

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
Забайкальский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)

Александрово-Заводская ул., д. 30, г. Чита, 672039 Россия
Тел. (302-2) 41-64-44, 41-66-00
Факс: (302-2) 41-64-44
Web-server: www.zabgu.ru
E-mail: mail@zabgu.ru
ОКПО 02069390, ОГРН 1027501148652
ИНН/КПП 7534000257/753601001

«УТВЕРЖДАЮ»

И. о. ректора

ФГБОУ ВО «ЗабГУ»

О. О. Мартыненко

11 _____ 2023 г.



О. О. Мартыненко № *15-3322*
На № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Забайкальский государственный университет» на диссертационную работу Глаголевой Ирины Викторовны «Совершенствование технологии комплексной переработки клинкера вельцевания цинковых кеков», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых

Объём и структура диссертации

Диссертационная работа Глаголевой Ирины Викторовны представлена на 174 страницах машинописного текста, включающая 54 рисунка и 52 таблицы, список литературы из 131 наименования, состоящая из введения, 5 глав, 8 приложений и заключения, автореферат диссертации изложен на 22 страницах.

Актуальность темы диссертации

В период с 2010 по 2021 год спрос на медь вырос на 31,5% — с 16 млн до 21 млн метрических тонн в основном за счет зарождения возобновляемых источников энергии и благодаря продолжающейся цифровой революции и особенно быстрому развитию индустрии электромобилей, поэтому спрос на медь

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»
за № _____
Дата регистрации <u>29.11.2023</u>
Фамилия регистратора _____

может расти еще быстрее в следующем десятилетии. По этой причине ученые называют современный этап развития отрасли новым медным веком.

Ситуация осложняется тем, что в последнее десятилетие, отрасль испытывала недостаточное инвестирование в разработку новых месторождений, а на строительство новых рудников и плавильных заводов в среднем требуется 7–10 лет. В сложившейся ситуации, когда массовые доли меди в металлургических отходах зачастую превышают содержание в природном сырье, вовлечение техногенного сырья в переработку позволит предотвратить прогнозируемый дефицит этого металла.

Уральский регион уже более 300 лет является металлургическим центром России и за столь продолжительный период времени здесь накопилось большое количество техногенных отходов, среди них – клинкер вельцевания цинковых кеков с массовой долей меди, сопоставимой с сульфидными рудами. Помимо источника меди, клинкер может рассматриваться как сырьевой железосодержащий и углеродсодержащий материал.

Поэтому совершенствование и научное обоснование технологии обогащения клинкера с получением нескольких товарных продуктов является актуальной и перспективной научной задачей.

Общая характеристика работы.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы исследования, указаны цель, объект, предмет, задачи; раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость; представлены основные положения, выносимые на защиту, сведения о личном вкладе автора, апробация результатов проведенного исследования.

В первой главе проанализировано состояние проблемы переработки техногенных отходов, описано получение и практика переработки вельц-клинкера, даны химико-минералогические характеристики, сделан краткий обзор исследовательских работ по обогащению вельц-клинкера и анализ

предлагаемых технологических решений. Сформулирована идея работы и поставлены основные задачи исследования.

Сделан вывод о необходимости совершенствования схемы переработки лежалого медистого клинкера вельцевания цинковых кеков за счет: а) комбинации методов магнитного, гравитационного и флотационного обогащения; б) совершенствования реагентного режима флотации с целью повышения технологических показателей извлечения меди.

Во второй главе представлен объект исследования – лежалый клинкер вельцевания цинковых кеков ЧЦЗ (отходы пирометаллургического передела, содержащие цветные и благородные металлы в количествах, сопоставимых с рудами). Дается описание методики исследования вещественного состава и технологических свойств клинкера вельцевания.

Изучен характер минеральных ассоциаций, текстурно-структурные особенности и технологические свойства клинкера вельцевания. Приведены результаты изучения технологических свойств и контрастности крупнокускового клинкера вельцевания с использованием авторской программы для ЭВМ на основе уравнения В.А. Мокроусова «RmS Calculator» (radiometric separation calculator – калькулятор радиометрической сепарации).

Результаты комплексного изучения структурно-фазовых особенностей и технологических свойств клинкера вельцевания цинковых кеков показали, что поликомпонентный, многофазовый состав клинкера, его неоднородное строение и сложный текстурно-структурный рисунок указывают на необходимость включения в план исследований на обогатимость магнитной сепарации, гравитационного разделения с целью более полного выделения железа в концентрат и флотацию тонкоизмельченного клинкера с целью повышения селективного извлечения медьсодержащих фаз. Введена дополнительная трактовка старого понятия «медьсодержащие фазы клинкера».

В третьей главе представлены результаты проведенных исследований закономерностей разделения фаз клинкера магнитным, гравитационным и

флотационным методами. Для проведения экспериментальных работ использовались аттестованные аналитические лаборатории и сертифицированное оборудование, соответствующее изучаемым технологиям, современные физико-химические методы исследований.

Представлены следующие экспериментальные зависимости: выхода магнитной фракции, массовой доли и извлечения компонентов в магнитный продукт от напряженности магнитного поля для железа и углерода; извлечения меди, железа и углерода от расхода воды на шламовом столе; извлечения меди и углерода от расхода керосина и вспенивателя; извлечения меди, железа и углерода от тонины помола по классу - 0,071 мм, расхода вспенивателя Т-92 и расхода БКК. Научно обоснована необходимость комбинации магнитных и гравитационных методов разделения для концентрирования медьсодержащих фаз клинкера в питании флотации.

Таким образом, первое научное положение можно считать доказанным на основе представленных достоверных данных.

В четвертой главе представлены результаты изучения закономерностей флотационного обогащения клинкера, в том числе потенциометрической диагностики флотационного процесса. Результаты диагностики показали, что в пульпе присутствуют ионы железа в виде $\text{Fe}(\text{OH})^+$ и при подаче ксантогената образуются комплексы $\text{Fe}(\text{OH})\text{K}_x$, что приводит к перерасходу ксантогената и образованию гидроксидных пленок на поверхности минералов. Анализируются способы снижения влияния ионов железа и его гидроксидных пленок при сульфидной флотации. Экспериментальным путём определяется рациональный расход реагентов модификаторов. Дается научное обоснование технологических решений для совершенствования реагентного режима сульфидной флотации. Методом ПФЭ установлено, что закономерность влияния расходов реагентов на извлечение меди аппроксимируется математической моделью. Приводятся результаты факторных экспериментов, полученное уравнение связи извлечения меди и

расходов реагентов-модификаторов и определяются рациональные расходы реагентов модификаторов.

Следовательно, второе научное положение аргументировано доказано на основе применения комплекса технологических решений, позволяющего повысить флотационное извлечение меди в концентрат.

В пятой главе представлены результаты укрупненных лабораторных испытаний разработанной технологии обогащения лежалого клинкера вельцевания цинковых кеков. Комбинированная магнитно-гравитационно-флотационная технология переработки медистых клинкеров вельцевания цинковых кеков позволяет осуществить безотходное разделение клинкера на три продукта, пригодных для использования в смежных отраслях черной и цветной металлургии: медьсодержащий $\beta_{Cu}=14,52\%$, железосодержащий $\beta_{Fe}=50,17\%$, углеродсодержащий $\beta_{C}=40\%$. Технико-экономическое обоснование технологии переработки клинкера вельцевания позволило получить удельный экономический эффект по разработанной технологии в 6,6 млн руб. на 1000 т, что обеспечивает окупаемость затрат в первый год с учетом дисконтированного дохода.

Новизна основных научных и практических результатов заключается в следующем:

- впервые установлены закономерности распределения медьсодержащих фаз клинкера между сростками с магнитными и немагнитными техногенными минералами пирит-пирротинового ряда при дезинтеграции, обуславливающие необходимость применения комбинации магнитных и гравитационных операций в схемах обогащения;

- выявлены факторы, влияющие на потери меди с хвостами в процессе медной флотации, которые обусловлены наличием в пульпе ионов железа, что способствует образованию пленок гидроксида железа на поверхности частиц клинкера и приводит к снижению контрастности разделяемых фаз, а также перерасходу ксантогената калия за счёт образования комплекса $Fe(OH)K_{x2}$;

- предложен подход к обоснованию крупности вельц-клинкера для эффективного разделения на концентрационном столе с использованием известного соотношения $M = (\rho_T - \rho_{ж}) / (\rho_L - \rho_{ж})$ не для отдельных минералов, а для рядовых и богатых сростков медьсодержащих фаз с основными их вмещающими фазами клинкера;

- установлена зависимость извлечения меди в концентрат от расходов реагентов-модификаторов, позволившая провести оптимизацию расходов реагентов, выраженная математической моделью в виде полиномиального уравнения:

$$\varepsilon = 55,01 + 0,11Q_{CuSO_4} + 0,02Q_{Na_2SiF_6} + 0,41pH - 0,00002 Q_{CuSO_4} Q_{Na_2SiF_6},$$

где Q_{CuSO_4} и $Q_{Na_2SiF_6}$ – расход реагентов соответственно $CuSO_4$ и Na_2SiF_6 , г/т;

- определены закономерности распределения углерода по классам крупности клинкера: 3,0; 1,0; и 0,5 мм при дезинтеграции, обусловленные микротвёрдостью фаз;

- доказана возможность применения потенциометрической диагностики для совершенствования реагентного режима флотации техногенного сырья.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

обусловлена представительностью лабораторных проб, большим объемом экспериментальных исследований и полученных данных, использованием комплекса современных физико-химических методов анализа и современных компьютерных программ, корреляцией теоретического прогноза и экспериментальных результатов.

Значимость для науки и практики полученных результатов

Теоретическая значимость исследований заключается в развитии теории обогащения техногенных материалов со сниженной контрастностью разделяемых фаз.

Практическая значимость работы состоит в:

- расширении сырьевой базы меди, железа и углерода за счет использования техногенного сырья;
- комплексность использования минерального сырья и безотходность разделения медистых клинкеров вельцевания цинковых кеков по комбинированной магнитно-гравитационно-флотационной технологии;
- возможности выбора альтернативных технологических решений по обогащению техногенного сырья на основе выявленных закономерностей и зависимостей технологических параметров процессов разделения фаз от поликомпонентного вещественного состава, позволяющих дополнительно получить металлопродукцию меди, железа и угольный концентрат;
- использовании программы ЭВМ «RmS Calculator» (radiometric separation calculator – калькулятор радиометрической сепарации) с целью оценки и сравнения контрастности разных компонентов для максимального концентрирования в продуктах обогащения;
- улучшении экологической обстановки в районе недропользования.

О стиле и языке диссертации и автореферата. Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Диссертационная работа написана грамотным языком, оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Автор использует общепринятую научную терминологию, что делает работу доступной для восприятия специалистам. Выводы и рекомендации работы изложены четко и лаконично. Структура и содержание автореферата соответствуют основным положениям диссертации.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные результаты исследований можно рекомендовать к использованию при разработке технологических регламентов обогащения техногенного сырья, содержащего в своём составе минералы пирит-

пирротинового ряда; для определения рационального реагентного режима флотации медьсодержащих отходов; в учебном процессе при проведении практических, лабораторных учебных занятий; при выполнении научно-исследований и разработки выпускных квалификационных работ по тематике, связанной с переработкой горно-металлургических отходов.

Основные результаты работы и научные положения широко апробированы и получили одобрение горной общественности на международных конференциях. Основные положения диссертации раскрыты в 16 научных работах, из них: 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ; 2 – в изданиях, индексируемых в базе цитирования Scopus; 10 – в прочих печатных изданиях, а также зарегистрирована 1 программа для ЭВМ.

Замечания по диссертации и автореферату:

1. Требуется пояснение часто употребляемому в диссертации термину «медьсодержащие фазы клинкера». Есть ли нижний предел содержания меди в фазе, которую можно считать медьсодержащей?

2. По данным табл.1.1. в клинкере содержится серебро в количестве 345 г/т. Изучалось ли распределение серебра по продуктам обогащения?

3. В диссертации в пятой главе не приведена схема цепи аппаратов технологического процесса, хотя при расчете экономических показателей переработки клинкера (приложение Е, глава 5) указаны выбранные аппараты.

4. Полученный в конце технологической схемы железосодержащий продукт не соответствует по массовой доле железа условиям на железорудный концентрат. Каким образом предполагается его дальнейшее использование?

5. В диссертации не обоснован выбор метода центробежной концентрации в качестве альтернативного разделению клинкера на концентрационном столе. На чем основывался этот выбор? При определении режимов гравитационного разделения (глава 3) было бы более правильным провести

оптимизацию параметров концентрации на столе с использованием полного факторного эксперимента и получением регрессионной модели, как это сделано в работе для флотационного обогащения.

Отмеченные замечания не снижают высокой теоретической значимости и практической ценности диссертационного исследования.

Заключение

Диссертационная работа Глаголевой Ирины Викторовны на тему: «Совершенствование технологии комплексной переработки клинкера вельцевания цинковых кеков», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. «Обогащение полезных ископаемых», является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно. В работе изложены новые научно-обоснованные технологические решения, позволяющие усовершенствовать технологию переработки клинкера вельцевания, повысить комплексность использования сырья за счёт дополнительного получения трёх продуктов (углерод-, железо- и медьсодержащих), что имеет существенное значение для развития страны.

В целом, представленная диссертационная работа по своему содержанию соответствует паспорту научной специальности 2.8.9. «Обогащение полезных ископаемых»; профилю диссертационного совета 24.2.324.06; требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., №842, с дополнениями и изменениями), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор – Глаголева Ирина Викторовна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. «Обогащение полезных ископаемых».

Диссертация, автореферат и отзыв были рассмотрены и одобрены на расширенном заседании кафедры обогащения полезных ископаемых и вторичного сырья с приглашением профессоров кафедры водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности, протокол № 3 от 13.11.2023 г.

И. о. заведующего кафедрой
обогащения полезных ископаемых и вторичного сырья,
кандидат технических наук
по специальности обогащения полезных ископаемых,
доцент

Щеглова Светлана Александровна

Щеглова Светлана Александровна согласна на обработку персональных данных.

13.11.2023 г.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Забайкальский государственный университет»

Адрес: 672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30.

Тел.: (3022) 41-64-44

E-mail: mail@zabgu.ru

Адрес официального сайта в сети Интернет: <https://zabgu.ru/php/index.php>

Подпись заверяю

Директор административного департамента  А. В. Еремеев



« 11 » _____ 2023 г.