

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента  
кандидата технических наук, Мезенина Антона Олеговича  
на диссертационную работу Потемкина Вадима Андреевича  
на тему: «Интенсификация процессов сепарации золотосодержащего сырья на основе  
направленного регулирования реологических свойств суспензии»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых**

### **1. Структура и объем работы**

Представленная работа состоит из введения, пяти глав с выводами по каждой из них, заключения и библиографического списка. Содержит 141 страницу машинописного текста, 72 рисунка, 15 таблиц, список литературы из 118 наименований и 2 приложения на 2 страницах.

### **2. Актуальность темы работы**

Многие страны стоят перед проблемой снижения качества минерального сырья как разрабатываемых, так и готовящихся к разработке месторождений. Это приводит к тому, что в переработку вовлекаются руды, характеризующиеся тонкой вкрапленностью полезного компонента и сложным составом. Примерами таких месторождений являются золотосодержащие месторождения Арктической зоны, такие как Майское и Нежданинское.

Опираясь на отечественный и мировой опыт, можно утверждать, что руды с относительно высоким содержанием углерода или свободного золота не могут быть подвергнуты стандартным схемам переработки, ввиду угрозы потери ценного компонента – золота. Отсюда вытекает важная и актуальная задача современной промышленности – разработка таких схем и подходов обогащения, которые позволят как минимизировать содержание вредных компонентов, так и повысить извлечение ценных.

Несмотря на достижения учёных многих стран в направлении переработки упорных руд, при эксплуатации подобного рода месторождений предприятия несут потери как на этапе обогащения, так и в дальнейшем при металлургической переработке. Это определяет возникающую необходимость расширения классификации упорных руд по факторам упорности, разработку новых и модернизацию стандартных схем обогащения, применение современных методов численного и математического моделирования.

Поэтому задачи, решаемые в диссертации, связанные с интенсификацией процессов сепарации минерального сырья с учётом реологии суспензии являются актуальными и требующими решения.

### **3. Научная новизна и практическая значимость работы**

– В рамках выполнения диссертационного исследования был разработан алгоритм оценки обогатимости золотосодержащего сырья гравитационными методами на основе интерпретации данных численного и математического моделирования, позволяющий выявить

границы применимости гравитационных методов обогащения и определить дополнительный фактор упорности с учетом данных минералогического и вещественного состава руд для обоснования эффективной технологической схемы переработки.

– Произведено уточнение классификации золотосодержащего сырья в части расширения категории «А», к которой имеют отношение легко цианируемые руды, разбив его на два подтипа: «А<sub>к</sub>» – руды, содержащие крупное золото; «А<sub>н</sub>» – руды без крупного золота.

– Также был разработан алгоритм вычисления эмпирических коэффициентов реологического уравнения движения минеральной пульпы, теоретически отражающего динамику внутренних превращений. В дальнейшем данное уравнение использовалось для модификации уравнения движения Навье-Стокса при постановке задачи в ПО Ansys Fluent для моделирования процесса классификации в рамках разработки методики оценки классификации сырья.

#### **4. Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Основные научные результаты работы отражены в двух положениях, выносимых на защиту.

##### **Первое защищаемое положение:**

*«Разработанный критерий обогатимости на основе данных моделирования по разделению полиминеральных смесей позволяет выявить границы применимости гравитационных методов обогащения и определить дополнительный фактор упорности с учетом данных минералогического и вещественного состава руд для обоснования эффективной технологической схемы переработки»*

Первое научное положение раскрывается в четвёртой главе диссертации.

Объектом исследования в рамках работы над первым положением являлись кварцево-сульфидные руды, в составе которых наблюдается наличие крупного золота. Источником данного типа руд в рамках исследования были руды Нежданнинского месторождения, которое расположено на северо-востоке Якутии.

Ввиду того, что в образцах данного типа руды было обнаружено крупное золото, было проведено исследование по методике GRG с целью определения количества золота, которое поддаётся гравитационному обогащению. Согласно регрессионным моделям зависимости извлечения золота от крупности класса, полученным в результате исследования, был сделан вывод о последовательном возрастании суммарного извлечения золота по мере снижения крупности питания, что указывает на факт раскрытия сростков.

Следующим этапом была осуществлена оценка обогатимости сырья данного типа гравитационными методами с помощью разработанной программы для ЭВМ, которая

учитывает крупность и плотность сростков золота. Применение разработанного программного обеспечения позволило выделить три зоны градации по возможности применения гравитационных методов обогащения, в зависимости от выделенного безразмерного критерия обогатимости  $K_g$ , принимающего значения в диапазоне от 0 до 100.

Данный комплекс экспериментально-теоретических исследований позволил как расширить классификацию золотосодержащих руд, так и разработать принципиальную схему обогащения с использованием блока гравитационного разделения, где на концентраторе Knelson выделяется крупное золото с целью снижения потерь благородного металла при дальнейшей переработке.

#### **Второе защищаемое положение:**

*«Методика оценки процесса сепарации углеродистого золотосодержащего сырья на основе математического и численного моделирования позволяет учесть реологические особенности минеральной пульпы с целью повышения извлечения на стадии флотационного обогащения»*

Второе научное положение раскрывается в четвертой главе диссертации.

Объектом исследования являлись углеродистые руды, которые относятся к особо упорной золотосодержащей разновидности, основную ценность которых также представляет золото.

Известно, что наличие сорбционно-активного углерода оказывает негативное влияние на процессы металлургической переработки, в связи с чем для определения оптимального метода обезуглероживания было проведено сравнение углеродистой флотации и дешламации на гидроциклоне. Результаты экспериментальных исследований показали превосходство процесса разделения в гидроциклоне в плане удаления углеродистого вещества.

На следующем этапе были получены реологические уравнения на основе модели Бингама-Шведова с применением разработанной программы для ЭВМ для трёх вязкостей питания гидроциклона: 400, 500 и 700 г/л. Данные уравнения в свою очередь дополнили уравнение движения суспензии Навье-Стокса, которое было использовано при постановке задачи классификации в программном обеспечении для гидродинамического моделирования Ansys Fluent.

Расчёты с применением указанного ПО показали, что оптимальным значением содержания твёрдого в суспензии является 400 г/л, при котором обеспечивается максимальное диспергирование, в соответствии с критическим значением скорости сдвига, вычисленном при расчёте коэффициентов реологического уравнения.

Данный комплекс экспериментально-теоретических исследований позволил обосновать применение гидроциклона для удаления углеродистого вещества, а также предложить принципиальную схему обогащения данного типа руд.

## **5. Апробация работы**

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 7 печатных работах, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (далее – Перечень ВАК), в 3 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования (Scopus); получено 2 свидетельства государственной регистрации программ для ЭВМ».

Текст диссертации и автореферата написан грамотным техническим языком с применением терминологии, соответствующей обогащению полезных ископаемых. В тексте встречаются незначительные несоответствия, которые можно отнести к опискам и опечаткам, что подтверждает самостоятельность написания работы соискателем.

## **6. В качестве замечаний следует отметить следующее:**

1. На странице 103 диссертации говорится о расширении существующей классификации золотосодержащих руд по типу «А» на два подтипа. В то же время в первом защищаемом положении говорится об определении дополнительного фактора упорности. Не являются ли данные утверждения противоречивыми?

2. На странице 106 в таблице 4.6 приведены технологические параметры работы гидроциклона, использованного при натуральных и численных экспериментах. Исследования в рамках второго защищаемого положения привели к заключению об оптимальном значении вязкости, приводящему к требуемому значению скорости сдвига в потоке суспензии. Являются ли полученные данные и модели применимыми к другим конструкциям гидроциклонов, использующихся в горно-обогатительной промышленности?

3. На странице 117 автор предлагает принципиальную схему обогащения руд Арктической зоны двух типов на основе данных, полученных при исследовании углеродистых руд и руд с крупным золотом. Данная блочная схема подразумевает разделение потока сырья по блокам, в соответствии с содержанием гравитационно извлекаемого золота и углеродистого вещества. Каким образом должна осуществляться переработка такого типа руды, технологические параметры которого соответствуют обоим приведённым критериям?

4. В приведённой на странице 123 формуле расчёта коэффициента комплексности использования сырья присутствует такой показатель, как среднерыночная цена. Однако автором в процессе расчётов не приводятся данные по компонентам, участвующим в расчёте.

5. В главе 4 на странице 111 приводятся сведения о процессе многофазного моделирования работы гидроциклона. В главе 3 на страницах 78 и 79 даётся описание подходов к постановке подобного рода задач. Тем не менее, автором не упомянуто, какой из описанных

подходов – Эйлера-Лагранжа или Эйлера-Эйлера – был использован при решении многофазной задачи.

## 7. Заключение

Замечания не носят принципиального характера и не ставят под сомнение достоверность и обоснованность выводов и основных положений, защищаемых в диссертации.

Диссертация Потемкина Вадима Андреевича на тему «Интенсификация процессов сепарации золотосодержащего сырья на основе направленного регулирования реологических свойств суспензии» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предлагается новое решение актуальной научной задачи – учёта реологических свойств минеральной суспензии с целью разработки эффективных схем обогащения руд Арктической зоны двух типов.

Научные результаты, полученные автором, своевременно опубликованы в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки, а также в журналах, входящих в международную базу данных Scopus. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертация «Интенсификация процессов сепарации золотосодержащего сырья на основе направленного регулирования реологических свойств суспензии», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 19.12.2019 № 1755 адм, а её автор – Потемкин Вадим Андреевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых.

Руководитель отдела продаж, Научно-производственная корпорация «Механобр-техника» (АО), кандидат технических наук по специальности 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых

  
Мезенин Антон Олегович



Дата: 27.08.2021 г.

Адрес: 199106, Россия, г. Санкт-Петербург, В.О., 22 линия, д.3 корп. 5  
Научно-производственная корпорация «Механобр-техника» (АО)»

Тел.: (812) 331-02-43

e-mail: [mezenin\\_ao@mtspb.com](mailto:mezenin_ao@mtspb.com)

Подпись Мезенина Антона Олеговича заверяю:

Офис-менеджер



Ерёмина О.С.

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

