

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента  
кандидата технических наук Мезенина Антона Олеговича  
на диссертацию Читалова Леонида Сергеевича  
на тему: «Разработка комплексного метода оценки эффективности  
процессов измельчения сульфидных медно-никелевых руд»,  
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 оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 103 наименования. Работа изложена на 118 страницах машинописного текста, содержит 42 рисунка, 27 таблиц и 4 приложения.

### **2. Актуальность темы работы**

Рудоподготовительные переделы обогатительных фабрик отличаются большими капитальными вложениями и эксплуатационными затратами. Основные статьи расходов в них связаны с расходом стали на измельчающие тела, футеровку оборудования и потребляемую электроэнергию на переработку руды. Удельный расход электроэнергии на переработку руд цветных металлов обычно лежит в диапазоне от 10 до 30 кВтч/т, что в значительной степени сказывается на себестоимости продукции фабрик. И так как процессы рудоподготовки далеки от совершенства, исследования в данной области были и остаются одними из наиболее актуальных направлений для поиска путей снижения себестоимости выпускаемых фабриками концентратов.

Представленная к рассмотрению диссертация посвящена вопросам повышения эффективности рудоподготовительных процессов сульфидных медно-никелевых руд норильского промышленного района. В частности, большое внимание было уделено процессам мокрого полусамозмельчения и шарового измельчения шихты из богатой, медистой и вкрапленной сульфидной медно-никелевой руды.

Соискателем выбран один из наиболее перспективных способов исследования данных процессов – численным и симуляционным

моделированием отдельных рудоподготовительных аппаратов и их цепей. Значительная часть диссертации посвящена подробным исследованием физико-механических свойств исследуемых типов руд для повышения точности получаемых моделей, что выгодно отличает данную работу от многих исследований, связанных с компьютерным моделированием процессов рудоподготовки.

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

В процессе изучения физико-механических свойств руд соискателем была предложена и экспериментально подтверждена работоспособность методики определения рабочего индекса Бонда  $BWI$  с применением мельницы МШЛ-14, не характерной при определении данного показателя по стандартной методологии (тест Бонда для шарового измельчения). Использование данной мельницы стало возможным благодаря введению коэффициента отношения чистой мощности измельчения в стандартное уравнение для определения индекса Бонда  $BWI$ . Такое решение является оригинальным и теоретически позволяет использовать другие лабораторные шаровые мельницы для определения индекса Бонда  $BWI$ , что с практической точки зрения означает возможность снижения затрат, связанных с исследованием физико-механических свойств руд.

Соискателем разработан комплекс испытаний руды для определения показателей, использующиеся при численном моделировании рудоподготовительных процессов. К таким показателям относятся коэффициенты трения и восстановления между частицами руды и поверхностями рабочих органов рудоподготовительных аппаратов.

Другой раздел диссертации, связанный с лабораторными исследованиями руд, описывает метод определения минимальной удельной энергии разрушения руды в различных классах её крупности. Полученные данные использованы автором для расчета производительности и удельного расхода электроэнергии процесса мокрого полусамоизмельчения из результатов численного моделирования.

Путем статистического анализа нескольких баз данных, описывающих свойства различных типов руд, соискателем получены зависимости между

физико-механическими параметрами  $M_{ia}$ ,  $M_{ic}$ ,  $M_{ih}$ ,  $DW_i$ ,  $SCSE$ ,  $t_a$  от показателей  $A$ ,  $b$  и объёмной плотности материала. Данные зависимости позволили обосновать возможность получения всех выходных данных теста SMC из результатов теста падающего груза JK DWT, сократив таким образом перечень лабораторных испытаний, необходимых для симуляционного моделирования рудоподготовительных схем.

В результате серии численного моделирования процесса мокрого полусамозмельчения, автором был разработан новый режим работы исследуемой мельницы МПСИ 10,36x5,18, теоретически позволяющий повысить её производительность на 4,1 %, при этом снижая удельные затраты электроэнергии на 1,2 %.

Применимость результатов работы подтверждается актом внедрения результатов исследования в АО «КАДФЕМ Си-Ай-Эс» (№21/015 от 19.03.2021 г.).

#### **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:**

*«Применение модифицированной методики определения рабочего индекса шарового измельчения Бонда и DWT (теста падающего груза) позволяет сократить количество тестовых процедур и специализированного оборудования для получения комплекса физико-механических показателей измельчаемости и дробимости рудного сырья»*

Первое научное положение раскрывается во второй и третьей главах диссертации.

Стандартный подход к получению комплекса показателей, необходимых для симуляционного моделирования рудоподготовительных схем и расчету удельного энергопотребления по методу Моррелла, подразумевает лабораторные испытания руды по трем методикам: тесту падающего груза JK DWT, тесту

падающего груза SMC и тесту Бонда для шарового измельчения. Для выполнения такого комплекса исследований необходимо наличие установки падающего груза DWT и шаровой мельницы Бонда.

Соискателем была разработана и экспериментально подтверждена методика определения рабочего индекса Бонда  $BWI$  при помощи лабораторной шаровой мельницы отечественного производства МШЛ-14, широко используемой в рудоподготовительных лабораториях на территории стран СНГ. Максимальная относительная ошибка определения индекса Бонда  $BWI$  с применением мельницы МШЛ-14 составила 4,5 %.

Путем анализа баз физикомеханических свойств различного рудного сырья автор определил зависимости, позволяющие получать результаты теста SMC (физико-механические параметры  $M_{ia}$ ,  $M_{ic}$ ,  $M_{ih}$ ,  $DW_i$ ,  $SCSE$ ,  $t_a$ ) из результатов теста DWT с удовлетворительной точностью.

Таким образом, перечень оборудования, необходимого для получения комплекса показателей, используемых при симуляционном моделировании рудоподготовительных схем и расчету удельного энергопотребления по методу Моррелла, сокращен соискателем до установки теста падающего груза и лабораторной шаровой мельницы МШЛ-14; а перечень методик, – до теста падающего груза JK DWT и авторской методики определения индекса Бонда  $BWI$ .

Результаты определения физико-механических свойств руды по подходу, предложенному автором, использованы при симуляционном моделировании с помощью программного комплекса JKSimMet для разработки технологии переработки исследованной руды.

#### **Второе защищаемое положение:**

*«Обосновано, что определение минимальной удельной энергии разрушения частиц рудного сырья различных классов крупности позволяет оценить эффективность работы мельницы полусамоизмельчения в многофазной DEM-CFD модели и определить предпочтительные режимы её работы»*

Второе научное положение раскрывается во второй и четвертой главах диссертации.

Следует отметить, что в литературных источниках отсутствует количественное выражение эффективности рудоподготовительных процессов. Автором предложены способ количественный расчет эффективности рудоподготовительного процесса как полноты передачи потребляемой энергии в такие соударения частиц руды, которые приводят к их разрушению.

Для этого была разработана методика лабораторного исследования руд, позволяющая определить граничные значения удельной энергии соударений частиц руды различной крупности, приводящих к их разрушению. Были исследованы богатый, медистый и вкрапленные типы медно-никелевой руды в 4 классах крупности (-75+63; -53+45; -37,5+31,5 и -26,5+22,4 мм). По полученным данным выражены логарифмические зависимости минимальной удельной энергии разрушения от крупности частиц. Данные зависимости были использованы для обработки энергетических спектров (распределении мощности, потребляемой процессом мокрого полусамоизмельчения, по соударениям частиц руды с определенной величиной удельной энергии), получаемых в результате численного моделирования мельницы МПСИ 10,36x5,18 методом дискретных элементов.

Таким образом, соискателем был разработан способ интерпретации результатов численного моделирования рудоподготовительных процессов, заключающийся в регистрации величины удельной энергии всех соударений частиц руды, происходящих в мельнице полусамоизмельчения, с последующим разделением потребляемой мощности на эффективные (приводящие к разрушению частиц) и не эффективные (приводящие к потерям энергии на нагрев пульпы, звук и пр.) соударения.

Применяя полученный подход к серии модельных экспериментов по варьированию режимов работы мельницы МПСИ 10,36x5,18, автором был разработан рекомендуемый режим работы исследуемой мельницы, теоретически позволяющий повысить её производительность с 1250 до 1301 т/ч и снизить удельное энергопотребление с 6,42 до 6,34 кВт·ч/т (-1,24 %) при сохранении крупности продукта измельчения.

## **5. Апробация работы**

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 11 печатных работах, в том числе в 3 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, в 4 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus; получено 2 свидетельства государственной регистрации программ для ЭВМ.

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

1. На защите рекомендуется привести расчет, отражающий экономический эффект от перехода на новый режим работы мельницы МПСИ 10,36x5,18.

2. В расчетах, касающихся распределения потребляемой мощности и КПД узлов мельницы МПСИ 10,36x5,18 (п. 4.3.1) было бы полезным учесть мощность холостого хода мельницы, чтобы избежать использования нескольких коэффициентов КПД узлов установки.

3. Рассмотрение возможности определения (с некоторым приближением) минимальной удельной энергии разрушения частиц руды из результатов теста падающего груза JK DWT было бы полезным решением для данной работы.

4. При формулировке второй научной новизны, касающейся определения зависимости физикомеханических параметров, необходимо указать пределы значений параметров, в которых эти зависимости были определены.

Вышеуказанные замечания не являются критическими и не ставят под сомнение достоверность и обоснованность выводов и основных положений, выносимых на защиту.

## **7. Заключение**

Диссертация Читалова Леонида Сергеевича на тему «Разработка комплексного метода оценки эффективности процессов измельчения сульфидных медно-никелевых руд» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предлагается новое решение актуальной

научной задачи – выбора и обоснования режима работы мельницы мокрого полусамоизмельчения, обеспечивающего увеличение производительности и снижение удельных энергетических затрат на переработку сульфидных медно-никелевых руд при сохранении требуемой крупности готового продукта измельчения.

Диссертация «Разработка комплексного метода оценки эффективности процессов измельчения сульфидных медно-никелевых руд», 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 – Читалов Леонид Сергеевич – 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: 27.08.21 г.

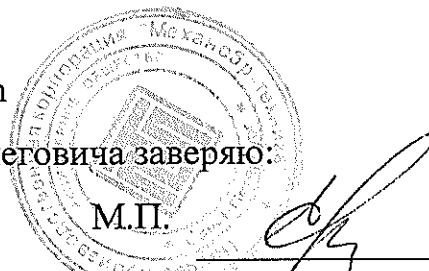
Адрес: 199106, Россия, г. Санкт-Петербург, В.О., 22 линия, д.3 корп. 5

Научно-производственная корпорация «Механобр-техника» (АО)»

Тел.: (812) 331-02-43

e-mail: mezenin\_ao@mtspb.com

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.