

# Опыт двух десятилетий эксплуатации флотомашин Джеймсон в угольной промышленности

Дейв Осборн<sup>1</sup>, Ле Хьюн<sup>1</sup>, Исхант Коли<sup>1</sup>, Майкл Янг<sup>1</sup> и Фрэнк Меркьюри<sup>2</sup>

1 Xstrata Technology, Брисбен, Квинсленд, Австралия

2 Xstrata Coal, Брисбен, Квинсленд, Австралия

## Автореферат

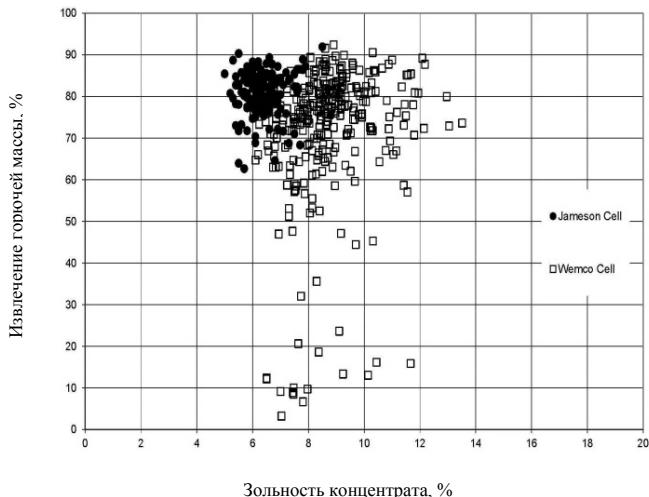
Флотомашина Джеймсон была впервые представлена в конце 1980-х годов как решение конструктивных и эксплуатационных недостатков, присущих колонным и традиционным флотомашинам. Начиная с первого опыта промышленной флотации полиметаллических руд на руднике Маунт Айза в 1989 году, за которым последовал первый опыт применения на углеобогатительной фабрике Ньюлендс в 1990 году, флотомашина непрерывно совершенствовалась, повышая производительность и становясь более простой в эксплуатации. В настоящее время в разных отраслях и для различных применений в эксплуатации находится более 320 флотомашин этого типа, из которых примерно 45% применяется в угольной промышленности. Новейшие модели сочетают в себе изначально присущие этой машине высокую производительность и компактность со значительно минимизированными эксплуатационными затратами и удобством эксплуатации. В настоящей работе рассматривается развитие флотомашины Джеймсон на протяжении последних двух десятилетий и причины перехода с двухстадийной схемы на одностадийную, а затем обратно на двухстадийную. Хотя большинство флотомашин Джеймсон используется в настоящее время для коксующегося угля, они все чаще применяются для переработки ультратонкого энергетического угля, в том числе с высоким содержанием в рядовом угле золы, преимущественно глины. В настоящей работе также описано последнее пилотное тестирование и полученные результаты, которые можно использовать для проекта промышленного масштаба.

**Ключевые слова:** флотомашина Джеймсон, уголь, флотация, вспениватель

## 1. Введение

Флотомашина Джеймсон основана на абсолютно другой технологии флотации, нежели механические и колонные флотомашины, и была впервые предложена профессором Грэмом Джеймсоном, Университет Ньюкасл, шт. Новый Южный Уэльс. Флотомашина Джеймсон была впервые испытана и применена в промышленном масштабе на углеобогатительной фабрике разреза Ньюлендс компании Xstrata Coal (Jameson et al., 1991). Потоком питания тонких классов был слив гидроциклона, который ранее переходил в отходы (крупность минус 20-25 микрон при зольности от 15 до 50%). Пилотное тестирование подтвердило возможность добиться извлечения горючей массы выше 90% при нормативной зольности продукта 10%. В результате в 1990 году были установлены промышленные флотомашины Джеймсон первого поколения (Mark I Jameson Cells). Эти машины находились в непрерывной эксплуатации в течение более чем 15 лет, пока в 2006 году не была построена новая углеобогатительная фабрика взамен старой. На новой фабрике также применяются флотомашины Джеймсон, а именно четыре новых машины B6000/20 модели Mark III. После первоначальной установки на фабрике Ньюлендс технология была испытана на многих предприятиях, и было доказано, что эта

технология способна обеспечить стабильное получение продукта низкой зольности при высоком извлечении, а также нетребовательна к зольности питания (Harbort et al., 1992; Atkinson et al., 1993; Manlapig et al., 1993). Обогатительная фабрика коксующегося угля Гунаелла компании BHP Coal (в настоящее время - BHP Billiton Mitsubishi Alliance (BMA)) производительностью 1 800 т/ч, расположенная в центральной части шт. Квинсленд, провела тестирование современных технологий флотации и по их результатам полностью заменила 32 механические флотомашины (Wemco) восемью флотомашинами Джеймсон, установленными в две стадии (Caretta et al., 1997). На рис. 1 сопоставлены показатели эффективности флотомашин Джеймсон на этом предприятии после пусконаладки с показателями эффективности старых механических флотомашин. Стабильное получение продукта низкой зольности при высоком извлечении во флотомашине Джеймсон позволило повысить выход по фабрике примерно на 3,5%, что, в свою очередь, позволило поставить новые производственные рекорды.



**Рисунок 1. Показатели эффективности флотомашин Джеймсон на фабрике Гуньелла относительно показателей старых механических флотомашин (Wemco)**

Среди основных преимуществ новой технологии - возможность промывки пены и простота флотомашины Джеймсон, удобство эксплуатации и обслуживания, отсутствие движущихся частей, отсутствие потребности во вспомогательном оборудовании (кроме насоса питания). В настоящее время по всему миру в эксплуатации находится более 150 флотомашин Джеймсон. Крупнейшей является установка на фабрике Керрэг компании Wesfarmers в бассейне Боуэн в центральной части шт. Квинсленд, перерабатывающая более 5 млн. тонн угольных шламов в год всего на двенадцати флотомашинах. Страны с давними традициями добычи угля, в частности, Казахстан, также используют преимущества, предлагаемые флотомашиной Джеймсон по сравнению с традиционными флотомашинами, а новые угледобывающие страны, такие как Мозамбик и Монголия, начинают применять флотомашины Джеймсон для обогащения коксующегося угля.

Далее в этой работе будет рассмотрен процесс развития технологии, лежащей в основе флотомашины Джеймсон, на протяжении последних двух десятилетий, процесс эволюции цикла флотации, проблемы, существующие в переработке угольных шламов, а также в качестве примера рекомендуемого подхода к проектированию будет представлен последний опыт масштабирования производства энергетического угля от пилотной до промышленной установки.

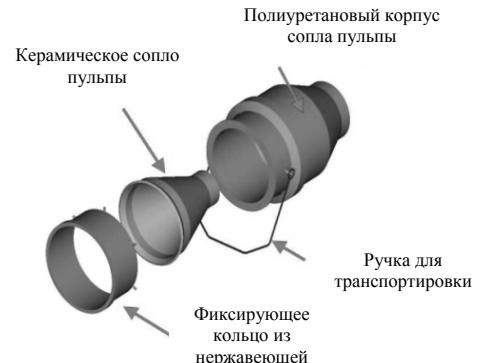
## 2. Развитие флотомашины Джеймсон

С момента первого промышленного применения в 1989 году флотомашина Джеймсон прошла четыре

основных этапа последовательного совершенствования (рис. 2). Результатом двух десятилетий развития этой технологии стала последняя модель флотомашины Джеймсон, Mark IV Jameson Cell, которая имеет следующие характерные особенности:

- Система рециркуляции питания; для обеспечения стабильного режима работы флотомашины и поддержания оптимальной эффективности независимо от колебаний в питании.
- Низкий износ, высокий коэффициент разгрузки, сопло пульпы.
- Гибкая насадка питания упрощает процедуру проверки и позволяет точно отрегулировать падающую струю для максимального повышения технологических показателей.
- Улучшенная система промывки над пеной и в пене.

С выходом в 2000 году аэратора Mark III для образования струи вместо диафрагмы используется сопло пульпы (рис. 3). Преимущества этой конструкции заключаются в поступлении пульпы под небольшим углом, оптимизирующим поток пульпы и увеличивающим срок службы деталей, высоком коэффициенте разгрузки, улучшенных условиях образования струи с более равномерным вовлечением воздуха и вакуумом.



**Рисунок 3. Сопло пульпы Mark IV**

Доступ к соплу при обслуживании значительно проще по сравнению с прежней конструкцией. Если сопло пульпы закупорено или требует замены, обслуживание занимает всего 10 минут и не требует остановки флотомашины: достаточно изолировать соответствующий аэратор. Износостойчивость сопла превзошла все ожидания. С момента внедрения в 2000 году на углеобогатительных фабриках установлено 1500 единиц, но ни одно из них до сих пор не потребовало замены по причине износа.

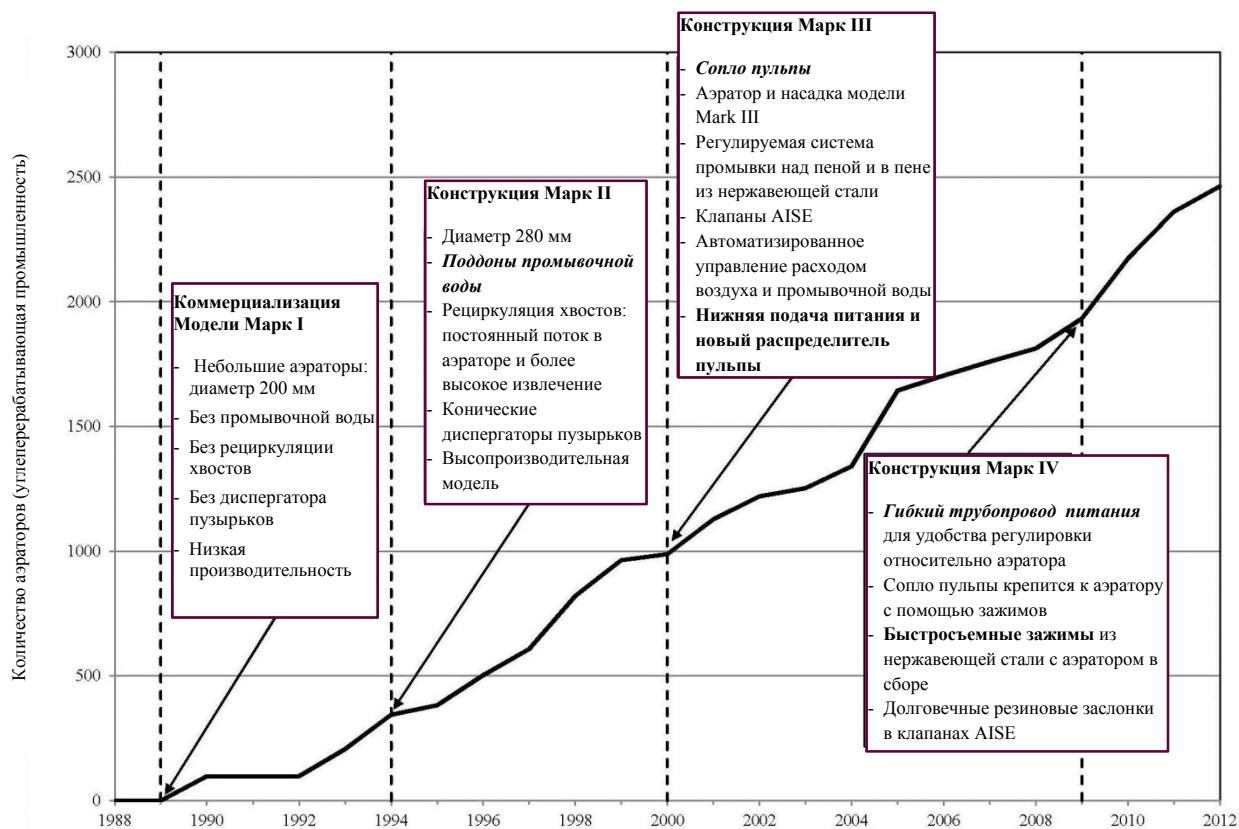
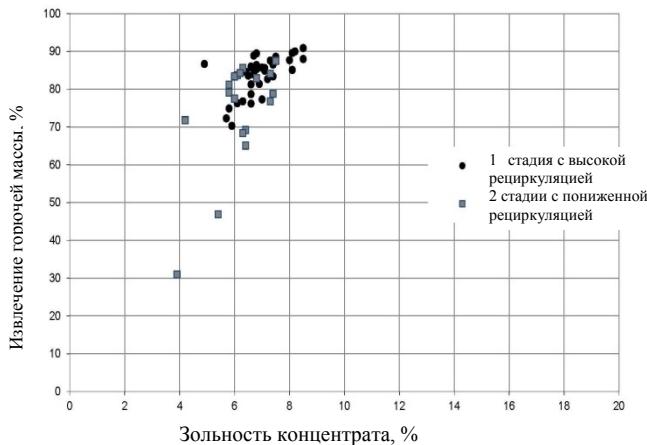


Рисунок 2. Развитие флотомашины Джеймсон

### 3 Развитие технологических схем с флотомашинами Джеймсон

Первое поколение флотомашин Джеймсон на австралийских углеобогатительных фабриках в начале 1990-х годов устанавливалось исключительно в две стадии: первичная и вторичная флотомашины производили раздельные концентраты, которые затем объединялись для получения готового продукта. Эта схема работала достаточно хорошо, но на эффективность флотации часто влияли колебания в питании цикла флотации. Следствием непостоянного давления питания и колебаний в объемном расходе питания стало, нестабильное вовлечение воздуха и меняющиеся гидродинамические условия внутри аэратора. Проблему удалось решить в середине 1990-х годов, когда в цикле была применена рециркуляция хвостов. Хотя изначально она предназначалась для компенсации колебаний питания, было установлено, что за счет увеличения рециркуляции хвостов до 40-50% и уменьшения подачи свежего питания, повысилось извлечение во флотомашине, благодаря чему появилась возможность получить в установке, состоящей из одной флотомашины Джеймсон, уровень извлечения горючей массы, сравнимый с извлечением в некоторых двухстадийных схемах (рис. 4). Поэтому такие одностадийные машины, как правило, спроектированы из расчета меньшей подачи свежего питания и рециркуляции хвостов на уровне около 40-50%. Для коксующегося угля количество одностадийных флотомашин, необходимое для

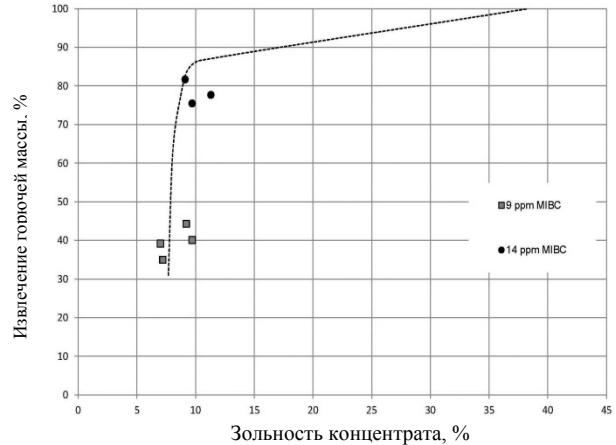
получения высокого выхода (до 85-90%) при требуемом уровне качества, должно обеспечивать достаточную несущую способность (площадь поверхности пузырьков). Для аналогичной двухстадийной схемы потребовалось бы такое же количество флотомашин, что и для одностадийной, но машины должны были бы быть установлены последовательно, а не параллельно, и эксплуатировались бы при значительно более низкой рециркуляции хвостов (10-20%). В такой схеме рециркуляция хвостов используется исключительно для сглаживания колебаний в подаче свежего питания. Очевидное преимущество одностадийной схемы флотации заключается в меньших капитальных и эксплуатационных затратах, поскольку она может быть реализована с минимальным числом емкостей и насосов питания. Так, для двух флотомашин, установленных параллельно, требуется одна емкость и один насос питания, в то время как для аналогичной двухстадийной схемы потребуется две емкости и два насоса (меньшего размера). Однако объем экономии уменьшается по мере расширения схемы, поскольку в двухстадийных схемах с более чем двумя флотомашинами могут применяться общие емкости и более мощные насосы, поскольку и на первой, и на второй стадии питание может быть общим для двух и более флотомашин.



**Рисунок 4. Эффективность флотации во флотомашине Джеймсон, установленной в одну или две стадии**

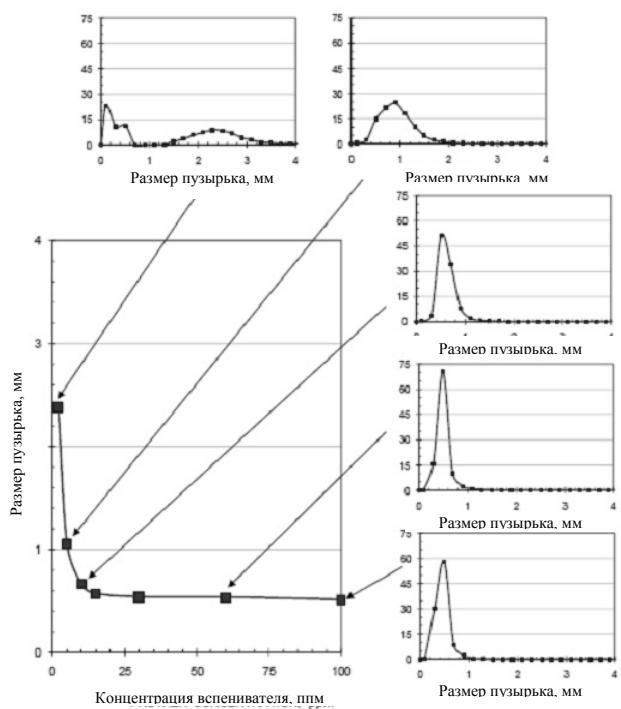
Начиная с 1995 года, все флотомашины Джеймсон устанавливаются в одну стадию с рециркуляцией хвостов на уровне 40-50%. На протяжении длительного времени многие предприятия сталкиваются с проблемами пенообразования, вызванными остаточным вспенивателем в рециркулируемом сливе сгустителя хвостов. Эта проблема сложна, по-разному проявляется на разных предприятиях и нередко требует индивидуальных решений. Чувствительность всей фабрики к остаточному вспенивателю также зависит от быстроты повторного использования воды, проектирования водного цикла и сочетания реагентов, применяемых на фабрике. Среди наиболее распространенных проблем - неустойчивость тяжелосреднего цикла из-за вовлечения воздуха, недостаточное обезвоживание вследствие сложностей управления пенообразованием и проблемы с осветлением воды.

Последствия уменьшения дозировки вспенивателя, подаваемого на флотацию в одностадийной схеме, достаточно серьезны, как показано на рис. 5. На данной фабрике по производству коксующегося угля извлечение горючей массы составляло всего 35-45%, т.е. значительно ниже перегиба кривой, построенной по результатам стандартного характеристического теста для угля (черная линия) при концентрации вспенивателя 9 ппм. Расход воздуха и промывочной воды определяли глубину пены, но не оказывали существенного влияния на извлечение. Однако когда дозировку вспенивателя увеличили до 14 ппм, извлечение горючей массы выросло до 75-82%, достигнув максимума на перегибе кривой.



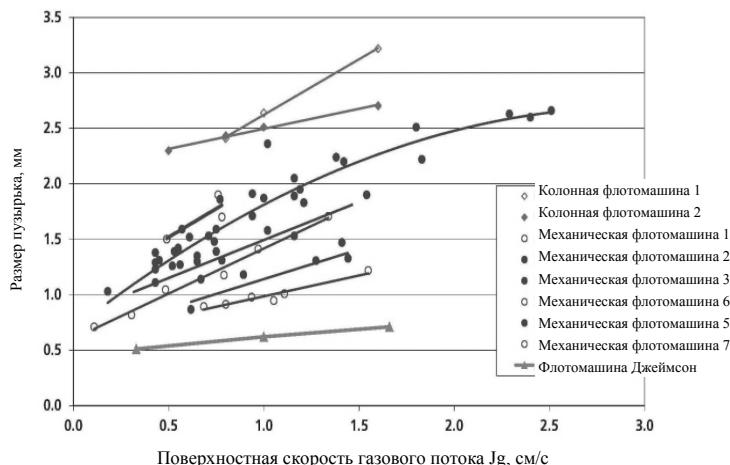
**Рисунок 5. Влияние дозировки вспенивателя на эффективность флотации**

Резкое изменение показателя извлечения горючей массы, показанное на рис. 5, можно объяснить следующим образом. В одностадийных схемах с использованием как флотомашины Джеймсон, так и колонной флотомашины, несущая способность флотомашины полностью зависит от способности машины обеспечить площадь поверхности пузырьков, достаточную для флотации всего угля. Во флотомашине любого типа максимальная площадь поверхности пузырьков возможна только при условии введения достаточного количества вспенивателя, предотвращающего коагуляцию. Минимальная концентрация, необходимая для предотвращения коагуляции, известна как критическая концентрация коагуляции (ККК) и зависит от типа вспенивателя. На рис. 6 показана зависимость между размером пузырька и дозировкой MIBC, вспенивателя, наиболее часто используемого во флотации угля. ККК вспенивателя MIBC составляет примерно 15 ппм.



**Рисунок 6. Размер пузырька в зависимости от концентрации вспенивателя (Zou, 2010)**

Так как вспениватель определяет концентрацию, его нужно использовать в процессе флотации; минимальный размер пузырька же зависит от флотомашины. На рис. 7 показан размер пузырька во флотомашине различного типа (Джеймсон, механическая или колонная) в зависимости от поверхностной скорости газового потока  $J_g$  (показатель расхода воздуха). Небольшой размер пузырьков во флотомашине Джеймсон (300-600 микрон) объясняет, почему эта машина имеет более быструю кинетику флотации и более высокую несущую способность, а следовательно и производительность, по сравнению с флотомашинами других типов.



**Рисунок 7. Размер пузырька в зависимости от  $J_g$  (показатель расхода воздуха) в различных технологиях флотации (Nesset et al., 2007; Gomez, 2012, Zou, 2010)**

Проектирование углеобогатительной фабрики с интеграцией отдельных водных циклов для крупных классов и шламов не представляется целесообразным решением проблем пенообразования. Вероятно, единственное практически осуществимое решение заключается в реорганизации цикла флотации и возврате к двухстадийной схеме. Двухстадийная схема может повысить производительность системы, поскольку первичная и вторичная стадии могут эксплуатироваться отдельно с целью оптимизации эффективности. Увеличение дозировки вспенивателя может повысить эффективность первичной флотомашины, а остаточный вспениватель в хвостах первичной машины может быть использован для флотации дополнительного объема угля во вторичной флотомашине. Предприятие Уоркуорт компании RTCA<sup>1</sup> (Новый Южный Уэльс, Австралия) перевело свои флотомашины Джеймсон на двухстадийную схему и сообщает об увеличении выхода и о возможности использования более высокой концентрации вспенивателя без возникновения избыточного пенообразования (Lambert and Revell, 2008). На новых проектах, таких как углеобогатительная фабрика Муларбен компании Yancoal (Новый Южный Уэльс) и Кестрел компании RTCA (Квинсленд), также используется двухстадийная схема флотации.

Обогатительные фабрики, работающие по одностадийной схеме, могут быть переоборудованы в двухстадийные. На фабрике Джерман Крик компании ААМС<sup>2</sup> (Квинсленд) флотомашина Джеймсон была недавно установлена в качестве машины вторичной стадии для переработки хвостов двух флотомашин Microcel, установленных параллельно (рис. 8). Присутствовало ограничение в установочной площади, но проблем с монтажом не возникло, т.к. флотомашина Джеймсон компактна и проста, благодаря легкости присоединений к трубопроводам и отсутствию необходимости во вспомогательном оборудовании (кроме насоса питания).

<sup>1</sup> RTCS - Rio Tinto Coal Australia

<sup>2</sup> AAMC - Anglo American Metallurgical Coal



**Рисунок 8. Недавно установленная флотомашина Джеймсон (слева) и две колонные флотомашины на предприятии Джерман Крик компании ААМС**

#### **4. Проблемы флотации угля и переработки угольных шламов**

Флотация является физико-химическим процессом разделения и отличается от других используемых на углеобогатительной фабрике процессов, в которых разделение происходит за счет гравитации. Флотация представляет собой трехфазную систему, зависящую от многих факторов, которые можно условно разделить на три группы: характеристики угля, химические факторы и характеристики оборудования (рис. 9).



**Рисунок 9. Треугольник флотации, изображающий факторы, влияющие на эффективность**

Флотомашина - это только один из факторов, определяющих весь процесс, однако она привлекает наибольшее внимание и первой становится предметом подозрений, когда эффективность цикла флотации мелких классов падает. Однако удивительно, что при этом часто забывают о таких факторах, как изменчивость характеристик угля и характеристика подачи флотореагентов. Чем больше число пластов и

источников, из которых уголь поступает на переработку, тем сложнее добиться эффективной флотации, желаемого качества и извлечения. Поэтому операторы должны уметь реагировать на изменения в тоннаже, гранулометрии и поведении углей различных типов при флотации и вносить необходимые корректировки в дозировку реагентов и переменные технологические параметры для оптимизации эффективности.

На многих обогатительных фабриках контроль эффективности флотации нерегулярен, а меры принимаются с опозданием, когда эффективность уже заметно снизилась. Более того, на многих фабриках контроль вообще невозможен, потому что точки отбора проб питания, концентрата и хвостов не предусмотрены. Даже на более современных (недавно построенных) фабриках получить пробу питания непросто, потому что, как правило, питание состоит из нескольких технологических потоков, поступающих самотеком в общий приемник большого объема. На многих фабриках, где установлены флотомашины Джеймсон, персонал, не подозревая об этом, отбирает пробы питания аэратора и использует результаты экспресс-анализа на зольность и двухпродуктную формулу для расчета выхода и извлечения горючей массы. Но это неверно, т.к. питание аэратора является внутренним потоком. Поэтому точки отбора проб являются необходимым элементом правильного проектирования секции обогащения мелких классов.

Хотя флотация является процессом разделения, общая эффективность секции обогащения мелких классов нередко определяется возможностями обезвоживания концентрата, что часто становится узким местом процесса. Зачастую производительность цикла флотации приходится уменьшать, чтобы согласовать ее с производительностью обезвоживающей установки, в результате чего возникают крупные потери мелкой угольной фракции, влекущие, в свою очередь, проблемы в работе сгустителя хвостов. Другим вопросом, требующим внимания, является выбор типа обезвоживающей установки для концентрата. При выборе технологии в качестве определяющего фактора необходимо учитывать гранулометрию и тип перерабатываемого угля, а не капитальные затраты.

#### **5. Пилотная установка на фабрике Балга**

Флотация традиционно используется в качестве технологии обогащения при переработке мелких классов угля, хотя в прошлом она преимущественно использовалась для коксующегося угля. Тем не менее, в ЮАР эксплуатируется ряд флотационных установок, предназначенных для извлечения коммерческого энергетического угля из рядовых хвостов, которые в противном случае были бы направлены в отходы. Результаты эксплуатации этих установок неоднозначны, поскольку угля этого региона плохо поддается флотации, однако они одновременно

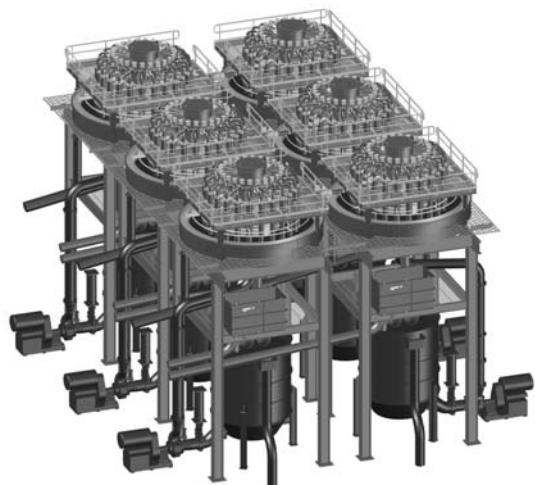
указывают на необходимость выбора эффективных циклов обезвоживания для переработки угольных концентратов (Power, 2010).

Xstrata Technology совместно с Xstrata Coal занимаются разработкой технологической схемы с использованием флотомашины Джеймсон для переработки энергетического угля на фабрике Балга у поселка Броук, Новый Южный Уэльс. Фабрика будет перерабатывать необработанные рядовые хвосты и хвосты из соседнего хвостохранилища, содержащие, по оценкам, 3 млн. т извлекаемого угля.

Фабрика перерабатывает уголь из 12 пластов, а также уголь, поступающий из открытых разрезов и шахт, с зольностью питания флотации от 30 до 65%. При использовании любой технологии непросто получить продукт стабильного качества при столь большом разбросе характеристик питания.

Пилотная флотационная установка с использованием флотомашин Джеймсон была запущена в эксплуатацию на площадке для сбора проектной информации, необходимой для расширения фабрики. Испытания пилотной флотационной установки показали стабильно высокое извлечение из питания линии обогащения энергетического угля: до 70-90% горючей массы при зольности продукта 8-12%. При переработке более окисленного угля потребовалось увеличить дозировку коллектора для получения достаточно высоких показателей извлечения.

Пилотная установка состояла из двух флотомашин Джеймсон L500, установленных последовательно с целью смоделировать промышленный цикл флотации, который будет установлен в будущем. Предлагаемая схема промышленной установки с использованием флотомашин Джеймсон показана ниже на рис. 10. Эта компактная схема позволяет разместить флотационную установку в условиях расширения существующего предприятия. Были рассмотрены различные варианты обезвоживания и других способов переработки, включая применение центрифуги и установки Centribaric с последующим брикетированием продукта более высокой стоимости. Это оборудование будет также испытано в составе пилотной установки, а после завершения работ данный цикл флотации будет спроектирован как стандартный для будущих углеобогатительных фабрик Xstrata Coal, производящих как коксующийся, так и энергетический уголь.



**Рисунок 10. Схема установки шести флотомашин Джеймсон модели B6500/24 (занимаемая площадь 22 x 26 м; высота 17 м)**

## 6. Заключение

За немногим более десятилетия флотомашина Джеймсон стала стандартной технологией флотации в австралийской угольной промышленности. Более 110 флотомашин, находящихся в эксплуатации, представляют собой важный источник информации об эксплуатации, обслуживании и совершенствовании установок в будущем. Флотомашина Джеймсон все чаще применяется в углеперерабатывающей промышленности других крупных угледобывающих стран, включая такие развивающиеся страны, как Монголия и Мозамбик. Основные преимущества этой машины, такие как простота, высокая эксплуатационная готовность, нетребовательность к обслуживанию, а также доказанная производительность и стабильная эффективность, давно признаны эксплуатирующими компаниями.

Своим развитием флотомашина Джеймсон в значительной мере обязана совершенствованию материалов, применяемых в ее компонентах, однако другие факторы также оказывают влияние на общую эффективность флотации. Некоторые из этих факторов, например обезвоживание, отбор проб, управление технологическим процессом и другие, также стали предметом внимания. Новые установки необходимо проектировать с учетом последних достижений в каждой из этих областей, в особенности, если операторам могут быть предоставлены надежные инструменты контроля и управления, позволяющие корректировать условия эксплуатации и на ранних этапах выявлять отклонения от требований к качеству и извлечению.

Xstrata Technology (XT) создала сильный коллектив проектировщиков, инженеров и технологов и благодаря этому последовательно совершенствует технологию флотации Джеймсон на протяжении более чем двух

десятилетий, поддерживая тесную связь с ее изобретателем и его коллегами. Подобные отношения являются редкостью в технологическом проектировании, а кроме того, ХТ не просто поставляет оборудование, а строит технологические партнерства с заказчиками, среди которых не только углеперерабатывающие предприятия, но и технологии, и проектировщики, занятые в отрасли цветных металлов, промышленных минералов и в других областях применения. В такой уникальной ситуации все источники информации и все пользователи технологии вовлечены в обмен знаниями и опытом. Вне всякого сомнения, результатом развития технологии в будущем станут новые модели и технологические циклы, обладающие всеми требуемыми характеристиками, такими как анализ в режиме реального времени, отбор проб из пульпы, датчики реагентов и т.д.

## 7. Список использованной литературы

1. Atkinson, B.W., Conway, C.J., Jameson, G.J. Fundamentals of Jameson Cell operation including size-yield response, 6<sup>th</sup> Australian Coal Preparation Society Conference, Mackay QLD, September, 1993.
2. Caretta, M.F., Graham, J.N., Dawson, W.J., Jameson Cell scale-up experiences at BHP Coal's Goonyella coal preparation plant, Coal Prep '97, Lexington, Kentucky, April, 1997.
3. Gomez, C.O., Personal communication, 2012.
4. Harbort, G.J., Manlapig, E.V., Jackson, G.J., Jameson Cell use in fine coal flotation, ASEAN-Pacific Coal Conference '92, Cebu, Philippines, 1992.
5. Jameson, G.J., Goffinet, M., Hughes, D., Operating experiences with Jameson Cell at Newland Coal Pty Ltd, 5<sup>th</sup> Australian Coal Preparation Society Conference, Newcastle NSW, May, 1991.
6. Lambert, L. and Revell, P., 2008. Tripling Flotation Yield at Warkworth CHPP, 12<sup>th</sup> Australian Coal Preparation Society Conference, Darling Harbour NSW, October, 2008.
7. Manlapig, E.V., Jackson, B.R., Harbort, Cheng, C.Y., Jameson Cell coal flotation, Coal Prep '93, 10<sup>th</sup> International Coal Preparation Exhibition Conference, Lexington Kentucky, May, 1993.
8. Nessel, J.E., Finch, J.A., Gomez, C.O., Operating variables affecting bubble size in forced-air mechanical flotation machines, Ninth Mill Operator's Conference, Fremantle WA, 2007.
9. Power, D., The new highs and lows of coal processing for South African coals, 13<sup>th</sup> Australian Coal Preparation Society Conference, Mackay QLD, September, 2010.
10. Swanepoel, C., Fine coal processing developments in Anglo American Thermal Coal in South Africa, Challenges in fine coal processing, dewatering and disposal, SME, edited by Klima, M.S., Arnold, B.J., Bethell, P.J., 2012.
11. Zou, J.S., Effect of frother on the gas dispersion characteristics of Jameson Cells, McGill University Internal Report, 2010.

# Two decades of Jameson Cell installations in coal

Dave Osborne<sup>1</sup>, Le Huynh<sup>1</sup>, Ishant Kohli<sup>1</sup>, Michael Young<sup>1</sup> and Frank Mercuri<sup>2</sup>

1 Xstrata Technology, Brisbane, QLD, Australia

2 Xstrata Coal, Brisbane, QLD, Australia

## ABSTRACT

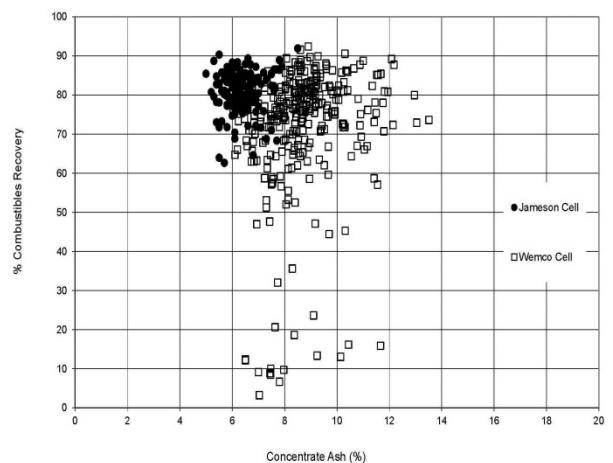
Jameson Cell technology was first introduced in the late 1980s to overcome the design and operating inadequacies of column and conventional flotation cells. From the first commercial base metals installation at Mt Isa in 1989 followed by the first coal installation at Newlands in 1990, it has been continuously developed and improved to make it more robust and easier to use. There are now over 320 units installed in a wide range of applications and industries of which about 45% are employed for coal. The latest designs combine the original advantages of high productivity and small footprint with significantly reduced maintenance costs and much more operator-friendly features. This paper will describe the development of the Jameson Cell technology over two decades and drivers for changing circuit configurations from 2-stage to single stage and then back to 2-stage over the years. Although most Jameson Cell installations are currently utilised for recovery of metallurgical coal, there are a growing number of applications emerging for treating ultrafine thermal coal, many with high raw coal ash contents, predominantly clay. The paper will also describe recent pilot-scale test work and the results obtained from this to support the commercial scale project.

**Keywords:** Jameson Cell, Coal, Flotation, Frother

## 1. Introduction

The Jameson Cell is a fundamentally different flotation technology to mechanical and column cells, having been invented by Prof Graeme Jameson at the University of Newcastle in NSW. They were first tested and commercially installed in a coal washing plant at Xstrata Coal's Newlands mine (Jameson et al., 1991). The fines stream was cyclone overflow material which was previously discarded (minus 20-25 microns in particle size with 15 to 50% ash content). Pilot plant testing showed it was possible to achieve greater than 90% combustibles recovery with a product target of 10% ash. This led to the installation of the first generation full scale, Mark I Jameson Cells in 1990. These cells were in continuous operation for over 15 years until a new washing plant was built to replace the old plant in 2006. The new plant also uses Jameson Cells and has four new B6000/20 model Mark III cells installed. Following the initial Newlands installation, many sites have tested the technology which was shown to consistently produce low ash concentrates and achieve high combustibles recovery whilst being forgiving to variations in feed ash (Harbort et al., 1992; Atkinson et al., 1993; Manlapig et al., 1993). BHP Coal's (now BHP Billiton Mitsubishi Alliance - BMA) Goonyella 1,800 tph coking coal operation in Central Queensland tested the advanced flotation technologies and subsequently replaced the entire 32 mechanical (Wemco) cell circuit with 8 Jameson Cells operating in a 2-stage configuration (Caretta et al., 1997). Figure 1 compares the performance of the Jameson Cells at this plant after commissioning to the old mechanical cell circuit. The ability of the Jameson Cell to consistently deliver a low ash product at high

combustibles recoveries contributed to an overall plant yield increase of ~3.5% and led to production records.



**Figure 1: Full scale Jameson Cell performance at Goonyella mine compared to old mechanical (Wemco) cell circuit**

Amongst the key benefits is froth washing and the simplicity afforded by the Jameson Cell, it being easy to operate and maintain; with no moving parts, and needing no auxiliary equipment except for the feed pump. Over 150 Jameson Cells are now operational on coal worldwide, the current largest installation being at Wesfarmer's Curragh Mine in the Bowen Basin of Central Queensland which treats over 5 million tonnes of coal fines per year using only twelve cells. Long-established coal producing countries like Kazakhstan are also realising the benefits of the Jameson

Cell over conventional cells and emerging coal regions such as Mozambique and Mongolia are now beginning to use the Jameson Cell for metallurgical coal applications.

The remainder of this paper will describe the development of the Jameson Cell technology over two decades, the evolution of flotation circuit designs, continued challenges of fine coal processing in the coal industry; and a recent case study for the development of a thermal coal project from pilot plant to full scale is included to illustrate the recommended design approach.

## 2. Jameson Cell Development

The Jameson Cell development path has seen four main phases of progressive improvement (Figure 2) since its first commercial installation in 1989. Two decades of significant advances have culminated in the latest model, the Mark IV Jameson Cell, which incorporates the following features:

- Feed recycle system; to ensure stable cell operation maintaining optimum performance independent of feed fluctuations.
- Low wear, high discharge coefficient, slurry lens orifice.
- Flexible feed nozzle allowing quick and easy inspection and precise alignment of the plunging jet to maximise metallurgical performance.
- Improved above-froth or in-froth washwater system.

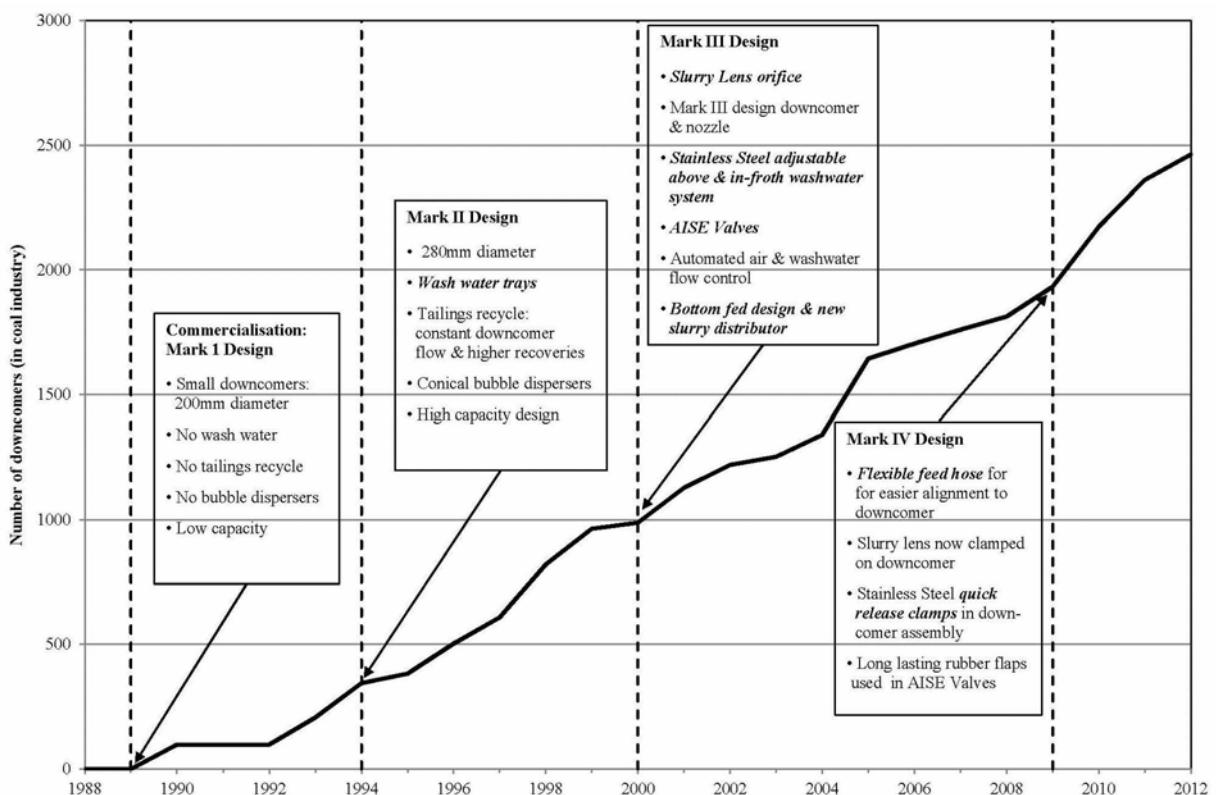


Figure 2: Jameson Cell Development Path

With the release of the Mark III downcomer in 2000, the orifice plates used for jet formation were replaced with the slurry lens orifice (Figure 3). The benefits included a shallow slurry entry angle which optimised slurry flow and maximised component wear life; a high discharge coefficient, and improved slurry jet formation resulting in more consistent air entrainment and vacuum.

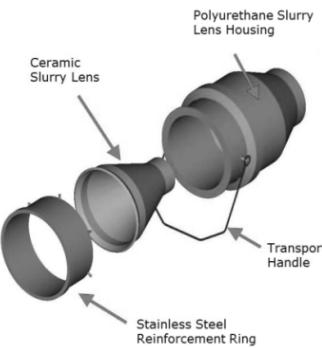
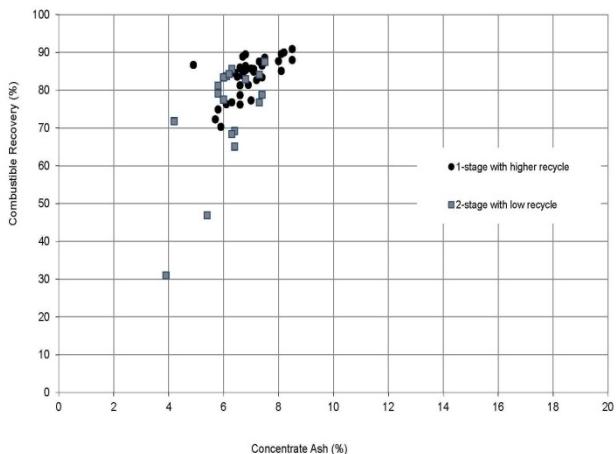


Figure 3: Mark IV Slurry Lens

For maintenance, the slurry lens is significantly easier to access compared to the old design. If a slurry lens becomes blocked or needs replacing, it is now a 10 minute job which can be done online by isolating the specific downcomer while the rest of cell (and other downcomers) remain in operation. The wear performance of the slurry lens orifice has far exceeded expectations. Since its introduction in 2000, 1,500 slurry lenses have been installed in coal applications and no site has so far needed to replace one of these items due to wear.

### 3 Evolution of Jameson Cell Circuit Designs

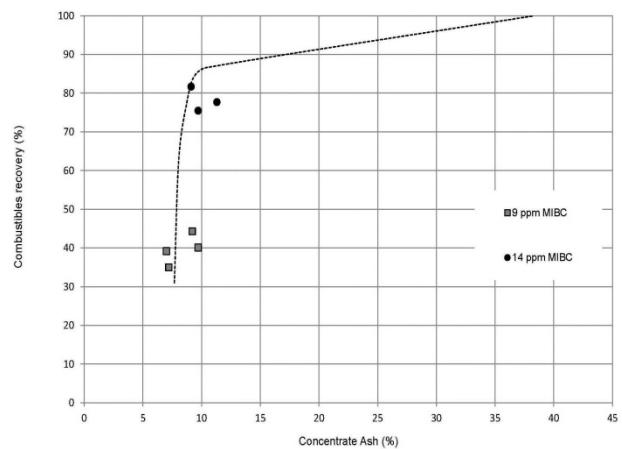
The first generation of Jameson Cell coal plant installations in Australia in the early 1990s were all 2-stage designs with primary and secondary cells producing separate concentrates that were combined to give the final product. These circuits generally operated well but flotation performance was often affected by wide variations in feed volumetric flow rate to the flotation circuit. This was usually because fluctuation in the flow rate and feed pressure resulted in inconsistent air entrainment and hydrodynamic mixing inside the downcomer. This was overcome in the mid-1990s with the incorporation of tailings recycle into the circuit design. Although originally designed to dampen feed flow fluctuations, by employing higher tailings recycle of between 40-50% and reducing the fresh feed flow rate, it was observed that cell recovery was improved which enabled a single Jameson Cell to achieve a similar level of combustibles recovery as some 2-stage circuits (Figure 4). These single stage cells are therefore typically designed to operate with a lower fresh feed flow rate and higher tailings recycle of about 40-50%. In metallurgical coal applications the number of single-stage cells required to achieve high yields (up to 85-90%) at the required quality must ensure adequate carrying capacity (bubble surface area). An equivalent 2-stage circuit would use the same number of cells as the single stage arrangement but the cells will be installed in series rather than in parallel and will operate at much lower tailings recycle (10-20%). In this type of circuit, the purpose of the tailings recycle is to simply dampen fresh feed fluctuations. The obvious attraction of the single stage flotation circuit is the reduced capital and operating cost as it can be designed using minimal feed sumps and pumps. For example, for two cells in a parallel circuit, only a single feed sump and a single feed pump are required, whereas for an equivalent 2-stage circuit, 2 sumps and 2 (smaller) pumps are required. However, the level of saving is diminished as the size of the circuit increases because 2-stage circuits with more than 2 cells can also make use of common sumps and larger feed pumps as the feed for each stage primary and secondary stage can also be split between two or more cells.



**Figure 4: Flotation performance of single stage versus 2-stage Jameson Cell circuit.**

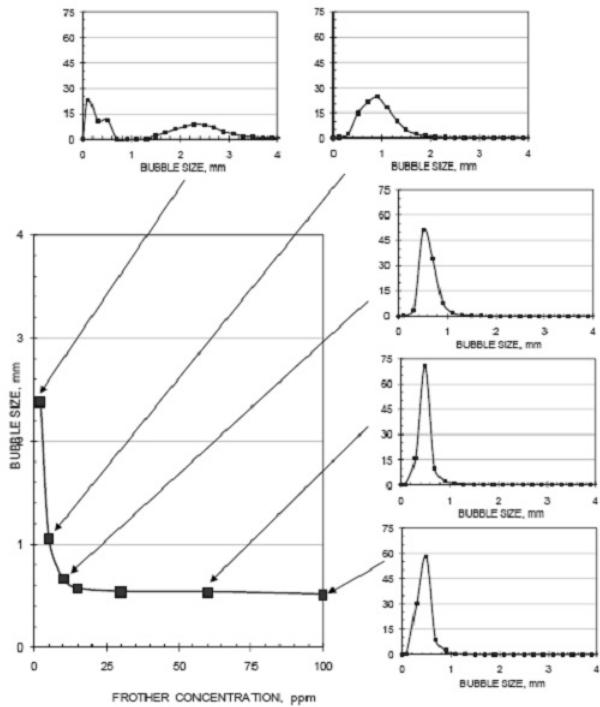
From 1995 onwards, all Jameson Cell installations were single stage circuits with 40-50% tailings recycle. Over the years, many operations have experienced frothing issues in the plant caused by residual frother in the recirculated tailings thickener overflow water. This issue is complex and the effects experienced at each site are varied and often require individual solutions. The sensitivity of the overall plant to residual frother is also dependent on how quickly water is reused, the design of the water circuit and the reagent combinations used throughout the plant. Common problems experienced include instability in dense medium circuits through air entrainment, dewatering limitation due to froth handling constraints and water clarification issues.

However, the impact of lowering frother dosage to the flotation recovery in single stage circuits is severe as demonstrated in Figure 5. At this metallurgical coal operation, combustibles recovery was poor at 35-45% and well below the knee of the curve generated from a standard coal characterisation test (black line) when the frother concentration was 9 ppm. Altering froth depth, air flow rate and washwater flow rate had negligible impact on the recovery. However, when the frother dosage was increased to 14 ppm, the combustibles recovery dramatically increased to 75 to 82%, reaching the maximum at the knee of the curve.



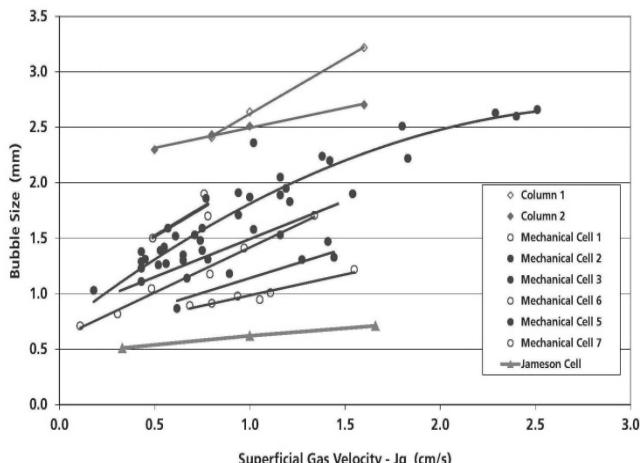
**Figure 5: Effect of frother dosage on flotation performance**

The reason for the dramatic change in combustibles recovery shown in Figure 5 can be explained as follows. In single stage circuits, whether a Jameson Cell or a column cell is used, the carrying capacity of the cell is entirely dependent on that cell being able to produce sufficient bubble surface area required to float all the coal. For any type of flotation machine, maximum bubble surface area can only be achieved if sufficient frother is added to prevent coalescence. The minimum concentration required for this is called the Critical Concentration of Coalescence (CCC) and is characteristic for each type of frother. Figure 6 shows the change in bubble size with frother dosage for MIBC, the most commonly used frother in coal flotation. The CCC for MIBC is around 15 ppm.



**Figure 6:** Bubble size as a function of frother concentration (Zou, 2010)

While the frother dictates the concentration it must be used in the flotation process; it is the flotation machine that controls the minimum bubble that can be generated. Figure 7 compares the bubble size of different technologies: Jameson, mechanical and column cells, are included as a function of the superficial gas velocity,  $J_g$  (a measure of air flow rate). The fine bubbles generated by the Jameson Cell (300-600 microns) explain why it can achieve faster flotation kinetics and has higher carrying capacity, and therefore productivity, when compared with the other cell types.



**Figure 7:** Bubble size as a function of  $J_g$  (measure of air flow rate) for different flotation technologies (Nesset et al., 2007; Gomez, 2012; Zou, 2010)

An impractical solution to the frother problem might be to design the entire washing plant to incorporate separate water circuits for the coarse and fines circuits. Perhaps the only practical solution that can be made is to reconfigure the flotation circuit and revert to a 2-stage design. The 2-stage circuit may provide a more robust operation because the primary and secondary stages can be operated separately to optimise performance. Higher frother dosage added upfront would enhance the performance of the primary cells and then the remaining frother in the tailings of this cell can be used to float additional coal in the secondary cells. RTCA's<sup>1</sup> Warkworth operations in NSW, Australia have reconfigured the Jameson Cells to operate in 2-stages and have reported an improvement in yield and higher concentrations of frother can be used without excessive frothing occurring (Lambert and Revell, 2008). New installations such as Yancoal's Moolarben plant (NSW) and RTCA's Kestrel (QLD) have also chosen 2-stage flotation circuits.

There are opportunities for washing plants operating with single stage flotation circuits to be retrofitted to become 2-stage circuits. AAMC's<sup>2</sup> German Creek operations (QLD) recently installed a single Jameson Cell as a secondary stage to treat the tails from two Microcel units operating in parallel (Figure 8). The footprint was small and installation was straightforward because of the simple tie-ins and no other auxiliary equipment was required other than the feed pump.



**Figure 8:** Recently installed Jameson Cell (left) next to two column cells at AAMC's German Creek operation

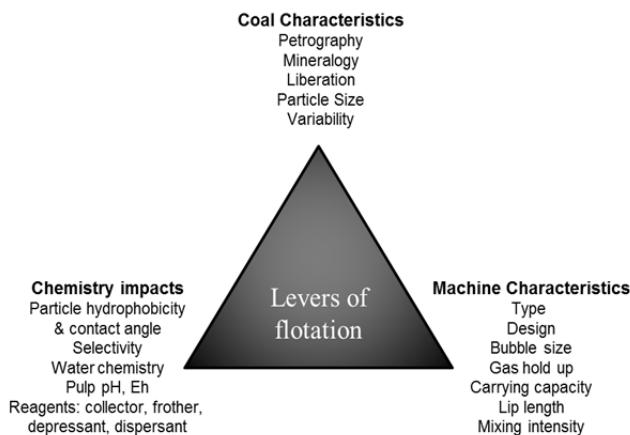
#### 4. Challenges in coal flotation and fine coal processing

Flotation is a physio-chemical separation process and is different to other unit operations in a coal washing plant which all employ gravity based techniques to effect

<sup>1</sup> RTCA is Rio Tinto Coal Australia

<sup>2</sup> AAMC is Anglo American Metallurgical Coal

separation. Flotation is a complex 3-phase system that is controlled by many factors which can be categorised into three facets: coal characteristics, chemistry impacts and machine characteristics (Figure 9).



**Figure 9: Flotation ‘triangle’ showing the factors affecting performance**

The flotation machine is only one facet important to the overall process, but seems to get the most attention and is often blamed when performance of the fines circuit is poor. However, the variability of the coal and flotation reagent control are two factors which perhaps is surprisingly often overlooked. The greater the number of different coal seams and sources that are treated, the more challenging is the task of achieving effective flotation and the targeted qualities and recoveries. Operators must therefore be trained to respond to changes in tonnage, particle size distribution and flotation behaviour of the different coal types and make the necessary adjustments to reagent dosages and process variables to optimise performance.

In many plants, monitoring of flotation performance is irregular and often a ‘knee-jerk’ change is made when performance has clearly deteriorated. Furthermore, in many plants it may be impossible to conduct surveys because sample points do not exist for the feed, concentrate and tailings. Even in the more modern (recently built) plants, the flotation feed cannot be easily collected as it usually consists of more than one stream which gravity flows into a large collecting sump. In Jameson Cell installations, many operations unknowingly collect the downcomer feed, and use the result from a “rapid ash” analysis and the two-product formula to calculate yield and combustibles recovery. This is erroneous as the downcomer feed is an internal stream. Sampling points are therefore an essential part of good design of the fines circuit.

Even though flotation is the separation process, the overall fines circuit performance is often dictated by concentrate dewatering capacity as this often proves to be the bottleneck in the process. Many flotation circuits have to be ‘scaled back’ to suit the capacity of the dewatering device leading to large losses in coal fines which then cause issues in the tailings thickener. Another area to address is

the type of dewatering device used for concentrate dewatering. The technology chosen needs to carefully consider the particle size and type of coal treated and not use capital cost as the driver for decisions.

## 5. Bulga Pilot Plant

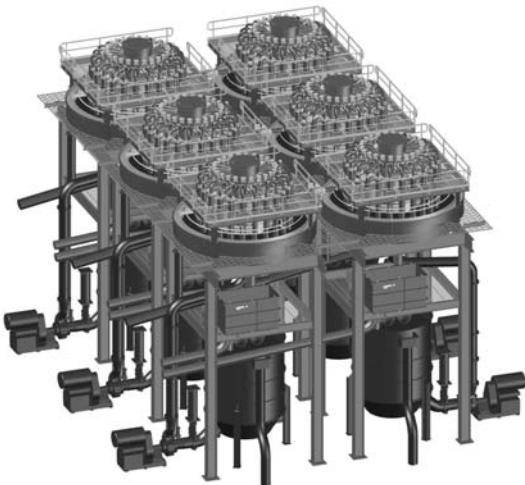
Flotation has been traditionally used as a beneficiation process for treating coal fines but in the past it has been mainly used for metallurgical coal. However, in South Africa there has been a number of flotation installations aimed at recovering saleable thermal coal from raw tailings that would otherwise be discharged as waste. These have had mixed success because coals from this region are not readily floated, but they have also demonstrated the parallel need for selecting effective dewatering circuits for treating the clean coal concentrates (Power, 2010).

Xstrata Technology together with Xstrata Coal has been developing the flowsheet for a Jameson Cell installation to treat thermal coal at Bulga mine near Broke in NSW. This plant will eventually treat natural raw coal tailings and also tailings recovered from nearby tailings ponds that contain an estimated 3Mt of recoverable coal.

The plant washes as many as 12 coal seams and coal sourced from both open-pit and underground mining operations with a flotation feed ash varying from 30-65%. It is challenging for any technology to make a consistent quality product with such a large variation in feed.

A Jameson Cell flotation pilot plant was operated on-site to provide the necessary design information for the plant extension. The pilot plant flotation testwork showed consistently high recoveries from the thermal coal feed, achieving 70 to 90% combustible recovery with 8 to 12% ash in the product. The more oxidised coal types required increased collector additions to achieve acceptably high recoveries.

The pilot plant was configured with two L500 Jameson cell units arranged in series to simulate full scale design of the flotation circuit to be installed in future. A layout of a proposed full scale Jameson Cell installation is shown below in Figure 10. This compact design allows for installation of the flotation plant efficiently in a brownfield expansion. Various dewatering and other treatment options have been considered for this plant including the combination of screen-bowl and Centribaric units with subsequent briquetting of the higher value products. These equipment items will also be tested with the pilot-plant to ascertain their suitability and once this work is completed this flotation circuit will be designed as a “standard” for future Xstrata Coal washing plants treating both metallurgical and thermal coal types.



**Figure 10: Layout of six B6500/24 model Jameson Cells (Footprint = 22 x 26m; Height = 17m)**

## 6. Concluding Comments

Over little more than a decade Jameson Cells have become a standard flotation technology in the Australian coal industry. With over 110 installations, this industry represents a substantial knowledge base for operating, maintaining and improving installations in the future. There are also a growing number of coal installations worldwide in every major coal region including emerging regions such as Mongolia and Mozambique. Users have long-since recognised the major advantages, i.e. simplicity, excellent availability and low maintenance in addition to proven robust and consistent process performance.

Much of the progress that has occurred in Jameson Cell evolution is owed to improvements in the materials used in components as previously designed, but other factors clearly affect the overall performance of the flotation circuit. Some of these have also been addressed, i.e. dewatering, sampling, process control, etc. Future plants will need to be designed to incorporate further innovations in each of these areas especially where operators can be provided with reliable monitoring and control features that enable changes to be made to operating conditions and early indications of deviations from quality and recovery targets.

Xstrata Technology (XT) has built up a strong team of designers, engineers and process specialists and as a result, has continuously improved the technology over two decades whilst still maintaining close association with its inventor and his team of scientists. Such relationships are rare in process engineering and in addition XT is not just an equipment supplier, their modus operandi being to develop technology ‘partnerships’ with clients which include not only coal users, but process engineers and designers working in base metals, industrial minerals and a variety of other applications. Therefore, this is a unique situation where knowledge transfer from all sources is passed on to all users. There is little doubt that further improvements

will result in more new models and circuit designs and the incorporation of desirable features such as on-line analysis, designed-in slurry samplers, reagent sensors, etc.

## 7. References

1. Atkinson, B.W., Conway, C.J., Jameson, G.J. Fundamentals of Jameson Cell operation including size-yield response, 6<sup>th</sup> Australian Coal Preparation Society Conference, Mackay QLD, September, 1993.
2. Caretta, M.F., Graham, J.N., Dawson, W.J., Jameson Cell scale-up experiences at BHP Coal's Goonyella coal preparation plant, Coal Prep '97, Lexington, Kentucky, April, 1997.
3. Gomez, C.O., Personal communication, 2012.
4. Harbort, G.J., Manlapig, E.V., Jackson, G.J., Jameson Cell use in fine coal flotation, ASEAN-Pacific Coal Conference '92, Cebu, Philippines, 1992.
5. Jameson, G.J., Goffinet, M., Hughes, D., Operating experiences with Jameson Cell at Newland Coal Pty Ltd, 5<sup>th</sup> Australian Coal Preparation Society Conference, Newcastle NSW, May, 1991.
6. Lambert, L. and Revell, P., 2008. Tripling Flotation Yield at Warkworth CHPP, 12<sup>th</sup> Australian Coal Preparation Society Conference, Darling Harbour NSW, October, 2008.
7. Manlapig, E.V., Jackson, B.R., Harbort, Cheng, C.Y., Jameson Cell coal flotation, Coal Prep '93, 10<sup>th</sup> International Coal Preparation Exhibition Conference, Lexington Kentucky, May, 1993.
8. Nessel, J.E., Finch, J.A., Gomez, C.O., Operating variables affecting bubble size in forced-air mechanical flotation machines, Ninth Mill Operator's Conference, Fremantle WA, 2007.
9. Power, D., The new highs and lows of coal processing for South African coals, 13<sup>th</sup> Australian Coal Preparation Society Conference, Mackay QLD, September, 2010.
10. Swanepoel, C., Fine coal processing developments in Anglo American Thermal Coal in South Africa, Challenges in fine coal processing, dewatering and disposal, SME, edited by Klima, M.S., Arnold, B.J., Bethell, P.J., 2012.
11. Zou, J.S., Effect of frother on the gas dispersion characteristics of Jameson Cells, McGill University Internal Report, 2010.