

Письменный отзыв официального рецензента на диссертационную работу  
**Досебековой Марал Адельбековны**  
 на тему

**«Разработка технологии обеднения шлаков автогенной плавки медных сульфидных концентратов»**  
 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 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 технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)	Диссертационная работа соответствует приоритетному направлению развития науки: «Экология, окружающая среда и рациональное природопользование». Исследования, проведенные в настоящей диссертации, были выполнены в рамках проекта: - ГФ АР08855511 «Разработка технологии автогенной плавки сульфидного медного сырья в условиях совмещения в расплаве зон загрузки пихты, введения окислителя и тепловыделения» по теме: «Изучение теплового режима автогенной плавки в печи Ванюкова с использованием дополнительного топлива при подаче его через фурмы в жидкую ванну расплава», 2019-2021.
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит/не вносит</u> существенный вклад в науку, а ее важность <u>хорошо раскрыта/не раскрыта</u>	Результаты, полученные в ходе диссертационной работы, оказывают значительное влияние на развитие научных исследований в области пирометаллургии меди. Полученные в ходе лабораторных исследований и промышленных испытаний результаты, представляют новые данные о составе шлаков на БМЗ, поведении дополнительных источников топлива. Также полученные данные свидетельствуют о том, что восстановление шлака протекает в глубоко-восстановительных условиях при $P_{O2} < 10^{-10}$ атм.

3.	<p>Принцип самостоятельности</p>	<p>Уровень самостоятельности:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>Высокий</b></li> <li>2) Средний</li> <li>3) Низкий</li> <li>4) Самостоятельности нет</li> </ol>		<p>Автор данной диссертационной работы внёс существенный вклад в постановку задач и разработку методов проведения экспериментов, самостоятельно осуществлял обработку и анализ полученных данных. Опубликованные работы и наличие патента свидетельствуют о высокой степени самостоятельности Доктора.</p>
4.	<p>Принцип внутреннего единства</p>	<p>4.1 Обоснование актуальности диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>Обоснована;</b></li> <li>2) Частично обоснована;</li> <li>3) Не обоснована.</li> </ol>		<p>Актуальность диссертации имеет высокую степень обоснованности и востребованности. В условиях снижения содержания металлов в сырье, разработка эффективных технологий обеднения медных шлаков критически важна для цветной металлургии. Шлаки содержат ценные металлы, но их стандартная переработка неэффективна, поэтому обеднение шлаков актуально для уменьшения потерь и снижения экологического воздействия. Оптимизация комплексной переработки сырья на ВМЗ с использованием существующего оборудования станет решением этих проблем.</p>
	<p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>Отражает;</b></li> <li>2) Частично отражает;</li> <li>3) не отражает.</li> </ol>	<p>Диссертационная работа представляет собой логически завершённое научное исследование, направленное на разработку технологии обеднения шлаков автогенной плавки медных сульфидных концентратов. Работа состоит из 7 взаимосвязанных глав, раскрывающих различные аспекты данной проблемы. В ходе исследования были изучены физико-химические характеристики сырьевых материалов, проведен термодинамический анализ, выполнены лабораторные и промышленные испытания, предложена усовершенствованная конструкция печи Ванюкова, а также представлено технико-экономическое обоснование внедрения разработанных решений. Ключевыми целями работы являются снижение потерь меди со шлаками и минимизация негативного воздействия на окружающую среду.</p>		<p>Поставленные в диссертационной работе цели и задачи соответствуют теме диссертации и решены в полном объеме. Полнота решения поставленных задач достигнута путем исследования физико-химических характеристик шихты, флюсов и шлаков медного производства, проведения термодинамического анализа взаимодействия компонентов шлака с восстановителем. На основе всех полученных результатов, была предложена усовершенствованная конструкция печи, позволяющая уменьшить потери меди со шлаками.</p>
	<p>4.3 Цель и задачи соответствуют теме диссертации</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>Соответствуют;</b></li> <li>2) Частично соответствуют;</li> <li>3) Не соответствуют.</li> </ol>			

	<p>4.4. Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны.</p> <p><b>1) полностью взаимосвязаны;</b></p> <p>2) взаимосвязь частичная;</p> <p>3) взаимосвязь отсутствует.</p>	<p>Структура диссертационной работы характеризуется четкой логической связью между ее разделами и научными положениями. Прослеживается единая линия экспериментальных и аналитических исследований, последовательно ведущая к достижению поставленной цели. Каждый раздел органично дополняет предыдущий, формируя целостную картину научных изысканий, направленных на разработку технологии обеднения медных шлаков. Этапы работы, от изучения сырьевых материалов до технико-экономического обоснования предлагаемых решений, взаимосвязаны и взаимообусловлены, что свидетельствует о системном подходе автора к решению поставленной задачи.</p>
<p>5.</p> <p>Принцип научной новизны</p>	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?</p> <p><b>1) полностью новы;</b></p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>В диссертационной работе проведен масштабный критический анализ существующих научно-технических данных. Рассмотрено современное состояние и перспективы развития медной промышленности, изучен минерально-сырьевой потенциал медьсодержащих руд Казахстана. Автором детально исследованы и систематизированы существующие технологии обеднения медных шлаков, включая как гидрометаллургические, так и пирометаллургические методы. Глубина библиографического обзора достигает 80 лет, что позволило отразить в работе последние инновационные разработки в данной области. Выбранные методы решения поставленных целей и задач тщательно обоснованы, определены отличия разрабатываемой технологии от ранее предложенных решений.</p> <p>Диссертационная работа содержит полностью новые научные результаты:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выявлены закономерности, определяющие потери меди со шлаками при использовании теплого сырья (концентраты, флюсы, уголь) на Балхашском металлургическом заводе.</li> <li>2. Впервые с применением рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопии установлено, что высокое содержание <math>Al_2O_3</math> во флюсовых рудах, используемых на БМЗ, связывает кремнезем в различные алумосиликаты, значительно снижая их флюсующую способность.</li> <li>3. Получены новые данные о поведении угля как дополнительного источника тепла при плавке на БМЗ - значительная его часть участвует в эндотермических реакциях с</li> </ol>

		<p>оксидами, вызывая вспенивание расплава и охлаждение верхнего слоя шлака.</p> <p>4. Впервые получены данные по восстановлению шлаков в глубоко восстановительных условиях при парциальных давлениях кислорода менее <math>10^{-10}</math> атм, подтвержденные лабораторными экспериментами.</p> <p>5. Предложена новая усовершенствованная конструкция печи Ванюкова с установкой графитовых электродов в восстановительной зоне под определенным углом, что повышает эффективность переработки медных сульфидных концентратов.</p> <p>6. Предложен новый способ подачи топлива через фурмы совместно с дутьем.</p>
<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <p>1) <b>ПОЛНОСТЬЮ НОВЫЕ:</b></p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Выводы диссертационной работы являются новыми.</p> <p>Приведенные в диссертационной работе выводы относительно физико-химических характеристик медных шлаков, концентратов и флюсов имеют большой практический вклад в интенсификацию процессов переработки медных шлаков и минимизации потерь меди со шлаками.</p> <p>1. Установлено, что высокое содержание <math>Al_2O_3</math> во флюсовых рудах, применяемых на БМЗ, вызывает кремнезем в различных алломорфных модификациях, значительно снижая их флюсоустойчивую способность.</p> <p>2. Получены новые данные о поведении угля как дополнительного источника тепла - значительная его часть не сторагет в зоне барботажа, а участвует в эндотермических реакциях с оксидами, вызывая вспенивание расплава и охлаждение верхнего слоя шлака.</p> <p>3. Исследования показали, что восстановительная обработка шлаков в присутствии активированного угля позволяет снизить содержание меди до 0,43-0,80% за счет разрушения магнетита и перевода трехвалентного железа в двухвалентное состояние.</p> <p>4. Впервые получены данные по восстановлению шлаков в глубоко восстановительных условиях при <math>P_{O_2} &lt; 10^{-10}</math> атм, подтвержденные лабораторными экспериментами.</p> <p>5. Предложена усовершенствованная конструкция печи Ванюкова с электрообогреваемой восстановительной зоной, обеспечивающая эффективное обеднение медных шлаков.</p>	

	<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</p> <p><b>1) полностью новые;</b>  2) частично новые (новыми являются 25-75%);  3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>6. Проведенные технико-экономические расчеты подтверждают целесообразность внедрения разработанной технологии на металлургических предприятиях.</p> <p>Предложена усовершенствованная принципиальная конструкция печи Ванюкова, предусматривающая наличие двух основных зон: зоны плавления и зоны восстановления. Зона восстановления, в свою очередь, оборудована системой подачи восстановителей, через фурмы. Ключевым моментом является обеспечение низких значений <math>P_{O_2}</math> при которых протекает глубокое восстановление и контроль над температурным режимом, что позволит достигать высокой степени извлечения меди из шлака.</p>
<p>6. Обоснованность основных выводов:</p>	<p>Все основные выводы <b>основаны/не</b> основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы</p>	<p>Выводы, приведенные в диссертационной работе, сделаны на основе результатов проведенного комплекса экспериментальных физико-химических исследований и не противоречат теоретическим и практическим закономерностям в металлургии.</p>
<p>7. Основные положения, выносимые на защиту</p>	<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:</p> <p>Положение 1: <b>результаты исследований по изучению физико-химических характеристик шихты, флюсов и шлаков мелного производства.</b></p> <p>7.1 Доказано ли положение?</p> <p>1) <b>доказано</b>  2) скорее доказано  3) скорее не доказано  4) не доказано</p> <p>7.2 Является ли тривиальным?</p> <p>1) да;  2) <b>нет</b></p> <p>7.3 Является ли новым?</p> <p>1) <b>да;</b>  2) нет  7.4 Уровень для применения:  1) узкий;  2) средний;  3) <b>широкий</b></p> <p>7.3 Доказано ли в статье?</p>	<p>Все 5 положений выносимых на защиту, доказаны экспериментально с применением передовых методов исследований:</p> <p>- положение 1: методами рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопией (SEM) установлено, что во флюсовых рудах, применяемых на БМЗ высокое содержание <math>Al_2O_3</math>, который связывает кремнезем в различные алюмосиликаты: <math>Al_2SiO_5</math>; <math>(K,Na)AlSi_3O_8</math>; <math>Al_2Si_4O_{10}(OH)_2</math>; <math>KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2</math>; и значительно снижает флюсующую способность этих руд;</p> <p>- положение 2: механизм восстановления магнетита углеродом с образованием фаялита доказан термодинамическими расчетами выполненными на программном комплексе HSC – 10 с использованием модуля Reaction Equations;</p> <p>- положение 3: Возможность восстановительной обработки шлаков с целью обеднения, по цветным металлам доказана экспериментальными данными, рентгенофазовым анализом (рентгеновский дифрактометр D8 Advance (Bruker) с использованием излучения <math>\alpha</math>-Cu), сканирующей электронной микроскопией JEOL JXA 8230 (SEM); термический анализом (STA 449 F3 Jurifer). Получены новые данные по восстановлению шлака в глубоководно-восстановительных условиях при <math>P_{O_2} &lt; 10^{-10}</math> атм. Было проведено глубокое обеднение шлаков в лабораторных условиях,</p>

	<p><b>1) Да;</b> 2) нет</p> <p>Положение 2: <u>результаты термодинамического взаимодействия компонентов шлака с углеродом угля</u></p> <p>7.1 Доказано ли положение? <b>1) Доказано</b> 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано</p> <p>7.2 Является ли тривиальным? 1) да; <b>2) нет</b></p> <p>7.3 Является ли новыми? <b>1) Да;</b> 2) нет</p> <p>7.4 Уровень для применения:</p>	<p>что подтверждается результатами расчетных значений парциального давления кислорода;</p> <p>- положение 4: новые данные по поведению дополнительного источника теплоты (угля) при плавке на БМЗ доказаны экспериментальными данными, укрупненными испытаниями, актом укрупненных испытаний. Определены составы шлаков, которые получены при окислительной плавке медных сульфидных концентратов БМЗ и предназначенные для восстановительного обеднения. Шлаки содержат от 0,93 до 1,54 % меди, от 7,8 до 9,8 % магнетита. Выполнены термические исследования проб шлаков, установлено, что температуры плавления шлаков 1280-1300 °С;</p> <p>- Положение 5: Экспериментальные данные, полученные в лабораторных условиях, подтверждают высокую эффективность предложенной конструкции. Использование кокса в качестве восстановителя наряду с оптимизированным нагревом привело к значительному снижению содержания меди в шлаке и увеличению доли металлизированного железа. Получен патент на изобретение.</p> <p>Использованные методы исследования позволили в полном объеме решить все поставленные задачи и достичь цели.</p> <p>Элементы тривиальности в диссертационной работе отсутствуют.</p> <p>Все найденные результаты получены с помощью современных методов исследования, на поверенных станках, анализы выполнены в аккредитованных лабораториях.</p> <p>Основные положения, выносимые на защиту, являются новыми.</p> <p>Ранее подобные положения и результаты исследований по теме диссертации не были кем-либо описаны в литературе.</p> <p>Все положения, выносимые на защиту, доказаны публикациями.</p> <p>На основании полученных экспериментальных данных диссертантом опубликованы: 4 научных работ в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных КОКССОН МНВО РК, в том числе: в базе данных WoS и Scopus – 3 статьи, в журналах, рекомендованных КОКССОН МОН РК – 1 статья.</p> <p>Результаты работы апробированы на 4 международных научно-практических конференциях.</p>
--	---	---

	<p>1) узкий; 2) средний; <b>3) широкий</b></p> <p>7.3 Доказано ли в статье? <b>1) да;</b> 2) нет</p> <p>Положение 4.: <u>результаты промышленных испытаний.</u></p> <p>7.1 Доказано ли положение? <b>1) доказано</b> 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано</p> <p>7.2 Является ли тривиальным? 1) да; <b>2) нет</b></p> <p>7.3 Является ли новым? <b>1) да;</b> 2) нет</p> <p>7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; <b>3) широкий</b></p> <p>7.3 Доказано ли в статье? <b>1) да;</b> 2) нет</p> <p>Положение 5: усовершенствованная конструкция двухзонной печи Ванюкова</p> <p>7.1 Доказано ли положение? <b>1) доказано</b> 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано</p> <p>7.2 Является ли тривиальным? 1) да; <b>2) нет</b></p>	<p>Имеется патент на изобретение по теме PhD диссертации: Патент на полезную модель № 8335 от 05.05.2023.</p>
--	--	---

	<p>7.3 Является ли новыми?  <u>1) Да;</u>  2) нет</p> <p>7.4 Уровень для применения:  1) узкий;  2) средний;  <u>3) широкий</u></p> <p>7.3 Доказано ли в статье?  <u>1) Да;</u>  2) нет</p>	
<p>8. Достоверность источников и предоставляемой информации</p>	<p>8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана:  <u>1) Да</u>  2) нет</p>	<p>При выборе методологии проведения исследований в диссертационной работе учитывались особенности изучаемых объектов. Применение комплекса современных методов анализа позволило получить ряд принципиально новых результатов:</p> <p>1. Впервые с помощью рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопии (SEM) установлено, что во флюсовых рудах, используемых на Балхашском медплавильном заводе, содержится высокое количество <math>Al_2O_3</math>, который связывается кремнезем в различные алумосиликатные соединения (<math>Al_2SiO_5</math>; <math>(K,Na)AlSi_3O_8</math>, <math>Al_2Si_4O_{10}(OH)_2</math>; <math>KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2</math>), значительно снижая тем самым флюсующую способность этих руд.</p> <p>2. Получены принципиально новые данные по поведению угля как дополнительного источника тепла при плавке на БМЗ.</p> <p>3. Впервые получены новые данные по восстановлению медного шлака в условиях глубокого восстановления при парциальном давлении кислорода менее <math>10^{-10}</math> атм.</p> <p>Таким образом, выбор адекватной методологии исследования, включаемой современной аналитические методы, позволил автору диссертации достичь ряда важных научных результатов принципиально нового характера.</p> <p><i>Вопрос: почему не рассматривали другие варианты доп. топлива для компенсации недостатка тепла?</i></p> <p>В работе использован комплексный подход, объединивший применение современных методов исследования и методов обработки и демонстрации научных данных.</p>
	<p>8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий</p>	



9.		
	<p><b>1) Да</b> 2) нет</p> <p>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):</p> <p><b>1) Да</b> 2) нет</p>	<p>Теоретические выводы, модели и установленные в диссертационной работе взаимосвязи и закономерности были получены на основе комплексных экспериментальных исследований с применением широкого спектра аналитических методов. В частности, были использованы: химические методы анализа, включая оптико-эмиссионную спектроскопию с индуктивно-связанной плазмой (Orbita 8300 DV, RekinElmer, США) и титриметрический анализ; рентгенофазовый анализ с применением полуквантового метода на дифрактометре D8 Advance (Bruker AXS GmbH); термический анализ шлаков на приборе STA 449 F3 Jupiter с обработкой результатов в программном обеспечении NETZSCH Proteus; электронно-зондовой микроанализ с использованием микроанализатора JEOL JXA 8230; петрографический анализ на прямом промышленном поляризационном микроскопе OLUMPUS BX-51. Кроме того, были проведены термодинамические расчеты с применением программного комплекса HSC-10.0 с использованием модуля Reaction Equations. Комплексный подход к экспериментальным исследованиям позволил получить достоверные данные, которые легли в основу теоретических выводов и установленных в работе закономерностей.</p>
	<p>8.4 Важные утверждения <b>подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены</b> ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.</p>	<p>Результаты, полученные в ходе проведенных в диссертации исследований, находят всестороннее отражение в содержании всех разделов работы. Достоверность научных выводов подтверждается их публикацией в рецензируемых международных и отечественных научных изданиях. Сделанные в диссертации заключения находят в согласии с выводами, полученными другими авторами по аналогичной тематике, что свидетельствует об их объективности и обоснованности. В целом, проведенное комплексное исследование и полученные его результаты не вызывают сомнений в своей достоверности.</p>
	<p>8.5 Исползованные источники литературы <b>Достаточно/не достаточно</b> для литературного обзора.</p>	<p>В работе приведен список литературы из 119 наименований. Приведенные источники более чем достаточно для формирования литературного обзора диссертационной работы.</p>
	<p>9.1 Диссертация имеет теоретическое значение</p>	<p>Основной целью диссертационной работы является разработка инновационной технологии обжига медных шлаков на</p>

<p>Принцип практической ценности</p>	<p>1) да 2) нет</p>	<p>Вагхалском медеплавильном заводе (БМЗ) с возможностью использования существующего оборудования, без необходимости дорогостоящих капитальных затрат. Теоретические исследования, представленные в работе, носят вспомогательный характер и были выполнены для получения дополнительных знаний в области переработки медных шлаков. Эти теоретические данные послужили основой для разработки усовершенствованной конструкции плавильной печи. Таким образом, теоретическая часть работы не является самоцелью, а направлена на достижение основной практической задачи по совершенствованию технологии обеднения медных шлаков на БМЗ. <i>Вопрос: Какие недостатки в действующей технологии плавки в печи Ванюкова на БМЗ?</i></p>
<p>9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике</p>	<p>1) Да 2) нет</p>	<p>Совокупность полученных в диссертационной работе результатов теоретических и экспериментальных исследований наглядно демонстрирует ее ярко выраженный практический характер и ориентацию на решение прикладных производственных задач в области переработки шлаков медного производства. Комплекс научно-обоснованных рекомендаций и разработанные технические решения направлены на интенсификацию и повышение эффективности процессов обеднения медных шлаков, что имеет важное значение для практической реализации на действующих металлургических предприятиях. Таким образом, данная диссертационная работа носит ярко выраженную прикладную направленность и вносит значительный вклад в развитие технологий переработки металлургических шлаков.</p>
<p>9.3 Предложения для практики являются новыми?</p>	<p>1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Практические рекомендации, разработанные в диссертационной работе, обладают высокой новизной и, безусловно, представляют большую практическую ценность. Ключевыми практическими результатами являются: 1) Двухзонность: Разделение на окислительную и восстановительную зоны позволяет точнее контролировать химические реакции и термодинамические условия процесса. 2) Угол электродов: Угол установки электродов способствует оптимальному распределению тепла и увеличивает эффективность электрического нагрева.</p>

