

# ОТЗЫВ

## официального оппонента

на диссертационную работу Шахалова Александра Александровича «Автоклавная технология переработки некондиционных медных концентратов с использованием гидротермальной обработки», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – металлургия черных, цветных и редких металлов

### 1. Актуальность работы

Снижение качества добываемого и перерабатываемого сырья, с одной стороны, и все более высокие требования, предъявляемые к продуктам обогащения, с другой, приводят к необходимости разработки и внедрения новых технологий. На сегодняшний день качество медных концентратов регламентируется ГОСТ Р 52998-2008 Концентрат медный, согласно которому содержание меди в концентрате низшей марки КМ-6 составляет не менее 18 % масс., а цинка и свинца – не более 8,0 и 4,5 % масс. соответственно. При этом цинк и свинец являются «вредными» примесями в медном производстве и фактически полностью теряются при получении металлической меди. В настоящее время разработаны и используются в мировой практике различные технологии переработки сульфидных концентратов, содержащих медь, цинк и другие цветные металлы. Среди них можно отметить не нашедший широкого применения КИВЦЭТ-процесс, предназначенный перерабатывать колчеданные концентраты с повышенным содержанием цинка и свинца, и более распространенную технологию Аутсмелт, также позволяющую осуществлять комплексную переработку подобных концентратов. Параллельно с пирометаллургическими процессами развиваются и гидрометаллургические технологии, в частности, атмосферное и автоклавное окислительное выщелачивание. В ходе окислительно-восстановительных процессов происходит переход в жидкую фазу как ионов меди, так и цинка, а также большинства других ионов металлов, которые образуют в условиях окисления

водорастворимые соли. Для выделения богатых концентратов целевых компонентов требуется последующая переработка полученных растворов, их разделение и очистка, что в ряде случаев усложняет и удорожает производство.

В диссертационном исследовании А.А. Шахалова разработана технология, предусматривающая автоклавное окисление некондиционного медного концентрата с содержанием меди 14,7 % и последующее гидротермальное осаждение меди из раствора с использованием медного концентрата с содержанием меди 20,3 %. В результате комбинации данных операций был получен медный концентрат, содержащий около 28,8 % меди и лишь 0,89 % цинка и 0,76 % свинца. Другими ценными продуктами данной технологии являются цинковый концентрат, свинцовый концентрат и цементат драгоценных металлов, получаемый после очистки и осаждения сульфата цинка гидросульфидом натрия. Разработанная технология прошла полупромышленные испытания.

## **2. Основные научные результаты, новизна и практическая значимость:**

- установлено, что селективное окисление сфалерита и халькопирита достигается с понижением давления кислорода;
- уменьшение выхода элементной серы достигается за счет процесса обмена с сульфатом меди, который стимулируется пониженным давлением кислорода и повышенной концентрацией меди в растворе АОВ;
- определено влияние кислорода на показатели извлечения цинка из медно-цинкового концентрата в процессе гидротермальной обработки;
- получены кинетические характеристики процесса автоклавного окислительного выщелачивания полиметаллических концентратов;
- определены обратные зависимости ключевых показателей процесса гидротермального обогащения из растворов автоклавного выщелачивания (степени извлечения меди и цинка) от величины параметров процесса ГТО;

- впервые принято решение использовать низкосортные полиметаллические концентраты по разным направлениям технологической схемы с целью получения кондиционного селективного концентрата, а также дополнительного извлечения других ценных компонентов в селективные продукты, в частности, в цинковый и свинцовый концентраты, золотосеребряный цементат, а также снижения выбросов вредных веществ основного пирометаллургического производства компании;

- определены кинетические характеристики процесса гидротермальной обработки в режиме частичного окисления в первой секции автоклава, позволяющие моделировать промышленный процесс.

- предлагаемая технологическая схема может быть реализована на Балхашской промышленной площадке металлургического производства ТОО «Kazakhmys Smelting (Казахмыс Смэлтинг)» в качестве экономически выгодной и позволяющей перерабатывать некондиционные полиметаллические концентраты с селективным извлечением попутных ценных компонентов. Определен положительный экономический эффект от внедрения.

### **3. Структура и объем работы**

Диссертационная работа А.А. Шахалова построена достаточно традиционно. Она состоит из введения, 5-ти глав основного текста, заключения, списка литературы и приложений. Каждая из глав работы состоит, в свою очередь, из нескольких подразделов. В конце глав 2, 3 и 4 приведены выводы из материала главы, а в конце первой главы, являющейся литературным обзором, представлено заключение. Работа изложена на 181 страницах машинописного текста и по объему соответствует требованиям, предъявляемым к квалификационным работам, выполняемым на соискание ученой степени кандидата наук.

#### 4. Краткое содержание работы

Во введении приведен взгляд автора на актуальность тематики работы, сформулированы цели и задачи исследования, ее научная новизна и практическая значимость, а также положения, выносимые на защиту. Кроме того, во введении кратко описаны методы исследований, мнение автора об обоснованности и достоверности научных положений, выводов и результатов исследования и приведены краткие сведения о его апробации.

В первой главе диссертационного исследования представлен литературный обзор, который достаточно полно отображает основные тенденции в развитии технологий гидрометаллургической переработки медных концентратов.

Во второй главе представлены характеристики исходных медных концентратов, их химический, фазовый и гранулометрический состав. Представлена методика исследований. Произведена оценка влияния различных параметров на протекание автоклавного окислительного выщелачивания. Установлены параметры процесса, обеспечивающие извлечение меди в раствор на уровне 85–87 % и цинка - до 90 %.

Третья глава диссертационного исследования А.А. Шахалова посвящена изучению гидротермальной обработки медных концентратов. Представлена методика проведения экспериментальных исследований и влияние различных параметров на скорость протекания процесса осаждения меди из раствора. Автором определены параметры процесса, обеспечивающие его высокое технологические показатели, а именно: получение кека, содержащего более 30 % меди, 6-7 % свинца и 2-3 % цинка, и раствора, содержащего меди менее 0,5 г/дм<sup>3</sup> (извлечение меди в кек более 98,5 %), цинка 20-30 г/дм.

Глава 4 работы А.А. Шахалова посвящена описанию результатов полупромышленных испытаний, проведение которых позволило осуществить основные гидрометаллургические операции в непрерывном режиме с получением более достоверных данных о показателях процесса, расходных коэффициентах и оптимальных режимах работы.

В пятой главе диссертационного исследования представлена принципиальная технологическая схема переработки медных концентратов. Приведены характеристики основных продуктов и отходов технологии. Представлен перечень основного технологического оборудования и технологический эффект, который может быть достигнут в результате реализации технологии.

## **5. Вопросы и замечания по диссертации**

По существу диссертационной работы следует отметить ряд замечаний:

1. В разделе «Цель работы» на стр. 5 диссертации и стр. 4 автореферата речь идет о разработке технологии переработки некондиционных медных концентратов с содержанием меди на уровне 11% и 18%, однако концентрат, содержащий 18% меди, относится к марке КМ-6 и не является некондиционным.

2. В разделе «Методология и методы исследования» на стр. 7 диссертации и стр. 4 автореферата для проведения рентгенофазового анализа некорректно предлагается использовать оптический микроскоп Zeiss.

3. При автоклавном окислении концентратов, стр. 12 автореферата, предлагается использовать отношение  $Ж/Т=12$ , а на стр. 57 диссертации –  $Ж/Т=13$ . В результате не очень понятно какое именно отношение  $Ж/Т$  принято при выполнении экспериментальных исследованиях и чем обусловлен его выбор.

4. Далее, на основании теплового баланса, эксперименты проводятся при отношении  $Ж/Т=6$  (стр. 62 диссертации и стр. 13 автореферата), однако тепловой баланс не представлен.

5. Осаждение золота из цианистого раствора предлагается осуществлять цементацией (рис. 56, стр. 126), но не показано, что будет использоваться в качестве цементатора.

6. Какой состав имеет окисленный кек АОВ, и не будет ли его цианирование сопровождаться повышенным расходом реагентов?

7. Цинковый концентрат, полученный в результате предложенной технологии, имеет нетрадиционный для данного продукта состав. Будет ли он иметь рынок сбыта?

#### **6. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям**

Диссертация А.А. Шахалова является законченной научно-квалификационной работой, посвященной решению актуальной для металлургических предприятий задачи – повышению эффективности переработки низкосортных и некондиционных медных концентратов.

Содержание и тема диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 05.16.02 – металлургия черных, цветных и редких металлов. Текст работы написан четким, грамотным языком. Диссертация хорошо оформлена. Текст автореферата соответствует содержанию диссертации. Работа прошла хорошую апробацию. Основные ее материалы опубликованы в 8 статьях, 3 из которых входят в список журналов, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ. Кроме того, результаты работы докладывались на 3 конференциях.

#### **7. Заключение по работе**

Несмотря на сделанные замечания, достоинства диссертационного исследования Александра Александровича Шахалова «Автоклавная технология переработки некондиционных медных концентратов с использованием гидротермальной обработки» несомненны. Это дает все основания считать ее законченным научно-квалификационным исследованием, выполненным на высоком научном уровне. Результаты работы обладают научной новизной, в достаточной мере обоснованы и имеют научную и большую практическую значимость. Работа автора соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а сам А.А. Шахалов заслуживает

присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – металлургия черных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент,  
кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии  
федерального государственного образовательного учреждения  
высшего образования

«Санкт-Петербургский горный университет»

А.Я. Бодуэн

Даю согласие на внесение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Бодуэн Анна Ярославовна

Место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», 199106, г. Санкт-Петербург, 21 линия В.О., дом 2.

Контактный телефон: 8(812)328-84-59

e-mail: boduen\_aya@pers.spmi.ru

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
199106, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, 21 ЛИНИЯ В.О., Д. 2  
Тел: 8(812)328-84-59

Исх. № \_\_\_\_\_  
Дата: \_\_\_\_\_

Подпись: А.Я. Бодуэн  
Являюсь: \_\_\_\_\_  
Должность: \_\_\_\_\_  
Место работы: \_\_\_\_\_  
Подпись: \_\_\_\_\_  
Имя: \_\_\_\_\_  
Фамилия: \_\_\_\_\_  
Пол: \_\_\_\_\_  
Дата: \_\_\_\_\_

« 08 » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.