

**ОПЫТ МАСШТАБИРОВАНИЯ ФЛОТОМАШИНЫ ДЖЕЙМСОН НА  
УГЛЕБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ ГУНЬЕЛЛА КОМПАНИИ BHP  
COAL**

Майкл Ф. Карретта (инженер-технолог), Джеймс Н. Грэм (инженер-технолог)  
BHP Coal Pty Ltd, Goonyella/Riverside Mine, Moranbah, Qld, 4744, Australia

Уэнди Дж. Доусон (металлург, флотационная машина Джеймсон)  
MIM Holdings Ltd, GPO Box 1433, Brisbane, Qld, 4001, Australia

Представлено на: Coal Prep 97  
29 апреля - 1 мая  
Лексингтон, Кентукки

## Автореферат

В 1993 году компания ВНР Coal выполнила оценку нескольких технологий флотации для использования в качестве замены устаревающих механических флотомашин на углеобогатительной фабрике Гуньелла. Исследование включало Проведение пилотного тестирования с использованием двух флотомашин Джеймсон диаметром 0,5 м с производительностью 7,5 м<sup>3</sup>/ч. Результаты показали, что флотомашинна способна обеспечить более высокие технологические показатели, нежели механические флотомашинны. В следующем году ВНР Coal приняла решение заменить механические флотомашинны флотомашиннами Джеймсон с использованием двухступенчатой схемы (основная флотация - контрольная флотация).

В 1995 году ВНР Coal предприняла проект с целью проверить возможность масштабирования флотомашин Джеймсон с пилотных до промышленных. Цель исследования заключалась в том, чтобы установить, позволит ли аэратор промышленного размера получить результаты, смоделированные на основании тестирования с использованием аэратора меньшего размера. Для проверки возможностей масштабирования компания ВНР Coal закупила две демонстрационные флотомашинны Джеймсон диаметром 1,25 м каждая с с аэратором промышленного размера производительностью 60 м<sup>3</sup>/ч. Объем емкости демонстрационной флотомашинны был рассчитан с использованием параметров, полученных в ходе пилотного тестирования. Полученные результаты демонстрационных испытаний соответствовали данным, полученным в ходе пилотного тестирования.

После доказанного прямого масштабирования пилотной флотомашинны Джеймсон до демонстрационной с использованием аэраторов промышленного размера, ВНР Australia Coal установила восемь флотомашин модели 5000/16 (диаметр 5 м, 16 аэраторов) с использованием последовательной двухступенчатой схемы. В этих промышленных флотомашиннах Джеймсон производительностью 960 м<sup>3</sup>/ч каждая установлены аэраторы такого же размера, как и в демонстрационных машиннах. Установка флотомашин Джеймсон на фабрике Гуньелла была частью проекта модернизации линии обогащения мелкой фракции.

Модернизированная линия обогащения мелкой фракции была пущена за две недели и быстро достигла максимальной производительности. Оптимизационные данные промышленной флотомашинны Джеймсон практически полностью соответствуют данным пилотного тестирования. Они подтверждают, что пилотные испытания позволяют точно прогнозировать эксплуатационные показатели флотомашин Джеймсон промышленного масштаба.

Эксплуатационные данные по флотомашиннам Джеймсон, собранные за несколько месяцев, показывают, что промышленная установка уверенно обеспечивает показатели, спрогнозированные по результатам пилотного тестирования. Также доказано, что показатели эффективности флотомашинны Джеймсон намного более постоянны, чем показатели механических флотомашин, применявшихся ранее.

Стабильное получение продукта с низкой зольностью во флотомашинне Джеймсон способствовало приросту извлечения в цикле обогащения крупной

фракции повышению выхода по фабрике на 3,5%, установив рекордные производственные показатели ВНР Coal.

## ВВЕДЕНИЕ

Разрез Гуньелла / Риверсайд является одним из семи рудников, эксплуатируемых BHP Australia Coal Pty Ltd (панее - BHP Australia Coal Pty Ltd) в бассейне Боуэн в центральной части штата Квинсленд. Хотя разрез Гуньелла (владелец - Central Queensland Coal Associates) и соседний разрез Риверсайд (владелец - BHP Mitsui Coal) были объединены в 1989 году, они эксплуатируются на основании разных договоров аренды и имеют собственные углеобогачительные фабрики. В совокупности в этом финансовом году на обоих предприятиях будет добыто примерно 10,7 млн. тонн угля, из которых 7,2 млн. тонн - на разрезе Гуньелла (Gosnell, 1996).

Разрез и углеобогачительная фабрика Гуньелла были пущены в эксплуатацию 25 лет назад и ежегодно производят 4,4 млн. тонн угля. Согласно первоначальной технологической схеме, исходный материал делился на два технологических потока:

- уголь крупной фракции (щелевой грохот +0,5 мм), составляющий 80% питания фабрики и перерабатываемый в шести модулях тяжелосредних циклонов; и
- уголь мелкой фракции (щелевой грохот -0,5 мм), перерабатываемый в стандартном цикле флотации, состоящем из 4-х батарей механических флотомашин Wemco емкостью 8,5м<sup>3</sup> (300 куб.фт.). Ультратонкая фракция удалялась.

При последующих модернизациях была добавлена секция флотации шламов (1979 год) и винтовые сепараторы перечистки хвостов (1985 год), а в 1987 году производство было расширено на треть для достижения производительности 6,7 млн. тонн в год.

К августу 1993 года, когда Гуньелла продала свою стомиллионную тонну угля, углеобогачительная фабрика перерабатывала до 1 800 т сырья в час и состояла из восьми модулей тяжелосредних циклонов, секции раздельной флотации, состоящей из четырех батарей по 4 флотомшины Wemco объемом 8,5м<sup>3</sup> (300 куб.фт.), четырех батарей по 4 флотомшины Wemco объемом 8,5м<sup>3</sup> (300 куб.фт.) для флотации шламов и винтовых сепараторов перечистки хвостов. Продукт флотации, как правило, имел зольность порядка 9-10% с извлечением горючей массы 71-83% горючей массы. Однако флотационные машины для крупной фракции имели сильную коррозию и нуждались в замене. В целях их замены были изучены новые технологии, которые смогли бы повысить выход по фабрике за счет получения концентрата флотации с меньшим уровнем зольности.

В 1993 году BHP Coal приступила к интенсивным испытаниям на предприятии с целью изучить преимущества, которые углеобогачительная фабрика Гуньелла могла получить благодаря применению новых технологий флотации повышенной интенсивности, в частности:

- флотационная машина Джеймсон (MIM Holdings Ltd),
- Microcel (Bulk Materials Coal Handling) и
- Машина интенсивной флотации Centrifloat (Century Oils).

Машина Джеймсон представляет собой пневматическую флотационную установку, не имеющую подвижных частей и не нуждающуюся в подаче сжатого воздуха и устройствах барботирования. Техническое описание флотационной машины можно найти в других источниках (Evans *et al*, 1995).

## Испытания

### Пилотные тестирования

Пилотные установки Джеймсон, Microcel и Centrifloat были испытаны в открытом цикле с подачей следующего питания непосредственно с углеобогащительной фабрики:

- питание секции флотации, щелевой грохот 0,5 мм х 0 (см. табл. 1),
- питание флотации шламов, 75 микрон х 0 (минус 200 меш),
- пески сгустителя хвостов.

**Таблица 1. Характеристики питания для флотации**

Фракция Меш (номинальный размер ячейки)	Масса (%)	Зольность (%)
меш +16 (+1 мм)	0.5	19.0
меш -16 +30 (-1 +0.5 мм)	12.1	14.0
меш -30 +60 (-0.5 +0.25 мм)	21.1	14.0
меш -60 +100 (-0.25 +0.15 мм)	13.7	15.2
меш -100 +250 (-0.15 +0.063 мм)	13.2	18.2
меш -250 (-0.063 мм)	39.4	39.0

Питание флотации, как правило, имело зольность 18-25%.

Для испытаний на фабрике Гуньелла была использована мобильная пилотная флотомашин Джеймсон. Пилотная установка состояла из двух флотомашин Джеймсон модели JC500/1 (диаметр 500 мм) с одним аэратором 100 мм. Каждая из флотомашин имела производительность 7,5 м<sup>3</sup>/ч и могла работать в одну стадию, две стадии или одну стадию с частичной рециркуляцией хвостов. Различные конфигурации флотомашин Джеймсон показаны на рис. 1.

### Демонстрационные флотомашин Джеймсон

Тестирование флотации на флотомашин Джеймсон проводилось на демонстрационных установках, чтобы убедиться в том, что аэраторы промышленного размера (диаметр 300 мм) производительностью 60 м<sup>3</sup>/ч позволят воспроизвести результаты, полученные в результате пилотного тестирования. Демонстрационные машин Джеймсон имели диаметр 1,25 м и частично закрытый порог, чтобы весовая скорость продукта в пересчете на длину порога был равна аналогичному показателю в полноразмерной машин, которую предполагалось установить на фабрике. Две машин были смонтированы на раме с целью эксплуатации в составе двухступенчатой схемы. Из-за проблем, связанных с реагентами, двухступенчатая схема оказалась сложной в эксплуатации. Поэтому демонстрационные испытания были

проведены с использованием только одной машины в режиме частичной рециркуляции хвостов. Пилотные испытания показали, что эксплуатационные показатели одной флотомашины в режиме частичной рециркуляции были близки к показателям двухступенчатой схемы.

Четырехдневные демонстрационные испытания флотомашины были проведены в то время, когда, по словам персонала предприятия, в качестве питания подавался окисленный уголь, а следовательно, флотация происходила не в оптимальном режиме. Предположительно, исходный уголь был перегрет. Кроме того, содержание твердой фракции в питании флотации было выше обычного (14-18% против 10-12%).

### **Полноразмерные флотомашины Джеймсон**

Восемь флотомашин Джеймсон модели 5000/16 (диаметр 5 м, по 16 аэраторов диаметром 30,5 см) были установлены в две стадии (четыре первичные машины и четыре вторичные, как показано на рис. 2). Питание - пульпа 3 800 м<sup>3</sup>/ч с содержанием твердой фракции 9,2% (по весу).

Масштабирование флотационной машины Джеймсон было произведено с использованием простых алгоритмов и значений основных параметров, установленных в ходе испытаний. Флотомашина Джеймсон модели 5000/16 была спроектирована с непосредственным использованием оптимизированных параметров пилотного тестирования. Методика эксплуатации и расход реагентов были также определены на основании данных пилотного тестирования. Такие эксплуатационные переменные, как расход воздуха, глубина пены и подача промывочной воды, могут корректироваться в соответствии с требуемыми технологическими показателями.

Установка флотомашин Джеймсон стала одним из этапов модернизации линии обогащения мелкой фракции, наряду с проектированием и сооружением сгустителя, расширением существующего здания фабрики для размещения флотомашин Джеймсон, модернизацией системы управления и изменением расположения ряда единиц технологического оборудования.

**Рисунок 1. Технологическая схема флотации мелкой угольной фракции с использованием флотомашин Джеймсон**

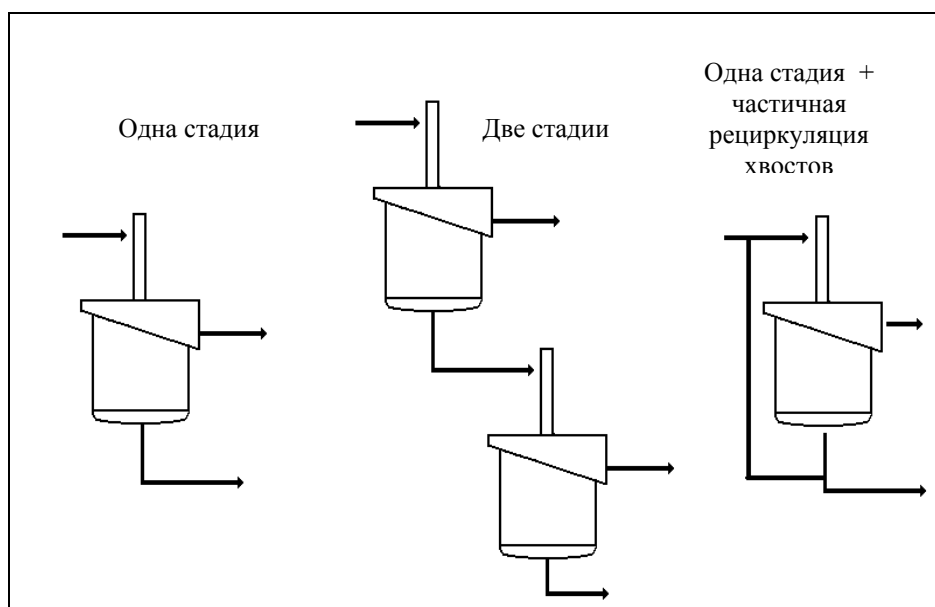
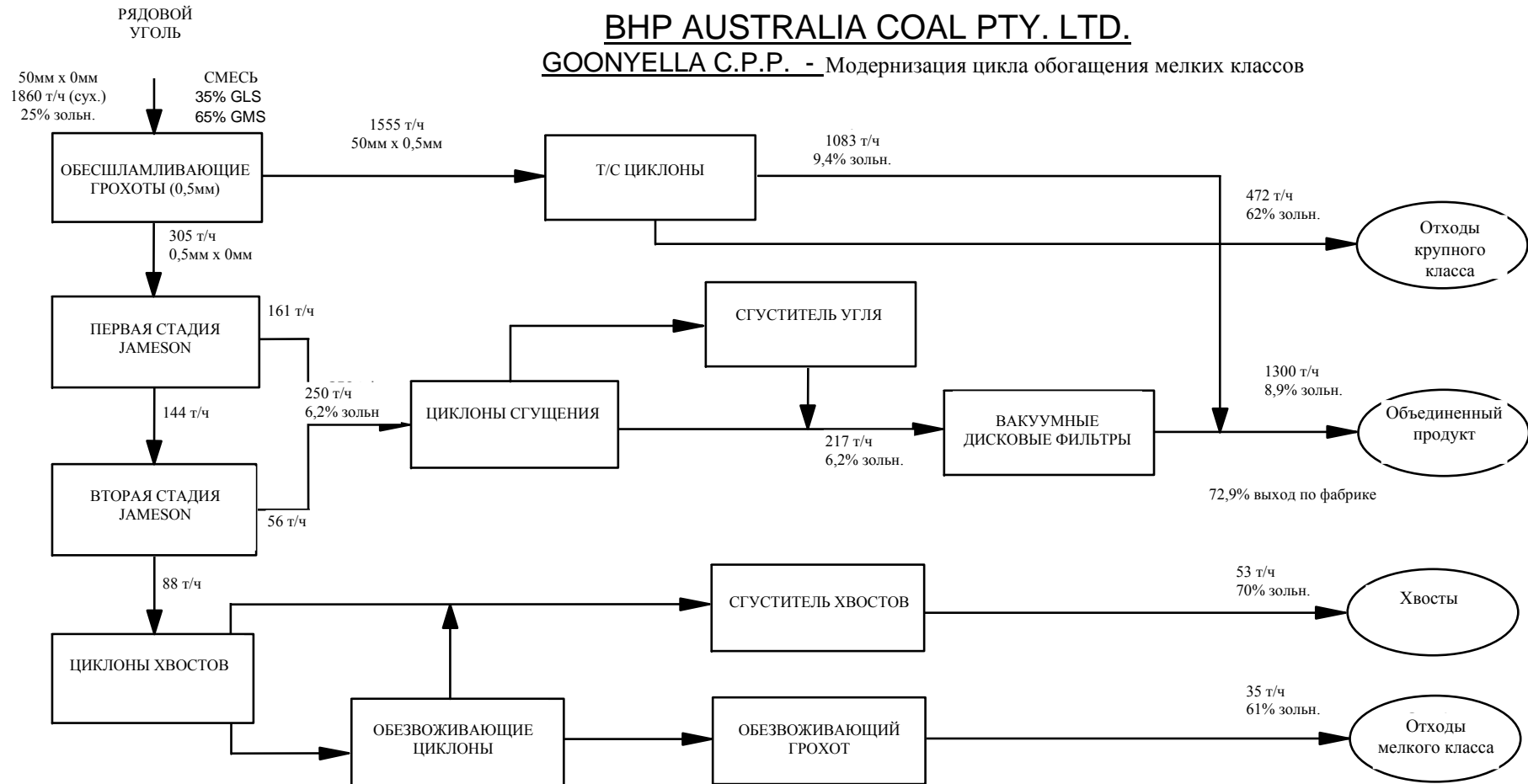


РИСУНОК 2

**BHP AUSTRALIA COAL PTY. LTD.**  
**GOONYELLA C.P.P.** - Модернизация цикла обогащения мелких классов



## Результаты и анализ

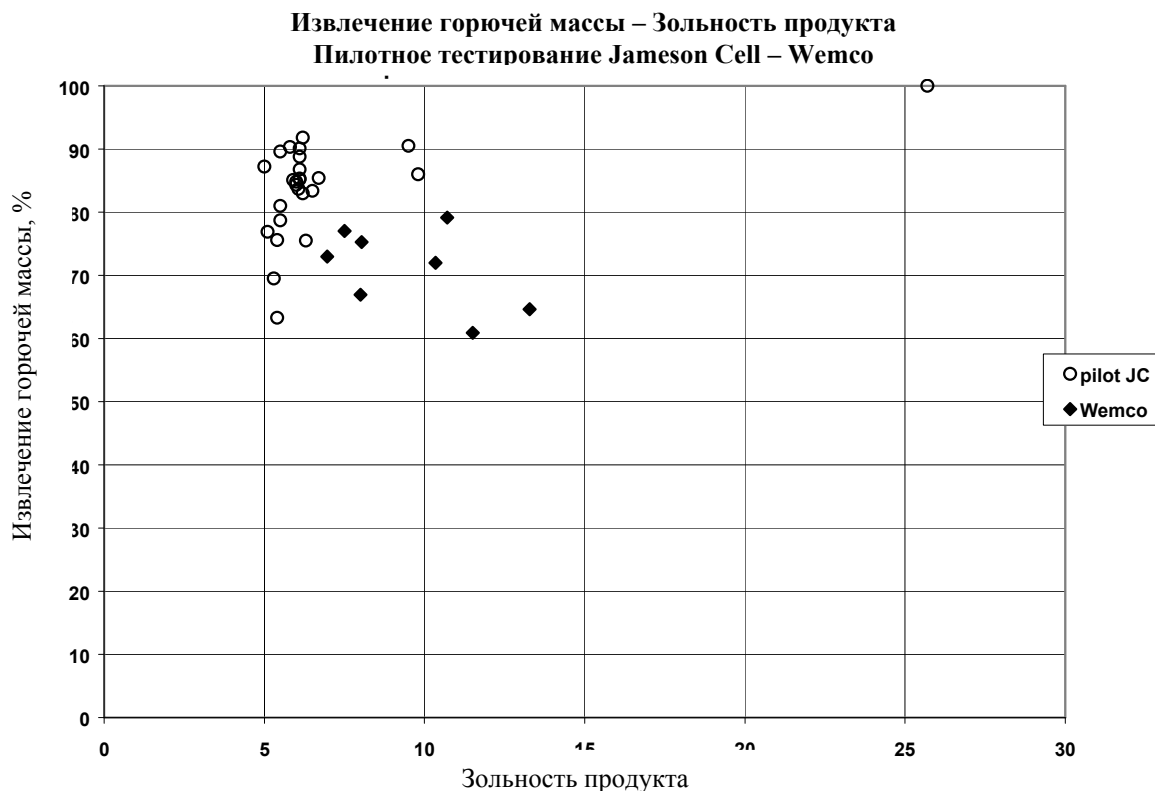
### Пилотные тестирования и оценка результатов

Пилотные флотационные испытания показали, что флотомашина Джеймсон способна обеспечить значительно меньшую зольность продукта по сравнению с существующими флотомашинами Wemco при сохранении или увеличении извлечения горючей массы. На рис. 3 показаны эксплуатационные характеристики пилотной флотомшины Джеймсон при переработке питания флотации в сравнении с характеристиками линии, состоящей из механических флотомашин Wemco и машин для флотации шламов. Данные по флотомашинам Wemco были получены в результате независимых флотационных испытаний.

В ходе пилотного тестирования было установлено, что результаты двухступенчатой флотации на флотомашинах Джеймсон очень близки к результатам испытаний одноступенчатой флотации с частичной рециркуляцией хвостов. Это характерный результат, который может позволить добиться существенной экономии на оборудовании при проектировании полноразмерных установок.

Результаты испытаний трех новых технологий флотации и эксплуатационные данные механических флотомашин были подвергнуты комплексной оценке капитальных и эксплуатационных затрат, прогнозируемого прироста прибыли, эксплуатационной годности и с точки зрения технических рисков.

**Рисунок 3**



Проведя тщательный анализ, компания BHP Coal приняла решение установить флотомашины Джеймсон на линию переработки всего питания флотации. Машины Джеймсон были установлены в две стадии с подачей хвостов после первой стадии на переработку во второй стадии. Хотя одностадийная схема с флотомашинами Джеймсон с частичной рециркуляцией хвостов показала результаты, сравнимые с показателями после двух стадий, предпочтение было отдано последней схеме, поскольку она была ранее успешно установлена и эксплуатировалась на руднике Блэкуотер (BHP Coal) и на предприятии Ньюлэндс (MIM Holdings) (Manlapig *et al*, 1993). На данном этапе одноступенчатая схема с частичной рециркуляцией хвостов была сопряжена с определенным риском, поскольку пилотные тестирования на разрезе Гуньелла стали первым тщательным исследованием данного режима эксплуатации и промышленные машины Джеймсон, установленные с использованием данной схемы, отсутствовали. Тем не менее, данная схема была впоследствии успешно применена на ряде углеобогащительных фабрик (Dawson *et al*, 1996; Le Page *et al*, 1995).

Технологии Джеймсон было отдано предпочтение перед конкурирующими технологиями по следующим причинам (Carretta, 1996):

- меньшие капитальные затраты на промышленную установку;
- меньшие эксплуатационные затраты (энергия, реагенты) и затраты на обслуживание;
- прямое масштабирование результатов пилотных испытаний было доказано на руднике Блэкуотер (BHP Coal);
- флотомашин Джеймсон обеспечивала такое же извлечение горючей массы и зольность продукта, как и другие технологии; и
- лабораторная установка Джеймсон оказалась наиболее простой в эксплуатации и наименее восприимчивой к колебаниям содержания твердого в питании и расхода питания.

Получение продукта с низкой зольностью во флотомашине Джеймсон означало, что можно было повысить извлечение цикла переработки крупной фракции (при немного более высокой зольности), что, в свою очередь, позволяло увеличить производительность фабрики при соблюдении требований по зольности продукта.

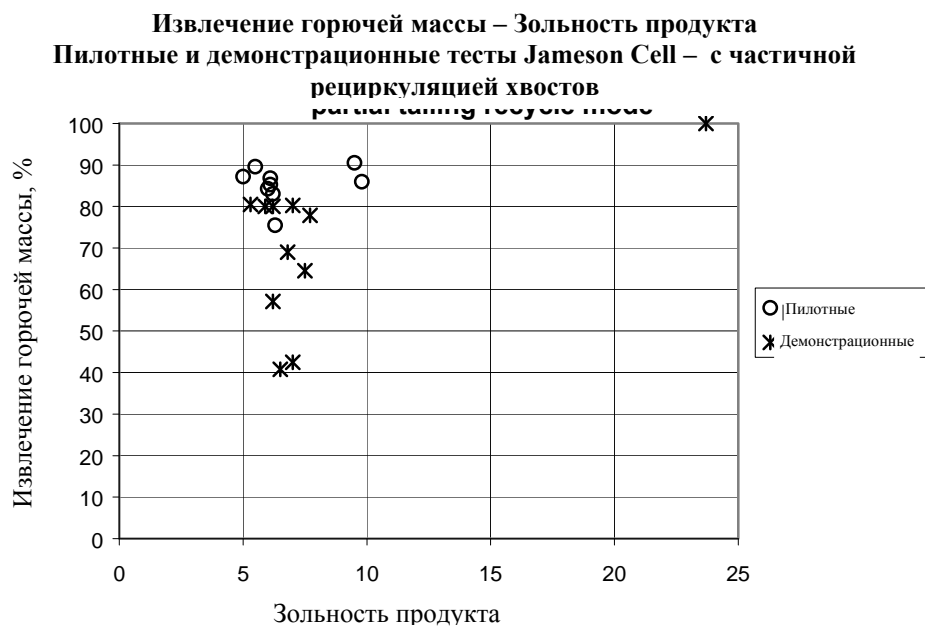
### **Демонстрационные испытания**

Показатели извлечения горючей массы и зольности продукта по результатам демонстрационных флотационных испытаний в целом соответствовали данным пилотного тестирования, хотя извлечение горючей массы было немного ниже (рис. 4). Показатели установленных на фабрике флотомашин Wemco при переработке питания более низкого качества в ходе демонстрационных испытаний также были хуже обычных.

Демонстрационные испытания были прекращены досрочно, когда на установку стал подаваться в качестве исходного материала частично окисленный уголь среднего пласта Риверсидс.

Высокое содержание твердого в исходном материале, как известно, отрицательно сказывается на эксплуатационных показателях флотомшины Джеймсон, особенно при приближении к максимальной несущей способности (Espinosa-Gomez *et al*, 1988). Поэтому повышенное содержание твердого вещества могло снизить извлечение горючей массы. Учитывая неидеальные условия проведения демонстрационных испытаний, результаты были признаны обнадеживающими.

**Рисунок 4**



### Промышленный масштаб

Модернизированная линия переработки мелкой фракции была пущена в эксплуатацию в декабре 1995 года. Пусконаладочные работы были выполнены за две недели, причем основные проблемы были связаны с недостатками обслуживания и эксплуатации циклонов классификации хвостов (диаметр 1 м), сгустителя угля и новой системы подачи реагентов. Установка вышла на максимальную производительность 2000 т/ч (до модернизации - 1800 т/ч) через шесть недель после повторного пуска линии переработки мелкой фракции.

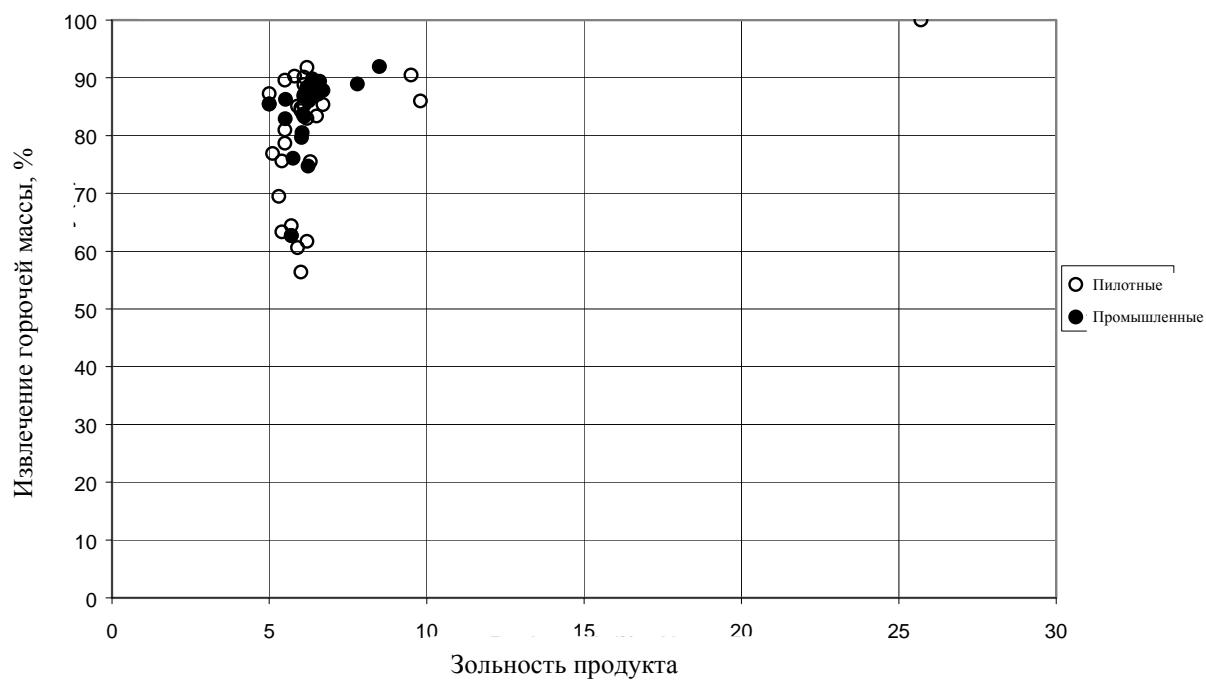
На рис. 5 показано извлечение горючей массы и зольность продукта по результатам оптимизационных испытаний промышленных флотомашин Джеймсон, которые были проведены после пуска в эксплуатацию, относительно результатов пилотного тестирования. Это подтверждает способность пилотного тестирования точно предсказать характеристики промышленной флотомашин Джеймсон.

Эксплуатационные параметры промышленной флотомашин Джеймсон, такие как подача реагентов и глубина пены, были определены по результатам пилотного тестирования и использованы непосредственно в полноразмерной установке.

Стабильные показатели промышленных флотомашин Джеймсон показаны на рис. 6, где сравниваются эксплуатационные данные за год работы флотомашин Wemco и примерно за шесть месяцев работы флотомашин Джеймсон. Флотомашин Джеймсон уверенно обеспечивают низкую зольность продукта, несмотря на колебания в характеристиках питания.

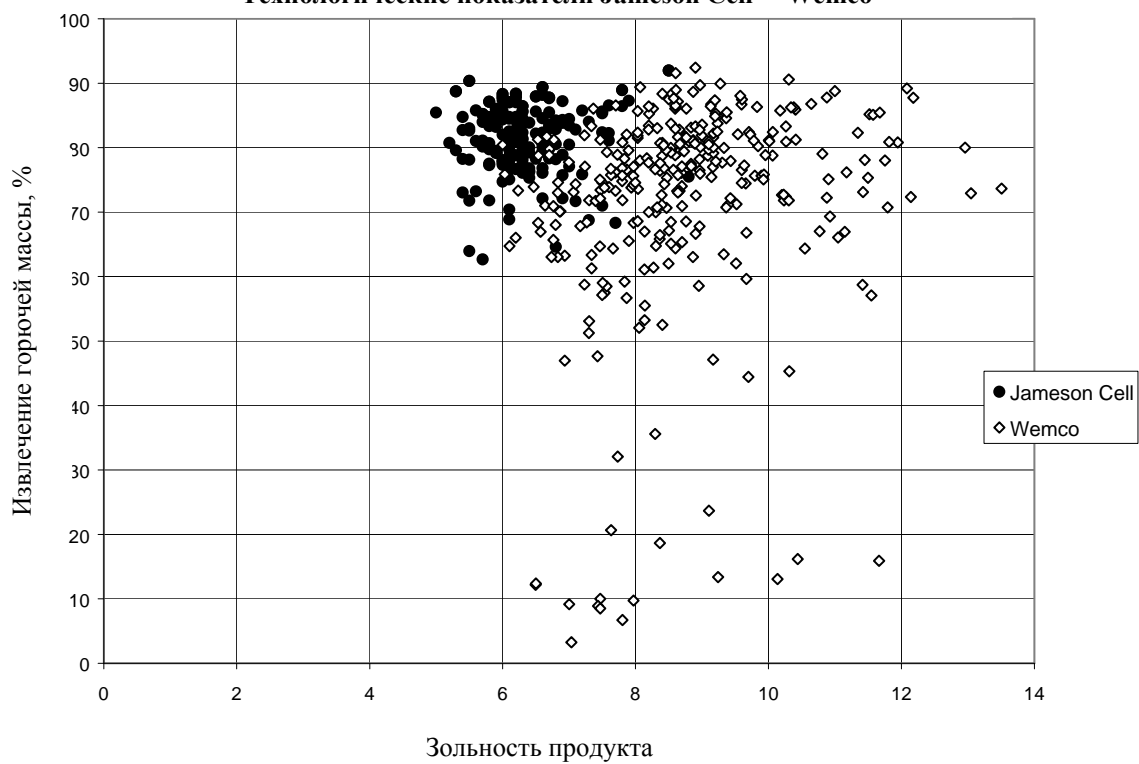
**Рисунок 5**

**Извлечение горючей массы – Зольность продукта**  
**Пилотное тестирование и Промышленная эксплуатация Jameson Cell**



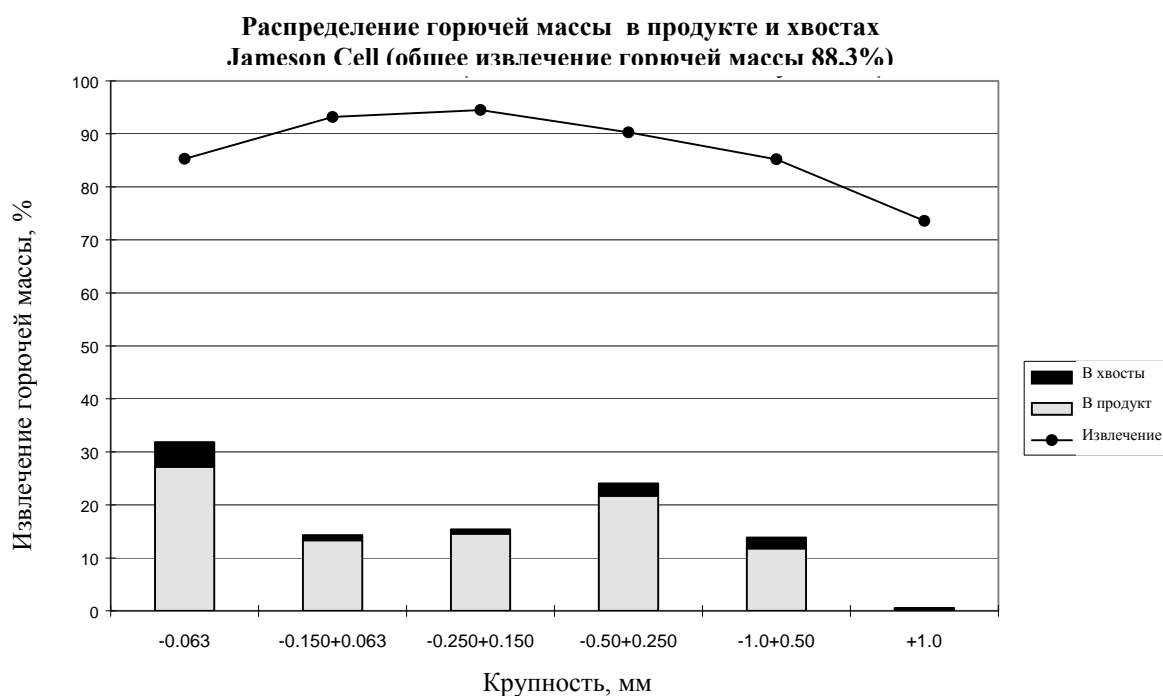
**Рисунок 6**

**Извлечение горючей массы – Зольность продукта**  
**Технологические показатели Jameson Cell – Wemco**



На рис. 7 и 8 показано распределение горючей массы в питании между продуктом и хвостами при флотации во флотомашине Джеймсон и флотомашине Wemco, соответственно. Флотомашина Джеймсон обеспечивает высокое извлечение горючей массы в широком диапазоне крупностей питания флотации. Механические флотомашин имеют более низкие показатели извлечения горючей массы из наиболее мелкой и наиболее крупной фракций, причем наиболее мелкая фракция имеет определяющее значение для общего показателя извлечения.

**Рисунок 7**



**Рисунок 8**



Технологические показатели за период после пусконаладки флотомашин Джеймсон подтверждают, что общий выход по фабрике вырос на 3,5%. Фактический прирост оказался значительно выше прогнозного (2,1%). В результате срок окупаемости проекта модернизации линии переработки мелкой фракции сократился с первоначальных 28 месяцев до 17 месяцев.

Успех проекта установки флотомашин Джеймсон на углеобогадательной фабрике Гуньелла способствовал рекордно высоким производственным показателям предприятия. В марте 1996 года фабрика Гуньелла превысила рекордный показатель недельного объема производства угля в ВНР Coal (ранее поставленный на близлежащем разрезе Пик Даунз), произведя 198 645<sup>1</sup> тонн угля. Впоследствии фабрика Гуньелла добилась новых рекордных показателей недельного объема производства в мае 1996 года (200 163 тонны) и в январе 1997 года (210 476 тонн).

### **Заключение**

1. Пилотные тестирования флотомашин Джеймсон доказали превосходство этой технологии по отношению к применяемым механическим флотомашинам с получением продукта меньшей зольности и более высоким извлечением горючей массы.
2. В ходе демонстрационных испытаний флотомашин Джеймсон были получены аналогичные пилотным показатели зольности, хотя показатели извлечения горючей массы не достигли уровня, отмеченного в результате пилотного тестирования. Пониженное извлечение горючей массы было, вероятно, связано с худшим качеством исходного угля.
3. Технологические показатели промышленной установки Джеймсон очень близки к результатам пилотного тестирования. Они подтверждают, что пилотные тестирования позволяют точно прогнозировать эффективность флотомашин Джеймсон промышленного масштаба.
4. Флотомашин Джеймсон обеспечивает более высокое извлечение горючей массы из наиболее мелкой (-0,063 мм) и наиболее крупной (+1,0 мм) фракций и благодаря этому позволяет повысить общее извлечение.
5. Стабильное получение продукта низкой зольности при высоком извлечении во флотомашине Джеймсон позволило повысить выход по фабрике на 3,5%, что, в свою очередь, позволило поставить новые производственные рекорды.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность ВНР Coal Pty Ltd и MIM Holdings Ltd за разрешение опубликовать данные, содержащиеся в этом докладе.

---

<sup>1</sup> Тоннаж приведен к стандартному для ВНР Coal содержанию влаги 8%.

### Список использованной литературы

- Carretta, M. F., 1996. Goonyella/Riverside CPP1 fine circuit upgrade, *Technology Review Symposium - Coal Flotation, A Review of current Practice*, Brisbane.
- Dawson, W. J., Yannoulis, G.F., Atkinson, B. W., and Jameson, G. J., 1996. Applications of the Jameson Cell in the Australian coal industry. *Column '96 - International Symposium on Column Flotation*, Quebec, August 26-28, pp. 233-246.
- Espinosa-Gomez, R., Finch, L. A., Yianatos, J. B., and Dobby, G. S., (1988). Technical note: Flotation column carrying capacity: particle size and density effects, *Minerals Engineering*, Vol. 1, No. 1, pp. 77-79.
- Evans, G. M., Atkinson, B. W., and Jameson, G. J., 1995. The Jameson Cell, *Flotation Science and Technology*, Matis, K. A., (ed.), Marcel Dekker Inc., New York, pp. 331-363.
- Gosnell, P., 1996. Latest upgrade will see Goonyella/Riverside into 21<sup>st</sup> century, *Australian Mining*, Vol. 88, No. 11, December, pp.14-15.
- Le Page, M., Goodman, P., and Halpin, B., 1995. Gordonstone coal preparation plant upgrade process design, in Smitham, J. (ed.), *Proceedings of the Seventh Australian Coal Preparation Conference*, Paper A4, pp. 46-70.
- Manlapig, E. V., Jackson, B. R. Harbort, G. J. and Cheng, C. Y., 1993. Jameson Cell coal flotation, *Coal Prep '93: 10<sup>th</sup> International Coal Preparation Exhibition and Conference*, Lexington, pp. 204-219.