

**ФГБУН ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР
ИМ. АКАДЕМИКА Н.В. МЕЛЬНИКОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

На правах рукописи



Тимофеев Александр Сергеевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯЖЕЛОСРЕДНОЙ СЕПАРАЦИИ
АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ
ИНТЕНСИВНОСТИ ОКИСЛЕНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЯ**

Специальность 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доцент, кандидат технических наук
Двойченкова Галина Петровна

Москва - 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЯЖЕЛОСРЕДНОЙ СЕПАРАЦИИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КИМБЕРЛИТОВ И МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	12
1.1. Особенности и преимущества применения тяжелосредного обогащения..	12
1.2. Свойства тяжелых суспензий.....	15
1.3. Утяжелители для тяжелосредной сепарации	19
1.4. Причины потерь ферросилиция в процессах тяжелосредного обогащения	20
1.5. Способы стабилизации технологических свойств утяжелителя в процессе тяжелосредной сепарации	22
Выводы к главе 1	25
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	26
2.1. Характеристика процесса тяжелосредной сепарации на обогатительной фабрике №3 Мирнинского ГОКа.....	26
2.2. Методы исследований водных систем, ферросилиция и суспензий на их основе	28
Выводы к главе 2	34
ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЯ В ВОДНОЙ СРЕДЕ	35
3.1. Исследование оборотных вод и ферросилиция, применяемых на алмазоизвлекающих фабриках Западной Якутии для приготовления ферросилициевых суспензий	35
3.2. Исследование окисленных частиц ферросилиция	37
3.3. Разработка модели процесса окисления частиц ферросилиция.....	40
3.3.1. Случай равномерного распределения диаметра частиц ферросилиция	42
3.3.2. Случай нормального распределения диаметра частиц ферросилиция.....	46
3.4. Алгоритм определения наиболее устойчивого к окислению ферросилиция для исследуемой водной среды.....	50

3.5. Апробация алгоритма определения наиболее устойчивого к окислению ферросилиция для использования на обогатительных фабриках АК «АЛРОСА».....	51
3.5.1. Определение линейных размеров и форм частиц ферросилиция, используемого на обогатительных фабриках АК «АЛРОСА».....	51
3.5.2. Изменение магнитных свойств исследуемых марок ферросилиция при окислении в оборотных водах обогатительных фабрик АК «АЛРОСА»	54
3.5.3. Определение зависимости скорости окисления от гранулометрического состава ферросилиция марки DMS Powder	55
3.5.4. Определение зависимости скорости окисления от гранулометрического состава ферросилиция марки Washington Mills	57
3.5.5. Определение зависимости скорости окисления от гранулометрического состава ферросилиция марки Imexsar	59
3.5.6. Скорость окисления исследуемых марок ферросилиция в водах обогатительных фабрик АК «АЛРОСА».....	61
3.5.7. Определение влияния ионного состава оборотных вод обогатительных фабрик АК «АЛРОСА» на интенсивность окисления ферросилиция.....	63
Выводы к главе 3	65
ГЛАВА 4. ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ФЕРРОСИЛИЦИЕВОЙ СУСПЕНЗИИ ПРИ КОНТАКТЕ С КИСЛОРОДОМ ВОЗДУХА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ТСС ОФ№3 МГОКа.....	67
4.1. Определение основных точек и причин потерь ферросилиция в схеме ТСС на ОФ №3 МГОКа.....	67
4.2. Изучение влияния операции перемешивания воздухом на физические и физико-химические свойства ферросилициевой суспензии.....	70
4.3. Разработка способа повышения сохранности технологических свойств ферросилиция с применение газообразного азота в операции приготовления и хранения суспензии.....	73

4.4. Изучение влияния операции перемешивания воздухом и азотом на химический состав ферросилиция.....	76
Выводы к главе 4.....	79
ГЛАВА 5. – АПРОБАЦИЯ СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ СОХРАННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЕРРОСИЛИЦИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАЗООБРАЗНОГО АЗОТА В ОПЕРАЦИИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЕВОЙ СУСПЕНЗИИ.....	81
5.1. Характеристика азотной станции ОХУМАТ N-800 ЕСО.....	81
5.2. Экспериментальная апробация способа повышения сохранности технологических свойств ферросилиция на ОФ№3 МГОКа.....	83
5.2.1. Полупромышленные испытания технологических свойств ферросилициевой суспензии в условиях использования способа повышения сохранности технологических свойств ферросилиция на ОФ№3 МГОКа.....	84
5.2.2. Промышленные испытания способа повышения сохранности технологических свойств ферросилиция, включающего применение газообразного азота в качестве барботажного агента в операции перемешивания ферросилициевой суспензии на ОФ№3 МГОКа.....	88
5.3. Технико-экономический расчет эффективности применения способа повышения сохранности технологических свойств ферросилиция в схеме ТСС на ОФ№3 МГОКа.....	92
Выводы к главе 5.....	95
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	97
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	99
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	100
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	111

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы одним из основных методов обогащения алмазосодержащего сырья является процесс тяжелосредной сепарации (ТСС), эффективность которого зависит от стабильности реологических свойств суспензии, физико-химических свойств утяжелителя суспензии и используемых технических водных систем.

Однако вовлечение в промышленную переработку россыпных и техногенных месторождений, а также месторождений, кимберлиты которых подверглись активному вторичному изменению, приводит к изменению ионного состава и окислительно-восстановительных параметров оборотной воды, что обуславливает ускорение процессов окисления ферросилиция, снижение его магнитных свойств и увеличение потерь в цикле регенерации на магнитных сепараторах. Кроме того, увеличение количества поставщиков готового ферросилиция не обеспечивает стабильной характеристики его исходных свойств, что также приводит к увеличению потерь утяжелителя.

В настоящее время в связи с расширением объёма внедрений процесса ТСС на алмазоизвлекающих фабриках возникает необходимость решения задачи по выбору экспрессного метода оценки качества используемых гранул ферросилиция, актуальность которой обусловлена увеличением нестабильности исходных технологических свойств ферросилиция, поставляемого различными производителями. Учитывая высокую цену ферросилиция при возрастающих объемах обогащения кимберлитовых руд методом тяжелосредной сепарации сокращение его потерь в технологическом процессе является актуальной задачей.

Решение поставленной задачи возможно на основе теоретического рассмотрения и построения математической модели процесса окисления ферросилиция в условиях контакта с водными системами, применение которой позволяет, используя экспериментально определенные магнитную восприимчивость и гранулометрическую характеристику ферросилиция, оценить

скорость его окисления в исследуемой водной среде и, соответственно, оценить потери и уровень снижения технологических свойств.

Проведенными ранее исследованиями было установлено, что изменение рН и окислительно-восстановительного потенциала технической водной среды в сторону значений, при которых происходит окисление и разрушение ферросилиция, приводит к нарушению реологических свойств суспензии, потерям ферросилиция в процессе регенерации на магнитных сепараторах и, соответственно, снижению в целом эффективности процесса ТСС.

В соответствии с изложенным перспективным путем решения поставленной задачи является снижение интенсивности воздействия окислителей на ферросилициевые суспензии, обеспечивающие снижение замедление процессов окисления и уменьшение потерь ферросилиция в последующем технологическом процессе.

Большой вклад в развитие данного научного направления, ставящего задачей решение проблемы стабилизации технологических свойств ферросилиция в процессе тяжелосредной сепарации, внесли коллективы ученых под руководством И.Н. Плаксина, В.И. Классена и В.А. Чантурия. Наиболее значимыми работами в последние годы являются исследования З.П. Белых, В.М. Авдохина и Е.Н. Чернышевой.

Для эффективного решения поставленной задачи автором в лабораториях ИПКОН РАН, НИГП АК «АЛРОСА» и института «Якутнипроалмаз» был выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований по разработке, экспериментальной и опытно-промышленной апробации способов сокращения потерь ферросилиция на основе минимизации его окисления в технологическом процессе.

Работа выполнена в рамках проекта «Создание комплексной инновационной экологически безопасной технологии добычи и переработки алмазонасных руд в условиях Крайнего Севера».

Цель работы: Разработка способа снижения интенсивности окисления ферросилиция в цикле приготовления и хранения ферросилициевой суспензии для снижения его потерь в процессе тяжелосредной сепарации.

Идея работы: Применение электрохимически инертного газа (азота) вместо воздуха в операции перемешивания ферросилициевой суспензии для снижения интенсивности ее окисления.

Задачи исследований:

- провести анализ современного состояния тяжелосредной сепарации алмазосодержащих кимберлитов и методов повышения ее эффективности;
- разработать математическую модель процесса окисления ферросилиция, позволяющую определить скорость окисления в зависимости от характеристик утяжелителя и водной среды;
- провести анализ основных точек и причин потерь ферросилиция в процессе тяжелосредной сепарации на ОФ №3 МГОКа;
- изучить изменения физических и физико-химических характеристик ферросилициевой суспензии при ее барботаже различными газовыми средами.
- разработать и апробировать в условиях ОФ №3 Мирнинского ГОКа способа повышения сохранности технологических свойств ферросилиция.
- выполнить оценку экономической эффективности разработанного способа повышения сохранности технологических свойств ферросилиция в операциях приготовления и хранения ферросилициевой суспензии.

Положения, выносимые на защиту:

1. Вероятностно-статистическая математическая модель процесса окисления ферросилиция, разработанная для различных форм дифференциальной кривой распределения частиц по размерам, позволяющая описать кинетику формирования окисленного слоя на поверхности ферросилициевых зерен в водной среде.
2. Снижение технологических свойств суспензии ферросилиция и его повышенные потери обусловлены уменьшением величины намагниченности насыщения ферросилициевых зерен и образованием шламовых частиц

крупностью меньше 10-12 мкм вследствие процессов окисления зерен ферросилиция, существенно интенсифицирующихся при повышенных концентрациях в жидкой фазе хлоридных ионов и растворенного кислорода, поступающего в водную среду с воздухом, используемым для перемешивания суспензии.

3. Эффективный способ повышения сохранности технологических свойств ферросилиция в условиях применения агрессивных водных сред, включающий использование электрохимически инертного газообразного азота в качестве барботажного агента для перемешивания ферросилициевой суспензии в цикле ее приготовления и хранения.

Научная новизна работы:

1. Разработанная математическая модель окисления частиц ферросилиция в водной среде, включающая системы уравнений, отображающих зависимости потери магнитных свойств утяжелителя от времени окисления в водных средах, учитывает характеристики распределения частиц по размерам в исходном ферросилиции.

2. Установлены зависимости снижения магнитных свойств ферросилиция различного дисперсного и химического состава в условиях варьирования ионно-молекулярного состава водной среды, позволяющие произвести выбор марок ферросилиция, наиболее устойчивых к окислению в технологических операциях при использовании агрессивных хлоридных оборотных вод.

2. Установлены зависимости снижения магнитных свойств зерен ферросилиция при окислении в водных средах, насыщенных различными типами газовой среды, позволяющие обосновать применение электрохимически инертного газа – азота в качестве барботажного агента в операциях хранения и перемешивания суспензии в технологических схемах тяжелосредной сепарации алмазосодержащих кимберлитов.

Методы исследований: Для решения поставленных задач использовались следующие современные физико-химические и технологические методы:

- рентгеноспектральный микроанализ ферросилиция для определения химического состава образцов;
- метод капельного электрофореза для определения содержания катионов и анионов в оборотных водах;
- метод потенциометрии и амперометрии для определения концентрации растворенного кислорода в исследуемых водных системах, величины значений их рН и Eh;
- метод седиментации для определения содержания шламовых частиц (крупность менее 10 - 12 мкм) в суспензиях;
- метод вибрационной магнитометрии для определения магнитных свойств ферросилиция;
- метод лазерной дифракции для определения распределения частиц ферросилиция по размерам;
- технологические исследования процессов в цикле ТСС проведены на лабораторных аппаратах и промышленных установках в условиях ОФ №3 Мирнинского ГОКа.

Объекты исследований:

- процессы подготовки, хранения и регенерации ферросилициевой суспензии в схеме тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья;
- процессы тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья.

Предметы исследований:

- гранулированный и измельченный ферросилиций различных производителей;
- минерализованные оборотные воды обогатительных алмазоизвлекающих фабрик;
- жидкая фаза ферросилициевой суспензии в операциях тяжелосредной сепарации на обогатительных алмазоизвлекающих фабриках.

Достоверность результатов обеспечивается представительностью исходных данных; использованием современных средств проведения исследований, использованием достоверных и аттестованных методик

выполнения измерений. Подтверждается согласованностью выводов теоретического анализа и данных эксперимента, удовлетворительной сходимостью результатов экспериментальных исследований.

Личный вклад автора состоит:

- в проведении анализа современных методов интенсификации процесса 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.

Практическая значимость: Разработан способ повышения эффективности тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья за счет снижения интенсивности окисления ферросилиция, предполагающий применение азота в качестве барботажного агента в операциях приготовления и хранения суспензии, обеспечивающий сокращение потерь ферросилиция на 5%. Разработан алгоритм количественной оценки интенсивности процессов окисления различных марок ферросилиция в водной среде.

Реализация результатов работы: Разработанный способ повышения эффективности тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья испытан и внедрен на обогатительной фабрике №3 Мирнинского ГОКа, где обеспечил снижение потерь ферросилиция с ожидаемым экономическим эффектом 2,9 млн. рублей в год.

Апробация работы: Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных семинарах ИПКОН РАН, международных совещаниях «Плаксинские чтения» (2015-2016 гг.); научном симпозиуме «Неделя горняка» (2016 г.); Международной научной школе молодых ученых и специалистов (2015-2016 гг.).

По теме диссертационной работы опубликовано 7 научных работ, в том числе 2 – в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Объем работы: Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка обозначений и сокращений, списка использованных источников из 101 наименований, содержит 48 рисунков и 16 таблиц.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЯЖЕЛОСРЕДНОЙ СЕПАРАЦИИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КИМБЕРЛИТОВ И МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ

В схемах первичной переработки алмазосодержащих кимберлитов на обогатительных фабриках АК «АЛРОСА» и горнопромышленных предприятиях алмазодобывающих стран (Ботсвана, Канада, ЮАР, Ангола) все чаще применяют процесс обогащения в тяжелых суспензиях для выделения алмазов в грубый концентрат, постепенно заменяя им процесс отсадки [54].

1.1. Особенности и преимущества применения тяжелосредного обогащения

Процесс обогащения в тяжелых суспензиях заключается в разделении рудного материала по плотности отдельных кусков в гравитационном, либо центробежном полях в суспензии, имеющей промежуточную плотность между тяжелой и легкой фракциями. Тяжелые суспензии, применяемые в процессах обогащения, представляют собой механическую взвесь тонкодисперсных частиц тяжелых минералов или сплавов (утяжелителей) в воде. В этом отношении тяжелосредная сепарация отличается от других процессов гравитационного обогащения, где среда (вода) имеет плотность ниже, чем составляющие компоненты руды.

В настоящее время уделяется большое внимание совершенствованию этого процесса. Однако до сих пор возможности процесса тяжелосредного обогащения полностью не используются.

На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны новые модели, которые использованы при математическом анализе механизма разделения зерен в суспензии. Значительный вклад в разработку этого процесса, технологический расчет и конструирование сепараторов, управление процессом внесен отечественными учеными И.Н. Плаксиным, А.Г. Лопатиным, В.Н.

Шохиным, В.И. Класеном, Г.Д. Красновым и др. [48, 59, 97, 98]. Особое место в разработке технологии и внедрении ее в практику принадлежит коллективу лаборатории обогащения алмазосодержащих руд под руководством к.т.н. Кулебякина Н.М. (АО «Иргиредмет») [61].

Эффективность разделения в тяжелых суспензиях, как правило, выше эффективности обогащения на отсадочных машинах и зависит от вещественного состава руды, физических свойств суспензии, типа сепараторов, крупности обогащаемого материала.

Диапазон крупности руды, обогащаемой тяжелосредной сепарацией, достаточно велик. Крупная руда (3 - 500 мм), в основном, перерабатывается в аппаратах статического разделения, а мелкая (0,5 - 25 мм) - в аппаратах динамического (или центробежного) разделения [67].

При динамической сепарации силы, разделяющие тяжёлые и лёгкие частицы, значительно больше. В гидроциклоне центробежная сила, действующая на частицу на входе, в 20 раз выше, чем сила тяжести в статических сепараторах. Эта возрастающая сила действует не только на разделяемую руду, но и на среду, и плотность среды, вытекающей через песковую насадку (тяжелая фракция), значительно выше, чем на входе. И как следствие, наоборот, плотность среды у сливного патрубка (лёгкая фракция) значительно ниже, чем на входе [83, 39, 7].

Тяжелосредная сепарация, контролируемая должным образом, имеет высокую точность разделения при плотности в пределах выбранной среды и очень высокую эффективность, даже в присутствии большой доли минералов близкой плотности. Плотность сепарации можно точно и быстро регулировать при обычных условиях. Как и большинство других процессов гравитационного обогащения, тяжелосредная сепарация является системой операций. Эффективная и экономичная работа системы обусловлена серией взаимосвязанных операций, таких как: подготовка питания, подача питания и среды, разделение тяжелых и легких частиц, выделение продукта, регенерация среды.

При подготовке питания процесса тяжелосредной сепарации руду подвергают грохочению для отделения тонких частиц и шламов. После

разделения тяжелую и легкую фракции удаляют отдельно и отделяют от среды на неподвижных или вибрационных грохотах; среду или непосредственно возвращают в систему, или предварительно очищают. Затем легкую и тяжелую фракции промывают на вибрационных грохотах для удаления оставшейся налипшей тяжелой среды. Подрешётные продукты промывочных грохотов слишком разбавлены и загрязнены для того, чтобы их вернуть прямо в процесс в качестве утяжелителя. Их обрабатывают отдельно или совместно на магнитных сепараторах для отделения магнитного ферросилиция или магнетита от немагнитных шламов. Восстановленную, очищенную среду сгущают до требуемой плотности в соответствующем классификаторе и непрерывно возвращают в цикл сепарации. Уплотненная среда проходит через размагничивающую катушку, что обеспечивает получение нефлокулированной однородной суспензии [35, 71].

Правильный выбор среды и её эффективный контроль в отношении, как консистенции, так и физических параметров весьма существенны для эффективного действия системы.

Существуют несколько областей применения тяжелосредной сепарации. Удаление пустой породы перед тонким измельчением руды, приводящее к снижению общих эксплуатационных расходов и нередко к повышению технологических показателей. Применение этого метода способствует интенсификации горных работ, вовлечению в эксплуатацию бедных руд; получаемая пустая порода может быть реализована в качестве строительного материала. Благодаря относительно низкой себестоимости обогащения в тяжелых суспензиях, снижается общая стоимость переработки руды на фабриках в среднем на 15-20%. Тяжелосредная сепарация может быть использована для получения товарного продукта, например, при обогащении угля, железных руд, марганцевых руд. В других случаях тяжелосредная сепарация применяется для предварительного обогащения и в таком качестве имеет особенно важное значение для извлечения алмазов [83].

Алмазы являются, одними из наиболее ценных минералов, учитывая их уникальные свойства, возможность использования в особо ответственных областях техники и применения в качестве валютного эквивалента [71, 62, 21, 42, 28].

При обогащении алмазосодержащих руд в тяжелых суспензиях в тяжелую фракцию выделяется значительная часть свободных кристаллов алмазов (вместе с сопутствующими тяжелыми минералами), что предотвращает их от повреждений в последующих стадиях переработки. Незначительный выход тяжелой фракции (0,5 – 2,0% от исходного продукта) и высокая стоимость алмазов обуславливают высокую эффективность разделения этого процесса [88, 33].

1.2. Свойства тяжелых суспензий

Практически суспензия должна быть доступной по количеству, относительно недорогой, нетоксичной, не приводить к коррозии оборудования, образовывать стабильные смеси с водой, не изменять свои физико-химические свойства, смешиваться полностью с водой, отмываться от продуктов струей воды под давлением, способной к регенерации, регулируемой в диапазоне плотности [83].

Суспензии, применяемые в практике обогащения, разделяются на две основные группы:

- бесструктурные, взаимодействие в которых между частицами отсутствует (малое содержание твердого, добавка пептизаторов); по реологическим свойствам эти суспензии приближаются к жидкостям;

- структурные, в которых частицы твердой фазы взаимодействуют друг с другом; по реологическим свойствам эти суспензии приближаются к вязкопластичным системам.

В бесструктурных суспензиях вязкость суспензии больше вязкости дисперсионной среды и возрастает с увеличением концентрации дисперсной

фазы. Кроме того, твердые частицы, адсорбируя некоторое количество жидкой фазы, уменьшают ее свободный объем [69, 18].

Одной из наиболее распространенной формулой для определения вязкости суспензии, применяемой в процессе тяжелосредной сепарации, является формула Ванда:

$$\mu_c = \mu_0 (1 + 2,5C + 7,35C^2 + 16,2C^3), \quad (1.1)$$

где C - объемная концентрация твердой фазы, доли ед;

μ_0 - коэффициент вязкости жидкой фазы, мПа·с.

Поскольку концентрация твердого в суспензиях, применяемых на практике, не должна превышать 40%, то в формуле Ванда обычно пренебрегают членами высшего порядка, ограничиваясь третьей степенью [77].

Формула (1.1) применима в пределах концентрации C равной $0 \div 0,4$. На практике нормальные условия разделения обеспечиваются при величине μ_c не превышающей 0,007 Па·с.

Для структурных суспензий различают следующие два типа структур: образующиеся вследствие повсеместного соприкосновения частиц дисперсной фазы высокой концентрации (например, эмульсии, пасты и т.д.) и образующиеся вследствие локального соприкосновения частиц, имеющих неправильную форму, при концентрациях, недостаточных для образования структур первого типа.

Применяемые в процессах обогащения суспензии образуют структуры второго типа. При этом коэффициент вязкости μ зависит от:

- удельной поверхности и объемной концентрации утяжелителя;
- химической природы утяжелителя и формы частиц;
- наличия поверхностно-активных веществ в пульпе, например, флотационных реагентов-собирателей;
- наличия специальных реагентов-пептизаторов.

С технологической точки зрения структурные суспензии, применяемые в процессах обогащения, могут быть разделены на три типа: слабоструктурные ($\mu_0 < 3$ Па); структурные ($3 < \mu_0 < 8$ Па); сильноструктурные ($\mu_0 > 8$ Па).

При высокой скорости движения суспензии в гидроциклоне устраняется структурообразование, а под действием центробежных сил ускоряется расслоение материала. Плотность исходной рабочей суспензии в гидроциклоне обычно на 200 - 300 кг/м³ ниже, чем при разделении того же материала в гравитационном поле [15, 16, 83, 103, 37, 82, 36, 52].

Устойчивостью суспензии называют способность ее сохранять заданную плотность в различных по высоте слоях. Бесструктурные суспензии являются крайне неустойчивыми системами. По мере увеличения структурообразования в суспензии или повышения объемного содержания в ней твердого повышается и ее устойчивость. В практике обогащения обычно применяют неустойчивые суспензии, поэтому для поддержания заданной плотности по высоте ванны создают циркулирующие потоки. Требуемая скорость циркуляции рассчитывается по данным лабораторных исследований.

Максимальная разница плотностей в верхней и нижней зоне ванны сепаратора составляет 100 - 200 кг/м³. Отсутствие этой разницы в плотностях указывает на то, что в суспензии произошло сильное структурообразование. Устойчивость системы повышается при добавке в нее тонких классов утяжелителя и рудных шламов. Необходимая устойчивость суспензии обеспечивается соответствующей степенью обесшламливания исходного материала, направляемого на разделение [51]. Иногда добавляют 1-3% глинистых материалов или применяют смесь утяжелителей различной плотности (например, смесь ферросилиция с магнетитом или пирротином) [64].

Граница разделения обогащаемого материала на легкую и тяжелую фракции определяется плотностью суспензии.

Плотность суспензии (кг/м³) определяют по формуле:

$$\rho_c = C (\rho_y - 1) + 1, \quad (1.2)$$

где C - объемная концентрация утяжелителя, доли ед.;

ρ_y - плотность утяжелителя, кг/м³.

Максимальная плотность суспензии определяется максимально возможным объемным содержанием утяжелителя.

Максимальная плотность суспензии, которая может быть получена при использовании в качестве утяжелителя гранулированного ферросилиция при содержании в нем до 90% сферических частиц, составляет 3,5 кг/м³.

Плотность рабочей суспензии зависит от следующих параметров:

- реологических свойств суспензии. При бесструктурных суспензиях плотность рабочей суспензии поддерживается обычно несколько выше, чем при структурных, вследствие более интенсивного осаждения утяжелителя на кусках породы. При несколько меньшей плотности рабочей суспензии в структурных суспензиях увеличивается скорость и кинетическая энергия кусков, что способствует преодолению сопротивления суспензии сдвигу. Если необходимо получить чистую тяжелую фракцию из легкообогатимой руды, эффективная плотность разделения повышается путем увеличения структурообразования в суспензии [102]:

- времени пребывания руды в сепараторе и интенсивном налипании утяжелителя на куски;

- крупности обогащаемого материала. Для мелких классов плотность суспензии устанавливается ниже, чем для крупных (той же руды);

- плотности кусков обогащаемой руды. В тех случаях, когда встречаются трещиноватые, ноздреватые породы, включающие закрытые поры и пустоты, плотность кусков ниже, чем плотность данной руды в монолите, и соответственно должна быть ниже плотность суспензии, при которой происходит выделение легкой фракции;

- минералого-петрографической характеристики исходной руды.

При незначительном содержании в руде промпродуктовых фракций и резкой разнице в плотности породы и тяжелых полезных минералов показатели процесса обогащения практически не зависят от изменения плотности суспензии до определенного предела. И наоборот, при равномерном распределении в руде

фракций различной плотности незначительное отклонение плотности суспензии от заданной приводит к изменению технологических показателей.

Окончательно оптимальную плотность рабочей суспензии подбирают в процессе промышленной эксплуатации установки в зависимости от конкретных условий обогащения и требований к качеству полезного продукта.

1.3. Утяжелители для тяжелосредной сепарации

Утяжелители должны соответствовать определенным требованиям: обладать достаточно высокой плотностью, быть химически инертными, не растворяться в воде, легко отделяться от продуктов обогащения, легко извлекаться при регенерации, быть недорогими и недефицитными, не содержать вредных компонентов, ухудшающих качество концентратов [38, 2].

В качестве утяжелителей суспензии в мировой практике обогащения используют: минералы (пирит, пирротин, барит, магнетит, галенит), сплавы (ферросилиций, металл-свинец). Нередко применяют смесь минералов и сплавов.

Характеристика утяжелителей, применяемых на практике, приведена в таблице 1.1 [12, 54, 2].

Таблица 1.1 - Характеристика утяжелителей, применяемых при обогащении в тяжелых средах

Утяжелитель	Плотность утяжелителя, кг/м ³	Максимальная плотность суспензии, кг/м ³
Барит	4400	2200
Пирротин	4600	2300
Пирит	5000	2500
Магнетит	5000	2500
Ферросилиций марки ФС15 (измельченный)	6900	3100
Ферросилиций марки ФС15Г (гранулированный)	6900	3500
Галенит	7500	3300

Крупность частиц, составляющих среду, также важна, так как выше отмечено ее влияние на взаимосвязь плотности суспензии и вязкости суспензии.

При обогащении руд максимальная крупность ферросилиция не должна быть выше 0,15 мм [2].

В настоящее время для обогащения алмазосодержащих руд на обогатительных фабриках АК «АЛРОСА» применяется гранулированный ферросилиций, так как рабочая плотность суспензии составляет от 2700-2900 кг/м³ в зависимости от перерабатываемой руды [19].

Зерна гранулированного ферросилиция в отличие от измельченного представлены в большинстве своем округлыми формами, что оказывает влияние на полноту отмывки от продуктов разделения и уменьшение интенсивности окисления [11, 19, 41].

1.4. Причины потерь ферросилиция в процессах тяжелосредного обогащения

Современные секции тяжелосредного обогащения на алмазодобывающих предприятиях комплектуются дорогостоящими импортными модульными установками, для которых ферросилиций закупается за рубежом по достаточно высокой цене. В связи с этим потери вследствие окисления и разрушения применяемого дорогостоящего утяжелителя, возникающие в технологическом процессе обогащения, приводят к удорожанию себестоимости извлекаемых алмазов [6].

Технологические потери ферросилиция составляют от 100 до 750 г/т, в том числе с продуктами обогащения 30-600 г/т, с хвостами регенерации 40-80 г/т; механические - 30-40 г/т [54, 82, 105].

При анализе литературных данных были выявлены факторы, влияющие на потери ферросилиция. К ним относятся:

- качество оборотной воды (примеси, температура, кислотнo-основные свойства (рН), окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), растворенный

кислород, ионный состав и др.) оказывает прямое воздействие на появление различных видов коррозии, приводящих к разрушению железа и кремния составляющих ферросилиций, увеличению вязкости суспензий, росту потерь ферросилиция в технологических процессах и процессах регенерации, снижению извлечения алмазов [100];

- вовлечение в промышленную переработку россыпных и техногенных месторождений, а также месторождений, кимберлиты которых подверглись активному вторичному изменению, влияет на формирование ионного состава и физико-химической характеристики оборотной воды и, соответственно, на состояние гранул ферросилиция в водных системах и технологические показатели процесса тяжелосредной сепарации [26, 99];

- механическое воздействие на утяжелитель при контакте частиц ферросилиция с насосным оборудованием и перемешивании приводит к уменьшению крупности частиц. При этом происходит истирание окисленной пленки на поверхности частиц ферросилиция, что приводит к повышению интенсивности окисления [64, 4, 104];

- контакт ферросилиция с воздухом в процессе перемешивания суспензии на время остановки оборудования ТСС приводит к увеличению безвозвратных потерь его в процессе последующей регенерации за счет снижения магнитной восприимчивости частиц [26, 87]. Окисление ферросилиция сказывается на увеличении структурообразования и вязкости суспензии, что снижает эффективность процесса ТСС [102];

- потери гранулированного ферросилиция также зависят от полноты отмывки ферросилиция от продуктов тяжелосредного гидроциклона [46, 47, 66];

- потери гранулированного ферросилиция с немагнитной фракцией магнитного сепаратора зависят от полноты извлечения в схеме регенерации ферросилициевой суспензии [46, 47, 27, 10, 13, 45].

1.5. Способы стабилизации технологических свойств утяжелителя в процессе тяжелосредной сепарации

Основной проблемой в области сохранения технологических свойств является окисление утяжелителя, вследствие чего ухудшаются реологические свойства суспензии и растут безвозвратные потери в процессе тяжелосредной сепарации [101, 62, 84].

В литературных источниках были найдены упоминания о следующих способах сохранения технологических свойств ферросилиция и ферросилициевой суспензии в процессе тяжелосредной сепарации:

1. Использование в процессе ТСС ферросилиция с частицами округлой формы и оптимальной крупностью изначально предопределяет структурно-механические свойства суспензий. Суспензия из частиц округлой формы имеют при высокой плотности более низкую вязкость, чем суспензия из частиц неправильной формы [19, 81, 62].

2. В качестве основополагающих работ по проблеме стабилизации технологических свойств ферросилиция химическими реагентами выступают работы коллектива под руководством Плаксина И.Н. и Классена В.И. [49, 73, 11].

В работе Белых З.П. [11] было установлено, что по механизму действия реагенты-ингибиторы могут быть разделены на следующие основные классы:

- реагенты-ингибиторы, модификаторы поверхностного слоя, интенсивно удаляют слой продуктов окисления с поверхности зерен ферросилиция. К этому классу реагентов следует отнести триполифосфат натрия и гексаметафосфат натрия, которые отшламовывают слой гидроокислов железа и этим очищают поверхность зерен ферросилиция.

- реагенты-ингибиторы, образующие защитные пленки на поверхности зерен ферросилиция. При этом затрудняется ионизация кислорода на поверхности зерен и препятствует обмену ионов через границу раздела твердой и жидкой фаз.

- реагенты-ингибиторы, создающие восстановительную среду в суспензии и препятствующие развитию окислительных процессов. К таким реагентам следует отнести нитрит натрия.

- реагенты-ингибиторы адсорбционные, адсорбируются на поверхности зёрен ферросилиция и тем самым снижают химическую активность поверхности зерна.

В работе [11] было показано, что все эти реагенты могут быть использованы для снижения химической активности зерен суспензии.

Реагенты, применяемые для изменения и стабилизации реологических свойств суспензий, по характеру действия и назначению можно разделить на две группы: электролиты и защитные высокомолекулярные вещества. Следует учитывать, что избыточное содержание реагентов в суспензии может быть причиной чрезмерного увеличения толщины гидратных оболочек, что вследствие резкого уменьшения сил взаимного притяжения частиц ферросилиция приводит к падению прочности структуры и ее нарушению, т.е. к коагуляции [8, 70, 74].

Установлено положительное воздействие вибрационных воздействий на суспензию, применяемую в процессе ТСС. Применение вибрационных воздействий при переработке углей и руд повышает устойчивость суспензии и увеличивает эффективность процесса разделения в тяжелых средах [58, 57, 56]. Данный метод также может быть применен для уменьшения нижнего предела крупности обогащаемого материала, что наиболее актуально в связи с увеличением объемов переработки бедных руд в мировой практике обогащения полезных ископаемых.

В сфере применения физических полей для изменения и стабилизации технологических свойств утяжелителя были выполнены нижеперечисленные работы.

Результаты исследований воздействия электроимпульсной дефлокуляции магнитных пульп и суспензий показали, что этот процесс может быть использован для оптимизации передела ТСС [63].

В работах Калюжной Р.В. рассмотрено влияние внешнего магнитного поля низкой напряженности на реологические свойства ферромагнитной суспензии, сформированной из частиц различной крупности магнетита [43]. Полученные автором данные предложено использовать для оптимизации технологических параметров процесса магнитно-гравитационной сепарации, но полученные зависимости можно отнести и к процессу ТСС.

В работах ученых ИПКОН РАН по интенсификации технологических процессов алмазодобывающих фабрик показано положительное влияние электрохимического кондиционирования жидкой фазы в процессах измельчения руды, тяжелосредной, пенной и липкостной сепараций [44, 92, 50, 65, 30, 29, 31, 32, 44].

В области интенсификации процесса тяжелосредной сепарации электрохимическим методом следует отметить работу Чернышевой Е.Н. по воздействию продуктов диафрагменной обработки оборотной воды с целью предотвращения коррозии и снижения потерь утяжелителя в цикле регенерации ферросилициевой суспензии [96].

Однако, описанные выше способы стабилизации технологических свойств ферросилиция не нашли широкого применения в практике тяжелосредного обогащения алмазосодержащих руд по экономическим аспектам, а также большого объема высокоминерализованной оборотной воды, циркулирующей в процессе тяжелосредной сепарации.

Выводы к главе 1

На основании выполненного анализа научно-технических и научно-исследовательских работ по вопросам повышения эффективности тяжелосредной сепарации сделаны следующие выводы:

1. Диапазон крупности руды, обогащаемой тяжелосредной сепарацией, высокая точность разделения и эффективность при незначительном выходе тяжелой фракции (0,5 – 2,0% от исходного продукта) обуславливают высокую перспективность этого процесса.

2. В условиях возрастающего использования процесса тяжелосредного обогащения алмазосодержащего сырья мелких классов различных месторождений возрастает актуальность повышения сохранности ферросилиция путем регулирования и стабилизации физико-химических свойств используемых водных систем и компонентов тяжелых суспензий.

3. Учитывая факт вовлечения в промышленную переработку россыпных и техногенных алмазных месторождений, характеризующихся присутствием вторично изменённых минералов с высокой растворимостью, обуславливающих сложный компонентный состав оборотных вод, задача стабилизации технологических свойств водных систем и, соответственно, суспензий является весьма актуальной.

4. 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 и, соответственно, обеспечить повышение его технологических свойств.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данном разделе представлена характеристика процесса ТСС на ОФ №3 МГОКа и описание методов исследования образцов ферросилиция, оборотных вод и ферросилициевых суспензий. Представлена аппаратура для изучения рассматриваемых объектов и предметов исследований.

2.1. Характеристика процесса тяжелосредной сепарации на обогатительной фабрике №3 Мирнинского ГОКа

Процесс тяжелосредной сепарации на обогатительной фабрике №3 Мирнинского ГОКа реализуется по технологической схеме, представленной на рисунке 2.1, в установке, состоящей из двух идентичных обогатительных модулей, каждый производительностью по 150 т/час.

Процесс тяжелосредной сепарации начинается с грохочения питания для удаления шламов, которые не удалось эффективно удалить в процессе подготовительного грохочения обогатительной фабрики. Материал с грохота крупностью (+ 1,2 мм) поступает в смешивающую камеру ТСС, а сгущенный продукт спускается самотеком в зумпф пенной сепарации. В смешивающей камере обесшламленное питание соединяется с ферросилициевой суспензией, и нагнетается насосом в тяжелосредный гидроциклон. Сепарация выполняется в тяжелосредном гидроциклоне при заданной плотности рабочей суспензии. Два потока из циклона проходят через грохот промывки для отделения частиц ферросилициевой суспензии и продуктов разделения тяжелосредного гидроциклона (концентрата и легких фракций). Ферросилициевая суспензия, слитая с грохотов, возвращается в зумпф рабочей суспензии. Ферросилициевая суспензия, получившаяся после промывки продуктов разделения (концентрата и легких фракций), становится разбавленной вследствие добавления промывочной воды и собирается в зумпфе разбавленной суспензии для извлечения ферросилиция на магнитном сепараторе.

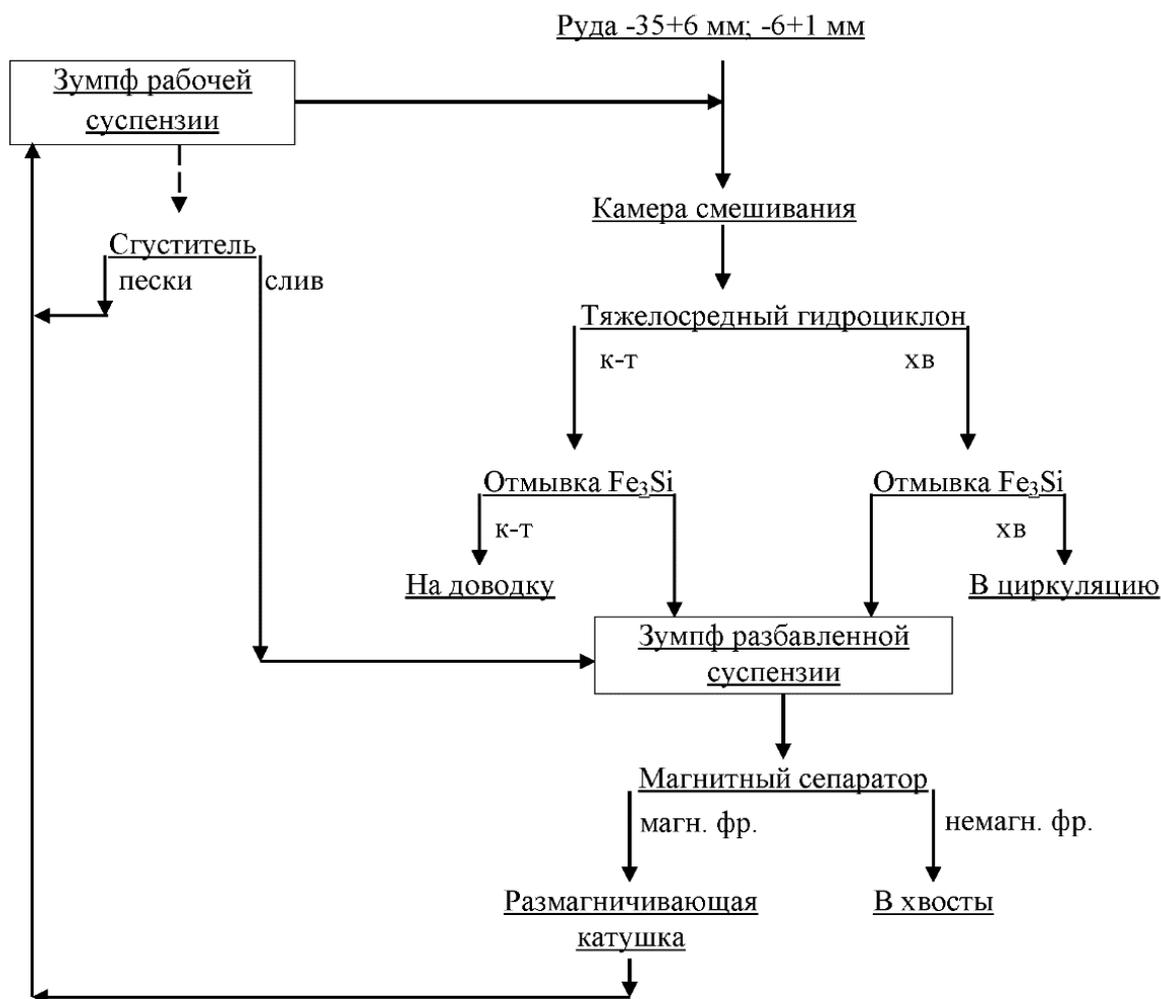


Рисунок 2.1. Принципиальная технологическая схема ТСС ОФ№3 МГОКа АК «АЛРОСА»

Сгущенный продукт, полученный на поверхности барабана магнитного сепаратора, возвращается в зумпф рабочей суспензии через размагничивающую катушку [17, 34, 35].

При необходимости увеличения плотности рабочей суспензии, сгущающий цикл запускают с повышенным сливом в цикл разбавленной суспензии. Когда плотность среды больше, чем заданное значение, открывается клапан автоматического регулирования разбавления среды.

2.2. Методы исследований водных систем, ферросилиция и суспензий на их основе

Определение концентрации растворенного кислорода в исследуемых водных системах, величины их рН и ОВП выполнено методом потенциометрии с использованием автоматического рН-метра/милливольтметра МАРК-901.

Насыщение исследуемых суспензий кислородом воздуха производилось методом барботажа с использованием лабораторного компрессора.

Плотность ферросилициевой суспензии определяли расчетным методом по формуле:

$$Q = V_c \delta \frac{(\Delta - 1000)}{(\delta - 1000)}, \quad (2.1)$$

где: Q – масса ферросилиция в 1 м³ воды для приготовления суспензии, кг;

V_c – объем суспензии, м³;

δ – плотность утяжелителя, кг/м³;

Δ – плотность суспензии, кг/м³.

В расчетах плотность оборотной воды условно была принята равной 1000 кг/м³, плотность ферросилиция – 6800 кг/м³.

После преобразования формулы получаем плотность суспензии равную:

$$\rho_{\text{суспензии}} = 1000 + Q/1,172 \quad (2.2)$$

Из данных, представленных на рисунке 2.2, видно, что для получения 1 м³ суспензии (ферросилиций + оборотная вода) с плотностью около 2700 кг/м³ потребуется около 1992,4 кг (0,293 м³) ферросилиция и 0,707 м³ оборотной воды. Таким образом, в лабораторных условиях для приготовления 1-го литра суспензии потребуется 1992,4 грамма ферросилиция и 0,707 литра воды.

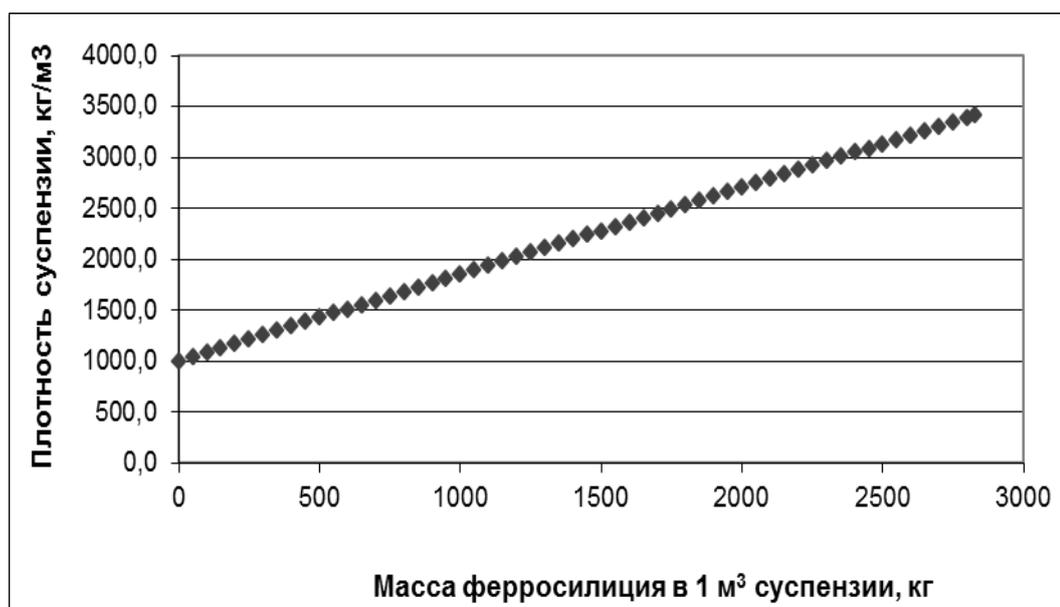


Рисунок 2.2 - Изменение плотности суспензии ферросилиция в зависимости от массы загружаемого ферросилиция в 1 м³ суспензии

Однако после приготовления в лабораторных условиях суспензии с плотностью 2700 кг/м³ выяснилось, что после осаждения ферросилиция на дно мерных цилиндров (посуды) сверху остается незначительное количество осветленной воды, что сделало бы затруднительным выполнение многократных замеров ее pH и Eh, концентрации в ней кислорода, а также выполнение каких-либо анализов, требующих значительного объема воды. В связи с этим, исследования по изучению реологических свойств ферросилициевых суспензий и магнитных свойств ферросилиция в условиях применения различных видов физико-химических воздействий были выполнены на суспензиях с плотностью 1950 кг/м³.

Определение магнитных свойств исследуемых материалов (удельная намагниченность насыщения) производилось методом магнитометрии с использованием вибрационного магнитометра Lake Shore 7400 VSM (Рисунок 2.3) в лаборатории АНО «ЦНИИКС» [40].

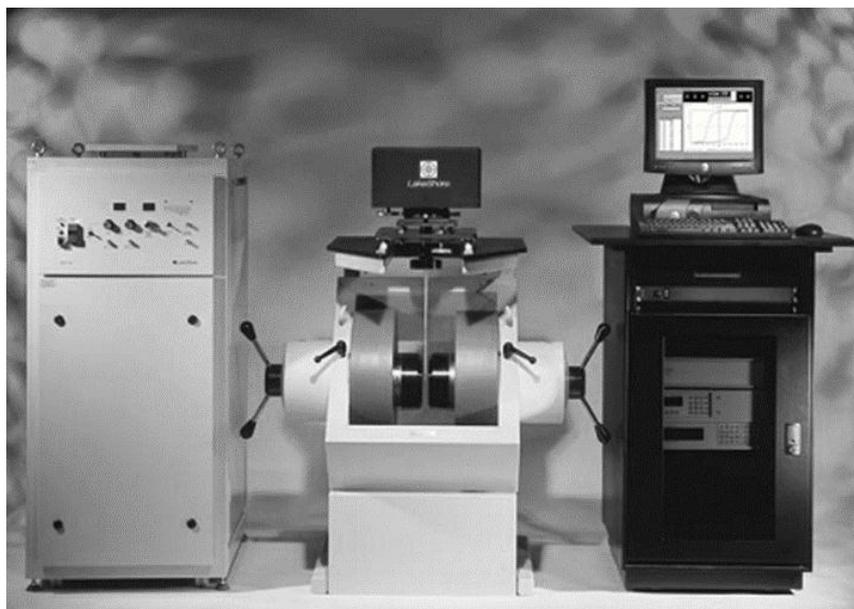


Рисунок 2.3. – Вибрационный магнитометр Lake Shore 7400 VSM

Определение размера частиц исходного ферросилиция (интегральное и дифференциальное распределение) было произведено методом лазерной дифракции на лазерном дифракционном анализаторе размера частиц Fritsch Analysette 22 (Рисунок 2.4).

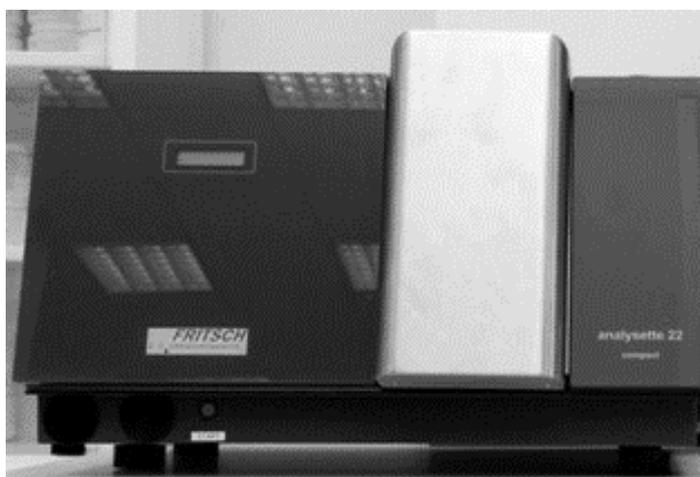


Рисунок 2.4. – Анализатор размера частиц Fritsch Analysette 22.

Долю шламовых частиц (крупность менее 12 мкм) в исследуемых ферросилициевых суспензиях определяли следующим образом: после осаждения ферросилиция в суспензии в момент начала процесса уплотнения его осадка

верхний осветленный слив суспензии сливался и высушивался. Далее оставшийся сухой твердый осадок ферросилиция и продуктов его разрушения взвешивались.

При этом расчет крупности тонкого (шламового) ферросилиция, остающегося в сливе суспензии (скорость осаждения менее 0,5 мм/с.) при полном осаждении гранул исходной крупности, выполнен с учетом следующих условий:

- из-за малого размера частиц режим движения частиц принят ламинарный;
- так как тонкие частицы оседают в относительно небольшом количестве за плотность и вязкость среды приняты плотность и вязкость чистой воды, а режим осаждения – свободный.

Таким образом, за основу расчета принята сила сопротивления среды, определяемая законом Стокса. При этом с момента уравнивания гравитационной силы (разница силы тяжести и подъемной силы) и силы сопротивления при ламинарном режиме обтекания зерна ферросилиция конечная скорость определяется из уравнения:

$$\frac{\pi d^3}{6} (\delta - \Delta) g = 3\pi \mu v_0 d, \quad (2.3)$$

откуда:

$$d^2 = \frac{18\mu v_0}{(\delta - \Delta)g}, \quad (2.4)$$

где v_0 – установившееся скорость осаждения частицы ферросилиция, м/с;

μ – вязкость среды, Па*с;

δ – плотность частицы ферросилиция, кг/м³;

Δ – плотность среды, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Тогда:

$$d^2 = \frac{18\mu v_0}{(\delta - \Delta)g} = \frac{0.0005 * 18 * 0.00101}{(6800 - 1000) * 9.8} = 1.55 * 10^{-10} \text{ м}$$

$$d = 1.2 * 10^{-5} \text{ м} = 12 \text{ мкм}$$

Необходимо отметить, что с целью получения достоверных результатов каждое измерение любого из вышеперечисленных параметров (величин) в процессе выполнения настоящих исследований проводили не менее семи раз [76].

Методом капельного электрофореза в лаборатории АНО «ЦНИИКС» анализировали содержание катионов: аммония, калия, натрия, лития, магния, стронция, бария, кальция и др.; анионов: хлорид-, нитрит-, сульфат-, нитрат-, фторид-, фосфат-ионов и др. (Рисунок 2.5). Метод капиллярного электрофореза основан на разделении компонентов сложной смеси в кварцевом капилляре под действием приложенного электрического поля и применяется для анализа природных, питьевых и сточных вод [24].



Рисунок 2.5. – Система капиллярного электрофореза "Капель-105М"

В диссертационной работе был использован метод растровой электронной микроскопии и локального рентгеноспектрального микроанализа (РЭМ/РСМА), с помощью которого возможно определение элементного состава образцов ферросилиция. Исследования были выполнены в лаборатории НИГП АК

«АЛРОСА» на сканирующем электронном микроскопе (TESCAN MIRA 3 LMU), оснащенный энергодисперсионным микроанализатором (Рисунок 2.6).



Рисунок 2.6. – Сканирующий электронный микроскоп TESCAN MIRA 3 LMU

Анализ влияния внешних факторов на реологические свойства суспензии заключался в сравнении параметра устойчивости (скорости осаждения) суспензий в различных условиях. Суспензия, с малой устойчивостью характеризуется более быстрым протеканием процессов коагуляции зерен твердой фазы и, как следствие, ухудшением ее технологических свойств. Определение устойчивости исследуемых суспензий ферросилиция (величина обратной скорости осаждения утяжелителя) было выполнено в лаборатории ОФ№3 МГОКа методом измерения средней скорости осаждения пробы ферросилиция одинакового объема до момента начала уплотнения образующего осадка ферросилиция на дне мерного цилиндра объемом $0,5 \text{ дм}^3$.

Выводы к главе 2

1. Выбран перечень объектов исследований, включающий процессы подготовки, хранения и регенерации ферросилициевой суспензии в схеме тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья, а также перечень предметов исследований, включающий исходный ферросилиций различных производителей, минерализованные оборотные воды обогатительных алмазоизвлекающих фабрик, ферросилициевые суспензии, приготовленные на основе исследуемых марок ферросилиция и водных систем.

2. Для определения ионного состава минерализованных оборотных вод обогатительных алмазоизвлекающих фабрик весьма эффективен метод капельного электрофореза.

3. Для проведения исследований магнитных свойств, химического и гранулометрического состава ферросилиция достаточно эффективно могут быть использованы современные методы анализа: рентгеноспектральный микроанализ, вибрационная магнитометрия, лазерная дифракция.

4. В лабораторных исследованиях для определения концентрации растворенного кислорода в исследуемых водных системах, величины их рН и Eh наиболее целесообразно применить методы потенциометрии и амперометрии, а для определения содержания шламовых частиц (крупность менее 10 - 12 мкм) в ферросилициевых суспензиях - метод седиментации.

ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЯ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Так как ферросилиций на обогатительную фабрику поступает от различных производителей, наблюдается непостоянство и нестабильность его состава, крупности и других технологических характеристик. [102, 104]. Возникает необходимость количественной предварительной оценки интенсивности процессов окисления ферросилициевых зерен в водных средах, отличающихся окислительно-восстановительными свойствами и ионным составом.

С этой целью выполнены исследования и создана модель процессов окисления поверхности ферросилиция в условиях контакта с исследуемыми водными системами.

3.1. Исследование оборотных вод и ферросилиция, применяемых на алмазоизвлекающих фабриках Западной Якутии для приготовления ферросилициевых суспензий

Для выяснения причин окисления ферросилиция методом капельного электрофореза выполнен анализ водных систем процесса ТСС обогатительных фабрик, перерабатывающих кимберлитовые руды Западной Якутии. Пробы предоставлены в рамках соответствующих договорных работ.

Отбор проб был выполнен из систем оборотного водоснабжения обогатительных фабрик, из которых были запитаны циклы тяжелосредной сепарации, в т.ч. операции приготовления и хранения суспензии.

Как видно из таблицы 3.1 изученные образцы оборотных вод характеризуются различной минерализацией:

1. Обратная вода ОФ №3 – высокая минерализация (33 г/л);
2. Обратная вода ОФ №8 – малая минерализация (4,45 г/л);
3. Обратная вода ОФ №12 – высокая минерализация (22,15 г/л);
4. Сытыканская вода ОФ №12 – не минерализованная (0,69 г/л);
5. Обратная вода ОФ №14 – малая минерализация (2,47 г/л);
6. Обратная вода ОФ №16 – высокая минерализация (22,71 г/л).

Таблица 3.1 – Характеристика технологических оборотных вод фабрик АК «АЛРОСА»

Название проб	pH	Eh, мВ	Сухой остаток г/дм ³	Cl ⁻ г/дм ³	SO ₄ ²⁻ г/дм ³	K ⁺ г/дм ³	Na ⁺ г/дм ³	Li ⁺ мг/дм ³	Mg ⁺⁺ г/дм ³	Sr ⁺⁺ г/дм ³	Ca ⁺⁺ г/дм ³	NH ₄ ⁺ г/дм ³	NO ₂ ⁻ г/дм ³	NO ₃ ⁻ г/дм ³
Оборотная вода ОФ №3	7,86	63,8	33,00	17,06	1,71	0,148	9,26	-	0,378	0,027	1,59	0,017	0,046	-
Оборотная вода ОФ №8	7,16	45,6	4,45	1,78	0,561	0,047	1,31	0,176	0,079	0,0077	0,342	0,005	0,0013	0,0054
Оборотная вода ОФ №12	7,31	103,6	22,15	12,06	1,27	0,74	1,387	4,379	1,87	0,086	2,93	0,005	0,142	0,095
Сытыканская вода ОФ №12	7,44	64,4	0,69	0,083	0,089	0,097	0,081	-	0,06	-	0,27	0,037	-	-
Оборотная вода ОФ №14	5,53	69,5	2,47	0,181	0,96	0,208	0,166	-	0,182	-	0,366	0,038	0,027	0,177
Оборотная вода ОФ №16	6,08	79,9	22,71	11,18	1,712	0,507	3,36	1,516	0,879	0,058	2,316	0,043	0,041	0,075

Таблица 3.2 - Характеристика ферросилиция, применяемого на фабриках АК «АЛРОСА»

Название пробы	Содержание компонента, масс. %											
	Fe	Si	C	O	Mn	Al	P	Ti	Cr	Cu	Na	V
Imexsar ЮАР	78,88	10,24	8,28	1,85	0,76	-	-	-	-	-	-	-
ОФ №8 (DMS Powder)	74,07	10,95	11,29	1,56	0,64	0,50	-	-	0,59	0,4	-	-
ОФ №3 (DMS Powder)	72,89	10,97	11,96	1,50	0,75	0,61	-	-	0,69	0,63	-	-
ОФ №16 (DMS Powder)	77,39	10,78	7,53	2,03	0,79	0,43	-	-	0,66	0,38	-	-
Washington Mills	76,23	11,95	5,82	2,05	0,25	0,83	0,44	3,03	-	-	-	0,4

В анионном составе оборотных вод преобладают хлорид-ионы активизирующие коррозионный процесс разрушая поверхностные защитные пленки на основе оксида железа и кремния.

В образцах оборотной воды ОФ №14 преобладает концентрация сульфат-ионов. В катионном составе преимущественно диагностированы ионы кальция, натрия магния.

Методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) на сканирующем электронном микроскопе TESCAN MIRA 3 LMU (НИГП АК «АЛРОСА») выполнен химический анализ проб ферросилиция применяемых на фабриках АК «АЛРОСА».

По данным элементного состава, представленного в таблице 3.2, было установлено, что поверхность зерен ферросилиция в условиях контакта атмосферой покрыта пассивирующими пленками на основе оксида железа и кремния. Сопоставительный анализ также показал, что легирующие компоненты – Al, Mn, Ti, Cr, V и др. – способствуют повышению коррозионной стойкости сплава, за счет образования пассивных пленок из их оксидов.

3.2. Исследование окисленных частиц ферросилиция

Для выявления причин интенсивного окисления гранулированного ферросилиция были проведены исследование поверхности исходных и окисленных зерен пробы, отобранной из процесса тяжелосредной сепарации ОФ№3 Мирнинского ГОКа. Исследования состава поверхности зерен ферросилиция проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа (TESCAN MIRA 3 LMU) в лаборатории НИГП АК «АЛРОСА».

Результаты исследований показали, что исходный ферросилиций (Рисунок 3.1) имеет однородную текстуру от центра к его периферии, что указывает на отсутствие структур распада твердых растворов.

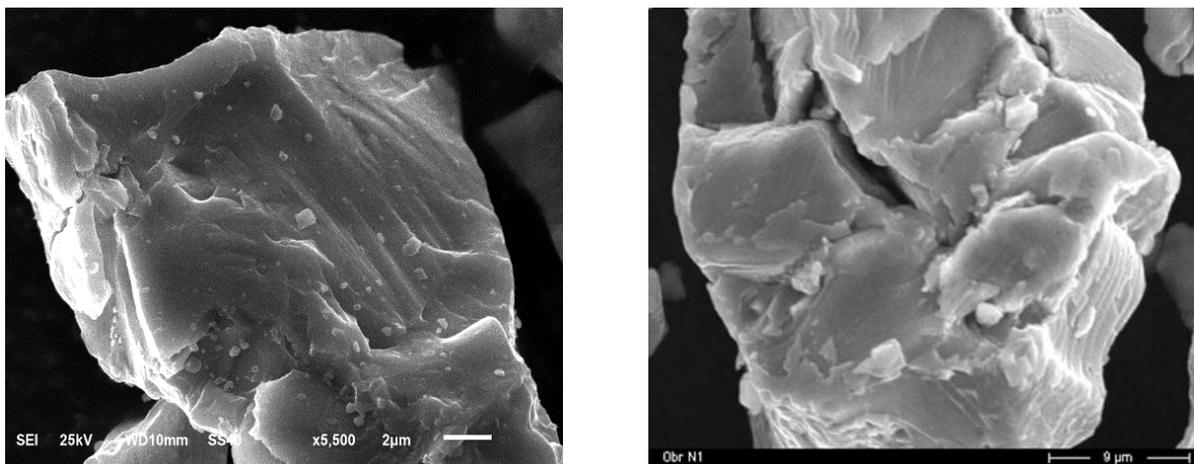


Рисунок 3.1 – Электронные изображения частиц исходного ферросилиция, полученные на электронном микроскопе

Оксисленный ферросилиций (Рисунки 3.2, 3.3) в приповерхностной части имеет повышенное содержание кислорода и пониженное – кремния. Содержание железа в течение первых суток не изменяется.

Данный факт указывает на первоочередное разрушение защитной пленки кремния, обнажая пористую структуру железа, что ускоряет последующие процессы коррозии (Рисунок 3.4). Глубина наблюдаемых явлений в исследуемых условиях до 1 мкм.

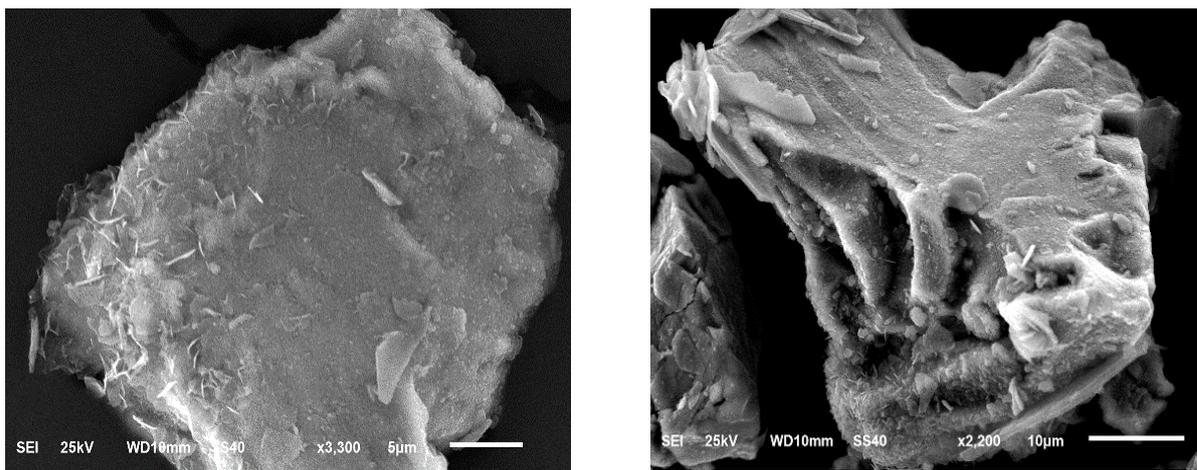


Рисунок 3.2 – Электронные изображения частиц окисленного ферросилиция, полученные на электронном микроскопе

Таким образом, микроскопическими исследованиями установлено, что наиболее интенсивно процессы окисления идут на поверхности (по краям) частиц ферросилиция.

3.3. Разработка модели процесса окисления частиц ферросилиция

По результатам исследований, представленных в п 3.2, была разработана модель процесса окисления и количественной оценки его интенсивности для частицы ферросилиция [85].

Пусть в исходном (не окисленном) состоянии шарообразная магнитная частица ферросилиция имеет произвольный диаметр D и удельная намагниченность насыщения J_s^0 (Рисунок 3.5а). Тогда эта частица в окисленном состоянии в момент времени t имеет диаметр равный $D - 2\Delta$ и удельная намагниченность насыщения J_s (Рисунок 3.5б). Данный факт обуславливается переходом в раствор железа ферросилиция в виде трехвалентного железа [22, 96].

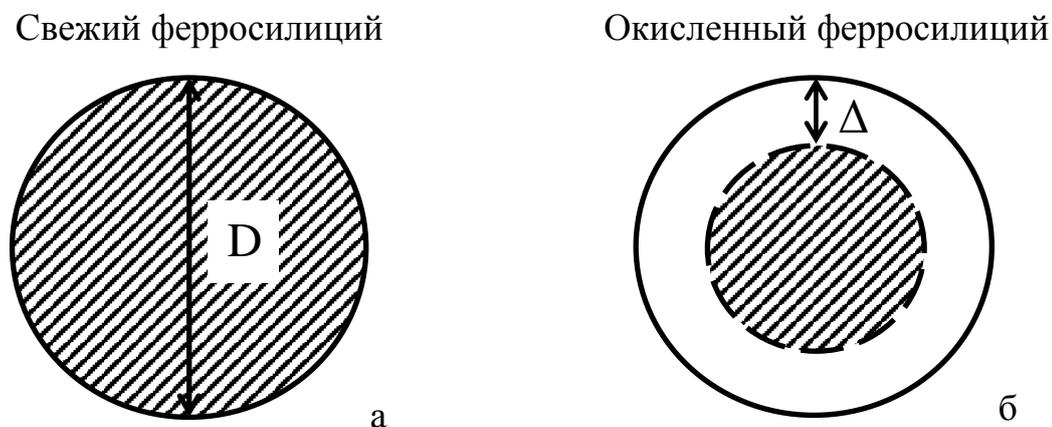


Рисунок 3.5 Общий вид шарообразной частицы ферросилиция в исходном (а) и окисленном (б) состоянии

Необходимо отметить, что удельная намагниченность насыщения гетерогенных сплавов, состоящих из ферромагнитной и парамагнитной фаз, определяется составом и количеством ферромагнитной фазы. Она не зависит от дисперсности фаз, уровня микро- и макронапряжений, изменения плотности

дислокаций [20]. Таким образом, удельная намагниченность насыщения не является структурно чувствительным свойством ферросилиция.

Согласно выбранному подходу изменение магнитных свойств ферросилиция определяется как отношение объемов магнитной фазы в ферросилиции в текущий ($V_{\text{магн}}$) и в начальный момент времени ($V_{\text{магн}}^0$). Экспериментально этот параметр определяется как отношение удельной намагниченностей насыщения в текущий и исходный момент времени (в окисленном и исходном состоянии):

$$\frac{V_{\text{магн}}}{V_{\text{магн}}^0} = \frac{J_s}{J_s^0} = \frac{\frac{\pi(D - 2\Delta)^3}{6}}{\frac{\pi D^3}{6}} = \frac{(D - 2\Delta)^3}{D^3}, \quad (3.1)$$

где J_s^0 – удельная намагниченность насыщения свежей частицы ферросилиция, Ам²/кг;

J_s – удельная намагниченность насыщения окисленной частицы ферросилиция, Ам²/кг.

Предположим, что скорость окисления постоянна ($u = \text{const}$, мкм/сутки), тогда окисленная часть 2Δ определяется как:

$$2\Delta = \int_0^t u dt = ut, \quad (3.2)$$

где u – интенсивность окисления, мкм/сутки;

t – время окисления, сутки.

а отношение (3.1):

$$\frac{J_s}{J_s^0} = \frac{(D - ut)^3}{D^3} = \left(1 - \frac{ut}{D}\right)^3 = 1 - 3\frac{ut}{D} + 3\frac{(ut)^2}{D^2} - \frac{(ut)^3}{D^3};$$

или в общем виде:

$$\frac{J_s}{J_s^0} = \int_{D_{min}}^{D_{max}} W(D) \left(1 - \frac{3ut}{D} + \frac{3(ut)^2}{D^2} - \frac{(ut)^3}{D^3} \right) dD; \quad (3.3)$$

где D_{max} – максимальный диаметр частицы ферросилиция;

D_{min} – минимальный диаметр частицы ферросилиция;

$W(D)$ – плотность вероятности для случайной величины диаметра частиц ферросилиция.

$$\begin{aligned} \frac{J_s}{J_s^0} = & \int_{D_{min}}^{D_{max}} W(D) dD - 3ut \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{W(D)}{D} dD + 3(ut)^2 \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{W(D)}{D^2} dD \\ & - (ut)^3 \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{W(D)}{D^3} dD. \end{aligned}$$

Так как интеграл от плотности вероятности по всей области задания случайной величины равен единице [60, 53], выражение имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{J_s}{J_s^0} = & 1 - 3ut \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{W(D)}{D} dD + \\ & + 3(ut)^2 \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{W(D)}{D^2} dD - (ut)^3 \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{W(D)}{D^3} dD. \quad (3.4) \end{aligned}$$

3.3.1. Случай равномерного распределения диаметра частиц ферросилиция

График функции равномерного распределения непрерывной случайной величины описывается функцией 3.5 и имеет вид, представленный на рисунке 3.6.

$$W(D) = \begin{cases} \frac{1}{D_{max} - D_{min}}, & D \in [D_{min}, D_{max}] \\ 0, & D \notin [D_{min}, D_{max}] \end{cases} \quad (3.5)$$

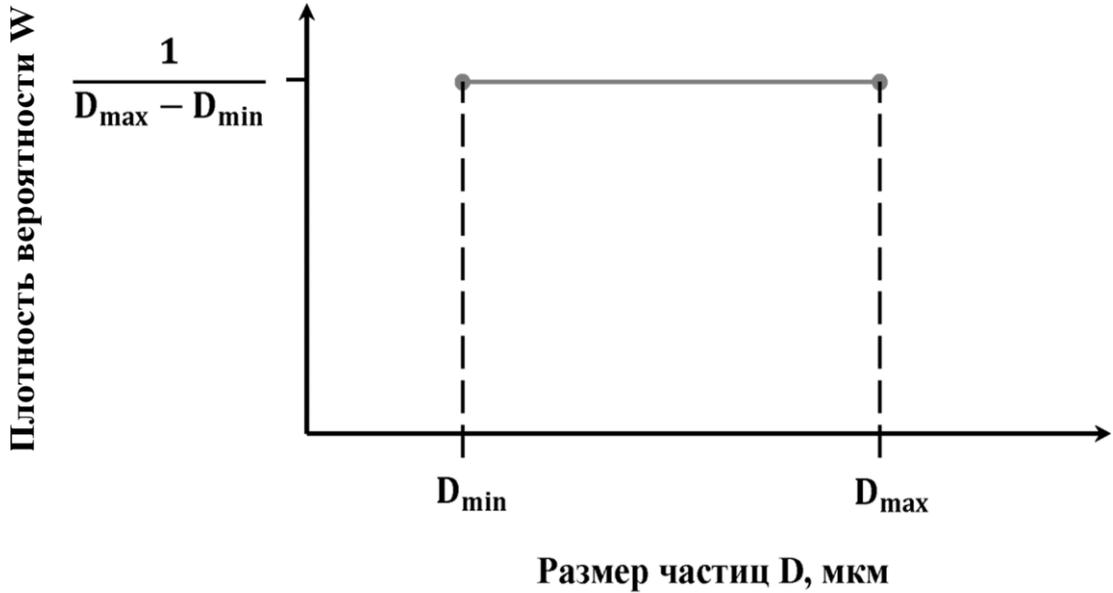


Рисунок 3.6 – Равномерное распределение диаметра частиц ферросилиция

Тогда выражение (3.4) при равномерном распределении диаметра частиц имеет вид:

$$\frac{J_s}{J_s^0} = 1 - \frac{3ut}{D_{max} - D_{min}} \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{dD}{D} + \frac{3(ut)^2}{D_{max} - D_{min}} \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{dD}{D^2} - \frac{(ut)^3}{D_{max} - D_{min}} \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{dD}{D^3};$$

$$\frac{J_s}{J_s^0} = 1 - \frac{3ut}{D_{max} - D_{min}} (\ln D_{max} - \ln D_{min}) - \frac{3(ut)^2}{D_{max} - D_{min}} \left(\frac{1}{D_{max}} - \frac{1}{D_{min}} \right) + \frac{(ut)^3}{D_{max} - D_{min}} \left(\frac{1}{2D_{max}^2} - \frac{1}{2D_{min}^2} \right).$$

Приводим к общему знаменателю $D_{max}D_{min}$ и $D_{max}^2D_{min}^2$:

$$\frac{J_s}{J_s^0} = 1 - \frac{3ut(\ln D_{max} - \ln D_{min})}{D_{max} - D_{min}} - \frac{3(ut)^2}{D_{max} - D_{min}} \left(\frac{D_{min} - D_{max}}{D_{max}D_{min}} \right) + \frac{(ut)^3}{2(D_{max} - D_{min})} \left(\frac{D_{min}^2 - D_{max}^2}{D_{max}^2D_{min}^2} \right);$$

$$\frac{J_s}{J_s^0} = 1 - \frac{3ut(\ln D_{max} - \ln D_{min})}{D_{max} - D_{min}} + \frac{3(ut)^2}{D_{max} - D_{min}} \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max}D_{min}} - \frac{(ut)^3}{2(D_{max} - D_{min})} \frac{(D_{max} - D_{min})(D_{max} + D_{min})}{D_{max}^2 D_{min}^2}.$$

Сокращаем $(D_{max} - D_{min})$:

$$\frac{J_s}{J_s^0} = 1 - \frac{3ut(\ln D_{max} - \ln D_{min})}{D_{max} - D_{min}} + \frac{3(ut)^2}{D_{max}D_{min}} - \frac{(ut)^3(D_{max} + D_{min})}{2D_{max}^2 D_{min}^2}. \quad (3.6)$$

Определяем область задания случайной величины $D_{max} = 300$ мкм и $D_{min} = 0,1$ мкм при этом выражение примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{J_s}{J_s^0} &= 1 - \frac{3ut(5.704 + 2.303)}{300 - 0,1} + \frac{3(ut)^2}{300 * 0,1} - \frac{(ut)^3(300 + 0,1)}{2 * 300^2 * 0,1^2}; \\ \frac{J_s}{J_s^0} &= 1 - ut \frac{3 * 8.006}{299.9} + (ut)^2 \frac{3}{30} - (ut)^3 \frac{300.1}{1800}; \\ \frac{J_s}{J_s^0} &= -0.167(ut)^3 + 0.1(ut)^2 - 0.08ut + 1. \end{aligned} \quad (3.7)$$

Находим интенсивность окисления u при равномерном распределении диаметра частиц подставляя известные экспериментальные значения $\frac{J_s}{J_s^0} = 0.55$ и $t = 15$ суток (Таблица 3.3) [75]:

$$\begin{aligned} -563.625u^3 + 22.5u^2 - 1.2u + 0.45 &= 0 \\ u &= 0.099 \text{ мкм/сутки} \end{aligned}$$

Найдем критический диаметр частиц ферросилиция ($D_{крит}$), которые будут не извлекаться на магнитном сепараторе в результате окисления при равномерном распределении за 15 дней. Из представленной модели видно, что это достигается при следующем равенстве:

$$D_{\text{крит}} = 2\Delta = ut. \quad (3.8)$$

$$D_{\text{крит}} = \underline{1.49} \text{ мкм}$$

С целью упрощения расчетов была изучена возможности сокращения полученного выражения. Для этого были построены графические интерпретации сокращенного вида выражения 3.7 (Рисунок 3.7).

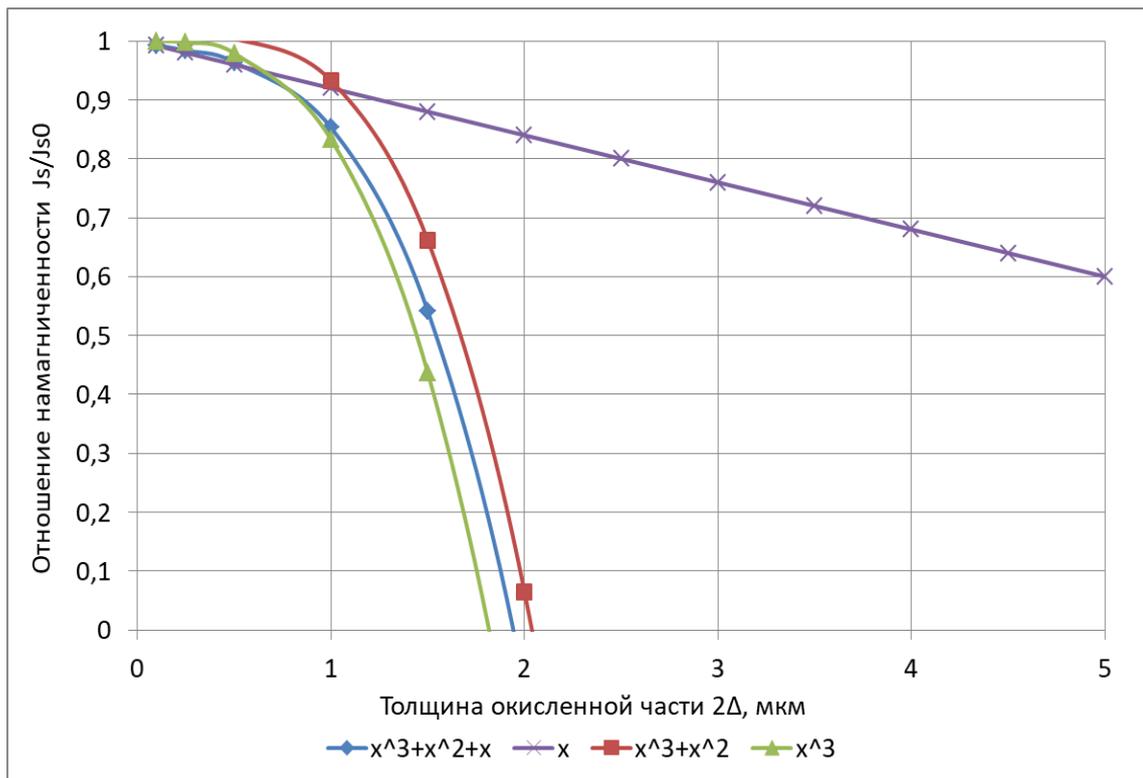


Рисунок 3.7 – Зависимость потери магнитных свойств ферросилиция от толщины окисленной части

Анализируя график на рисунке 3.7. можно сделать вывод, что для упрощения расчётов выражение 3.7 возможно сократить при условии малых значений скорости и времени окисления ($2\Delta = ut \leq 1$) до выражения:

$$\frac{J_s}{J_s^0} = -0.167(ut)^3 + 1$$

3.3.2. Случай нормального распределения диаметра частиц ферросилиция

Предположим, что размер (диаметр) частиц ферросилиция определяется в результате влияния большого числа слабо зависимых случайных факторов. Такие величины моделируются нормальным (Гауссовым) распределением [53] $D \sim N(\mu, \sigma^2)$.

Функция плотности вероятности нормального распределения диаметра частиц ферросилиция D имеет вид:

$$W(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(D-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (3.9)$$

где μ – математическое ожидание (средний диаметр частиц ферросилиция);
 σ – разброс значений вокруг среднего (σ^2 – дисперсия).

График функции распределения непрерывной случайной величины имеет следующий вид (Рисунок 3.8).

При подстановке формулы 3.9 в формулу 3.4 получим:

$$\begin{aligned} \frac{J_s}{J_s^0} = & 1 - 3ut \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-\frac{(D-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{D} dD + 3(ut)^2 \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-\frac{(D-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{D^2} dD \\ & - (ut)^3 \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-\frac{(D-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{D^3} dD. \end{aligned} \quad (3.10)$$

Проинтегрировав функцию ($\mu = 40$; $\sigma^2 = 170$) по $D_{max} = 300$ мкм и $D_{min} = 0,1$ мкм:

$$\frac{J_s}{J_s^0} = 1 - 0.0301 * 3ut + 0.00404 * 3(ut)^2 - 0.01455(ut)^3; \quad (3.11)$$

$$\frac{J_s}{J_s^0} = 1 - 0.09031ut + 0.01212(ut)^2 - 0.01455(ut)^3. \quad (3.12)$$

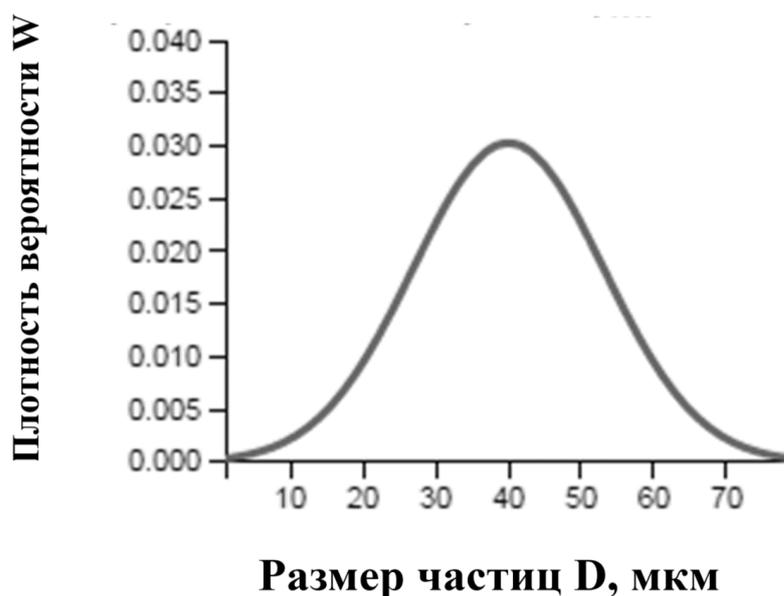


Рисунок 3.8 – Нормальное распределение диаметра частиц ферросилиция
($\mu = 40$; $\sigma^2 = 170$)

Находим скорость окисления u , мкм/сутки при нормальном распределении диаметра частиц подставляя известные экспериментальные значения $\frac{J_s}{J_s^0} = 0.55$ и $t = 15$ суток:

$$-49.102u^3 + 2.727u^2 - 1.355u + 0.45 = 0$$

$$u = 0.182 \text{ мкм/сутки}$$

Тогда критический диаметр частиц ферросилиция, которые будут не извлекаться на магнитном сепараторе в результате окисления, при нормальном распределении за 15 дней $D_{\text{крит}} = \underline{2.73}$ мкм.

С целью упрощения расчетов была изучена возможности сокращения полученного выражения. Для этого были построены графические интерпретации сокращенного вида выражения 3.12 (Рисунок 3.9).

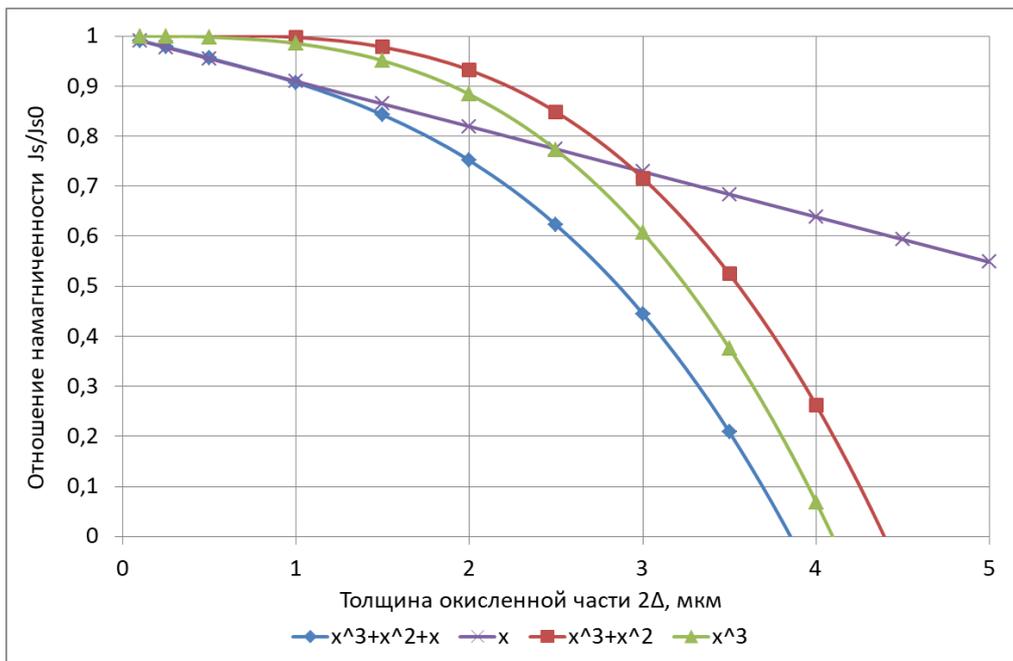


Рисунок 3.9 – Зависимость потери магнитных свойств ферросилиция от толщины окисленного слоя

Анализируя график на рисунке 3.9. можно сделать вывод, что для упрощения расчётов выражение 3.12 возможно сократить при условии малых значений скорости и времени окисления ($2\Delta = ut \leq 1,5$) до выражения:

$$\frac{J_s}{J_s^0} = 1 - 0,09031ut$$

3.3.3. Зависимость скорости окисления ферросилиция от его гранулометрического состава

На основе разработанной модели процесса окисления частиц ферросилиция установлена зависимость скорости окисления ферросилиция от параметров кривой распределения частиц (гранулометрического состава).

Найдем время t за которое удельная намагниченность ферросилиция сократится в 2 раза ($\frac{J_s}{J_s^0} = 0,5$) при скорости окисления (u) равной 0,091 мкм/сутки.

Для этого найдем значения интегралов (k) уравнения 3.10, для различных математических ожиданий (μ) и дисперсий (σ^2) (Таблица 3.3).

Подставляем полученные коэффициенты в уравнение 3.10:

$$\begin{aligned}
 & -0.006k_3t^3 + 3 * 0.033k_2t^2 - 3 * 0.182kt + 0.5 = 0; \\
 & -0.006k_3t^3 + 0.099k_2t^2 - 0.545kt + 0.5 = 0. \quad (3.13)
 \end{aligned}$$

В результате вычислений определены значения времени t за которое удельная намагниченность насыщения ферросилиция сократится в 2 раза при различных математических ожиданиях (μ) и дисперсиях (σ^2) кривой распределения частиц ферросилиция по крупности.

Таблица 3.3 – Значение интегралов (k) для разных μ и σ^2 .

Мат. ожидание, μ	Дисперсия, σ^2					
	20			60		
	k_1	k_2	k_3	k_1	k_2	k_3
40	2,53E-02	6,50E-04	1,69E-05	2,61E-02	7,15E-04	2,56E-05
60	1,68E-02	2,83E-04	4,79E-06	1,70E-02	2,93E-04	5,16E-06
80	1,25E-02	1,58E-04	1,99E-06	1,26E-02	1,61E-04	2,07E-06
100	1,00E-02	1,01E-04	1,01E-06	1,01E-02	1,02E-04	1,04E-06
	100			140		
40	2,71E-02	9,69E-04	7,55E-04	2,86E-02	2,17E-03	5,93E-03
60	1,72E-02	3,05E-04	5,66E-06	1,74E-02	3,20E-04	1,11E-05
80	1,27E-02	1,64E-04	2,16E-06	1,28E-02	1,68E-04	2,26E-06
100	1,01E-02	1,03E-04	1,06E-06	1,01E-02	1,05E-04	1,09E-06

Из графического изображения зависимости, представленной на рисунке 3.10, можно сделать следующие выводы:

- с увеличением математического ожидания (среднего диаметра частиц ферросилиция), время окисления ферросилиция увеличивается, следовательно, ферросилиций становится более устойчив к окислению;

- с увеличением дисперсии кривой распределения диаметра частиц, время окисления ферросилиция уменьшается, следовательно, ферросилиций становится менее устойчив к окислению.

Полученные результаты соответствуют имеющимся данным о параметрах процесса окисления суспензии различного гранулометрического состава. что достигается детерминированностью выбранного подхода к решению поставленной задачи.

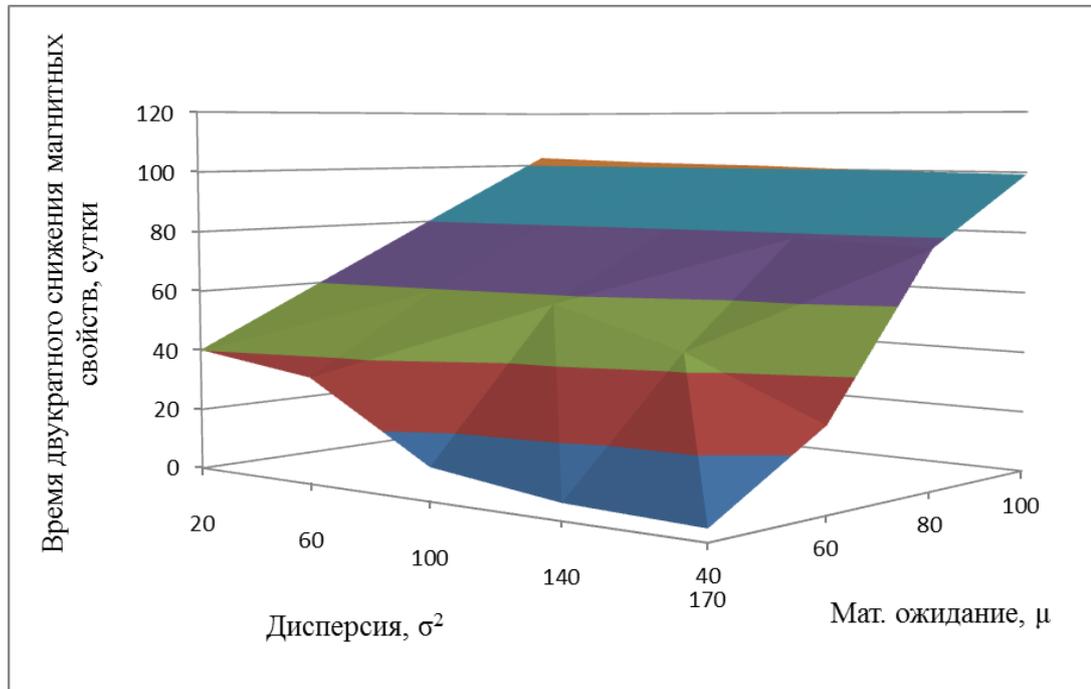


Рисунок 3.10 – Зависимость времени двукратного снижения магнитных свойств ферросилиция от формы кривой распределения частиц

3.4. Алгоритм определения наиболее устойчивого к окислению ферросилиция для исследуемой водной среды

Для обоснования наиболее устойчивого к окислению ферросилиция для исследуемой водной системы необходимо определить значение величин, входящих в уравнение (3.4):

$$\frac{J_s}{J_s^0} = 1 - 3ut \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{W(D)}{D} dD +$$

$$+ 3(ut)^2 \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{W(D)}{D^2} dD - (ut)^3 \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{W(D)}{D^3} dD.$$

1. Определение формы кривой распределения диаметров частиц по размерам $W(D)$ (гранулометрический состав) исследуемых марок ферросилиция:
 - по паспортным данным ферросилиция;
 - проведение ситового анализа;
 - на анализаторе размера частиц.
2. Определение на вибромагнитометре значений удельной намагниченности насыщения исходных проб исследуемых марок ферросилиция (J_s^0).
3. Провести испытания по окислению исследуемых марок ферросилиция в исследуемой водной среде в течение определенного времени t , *суток*.
4. Определение на вибромагнитометре значений намагниченности насыщения окисленных проб исследуемых марок ферросилиция (J_s).
5. Рассчитать по формуле (3.4) значение скорости окисления (u , *мкм/сутки*) исследуемых марок ферросилиция в исследуемой водной среде.
6. Определение наиболее устойчивого к окислению ферросилиция для исследуемой водной среды, по наименьшему значению скорости окисления.

3.5. Апробация алгоритма определения наиболее устойчивого к окислению ферросилиция для использования на обогатительных фабриках АК «АЛРОСА»

По разработанному выше алгоритму определения наиболее устойчивого к окислению ферросилиция в данном разделе были исследованы марки ферросилиция, предоставленные АК «АЛРОСА» на основании соответствующих договорных работ.

3.5.1. Определение линейных размеров и форм частиц ферросилиция, используемого на обогатительных фабриках АК «АЛРОСА»

Максимальные и минимальные линейные размеры частиц (гранул) ферросилиция марок DMS Powder партии ОФ №3, Washington Mills и Imexsar

определяли с помощью сканирующего электронного микроскопа при разном увеличении в лаборатории НИГП АК «АЛРОСА» (Рисунки 3.11 - 3.13).

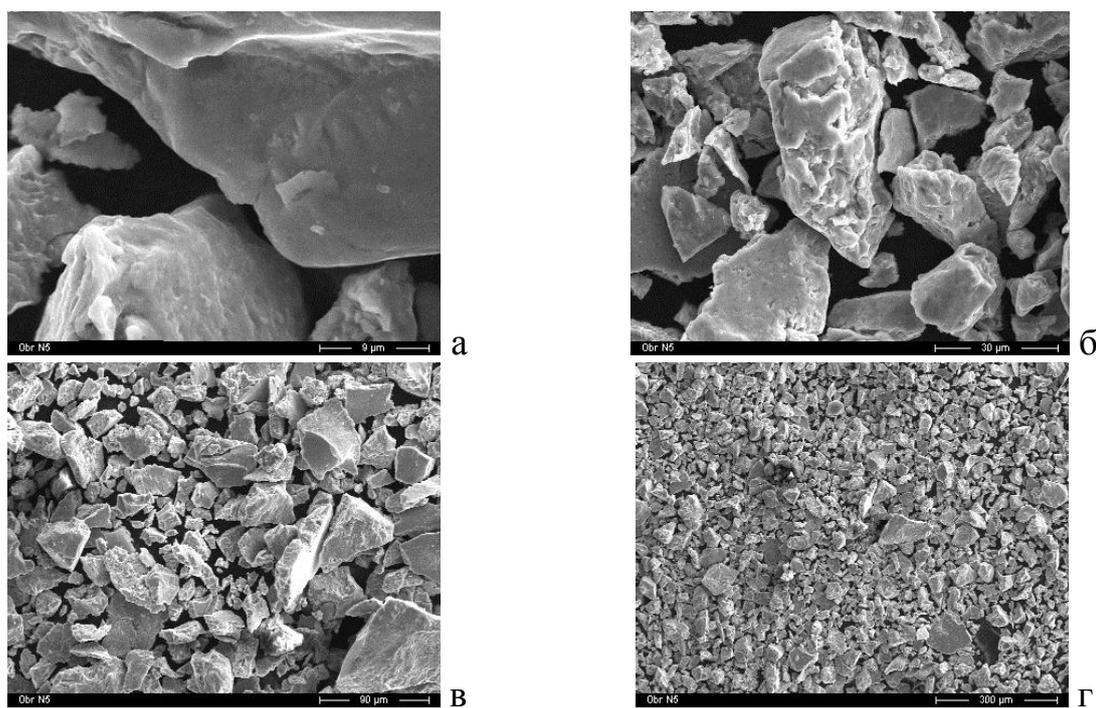


Рисунок 3.11 – Изображения образца ферросилиция ОФ №3 (DMS Powder), полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа: а – $\times 3000$; б – $\times 1000$; в – $\times 300$; г – $\times 100$.

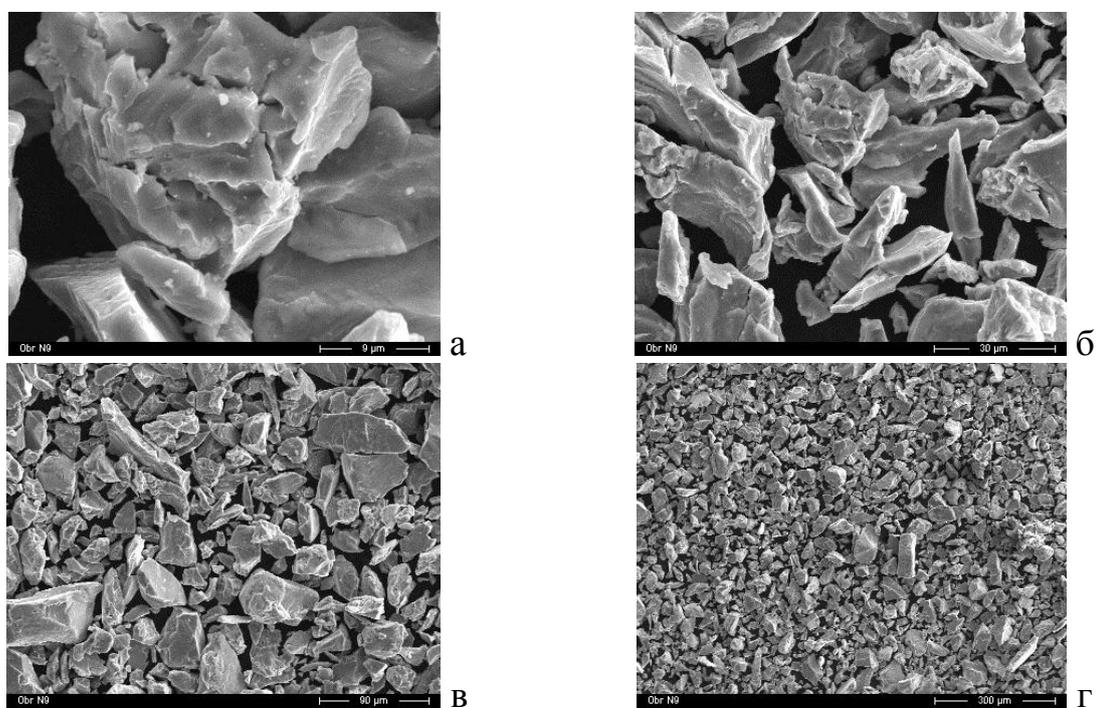


Рисунок 3.12 – Изображения образца ферросилиция Washington Mills, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа: а – $\times 3000$; б – $\times 1000$; в – $\times 300$; г – $\times 100$.

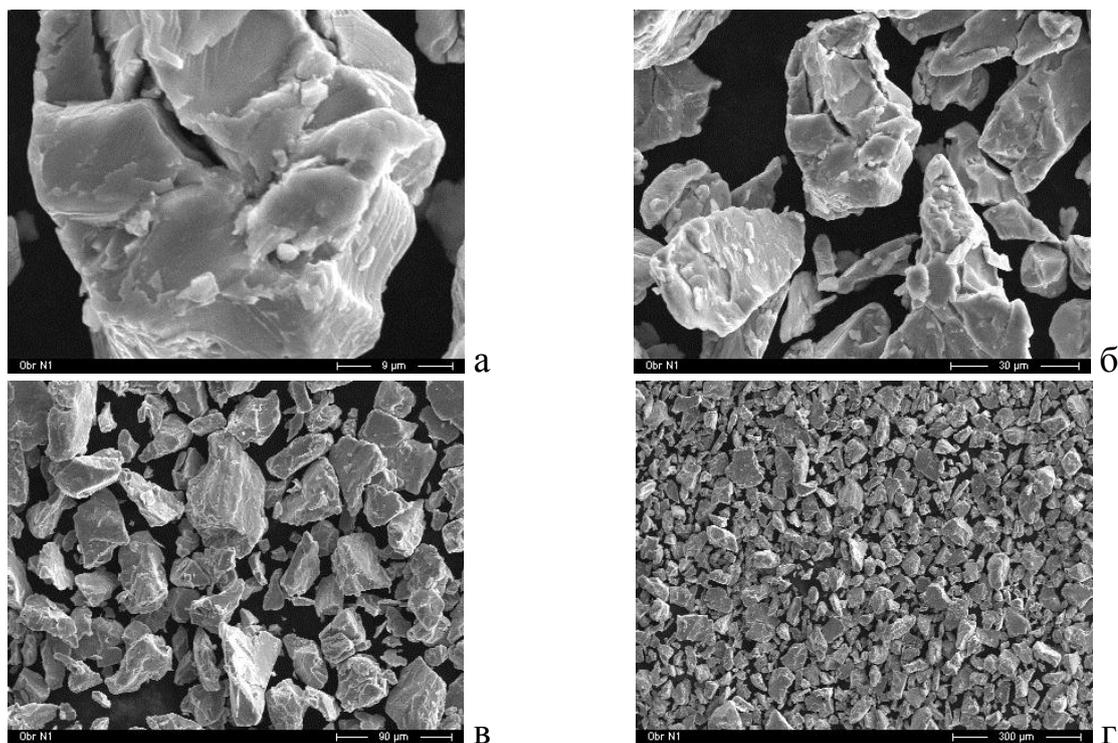


Рисунок 3.13 – Изображения образца ферросилиция Imexsar, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа: а – $\times 3000$; б – $\times 1000$; в – $\times 300$; г – $\times 100$

Определенные значения минимальных и максимальных линейных размеров частиц марок ферросилиция представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Вариативность линейных размеров частиц ферросилиция

Название пробы	Линейный размер частиц, мкм
ОФ №3 (DMS Powder)	3-100
Washington Mills	3-120
Imexsar	1-120

В результате исследований установлено, что частицы образцов ферросилиция Imexsar, DMS Powder, Washington Mills в большинстве имеют правильную форму. Исходя из этого можно сделать вывод о возможности применения разработанной модели процесса окисления частиц ферросилиция.

3.5.2. Изменение магнитных свойств исследуемых марок ферросилиция при окислении в оборотных водах обогатительных фабрик АК «АЛРОСА»

В данном разделе представлены экспериментальные данные по влиянию оборотных вод обогатительных фабрик АК «АЛРОСА» на магнитные свойства исследуемых марок ферросилиция. Для этого в окисленных в течение 15 суток суспензиях (плотность суспензии 2500 кг/м^3) определена намагниченность насыщения ферросилиция с использованием вибрационного магнитометра «Lake Shore».

Результаты исследований представлены в таблице 3.5. Как видно из таблицы 3.5, удельная намагниченность насыщения различных марок ферросилиция варьируется в области от 92,6 и 74,7 Ам²/кг, что связано с различием химического состава проб ферросилиция.

Таблица 3.5 – Сравнительные данные об изменении магнитных свойств суспензий из различных оборотных вод ОФ и образцов ферросилиция

Наименование образцов оборотных вод	Удельная намагниченность насыщения образцов ферросилиция, Ам ² /кг					
	Imexsar ЮАР		ОФ №3 (DMS Powder)		Washington Mills	
	Исх.	15 сут.	Исх.	15 сут.	Исх.	15 сут.
Оборотная вода ОФ №3	92,2	46,1	75,9	43,4	88,7	50,5
Оборотная вода ОФ №8	92,5	64,2	76,0	62,6	88,5	76,9
Оборотная вода ОФ №12	92,0	45,7	75,8	40,1	88,6	50,1
Сытыканская вода ОФ №12	92,6	70,1	76,3	64,5	88,9	80,1
Оборотная вода ОФ №14	92,4	60,1	76,2	62,3	88,1	74,3
Оборотная вода ОФ №16	91,0	43,8	74,7	39,8	87,0	48,1

В то же время, различная агрессивность образцов оборотных вод приводит к различной интенсивности окисления ферросилиция и, соответственно, неодинаковой потери его магнитных свойств (Рисунок 3.14).

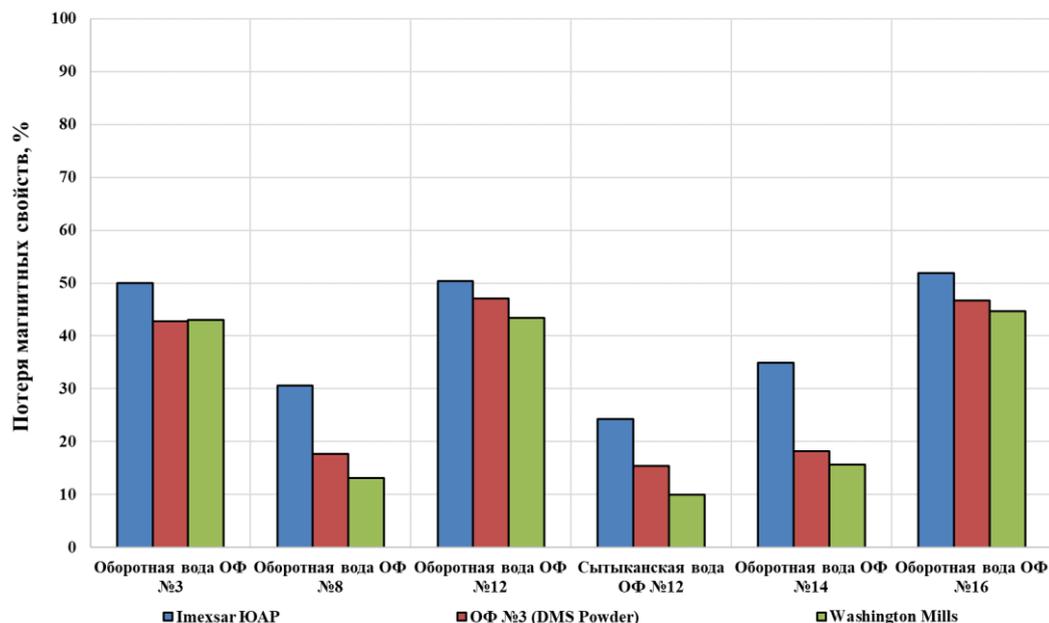


Рисунок 3.14 – Потеря магнитных свойств различных марок ферросилиция при окислении в исследуемых образцах оборотных вод в течение 15 суток

Как видно из рисунка 3.14 большая потеря магнитных свойств происходит в оборотных водах ОФ№3, ОФ№12 и ОФ№16, что связано с большей минерализацией этих оборотных вод.

С точки зрения сохранения магнитных свойств суспензий наиболее предпочтительной является наименее минерализованная среда – Сытыканская вода ОФ №12.

3.5.3. Определение зависимости скорости окисления от гранулометрического состава ферросилиция марки DMS Powder

Анализ исходных экспериментальных данных в виде функции распределения частиц ферросилиция марки DMS Powder по размерам, полученных с использованием лазерного анализатора размера частиц Fritsch Analysette 22, и последующего дифференцирования функции распределения (Рисунок. 3.15 - точки), показал, что уравнение нормального распределения удовлетворительно

описывает экспериментальные данные (Рисунок 3.15) ($\bar{D} = 28.28$ мкм, $\sigma = 28.13$ мкм, $R^2 = 0.989$) [9].

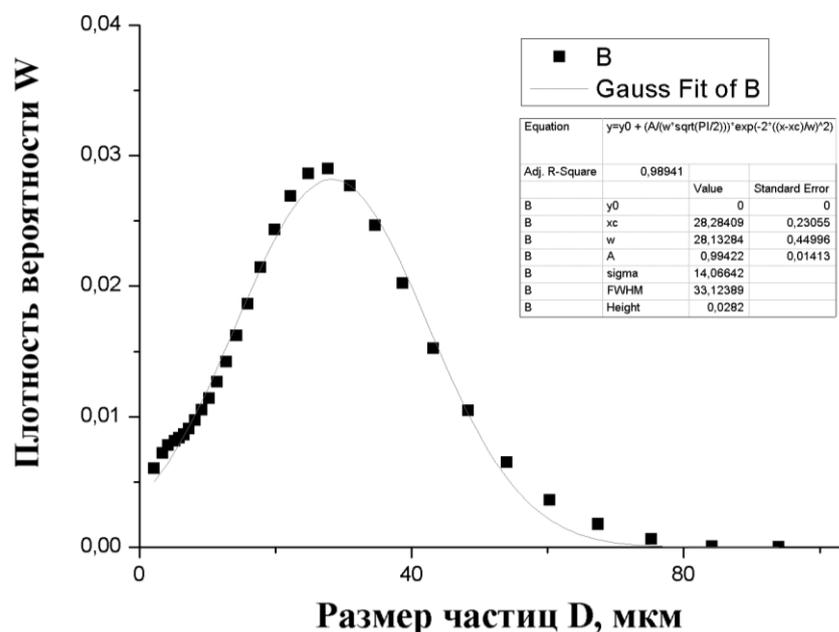


Рисунок 3.15 – Аппроксимация экспериментальной кривой распределения частиц ферросилиция марки DMS Powder по крупности

При подстановке формулы 3.14 в формулу 3.4 получим:

$$\begin{aligned}
 \frac{J_s}{J_s^0} = & 1 - 3ut \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{\frac{A}{\sqrt{\sigma^2 \pi}} \exp\left(-2 \frac{(D - \mu)^2}{\sigma^2}\right)}{D} dD \\
 & + 3(ut)^2 \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{\frac{A}{\sqrt{\sigma^2 \pi / 2}} \exp\left(-2 \frac{(D - \mu)^2}{\sigma^2}\right)}{D^2} dD \\
 & - (ut)^3 \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{\frac{A}{\sqrt{\sigma^2 \pi / 2}} \exp\left(-2 \frac{(D - \mu)^2}{\sigma^2}\right)}{D^3} dD. \quad (3.15)
 \end{aligned}$$

В результате вычисления значений интегралов выражения 3.15 по $D_{max} = 300$ мкм и $D_{min} = 0,1$ мкм получено следующее выражение:

$$\frac{J_s}{J_s^0} = 1 - 0,05832 * 3ut + 0,04131 * 3(ut)^2 - 0.19222(ut)^3$$

или

$$\frac{J_s}{J_s^0} = 1 - 0.17495ut + 0.12393(ut)^2 - 0.19222(ut)^3. \quad (3.16)$$

Найдем скорость окисления u , мкм/сутки при распределении диаметра частиц ферросилиция марки DMS Powder подставляя известные значения $\frac{J_s}{J_s^0} = 0.55$ и $t = 15$ суток:

$$-648.756u^3 + 27.883u^2 - 2.624u + 0.45 = 0$$

$$u = 0.087 \text{ мкм/сутки}$$

Тогда критический диаметр частиц ферросилиция, которые станут не извлекаться на магнитном сепараторе в результате окисления, при распределении диаметра частиц ферросилиция марки DMS Powder за 15 дней будет равен:

$$D_{\text{крит}} = \underline{1.31} \text{ мкм}$$

В результате исследований было определено уравнение распределения частиц ферросилиция по крупности и установлена зависимость скорости окисления от гранулометрического состава ферросилиция марки DMS Powder.

3.5.4. Определение зависимости скорости окисления от гранулометрического состава ферросилиция марки Washington Mills

Аналогично установлено значение скорости окисления частиц ферросилиция марки Washington Mills. Для этого, определено распределение частиц ферросилиция по размерам с использованием лазерного анализатора размера частиц Fritsch Analysette 22 и выявлено уравнение нормального распределения, удовлетворительно описывающее экспериментальные данные (Рисунок 3.16).

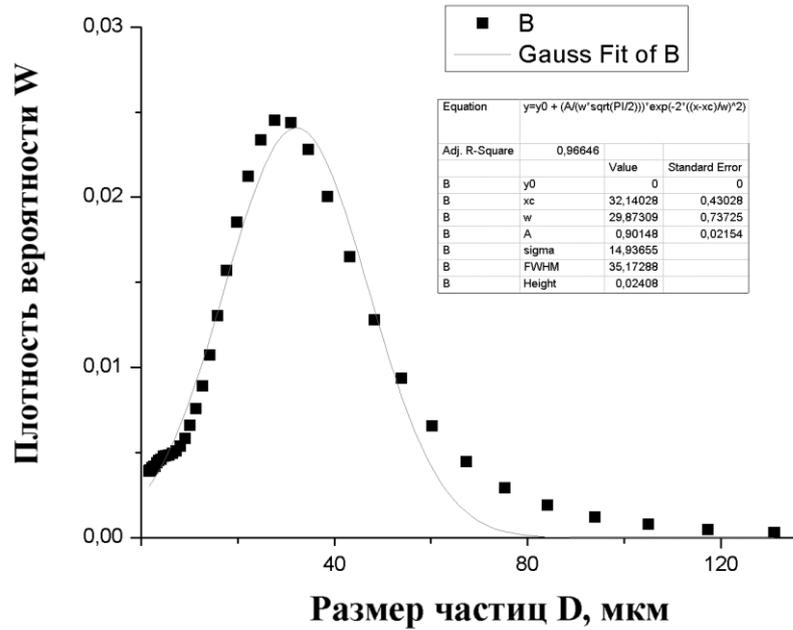


Рисунок 3.16 – Аппроксимация экспериментальной кривой распределения частиц ферросилиция марки Washington Mills по крупности

Уравнение нормального распределения частиц ферросилиция марки Washington Mills можно записать в следующем виде:

$$W(D) = \frac{A}{\sqrt{\sigma^2 \pi / 2}} \exp\left(-2 \frac{(D - \mu)^2}{\sigma^2}\right), \quad (3.17)$$

где μ – математическое ожидание (32,14);

σ^2 – дисперсия (892,4);

A – коэффициент (0,901).

В результате вычисления значений интегралов выражения 3.15 по $D_{max} = 300$ мкм и $D_{min} = 0,1$ мкм получено следующее выражение:

$$\frac{J_s}{J_s^0} = 1 - 0,0445 * 3ut + 0,02656 * 3(ut)^2 - 0,12243(ut)^3$$

Или

$$\frac{J_s}{J_s^0} = 1 - 0.1335ut + 0.07967(ut)^2 - 0.12243(ut)^3. \quad (3.18)$$

Скорость окисления u , мкм/сутки при распределении диаметра частиц ферросилиция марки Washington Mills можно рассчитать, подставляя известные значения $\frac{J_s}{J_s^0} = 0.55$ и $t = 15$ суток:

$$-413,195u^3 + 17,926u^2 - 2,003u + 0.45 = 0$$

$$u = 0.101 \text{ мкм/сутки}$$

Тогда критический диаметр частиц ферросилиция, которые станут не извлекаться на магнитном сепараторе в результате окисления, при распределении диаметра частиц ферросилиция марки Washington Mills за 15 дней будет равен:

$$D_{\text{крит}} = \underline{1.52} \text{ мкм}$$

Таким образом, в результате исследований было определено уравнение распределения частиц ферросилиция по крупности и установлена зависимость скорости окисления от гранулометрического состава ферросилиция марки Washington Mills.

3.5.5. Определение зависимости скорости окисления от гранулометрического состава ферросилиция марки Imexsar

Аналогично установлено значение скорости окисления частиц ферросилиция марки Imexsar. Для этого, определено распределение частиц ферросилиция по размерам с использованием лазерного анализатора размера частиц Fritsch Analysette 22 и выявлено уравнение нормального распределения, удовлетворительно описывающее экспериментальные данные (Рисунок 3.17).

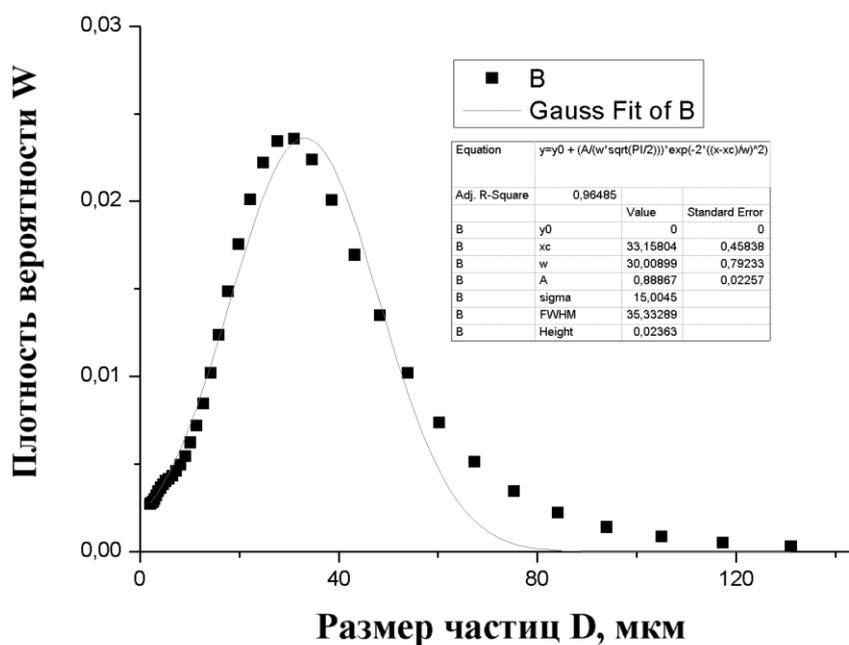


Рисунок 3.17 – Аппроксимация экспериментальной кривой распределения частиц ферросилиция марки Imexsar по крупности

Уравнение нормального распределения частиц ферросилиция марки Imexsar можно записать в следующем виде:

$$W(D) = \frac{A}{\sqrt{\sigma^2 \pi / 2}} \exp\left(-2 \frac{(D - \mu)^2}{\sigma^2}\right), \quad (3.19)$$

где: μ – математическое ожидание (33,16);

σ^2 – дисперсия (900,54);

A – коэффициент (0,965).

В результате вычисления значений интегралов выражения 3.15 по $D_{max} = 300$ мкм и $D_{min} = 0,1$ мкм получено следующее выражение:

$$\frac{J_s}{J_s^0} = 1 - 0,04524 * 3ut + 0,02509 * 3(ut)^2 - 0,115(ut)^3$$

Или

$$\frac{J_s}{J_s^0} = 1 - 0.13571ut + 0.07526(ut)^2 - 0.115(ut)^3. \quad (3.20)$$

Найдем скорость окисления u при известном распределении диаметра частиц ферросилиция марки Imexsar, подставляя известные значения $\frac{J_s}{J_s^0} = 0.55$ и $t = 15$ суток:

$$-388,132u^3 + 16,934u^2 - 2,036u + 0.45 = 0$$

$$u = 0.103 \text{ мкм/сутки}$$

Тогда критический диаметр частиц ферросилиция, которые станут не извлекаться на магнитном сепараторе в результате окисления, при распределении диаметра частиц ферросилиция марки Imexsar за 15 дней будет равен:

$$D_{\text{крит}} = \underline{1.54} \text{ мкм}$$

В результате исследований было определено уравнение распределения частиц ферросилиция по крупности и установлена зависимость скорости окисления от гранулометрического состава ферросилиция марки Imexsar.

3.5.6. Скорость окисления исследуемых марок ферросилиция в водах обогатительных фабрик АК «АЛРОСА»

По разработанному алгоритму была оценена скорость окисления ферросилиция исследуемых марок в водах различной минерализации (Таблица 3.7). Для расчета по разработанному алгоритму были использованы полученные в разделах 3.5.3 - 3.5.5 зависимости скорости окисления и экспериментальные данные намагниченности насыщения после нахождения ферросилиция в течение 15 суток в минерализованных оборотных водах обогатительных фабрик АК «АЛРОСА» (Таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Изменение магнитных свойств образцов ферросилиция в различных оборотных водах обогатительных фабрик АК «АЛРОСА»

Наименование образцов оборотных вод	Удельная намагниченность насыщения образцов ферросилиция, Ам ² /кг					
	ОФ №3 (DMS Powder)		Washington Mills		Imexsar	
	Исх.	15 сут.	Исх.	15 сут.	Исх.	15 сут.
Оборотная вода ОФ №3	75,9	43,4	88,7	50,5	92,2	46,1
Оборотная вода ОФ №8	76,0	62,6	88,5	76,9	92,5	64,2
Оборотная вода ОФ №12	75,8	40,1	88,6	50,1	92,0	45,7
Сытыканская вода ОФ №12	76,3	64,5	88,9	80,1	92,6	70,1
Оборотная вода ОФ №14	76,2	62,3	88,1	74,3	92,4	60,1
Оборотная вода ОФ №16	74,7	39,8	87,0	48,1	91,0	43,8

Таблица 3.7 – Скорость окисления ферросилиция (мкм/сутки) в оборотных водах обогатительных фабрик АК «АЛРОСА»

Название проб	ОФ №3 (DMS Powder)	Washington Mills	Imexsar
Оборотная вода ОФ №3	0,086	0,100	0,107
Оборотная вода ОФ №8	0,056	0,057	0,087
Оборотная вода ОФ №12	0,089	0,100	0,107
Сытыканская вода ОФ №12	0,053	0,048	0,078
Оборотная вода ОФ №14	0,057	0,063	0,092
Оборотная вода ОФ №16	0,089	0,101	0,109

Согласно полученным результатам исследований с использованием разработанного алгоритма, с точки зрения сохранения технологических свойств ферросилиция в оборотных водах обогатительных фабрик АК «АЛРОСА», наиболее предпочтительной является марка ферросилиция DMS Powder, за исключением вод малой минерализации (Сытыканская вода ОФ №12 и Оборотная вода ОФ №8), в которых предпочтительно использовать ферросилиций марки Washington Mills.

3.5.7. Определение влияния ионного состава оборотных вод обогатительных фабрик АК «АЛРОСА» на интенсивность окисления ферросилиция

На основе анализа данных о скорости окисления ферросилиция (Таблица 3.7) и ионном составе оборотных вод фабрик АК «АЛРОСА» (Таблица 3.1) были определены типы ионов, концентрация которых в оборотных водах оказывает наиболее существенное влияние на интенсивность процессов окисления ферросилиция. Критерием оценки выбран парный коэффициент корреляции (Таблицы 3.8 – 3.10).

Таблица 3.8 – Парный коэффициент корреляции скорости окисления ферросилиция марки DMS Powder и ионного состава вод

	Скорость окисления	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Li ⁺	Mg ⁺⁺	Sr ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
Скорость окисления	1,00											
NH ₄ ⁺	-0,56	1,00										
K ⁺	0,33	-0,03	1,00									
Na ⁺	0,84	-0,57	-0,24	1,00								
Li ⁺	0,53	-0,42	0,90	0,03	1,00							
Mg ⁺⁺	0,40	-0,21	0,92	-0,11	0,95	1,00						
Sr ⁺⁺	0,63	-0,36	0,89	0,12	0,92	0,81	1,00					
Ca ⁺⁺	0,58	-0,21	0,94	0,04	0,93	0,91	0,96	1,00				
<u>Cl</u>	<u>0,97</u>	-0,64	0,15	0,91	0,39	0,22	0,51	0,42	1,00			
NO ₂ ⁻	0,51	-0,42	0,38	0,28	0,44	0,16	0,67	0,44	0,55	1,00		
SO ₄ ²⁻	0,80	-0,31	0,05	0,80	0,19	0,23	0,20	0,29	0,75	-0,04	1,00	
NO ₃ ⁻	-0,29	0,49	0,34	-0,47	0,09	0,28	-0,03	0,11	-0,42	-0,28	0,00	1,00

Таблица 3.9 – Парный коэффициент корреляции скорости окисления ферросилиция марки Washington Mills и ионного состава вод.

	Скорость окисления	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Li ⁺	Mg ⁺⁺	Sr ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
Скорость окисления	1,00											
NH ₄ ⁺	-0,55	1,00										
K ⁺	0,34	-0,03	1,00									
Na ⁺	0,83	-0,57	-0,24	1,00								
Li ⁺	0,52	-0,42	0,90	0,03	1,00							
Mg ⁺⁺	0,40	-0,21	0,92	-0,11	0,95	1,00						
Sr ⁺⁺	0,63	-0,36	0,89	0,12	0,92	0,81	1,00					
Ca ⁺⁺	0,58	-0,21	0,94	0,04	0,93	0,91	0,96	1,00				
<u>Cl</u>	<u>0,97</u>	-0,64	0,15	0,91	0,39	0,22	0,51	0,42	1,00			
NO ₂ ⁻	0,51	-0,42	0,38	0,28	0,44	0,16	0,67	0,44	0,55	1,00		
SO ₄ ²⁻	0,82	-0,31	0,05	0,80	0,19	0,23	0,20	0,29	0,75	-0,04	1,00	
NO ₃ ⁻	-0,23	0,49	0,34	-0,47	0,09	0,28	-0,03	0,11	-0,42	-0,28	0,00	1,00

Таблица 3.10. – Парный коэффициент корреляции скорости окисления ферросилиция марки Imexsar и ионного состава вод.

	Скорость окисления	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Li ⁺	Mg ⁺⁺	Sr ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
Скорость окисления	1,00											
NH ₄ ⁺	-0,57	1,00										
K ⁺	0,23	-0,03	1,00									
Na ⁺	0,88	-0,57	-0,24	1,00								
Li ⁺	0,43	-0,42	0,90	0,03	1,00							
Mg ⁺⁺	0,30	-0,21	0,92	-0,11	0,95	1,00						
Sr ⁺⁺	0,53	-0,36	0,89	0,12	0,92	0,81	1,00					
Ca ⁺⁺	0,48	-0,21	0,94	0,04	0,93	0,91	0,96	1,00				
<u>Cl</u>	<u>0,97</u>	-0,64	0,15	0,91	0,39	0,22	0,51	0,42	1,00			
NO ₂ ⁻	0,47	-0,42	0,38	0,28	0,44	0,16	0,67	0,44	0,55	1,00		
SO ₄ ²⁻	0,85	-0,31	0,05	0,80	0,19	0,23	0,20	0,29	0,75	-0,04	1,00	
NO ₃ ⁻	-0,22	0,49	0,34	-0,47	0,09	0,28	-0,03	0,11	-0,42	-0,28	0,00	1,00

Анализом представленных данных установлено, что скорость окисления ферросилиция в наибольшей степени зависит от концентрации хлорид ионов в

исследуемых водных системах обогатительных фабрик, что позволяет определить рост концентрации хлоридных ионов как важную причину резкого ухудшения сохранности и технологических свойств ферросилициевой суспензии, а также подтверждает адекватность разработанной модели и алгоритма.

Выводы к главе 3

1. Разработана математическая модель процесса окисления ферросилиция для различных форм кривой распределения ферросилициевых зерен по крупности, позволяющая количественно оценить для фиксированных моментов времени скорость окисления и размер (диаметр) образованных при этом более мелких частиц, утративших магнитные свойства.

2. Установлена зависимость времени двукратного снижения магнитных свойств от формы кривой распределения частиц, из которой можно сделать следующие выводы:

- с увеличением математического ожидания (среднего диаметра частиц) время окисления ферросилиция увеличивается, что характеризует его большую коррозионную устойчивость;

- с увеличением дисперсии кривой распределения диаметра частиц, время окисления ферросилиция уменьшается, что характеризует его меньшую коррозионную устойчивость.

3. Разработан алгоритм определения наиболее устойчивого к окислению ферросилиция для исследуемой водной системы, включающий:

- определение значений намагниченности исходных проб ферросилиция различных марок;

- определение значений намагниченности окисленных проб ферросилиция различных марок в исследуемых водных системах;

- расчет по полученным данным значений скорости окисления исследуемых проб ферросилиция в исследуемых водных средах;

- определение наиболее устойчивого к коррозии ферросилиция для рассматриваемых условий в соответствии с наименьшим значением скорости его окисления.

4. Определены значения скоростей окисления трех марок ферросилиция и выбраны наиболее устойчивые к окислению марки ферросилиция применительно к использованию в исследуемых водах обогатительных фабрик АК «АЛРОСА».

5. Установлено, что интенсивность процессов окисления исследуемого ферросилиция в оборотных водах обогатительных фабрик АК «АЛРОСА» в наибольшей мере возрастает при увеличении концентрации хлорид ионов, что характеризуется максимальной теснотой связи между этими параметрами. Критерием отбора выбран наибольший парный коэффициент корреляции, составляющий 0,97.

ГЛАВА 4. ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ФЕРРОСИЛИЦИЕВОЙ СУСПЕНЗИИ ПРИ КОНТАКТЕ С КИСЛОРОДОМ ВОЗДУХА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ТСС ОФ №3 МГОКа

Исследования, представленные в настоящей главе, позволили определить потери ферросилиция в схеме ТСС ОФ №3 Мирнинского ГОКа и характеризовать процесс перемешивания воздухом в операциях приготовления и хранения ферросилициевой суспензии как основной фактор, помимо хлорид ионов, влияющий на интенсивность окисления ферросилиция. С учетом этого факта разработан способ повышения сохранности технологических свойств ферросилиция в операции перемешивания, включающий применение газообразного азота вместо воздуха в операции перемешивания ферросилициевой суспензии.

4.1. Определение основных точек и причин потерь ферросилиция в схеме ТСС на ОФ №3 МГОКа

Для определения основных точек процесса и причин потерь ферросилиция было проведено опробование схемы ТСС ОФ №3 МГОКа (Рисунок 4.1), совместно с сотрудниками института «Якутнипроалмаз» и ОТК ОФ №3 МГОКа.

В результате опробования было установлено, что потери ферросилиция в технологическом процессе ТСС ОФ №3 МГОКа обусловлены следующими основными причинами и определено количество каждого вида потерь:

1. Потери, связанные с низкой эффективностью процессов отмывки продуктов обогащения на грохотах. Потери ферросилиция с надрешётными продуктами процесса отмывки хвостов ТСС от суспензии, были определены отбором проб из надрешётного продукта с грохотов, с последующей ручной отмывкой частиц ферросилиция.

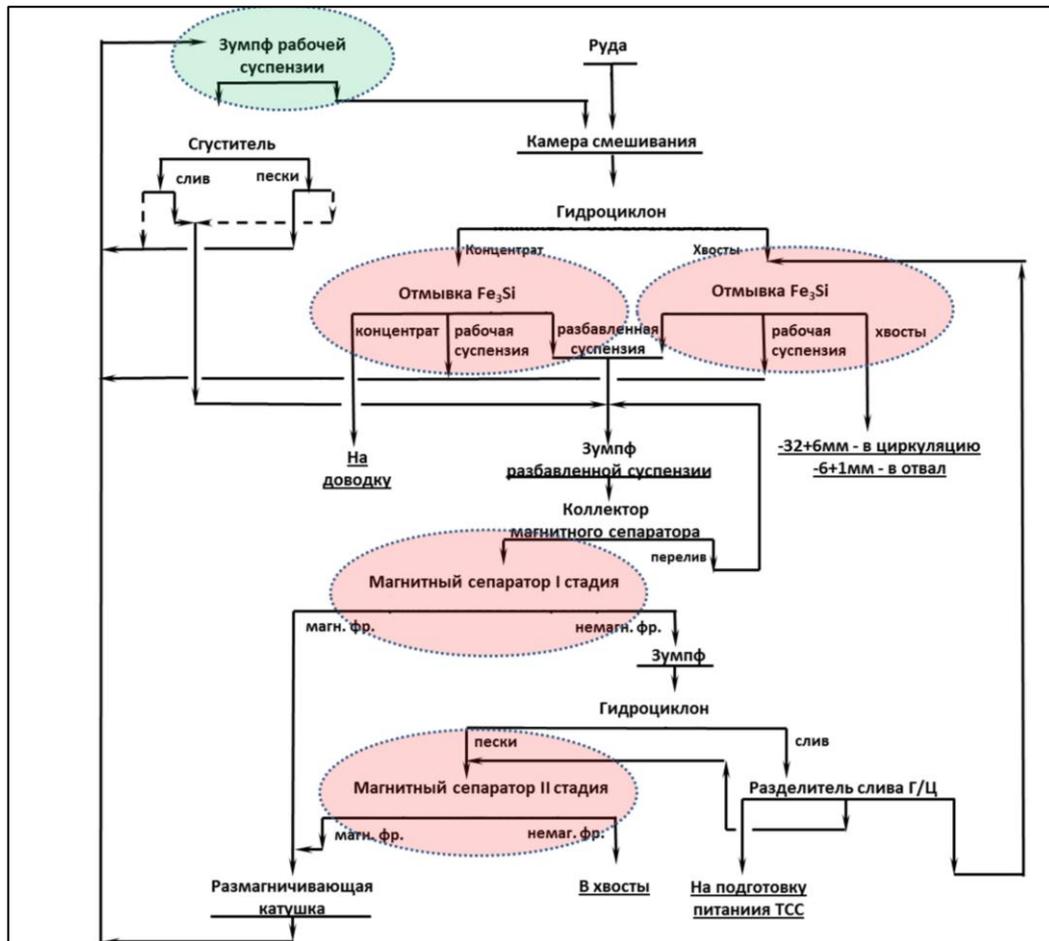


Рисунок 4.1 – Основные точки потерь ферросилиция (красным цветом) в схеме ТСС на ОФ№3 МГОКа

2. Часть потерь ферросилиция связана со снижением крупности частиц, обусловлена механическим истиранием в водоводах, насосах и т.д. Снижение крупности ферросилиция менее 10 мкм приводит к резкому снижению его магнитной восприимчивости и увеличенным потерям с хвостами магнитной сепарации. Данный вид потерь определялся отбором проб из слива сгустителя, с последующим определением частиц ферросилиция менее 12 мкм.

3. Потери ферросилиция в процессе регенерации ферросилициевой суспензии, вызванные снижением магнитных свойств зерен ферросилиция.

Потери ферросилиция в операции магнитной сепарации определялись отбором проб из хвостов магнитного сепаратора, с последующей проверкой отсутствия магнитных свойств частиц на ручном магните.

4. Потери вследствие окисления при контакте с кислородом воздуха

(используемого в процессе перемешивания и поддержания суспензии во взвешенном состоянии; при контакте с воздухом в процессах грохочения; с кислородом, растворенным в воде при ее контакте с воздухом) и последующего растворения составляющих ферросилиция. Данный вид потерь определялся вычитанием из общих потерь цикла ТСС (по данным обогатительной фабрики) вышеперечисленных видов потерь. Экспериментально установлено, что эти потери составляют в среднем 0,5 % в сутки (12 % в месяц) от общего количества ферросилиция, циркулирующего в схеме ТСС (Приложение А).

Расчет количество каждого вида потерь ферросилиция в схеме ТСС приведен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Расчет потерь ферросилиция в схеме ТСС

Вид потерь ферросилиция в схеме ТСС ОФ№3 МГОКа (В условиях проведенных испытаний)	Потери, % от общих потерь
1. С надрешетными продуктами процесса отмывки хвостов и концентрата ТСС от суспензии.	12
2. Вынос с жидкой фазой продуктов ТСС из-за снижения крупности ферросилиция при механическом истирании в водоводах, насосах и т.д.	59,6
3. С немагнитной фракцией (хвостами) магнитной сепарации.	8,4
4. Окисление ферросилиция кислородом воздуха и последующее растворения составляющих ферросилиция.	20
Суммарные потери ферросилиция в схеме ТСС (в среднем).	100

Так как прочностные свойства ферросилиция при окислении снижаются [100], что способствует более интенсивному механическому истиранию и, как следствие, к снижению крупности частиц ферросилиция. Следовательно, часть потерь из-за снижения крупности ферросилиция происходят в результате окисления поверхности частиц ферросилиция.

Таким образом, одной из основных причин потерь ферросилиция в цикле ТСС являются процессы окисления и последующего разрушения ферросилициевых зерен.

Следовательно, для снижения потерь ферросилиция из-за окисления необходимо обеспечить в процессе ТСС минимальный контакт ферросилиция с окислителями, в частности с воздухом, используемым в процессе перемешивания и поддержания ферросилиция во взвешенном состоянии в цикле приготовления и хранения ферросилициевой суспензии

4.2. Изучение влияния операции перемешивания воздухом на физические и физико-химические свойства ферросилициевой суспензии

Изучение влияния операции перемешивания ферросилициевой суспензии воздухом в цикле приготовления и хранения суспензии на интенсивность окисления ферросилиция производилось на суспензии, плотностью 2100 кг/м³, круглосуточно барботируемой воздухом с помощью лабораторного компрессора, в которой в течение 7 суток измерялись значения рН, Eh, содержание растворенного кислорода, содержание шламов и магнитные свойства. Для сравнения в рамках исследования изучались проба ферросилициевой суспензии без обработки (фактор окисления хлорид ионами).

Результаты исследования влияния операции перемешивания воздухом на окислительно-восстановительные свойства ферросилициевой суспензии представлены на рисунках 4.2 – 4.4. Анализ данных показал, что в пробе без обработки в процессе окисления в течение 7 суток Eh снизился до -113 мВ, а содержание растворенного в воде кислорода снизилось до 4,3 мг/л. Данный факт обусловлен тем, что в процессе окисления ферросилиция без доступа кислорода образуются соединения двухвалентного железа (Fe^{2+} , $\text{Fe}(\text{OH})_2$) обладающие восстановительными свойствами.

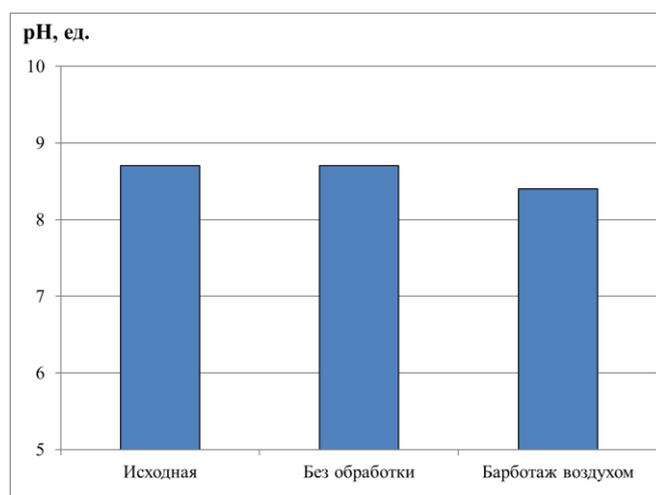


Рисунок 4.2 – Изменение рН суспензии, барботируемой воздухом в течение 7 суток

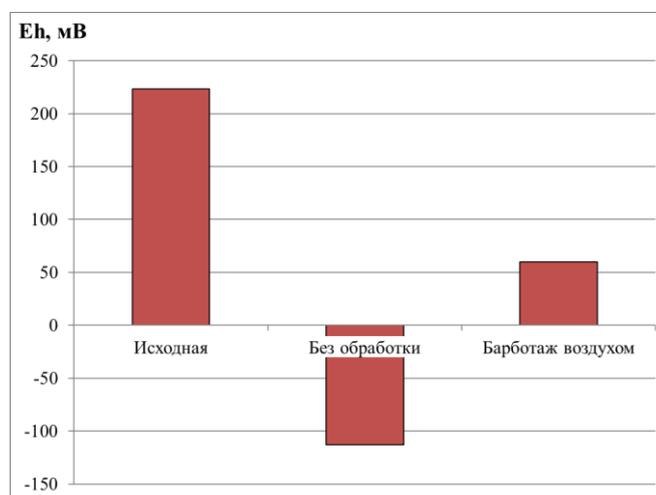


Рисунок 4.3 – Изменение Еh суспензии, барботируемой воздухом в течение 7 суток

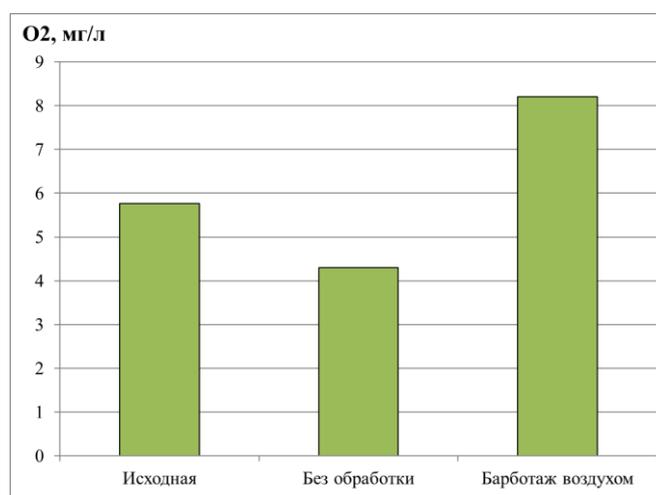


Рисунок 4.4 – Изменение концентрации растворенного кислорода в суспензии, барботируемой воздухом в течение 7 суток

Постоянная подача окислителя (кислород воздуха) при перемешивании ферросилициевой суспензии в течение 7 суток приводит к снижению Eh до +60 мВ и повышенному содержанию растворенного в воде кислорода (до 8,2 мг/л).

Во всех пробах значение pH во время эксперимента практически не изменяется.

Результаты исследования влияния операции перемешивания воздухом на магнитные свойства ферросилиция и содержания шламов в ферросилициевой суспензии представлены на рисунках 4.5 и 4.6.

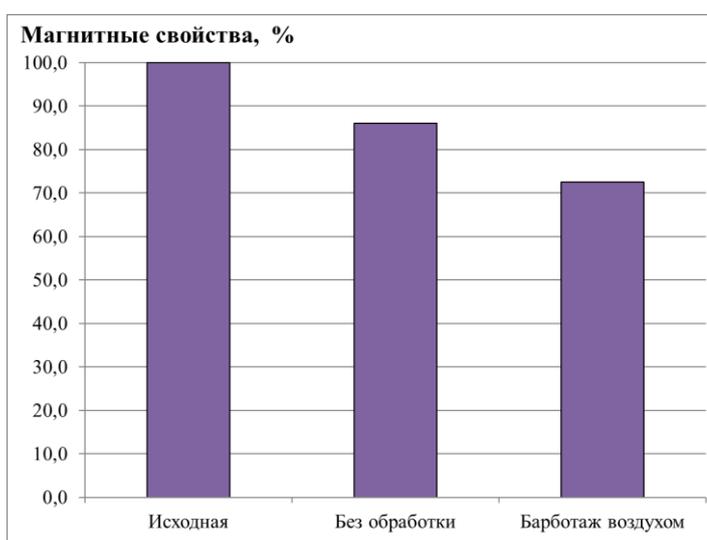


Рисунок 4.5 – Магнитные свойства частиц ферросилиция в суспензии, барботируемой воздухом в течение 7 суток

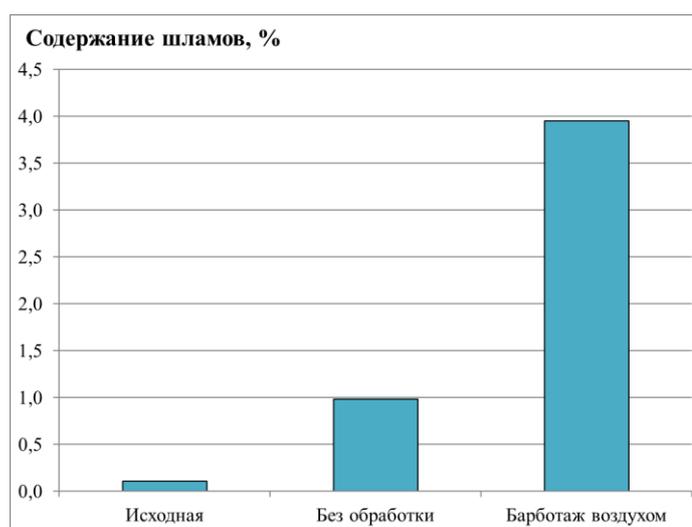


Рисунок 4.6 – Содержание шламов в суспензии, барботируемой воздухом в течение 7 суток

При анализе диаграмм 4.5 и 4.6 установлено, что перемешивание воздухом суспензии оказывает отрицательное влияние на технологические свойства ферросилициевой суспензии, а именно:

- происходит уменьшение магнитных свойств (удельной намагниченности насыщения), обеспечивающих извлечение ферросилиция в магнитную фракцию при регенерации на магнитном сепараторе, с 88,5 Ам²/кг на 14,0% (76,1 Ам²/кг) без обработки, на 27,5% (64,2 Ам²/кг) при барботаже воздухом.

- наблюдается увеличение содержания шламовых не магнитных частиц с 0,11% до 0,98% без обработки, до 4,0% при барботаже воздухом.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что процессы окисления ферросилиция интенсифицируются при постоянной подаче в качестве среды, используемым для перемешивания и поддержания ферросилициевой суспензии во взвешенном состоянии в цикле приготовления и хранения суспензии (барботажного агента) воздуха, содержащего сильный окислитель - кислород.

Одним из способов предотвращения окисления ферросилиция является замена воздуха, подаваемого в качестве барботажного агента в процесс приготовления и хранения ферросилициевой суспензии, на электрохимически инертные газы, не только не привносящие, но и снижающие концентрацию кислорода в суспензии и способствующие снижению окисления частиц ферросилиция. В качестве барботажного агента (газа) наиболее целесообразно использовать газообразный азот.

4.3. Разработка способа повышения сохранности технологических свойств ферросилиция с применением газообразного азота в операции приготовления и хранения суспензии

Исследования по возможности применения газообразного азота для предотвращения окисления ферросилиция выполнены аналогично исследованию влияния операции перемешивания воздухом.

Была приготовлена суспензия, плотностью 2100 кг/м³, круглосуточно барботируемой азотом с помощью лабораторного генератора азота, в которой в течение 7 суток измерялись значения pH, Eh, содержание растворенного кислорода, содержание шламов и магнитные свойства.

Результаты изменения окислительно-восстановительных свойств ферросилициевой суспензии при барботаже азотом представлены на рисунках 4.7 – 4.9. Для сравнения добавлены результаты исследований проб без обработки.

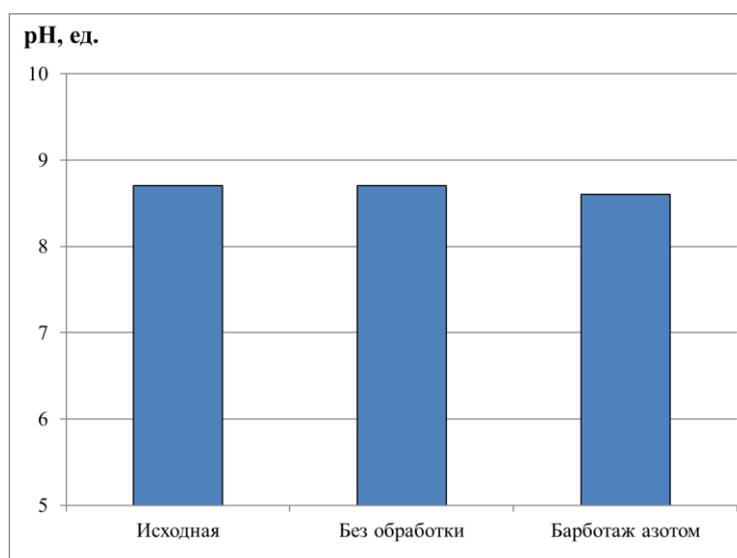


Рисунок 4.7 – Изменение pH суспензии, барботируемой азотом в течение 7 суток

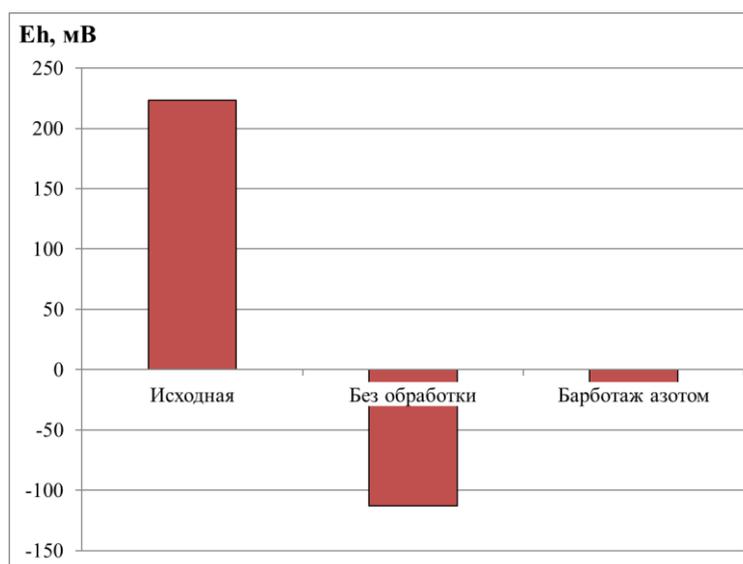


Рисунок 4.8 – Изменение Eh суспензии, барботируемой азотом в течение 7 суток

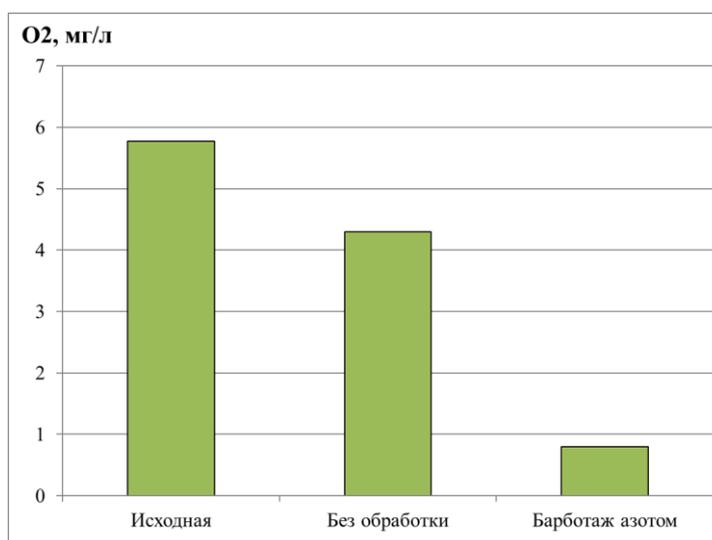


Рисунок 4.9 – Изменение концентрации растворенного кислорода в суспензии, барботируемой азотом в течение 7 суток

Перемешивание ферросилициевой суспензии в течение 7 суток газообразным азотом приводит к снижению Eh до -12 мВ и концентрации растворенного в воде кислорода (до 0,8 мг/л), что достигается благодаря предотвращению поступления газообразного кислорода в объем суспензии из воздуха.

Результаты исследования влияния операции перемешивания азотом на магнитные свойства ферросилиция и содержания шламов в ферросилициевой суспензии представлены на рисунках 4.10 и 4.11.

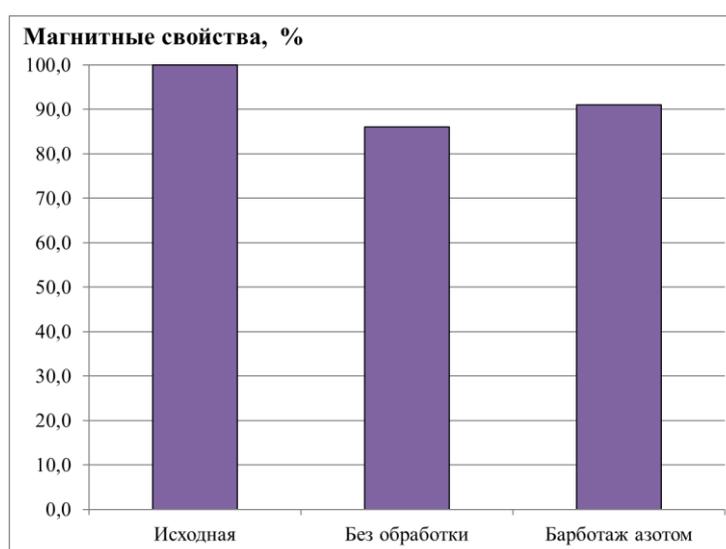


Рисунок 4.10 – Магнитные свойства частиц ферросилиция в исходной и барботируемой азотом суспензии в течение 7 суток

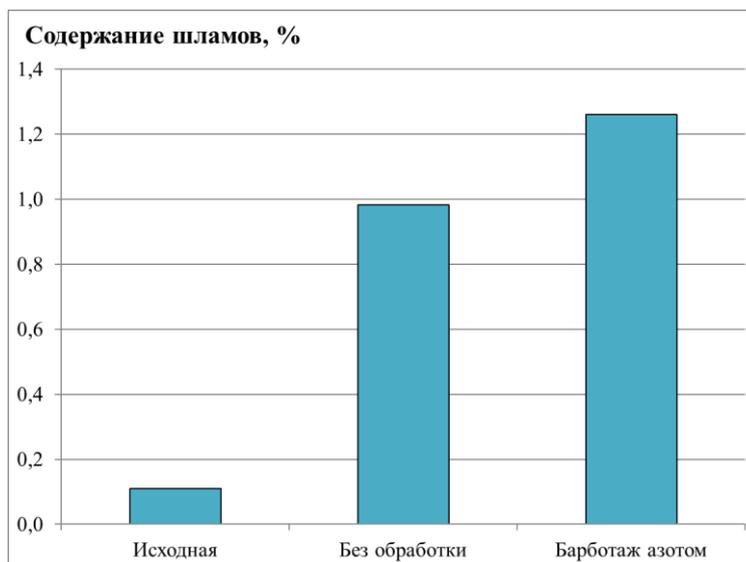


Рисунок 4.11 – Зашламованность суспензии ферросилиция в исходной и барботируемой азотом суспензии в течение 7 суток

При анализе полученных данных установлено, что при перемешивании суспензии газообразным азотом происходит уменьшение магнитных свойств, на 9,0% (с 88,5 до 80,5 Ам²/кг), а также увеличение содержания шламовых не магнитных частиц с 0,11% до 1,26%.

Результаты характеризуют газообразный азот как эффективную замену воздуха в операции перемешивания для повышения сохранности технологических свойств ферросилиция.

4.4. Изучение влияния операции перемешивания воздухом и азотом на химический состав ферросилиция

Из проб суспензий, барботируемых воздухом и азотом (Рисунок 4.12) для изучения изменения химического состава ферросилиция были отобраны зерна и исследованы на электронном микроскопе в лаборатории НИГП АК «АЛРОСА». Изображения, пролеченные с помощью электронного микроскопа, представлены на рисунке 4.13.

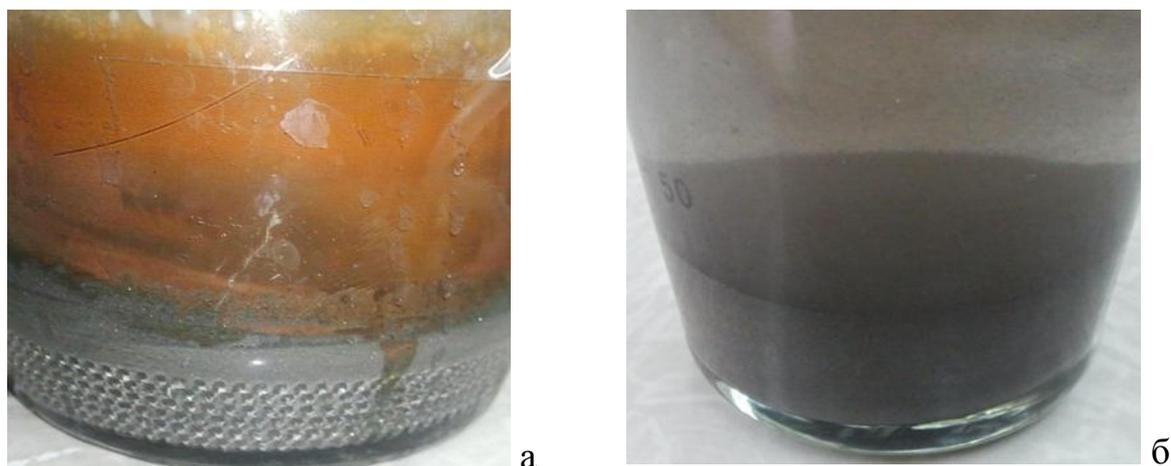


Рисунок 4.12 – Фото ферросилициевой суспензии при барботаже воздухом (а) и барботаже азотом (б) в течение 7 суток

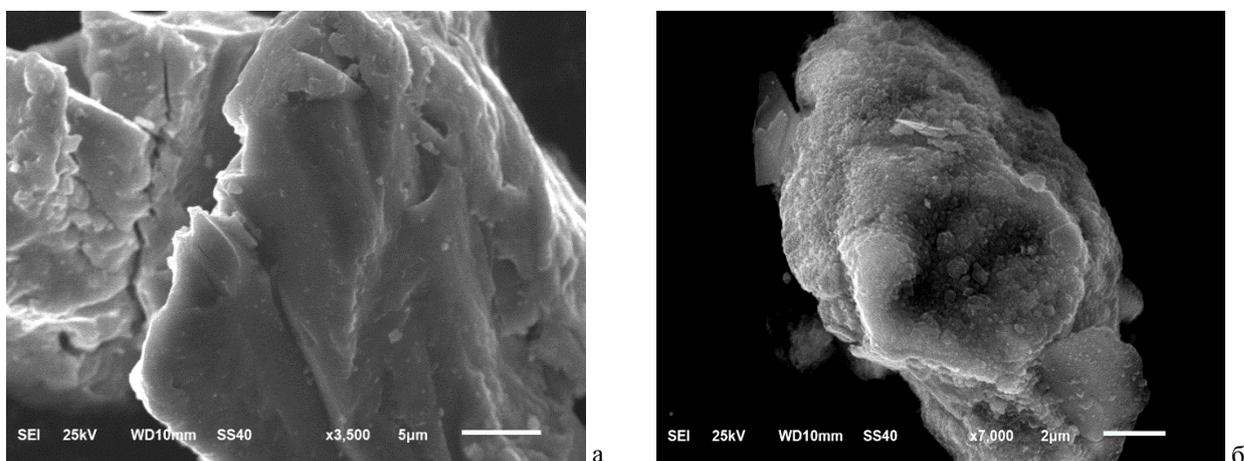


Рисунок 4.13 – Изображения зерен ферросилиция при барботаже воздухом (а) и барботаже азотом (б) в течение 7 суток

По полученным изображениям, визуально заметен процесс окисления и разрушения на зерне из пробы ферросилиция из суспензии, барботируемой воздухом. На зерне из пробы ферросилиция, барботируемого азотом, явных следов окисления не обнаружено.

Методом рентгеноспектрального микроанализа определен химический состав зерен из проб ферросилиция, барботируемого воздухом и азотом (Таблица 4.2). По данным анализа химического состава ферросилиция, при барботаже воздухом наблюдается снижение содержания железа, что свидетельствует об окислении и разрушении ферросилиция по железной составляющей.

Таблица 4.2 – Химический состав ферросилиция, барботируемого воздухом и азотом

Хим. элемент	Исходный	Барботаж воздухом	Барботаж азотом
C	10,96	7,46	9,54
O	1,70	19,25	7,57
Al	0,64	0,51	0,69
Si	10,97	16,07	11,78
Cl	0,00	0,47	0,19
Ca	0,00	0,11	0,00
Mn	0,81	0,53	0,87
Fe	73,73	55,60	69,36
Cr	0,63	0,34	0,49
Cu	0,56	0,16	0,37
Сумма	100,00	100,00	100,00

Напротив, в случае использования азота, наблюдаются более высокие содержания железа в пробе ферросилиция, свидетельствующие о его меньшем разрушении.

В качестве анализа поверхности зерна ферросилиция из пробы барботируемой воздухом составлены рентгеновские карты распределения химических элементов, составляющих ферросилиций (Рисунок 4.14) и элементов коррозии ферросилиция (Рисунок 4.15).

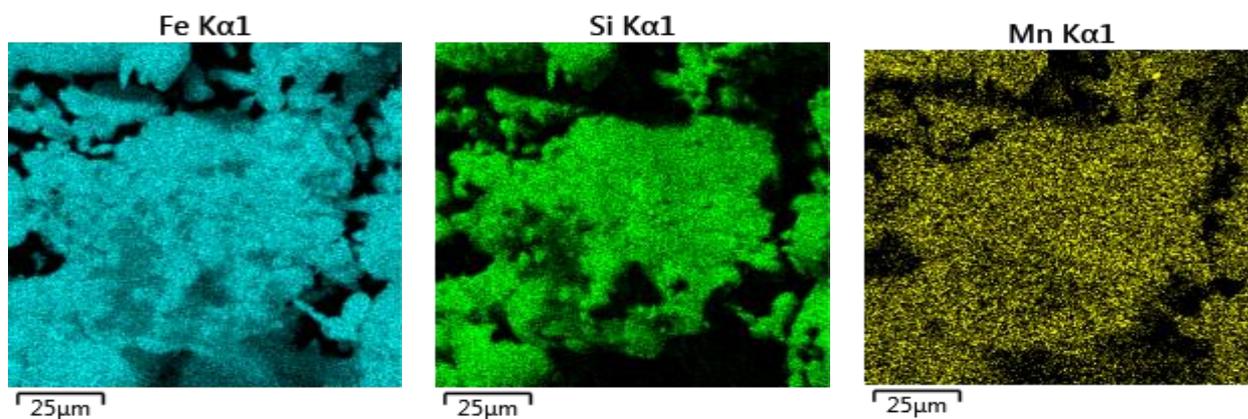


Рисунок 4.14 – Рентгеновские карты распределения химических элементов зерна ферросилиция из пробы, барботируемой воздухом

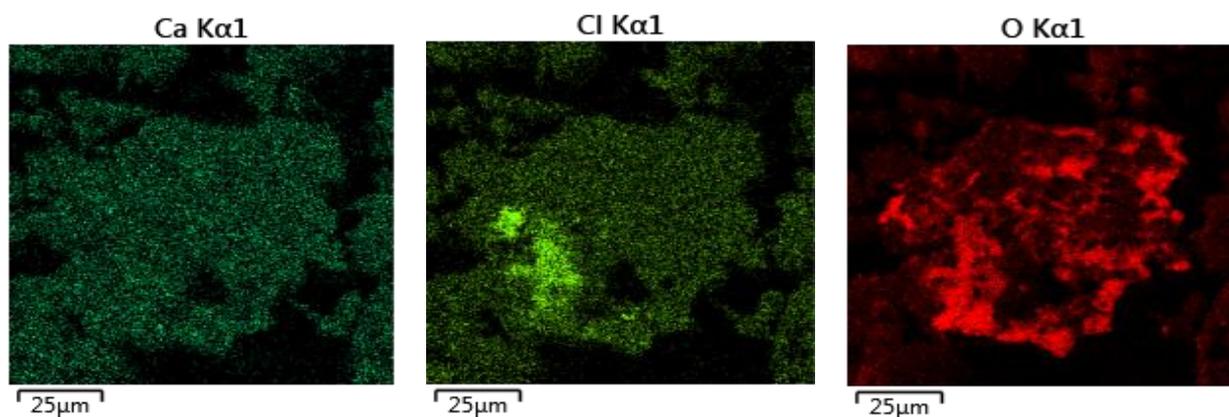


Рисунок 4.15 – Рентгеновские карты распределения химических элементов коррозии ферросилиция из пробы, барботируемой воздухом

При анализе рентгеновских карт распределения химических элементов установлена неравномерная коррозия по зерну ферросилиция с местами адсорбции хлорид ионов ускоряющими процесс коррозии. Данный факт свидетельствует о разрушающем воздействии по отношению к ферросилицию барботажа воздухом в условиях применения водных сред с высокой концентрацией хлорид ионов.

Выводы к главе 4

1. Установлено, что основные потери ферросилиция в схеме ТСС ОФ №3 Мирнинского ГОКа связаны с низкой эффективностью процессов отмывки продуктов обогащения на грохотах и потерями при магнитной регенерации ферросилициевой суспензии, что обусловлено снижением крупности частиц вследствие механического истирания в водоводах, насосах и с резким снижением его магнитной восприимчивости.

2. Показано, что потери ферросилиция в процессе тяжелосредной сепарации обусловлены процессами окисления при контакте с кислородом воздуха, используемого в процессе перемешивания и поддержания суспензии во взвешенном состоянии. Экспериментально при опробовании процесса установлено, что эти потери составляют 12 % в месяц от общего количества ферросилиция, циркулирующего в схеме ТСС.

3. Показано, что постоянный контакт ферросилиция с кислородом, поставляемым в суспензию воздухом в режиме барботажного перемешивания, приводит к снижению его магнитных свойств в 2 раза и увеличению содержания в суспензии шламовых частиц ферросилиция в 4 раза.

4. Для решения проблемы предупреждения окисления ферросилиция в цикле процесса приготовления и хранения ферросилициевой суспензии ТСС установлена целесообразность замены воздуха, используемого в качестве барботажного агента, на электрохимически инертную газовую среду, например, газообразный азот.

5. Разработан способ повышения эффективности процесса тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья, обеспечивающий снижение потерь и сохранность технологических свойств ферросилиция за счет применения газообразного азота в качестве барботажного агента в операции приготовления и хранения ферросилициевой суспензии.

ГЛАВА 5. – АПРОБАЦИЯ СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ СОХРАННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЕРРОСИЛИЦИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАЗООБРАЗНОГО АЗОТА В ОПЕРАЦИИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЕВОЙ СУСПЕНЗИИ

5.1. Характеристика азотной станции ОХУМАТ N-800 ЕСО

На основании анализа результатов, полученных при теоретических и экспериментальных исследованиях, была разработана методика проведения испытаний в цикле приготовления и хранения ферросилициевой суспензии процесса ТСС ОФ№3 МГОКа с применением азотной станции ОХУМАТ N-800 ЕСО (Рисунок 5.1), обеспечивающей выработку электрохимически инертного газа азота для последующего использования в качестве барботажного агента (Приложение А).



Рисунок 5.1. – Фото азотной станции ОХУМАТ N-800 ЕСО, смонтированной в цехе ТСС ОФ№3 МГОКа.

Производительность выбранной азотной станции соответствует производительности воздушного компрессора, используемого для перемешивания воздухом в цикле приготовления ферросилициевой суспензии промышленного процесса ТСС ОФ№3 МГОКа.

Основу азотной станции составляет генератор азота, представленный набором стальных адсорберов, заполненных специальным адсорбентом – углеродным молекулярным ситом. Этот специально подготовленный материал обладает порами таких размеров, которые преимущественно поглощают (адсорбируют) кислород, позволяя проходящему через адсорбер воздуху обогащаться азотом.

Предварительно прошедший осушение и очистку сжатый воздух поступает в генератор и проходит через адсорберы снизу-вверх. Молекулы азота, слабо проникающие в поры адсорбента, проходят через адсорбер и поступают в продуктовую линию, а кислород накапливается в адсорбенте (Рисунок 5.2).

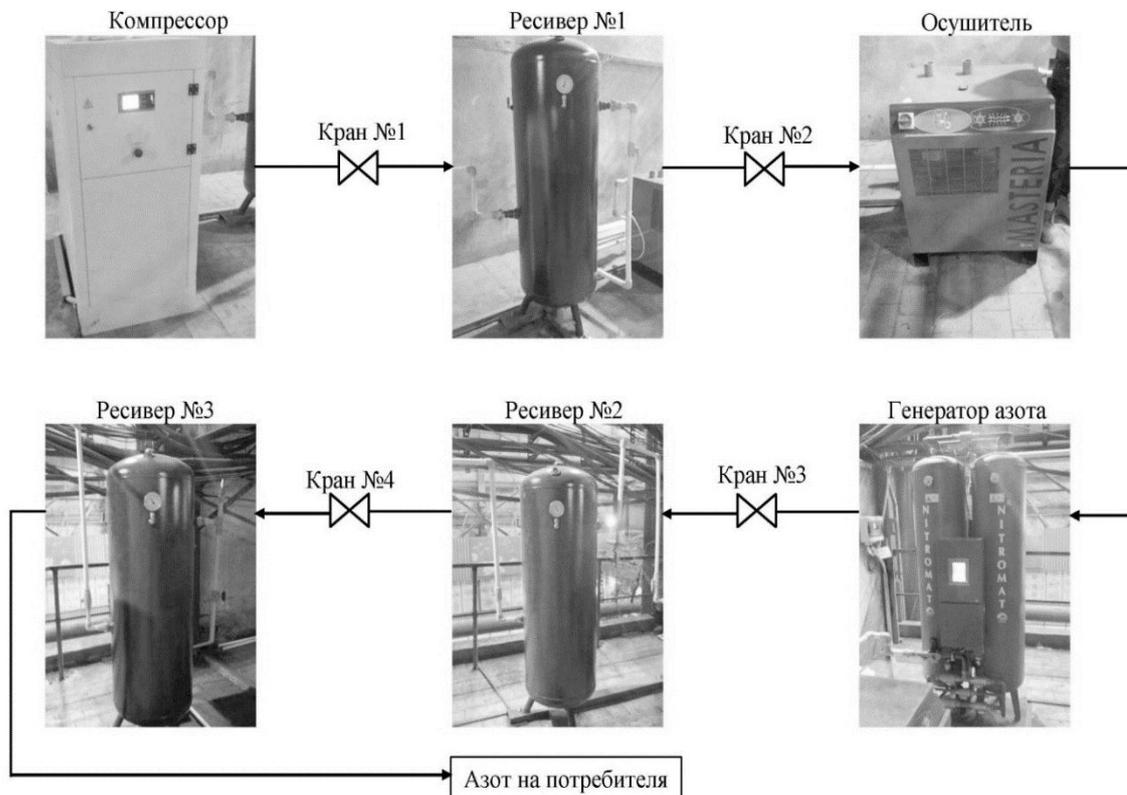


Рисунок 5.2 – Схема азотной станции ОХУМАТ N-800 ЕСО

Емкость адсорбента по поглощению кислорода ограничена, поэтому генераторы автоматически переключают режим работы адсорберов – одна группа адсорберов работает на поглощение кислорода, вторая – регенерируется. Во время регенерации давление в адсорбере понижается и накопленный кислород выпускается в атмосферу. Адсорберы циклически переключаются, обеспечивая непрерывную выработку азота (Рисунок 5.3).

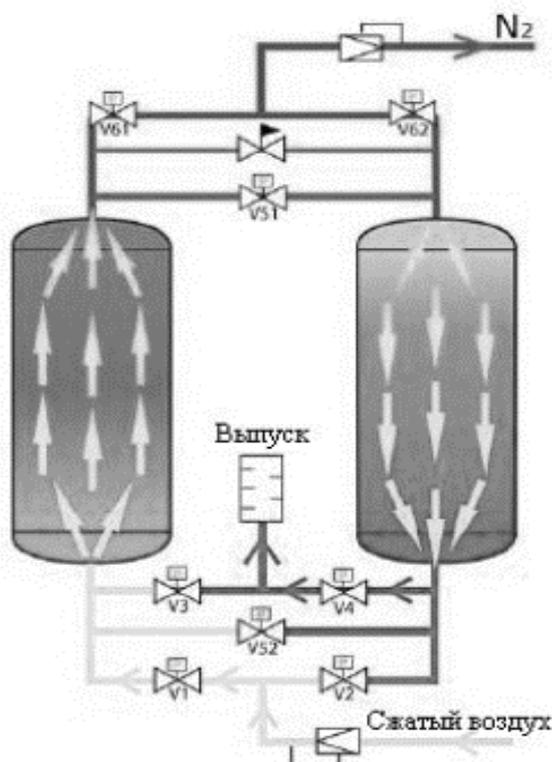


Рисунок 5.3 – Схема работы генератора азота

5.2. Экспериментальная апробация способа повышения сохранности технологических свойств ферросилиция на ОФ№3 МГОКа

Экспериментальные исследования по применению азотной станции для предотвращения процесса окисления ферросилиция в операции перемешивания суспензии проведены совместно с лабораторией ФМО и СОВ института «Якутнипроалмаз» в условиях ТСС на ОФ№3МГОКа. в два этапа. Первый этап предполагал испытания в емкости приготовления ферросилициевой суспензии.

Второй этап испытаний выполнен без подачи сырья (алмазосодержащих кимберлитов) в основной промышленной технологической схеме тяжелосредней сепарации [86].

5.2.1. Полупромышленные испытания технологических свойств ферросилициевой суспензии в условиях использования способа повышения сохранности технологических свойств ферросилиция на ОФ№3 МГОКа

Методика проведения испытаний состояла в следующем. Эксперименты выполнены с использованием промышленной емкости приготовления ферросилициевой суспензии (узел подготовки суспензии ТСУ производительностью 150 т/ч). В течение 72-х часов для перемешивания одной тонны ферросилиция (объем суспензии 2 м³, плотность суспензии 1430 кг/м³) сначала подавался азот, затем, для свежеприготовленной суспензии, воздух. При этом каждые 12 часов отбирались пробы для измерения величины намагниченности насыщения – параметра, характеризующего магнитные свойства ферросилиция. Исследования были выполнены с использованием ферросилиция двух марок: «Washington Mills» и «DMS Powders». Схема испытаний представлена на рисунке 5.4.

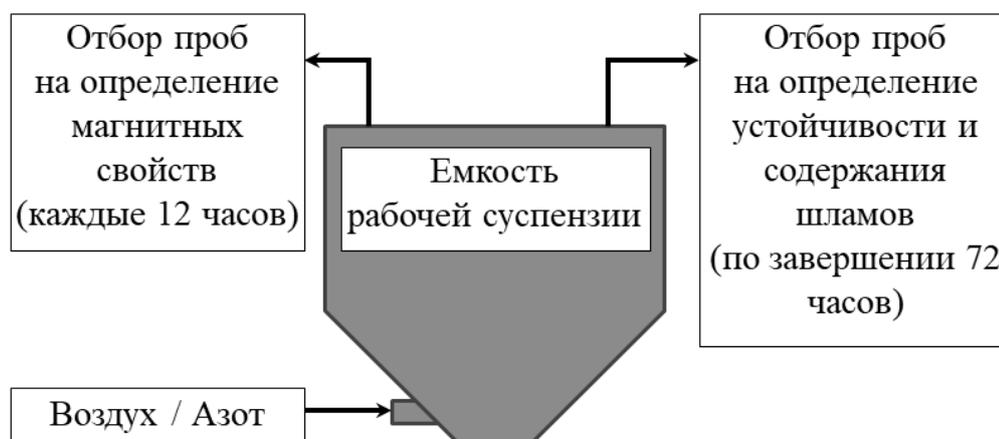


Рисунок 5.4. – Схема полупромышленных испытаний способа повышения сохранности технологических свойств ферросилиция

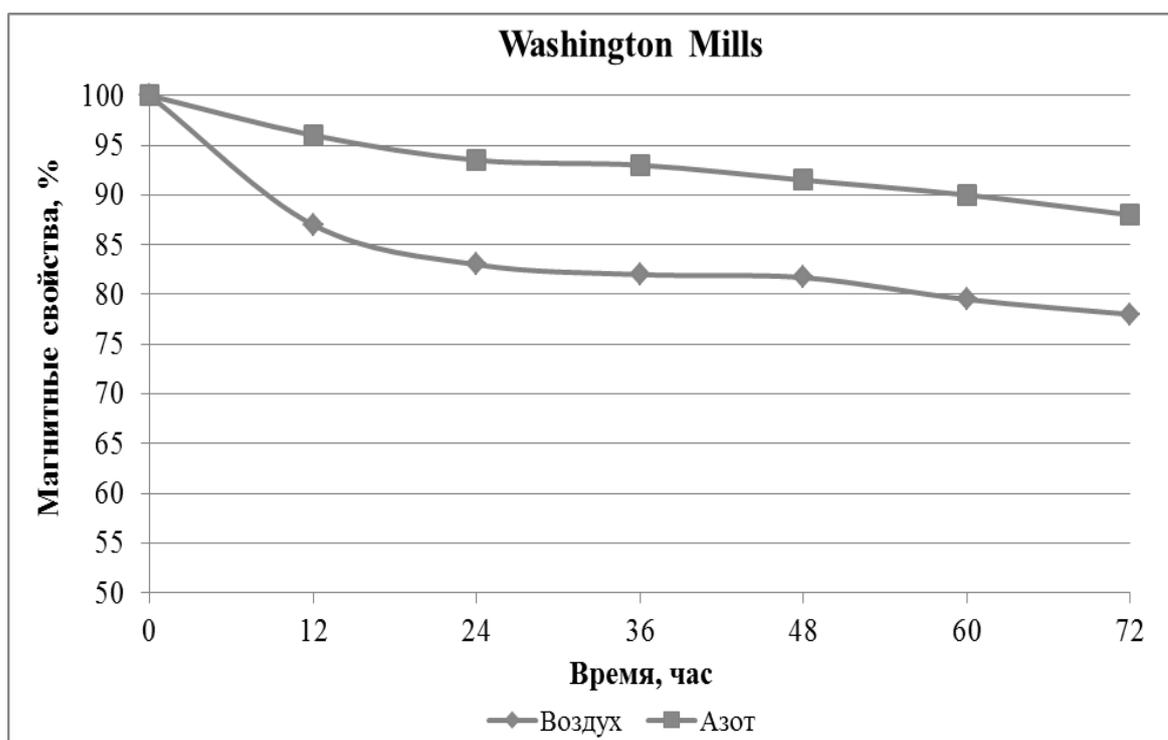


Рисунок 5.5. – Кинетика изменения магнитных свойств ферросилиция марки «Washington Mills»

Аналогично, в процессе этих же испытаний установлено, что магнитные свойства ферросилиция марки «DMS Powders» при его контакте с воздухом за 72 часа уменьшаются на 15%, тогда как при его контакте с азотом за 72 часа уменьшаются на 7% (Рисунок 5.6).

Для изучения влияния барботажа воздухом и азотом на реологические свойства суспензии в исследуемых условиях определены устойчивость и содержание шламов в пробах, отобранных после испытаний по определению кинетики изменения магнитных свойств ферросилиция (Рисунки 5.7 - 5.8).

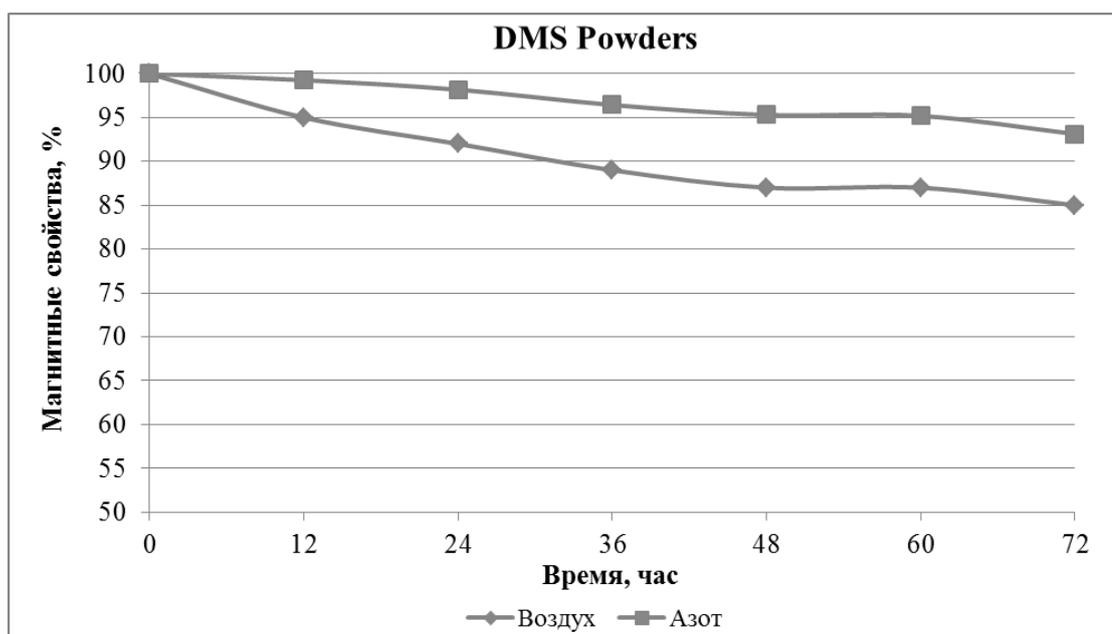


Рисунок 5.6 – Кинетика изменения магнитных свойств ферросилиция марки «DMS Powders»

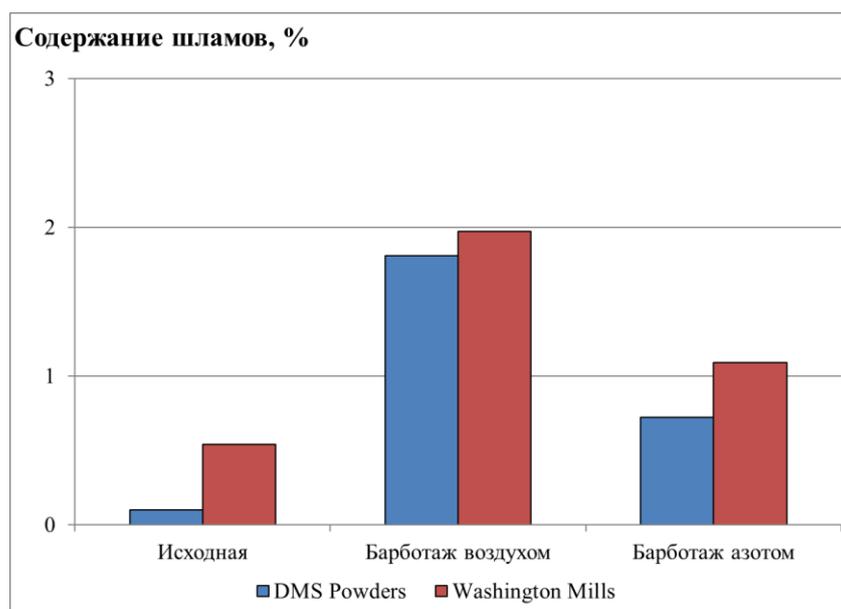


Рисунок 5.7 – Содержание шламов в ферросилициевой суспензии при барботировании азотом и воздухом

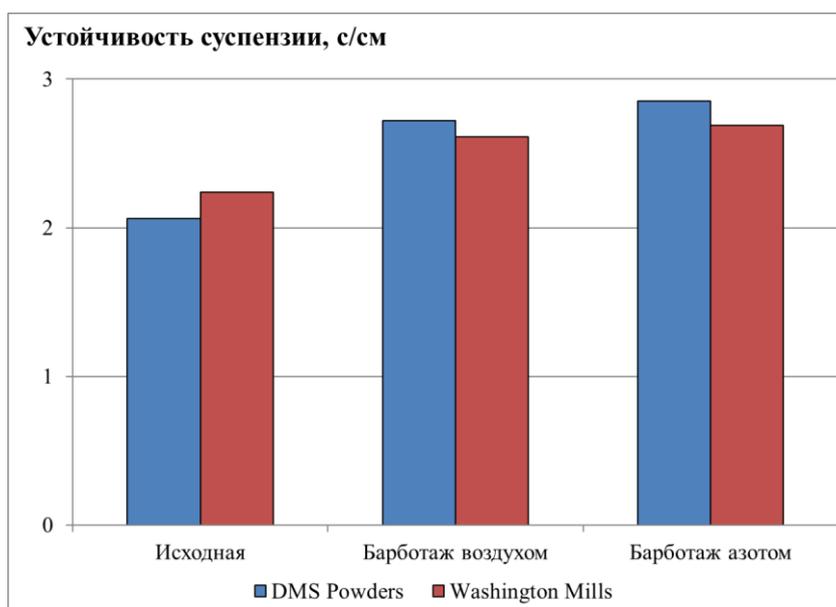


Рисунок 5.8 – Изменение устойчивости ферросилициевой суспензии при барботировании азотом и воздухом

В результате анализа результатов, представленных на рисунках 5.7 и 5.8, установлено что при барботаже воздухом и азотом происходит увеличение устойчивости суспензии (псевдостабиллизация), что связано с образованием шламовых частиц, которые в малых количествах за счет повышения вязкости и снижения скорости оседания зерен ферросилиция стабилизируют суспензию. Однако, такая стабилизация суспензии сопровождается существенным снижением эффективности процесса тяжелосредной сепарации за счет уменьшения скорости расслоения тяжелой и легкой фракции. Поэтому псевдостабиллизация суспензии при увеличении массовой доли шламов является однозначно негативным явлением.

Таким образом, в рамках первого этапа установлена эффективность разработанного способа с целью сохранения магнитных свойств ферросилиция. Дополнительно по результатам испытаний установлено, что ферросилиций марки «DMS Powders» на 68% более устойчив к окислению при перемешивании воздухом в оборотной воде ОФ №3 МГОКа, чем ферросилиций марки «Washington Mills», что подтверждается кинетикой изменения их магнитных свойств при барботаже воздухом.

5.2.2. Промышленные испытания способа повышения сохранности технологических свойств ферросилиция, включающего применение газообразного азота в качестве барботажного агента в операции перемешивания ферросилициевой суспензии на ОФ№3 МГОКа

Второй этап испытаний был проведен с использованием промышленной схемы узла ТСС производительностью 50 т/ч. Как выше указывалось, на данном этапе испытаний не был использован кимберлитовый материал в связи с тем, что основная задача состояла в оценке потерь ферросилиция в схеме ТСС от степени его окисления в цикле приготовления ферросилициевой суспензии. При постоянной работе циркуляционного насоса (для предупреждения запрессовки), в течение 8-ми суток для агитации 2-х тонн ферросилиция DMS Powder (объем суспензии 1,6 м³, плотность суспензии около 2100 кг/м³) в емкость рабочей суспензии в качестве барботажного агента сначала подавался азот, затем, для свежеприготовленной суспензии, воздух. При этом каждые 24 часа суспензия обрабатывалась в течение 30 мин. на промышленном магнитном сепараторе с целью выделения окисленных немагнитных частиц ферросилиция. Схема установки, используемой при проведении испытаний, представлена на рисунке 5.9.

В процессе проведенных испытаний эффективность применения в качестве барботажного агента электрохимически инертного газа - азота определялась по изменению плотности суспензии (массы ферросилиция в 1 м³ суспензии) в емкости рабочей суспензии.

Плотность рабочей суспензии определяли двумя методами: 1 – взвешиванием 1 литра суспензии (мерная литровая емкость) на весах, при постоянном объеме суспензии в баке готовой среды; 2 – по показаниям плотномера, установленного в баке готовой среды. В проведенных расчетах по определению теряемого утяжелителя плотность оборотной воды условно была принята равной 1000 кг/м³, а плотность ферросилиция – 6800 кг/м³.

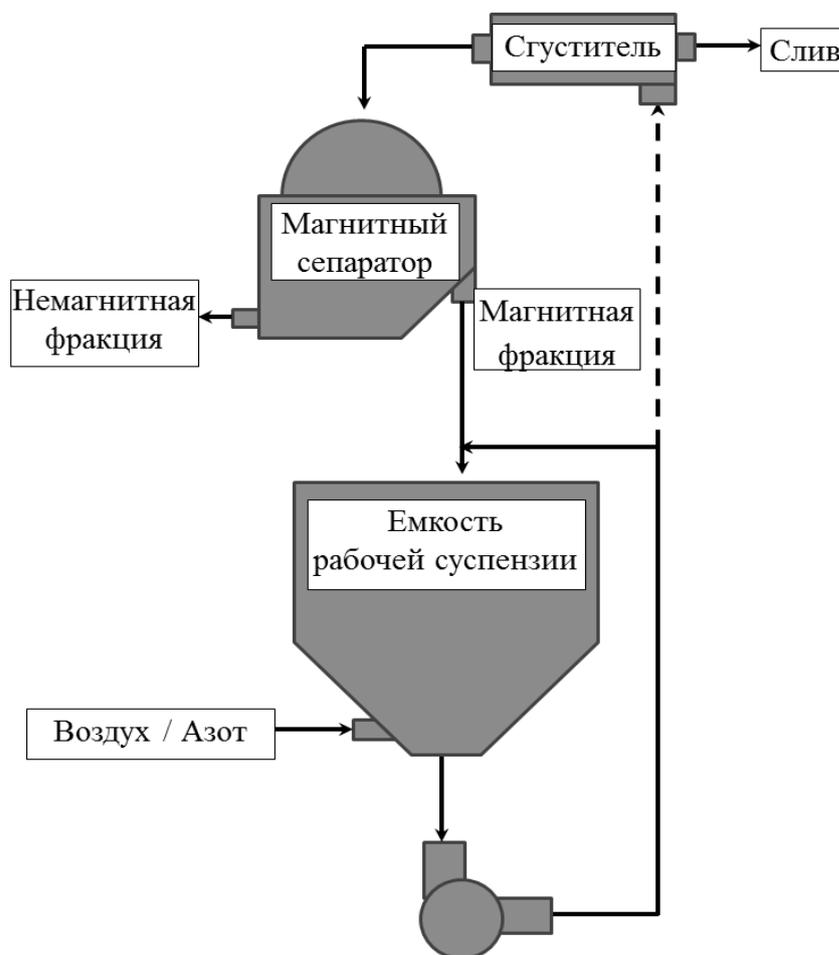


Рисунок 5.9. – Схема промышленных сравнительных испытаний способа повышения сохранности технологических свойств ферросилиция

В результате проведенных испытаний окисления ферросилиция в заданных условиях и контроля его потерь были получены следующие результаты:

- за 8 суток барботажа суспензии воздухом при ежесуточной магнитной регенерации суспензии потери ферросилиция составили 30 % от его исходной загрузки (Таблица 5.1);

- при аналогичных условиях барботажа суспензии с азотом потери массы ферросилиция снизились в 2,5 раза и составили 12 % от его исходной загрузки (Таблица 5.2).

Полученные результаты подтверждают эффективность выбора азота в качестве барботажного агента с низкой окисляющей способностью по отношению к ферросилицию.

Таблица 5.1 – Кинетика потери массы ферросилиция при барботировании суспензии воздухом

Время перемешивания ферросилиция, сутки	Плотность суспензии, кг/м ³	Масса ферросилиция в 1 м ³ суспензии*, кг	Остаток ферросилиция в 1 м ³ суспензии от исходного количества, %	Потери ферросилиция по массе, %
0 (исходный)	2150	1348,3	100,0	0,0
1	2150	1348,3	100,0	0,0
2	2110	1301,4	96,5	3,5
3	2110	1301,4	96,5	3,5
4	2050	1231,0	91,3	8,7
5	2020	1195,9	88,7	11,3
6	1900	1055,2	78,3	21,7
7	1900	1055,2	78,3	21,7
8	1800	937,9	69,6	30,4

* – Определение массы ферросилиция в 1 м³ суспензии выполнено расчетным способом.

Таблица 5.2 – Кинетика потери массы ферросилиция при барботировании суспензии азотом

Время перемешивания ферросилиция, сутки	Плотность суспензии, кг/м ³	Масса ферросилиция в 1 м ³ суспензии*, кг	Остаток ферросилиция в 1 м ³ суспензии от исходного количества, %	Потери ферросилиция по массе, %
0 (исходный)	2050	1231,0	100,0	0,0
1	2050	1231,0	100,0	0,0
2	2050	1231,0	100,0	0,0
3	2050	1231,0	100,0	0,0
4	2020	1195,9	97,1	2,9
5	2000	1172,4	95,2	4,8
6	1980	1144,8	93,0	7,0
7	1960	1125,1	91,4	8,6
8	1920	1083,3	88,0	12,0

* – Определение массы ферросилиция в 1 м³ суспензии выполнено расчетным способом.

Аппроксимация кривых изменения содержания ферросилиция при барботаже суспензии азотом и воздухом (Рисунок 5.10) позволяет оценить период полного разрушения ферросилиция. При перемешивании суспензии воздухом полное разрушение суспензии наступит через 15 суток, а при использовании азота - через 22 суток.

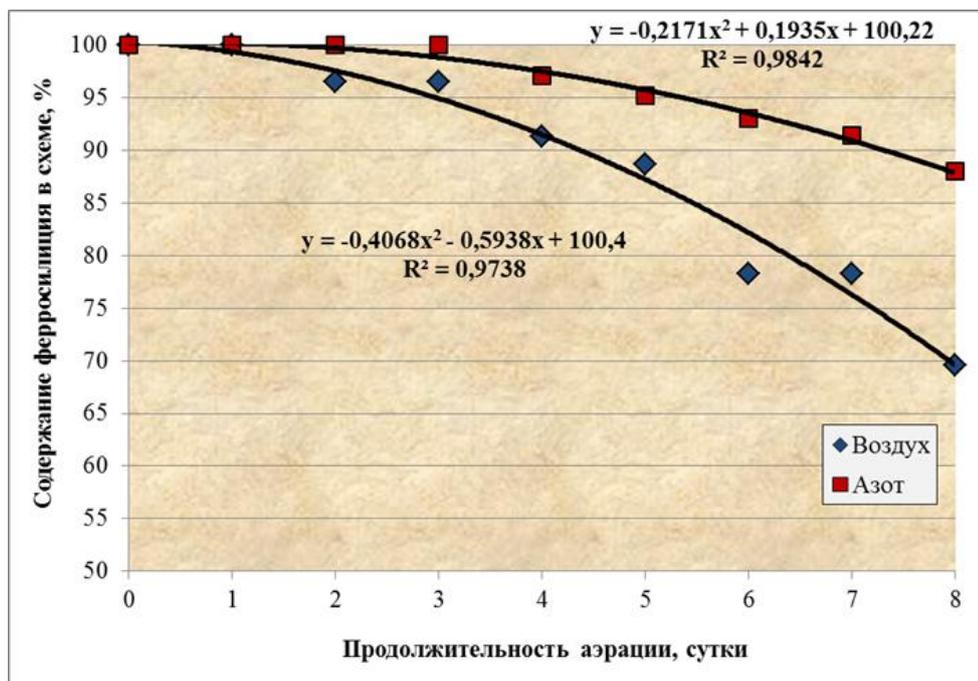


Рисунок 5.10. – Изменение содержания ферросилиция в схеме при барботировании азотом и воздухом

Достоверность полученных результатов подтверждается высокими значениями коэффициентов детерминированности ($R^2 = 0,97 - 0,98$) зависимостей содержания ферросилиция в суспензии от времени ее хранения в условиях барботажа воздухом и азотом.

Таким образом, применение азота вместо воздуха в качестве барботажного агента при приготовлении и хранении ферросилициевой суспензии позволит снизить потери на 18 % или 2,25% в сутки от его общей загрузки, что подтверждает эффективность использования газообразного азота для предотвращения окисления ферросилиция в пердеде ТСС ОФ №3 МГОКа. Результаты исследований подтверждены соответствующими актами испытаний (Приложения А, Б).

На основании полученных рекомендаций были проведены полупромышленные испытания разработанного режима приготовления и хранения суспензии ферросилиция на укрупненной стендовой установке. Результатами проведенных полупромышленных испытаний было показано, что предложенный способ повышения сохранности технологических свойств ферросилиция обеспечивает сокращение его потерь с 20 до 2%. Полученные результаты послужили основанием для проведения промышленных испытаний непосредственно в схеме тяжелосреднего обогащения обогатительной фабрики №3 Мирнинского ГОКа.

По результатам проведенных промышленных испытаний было показано, что предложенный способ повышения сохранности технологических свойств ферросилиция обеспечивает сокращение его потерь на 5%. Результаты испытаний подтверждены актом внедрения (Приложение В).

5.3. Технико-экономический расчет эффективности применения способа повышения сохранности технологических свойств ферросилиция в схеме ТСС на ОФ№3 МГОКа

Технико-экономические расчеты технологической эффективности разработанного способа снижения потерь ферросилиция в процессе ТСС алмазосодержащего сырья выполнены совместно с институтом «Якутнипроалмаз» на основании экспериментальных данных и подтверждены соответствующим актом (Приложение А, пункт б).

Для обоснования экономической эффективности внедрения азотной установки выполнены технико-экономические расчеты по двум вариантам:

Вариант 1 – существующая схема ТСС ОФ№3 МГОКа;

Вариант 2 – схема ТСС ОФ№3 МГОКа с внедрением способа повышения сохранности технологических свойств ферросилиция.

Для расчетов эффективности работы азотной установки в процессе ТСС на ОФ№3 выполнен предварительный расчет потерь ферросилиция в процессе тяжелосредней сепарации.

Расчет расхода ферросилиция для тяжелосредней сепарации произведен по формуле:

$$P_{\text{год}} = Q_{\text{тсс}} N q_m 10^{-6},$$

где $P_{\text{год}}$ – расход ферросилиция за год, т/год;

$Q_{\text{тсс}}$ – производительность ТСС, т/ч;

N – продолжительность работы фабрики под нагрузкой, час в год;

q_m – удельные безвозвратные потери ферросилиция на тонну питания установки ТСС, г/т.

Таким образом, годовой расход ферросилиция в действующей схеме ТСС составляет:

$$129,1 \times 7920 \times 0,000340 = 347,6 \text{ тонн.}$$

Результаты промышленных испытаний показали, что за 8 суток контакта с воздухом при ежесуточной магнитной обработке суспензии потерн ферросилиция составили 30 % от его исходной загрузки; за 8 суток контакта с инертным газом азотом при ежесуточной магнитной обработке суспензии потери ферросилиция снизились в 2.5 раза и составили 12 % от его исходной загрузки. При этом, магнитные свойства при контакте с азотом ферросилиция практически не изменяются. Т.е. 12 % потерь ферросилиция при контакте с азотом можно отнести к истиранию циркуляционным насосом, а 18 % приходится на процессы окисления ферросилициевых частиц.

Таким образом, снижение расхода ферросилиция составит:

$$347,6 \times 0,18 = 62,6 \text{ тонны}$$

Расчеты выполнены приростным методом, т.е. методом, характеризующим изменение натуральных и стоимостных показателей по отношению к их исходной величине (базовому значению). Базовыми значениями приняты достигнутые

технологические и экономические показатели работы существующей схемы ТСС ОФ №3.

В качестве притоков приняты снижение затрат на приобретение и доставку ферросилиция за счет реконструкции схемы ТСС. Отток средств представлен капитальными вложениями на приобретение азотной станции, затратами на восполнение основных фондов, приростом текущих затрат эксплуатации фабрики, к которому приведет реконструкция.

Расчет необходимого объема инвестиций в капитальные вложения выполнен с учетом существующей стоимости азотной станции – 2 154 600 рублей с учетом НДС производственных фондов обогатительной фабрики №3. Таким образом, суммарный объем капитальных вложений по варианту 2 составит 215,46 тыс. руб.

Расчет экономического эффекта произведен на основе расчета себестоимости обработки руды в процессе ТСС фабрики №3 по изменяющимся статьям: «вспомогательные материалы», «энергия». В связи с тем, что реконструкция не влечет рост численности персонала, статьи затрат «*заработная плата*» и «*отчисления на социальные фонды*» остаются неизменными, кроме того, статья «общепроизводственные расходы» также принята на уровне базового варианта и в расчете не участвуют.

Изменение затрат на *вспомогательные материалы* базируется на рассчитанных расходах ферросилиция и в процессе ТСС.

При внедрении азотной установки в схему ТСС фабрики №3 удельный расход электроэнергии при подаче воздуха увеличится с 14,5 кВт*ч/т до 23,5 кВт*ч.

Сравнение эксплуатационных затрат по вариантам сведены в таблицу 5.3.

Таблица 5.3. Сравнение эксплуатационных затрат

№	Показатели	Ед. изм.	Вариант 1	Вариант 2	Отклонение
Капитальные вложения					
1	Капитальные вложения	тыс. руб.	0	2154,6	2154,6
2	Срок службы установки ОХИМАТ	лет	0	10	
Расчет эксплуатационных затрат					
1	Амортизационные отчисления	тыс. руб.	0	215,46	-215,46
2	Ферросилиций	тыс. руб.	18668	15308	3360
3	Электроэнергия	тыс. руб.	350,8	568,5	-217,7
Эффективность		тыс. руб.			2926,84
Срок окупаемости		мес.			9

Согласно приведенным результатам расчетов ожидаемая эффективность от внедрения разработанного способа составит 2,9 млн. руб. Срок окупаемости составит 9 месяцев.

Выводы к главе 5

1. Разработана схема и методика проведения испытаний в цикле приготовления и хранения ферросилициевой суспензии процесса ТСС ОФ№3 МГОКа с применением в качестве генератора барботажного агента – азота, выработанного азотной станцией ОХУМАТ N-800 ЕСО.

2. В процессе предварительных испытаний ферросилициевой суспензии на основе двух марок ферросилиция и оборотной воды ТСС ОФ№3МГОКа установлено:

- магнитные свойства ферросилиция марки «Washington Mills» при барботаже суспензии воздухом за 72 часа ухудшаются на 22%, тогда как при ее барботаже азотом в тех же условиях - на 12%;

- магнитные свойства ферросилиция марки «DMS Powders» при барботаже суспензии воздухом за 72 часа ухудшаются на 15%, тогда как при его контакте с азотом за 72 часа - на 7%.

3. Проведенными промышленными испытаниями показано, что применение в качестве барботирующего агента азота вместо воздуха для перемешивания в операции приготовления и хранения ферросилициевой суспензии позволит снизить потери ферросилиция на 2,25 % в сутки от его общей загрузки, что подтверждает эффективность использования газообразного азота для предотвращения окисления ферросилиция в условиях ТСС ОФ№3 МГОКа.

4. Проведенными промышленными испытаниями показано, что разработанный способ повышения сохранности технологических свойств ферросилиция за счет применения азота вместо воздуха в качестве барботажного агента в операциях приготовления и хранения суспензии позволяет снизить суммарные потери утяжелителя, расходуемого в технологическом процессе ТСС ОФ №3 Мирнинского ГОКа на 5%

5. Результатами технико-экономических расчетов показано, что использование газообразного азота как барботажного агента в технологии приготовления и хранения ферросилициевой суспензии позволит за счет сокращения расхода утяжелителя в цикле ТСС ОФ№3 Мирнинского ГОКа достичь экономического эффекта в 2.9 млн. рублей в год при сроке окупаемости 9 месяцев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано новое решение актуальной научной задачи повышения эффективности тяжелосредного обогащения алмазосодержащих кимберлитов за счет снижения потерь ферросилиция.

Основные выводы заключаются в следующем:

1. Разработана вероятностно-статистическая математическая модель процесса окисления ферросилиция для различных форм дифференциальной кривой распределения частиц по размерам, включающая системы уравнений, отображающих зависимости потери магнитных свойств утяжелителя от времени окисления в водных средах и позволяющая определить функциональную зависимость снижения его магнитных свойств от параметров распределения частиц по размерам в исходном ферросилиции.

2. С использованием разработанной модели показано, что при увеличении среднего диаметра частиц ферросилиция время его окисления увеличивается и ферросилиций становится более устойчивым к окислению. При этом с увеличением дисперсии распределения диаметра частиц время окисления ферросилиция уменьшается и ферросилиций становится менее устойчив к окислению.

3. Показано, что снижение технологических свойств ферросилиция и его повышенные потери обусловлены уменьшением величины удельной намагниченности насыщения ферросилиция и образованием шламовых классов крупностью меньше 10-12 мкм вследствие его окисления, существенно усиливающегося при повышенных концентрациях в жидкой фазе хлоридных ионов и растворенного кислорода, поступающего в водную среду с воздухом, используемым для перемешивания суспензии.

4. Установлены зависимости снижения магнитных свойств ферросилиция различного дисперсного и химического состава в условиях варьирования ионно-молекулярного состава водной среды, определены значения скорости окисления

различных марок ферросилиция и выбраны наиболее устойчивые образцы для использования в технологических процессах ТСС в условиях применения насыщенных хлоридами оборотных водных систем обогатительных фабрик АК «АЛРОСА».

5. Установлены зависимости снижения магнитных свойств при окислении ферросилиция растворами, насыщенными различными типами газовой среды, обосновывающие замену воздуха электрохимически инертным газом – азотом в операциях хранения и перемешивания суспензии в технологических схемах тяжелосредной сепарации алмазосодержащих кимберлитов.

6. Разработан эффективный способ повышения сохранности технологических свойств ферросилиция в условиях применения агрессивных водных сред, включающий применение электрохимически инертного газообразного азота в качестве барботажного агента в операции приготовления и хранения ферросилициевой суспензии.

7. Проведенными промышленными испытаниями показано, что разработанный способ повышения сохранности технологических свойств ферросилиция с применением азота в качестве перемешивающего барботажного агента в операциях приготовления и хранения суспензии позволяет снизить потери ферросилиция на 2,25% в сутки и уменьшить на 5% суммарные потери утяжелителя в технологическом процессе ТСС ОФ №3 Мирнинского ГОКа. Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанного способа повышения эффективности процесса тяжелосредной сепарации составляет 2,9 млн. рублей в год.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

D – диаметр магнитного вещества, мкм;

Eh, ОВП – окислительно-восстановительный потенциал;

J_s – удельная намагниченность насыщения окисленного ферросилиция, Ам²/кг;

J⁰_s – удельная намагниченность насыщения исходного ферросилиция, Ам²/кг;

t – время окисления ферросилиция, сутки;

u – скорость окисления, мкм/сутки;

Δ – толщина окисленного слоя, мкм

μ – математическое ожидание;

σ² – дисперсия;

АК – Акционерная Компания;

МГОК – Мирнинский горно-обогатительный комбинат;

ОТК – отдел технического контроля;

ОФ – обогатительная фабрика;

РСМА – рентгеноспектральный микроанализ;

ЭХО – электрохимическая обработка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых / А.А. Абрамов – Т.2. Технология переработки и обогащения полезных ископаемых. – М.: Горная книга, 2004. – 509 с.
2. Авдохин, В.М. Основы обогащения полезных ископаемых / В.М. Авдохин – Т.1. Учебник для ВУЗов. – М.: Горная книга, 2008. – 417 с.
3. Авдохин, В.М. Сокращение потерь ферросилиция в процессе тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья / В.М. Авдохин, Е.Н. Чернышева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – №4. – С. 240-244.
4. Адамсон, А.У. Физическая химия поверхностей / А.У. Адамсон – М.: Мир, 1979. – 430 с.
5. Айлер, Р.К. Химия кремнезема / Р.К. Айлер – М.: Мир, 1982. ч. 2. – 712 с.
6. Алмазные обогатительные фабрики компании Dowding Reynard. – Mining J. – 1995. – (325) N 8345. – 216 с.
7. Бадаев, Ю.С. Показатели эффективности обогащения руд в тяжелых суспензиях / Ю.С. Бадаев, М.Д. Гершман, Р.И. Энгель // Обогащение руд. – 1975. – №4. – С. 9-13.
8. Басарыгин, Ю.М. Бурение нефтяных и газовых скважин / Ю.М. Басарыгин, А.И. Булатов, Ю.М. Проселков – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 632с.
9. Батунер, Л.М. Математические методы в химической технике / Л.М. Батунер, М.Е. Позин – Л.: Издательство Химия, 1971. – 824 с.
10. Батырева, Д.В. Регенерация магнетитовой суспензии при обогащении Экибастузских углей / Д.В. Батырева и др. // Обогащение и брикетирование углей. – 1971. – №12. – С.17-19.
11. Белых, З.П. Исследование свойств тяжелых суспензий из гранулированного ферросилиция применительно к обогащению несulfидной

руды: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.13 / Белых Зинаида Петровна. – М., 1966. – 20 с.

12. Берт, А.О. Технология гравитационного обогащения / А.О. Берт – Учебное пособие. – М.: Недра, 1990. – 574 с.

13. Благова, З.С. Обогащения угля в магнетитовой суспензии и ее регенерация / З.С. Благова // Обогащение и брикетирование углей. – 1964. – №36. – С. 12-20.

14. Богачев, В.И. Влияние продуктов электрохимической обработки воды на магнитные и электроповерхностные свойства ферросилиция / В.И. Богачев, Е.Н. Чернышева, Г.П. Двойченкова, Б.Б. Кубалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – №7. – С. 185-186.

15. Богданович, А.В. Теоретические основы и методы повышения эффективности разделения при гравитационном обогащении руд: дис. д-ра техн. наук: 25.00.13 / Богданович Александр Васильевич. – СПб, 2002. – 342 с.

16. Богданович, А.В., Овод Н.А. Исследование влияния реологических свойств структурированных суспензий на процесс обогащения / А.В. Богданович, Н.А. Овод // Сб. трудов ВНИИцветмета «Новое в добыче и переработке свинцово-цинкового сырья». – Изд. «Наука», 1975.

17. Бочаров, В.А. Технология обогащения полезных ископаемых / В.А. Бочаров, В.А. Игнаткина – М.: Руда и Металлы, 2007. Т. 2 – 408 с.

18. Верховский, И.М. О движении минеральных зерен в суспензиях/ И.М. Верховский, В.Н. Шохин // Обогащение руд. – 1958. – №6. – С. 16-20.

19. Верхотуров, М.В., Амелин С.А., Коннова Н.И. Обогащение алмазов / М.В. Верхотуров, С.А. Амелин, Н.И. Коннова – Учебное пособие. – ИПК СФУ, 2009. – 208с.

20. Вонсовский, С.В. Магнетизм / С.В. Вонсовский – М.: Наука, 1971. – 1032 с.

21. Гаврилюк, А.Н. Совершенствование технологии обогащения алмазосодержащих кимберлитов/ А.Н. Гаврилюк // Горный журнал. – 2011. – №1. – С. 74-77.

22. Гаррелс, Р.М. Растворы, минералы, равновесия / Р.М. Гаррелс, Ч.Л. Крайст – М.: Мир, 1968. – 368 с.
23. Глинка, Н.Л. Общая химия / Н.Л. Глинка – М.: Интегралл-Пресс, 2003. – 728 с.
24. Голосницкая, В.А. Анализ природных и сточных вод / В.А. Голосницкая, Е.В. Коваленко – Новочеркасск: МПИ 1979. – 84 с.
25. Горячев, Б.Е. Влияние некоторых характеристик суспензии на показатели сепарации в тяжелых средах алмазоносных руд кимберлитовой трубки «Катока» / Б.Е. Горячев // Сб. материалов 5-конгресса обогатителей стран СНГ – 2005. Т.1. – С. 58-60.
26. Горячев, Б.Е. Современные методы оценки технологических свойств труднообогащаемого и нетрадиционного минерального сырья благородных металлов и алмазов / Б.Е. Горячев, Т.В. Чекушина // Цветные металлы. – 2005. – №1 – С. 20-24.
27. Давыдов, Ю.В. Исследование свойств ферромагнитнитных дисперсных систем с целью интенсификации гравитационных процессов разделения в зернистых суспензиях: автореф. дисс. канд. техн. наук: 25.00.13 / М., 1976. – С.20.
28. Данилов, Ю.Г. Совершенствование физико-химических методов извлечения алмазов / Ю.Г. Данилов // Горный журнал. – 1994. – № 5. – С.27-28.
29. Двойченкова, Г.П. Разработка технических решений для повышения эффективности процесса ТСС в условиях обогатительной фабрики № 3 МГОКа / Г.П. Двойченкова, В.И. Богачев, Е.Н. Чернышева, А.В. Ерохин // Материалы международного совещания «Плаксинские чтения – 2007». – Апатиты, 2007. – С. 121-126.
30. Двойченкова, Г.П. Разработка, апробация и перспективы практической реализации электрохимического метода водоподготовки в схемах липкостной и тяжелосредной сепарации на обогатительных фабриках АК «АЛРОСА» / Г.П. Двойченкова, В.Г. Миненко, В.И. Богачев и др. // Материалы международного совещания «Плаксинские чтения – 2004». – Иркутск, 2004. – С. 125-127.

31. Двойченкова, Г.П. Результаты промышленных испытаний электрохимической технологии водоподготовки с малорастворимыми электродами нового типа на переделе пенной сепарации ОФ№3 МГОКа/ Г.П. Двойченкова, В.Г. Миненко, А.И. Каплин и др. // Материалы VIII Конгресса обогатителей стран СНГ. – Москва, 2011. – С. 345-348.
32. Чантурия, В.А. Экспериментальные исследования физико-химического состояния свойств ферросилиция в процессе тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья / В.А. Чантурия, Г.П. Двойченкова, В.И. Богачев, и др. // Збагачення корисних копалин. – 2012. – Вип. 49(90). – С. 63-75.
33. Джура, В.А. Применение процесса обогащения в тяжелых средах при переработке алмазосодержащей руды месторождения «Юбилейное» / В.А. Джура // Материалы международного совещания «Плаксинские чтения – 2002». – Чита, 2002. – С. 61-62.
34. Джура, В.А. Методика подготовки и регенерации суспензии / В.А. Джура, Н.М. Кулебякин, Н.И. Селезнева, К.В. Федотов // Сборник научных трудов «Гидроминеральные ресурсы Восточной Сибири». – Иркутск: Издательство ИрГТУ, 2001. – С. 135-139.
35. Джура, В.А. Обогащение алмазосодержащих кимберлитов в тяжелой суспензии / В.А. Джура, Н.М. Кулебякин, Н.И. Селезнева и др. // Обогащение руд. – 2002. С. 3-8.
36. Дубовец, А.Н. К вопросу измерения вязкости пульпы и суспензий вискозиметрами истечения / А.Н. Дубовец, Т.Г. Карпенко // Тр. Гос. проектно-конструкт. и н.-и. ин-та по автоматиз. угольн. пром-сти. – 1969. – вып. 4. – С. 106-113.
37. Евсиович, С.Г. Обогащение руд в тяжелых суспензиях / С.Г. Евсиович – М. 1959 – 285 с.
38. Зарубин, Л.С. Магнетитовые утяжелители для тяжелосредного обогащения углей / Л.С. Зарубин, М.Б. Иофа, В.И. Чернов – М.: ЦНИЭИуголь. –, 1983. – 41 с.

39. Землянский, П.П. Обогащение угля в тяжелых средах / П.П. Землянский – М., 1953 – 164 с.
40. Иванов, М.П. Методы измерения физических величин (магнитные измерения) / М.П. Иванов – Уфа: изд. института им. Серго Орджоникидзе, 1984. – 60 с.
41. Калинин, В.Т. Введение в магнетохимию / В.Т. Калинин, Ю.В. Ракитин – М.: Наука, 1980. – 302 с.
42. Калитин, В.Т. Создание новых горно-обогатительных комплексов АК «АЛРОСА» и внедрение новых прогрессивных технологий и оборудования, обеспечивающих высокое извлечение и сохранность алмазов при добыче и обогащении алмазосодержащего сырья // Материалы международного совещания «Плаксинские чтения – 2004». – Иркутск, 2004. – С. 114-117.
43. Калюжная, Р.В. Исследование влияния магнитного поля на свойства оживленной ферромагнитной суспензии в процессе магнитногравитационной сепарации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 7. – С. 392-402.
44. Каплин, А.И. Интенсификация процесса мокрого самоизмельчения кимберлитов на основе использования электрохимического кондиционирования водных систем: дисс. канд. техн. наук: 25.00.13. / Каплин Алексей Иванович – М., 2010. – 107 с.
45. Кармазин, В.И. Магнитные методы обогащения / В.И. Кармазин, В.В. Кармазин – М.: Недра, 1978. – 314 с.
46. Классен, В.И. Реологические свойства ферросилициевых суспензий и методы их измерения / В.И. Классен, В.И. Литовко – М.: Недра, 1972.
47. Классен, В.И. Улучшение свойств суспензий и процесса обогащения добавлением реагентов-пептизаторов / В.И. Классен, В.И. Литовко, З.С. Благова и др. // В сб. «Обогащение углей гравитационными методами». – М., Наука, 1965. – С. 80-87.

48. Классен, В.И. Методы улучшения физико-механических свойств структурированных суспензий / В.И. Классен, В.И. Литовко, Г.Д. Краснов – М. Наука, 1968. – 65 с.
49. Классен, В.И. Улучшение физико-механических свойств ферросилициевых суспензий с помощью реагентов / В.И. Классен, В.И. Литовко, Н.Ф. Мясников // Цветные металлы. – 1963. – №10. – С. 12-16.
50. Коваленко, Е.Г. Разработка комбинированного термо-электрохимического метода обработки флотационных систем в процессе пенной сепарации алмазосодержащих кимберлитов: дисс. канд. техн. наук: 25.00.13 / Коваленко Евгений Геннадьевич. – М., 2015. – 152 с.
51. Козлов, В.А. Свойства магнетитовой суспензии, как разделительной среды для обогащения угля / В.А. Козлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 7. – С. 79-85.
52. 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.
53. Колмогоров, А.Н. Теория вероятностей и математическая статистика / А.Н. Колмогоров – М.: Наука, 1986. – 534 с.
54. Коннова, Н.И. Теория и практика современной сепарации в тяжелых средах. Моделирование результатов тяжелосредного обогащения / Н.И. Коннова, С.В. Килин – Монография – Изд. «Проспект», 2015. – 86 с.
55. Котова, О.Б. Поверхностные процессы в тонкодисперсных минеральных системах / О.Б. Котова – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 194 с.
56. Краснов, Г.Д. Обоснование метода вибрационной интенсификации обогащения в структурированных тяжелых суспензиях / Г.Д. Краснов // В кн.: «Интенсификация переработки минерального сырья». – М.: Наука, 1975. – С. 3-14.
57. Краснов, Г.Д. Применение низкочастотных колебаний для улучшения условий разделения руды в тяжелой суспензии / Г.Д. Краснов, Е.В. Гуляихин, Ю.Р. Маевский // Цветные металлы. – 1970. – №9 – С. 83-84.

58. Краснов, Г.Д. О скорости падения твердых частиц в вибрирующей вязкой среде / Г.Д. Краснов, Ю.Р. Маевский // Изв. АН СССР. Metallургия и горное дело. – 1964. – №5. – С. 179-184.
59. Краснов, Г.Д. Интенсификация разделения минералов в тяжелых суспензиях / Г.Д. Краснов, В.Б. Струков – М.: Недра, 1980. – 57 с.
60. Кремер, Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика / Н.Ш. Кремер – М., 2004. – 573 с.
61. Кулебякин, Н.М. Основные этапы создания и совершенствования технологии обогащения алмазосодержащих руд и песков / Н.М. Кулебякин, А.В. Прокопенко // Горный журнал. – 2001. – №5. – С. 49–52.
62. Ларионов, Н.П. Опыт внедрения технологии тяжелосредной сепарации на предприятиях АК «АЛРОСА» / Н.П. Ларионов, О.Б. Кизилова, Л.В. Савицкий, Т.Ю. Усольцева и др. // Материалы IV Конгресса обогатителей стран СНГ. – 2003. – С. 74-76.
63. Липная, Е.Н. Разработка метода повышения качества магнетитового концентрата на основе электроимпульсной дефлокуляции пульпы: дисс. канд. техн. наук: 25.00.13. / Липная Екатерина Несторовна. – М., 2010. – 136 с.
64. Лютин, Л.Б. Стабилизация минеральных суспензий / Л.Б. Лютин – М.: Геологиздат, 1947. – 45 с.
65. Миненко, В.Г. Интенсификация процесса тяжелосредной сепарации для технологии ОФ №15 Нюрбинского ГОКа / В.Г. Миненко, В.И. Богачев, Е.Н. Чернышева и др. // Материалы V Конгресса обогатителей стран СНГ. – 2005. – С. 68-71.
66. Монастырский, В.Ф. Повышение эффективности работы грохотов в условиях фабрики №3/ В.Ф. Монастырский // Материалы международного совещания «Плаксинские чтения – 2007». – Апатиты, 2007. – С. 555-556.
67. Монастырский, В.Ф. Экспериментальные исследования процессов обогащения алмазосодержащего сырья в тяжелосредных сепараторах / В.Ф. Монастырский // Материалы международного совещания «Плаксинские чтения – 2007». – Апатиты, 2007. – С. 145-147.

68. Морозов, В.В. Основные закономерности формирования ионно-молекулярного состава жидкой фазы при диафрагменной электрообработке пульпы / В.В. Морозов, Т.С. Николаева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – №9. – С. 205-208.

69. Мясников, Н.Ф. Влияние некоторых факторов на вязко-пластичные свойства ферросилициевых суспензий / Н.Ф. Мясников // Тр. н.-и. и проектно-конструкт. ин-та по добыче полезн. ископаемых открытым способом. – 1965. – вып. 4. – С. 403-410.

70. Нехороший, И.Х., Лупанова И.В. Исследование действия реагента-пептизатора для улучшения физико-механических свойств магнетитовых суспензий при обогащении Карагандинских углей / И.Х. Нехороший, И.В. Лупанова // Тр. Инт-та горючих ископаемых. – 1969. – №4. – С. 19-27.

71. Обогащение алмазов // World Mining Equip. – 1997, –21, N9. – С. 3.

72. Плаксин, И.Н. Обогащение руд в тяжелых средах / И.Н. Плаксин // Академия наук СССР. – 1962. – 110 с.

73. Плаксин, И.Н. Применение реагентов пептизаторов для улучшения физико-технических свойств тяжелых суспензий из гранулированного ферросилиция / И.Н. Плаксин, В.И. Классен и др. // Научн.-техн. бюлл. «Цветная металлургия». – 1966. – №14.

74. Ребиндер, П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур / П.А. Ребиндер. – М.: Наука, 1966. – 347 с.

75. Решение математики онлайн URL: <http://math24.biz/>

76. Румшинский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента-справочное руководство / Л.З. Румшинский. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

77. Рысенкова, Г.И. Исследование и разработка параметров устройства для автоматического контроля концентрации ферромагнитной компоненты в смесях и суспензиях: автореф. дисс. канд. техн. наук / М., 1973. – 16 с.

78. Савицкий, Л.В. Методы и способы оптимизации технологического процесса тяжелосредного обогащения на обогатительных фабриках АК

«АЛРОСА» / Л.В. Савицкий // Материалы международного совещания «Плаксинские чтения – 2004». – Иркутск, 2004. – С. 121-122.

79. Садименко, А.П. Экспериментальные методы коллоидной химии / А.П. Садименко, Т.П. Духнина, Е.Б. Глуз. – Ростов-на-Дону: РГУ, 1988. – 276 с.

80. Селвуд, П. Магнетохимия / П. Селвуд. – М.: ИЛ, 1958. – 458 с.

81. Семенов, Б.А. Исследование влияния дисперсности магнетитового утяжелителя на основные технологические параметры процесса обогащения углей в тяжелых суспензиях: автореф. дисс. канд. техн. наук / Донецк, 1970. – 21 с.

82. Справочник по обогащению полезных ископаемых. / Под ред. С.И. Полькина. – М., 1952, Т.3. – 990 с.

83. Справочник по обогащению руд. Основные процессы. / Под ред. О.С. Богданова, 2-е изд. – М.: Недра, 1983. – 381 с.

84. Тимофеев, А.С. Анализ методов повышения эффективности процесса тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья / А.С. Тимофеев, Е.Н. Чернышева, Г.П. Двойченкова, В.Г. Миненко и др. // Сборник докладов «Наука и инновационные разработки – Северу». – Издательство Сибирского отделения РАН (Новосибирск) Мирный, 2014. – С. 326-330.

85. Тимофеев, А.С. Математическая модель окисления гранул ферросилиция в минерализованных водах / А.С. Тимофеев, П.П. Ананьев, Г.П. Двойченкова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – №5 (специальный выпуск 8). – С. 3-11.

86. Тимофеев, А.С. Экспериментальное обоснование электрохимического и физико-химического методов стабилизации параметров ферросилициевой суспензии / А.С. Тимофеев, Г.П. Двойченкова, Е.Н. Чернышева, О.Е. Ковальчук // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 9. – С. 41-48.

87. Усачев, П.А. Магнитные и структурно-механические свойства ферромагнитных суспензий / П.А. Усачев, Ю.В. Давыдов // В сб. «Процессы и аппараты в магнитн. поле». – Апатиты, 1974. – С. 5-45.

88. Фишман, М.А. Извлечение золота и алмазов из руд и россыпей / М.А. Фишман, В.И. Зеленев. – М.: Недра, 1967. – 356 с.

89. Чантурия, В.А. Обогащение алмазосодержащих кимберлитов / В.А. Чантурия, Б.Е. Горячев // В сб. «Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья». – ИПКОН РАН, 2008. – С.151-163.

90. Чантурия, В.А. И.Н. Плаксин – выдающийся ученый в области обогащения полезных ископаемых и гидрометаллургии (к 115-летию со дня рождения члена-корреспондента Академии наук СССР И. Н. Плаксона) // Цветные металлы. – 2015. – №8. – С. 81-88.

91. Чантурия, В.А. Электрохимия сульфидов. / В.А. Чантурия, В.Е. Вигдергауз. – М.: Наука, 1993. – 206 с.

92. Чантурия, В.А. Современные методы интенсификации процессов обогащения и доводки алмазосодержащего сырья класса -5 мм / В.А. Чантурия, Г.П. Двойченкова, Э.А. Трофимова и др. // Горный журнал. – 2011. – №1. – С. 71-74.

93. Чантурия, В.А. Интенсификация обогащения железных руд сложного вещественного состава / В.А. Чантурия, Г.М. Дмитриева, Э.А. Трофимова. – М.: Наука, 1988. –142 с.

94. Чантурия, В.А. Электрохимическая технология в обогатительно-гидрометаллургических процессах / В.А. Чантурия, Г.Н. Назарова. – М.: Наука, 1977. – 185 с.

95. Чантурия, Е.Л. Изучение влияния католита на процессы окисления мелющих тел и раскрытия минералов при мокром измельчении редкометалльных, оловянных и вольфрамовых руд / Е.Л. Чантурия // Обогащение руд. – 2004, – №4. – С. 23-27.

96. Чернышева, Е.Н. Повышение эффективности тяжелосредного обогащения алмазосодержащих кимберлитов на основе электрохимического кондиционирования ферросилициевой суспензии: дисс. канд. техн. наук: 25.00.13. / Чернышева Елена Николаевна. – М., 2009, – 149 с.

97. Шохин, В.Н. Новое в теории и технологии обогащения руд в суспензиях / В.Н. Шохин. – М.: Недра, 1977. – 121 с.

98. Шохин, В.Н. Гравитационные методы обогащения / В.Н. Шохин, А.Г. Лопатин. – М.: Недра, 1993. – 298 с.
99. Штыров, В.А. АК «АЛРОСА» – состояние, стратегия и основные направления развития алмазодобычи и сопутствующих производств / В.А. Штыров // Горный журнал. – 2000. – №6. – С. 121-123.
100. Эванс, Ю.Р. Коррозия и окисление металлов / Ю.Р. Эванс. – М.: Машгиз, 1962. – С. 855.
101. Dungalison, M. The rheology of ferrosilicon dense medium suspensions / M. Dungalison, T.J. Napier-Munn, F.N. Shi // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. – 2000. – 20 (1-3). – p.45-49
102. Fengnian, Shi Determination of ferrosilicon medium rheology and stability / Shi Fengnian // Minerals Engineering. – November 2016. – Vol. 98. – p. 60-70.
103. Michal, Lesko Viscosity of the ferrosilicon suspension as a function of the solid phase parameters / Lesko Michal, Bugel Milan // Acta Montanistica Slovaca –1997. – 4. – p. 319-322.
104. Napier-Munn, T.J. The determination of the size distribution of ferrosilicon powders / T.J. Napier-Munn // Powder Technology. – June 1985. – Vol. 42. – p. 273-276.
105. Williams, R.A., Degradation of ferrosilicon media in dense medium separation circuits / R.A. Williams, G.H. Kelsall // Minerals Engineering. – 1992. – Vol. 5. – p. 57-77.

ПРИЛОЖЕНИЯ

СОГЛАСОВАНО

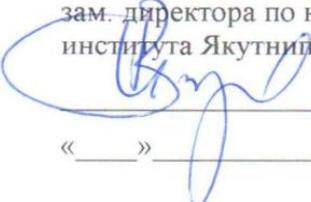
Начальник ОФ №3

Мирнинского ГОКа


 К.Н.Иванов

«__» _____ 2012

 Уполномоченный представитель
 по комплексному проекту
 от АК «АЛРОСА»,
 зам. директора по научной работе,
 института Якутнипроалмаз, д.т.н.


 И.В.Зырянов

«__» _____ 2012 г.

УТВЕРЖДАЮ

И.о. главного обогатителя

Мирнинского ГОКа


 Д.А.Кобелев

«__» _____ 2012 г.

**АКТ**

Акт предварительных испытаний с оценкой технологической эффективности методов интенсификации процесса ТСС, разработанных для схемы ОФ №3 МГОКа.

Комиссия в составе:

Председатель комиссии:

И.о. гл. инженера ОФ №3 МГОКа

Э.Р.Сабитов

Члены комиссии:

Зав. сектором СОВ института «Якутнипроалмаз»,
куратор

Г.Х. Островская

Вед. научн. сотр. ИПКОН РАН,
проф. СВФУ, к.т.н., руководитель работ.

Г.П. Двойченкова

Ст. научн. сотр. ИПКОН РАН, к.т.н.,
отв. исполнитель

В.Г. Миненко

Ст. научн. сотр. ИПКОН РАН, к.т.н.

А.И.Каплин

Мл.научн.сотр. ИПКОН РАН

А.С.Тимофеев

Зав. лабораторией аналитических исследований
НИГП АК «АЛРОСА»

О.Е.Ковальчук

составила настоящий акт о проведении предварительных испытаний с оценкой технологической эффективности методов интенсификации процесса ТСС, разработанных для схемы ОФ №3 МГОКа.

Испытания выполнены согласно плану-графику проекта «Создание комплексной экологически безопасной инновационной технологии добычи и переработки алмазоносных руд в условиях Севера».

Задача 3.1. «Разработать и внедрить метод повышения эффективности процесса тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья различного вещественного состава за счет применения электрохимических и физико-химических воздействий на ферросилициевые суспензии и рудную пульпу

Экспериментальные исследования выполнены на стендовых установках, расположенных в лабораториях ИПКОН РАН, МПТИ (СВФУ), института Якутнипроалмаз и НИГП АК «АЛРОСА», в период 12.03.2012г. по 18.04.2012г.

Основная цель проведенных исследований - экспериментально апробировать разработанные в рамках проекта методы – повышения эффективности процесса ТСС для условий схемы ОФ№3 МГОКа за счет стабилизации реологических свойств суспензии и снижения потерь ферросилиция предотвращением его окисления в технологическом процессе.

Испытания выполнены в два этапа:

1. Экспериментальная апробация разработанных методов модифицирования и активации окислительно-восстановительных свойств водных систем, рудной пульпы, ферросилиция и ферросилициевой суспензии для условий тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья в схеме ОФ №3 МГОКа.

2. Экспериментальная апробация с оценкой технологической эффективности применения разработанных методов интенсификации процесса ТСС в схеме ОФ №3 МГОКа.

С учетом результатов исследований предыдущих этапов работ по проекту (задача 3.1.) и в соответствии с утвержденной методикой в процессе настоящих предварительных испытаний выполнено:

- исследованы методы физико-химической активации поверхности ферросилиция, позволяющие предупреждать его коррозию и разрушение в технологическом процессе переработки алмазосодержащего сырья,
- выявлены зависимости изменения состояния поверхности ферросилиция от физико-химических параметров водной фазы рудной пульпы и ферросилициевой суспензии,,
- установлены оптимальные параметры физико-химического состояния исследуемых водных систем для условий схемы ТСС ОФ№3 МГОКа, при которых обеспечиваются стабильность свойств ферросилициевой суспензии и предупреждение разрушения ферросилициевых гранул,
- выполнена предварительная оценка технологической эффективности разработанных методов применительно к условиям ТСС ОФ№3 МГОКа.

Согласно методике предварительных испытаний и техническому заданию данного этапа разработана принципиальная схема использования в процессе ТСС электрохимически обработанной воды в качестве реагента для стабилизации свойств суспензии ферросилиция;

Разработаны предварительные рекомендации для внедрения метода стабилизации свойств ферросилициевой суспензии, модификации и активации свойств поверхности ферросилиция в технологической схеме тяжелосредного обогащения алмазосодержащего сырья.

В процессе испытаний выполнен контроль следующих параметров:

- скорость осаждения взвешенных частиц ферросилиция в исследуемых условиях,
- скорость процесса окисления и разрушения ферросилиция в исследуемых условиях;
- изменение поверхности ферросилиция (лаб. НИГП)
- изменение магнитной восприимчивости ферросилиция в исследуемых условиях
- параметры работы экспериментальных установок.
- физико-химическая характеристика исследуемых водных систем.

За период испытаний установлено:

1. Определены основные причины и точки потерь ферросилиция в схеме ТСС ОФ№3:

- окисление ферросилиция воздухом, используемым в процессе перемешивания и поддержания суспензии во взвешенном состоянии, приводит к основным его потерям, составляющим в среднем 0,5 % в сутки (12 % в месяц) от общего количества ферросилиция, циркулирующего в схеме ТСС. При циркуляции в схеме около 20 тонн ферросилиция его потери из-за окисления в сутки составят около 100 кг;

- потери ферросилиция с надрешетными продуктами процесса отмыва хвостов ТСС от суспензии в среднем в условиях проведенных испытаний составляют 20 – 30 грамм на тонну руды, так, например, при производительности установки 2400 т/сутки потери ферросилиция составят 48 – 72 кг/сутки.

- потери ферросилиция в операции магнитной сепарации в среднем в условиях проведенных испытаний составляют от 30 до 40 грамм на 1 м³ хвостовой пульпы магнитного сепаратора. Так, например, при объеме хвостовой пульпы с магнитного сепаратора около 1200 м³/сутки потери ферросилиция в операции магнитной сепарации составят 36 – 48 кг/сутки.

- остальные потери ферросилиция обусловлены снижением его крупности из-за механического истирания в водоводах, насосах и т.д., так как снижение крупности ферросилиция менее 10 мкм приводит к резкому снижению его магнитной

восприимчивости (не извлекается на магнитном сепараторе) и снижению скорости его осаждения менее 0,5 мм сек (потери со сливами).

2. Рекомендуется обеспечить в процессе ТСС минимальный контакт ферросилиция с окислителями, в частности с кислородом воздуха (например: исключить использование воздуха в операции перемешивания и поддержания ферросилиция во взвешенном состоянии). Заменить воздух на инертную среду, не содержащую окислителей (азот и пр.),

Данное мероприятие позволит снизить потери ферросилиция из-за его окисления в среднем на 0,5 % в сутки (100 кг/сутки) от общего его количества, циркулирующего в схеме ТСС. При циркуляции в схеме около 20 тонн ферросилиция.

3. Установлено, что хранение ферросилиция во влажном состоянии приводит к резкому увеличению скорости его окисления (до 0,37 % в сутки от его общей массы).

4. Рекомендуется постоянно поддерживать в рабочем состоянии размагничивающие катушки в схеме ТСС, так как в условиях испытаний установлено, что после пяти – десяти кратного намагничивания ферросилиция происходит флокуляция ферросилиция, снижающая его устойчивость в 10 – 20 раз. Данный факт может привести как к частичному, так и полному нарушению процесса разделения минералов в тяжелосредних циклонах на легкую и тяжелую фракцию.

6. Предварительными экономическим расчетом показана возможность получения до 2 961 тысяч рублей в год прибыли за счет удаления кислорода из операции перемешивания и поддержания во взвешенном состоянии ферросилиция в емкости готовой суспензии (например, заменой воздуха на инертную среду, не содержащую окислителей, например, азот и т.д.).

С учетом результатов ранее выполненных в этом направлении работ для практической реализации в условиях ОФ№3 МГОКа рекомендуется комплексная схема интенсификации процесса ТСС: С целью получения дополнительных данных о влиянии физико-химических параметров используемых водных систем на состояние поверхности ферросилиция, его магнитную восприимчивость, стабилизацию свойств ферросилициевой суспензии отобраны и переданы в лабораторию НИГП АК «АЛРОСА» Пробы предназначены для исследования эффективности комплексного применения химических, электрохимических и физических, методов модифицирования и активации окислительно-восстановительных свойств водных систем, рудной пульпы, ферросилиция и ферросилициевой суспензии для условий тяжелосредней сепарации алмазосодержащего сырья в схеме ОФ №3 МГОКа. с разработкой предварительных рекомендаций на их промышленную реализацию в условиях ТСС ОФ№3 МГОКа

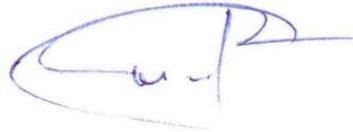
Внедрение разработанного комплекса методов позволит стабилизировать технологические свойства ферросилициевой суспензии и снизить потери ферросилиция в технологическом процессе.

Комиссия решила:

1. Признать технологическую эффективность применения разработанных методов модифицирования и активации окислительно-восстановительных свойств водных систем, рудной пульпы, ферросилиция и ферросилициевой суспензии для условий тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья в схеме ОФ №3 МГОКа.
2. В период 1.07 2012 по 15.11.2012 .провести промышленные испытания разработанных методов и схемы их применения в условиях ОФ№3 МГОКа с выдачей рекомендаций на внедрение в действующую схему ТСС.

Председатель комиссии:

И.о. гл. инженера ОФ№3 МГОКа



Э.Р.Сабитов

Члены комиссии:

Зав. сектором СОВ института «Якутнипроалмаз»,
куратор



Г.Х. Островская

Вед. научн. сотр. ИПКОН РАН,
проф. СВФУ, к.т.н., руководитель работ.



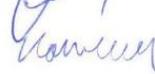
Г.П. Двойченкова

Ст. научн. сотр. ИПКОН РАН, к.т.н.,
отв. исполнитель



В.Г. Миненко

Ст. научн. сотр. ИПКОН РАН, к.т.н.



А.И.Каплин

Мл.научн.сотр. ИПКОН РАН



А.С.Тимофеев

Зав. лабораторией аналитических исследований
НИГП АК «АЛРОСА»



О.Е.Ковальчук

СОГЛАСОВАНО

Главный обогатитель МГОКа

Е.Т. Коваленко

2013 г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Начальник ОФ №3 МГОКа

К.Н. Иванов

2013 г.

**АКТ**

**промышленных испытаний использования экспериментального блока управления
кислотно-основными и окислительно-восстановительными свойствами
ферросилициевой суспензии в условиях ТСС ОФ № 3 МГОКа**

Согласно тематическому плану НИР 2013 г. по работе 067-12/06 "Разработка технологии для снижения потерь ферросилиция в процессе ТСС на ОФ №3 МГОКа", ТЗ договора №2-41-11, заключенного между ИПКОН РАН и институтом «Якутнипроалмаз», и утвержденной методике в период с 20.02.13 г. по 19.06.13 г. на ОФ № 3 МГОКа проведены промышленные испытания азотной установки ОХУМАТ N-800 ЕСО для определения эффективности ее применения в схеме тяжелосреднего обогащения.

В процессе подготовительных работ (ноябрь 2012 г. – март 2013 г.) к проведению промышленных испытаний азотной установки ОХУМАТ N-800 ЕСО сотрудниками институтов ИПКОН РАН, «Якутнипроалмаз» и работниками ОФ №3 были выполнены следующие работы:

- монтаж и пуско-наладка азотной установки ОХУМАТ N-800 ЕСО;
- подготовка и монтаж воздушной магистрали к установке ТСУ производительностью 150 т/ч;
- подготовка и монтаж воздушной магистрали к установке ТСУ производительностью 50 т/ч.

Последующие испытания проведены сотрудниками институтов ИПКОН РАН и «Якутнипроалмаз» в два этапа. Первый этап испытаний выполнен с использованием емкости приготовления ферросилициевой суспензии (узел загрузки ТСУ производительностью 150 т/ч), в которую в течение 72-х часов для перемешивания одной тонны ферросилиция (объем суспензии около 2-х м³, плотность суспензии около 1,43 г/см³) сначала подавался азот, затем воздух. При этом каждые 12 часов измерялась величина напряженности магнитного поля для извлечения ферросилиция в магнитную фракцию геологического магнитного анализатора. Первый этап испытаний был выполнен с использованием ферросилиция двух марок: «Washington Mills» и «DMS Powders». В результате испытаний было установлено, что перемешивание ферросилициевой суспензии воздухом приводит к более быстрому окислению ферросилиция, чем при использовании для этой цели азота. Так, например, величина напряженности магнитного поля для извлечения ферросилиция марки «Washington Mills» в магнитную фракцию геологического магнитного анализатора при его контакте с воздухом за 72 часа возрастает

с 27 до 57 А/м (в 2,1 раза), тогда как при его контакте с азотом за 72 часа возрастает с 27 до 33 А/м (в 1,22 раза), т.е. при контакте с азотом ферросилиций практически не окисляется.

Кроме того, в процессе испытаний (1-й этап) установлено, что величина напряженности магнитного поля для извлечения ферросилиция марки «DMS Powders» в магнитную фракцию геологического магнитного анализатора при его контакте с воздухом за 72 часа возрастает с 26 до 38 А/м (в 1,46 раза), тогда как при его контакте с азотом за 72 часа напряженность магнитного поля практически не изменяется и возрастает только до 29 А/м (в 1,1 раза), т.е. при контакте с азотом ферросилиций практически не окисляется.

Таким образом, ферросилиций марки «DMS Powders» примерно в 2 – 2,5 раза более устойчив к окислению, чем ферросилиций марки «Washington Mills».

Второй этап испытаний проведен с использованием емкости готовой среды (узел ТСУ производительностью 50 т/ч), в которую, при постоянной работе циркуляционного насоса, сначала в течение 8-ми суток для агитации 2-х тонн ферросилиция марки «Washington Mills» (объем суспензии 1,6 м³, плотность суспензии около 2,1 г/см³) сначала подавался азот, затем воздух. При этом каждые 24 часа суспензия обрабатывалась в течение 30 минут на магнитном сепараторе, а также параллельно отбирались пробы для измерения величины напряженности магнитного поля для извлечения ферросилиция в магнитную фракцию геологического магнитного анализатора. В процессе второго этапа испытаний эффективность применения инертного газа азота для предотвращения окисления ферросилиция определялась по двум факторам:

1. сравнением изменения величины напряженности магнитного поля для извлечения ферросилиция в магнитную фракцию после его контакта с воздухом и азотом;
2. изменением плотности (массы ферросилиция в 1 м³ суспензии) суспензии в баке готовой среды при использовании для поддержания ферросилиция во взвешенном состоянии (перемешивания) воздуха и газообразного азота.

Результаты второго этапа испытаний показали, что за 8 суток контакта с воздухом при ежесуточной магнитной обработке суспензии потери ферросилиция составили 30 % от его исходной загрузки; за 8 суток контакта с инертным газом азотом при ежесуточной магнитной обработке суспензии потери ферросилиция снизились в 2,5 раза и составили 12 % от его исходной загрузки. При этом в процессе испытаний (2-й этап) установлено, что величина напряженности магнитного поля для извлечения ферросилиция в магнитную фракцию при его контакте с воздухом за 8 суток возрастает с 27 до 36 А/м (в 1,33 раза), тогда как при его контакте с азотом за 8 суток напряженность магнитного поля возрастает только с 29,5 до 32,5 А/м (в 1,1 раза), т.е. при контакте с азотом ферросилиций практически не окисляется. Т.е. 12 % потерь ферросилиция при его контакте с азотом можно отнести к истиранию циркуляционным насосом.

Таким образом, с учетом вышеизложенного, применение азота вместо воздуха при агитации (перемешивании) ферросилиция позволит снизить его потери на 2,25 % в сутки от его общей загрузки, что составляет более 50% от общих потерь утяжелителя.

Таким образом, промышленными испытаниями подтверждена эффективность использования газообразного азота для предотвращения окисления ферросилиция в переделе ТСС ОФ №3 МГОКа.

На основе результатов, полученных в процессе промышленных испытаний использования экспериментального блока управления кислотно-основными и окислительно-восстановительными свойствами ферросилициевой суспензии в условиях ТСС фабрики № 3 МГОКа, рекомендуется следующее:

1. Провести исследования рынка ферросилиция и сравнить устойчивость различных его марок к механическому истиранию и окислению.
2. Рассмотреть возможность организации замкнутой системы водооборота передела ТСС с попутным обеспечением удаления кислорода из воды известными методами (декомпрессия, реагентный метод и др.). Для этой цели необходимо:
 - 2.1. Получить исходные данные для разработки регламента на проектирование схемы локального водооборота ТСС ОФ №3.
 - 2.2. Разработать регламент на проектирование схемы локального водооборота ТСС ОФ №3.
 - 2.3. Выполнить проектную и рабочую документацию на строительство схемы локального водооборота ТСС ОФ №3.
 - 2.4. Выполнить технико-экономическую оценку целесообразности внедрения схемы локального водооборота ТСС.
3. Рассмотреть возможность приобретения оборудования для замены агрессивной воздушной среды в процессе барботажа суспензии.

от ОФ №3 МГОКа

И.о. главного инженера

С.А. Фоминков

И.о. зам. главного инженера по производству



Е.Л. Галькевич

от института «Якутнипроалмаз»:

Начальник отдела КОО

С.В. Имангулов

Зав лабораторией ФМО и ООВ



Г.Х. Островская

Инженер 1 категории ЛФМОиООВ



А.В. Артамонов

от ИПКОН РАН:

Ведущий научный сотрудник, к.т.н.

В.Г. Миненко

Ведущий научный сотрудник, к.т.н.



Г.П. Двойченкова

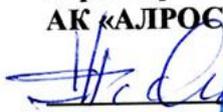
Младший научный сотрудник



А.С. Тимофеев

АК «АЛРОСА» (ОАО)
Подразделение Институт «Якутнипроалмаз»

УТВЕРЖДАЮ
Вице-президент по инновациям –
директор института «Якутнипроалмаз»,
АК «АЛРОСА» (ОАО), к.э.н.


А.С. Чаадаев
«___» _____ 2012 г.

УТВЕРЖДАЮ
Директор
Мирнинского ГОКа

«___» _____ 2012 г.

М.И. Лопатинский
«___» _____ 2012 г.

АКТ

Номер документа	Дата составления
14с-12	

внедрения результатов завершённых НИОКР
к акту приемки-передачи завершённых НИОКР № ___ от «___» _____ 2012 г.
«Внедрение метода повышения эффективности тяжелосредной сепарации на ОФ №3 МГОКа».

Наименование технологической работы: «Разработать и внедрить метод повышения эффективности процесса тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья различного вещественного состава за счет применения электрохимических и физико-химических воздействий на ферросилициевые суспензии и рудную пульпу.

Шифр работы: 1239д-10/3.1.

Наименование структурного подразделения АК «АЛРОСА» (ОАО), на котором внедрено мероприятие: Мирнинский ГОК

Наименование объекта (цех, участок, производство), на котором внедрено мероприятие: отделение тяжелосредной сепарации ОФ №3.

Краткое описание и преимущество мероприятия. На ОФ№3 МГОКа внедрен метод повышения эффективности процесса тяжелосредной сепарации за счет стабилизации свойств ферросилициевой суспензии и снижения потерь ферросилиция, обусловленных его окислением при контакте с кислородом воздуха, используемого в процессе перемешивания и поддержания ферросилициевой суспензии во взвешенном состоянии.

Испытаниями, выполненными с использованием стендовой модульной установки, установлено, что замена в цикле приготовления и хранения ферросилициевой суспензии атмосферного воздуха инертным газом- азотом обеспечивает снижение потерь ферросилиция в среднем с 20 до 2 % за счет предотвращения окисления и разрушения зерен до крупности менее 10 мкм, не извлекаемых на магнитных сепараторах

Кроме того, отсутствие окислительных процессов на поверхности зерен ферросилиция предотвращает процессы их флокуляции, что стабилизирует свойства ферросилициевой суспензии за счет повышения ее устойчивости.

Для реализации разработанного способа применяется азотная станция, состоящая из генератора азота, винтового компрессора, воздушного ресивера, осушителя воздуха, набора фильтров, азотного ресивера, сенсорного контроллера с циркониевым датчиком и комплекта шлангов. Комплекс оборудования включен в действующую схему цепи аппаратов процесса тяжелосредной сепарации на ОФ№3 МГОКа. Внедрение данного комплекса позволит снизить потери ферросилиция не менее, чем на 5 %

Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанного мероприятия обеспечивается снижением потерь ферросилиция за счет предупреждения процессов его окисления, обусловленных контактом с кислородом воздуха и последующим разрушением в технологическом процессе.

Дата внедрения: декабрь 2012 г.

От Заказчика: Мирнинский ГОК

И.о. начальника обогатительной фабрики №3


Э.Н. Велисевич

От Исполнителя:

Зам. директора по научной работе,
института «Якутнипроалмаз», д.т.н.


И.В. Зырянов

Соруководитель работы от института «Якутнипроалмаз»,
заведующий лабораторией ФМОиООВ


Г.Х. Островская

Проректор по техническому направлению
ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный Федеральный
Университет им. М.К. Аммосова», д.г.-м.н.


В.Ю. Фридовский

Ответственный исполнитель работы,
профессор МПТИ СВФУ, к.т.н.


Г.П. Двойченкова

Соисполнитель работы,
м.н.с. ИПКОН РАН


А.С. Тимофеев

Куратор от АК «АЛРОСА» (ОАО):

Главный обогатитель


В.А. Карнацкий