS с FeO. Созданы термодинамические модели равновесного взаимодействия хвостов обогащения руды Шалкия, ее окисленной части и их смесей с углеродом, магнетитом, железом, в присутствии сульфидной руды, используя которые установлены температурные области восстановления и существования различных форм железа, диоксида кремния, цинка и свинца, а также области образования ферросилиция марок FeSi25, FeSi45; Исследована кинетика извлечения кремния в ферросилиций из различных смесей на основе окисленной руды Шалкия, хвостов обогащения сульфидной руды Шалкия в присутствии магнетитового концентрата сделан вывод о протекании процесса в переходном режиме при электроплавке смеси окисленной и сульфидной руды, а сульфидной в кинетической. Однако в диссертации отсутствует объяснения причины протекания процесса в переходном режиме. Выводы диссертации являются новыми. Выводы базируются на авторских термодинамических моделях, методе сопряжения компьютерного термодинамического моделирования и рототабельного планирования исследований второго порядка, экспериментальных данных на укрупнённо-лабораторных испытаниях и оценке экономической эффективности созданной технологии комплексной переработки окисленной цинксодержащей руды Шалкия и хвостов обогащения коренной сульфидной руды этого месторождения
----	-------------------------	---	--

			Новизна выводов заключается в том, что они отражают теоретическую и прикладную возможность извлечения из руды и хвостов обогащения не только цинка и свинца, но и получить из нерудной составляющей кремнистый ферросплав
		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%)	Результатам прикладных исследований, на основе которых была решена технологическая проблема комплексной переработки окисленных цинксодержащих руд Шалкия, хвостов обогащения и их смесей с одновременным получением ферросплавов и свинцово-цинковых возгонов. На основании экспериментально полученных математических моделей определены оптимальные технологические параметры получения ферросилиция марок извлечения в сплав 75-85 % кремния и не менее 98-99% цинка и свинца в возгоны. Проведенные укрупненно - лабораторные испытания электротермической переработки хвостов с сульфидной рудой позволили установить оптимальные условия формирования ферросилиция марки FeSi45 со степенью извлечения кремния в сплав до 86% в присутствии магнетитового концентрата и возгоны, содержащие до 42 % Zn и Pb в которые извлекается не менее 98 - 99% этих металлов. Рассчитаны экономические показатели переработки окисленной руды и хвостов обогащения Шалкия. Прибыль при условной переработке в год 200 000 т руды и хвостов составит -21,6 – 22,2 млн \$ США, срок окупаемости инвестиций – 3 года. Имеется ли соответствие между данными термодинамического моделирования и показателями электроплавки? Каким образом планируется перерабатывать свинцово-цинковые возгоны? Каков состав газов, выделяющихся в процессе плавки и как предполагается их нейтрализовать?
6.	Обоснованность основных выводов:	Все основные выводы основаны /не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы	Выводы, представленные в диссертации, имеют высокую степень обоснованности в виду того, что сделаны они на основании результатов исследований, полученных с использованием современных физико-химических методов и достаточно апробированного в металлургической практике оборудования. Поэтому, они обладают необходимым уровнем достоверности и объективности.

7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: Положение 1: Результаты исследований термодинамического моделирования взаимодействия сульфидов цинка, свинца, железа (и их смесей), а также окисленных, сульфидных руд месторождения Шалкия, хвостов её обогащения (и их смесей) с магнетитом, углеродом и железом. 7.1 Доказано ли положение? 1) доказано 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано Положение 2: Оптимальные условия, обеспечивающие получение ферросилиция при максимальном извлечении кремния в сплав, цинка и свинца в возгоны при электроплавке: окисленной руды Шалкия совместно с сульфидной рудой, коксом, магнетитовым концентратом и стальной стружкой; - хвостов обогащения руды Шалкия совместно с сульфидной рудой, коксом, магнетитовым концентратом и стальной стружкой; 7.1 Доказано ли положение? 1) доказано 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано Положение 3: Результаты кинетики извлечения кремния в ферросплав из	Все 4 положения, выносимые на защиту доказаны экспериментально с применением передовых методов исследований, обработки и анализа результатов: - положение 1: -Методом термодинамического моделирования установлены закономерности равновесного взаимодействия ZnS, PbS, FeS с магнетитом в присутствии углерода с восстановлением цветных металлов и железа. Этим же методом установлено влияние температуры, количества углерода, железа стальной стружки на извлечение кремния в ферросплав, цинка и свинца в газовую фазу из окисленной руды Шалкия, хвостов обогащения руды Шалкия и их смесей, а также в присутствии сульфидной руды этого месторождения. Созданы термодинамические модели равновесного взаимодействия хвостов обогащения руды Шалкия, ее окисленной части и их смесей с углеродом, магнетитом, железом, в присутствии сульфидной руды. Найдены условия равновесного извлечения в ферросилиций до 83 % кремния, и в газовую фазу 99% цинка и 90% свинца. - положение 2: На основании экспериментально полученных математических моделей и 3D изображений определены оптимальные технологические параметры (количество кокса, стальной стружки, степень замены железа дефицитной стальной стружки на железо магнетитового концентрата) получения из окисленной руды Шалкия, хвостов обогащения руды и их смесей ферросилиция марок $FeSi25$, $FeSi45$ и возгонов, содержащих 35 -39 % цинка и свинца при извлечении в сплав 75-85 % кремния и в возгоны 98-99% цинка и свинца. Установлена причина уменьшения степени извлечения кремния в сплав при избытке углерода связанное образованием газообразного SiO, и позитивное влияние железа на процессе в связи с разрушениями им карбида кремния; - Найдено, что при электроплавке хвостов обогащения руды Шалкия с магнетитом происходит пенообразование расплава, из-за присутствия в расплаве газообразных продуктов восстановления сульфидов цинка, свинца, железа и SO_2 и Fe_2O_3, $CO - SO_2$, Zn, Pb. - положение 3: Исследованна в изотермическом режиме кинетика извлечения кремния в сплав при электроплавке смесей окисленной руды Шалкия и хвостов обогащения, а также коренной
----	---	---	--

	цинкосодержащих руд Шалкия и хвостов ее обогащения. 7.1 Доказано ли положение? 1) доказано 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано	сульфидной руды в присутствии магнетита. По характеру кинетических кривых, описанных Ф. Хабаши установлена предполагаемая область протекания процесса перехода кремния в сплав. В отличие от процесса извлечения кремния в сплав из сульфидной руды, протекающего с постоянной скоростью в кинетическом режиме, извлечение кремния в сплав из смеси окисленной и сульфидной руды происходит в переходном или диффузионном режимах.
	Положение 4: Результаты укрупнено-лабораторных испытаний комплексной переработки электроплавкой смеси руды и хвостов обогащения руды Шалкия с получением марочного ферросилиция и возгонов, содержащих цинк и свинец. 7.1 Доказано ли положение? 1) доказано 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано	положение 4: Проведенными укрупненно - лабораторными испытаниями электротермической переработки цинкосодержащего сырья установлено, что при образовании ферросилиция марки FeSi45 максимальная степень извлечение кремния в сплав (83-86%) происходит при плавке хвостов и руды в присутствии магнетитового концентрата. Возгоны, содержащие до 41 % Zn и Pb, извлекается не менее 98 - 99% этих металлов.
	7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) нет	В диссертационной работе отсутствуют тривиальные элементы. Полученные результаты были получены с помощью современных методов исследования и проанализированы с позиции основных законов термодинамики, физической химии, химической кинетики, рудной электротермии
	7.3 Является ли новыми? 1) да; 2) нет	Положения, выносимые на защиту, являются новыми. В специальной литературе, патентной информации, металлургической практике эти положения и результаты исследований не описаны.
	7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий	Полученные результаты в области теории и технологии комплексной переработки окисленных руд Шалкия и хвостов обогащения в присутствии сульфидной руды могут быть использованы для подобной переработки окисленных руд и техногенных отходов, сульфидной руды (их смесей) содержащих цинк и свинец оксидной и сульфидных формах, а также значительную концентрации в них кремнезема.
	7.5 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет	Основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту, опубликованы в различных журналах и трудах конференций. По результатам диссертационных исследований опубликовано 16 печатных работ, из них 6 статей в международных

			рецензируемых научных журналах, входящие в базе данных Scopus/Web of Science с процентилем 21, 43, 48, 50, 77. По теме диссертации получен патент KZ № 36683 на изобретение от 05.04.2024г.
8.	Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана: 1) да 2) нет	Выбор методологии для проведения исследований сделан правильно и обосновано. Для выполнения основных задач, объявленных в диссертации, использованы современные методы достаточно часто используемых при исследовании в области цветных и черных металлов: компьютерное термодинамическое моделирование с использованием программного комплекса HSC-6.0; рототабельное планирование второго порядка; геометрическая оптимизация; электроплавка; инструментальные и химические методы анализа
		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	Диссертационная работа была выполнена с использованием современных методов исследования и анализа. Применялись лицензированные программы термодинамического анализа, поверенные аналитические приборы и сертифицированные методики, утвержденные аккредитованными лабораториями. В работе были использованы: компьютерное термодинамическое моделирование с использованием программного комплекса HSC-6.0; рототабельное планирование второго порядка; геометрическая оптимизация; электроплавка; растровый электронный микроскоп JSM -6490LV; метод рентгенодифрактометрический, дифрактометр ДРОН -3; рентгеноспектральный микроанализ, электронно-зондового микроанализатора Superprobe 733 JEOL (Япония); дифференциально-термический анализ, дериватограф Q-1000D MOM; спектральный метод на портативном спектрометре X-MET 8000; а также методы пикнометрический, химический, гравиметрический и титриметрический.
		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	Выявленные автором закономерности увеличения степени эффективности углетермического восстановления цинка из его сульфида в присутствии магнетита и параллельно с этим процессом восстановления кремния из SiO ₂ в присутствии железа позволили создать новую оригинальную технологию комплексной переработки руды Шалкия и хвостов обогащения коренной руды Шалкия с извлечением не только практический всего цинка и свинца в возгоны, но и получены из нерудной составляющей ферросилиция различных марок.

		8.4 Важные утверждения подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	Основные научные результаты этой работы были опубликованы в рецензируемых международных и отечественных научных изданиях. Достоверность сделанных выводов подтверждается их согласованностью с результатами независимых исследований и выводами других авторов в области пирометаллургии цветных металлов и ферросплавов.
		8.5 Используемые источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора.	В диссертации приводится список литературы из 207 источников, на основании которых был составлен объективный обзор перспективных технологий переработки окисленных и сульфидных цинковых руд, а также хвостов обогащения. Однако несмотря на это в литературном обзоре отсутствует ряд упоминаний и сравнительный анализ альтернативных методов переработки окисдных руд и хвостов обогащения. В частности, нет сравнительной информации с работами Мельник М.А. (хлоридовозгонка с получением керамзита). Капсаламова Б.А. (ферросплав, возгоны), Рамазанова Р.А. (выщелачивание окисленных цинковых руд) Работа характеризуется достаточным уровнем использования иностранных источников.
9.	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение 1) да 2) нет	Целью диссертационной работы является создание технологии комплексной переработки окисленных цинкосодержащих руд месторождения Шалкия и хвостов обогащения сульфидной руды. Поэтому работа имеет явно выраженный прикладной характер с необходимыми теоретическими элементами.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике 1) да 2) нет	Диссертация характеризуется высоким уровнем практической значимости. Ее результаты позволяют решить важную проблему комплексной переработки руды Шалкия и хвостов обогащения. Созданный способ переработки цинк-свинец-кремний содержащих руд может быть использован для переработки других подобных окисдных руд, например, руд месторождения Жайрем, содержащих 3-5% ΣZn и Pb и до 70 SiO_2 . Практическая направленность работы подтверждена Патентом РК № 36683 на изобретение от 05.04.2024г.

		9.3 Предложения для практики являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Диссертационная работа содержит новые практические рекомендации и решения, которые ранее не предлагались другими исследователями. Новизна диссертационной работы связана с созданием новой технологии комплексной электротермической переработки окисленных руд месторождения Шалкия, хвостов обогащения сульфидной руды Шалкия и их смесей с одновременным получением в одном агрегате ферросилиция и возгонов, содержащих цинк и свинец
10.	10. Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) высокое; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Диссертация написана на хорошем научно-профессиональном уровне. Предложения составлены корректно и имеют логический смысл. Текст диссертации, таблицы, графическая часть выполнены в соответствии с установленными требованиями. Приложения дополняют основное содержание диссертации.

Диссертационная работа на тему «Комплексная переработка природного оксидного и сульфидного техногенного цинксоодержащего сырья месторождения Шалкия», выполнена в полном объеме и соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертационным работам PhD, автор Маханбетовой Бактыгул Алимжановны, заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07220 – «Металлургия».

Доктор технических наук, заведующий лабораторией
пирометаллургии тяжёлых цветных металлов,
АО «Институт металлургии и обогащения»
НАО КазНУТУ им. К.И.Сатпаева.

Квятковский С.А.



09.04.2025