

Новая технология флотации промышленных минералов во флотомашине Джеймсон

Стив Холл* и Марк Харрисон**

* Университет Ноттингема, Великобритания

** MIM Technology Marketing Europe, Великобритания

Эффективность пенной флотации зависит от последовательного ряда вероятностей (1). Принципиальное значение имеет обеспечение плотного контакта между пузырьками и частицами материала до связывания частицы ценного минерала с пузырьком, разделения пульпы и пены и, наконец, подачи флотоконцентрата в желоб флотомашины. В разных технологиях флотации применяются разные методики (2, 3, 4) поддержания описанных процессов. Результаты оценки чистой экономии на эксплуатационных расходах при использовании конкретной технологии применимы только при условии аналогичного питания. Затем может быть выполнена экономическая оценка на основании реальной экономии и подтвержденного дополнительного дохода от повышения технологических показателей.

Флотомашина Джеймсон является уникальной машиной пенной флотации, поскольку она имеет гидродинамический принцип работы. Связанные с этим технические и экономические особенности данной немеханической технологии открывают революционные возможности перед промышленной флотацией. К 1995 году в мире эксплуатируется почти 130 промышленных флотомашин Джеймсон на 44 предприятиях флотации. 6 сентября 1994 года компания Cleveland Potash Ltd. (Великобритания) запустила в эксплуатацию первую промышленную флотомашину Джеймсон для флотации промышленных минералов.

Флотомашина Джеймсон: принцип работы

"Сердцем" флотомашины Джеймсон является аэратор. Схема работы одиночного аэратора во флотомашине Джеймсон показан на рис. 1. Аэратор - это простое статичное устройство, состоящее из сопла, установленного на наружной трубе аэратора с единственным впускным отверстием для воздуха. Аэратор установлен вертикально, а его нижний срез находится на определенной глубине в емкости флотомашины Джеймсон.

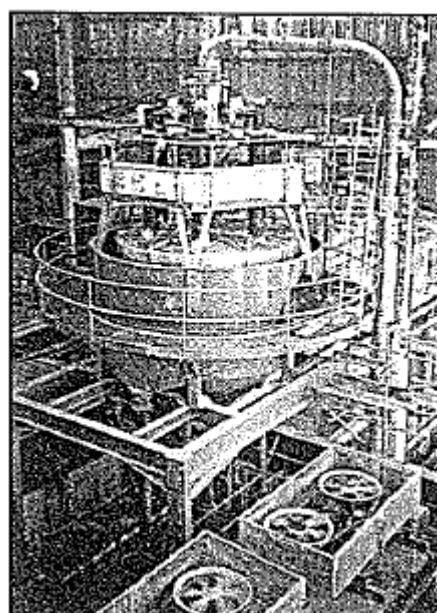
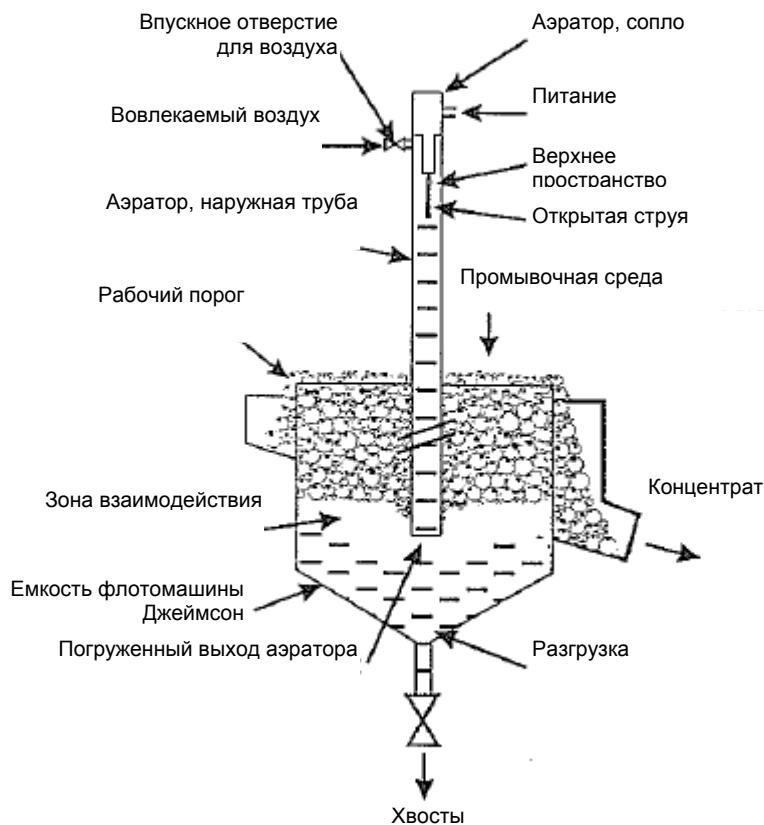


Рис. 1. Флотомашина Джеймсон в разрезе. Показано расположение и принцип действия одиночного аэратора



При запуске питание поступает в емкость флотомашины Джеймсон в виде нисходящей струи пульпы через сопло. Нижний срез аэратора быстро оказывается погруженным в жидкость, что создает гидравлическое уплотнение, обеспечивающее наполнение аэратора пульпой. Столб пульпы поднимается над рабочим порогом, создавая гидростатическое давление всасывания, а следовательно, область низкого вакуума в верхней части наружной трубы.

Первоначально струя погружена в пульпе аэратора. Но сразу же после открытия впускного отверстия для воздуха, воздух из внешней среды начинает поступать в вакуум. Посредством регулировки расхода воздуха уровень пульпы стабилизируется на определенной высоте внутри аэратора. В результате обнажается часть нисходящей струи пульпы, проходящей через зону низкого вакуума. Падение открытой струи в пульпу в аэраторе создает оптимальные условия для перемешивания и сильное сдвиговое усилие. Воздух непрерывно вовлекается и распространяется в виде мелких пузырьков диаметром от 300 до 600 мкм (среднее арифметическое) (5). В работающем аэраторе поддерживается доля свободного объема от 50 до 60%, что уменьшает толщину пленки между пузырьками и увеличивает площадь межфазной поверхности, доступную для образования контакта с минеральными частицами.

Пульпа находится в аэраторе от 8 до 10 секунд. Создаваемый в жидкости момент обеспечивает движение пузырьков, несущих минеральные частицы, вниз к погруженному выходу аэратора.

У выхода пульпа и пена поступают в зону разделения. Пена поднимается, образуя сплошной слой пены, который промывается по мере необходимости для удаления вовлеченных безрудных минералов перед поступлением флотоконцентрат в желоб верхнего продукта. Хвосты проходят через выпускное отверстие в нижней части

емкости флотомашины Джеймсон. Получаемые в результате характеристики жидкостного потока удовлетворяют всем требованиям к перемешиванию. В общей сложности пульпа находится во флотомашине Джеймсон от 120 до 180 секунд. В промышленных флотомашинах Джеймсон может использоваться несколько аэраторов, установленных в емкости флотомашины с разделением пены. Отделение поднимающейся пены, несущей минеральные частицы и создаваемой одним или группой аэраторов, поддерживает эффективность флотации при объемном расходе питания, во много раз меньшем проектного максимального расхода. Помимо более высокой металлургической эффективности, эксплуатация флотомашины Джеймсон сама по себе предлагает целый ряд уникальных возможностей для экономии.

Флотомашина Джеймсон: экономические выгоды

18 экономических особенностей флотомашины Джеймсон лучше всего описать, условно разделив их на внутренние и внешние.

Таблица 1. Внутренние особенности флотомашины Джеймсон

Экономическая особенность	Описание
1	Подсос воздуха
2	Образование пузырьков
3	Плотный контакт между частицами и пузырьками за краткое время нахождения
4	Спокойная, поднимающаяся, несущая минеральные частицы пена, доступная для промывки
5	Перемешивание
6	Возможность технического обслуживания без остановки машины благодаря возможности быстрого изолирования изнашивающихся компонентов
7	Возможность эксплуатации при минимальной производительности

Конструктивные особенности

Благодаря аэратору флотомашина имеет семь внутренних особенностей, перечисленных в Таблице 1.

Таблица 2. Компоненты традиционной флотомашины, отсутствующие в конструкции флотомашины Джеймсон

Система	Описание
A	Воздушные компрессоры, воздушные нагнетатели, воздушные подающие магистрали
B	Воздухораспределители и/или распределительные механизмы

Система	Описание
C	Перемешивающие устройства: ротор и статор, трансмиссия и двигатель

В таблице 2 перечислены механические системы, потребность в которых отсутствует благодаря внутренним особенностям аэратора.

Устранение из системы флотации механических узлов делает возможной значительную экономию за счет уменьшения потребляемой энергии и расходов на текущее обслуживание.

Таблица 3. Внешние особенности флотомашины Джеймсон

Экономическая особенность	Описание
8	Компактность оборудования, т.е. меньшая занимаемая площадь
9	Меньше флотомашин на стадию флотации
10	Более простая схема цикла
11	Легкое управление технологическим процессом и контроль параметров
12	Эффективное реагирование на изменения в содержании питания
13	Меньшая потребность в операторах
14	Лучшее понимание процесса операторами
15	Сокращение совокупных затрат на обслуживание
16	Уменьшение занимаемой флотацией площади
17	Значительное уменьшение объема запасных частей
18	Быстрая стабилизация системы после запуска

Внешние особенности

Внешние особенности, перечисленные в таблице 3, обусловлены тем, что эффективность флотации в промышленной флотомашине Джеймсон достигается за очень короткое время пребывания пульпы.

В настоящей статье подробно рассматриваются новые применения флотомашины Джеймсон в переработке промышленных минералов. В настоящее время промышленные флотомашины Джеймсон применяются для поташа и графита. В выводах, основанных на результатах пилотного тестирования, кратко рассматриваются применения для графита, флуорита и циркона.

Промышленные установки

(а) Предприятие 1: производство поташа

Компания Cleveland Potash Ltd (CPL) открыла потенциал флотомашины Джеймсон в 1992 году. Первоначальные лабораторные тесты второй перечистной флотации поташа были выполнены Университетом Ноттингема, выступившим в качестве организации, ответственной за испытания флотомашины Джеймсон. Тесты на пробах, доставленных с предприятий компании CPL, были проведены в пилотной флотомашине Джеймсон J100. Наличие сушильного отделения позволило избежать проблем, связанных с рекристаллизацией поташа в насыщенной раствором пульпе при снижении температуры. Тестирования показали, что аэратор может применяться для поташа и что промывка пены насыщенным раствором из емкости также возможна. Эти выводы послужили толчком к разработке программы экспериментальной эксплуатации на предприятии.

CPL использует флотацию для обогащения сильвина (KCl), отделяемого от галита (NaCl) и нерастворимых веществ, таких как глина и сульфаты. Перед добавлением крахмала (депрессора глины) и амина (коллектор KCl) необходимо тщательное обесшламливание всего питания флотации. Переход в раствор хлоридов сводится к минимуму посредством применения насыщенного раствора в качестве среды обесшламливания и флотации.

Двухстадийное обесшламливание до 100 мкм происходит в батареях гидроциклонов первой и второй стадии. Нижний продукт гидроциклона второй стадии (-1500+100 мкм) поступает к насосу стандартного питания флотации. Верхний продукт гидроциклона первой стадии подвергается дальнейшему обесшламливанию до 30 мкм в гидроциклонах третьей стадии.

Стандартные хвосты основной флотации проходят через обесшламливающие грохоты для извлечения промежуточного продукта и попавшей в них крупной фракции поташа. Верхний продукт крупностью выше номинала (+450 мкм) поступает в три шаровые мельницы доизмельчения. Нижний продукт поступает в центрифугу для хвостов. Стандартные хвосты перечистной флотации поступают самотеком в циклоны LH, а объединенный нижний продукт - в мельницы доизмельчения. Стандартные хвосты второй перечистной флотации поступают на обесшламливающие грохоты. Верхний продукт (+200 мкм) также отправляется на доизмельчение.

Как верхний продукт циклонов LH, так и нижний продукт обесшламливающих грохотов после второй перечистной флотации поступают в гидроциклоны третьей стадии. Получаемый нижний продукт гидроциклонов третьей стадии (-100+80 мкм) поступает к насосу питания флотации шламов. Верхний продукт гидроциклонов третьей стадии поступает в сгуститель хвостов для извлечения раствора из твердой фракции хвостов. В пилотных испытаниях флотомашины Джеймсон на предприятии использовались основные потоки обоих циклов флотации (6, 7). Результаты показали, что наибольшая экономическая выгода может быть получена при использовании флотомашин Джеймсон как можно ближе к началу каждого цикла флотации.

Флотация шламов

6 сентября 1994 года компания CPL запустила в эксплуатацию одну флотомашину Джеймсон 3250/6 (FP) в качестве системы комплексной флотации шламов. Одна флотомашину Джеймсон заменила 16 флотомашин Denver No. 30 DR емкостью 2,8

м³ каждая, которые использовались для основной и перечистной флотации шламов, т.е. для полного цикла флотации шламов.

Заказчик: CPL

Схема цикла с использованием флотомашины Джеймсон

Количество машин: 1

Количество стадий: 1

Характеристика питания

Источник: нижний продукт циклона третьей стадии

Объемный расход (м³/ч): 370

Твердая фракция (% по весу): 18

Гранулометрический состав: (-100+30) мкм

Доля общего продукта, приходящегося на флотомашину Джеймсон, %: 10

Экономическая эффективность, средние производственные показатели за 30 дней

Питание (% KCl): 24,5

Сорт концентрата (% KCl): 77,4

Хвосты (% KCl): 5,7

Извлечение, %: 82,8

Консервативная экономическая оценка эксплуатации флотомашины Джеймсон на предприятии CPL кратко представлена в таблице 4.

Таблица 4. Консервативная экономическая оценка (8)

Показатель	Значение (фунтов стерлингов)
Срок окупаемости, дней	213
Дополнительный годовой доход от повышенного извлечения	201,939
Годовая чистая экономия на эксплуатационных расходах	209,985

В таблице 5 показано сокращение расходов на энергию на 76,7% в результате использования гидродинамических сил в аэраторе вместо мощности двигателя перемешивающего устройства традиционной механической флотомашины, применяемой в первоначальном цикле флотации шламов.

На предприятии CPL одна флотомашина Джеймсон обеспечивает извлечение тонкого поташа из пустой породы, представленной галитом, глинами и сульфатами. Селективность в отношении тонких частиц сопровождается повышенным извлечением и, по консервативным оценкам, приносит предприятию дополнительный доход в размере 201 939 фунтов стерлингов в год при сроке окупаемости, равном 213 рабочим дням.

Таблица 5. Экономия (%), обеспечиваемая флотомашиной Джеймсон, относительно первоначального цикла флотации шламов

Показатель	Экономия, %
Площадь, занимаемая оборудованием	80,9
Общая площадь отделения флотации	81,3
Потребляемая мощность (*), в год	76,7
Техническое обслуживание (**), в год	>79.0
(*) Дополнительный расход энергии на перекачивание при использовании флотомашины Джеймсон относительно расхода энергии двигателями флотомашин первоначального цикла флотации шламов	
(**) Максимальный объем обслуживания флотомашины Джеймсон относительно флотомашин первоначального цикла - расходы за предыдущий год эксплуатации, исключая стоимость работ	

Таблица 6. Пилотная флотомашина Джеймсон в одностадийной схеме в сравнении с флотомашинами стандартного цикла [{}*]

Питание = стандартный концентрат основной флотации, без промывки пены

Одна флотомашина Джеймсон						Флотомашины стандартного цикла					
Питание		Концентрат		Извлечение		Концентрат		Извлечение			
% KCl	Станда рт	% KCl	Станда рт	%	Станда рт	% KCl	Станда рт	%	Станда рт		
70,6	3,57	89,1	0,94	85,1	3,18						
77,6	2,09	90,8	1,42	81,7	2,17	91,0	2,09	75,5	1,76		

[{}*] Флотомашины стандартного цикла = (28) флотомашин Denver No. 30 DR 2,8 м³ с субаэрацией в цикле перечистной/второй перечистной флотации]

Таблица 7. Пилотная флотомашина Джеймсон в одностадийной схеме в сравнении с флотомашинами стандартного цикла [{}*]
Питание = стандартный концентрат основной флотации (содержание= 79,9% KCl)

Технология	Количество стадий флотации	Извлечение (по весу) класса +850 мкм	Содержание концентрата, % KCl	Извлечение, %
Одна флотомашина Джеймсон	1	46,1	91,8	83,7
Стандартный цикл	2	13,4	91,7	79,6

[{}*] Флотомашины стандартного цикла = (28) флотомашин Denver No. 30 DR 2,8 м³ с субаэрацией в цикле перечистной/второй перечистной флотации]

Стандартная флотация

Применение флотации на предприятии CPL свидетельствует о хорошем высвобождении KCl из NaCl в верхних классах крупности. Применение двух циклов флотации требует, чтобы оборудование стандартного цикла флотации извлекало частицы +850 мкм. В таблице 6 сравнивается эффективность пилотной флотомашины Джеймсон и стандартных флотомашин с субаэрацией при переработке стандартного концентрата основной флотации.

Данные, представленные в таблице 6, свидетельствуют о том, что флотомашина Джеймсон способна повысить извлечение в стандартном цикле флотации с 75,5% до 81,7% при содержании KCl в продукте на уровне 90,8% при условии, что результаты пилотных тестов могут быть воспроизведены при промышленной эксплуатации. Количество материала +850 мкм с высоким содержанием, извлеченного из стандартного концентрата основной флотации при содержании KCl 79,9%, показано в таблице 7.

При использовании флотомашины Джеймсон извлечение (по весу) из фракции +850 мкм с высоким содержанием повысилось с 13,4% до 46,1%, в результате чего извлечение KCl при стандартной флотации повысилось на 4,1%. За счет извлечения более крупного материала во флотомашине Джеймсон может быть устранена потребность в доизмельчении примерно трети фракции +850 мкм, поступающей в концентрат основной флотации. В циклах флотации шламов и стандартной флотации на предприятии CPL высокая ионная сила насыщенной рассольной среды обеспечивает следующее (9):

- (i) сильное сжатие двойных электрических слоев,
- (ii) четырехкратное уменьшение поверхностного натяжения при введении вспенивателя по сравнению с действием аналогичной концентрации такого же вспенивателя, введенного в водную среду.

Медленное движение поднимающейся пены, несущей поташ, в промышленной флотомашине Джеймсон указывает на очень быстрое изменение поверхностного натяжения в аэраторе при образовании контакта между поташом и пузырьками. Поэтому, вероятно, извлечению крупных частиц существенно содействует устойчивое быстрое образование во флотомашине Джеймсон определенной необходимой площади межфазной поверхности.

(b) Предприятие 2: производство графита

Извлечение графита из слива гидроциклона первой стадии (СГПС) считалось необходимым условием экономической рентабельности предприятия в ЮАР. На общую эффективность флотации негативно влияло присутствие в потоке СГПС пустой породы, представленной тонкими шламами, а также низкая эффективность гидроциклона первой стадии. Объединение продукта флотации СГПС с продуктом флотации крупного графита приводило к загрязнению конечного продукта флотации и снижению содержания ниже требуемых 98% С.

Попытки повысить эффективность установленных традиционных флотомашин с субаэрацией не смогли устранить проблему. Предприятие, расположенное в удаленной местности, отправило пробу, содержащую примерно 30 кг СГПС, в Йоханнесбург для выполнения ограниченной программы тестов в лаборатории, использующей флотомашину Джеймсон J100.

На основании результатов тестов во флотомашине Джеймсон была быстро спроектирована, установлена и пущена в эксплуатацию промышленная флотомашину Джеймсон, предназначенная для переработки СГПС. 26 сентября 1994 года была пущена флотомашину Джеймсон 800/1 в качестве машины контрольной флотации тонкой фракции/шламов и перечистной флотации.

Заказчик: конфиденциальная информация

Схема цикла с использованием флотомашины Джеймсон

Количество машин: 1

Количество стадий: 1

Характеристика питания

Источник: СГПС, полученный из массового концентрата основной флотации

Объемный расход (м³/ч): 11

Твердая фракция (% по весу): 1,5 - 2,5

Гранулометрический состав: d50 = 600 мкм, 10% класса 150 мкм

Доля продукта по фабрике, приходящегося на флотомашину Джеймсон, %: 10

Экономическая эффективность, одиночная проба

Питание (% С): 52

Содержание концентрата (% С): 90,2

Хвосты (% С): 25

Извлечение, %: 72

Включение одной флотомашины Джеймсон в технологическую схему переработки графита позволило сохранить экономическую рентабельность предприятия. Флотомашину Джеймсон производит вязкий флотоконцентрат тонкого/ультратонкого графита, непрерывно подаваемый на перечистную флотацию третьей стадии. Благодаря этому, извлечение по фабрике значительно повысилось при требуем содержании С в продукте 98%.

Таблица 8. Результаты флотации флуорита во флотомашине Джеймсон

Применение	Количество стадий флотации во флотомашине Джеймсон	Питание	Концентрат	
Свинец		% Pb	% Pb	Извлечение, %
PbS, весь цикл	1	6,5	69,8	93,4
Флуорит		% CaF ₂	% CaF ₂	Извлечение, %
Перечистная флотация 1	1	78,2	94,0	86,3
Перечистная флотация 2	1	93,8	97,8	52,0

Заключение

В гидродинамической флотомашине Джеймсон вместо механических систем традиционных флотомашин для повышения производительности цикла флотации используются статические аэраторы. Промышленная флотомашине Джеймсон, эксплуатируемая Cleveland Potash, обеспечивает хорошую селективность в отношении тонких частиц в нижнем продукте циклона третьей стадии. Одностадийная флотомашине Джеймсон заменяет собой целый цикл флотации шламов производительностью 370 м³/ч; благодаря этому занимаемая оборудованием площадь уменьшилась на 80%. Чистая экономия на эксплуатационных расходах в размере 209 985 фунтов стерлингов в год обусловлена дополнительным доходом от повышенного извлечения поташа и сокращением на 80% расходов на текущее обслуживание и энергию.

В пилотной флотомашине Джеймсон возможно извлечение крупных частиц поташа +850 мкм из стандартного концентратата основной флотации, что указывает на существующий потенциал увеличения извлечения по фабрике при оптимальной крупности продукта. Также ожидаются технологические улучшения на этапах отделения пустой породы, центрифугирования и сушки концентратата, сопровождаемые снижением нагрузки на цикл доизмельчения. Доказана возможность извлечения в промышленных условиях тонкого графита из неэффективно классифицируемого верхнего продукта циклона первой стадии с увеличением извлечения по фабрике до 98% С и обеспечением экономической рентабельности всего предприятия.

Пилотные тестирования показали, что аэраторы могут успешно применяться в основной флотации циркона, флотации галенита из флуорита и перечистной флотации флуорита. При флотации галенита и флуорита флотомашине Джеймсон производит концентрат с высоким содержанием при значительно меньшем количестве стадий, чем применяемое в настоящее время традиционное оборудование. Необходимы дальнейшие работы на предприятиях с целью уточнения возможностей применения флотомашины Джеймсон для флотации циркона и флуорита. Многочисленные внутренние и внешние особенности флотомашины Джеймсон позволяют уверенно получать поднимающуюся нетурбулентную пену, несущую минеральные частицы и пригодную для

непрерывной промывки. Эта важная особенность должна в значительной мере облегчить рентабельное получение продукта необходимого содержания для многих других видов промышленного минерального сырья.

Прочие исследования

(а) Графит: Университет Ноттингема в качестве организации, ответственной за испытания
Заказчик: конфиденциальная информация

Университету Ноттингема было предложено изучить возможности повышения эффективности флотации графита, в особенности содержания концентрата, с использованием флотомашины Джеймсон.

Перед проведением исследования заказчик заключил соглашение о конфиденциальности в MIM Technology Marketing Ltd и договор о выполнении ТЭО. Графитовая руда, добываемая в России, была предоставлена заказчиком в виде крупных кусков и измельчена до -106 мкм. Были изучены флотореагенты различного химического состава и установлено, что флотомашина Джеймсон J100 может обеспечить содержание концентрата, аналогичное производимому традиционной лабораторной флотомашиной Denver (87 - 93% С). Предположительно, в данном случае содержание концентрата было ограничено не эффективностью флотации, а недостаточным высвобождением безрудных минералов из графита. Зачастую в дополнение к флотационным тестам необходимы детальные минералогические исследования.

(б) Графит: пилотные испытания на фабрике в Намибии
Заказчик: конфиденциальная информация

В ходе пилотных тестов на фабрике в начале 1993 года были оценены возможности применения флотомашины Джеймсон в первичной и вторичной перечистной флотации в составе пилотной установки.

Результаты факторного (2^4) эксперимента указали на значительное непостоянство (i) расхода воздуха и (ii) глубины пены. Было установлено, что содержание продукта зависит от выбранной скорости поднятия флотоконцентрата во флотомашине Джеймсон. Флотомашина Джеймсон обеспечивала такое же или более высокое содержание концентрата в сравнении с традиционными флотомашинами или колоннами с субаэрацией. Полученные обнадеживающие результаты должны были привести к тщательным испытаниям флотомашины Джеймсон в качестве машины перечистной флотации конечного продукта. К сожалению, пилотная установка была закрыта из-за отсутствия рынка сбыта для продукции.

(с) Циркон: пилотные тесты на предприятии в Австралии
Заказчик: конфиденциальная информация

Возможности применения флотомашины Джеймсон в основной флотации циркона были предварительно изучены на пилотной установке по переработке минеральных песков. Флотация циркона протекала при контроле pH и без вспенивателя. Сбор амином производился только после депрессии TiO_2 . Была поставлена задача добиться при основной флотации циркона содержания ZrO_2 в концентрате 22% при извлечении 90% и максимальной примеси TiO_2 2%.

В одностадийных тестах с содержанием ZrO_2 в питании 10% флотомашина Джеймсон производила концентрат с содержанием >21% ZrO_2 при извлечении 65% (<2% TiO_2) без регулирования pH промывочной среды. Это указывало на возможность основной флотации циркона в две стадии с использованием флотомашины Джеймсон, хотя возможности использования в контрольной флотации не были подтверждены. Кроме того, не было установлено, являются ли примеси SiO_2 и Fe_2O_3 в концентрате вовлеченными или совместно собираемыми компонентами.

(d) Флуорит: испытания на фабрике в Европе
Заказчик: конфиденциальная информация

Применение аэратора во флотации флуорита дало результаты, показанные в таблице 8. Все результаты флотационных тестов были использованы в проектировании технологической схемы флотации и металлургического баланса. Согласно схеме цикла флотации PbS , одна стадия, состоящая из одной флотомашины Джеймсон, должна была заменить целый цикл флотации свинца, т.е. 23 традиционные флотомашины, установленные в одну стадию основной флотации и три стадии перечистной флотации. Для флотации CaF_2 необходимо было установить три стадии, состоящие из одиночных флотомашин Джеймсон в качестве машин перечистной флотации, чтобы обеспечить требуемое содержание конечного продукта и заменить действующую установку из 49 традиционных флотомашин, установленных в шесть стадий перечистной флотации.

Применение флотомашины Джеймсон на данной фабрике в будущем будет зависеть от стабилизации промышленной химии и определения стратегии эксплуатации предприятия с учетом изменений в минералогии питания.

Список использованной литературы

1. Atkinson B.W., Conway C.J. and Jameson G.J. High Efficiency Flotation of Coarse and Fine Coal, paper presented at: High Efficiency Coal Preparation Symposium, SME Annual Meeting, AIME 124th Annual Meeting, March 6-9, Denver, Colorado, USA (1995).
2. Couch G.R., Flotation, p38-45, section 5.1 in: Advanced Coal Cleaning Technology IEACR/44, pp96, IEA Coal Research, London, England (1991).
3. Hall S.T., Developing Flotation Technologies, p(1.1.1-1.1.5) in: Proceedings of Minprep '91 Symposium, Minerals Engineering the Challenges for the '90s, 9-11 April, Doncaster, UK, 09-11 April 1991, pp81, Mining Industry Promotions Ltd, Rickmansworth, England (1991).
4. Skillen A., Froth Flotation: New Technologies Bubbling Under, Industrial Minerals, No.305, February, p47-59 (1993).
5. Evans G.M., Atkinson B.W. and Jameson G.J. The Jameson Cell, p331-363 in Flotation Science and Engineering, pp576, Marcel Dekker, New York, USA (1995).
6. Burns M.J., Coates G. and Barnard L., Use of Jameson Cell Flotation Technology at Cleveland Potash Ltd., North Yorkshire, England, Trans IMM, Sect. C, Vol. 103, C162-167 (1994).
7. Burns M.J., Coates G., Barnard L., The Use of Jameson Cell Flotation Technology at Cleveland Potash, p290-300 in: Proceedings of International Fertilizer Association (IFA) Technical Conference, Amman, Jordan, 2-6 October 1994, pp492, IFA, Paris, France (1994).

8. Burns M.J, Pearson J. and Harrison M.E. Operating Experience and Savings with Jameson Cell Technology at Cleveland Potash, paper in press.
9. Nemedy L., Factors Influencing Froth Stability in Potash Processing, p605-609 in: Proceedings of First International Potash Technology Conference, Saskatoon, Saskatchewan, Canada, 3-5 October 1983, ppS87, Pergamon Press, Oxford, England (1984).