

## АННОТАЦИЯ

диссертационной работы на тему:

### «МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СУЛЬФИДИЗАТОРА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДНЫХ РУД»,

представленной на соискание степени доктора философии (PhD)

по специальности 6D070900 – «Металлургия»

**ОСЕРОВА ТИМУРА БОЛАТХАНОВИЧА**

**Оценка современного состояния решаемой научной или научно-технологической проблемы.** Среди разнообразия методов повышения реакционной способности твердых тел особое место занимают методы механохимической активации, являющиеся простым, доступным и эффективным способом воздействия на энергетическое состояние вещества. Импульсные силовые нагрузки на частицы материала в процессе механической обработки приводят к поверхностной и объемной структурной деформации тел, причем, многократно повторяющиеся деформации создают широкий спектр метастабильных состояний, аккумулирующих в себе избыточную энергию и обеспечивающих стремление системы к последующим физико-химическим процессам. Понимание механизмов твердофазного взаимодействия на стадии предварительной подготовки материалов может способствовать целенаправленному синтезу веществ с заданным комплексом свойств. Промышленное освоение принципов и методов механохимии и твердофазного синтеза, несомненно, выявит новые сферы их применения в различных областях металлургии, химического катализа и материаловедения.

В настоящее время легкообогатимых медьсодержащих руд в Республики становится все меньше, при этом возрастает количество труднообогатимых окисленных и смешанных руд. Известные технологии обогащения окисленных и смешанных руд основаны на сульфидизации окисленных минералов меди, где в качестве сульфидизатора поверхности используется сульфид натрия ( $\text{Na}_2\text{S}$ ), который, к сожалению, Казахстан и страны СНГ не производят, а закупают у Китая, к тому же, классический метод производства сульфида натрия является многостадийным и дорогостоящим процессом. Закупаемый сульфидизатор не всегда дает требуемый результат. В связи с этим, основанием для разработки темы является возможность синтеза нового сульфидизирующего агента механохимическим способом, который смог бы заменить традиционный сульфид натрия на стадии обогащения медьсодержащего сырья, а сам способ при этом, был бы менее энергозатратным и экономически целесообразным. Кроме того, известен ряд научных исследований, где механическая активация минерального сырья способствовала переходу от одних схем переработки сырья к другим технологическим схемам, в частности от процессов пирометаллургии к гидрометаллургическим процессам [1-3]. Учитывая тот факт, что процессы механохимической обработки еще не нашли широкого применения в металлургии, цель данной работы заключается в разработке научных основ

управления механоактивационными процессами для дальнейшего их применения в различных сферах металлургического производства.

### **Основание и исходные данные для разработки темы.**

Основанием для разработки темы является потребность и возможность организации в Казахстане производства полисульфидов натрия на базе выпускаемых в стране каустической соды и технической серы – отхода нефтеперерабатывающей промышленности, для применения в процессах обогащения металлургических производств.

В работе рассмотрены способы получения сульфидов натрия и предложена технологическая схема синтеза полисульфидов путем совместной механохимической обработки щелочи с серой.

На основании критического анализа литературного материала предложена технологическая операция предварительной механической активации исходного концентрата обогатительной фабрики АО "Казахмыс" с целью замены пирометаллургической схемы производства на гидрOMETаллургическую.

### **Обоснование необходимости проведения научно-исследовательской работы.**

Необходимость выполнения настоящей научно-исследовательской работы продиктована Государственной Программой индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2015-2019 годы. В частности, в Программе сказано, что в числе ключевых проблем сектора цветной металлургии находится "...истощение запасов богатых и легкодоступных руд цветных металлов и сложность обогащения из-за многокомпонентности минеральных составов...". В перечне задач Программы значатся: "...расширение существующего производства и освоение выпуска новой продукции из базовых металлов для смежных секторов; сокращение объемов импорта металлопродукции за счет развития отечественного конкурентоспособного производства..."[4]. В связи с этим расширяются возможности переработки труднообогатимых руд.

### **Сведения о планируемом научно-техническом уровне разработки, о патентных исследованиях и выводы из них.**

В ходе исследований планировалось изучение возможности синтеза полисульфида натрия механохимическим способом, применения синтетического полисульфида в качестве флотореагента для обогащения труднообогатимой медной руды.

Уровень исследований соответствует современным требованиям: использованы современные методы исследований и анализа, произведена обработка результатов исследований, в соответствии с основным законам механохимии и обогащения, использована современная программа термодинамических расчетов HSC Chemistry компании Outokumpu Technology Engineering. Уровень исследований подтвержден научными публикациями по теме исследований.

Патентные исследования выполнены в соответствии с СТ РК ГОСТ Р 15.011-2005 – Патентные исследования. В результате выполненных патентных

исследований сделаны следующие выводы:

– выбранные объекты (элементная сера и каустическая сода, труднообогатимые руды) и предмет (процесс синтеза полисульфида натрия и его применения для переработки полиметаллической медной руды) исследований являются перспективными и наиболее представительными для изучения;

– выбранные методы исследований позволяют достоверно и в полном объеме отразить получаемые результаты;

– результаты патентных исследований в полном объеме отражены в настоящей диссертационной работе в виде аналитического обзора литературы.

#### **Сведения о метрологическом обеспечении.**

Все результаты, полученные в работе, основываются на известных теоретических сведениях или доказаны применением современных физико-химических методов анализа и исследований.

Аналитическое оборудование и приборы, применяемые в ходе исследований имеют необходимое метрологическое обеспечение.

#### **Актуальность работы.**

В последние десятилетия в металлургический сектор страны вовлекается все большее количество труднообогатимых полиметаллических руд, что связано с уменьшением запасов легкообогатимых руд. Как правило, труднообогатимые медные руды преимущественно представлены в окисленной и смешанной окисленно-сульфидной формах, и как следствие, имеют сложный минералогический состав. Сегодня сложилась ситуация, при которой только традиционными схемами флотации трудно обойтись, таким образом появляется необходимость разработки новых схем, включающих различные приемы нейтрализации неблагоприятных особенностей структуры и состава таких руд, разработки новых реагентов, позволяющих повысить извлечение ценных компонентов. Кроме того, концентраты смешанных руд после флотационного обогащения необходимо перерабатывать для извлечения меди при помощи гидрометаллургических операций с использованием новых технологических элементов. Эти и многие другие разработки позволяют вовлечь в процесс гидрометаллургии доступные виды сырья и операций.

**Новизна темы.** Новизна темы и решаемых задач заключается в установлении условий синтеза полисульфида натрия и изучения влияния механической активации концентрата на процесс кислотного выщелачивания.

#### **Научная новизна полученных результатов:**

– впервые разработана методика механохимического синтеза полисульфидов натрия из смеси элементной серы ( $S^0$ ) и едкого натра (NaOH);

– результаты моделирования и оптимизации шламового выхода при механоактивации медной руды;

– проведен сравнительный анализ результатов флотационного обогащения медьсодержащего сырья при использовании сернистого натрия и полисульфидов натрия;

- приведены результаты термодинамического анализа и кинетики выщелачивания медного концентрата азотной кислотой;
- экспериментально показано влияние механохимической активации на выщелачивание медного концентрата;
- установлено, что при помощи механохимической активации возможно прямое восстановление меди из серосодержащего минерала – халькопирита.

### **Связь работы с научно-исследовательскими работами.**

Работа выполнялась в лаборатории «Механохимические процессы» РГП на ПХВ «Институт проблем горения», на кафедре «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов» КазННТУ им. К.И. Сатпаева и в Рейнвестфальском техническом университете (Германия), в соответствии с международными исследовательскими проектами, обозначенными в Стратегии «Казахстан-2050», концепцией инновационного развития Республики Казахстан до 2020 года и планами научно-исследовательских работ кафедры «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов» КазННТУ имени К.И. Сатпаева.

**Целью диссертационной работы** является разработка научных и практических основ управления механоактивационными процессами с целью их применения в различных сферах металлургического производства.

**Объектами исследования** являются медьсодержащая руда Иртышского и Шатыркольского месторождений, элементная сера и едкий натр.

**Предмет исследований** - термодинамика синтеза полисульфида натрия, возможность его применения в качестве сульфидизатора для переработки полиметаллической медной руды, кинетика флотационного обогащения с применением нового сульфидизатора, выщелачивание медного концентрата азотнокислым раствором.

**Задачи исследования, их место в выполнении научно-исследовательской работы в целом. Основная задача диссертации:** - провести синтез полисульфида натрия механохимическим способом и использовать его в качестве флотореагента для обогащения сульфидно-окисленной медной руды, с последующей механохимической обработкой полученного концентрата и дальнейшим его выщелачиванием.

К числу основных задач исследований относятся:

- анализ научной литературы;
- расчет и анализ термодинамики получения полисульфида натрия механохимическим способом;
- синтез полисульфида натрия в планетарно-центробежной мельнице с идентификацией продуктов синтеза;
- отработка оптимального режима флотации полиметаллических руд с использованием нового сульфидизатора;
- моделирование и оптимизация шламового выхода при механоактивации медной руды;

- проведение исследований по обработке руды механоактивацией;
- проведение исследований по использованию полученного сульфидного медного концентрата после применения синтезированного полисульфида натрия для выщелачивания меди;
- технико-экономический расчет по выпуску полисульфида натрия.

### **Методологическая база исследований**

При выполнении диссертационной работы применялись следующие основные методы исследования и анализа:

- термодинамический расчет возможности протекания реакции между элементной серой и едким натром проводился с помощью программы HSC Chemistry компании Outokumpu Technology Engineering;

- полученные образцы полисульфида натрия исследовались на Рамановском спектрометре Solver Spectrum при воздействии синим лазером длиной волны 473 нм, а также рентгеновским дифрактометром и электронной микроскопией;

- моделирование и оптимизация шламового выхода при механоактивации медной руды проводились с помощью языка программирования DELPHI 7.0;

- построение диаграмм, свидетельствующих о возможности протекания реакции между азотной кислотой и халькопиритом, выполнялось с помощью программы HSC Chemistry компании Outokumpu Technology Engineering;

- выявление кинетики процесса выщелачивания медного концентрата в азотной кислоте;

**Практическая значимость результатов работы** заключается в синтезе полисульфида натрия механохимическим способом и использовании его в качестве флотореагента для переработки медьсодержащей руды, с дальнейшим выщелачиванием полученного медного концентрата с помощью азотной кислоты. Все это может быть использовано промышленными предприятиями в научных исследованиях, проводимых в области переработки медных руд.

**Основные положения, выносимые на защиту.** На защиту диссертационной работы выносятся следующие положения:

- результаты исследования вещественного состава руд;
- результаты исследования процесса измельчения исследуемых руд в планетарно центробежной мельнице;
- результаты термодинамического анализа синтеза полисульфида натрия механохимическим путем;
- результаты Рамановской спектроскопии и рентгенофазового анализа полученных образцов полисульфида натрия;
- результаты моделирования и оптимизации шламового выхода при механоактивации медной руды;
- сравнительный анализ результатов экспериментов по влиянию сернистого натрия и полисульфида натрия на извлечение меди;

- кинетика флотационного процесса с использованием в качестве сульфидизаторов  $\text{Na}_2\text{S}$  и  $\text{Na}_2\text{S}_n$ ;
- результаты термодинамического анализа выщелачивания медного концентрата азотной кислотой;
- результаты кинетики выщелачивания медного концентрата азотной кислотой.

**Апробация работы:** Основные положения работы докладывались и обсуждались на 3 научно-практических конференциях, в их числе Совместная IX Международная конференция «Физика и химия углеродистых материалов /Наноинженерия» (Казахстан, г. Алматы, 2016 г.), 9<sup>th</sup> International Conference on Mechanochemistry and Mechanical Alloying «INCOME 2017» (Словакия, г. Кошице, 2017 г.), V International Conference «Fundamental Bases of Mechanochemical Technologies» (Россия, г. Новосибирск, 2018 г.). По результатам работы опубликовано 3 статьи в журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан: «Промышленность Казахстана», «ВЕСТНИК Национальной инженерной академии Республики Казахстан» и 2 статьи в международном рейтинговом журнале, входящего в базу данных Scopus: «Non-ferrous Metals», «Acta Physica Polonica A».

#### **Структура и объем диссертации.**

В состав диссертационной работы входят следующие элементы: "Нормативные ссылки", "Обозначения и сокращения", "Введение", литературный обзор, экспериментальная часть, "Заключение", "Список использованных источников" и "Приложения". Диссертационная работа изложена на 132 страницах, содержит 51 таблицу, 53 рисунка, 116 литературных источников.