

На правах рукописи



КАЙРАЛАПОВ ЕРЛАН ТОКПАЕВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ
ПИРО - ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЗАБАЛАНСОВЫХ МЕДНЫХ РУД
ЖЕЗКАЗГАНСКОГО РЕГИОНА**

Специальность: 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2014

Работа выполнена в научно-исследовательском центре инновационных технологий ТОО «КазГидроМедь» Республики Казахстан, г. Караганда

Научный руководитель:

Доктор технических наук
Кандидат химических наук

Парецкий Валерий Михайлович
Каримова Люция Монировна

Официальные оппоненты:

Официальные оппоненты:
Стрижко
Леонид Семенович

Доктор технических наук, профессор,
НИТУ «МИСиС», профессор
кафедры цветных металлов и золота

Леонтьев
Владимир Гильевич

Кандидат физ. мат. наук,
ИМЕТ им. А.А.Байкова, РАН,
вед. н. сотр. лаборатории физико-
химического анализа и металлургии
цветных и редких металлов

Ведущая организация:

ООО «Институт Гипроникель»

Защита состоится «27» марта 2014 г. в 14-00 на заседании диссертационного Совета Д 217.041.01 в Государственном научно-исследовательском институте цветных металлов «ГИНЦВЕТМЕТ» по адресу: 129515, г. Москва, ул. Академика Королева, д. 13;
тел.: (495) 615-39-82, факс: (495) 615-61-73.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного унитарного предприятия «Государственный научно-исследовательский институт цветных металлов».

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 129515, г. Москва, ул. Академика Королева, 13

Тел. (495) 615-39-82, факс (495) 615-58-21,
e-mail: gintsvetmet.msk@gmail.com; dissovnet.gin@mail.ru

Автореферат разослан « » февраля 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук



И.И.Херсонская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Основной сырьевой базой ТОО «Корпорация Казахмыс» является Жезказганское месторождение медистых песчаников, которое отрабатывается производственным объединением «Жезказганцветмет», имеющим в своем составе 6 действующих рудников. За 80 лет эксплуатации Жезказганского месторождения из недр извлечено уже более 1 млрд. тонн руды, что составляет 75% от общего количества запасов.

Неизбежным следствием многолетней интенсивной разработки любого месторождения является количественное и качественное истощение сырьевой базы. Для Жезказганского региона восполнение сырьевой базы – важнейшая социально-экономическая проблема, т.к. сокращение объемов производства неизбежно приведет к потере рабочих мест. Так, во втором полугодии 2013г. произошло закрытие на реконструкцию Жезказганского металлургического завода (ЖМЗ), 2013-2015гг. закрытие действующих рудников.

В связи с сокращением запасов богатых монометаллических руд на сегодняшний день, актуальной задачей является поиск новых технологий переработки забалансовых бедных или полиметаллических руд с содержанием меди 0,2 – 0,35%. К такому сырью относятся забалансовые медносульфидные руды Жезказганского региона, содержащие редкие металлы. Его переработка по действующим пирометаллургическим технологиям приводит к значительным потерям извлекаемых металлов. Известные гидрометаллургические схемы также не дают высокого извлечения ценных компонентов.

Поэтому разработка новой рентабельной комбинированной технологии комплексной переработки забалансовых медно-сульфидных руд, позволяющей повысить степень извлечения ценных компонентов в товарные продукты (снижая себестоимость), представляет собой актуальную задачу, чему и посвящена настоящая диссертационная работа.

Работа выполнена по госпрограмме «Научно-техническое обеспечение развития горно-металлургической отрасли Республики Казахстан на 2012-2014 годы» по теме «Технология переработки забалансовых медносульфидных руд»; по заказу ТОО «Корпорация Казахмыс» по теме: «Научные исследования и разработка технологии комплексной переработки забалансовой руды Жезказганского месторождения».

Цель работы. Научное обоснование и разработка новой рентабельной технологии комплексной переработки продуктов обогащения забалансовых медносульфидных руд, позволяющая повысить степень извлечения ценных компонентов в товарные продукты.

Задачи исследований:

1. Обоснование необходимости разработки эффективной технологии переработки забалансовых руд Жезказганского региона;
2. Изучение особенностей состава забалансового медьсодержащего сырья Жезказганского региона;
3. Выбор наиболее эффективной операции предварительного концентрирования сырья по меди;
4. Обработка технологии компактирования и обезвоживания черного медного концентрата;
5. Определение режимов обжига черного медного концентрата с целью последующей эффективной переработки;
6. Разработка технологической схемы и оценка ее экономической эффективности.

Объект исследования.

Объектом исследования является забалансовая медносульфидная руда Жезказганского региона типа медистых песчаников.

Методы исследований. При выполнении работы был использован комплекс физических, химических и физико-химических методов. Экспериментальные исследования проводились в лабораторном и укрупненно-лабораторном масштабах, в т.ч. с использованием пилотных установок. В ходе работ применялись математические методы планирования эксперимента, вероятностная модель прочности окускованных материалов. Определение химического состава выполнялось методами атомно-эмиссионного, атомно-абсорбционного, спектрофотометрического методов анализа, фазового состава проводилось с использованием рентгенофазового, термогравиметрического методов анализа, термических и кинетических параметров процесса термической обработки образцов проводилось с использованием дериватографического метода анализа.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием сертифицированных физико-химических методик исследования, надежностью исходных данных, оценкой полученных результатов методом нелинейной множественной корреляции, удовлетворительной сопоставимостью лабораторных исследований и испытаний на опытно-промышленном участке.

Научная новизна

1. Разработаны математические модели, описывающие закономерности обезвоживания гранул по следующим показателям: относительная убыль массы при сушке, относительная убыль массы при последующем досушивании гранул, степень их обезвоживания, статическая прочность гранул применительно к черному медьсодержащему концентрату, полученному из забалансового сырья Жезказганского региона.

2. Разработан алгоритм управления сохранением целостности гранул черного концентрата при статической нагрузке в бункерах и реакторе, управляемыми параметрами которого являются: высота слоя, размеры гранул, температура сушки для последующей термической обработки.

3. Изучены кинетические зависимости процесса обжига некондиционных медных сульфидных концентратов при автогенном режиме окисления. Установлено, что в интервале температур 400-700⁰C увеличение расхода кислорода от 20-100 см³/с ускоряет процесс окисления в 1,5-2 раза по сравнению с окислением воздухом, без оплавления гранул и их спекания. Установлено, что достаточно высокую степень извлечения меди в условиях автогенного обжига концентрата, гранулированного на смеси из раствора лигносульфонатов (сульфит-спиртовая барда $\rho=1,05$) и серной кислоты 10%, можно достичь при условиях: $t - 500 - 600^{\circ}\text{C}$, $\tau - 40 - 60$ мин., $d - 8 - 12$ мм. Выход кека при этих условиях составляет 75%.

4. На основе обобщенного уравнения продолжительности, расхода смеси воздуха и кислорода, разработан алгоритм управления температурой процесса автогенного обжига бедных сульфидных медных концентратов.

Практическая значимость и реализация результатов работы

1. Разработанная технология позволяет вовлечь в сферу производства забалансовые медресульфидные руды.

2. Для обеспечения сохранности гранул не менее 80% установлена допустимая высота слоя в бункере и реакторе для среднего диаметра высушенных гранул.

3. В результате укрупненно - лабораторных исследований процесса обжига медных сульфидных концентратов в условиях автогенного режима окисления установлено, что для предотвращения оплавления присутствующих в концентрате сульфидов и продуктов их окисления обжиг в печи шахтного типа должен осуществляться с ограничением скорости подачи воздуха в зону реакций в зависимости от содержания серы в концентратах.

4. Установлена взаимосвязь особенности фазового состава гранул после обжига черного концентрата (содержание сульфатов и оксидов металлов) с результатами их последующей обработки, которые определяют выбор технологических приемов, обеспечивающих извлечение меди на последующих стадиях.

5. Выполненные ориентировочные технико-экономические расчеты показали достаточно высокую эффективность разработанной технологии: при условии организации производства по переработке 2 млн. тонн забалансовых руд в год капитальные затраты окупятся в течение 9 месяцев.

На защиту выносятся:

1. Математическая модель прочности гранулированного черного медного концентрата на смеси из раствора лигносульфонатов и серной кислоты, применительно к забалансовому сырью Жезказганского региона;
2. Результаты исследования процессов обезвоживания и сульфатизирующего обжига гранул черного медьсодержащего концентрата в виде зависимостей технологических показателей процессов от режимных параметров;
3. Технологическая схема комплексной переработки забалансового медьсодержащего сырья Жезказганского региона.

Апробация работы

Основные результаты работы доложены и обсуждены на Межд. науч. - практич. конф. «Актуальные проблемы науки», г. Кузнецк, 2011; XI Междун. науч. -практич. конф. «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности», г. Санкт-Петербург, 2011; Межд. науч. конф. «Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан – 2030» (Сагиновские чтения №3), посв.-20 - летию Независимости Казахстана»; Межд. науч.-практ. конф. «Гетерогенные процессы в обогащении и металлургии» Абишевские чтения, г. Караганда, 2011; VI Межд.научово-практ. Интернет-конференції «Спецпроект: аналіз наукових досліджень», Дніпропетровськ, 2011; Межд. заочной научн. конф. «Актуальные вопросы технических наук», г. Пермь, 2011; Materialy VII Mezinarodni vedecko-prakticka conference «Aplikovane vedecke novinky-2011», Praha; VII Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Nauka i inowacja-2011»; Межд. молодежной науч. школы «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых», г. Москва, 2012; VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Альянс наук: вчений – вченому», Дніпропетровськ, 2013; Межд. молодежной науч. конф. «БУДУЩЕЕ НАУКИ – 2013», г. Курск, Межд. научн.-практ. конф. «Наука и современность: вызовы XXI века», г. Киев, 2014.

Личный вклад автора

Заключается в обосновании цели и задач исследований, планировании работ, выполнении экспериментов, в обработке и систематизации полученных результатов, а также в подготовке статей и материалов для публикаций и участия в конференциях.

Автор глубоко признателен научным руководителям: советнику генерального директора, д.т.н. Парецкому В.М. (ФГУП «Институт» ГИИЦВЕТМЕТ»), ведущему научному сотруднику, к.х.н. Каримовой Л.М. (НИЦИТ ТОО «Каз-ГидроМедь») за постоянную поддержку, консультации и подготовку диссертации к защите. Автор искренне благодарит зав. лабораторией комплексного использования конденсированных отходов д.т.н. Жумашева К.Ж., зав. лабораторией энтропийно-информационного анализа д.т.н. Малышеву В.П. (ХМИ им. Ж. Абишева) за помощь и ценные советы при подготовке диссертации к

защите. Автор благодарит сотрудников научно-исследовательского центра инновационных технологий ТОО «КазГидроМедь», ХМИ им. Ж. Абишева за сотрудничество и помощь при проведении укрупненно-лабораторных испытаний.

Публикации

Основное содержание диссертации изложено в 23 работах. Из них 3 работы опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК, получено 2 патента на изобретения.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, 1 приложения и списка литературы, включающего 105 наименований. Работа изложена на 138 листах машинописного текста, содержит 23 рисунка, 44 таблицы и 1 приложение.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность разрабатываемой проблемы, определены основные задачи и цели работы; излагаются защищаемые положения, новизна и практическая значимость результатов исследования.

В первой главе проведен критический анализ литературных источников, совпадающих с тематикой диссертационной работы. Показана перспективность использования забалансового медного сырья. Обоснована необходимость ведения обжига медного сырья с использованием печей шахтного типа. Сделан вывод о необходимости сульфатизирующего обжига чернового медного концентрата для последующей гидрометаллургической переработки.

Во второй главе изложены теоретические основы и методики проведения исследований по вероятностной теории прочности окатышей для расчета допустимой высоты слоя и высоты падения при хранении и транспортировке гранул, методики расчета кажущейся энергии активации обжига чернового медного концентрата и дифференциально-термического анализа чернового медного концентрата, а также описана материальная и приборная база, которые были использованы при проведении расчетных и экспериментальных исследований в данной работе.

В третьей главе приводятся результаты экспериментальных исследований забалансовой руды Жезказганского региона.

3.1. Подготовка руды к обогащению

Объектом работы является забалансовая медносulfидная руда Жезказганского региона типа медистых песчаников, химический и фазовый состав руды рудных минералов меди представлен в таблицах 1 и 2

Таблица 1.

Химический состав (в %) забалансовой медной руды

Cu _{обм}	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	S _{обм}	Fe	TiO ₂	FeO	Ag,г/т
0,34	68,1	11,22	4,1	0,26	3,0	1,55	0,26	3,29	0,48	1,21	7,4

карбонатов – 6,0; хлорита – 3,0.

Таблица 2.

Фазовый состав рудных минералов меди, абс. %

Сu в окисленных минералах	Сu во вторичных сульфидах	Сu в первичных сульфидах- халькопирит	Всего Сu
0,03	0,26	0,05	0,34

Из усредненной технологической пробы руды отобраны образцы на минералогический анализ. При визуальном осмотре руда имеет серый цвет, текстура массивная (плотная), структура тонкозернистая, псаммитовая. Размеры обломочных зерен 0,1 – 0,2 мм. Обломки зерен песчаника по форме угловатые, реже угловато-окатанные. Рудные минералы представлены ксеноморфными зернами сульфидов: борнитом (Cu_5FeS_4), халькозином (Cu_2S), халькопиритом ($CuFeS_2$) и единичными мелкими зернами пирита (FeS_2), из окислов отмечен вторичный гематит, как продукт окисления пирита. Зерна халькопирита редки, как правило, замещены халькозином. Кроме того, наблюдаются процессы обратного обогащения, на контакте халькозина с халькопиритом возникают в единичных случаях реакционные каемки борнита (рис. 1). Борнит, окисляясь, покрывается тонкой пленкой ковеллина ($Cu_2S \cdot Cu_2S_2$).

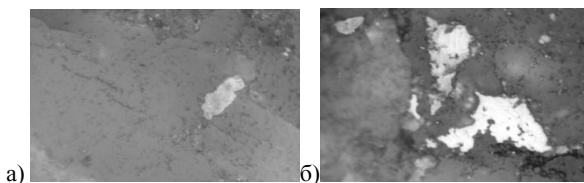


Рис. 1. Мермикитовые образования борнитов в халькозине x500

- а) светло-серое – включения борнита в белом зерне халькозина,
б) светло-серое – борнит, белое – халькозин

Изучена кинетика измельчения в лабораторной шаровой мельнице забалансовой медьсодержащей руды крупности 0-3 мм. Полученные данные представлены в таблице 3.

Таким образом, исследования по кинетике измельчения забалансовой руды показывают, что проба подвергается измельчению менее интенсивно, что обуславливается минералогическим и гранулометрическим составом руды.

Таблица 3.

Результаты измельчения забалансовой руды Жезгазганского месторождения.

№ п/п	Время измельчения, мин	Содержание класса -0,074 мм, %
1	0	32,3
2	20	76,6
3	30	87,2
4	40	94,2

3.2. Флотационное обогащение забалансовой медьсодержащей руды

Полученную измельченную руду направляли на флотацию. Флотацию проводили на флотомашине производства Механобр марки ФЛА - 237. Время основной и контрольной флотации 6 и 4 минут, расход бутилового ксантогената 80 г/т, МИБК 40 г/т. В результате обогащения получили концентрат с выходом 7,35%, извлечением в концентрат 92,95%, химический состав представлен в табл. 4.

Таблица 4.

Показатели флотационного обогащения руды

Cu	S	Fe	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Ag,г/т
4,3	3,49	3,18	3,05	1,52	1,20	62,04	10,46	83,2

3.3. Изучение прочностных характеристик сырых и высушенных окатышей из черного медного концентрата забалансовой руды при использовании в качестве связующего раствор серной кислоты

Необходимым условием подготовки сырья к обжигу в шахтных печах, является гранулирование исходного материала. При этом большое значение имеет получение гранул, прочностные характеристики которых должны позволять выдерживать нагрузки, возникающие при транспортировке и перегрузках, а также при переработке в обжиговой печи. Для решения этой задачи требуется изучить условия получения наиболее прочных окатышей.

Как показали результаты исследований, грануляция шихты на воде оказалась нецелесообразной в связи с низкой прочностью окатышей для обжига, что послужило основанием для использования традиционного раствора связующего - лигносульфоната (техническое название: сульфит-спиртовая барда). Кроме того, эти же исследования по обжигу концентрата показали недостаточную степень сульфатизации при обжиге, что снижало степень извлечения меди в раствор при выщелачивании. Повышение этих показателей оказалось возможным при использовании 10%-го раствора серной кислоты. При этом взаимодействие серной кислоты с карбонатами происходит в процессе окатывания и сушки гранул. Поэтому в качестве связующего использовалась смесь из раствора лигносульфонатов (сульфит-спиртовая барда $\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$) и серной кислоты 10%. Исследованию подвергались гранулы, полученные из черного концентрата, химический состав которого приведен в таблице 4.

Для определения оптимальных условий сушки и прочности гранул были проведены опыты на основе математического планирования эксперимента. Изучали влияние температуры (t , 80-200 °С), продолжительности сушки (τ , 5-60 мин.), расхода воздуха (V , 20-100 см³/с), размера гранул (d , 5-12 мм.) на обезвоживание гранул с максимально полным удалением не только физической, но и конституционной влаги после сушки (W_1) и после их досушивания при 105 °С (W_3), определение статической прочности гранул. Полученные

частные зависимости относительной убыли массы гранул представлены на рисунке 2.

Для определения выхода целых гранул в каждом независимом опыте путем наложения фиксированной нагрузки отбирали по 25 окатышей. По полученным данным построили зависимости от влияния различных факторов на эффективное поверхностное натяжение гранул (рисунок 3). Подбор аппроксимирующих функций проведен с учетом физического смысла изучаемых зависимостей.

Как следует из зависимостей (рисунок 2), на W_1 влияют температура и время термообработки. При варьировании скорости воздуха в принятом интервале убыль массы гранул остается неизменной, что говорит о кинетическом режиме процесса сушки.

По мере увеличения размера гранул увеличивается и количество влаги, присутствующей в гранулах (рисунок 2 г). Эти эффекты обусловлены изменением размера гранул за счет увеличения площадей сечения последних. С другой стороны, облегчается диффузия паров воды из центра гранул наружу, возрастает убыль их массы при нагревании. Однако в крупных гранулах, возможно, происходит растрескивание, за счет чего и происходит удаление влаги.

Существенное приращение функции W_1 в интервале температуры 150-160 °С обусловлено, вероятно, тем, что наибольшая часть кристаллогидратов разлагается в данных условиях. Эти реакции сопровождаются интенсивным выделением паров воды. Дальнейшее повышение температуры в меньшей степени влияет на относительное изменение массы гранул.

Полученные частные зависимости W_3 от варьируемых факторов практически повторяют по форме одноименные зависимости W_1 . Это подтверждает суждение о том, что значительное влияние на формирование функций W_1 и W_3 оказывают процессы удаления химически связанной влаги.

Величина влажности последнего не зависит от условий термообработки материала. Значение W_3 должно быть неизменным. Несоблюдение этого условия свидетельствует о протекании процессов разложения гидратированных соединений. Только в данном случае W_3 может зависеть от температуры.

Таким образом, саму процедуру определения W_3 можно рассматривать как способ уточнения механизма обезвоживания материала и определения вклада, вносимого химическими реакциями в итоговые результаты процесса. Полученные уравнения для относительной убыли массы после сушки с учетом значимых функций для описания совокупности действующих факторов обобщаются в виде их произведения с нормировкой по центральному экспериментальному значению для всех функций условию: $t = 120$ °С, $\tau = 60$ мин, $d = 10$ мм, $V = 60$ см³/с, значение $W_{1,ц} = 8,3656\%$.

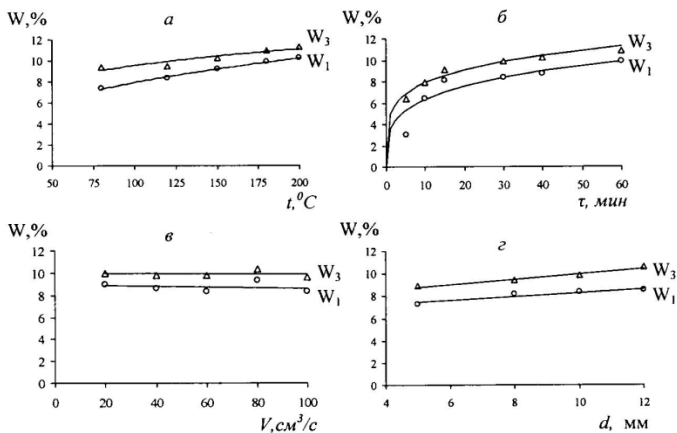


Рис. 2. Зависимости относительной убыли массы гранул после сушки (W_1) и после их досушивания при 105°C (W_3)

Обобщенное уравнение выразится как

$$W_1 = \frac{(1,4495t^{0,3689})(3,5566\tau^{0,25})}{69,974 \cdot [0,1643d + 6,6535]^{-1}}, \% \quad (1)$$

При сопоставлении результатов эксперимента и расчета нашли значения коэффициента нелинейной множественной корреляции для относительной убыли массы после сушки $R = 0,9085$, $t_R = 18,760 > 2$, что подтверждает адекватность описания данных эксперимента настоящим уравнением.

Анализ частных зависимостей, представленных на рисунке 3, показывает, что с увеличением температуры сушильного агента поверхностное натяжение гранул возрастает, так как, чем выше температура, тем лучше происходит обезвоживание лигносульфонатов при сушке, что приводит к упрочнению органического каркаса между частицами в грануле.

Поверхностное натяжение гранул возрастает с увеличением продолжительности сушки по экстремальной зависимости, которая однозначно связана с уменьшением содержания остаточной влаги и, следовательно, с укреплением прочностного каркаса из лигносульфонатов и при 20 мин происходит переход от пластичного состояния гранул к хрупкому, которая обуславливает резкое повышение их прочности. С повышением размера гранул их поверхностное натяжение уменьшается. Замечено, что более крупные гранулы после сушки, как правило, покрыты трещинами. Это подтверждает широко известный факт частичной декрептации конгломератов при сушке, приводящий в определенных условиях к их полному разрушению.

Зависимость поверхностного натяжения от расхода воздуха оказалась незначимой.

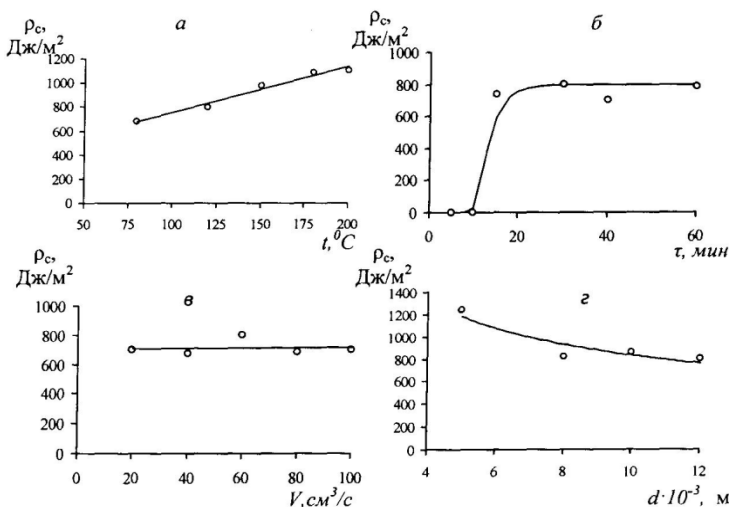


Рис. 3. Зависимости эффективного поверхностного натяжения (ρ_c , Дж/м²) от изучаемых факторов

Полученные функции эффективного поверхностного натяжения обобщаются по центральному среднему значению $\rho_{c,ц} = 813,6171$ Дж/м². Обобщенное уравнение выразится как

$$\rho_c = 1,23 \cdot 10^{-3} (3,8264 t + 367,24) (800 - 0,5^{(\tau/13)^{-6}}) (2659,7 d^{-0,5054}), R = 0,9815, t_R = 96,60 > 2. \quad (2)$$

Расчетная вероятностная модель статической прочности гранул примет вид:

$$P_c = 0,5 \left(\frac{2G}{\pi [1,23 \cdot 10^{-3} (3,83t + 367,24) (800 - 0,5^{(\tau/13)^{-6}}) (2659,7 d^{-0,5054})]} \right)^6, R = 0,8795, t_R = 14,0 > 2. \quad (3)$$

Значения коэффициента нелинейной множественной корреляции и его значимость указывает на высокую адекватность и достоверность полученной вероятностной модели статической прочности гранул.

Расчетная модель сохранности гранул при статической нагрузке в бункерах и реакторе, выраженная через вес слоя, насыпную массу подсушенных гранул, примет вид:

$$P_c^p = 0,5 \left(\frac{2 d h_c 9,82 \cdot 1,013}{\pi [1,23 \cdot 10^{-3} (3,83t + 367,24) (800 - 0,5^{(\tau/13)^{-6}}) (2659,7 d^{-0,5054})]} \right)^6. \quad (4)$$

По уравнению (4) рассчитан алгоритм процесса сохранности гранул при статической нагрузке в бункерах и реакторе при вариации высоты слоя, размера гранул и температуры сушки (таблица 5), который показывает, что для обеспечения сохранности гранул в среднем не менее 80% допустимая высота слоя для среднего диаметра гранул, составляет не более 1,5 метра.

Таблица 5.

Алгоритм процесса сохранности гранул при статической нагрузке в бункерах и реакторе при вариации высоты слоя, размера гранул и температуры сушки (при продолжительности 30 мин). Выделены значения, в которых выход целых гранул менее 80%, а разрушенных соответственно более 20%, что не приемлемо для технологии их дальнейшей переработки, %

d $\cdot 10^{-3}$, м	h, м t, °C	1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	2	2,2	2,5
		5	80	99,97	99,91	99,79	99,69	99,35	99,08	98,28
	150	99,98	99,95	99,89	99,83	99,65	99,50	99,07	98,36	96,49
	180	99,98	99,96	99,91	99,88	99,74	99,63	99,30	98,76	97,36
	200	99,99	99,97	99,93	99,90	99,78	99,69	99,42	98,97	97,80
8	80	99,54	98,65	96,63	94,95	89,60	85,67	74,74	59,71	32,94
	150	99,75	99,27	98,17	97,24	94,25	92,00	85,47	75,72	54,94
	180	99,81	99,45	98,62	97,93	95,66	93,94	88,89	81,17	63,82
	200	99,84	99,54	98,85	98,27	96,37	94,93	90,67	84,06	68,81
10	80	98,28	94,96	87,75	82,07	65,82	55,42	32,94	13,98	1,45
	150	99,06	97,25	93,20	89,89	79,81	72,74	54,94	34,61	10,18
	180	99,30	97,93	94,85	92,32	84,44	78,77	63,82	45,13	18,03
	200	99,41	98,27	95,70	93,56	86,87	81,98	68,81	51,57	24,03
12	80	94,96	85,67	67,70	55,42	28,63	17,16	3,63	0,28	3$\cdot 10^{-6}$
	150	97,25	91,99	81,02	72,74	50,94	38,66	16,72	4,21	0,11
	180	97,93	93,93	85,40	78,77	60,30	49,03	26,15	9,29	0,6
	200	98,27	94,92	87,69	81,98	65,64	55,26	32,75	13,84	1,42

3.4. Оптимизация процесса обжига некондиционных медных сульфидных концентратов

Вовлечение в производство забалансовых медносульфидных руд по разрабатываемой технологии связано с получением бедного некондиционного концентрата и его переработкой по схеме «обжиг-выщелачивание», что требует поиска путей обеспечения автогенности процесса. Такая постановка задачи связана с ограниченным содержанием сульфидной серы и необходимостью выбора обжигового агрегата для обеспечения температурных условий сульфатизации.

Известно, что наиболее энергосберегающим агрегатом является шахтная печь, где создаются условия противотока обжигаемого материала и отходящих газов. Поэтому лабораторные исследования проводили в шахтной электропечи, имеющей реактор из кварцевой трубки.

Изучена автогенность обжига некондиционного черногового медного концентрата воздухом, обогащенным кислородом. В качестве исследуемого материала использовали гранулированной на сульфит-спиртовой барде (лигносульфонат) черновой флотоконцентрат. Для сравнения в качестве связующего использовались смесь из раствора лигносульфонатов (сульфит-спиртовая барда $\rho = 1,04 \text{ г/см}^3$) и серной кислоты 10% для одновременной сульфатизации карбонатов. Фракции гранул необходимого размера отсеивали на ситах. Вовнутрь реактора помещали корзинку с гранулами крупностью 8 мм, затем из баллона подавали гелий со скоростью $100 \text{ см}^3/\text{с}$ для вытеснения воздуха, до достижения начальной температуры обжига - $400 \text{ }^\circ\text{C}$. По мере достижения температуры одновременно прекращали подачу гелия и отключали электрообогрев, подавая смесь воздуха и кислорода при постоянном общем расходе $100 \text{ см}^3/\text{с}$ через ротаметр. Рост температуры за счет выделения тепла химических реакций фиксировали по времени с одновременным определением максимально достигнутой температуры. Соотношение воздуха и кислорода варьировали в пределах от 0 до $100 \text{ см}^3/\text{с}$ по отношению к кислороду, и смесь подавали также после прекращения выделения тепла от окисления сульфидов для снижения температуры до $400 \text{ }^\circ\text{C}$. Затем корзинку с гранулами извлекали и охлаждали в эксикаторе.

Результаты экспериментов обжига медного сульфидного концентрата гранулированной на сульфит-спиртовой барде $\rho=1,04 \text{ г/см}^3$ и на смеси из раствора лигносульфонатов (сульфит-спиртовая барда $\rho=1,04 \text{ г/см}^3$) и серной кислоты 10% приведены на рисунке 4 а, б.

Как видно из рисунка 4, а, б температурный предел обжига зависит от соотношения кислорода и воздуха, и увеличение доли первого приводит к повышению температуры. Общий вид зависимостей рисунка 4 предлагается в форме с фиксированным положением максимума, x_0, y_0 .

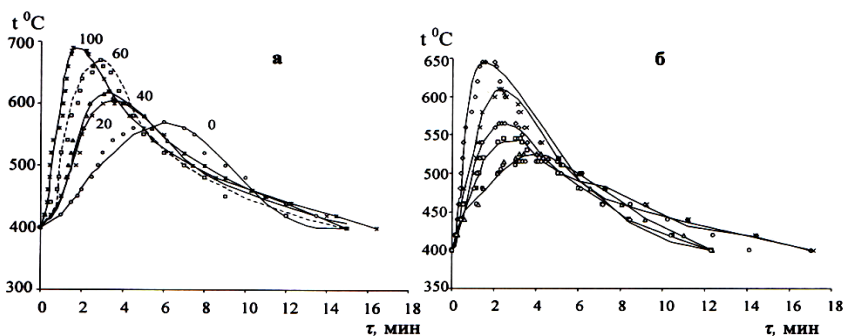


Рис.4. Зависимость температуры обжига медного сульфидного концентрата от продолжительности и расхода смеси воздуха и кислорода, $\text{см}^3/\text{с}$

Полученные уравнения (по рисунку 4) для описания совокупности действующих факторов обобщаются в виде их произведения с нормировкой по центральному экспериментальному значению, т.е. в данном случае центральная точка является средним значением максимальной температуры 631 °С. Тогда обобщенное уравнение выразится как

$$t_{\max} = (3,701\tau^2 - 56,581\tau + 774,43) \cdot \frac{1,877V - 0,0064V^2 + 568,28}{631}, \quad (5)$$

где: t_{\max} – максимальная температура обжига.

С помощью обобщенного уравнения (5) находим максимальную температуру обжига, задавая различные значения расхода смеси воздуха и кислорода, а также продолжительность обжига (таблица 6).

Таблица 6.

Достижимая расчетная температура обжига сульфидных медных концентратов

V_{O_2} , см ³ /с	0	10	20	40	60	80	100
τ, мин							
1	649,438	670,558	689,831	723,974	752,266	764,215	774,699
1,5	628,139	648,566	667,207	700,231	727,595	739,152	749,292
2,5	590,537	609,742	627,266	658,313	684,039	694,904	704,438
3	574,235	592,909	609,95	640,14	665,155	675,721	684,991
3,5	559,598	577,796	594,402	623,823	648,201	658,497	667,531
4	546,626	564,403	580,624	609,363	633,176	643,233	652,057
4,5	535,32	552,729	568,615	596,759	620,08	629,929	638,571
5	525,68	542,775	558,375	586,012	608,913	618,585	627,071
5,5	517,705	534,541	549,904	577,122	599,676	609,201	617,558

По полученным уравнениям температуры от продолжительности обжига (рис. 4) разработан алгоритм температуры автогенного обжига сульфидных медных концентратов в зависимости от расхода воздуха и кислорода, от продолжительности обжига (таблица 7).

Таким образом, проведена широкая вариация условий обжига некондиционных медных сульфидных концентратов при автогенном режиме окисления. Установлено, что в интервале температур 400-700 °С скорость окисления весьма значительно зависит от кислорода. Увеличение расхода кислорода от 20-100 см³/с ускоряет процесс окисления в 1,5-2 раза по сравнению с окислением воздухом. Во всех случаях оплавления гранул и их спекания не наблюдалось. Однако следует помнить, что эти опыты являются ориентировочными, и они могут быть использованы при обжиге в укрупненных агрегатах в динамическом режиме, и в случае, когда зона окисления будет находиться на уровне

фурменного пояса. Это случай, соответствующий обжигу с подачей не подогретого воздуха.

Таблица 7.

Алгоритм температуры автогенного обжига сульфидных медных концентратов в зависимости от расхода воздуха и кислорода, от продолжительности обжига

V_{O_2} , см ³ /с τ, мин	0	20	40	60	100
2	463,87	551,99	575,12	646,30	688
3	504,36	600,41	615,47	669,54	640
4	535,04	601,36	605,58	625,45	580
5	548,66	578,69	580,24	558,07	560
6	569,99	545,89	540,84	524,00	520
8	538,15	487,13	500,71	479,31	480
10	471,81	446,13	460,85	447,8	460
12	415,72	442,03	440,07	425,76	440
15	399,8	408,24	400,24	398,74	415

3.5 Исследования процесса сульфатизирующего обжига черного медного концентрата забалансовой руды

Для изучения процессов, протекающих при нагреве черного медного концентрата без добавления связующего, необходимо знание кинетических параметров, в частности, значений кажущейся энергии активации. В связи с этим были проведены дериватографические исследования с использованием дериватографа Derivatograf Q-1000 фирмы «МОМ» системы F. Paulik, J. Paulik, L. Erdey.

Дериватограмма медного концентрата имеет два ярко выраженных термических эффекта (рисунок 5).

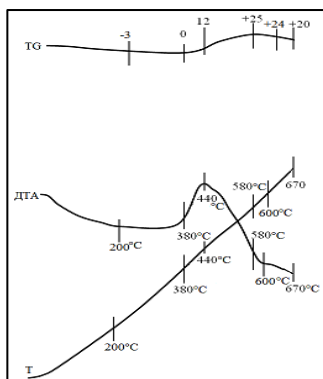


Рис. 5. Дериватограмма медного концентрата

Первый эндотермический эффект с максимумом при 200 °С соответствует удалению химически слабосвязанной влаги, что сопровождается уменьшением массы навески пробы на 3 мг (0,35%). При дальнейшем нагреве медного концентрата в атмосфере воздуха в интервале температур 300-600 °С наблюдается второй пик с экзотермическим эффектом с максимумом при 440 °С, обусловленный окислением минеральной составляющей медного концентрата, со значительным увеличением массы навески до 25мг (2,91%) при 580 °С. На основании определения значений температур и величины отклонения кривой ДТА от заданного направления, по тангенсу угла наклона зависимостей $\lg(\Delta t) = f(1/T)$ определяется энергия активации $E_{\text{акт}}$ процессов, соответствующих пикам на дериватограммах, которая при 200 °С составляет 2,32 кДж/моль, 440 °С равна 48,24 кДж/моль, коэффициент нелинейной множественной корреляции R составляет 0,91 и 0,98 соответственно.

Проведены исследования по обжигу окатышей черного медносульфидного концентрата (табл.4) гранулированного на смеси из раствора лигносульфонатов (сульфит-спиртовая барда $\rho=1,05 \text{ г/см}^3$) и серной кислоты 10%, а также из раствора лигносульфонатов $\rho=1,05 \text{ г/см}^3$.

При последовательном изучении влияния различных факторов методом Зейделя-Гаусса исследовано влияние температуры обжига (t , от 400 до 750 °С), продолжительности (τ , от 0 до 120 мин), расхода воздуха, вдуваемого в зону реагирования (V , от 10 до 100 $\text{см}^3/\text{с}$), диаметра гранул (d , от 2 до 12 мм). Были построены точечные графики частных зависимостей извлечения меди в раствор из огарка, данные по которым приведены на рисунке 6.

Выщелачивание огарка проводили при условиях Ж:Т=4:1, температуре 80°С и продолжительности опыта 120 минут. Изучение проводили при перемешивании магнитной мешалкой в термостатированной ячейке раствором серной кислоты с концентрацией 100 г/л.

Как видно из рисунка 6 а, максимальное извлечение меди в раствор после обжига гранул концентрата, полученных с применением раствора лигносульфонатов составило 86%, и повышение до 96% достигается применением смеси из раствора лигносульфонатов (сульфит-спиртовая барда $\rho=1,05 \text{ г/см}^3$) и серной кислоты 10%, что можно объяснить нехваткой серы для сульфатизации в первом случае и полнотой сульфатизации – во втором.

Зависимость извлечения меди в раствор имеет экстремум при температуре 550°С. До этой температуры извлечение меди в раствор возрастает, а выше названной температуры – уменьшается. Известно, что сульфатирующий обжиг проводится при температурах ниже температур окислительного обжига с тем, чтобы предупредить термическую диссоциацию сульфатов извлекаемых металлов. Сульфаты железа и меди начинают разлагаться выше указанной температуры. Поэтому полученная температура 550°С вполне сопоставима с литературными данными.

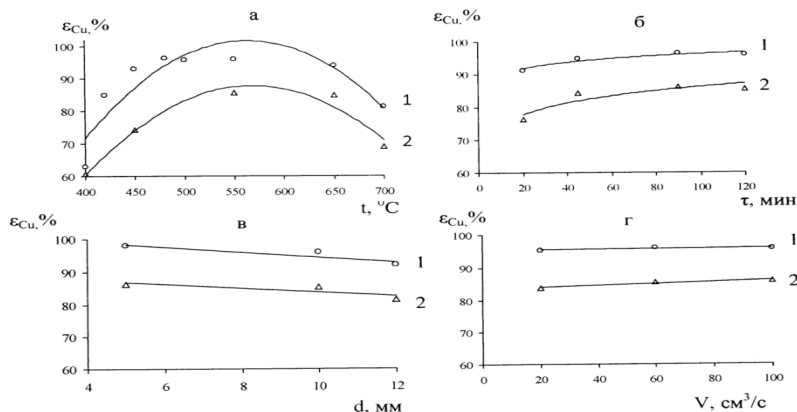


Рис. 6. Зависимость извлечения меди в раствор из огарка от заданных факторов
 1 – смесь из раствора лигносульфонатов (сульфит-спиртовая барда $\rho=1,05 \text{ г/см}^3$) и серной кислоты 10%; 2 – раствора лигносульфонатов $\rho=1,05 \text{ г/см}^3$

Зависимость извлечения меди в раствор имеет экстремум при температуре 550°C . До этой температуры извлечение меди в раствор возрастает, а выше названной температуры – уменьшается. Известно, что сульфатизирующий обжиг проводится при температурах ниже температур окислительного обжига с тем, чтобы предупредить термическую диссоциацию сульфатов извлекаемых металлов. Сульфаты железа и меди начинают разлагаться выше указанной температуры. Поэтому полученная температура 550°C вполне сопоставима с литературными данными. При сульфатизирующем обжиге происходит окисление сульфида железа с образованием FeSO_4 и переходом его в трехвалентную сульфатную форму. Образование сульфатов происходит через стадию образования оксидов. Выше 700°C диссоциация сульфатов идет интенсивно, что приводит к повышению перехода серы в газ и образованию труднорастворимых соединений – ферритов, оксидов и т.д.

Зависимость от продолжительности опыта (рисунок 6, б) возрастает в интервале 20-90 мин и далее замедляется. Результаты изучения влияния размера гранул дают информацию о тенденции снижения выхода газовой серы по мере увеличения диаметра окатышей, что объяснимо в связи с затруднениями удаления серы из более крупных гранул. Это положительный эффект с точки зрения сульфатизирующего обжига, однако чрезмерное увеличение диаметра гранул приводит к замедлению процесса обжига. Полученные уравнения извлечения меди в раствор обобщаются в виде их произведения с нормировкой по центральному экспериментальному значению для всех функций условию: $t = 550^\circ\text{C}$, $\tau = 120 \text{ мин}$, $d = 8,5 \text{ мм}$, $V=60 \text{ см}^3/\text{с}$, которое затем скорректировали с учетом ограничения по степени реагирования не более 100% путем введения в

экспоненту. Обобщенное уравнение для смеси из раствора лигносульфонатов (сульфит-спиртовая барда $\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$) и серной кислоты 10% выразится как

$$\varepsilon_{Cu, \text{exp}} = 100 \exp(-1,4763 \cdot 10^{11} \cdot \varepsilon_{Cu, \text{p}}^{-6,2844}) \quad , R=0,89, t_R=19,77 > 2 \quad (6)$$

Таким образом, исследовано влияние различных факторов на процесс обжига малосернистого черногового медного флотоконцентрата в шахтной печи. Установлено, что достаточно высокую степень извлечения меди в условиях автогенного обжига можно достичь при условиях: $t - 500-600^\circ\text{C}$, $\tau - 40-60$ мин., $d - 8-12$ мм., гранулированном на смеси из раствора лигносульфонатов (сульфит-спиртовая барда $\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$) и серной кислоты 10%. Выход кек при этих условиях составляет 75%. Извлечение меди в раствор составило 95 - 97%. Раствор выщелачивания подвергался известной экстракционной переработке по схеме, состоящей из трех стадий экстракции, двух стадий промывки и двух стадий рекстракции. При экстракции использовали экстрагент Lix 984N.

Состав раствора, после экстракции наработанного при выщелачивании огарков для проведения электролиза, приведён в таблице 8. Кек направляется на переработку для извлечения серебра.

Таблица 8.

Химический состав медного электролита, г/л

Элемент	Cu	Ni	H ₂ SO ₄	SO ₄	Cl	Pb	As
Концентрация	49,24	<0,01	157,24	227,9	<0,13	<0,05	<0,05
Элемент	Sb	Fe	Mg	Al	Bi	Ca	Zn
Концентрация	<0,05	0,21	<0,01	<0,05	<0,05	0,05	<0,01

Для проведения лабораторных испытаний по электролизу меди из раствора был использован электролизер, представляющий собой полипропиленовую ванну емкостью 2,0 л. Использовались два свинцовых анода с добавкой 1 % серебра и один титановый катод. Площадь катода составляет 0,027 м² с двух сторон. Плотность тока составляла 250 А/м², температура раствора 45-50°C, продолжительность электролиза составляла 7 суток. Выход по току составил 95%. В таблице 9 представлены результаты химического анализа полученной катодной меди, которая соответствует марке МООк по большинству примесей. Исключение составляет повышенное содержание серебра, что не ухудшает эксплуатационных характеристик меди и может являться следствием растворения свинцово-серебряного анода.

Таблица 9.

Результаты химического анализа катодной меди, %

Cu	Ag	Pb	Fe	Si	Sn	Ni	Zn	Co	As
99,99	0,0034	0,00045	0,00051	0,0002	0,0001	0,0003	0,0002	0,00006	0,00018
Sb	Cr	Mn	Cd	P	Bi	Se	Te	S	P
0,00018	0,00017	0,00025	0,00006	0,00015	0,00006	0,00011	0,00006	0,0012	76,4 г/т

В четвертой главе на основании результатов проведенных экспериментальных и укрупненно-лабораторных исследований разработаны и предложены: принципиальная технологическая схема с основными операциями

переработки забалансовой руды Жезказганского региона «Обжиг – сернокислотное выщелачивание» (рис.7) и исходные данные для расчета технологического регламента. Выполненные ориентировочные технико-экономические расчеты показали, что при организации производства по переработке 2 млн. тонн руды в год срок окупаемости капитальных затрат составит около 9 месяцев. Сквозное извлечение меди из руды в раствор достигается в пределах (87 - 88)%. Виды готовой продукции: катодная медь – 99,99%, серебро в гранулах – 99,9%. Расчет рентабельности производства меди представлен в таблице 11, общие затраты составляют 36205479\$ из них капитальные затраты - 30209388\$, эксплуатационные расходы - 5996091\$, годовой объем реализации после погашения кап затрат составит 42843429 \$.

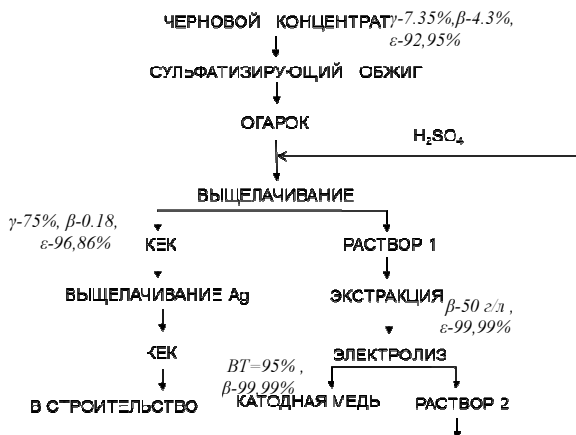


Рис. 7. Принципиальная технологическая схема переработки забалансовой руды Жезказганского региона «Обжиг – сернокислотное выщелачивание»

Таблица 10.

Расчет рентабельности производства меди при переработке 2 млн. тонн руды в год.

ПРОДУКЦИЯ			Годовой объем реализации, \$
Наименование	Годовой объем	Цена, \$	
1. Катодная медь	6071 т	6500	39 461 500
2. Серебро	14060 кг	667	9 378 020
Всего:			48 839 520
Сроки окупаемости кап. затрат			(30 209 388 x 12 мес.): (48 839 520 - 5 996 091) = 8,46 месяцев.
Себестоимость без кап. затрат			1001,18 \$/т меди

Начальная рентабельность, %	$[(48\ 839\ 520 - 36\ 205\ 479) : 48\ 839\ 520] \cdot 100\% = 25,87\%$
Рентабельность после погашения кап. затрат	$[(48\ 839\ 520 - 5\ 996\ 091) : 48\ 839\ 520] \cdot 100\% = 87,12\%$
Годовой чистый доход от реализации:	$48\ 839\ 520 - 36\ 205\ 479 =$
- до погашения кап. затрат	12 634 041 \$ в первый год.
- после погашения кап. затрат	$48\ 839\ 520 - 5\ 996\ 091 =$ 42 843 429 \$ 2-й год и дальше

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Забалансовая медная руда поддается флотационному обогащению при расходе реагентов: собирателя 80 г/т, МИБК - 40 г/т, времени флотации 4-6 минут, извлечение при этом составляет 92 - 93%. Полнота извлечения меди в концентрат зависит от содержания класса - 0,074 мм и при его содержании до 90 % достигается его максимальный переход.

2. Приведены результаты исследования сушки окатышей чернового медного концентрата, гранулированного на смеси из раствора лигносульфонатов (сульфит-спиртовая барда $\rho = 1,05$ г/см³) и серной кислоты 10%, позволяющие регулировать условия процесса сушки гранул в промышленном аппарате.

3. Установлено, что особенности фазового состава (наличие сульфатов и оксидов металлов) влияют на результаты их последующей обработки. Выявлены оптимальные области режимов сушки ($t = 180$ °С, $\tau = 20$ мин, $d = 10$ мм, $V = 60$ см³/с) обеспечивающие степень обезвоживания не менее 91 %, что является достаточным для подготовки материала к дальнейшей пиро-металлургической переработке.

4. Разработан алгоритм управления процессом сохранности гранул чернового концентрата при статической нагрузке в бункерах и реакторе, описывающие закономерности обезвоживания, эффективного поверхностного натяжения гранул и изменение свойств последних в ходе их термической обработки. Установлено, что сохранность гранул не менее 80% для среднего диаметра высушенных гранул можно достичь при высоте слоя не более 1,5 метра.

5. Разработан алгоритм максимальной температуры автогенного обжига некондиционных медных сульфидных концентратов при различных скоростях подачи смеси воздуха и кислорода. Установлено, что в интервале температур 400-700 °С скорость окисления весьма значительно зависит от кислорода. Увеличение расхода кислорода от 20-100 см³/с ускоряет процесс окисления в 1,5-2 раза по сравнению с окислением воздухом. Во всех случаях оплавления гранул и их спекания не наблюдалось.

6. Проведена предварительная проверка процесса обжига медных сульфидных концентратов в условиях автогенного режима окисления для оценки обеспечения тепловой энергии достижения полноты сульфатизации. Установлено, что для предотвращения оплавления присутствующих в концентрате

сульфидов и продуктов их окисления обжиг в печи шахтного типа должен осуществляться в соответствии с ограничением скорости подачи воздуха в зону реакций и в зависимости от содержания серы в концентрате. Минимальное содержание серы для обеспечения автогенности процесса обжига должно быть не ниже 2 - 5%.

7. Исследовано влияние различных факторов на процесс обжига мало-сернистого чернового медного флотоконцентрата в шахтной печи. Установлено, что достаточно высокую степень извлечения меди в условиях автогенного обжига можно достичь при условиях: $t - 500-600^{\circ}\text{C}$, $\tau - 40-60$ мин., $d - 8-12$ мм., гранулированном на смеси из раствора лигносульфонатов (сульфит-спиртовая барда $\rho = 1,05$ г/см³) и серной кислоты 10% .

8. Показана возможность осуществления основных технологических операций в укрупненном масштабе.

9. Приведены исходные данные для технологического регламента по пиро - гидromеталлургической переработке продуктов обогащения забалансовых руд Жезказганского региона.

10. Выполнена ориентировочная технико-экономическая оценка переработки забалансовой медьсодержащей руды, которая показала ее достаточно высокую эффективность: срок окупаемости капитальных затрат оценен в 9 месяцев.

**Основное содержание диссертационной работы изложено
в следующих публикациях:**

1. Жумашев К.Ж., Токбулатов Т.Е., Каримова Л.М., Кайралапов Е.Т., Жиёмбаева Д.М., Гейнц Л.В. Изучение характеристик забалансовых руд Жезказганского месторождения и проверка возможности их переработки гидromеталлургическими методами// Технология производств металлов и вторичных материалов -2010.-№2(18). - С.43-51.
2. Жумашев К.Ж., Токбулатов Т.Е., Каримова Л.М., Кайралапов Е.Т. Кинетические особенности выщелачивания меди из забалансовых руд Жезказганского месторождения// КИМС. – 2010.-№5(272).- С.35-42.
3. Каримова Л.М., Жумашев К.Ж., Малышев В.П., Кайралапов Е.Т. Оптимизация процесса обжига некондиционных медных сульфидных концентратов // КИМС. – 2011.-№2(275). - С.56-67.
4. Жумашев К.Ж., Каримова Л.М., Кайралапов Е.Т. Изучение автогенности обжига некондиционного чернового медного концентрата воздухом, обогащенным кислородом// Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности: XI Межд. науч.-практич. конф., 27-29 апреля 2011 г. Санкт-Петербург. Том 1- С.170-172.
5. Инновационный патент РК 2010/1431.1 от 24.11.2010 / К.Ж. Жумашев, Л.М. Каримова, Е.Т. Кайралапов, Т.Е. Токбулатов, А.Б. Юн Способ ком-

плексной переработки бедных забалансовых сульфидных руд и концентратов; Бюл. № 12 от 20.12.2011.

6. Е.Т. Кайралапов, Л.М. Каримова, К.Ж. Жумашев. Изучение зависимости расхода воздуха и содержания серы в некондиционных медных концентратах на оптимизацию обжига // Актуальные проблемы науки: Межд. научн. - практ. конф. - Кузнецк, 2011 сентябрь.- В. VII. –Т. III. – С. 48-51.

7. Инновационный патент РК 2012/0975.1 от 19.09.2012 / К.Ж. Жумашев., Л.М. Каримова, Е.Т. Кайралапов, Б.Б. Катренов. Способ подготовки металлургического сырья; Бюл. № 6 от 14.06.2013.

8. К.Ж. Жумашев, Л.М. Каримова, Е.Т. Кайралапов. К вопросу о влиянии расхода воздуха, обогащенным кислородом на возможность автогенности обжига некондиционного чернового медного концентрата // Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан – 2030 (Сагиновские чтения №3): труды Межд. научн. конф, посв. 20 – летию Независимости Казахстана, г. Караганда, КарГТУ.-Ч.3.- С.141-143.

9. Л.М. Каримова, К.Ж. Жумашев, Е.Т. Кайралапов. Вероятностные модели динамической прочности сырых и высушенных гранул из чернового медного концентрата забалансовой руды// Гетерогенные процессы в обогащении и металлургии: материалы Межд. науч.-практич. конф.: Абишевские чтения-2011, Караганда – С. 154-156.

10. К.Ж. Жумашев, Л.М. Каримова, Е.Т. Кайралапов, А.Т. Имангалиева. Изучение влияния сульфатизации серной кислотой чернового сульфидного концентрата для автогенности обжига// «Гетерогенные процессы в обогащении и металлургии: Материалы Межд. науч.-практич. конф.: Абишевские чтения-2011, Караганда – С. 157-160.

11. Л.М. Каримова, К.Ж. Жумашев, Е.Т. Кайралапов. Изучение прочностных характеристик окатышей из чернового медного концентрата забалансовой руды при использовании в качестве связующего раствор серной кислоты // Спецпроект: анализ наукових досліджень: матеріали VI Межд. науково-практич. Інтернет-конференції, Дніпропетровськ, 2011 року.-Т.3. –С.56-60.

12. К.Ж. Жумашев, Л.М. Каримова, Е.Т. Кайралапов. Лабораторные исследования процесса обжига медного сульфидного концентрата и выщелачивания обожженного продукта // Актуальные вопросы технических наук: материалы Межд. заочной науч. конф., Пермь-2011. –С.59-62.

13. Л.М. Каримова, К.Ж. Жумашев, Е.Т. Кайралапов. Исследование процесса выщелачивания обожженного чернового концентрата руды Анненского месторождения// Aplikovane vedecke novinky-2011: Materialy VI I Mezinarodni vedecko-prakticka conf.; Praha 2011 roku , Dil 7 – P.3-6.

14. Л.М. Каримова, Е.Т. Кайралапов, К.Ж. Жумашев, А.Б. Юн, Т.Е. Токбулатов. Исследование процесса сернокислотного выщелачивания огарка после обжига

чернового концентрата руды Анненского месторождения Жезказганского региона // КИМС.- 2011. -№4(277). – С. 34 - 40.

15. L.M. Karimova, Zhumashev K.Zh., Kairalapov Y.T. Definition of Static strength of granules of the quick-and-dirty copper concentrate off-balance ore of Annensk deposit // Nauka i inowacja-2011: Materiały VII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konf., 2011 roku, Vol.16, posekcjach: Techniczne nauki, Przemysł: Nauka I studia. – P.3-6.

16. К.Ж. Жумашев, Л.М. Каримова, А.Б. Юн, Т.Е. Токбулатов, Е.Т. Кайралапов, Д.М. Жиёмбаева. Исследования процесса сульфатизирующего обжига черного медного концентрата забалансовой руды Анненского месторождения // Вестник Южно-уральского государственного университета. Серия металлургия, 2012. – Выпуск 18. – С.91-96.

17. Л.М. Каримова, Е.Т. Кайралапов, К.Ж. Жумашев. Оптимизация условий обеспечения автогенности обжига медного сульфидного концентрата // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2012. - №1(37). – С.16-18.

18. Л.М. Каримова, Е.Т. Кайралапов. Исследования по измельчению забалансовой медносульфидной руды Жезказганского месторождения // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: Материалы Международной молодежной научной школы. М: ИПКОН РАН, 2012.- Том 2. – С. 425-428.

19. Lyutsia Karimova, Yerlan Kayralapov, Kalkaman Zhumashev. Study of the preparation of draft copper concentrate Annensky deposit for roasting // Journal of Materials Science and Engineering A2 (9) (2012). USA - P.602-609.

20. Каримова Л.М., Кайралапов Е.Т. О возможности применения кинетической модели измельчения с использованием забалансовой медносульфидной руды Жезказганского месторождения// Альянс наук: вчений – вченому: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції, Дніпропетровськ, 2013р. Т.4 – С.13-17.

21. Л.М. Каримова, Е.Т. Кайралапов. Об использовании вероятностной модели измельчения руды к работе в лабораторной шаровой мельнице// БУДУЩЕЕ НАУКИ – 2013: Материалы Межд. молодежной научн.конф., Курск, 2013 г. Т.3 – С.38-41.

22. Л.М. Каримова, Р.М. Каримов, Е.Т. Кайралапов. Дополнение и опытная проверка вероятностной модели измельчения забалансовой медносульфидной руды применительно к мокрому измельчению в шаровых мельницах //КИМС, 2013. № 1. С 18 – 28.

23. Л.М. Каримова, В.М. Парецкий, Е.Т. Кайралапов, К.Ж. Жумашев. Процесс сохранности гранул черного медного концентрата при статической нагрузке в бункерах // Наука и современность: вызовы XXI века: Материалы межд. науч. - практ. конф., 31 января 2014 г. - С.