

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента**  
**на автореферат и диссертационную работу Тимофеева Александра**  
**Сергеевича «Повышение эффективности тяжелосредной сепарации**  
**алмазосодержащего сырья за счет снижения интенсивности окисления**  
**ферросилиция», представленную на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук по специальности 25.00.13 –**  
**«Обогащение полезных ископаемых»**

Представленная на отзыв диссертационная работа Тимофеева А.С. представляет собой результат научных и практических исследований, посвященных разработке способа повышения эффективности тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья за счет снижения интенсивности окисления ферросилиция.

**Актуальность диссертационной работы**

В настоящее время одним из основных способов обогащения алмазосодержащего сырья мелкого класса является способ обогащения в тяжелосредных гидроциклонах, когда в качестве тяжелой среды используется ферросилицевая суспензия. Эффективность этого процесса обогащения зависит от стабильности реологических характеристик ферросилицевой суспензии, определяемых физико-химическими свойствами твердого утяжелителя суспензии, и технических свойств оборотной воды на обогатительных фабриках.

На некоторых обогатительных фабриках в процессе замкнутого цикла водообращения формируется неблагоприятный ионный состав и окислительно-восстановительные параметры оборотной воды, что обусловлено большой концентрацией хлорид ионов, ускоряющих процессы окисления ферросилиция. Применение барботажа суспензии воздухом в зумпфах при остановке фабрики так же ускоряет процесс окисления ферросилиция, снижает его магнитные свойства и приводит к увеличению его потерь в цикле регенерации на магнитных сепараторах.

На данный момент ферросилиций необходимого качества закупается за рубежом, имеет относительно высокую стоимость закупки и существенные

транспортные расходы на его доставку. Поэтому разработка и внедрение мероприятий по сохранению ферросилиция при циркуляции в технологических процессах является актуальной задачей.

### **Цель и идея диссертации**

Целью диссертационной работы Тимофеева Александра Сергеевича является разработка способа, уменьшающего интенсивность окисления ферросилиция в суспензии, что обеспечит снижения его потерь в процессе тяжелосредного обогащения.

Идея работы заключается в применении электрохимически инертного газа (азота) вместо воздуха в операции перемешивания ферросилициевой суспензии для снижения интенсивности окисления ферросилиция.

### **Содержание и полнота работы**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 105 наименований, содержит 121 страницу машинописного текста, 3 приложения, 48 рисунков и 16 таблиц.

Работа последовательная, системная, построена в соответствии с принятыми требованиями к структуре диссертаций.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и перечень задач исследований, освещена суть научной проблемы и раскрыты защищаемые положения.

В первой главе сделан литературный обзор современного состояния тяжелосредной сепарации алмазосодержащих кимберлитов и методов повышения ее эффективности.

Проведен анализ тяжелосредного обогащения алмазосодержащих кимберлитов, выделены преимущества этого процесса. Отмечается, что перспективным направлением повышения эффективности процесса тяжелосредной сепарации, протекающего в водной среде с повышенной минерализацией и концентрацией растворенного кислорода, является поиск режимов, позволяющих снизить интенсивность процессов окисления ферросилиция.

Во второй главе дана характеристика объекта исследований, описаны методы исследований свойств ферросилиция и ферросилициевой суспензии.

В третьей главе представлены результаты анализа водных систем ряда обогатительных фабрик и проб ферросилиция, применяемых на этих обогатительных фабриках, расположенных в районе Западной Якутии. Разработана вероятностно-статистическая математическая модель процесса окисления ферросилиция, для различных форм дифференциальной кривой распределения частиц по размерам, позволяющая описать кинетику формирования окисленного слоя на поверхности шарообразных ферросилициевых зерен в водной среде. С помощью разработанной математической модели был определен поставщик наиболее устойчивого к окислению ферросилиция для принятых к анализу обогатительных фабрик. Установлено, что интенсивность процессов окисления исследуемого ферросилиция в оборотных водах обогатительных фабрик АК «АЛРОСА» в наибольшей мере возрастает при увеличении концентрации хлорид ионов.

В четвертой главе определены основные точки и причины потерь ферросилиция на примере ОФ №3 МГОКа. Одним из источников потерь ферросилиция является процесс окисления при его контакте с кислородом воздуха, используемого для барботажа в процессе перемешивания и поддержания суспензии во взвешенном состоянии в зумпфах. Разработан способ обеспечивающий снижение потерь и сохранность технологических свойств ферросилиция за счет применения газообразного азота в качестве барботажного агента в зумпфах сбора суспензии.

В пятой главе представлены результаты полупромышленных и промышленных испытаний разработанного способа уменьшения окисляемости ферросилиция за счет применения азота вместо воздуха в качестве барботажного агента в операциях приготовления и хранения суспензии. Результатами технико-экономических расчетов показано, что разработанный способ позволит за счет сокращения расхода ферросилиция

на ОФ№3 Мирнинского ГОКа достичь экономического эффекта в 2,9 млн. рублей в год при сроке окупаемости 9 месяцев.

Обоснованность и достоверность результатов, научных положений, выводов, заключений, полученных в диссертации, подтверждаются представительностью исходных данных, использованием современных методов и технических средств проведения исследований, согласованностью выводов теоретического анализа и данных эксперимента, удовлетворительной сходимостью результатов экспериментальных исследований.

Все поставленные задачи исследований выполнены, а именно:

- разработана математическая модель процесса окисления зерен ферросилиция;

- выполнен анализ основных точек потерь ферросилиция на ОФ №3 МГОКа и оценена доля этих потерь;

- приведены данные по ухудшению свойств ферросилиция при перемешивании суспензии воздухом и лучшей сохранности свойств ферросилиция при перемешивании суспензии азотом;

- выполнен расчет экономической эффективности предлагаемого способа барботажа суспензии азотом для уменьшения интенсивности окисления ферросилиция в зумпфах по сравнению с существующим способом барботажа суспензии воздухом.

Защищаемые научные положения в полной мере доказаны представленными результатами исследований.

#### **Научная новизна:**

1. Разработанная математическая модель окисления частиц ферросилиция шарообразной формы в оборотной воде обогатительных фабрик, включающая системы уравнений, отображающих зависимости потери магнитных свойств утяжелителя от времени нахождения в суспензии, учитывает такие характеристики распределения частиц ферросилиция по

размерам как математическое ожидание и дисперсия распределения размеров частиц.

2. Установлены зависимости снижения магнитных свойств ферросилиция, поступающего от трех различных производителей, в условиях варьирования ионного состава водной среды, позволяющие произвести выбор марки ферросилиция, наиболее устойчивой к окислению в технологических операциях при использовании агрессивных хлоридных оборотных вод.

3. Установлены зависимости снижения магнитных свойств зерен ферросилиция при окислении от использования для барботажа суспензии воздуха, позволяющие обосновать применение электрохимически инертного газа – азота в качестве барботажного агента в операциях хранения и перемешивания суспензии в технологических схемах тяжелосредной сепарации.

#### **Практическая значимость работы:**

Разработан способ снижения интенсивности окисления ферросилиция, предполагающий применение азота в качестве барботажного агента в операциях приготовления и хранения суспензии в зумпфах, обеспечивающий сокращение потерь ферросилиция на 5% в условиях ОФ №3 Мирнинского ГОКа.

Апробированы методы:

- метод определения качества используемого ферросилиция, актуальность которого обусловлена наличием нестабильности исходных технологических свойств ферросилиция, поставляемого различными производителями;

- метод определения степени окисления зерен различных марок ферросилиция, находящихся в суспензии.

#### **Личный вклад автора состоит:**

- в проведении анализа современных процессов тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья;

- в постановке цели и задач исследований, выборе методик;
- в разработке математической модели и проведении экспериментальных исследований процессов окисления ферросилиция;
- в участии в опытно-промышленных испытаниях, обработке, анализе и обобщении полученных результатов, обосновании научных положений и выводов.

#### **Апробация работы:**

Содержание диссертации полностью отражено в автореферате и в 7 научных публикациях, в т.ч. рекомендованных ВАК РФ – 2.

Результаты исследований доложены на различных научно-технических конференциях, симпозиумах, совещаниях, обсуждены и одобрены научной общественностью.

Диссертация изложена четко и ясно, хорошим научно-техническим языком, составлена и оформлена в соответствии с требованиями ВАК.

#### **Замечания по диссертационной работе:**

1. Не четко обозначены параметры, определяющие эффективность процесса тяжелосредной сепарации, на которых сказывается окисление зерен ферросилиция.

2. Математическая модель, которую предлагает автор, предполагает шарообразную форму частиц ферросилиция, хотя на приведенных фотографиях зерен наблюдаем угловатую неправильную форму частиц. В математической модели окисления и потери магнитных свойств зерен надо было учесть коэффициент формы частиц.

3. В математической модели принята постоянная скорость окисления (мкм/сутки) ферросилиция, что не соответствует принятой геометрически шарообразной форме частиц.

4. Лабораторные эксперименты по определению потери магнитных свойств выполнены для периода 15 суток, а для определения влияния на окисление барботажа воздухом принят период 7 суток. Необходимо было для сравнения принять одинаковый период измерения.

5. Потери ферросилиция не выражены в общепринятых на производстве количественных единицах измерения – в грамм на тонну переработанного сырья (г/т).

Высказанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, научной и практической значимости выполненных исследований.

В целом, представленная Тимофеевым Александром Сергеевичем диссертационная работа «Повышение эффективности тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья за счет снижения интенсивности окисления ферросилиция» на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, представляет собой законченное исследование, направленное на решение актуальной научной задачи повышения эффективности тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья; соответствует паспорту научной специальности 25.00.13 - «Обогащение полезных ископаемых» и требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Тимофеев Александр Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Канд. техн. наук, доцент,  
главный технолог ООО «Коралайна Инжиниринг»  
Козлов В.А.



Подпись канд. техн. наук, доцента, Козлова В.А. удостоверяю:

Генеральный директор



Чудновец А.В.

Дата 01.11.2017 г.

## Список трудов Козлова В.А.

1. Козлов, В.А. Схема автоматического управления тяжелосредной гидроциклонной установкой / В.А. Козлов, А.Г. Тер-Акопов, Е.В. Козлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 5. – С. 264-267.
2. Козлов, В.А. Свойства магнетитовой суспензии, как разделительной среды для обогащения угля / В.А. Козлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 7. – С. 79-85.
3. Козлов, В.А. Результаты моделирования работы тяжелосредных гидроциклонов большого диаметра / В.А. Козлов, В.И. Новак, М.Ф. Пикалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – №1. – С. 39-44.
4. Козлов, В.А. Моделирование и анализ работы тяжелосредных гидроциклонов в режиме реального времени / В.А. Козлов, Е.Н. Чернышева, В.В. Долматов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – №3. – С. 124-136.
5. Козлов, В.А. Работа тяжелосредного гидроциклона большого диаметра в условиях низкой плотности разделения и трудной обогатимости угля / В.А. Козлов, Е.Н. Чернышева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – №5. – С. 49-59.
6. Козлов, В.А. Влияние состава суспензии на работу тяжелосредного гидроциклона / В.А. Козлов, Е.Н. Чернышева, М.Ф. Пикалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – №6. – С. 165-175.