

Может ли дробление заменить измельчение в качестве оптимальной рудоразмольной технологии

Статья взята из докладов на V конгрессе обогатителей стран СНГ.23-25.03.2005

Автор: Кристиан Оттогрэн (Christian Ottergren) Sandvik Rock Processing

E-mail: christian.ottergren@sandvik.com

От редакции сайта: автор в качестве последней разработки в области переноса акцента в рудоподготовке с измельчительных стадий в стадию дробления приводит конусную дробилку мелкого дробления компании Sandvik. Однако более качественные показатели по замене стержневых мельниц были получены на Качканарском и Михайловском ГОКе с применением центробежно-ударных дробилок с высокими скоростями удара (до 100 м/сек). Такое оборудование производится российской компанией «Новые технологии» (марка «Титан») и не имеет западных аналогов по интенсивности. Смотрите соответствующие статьи на сайте в разделе «Технологии. Дробление», а также отчеты в разделе «Материалы. НИР».

Содержание:

- 1.Резюме
- 2.Введение
- 3.Разработки в области конструкции конусных дробилок и автоматики
- 4.Особенности и преимущества конусной дробилки Sandvik Hydrocone
- 5.Система автоматического регулирования щели ASR
- 6.Новые уровни надёжности и эффективности дробильных установок
- 7.Оценка преимуществ мелкого дробления по сравнению с другими методами
- 8.Может ли мелкое дробление достичь тех же результатов, что и мельницы полусамозмельчения?
- 9.Компоновочные решения по размещению сравниваемых схем оборудования
- 10.Общие комментарии
- 11.Схемы и мельницы самоизмельчения и полусамозмельчения (тезисы развития схем рудоподготовки)
- 12.Минимизация потребления электроэнергии при мелком дроблении
- 13.Литература и ссылки

1.РЕЗЮМЕ

- Может ли большая степень сокращения на стадиях дробления помочь обойтись без стержневых мельниц?
- Достигает ли мелкое дробление тех же результатов, что и при использовании мельниц полусамозмельчения?
- Оценка положительных сторон мелкого дробления по сравнению с другими методами
- Минимизация потребления электроэнергии при мелком дроблении
- Разработки в области конструкции дробилок и автоматики
- Новые уровни надёжности и эффективности дробильных установок

В данной работе разделы, относящиеся к медному предприятию CODELCO El Teniente в Чили, написаны в соавторстве со специалистами этого предприятия.

2. ВВЕДЕНИЕ

По мере того, как экономика горных предприятий всё более отягощается ростом энергетических затрат, единственным средством поддержания рыночной конкурентоспособности является достижение максимальной экономической эффективности горного производства. За последние 30 лет рудоразмольные мельницы становятся все большего размера для удовлетворения растущего спроса на большую единичную производительность оборудования. Однако, увеличение типоразмера мельниц привело к большему энергопотреблению и, следовательно, к увеличению эксплуатационных расходов горных предприятий. Поэтому необходимо искать и оценивать альтернативные пути для минимизации затрат, в частности, энергетических.

Стержневые мельницы известны, как сравнительно неэффективный метод помола. Большинство новых предприятий не имеет стержневых мельниц.

Мельницы самоизмельчения и полусамоизмельчения были внедрены на горных предприятиях и вскоре стали популярным выбором вместо трёхстадийного дробления. Однако постепенно возникала новая ситуация. Схемы измельчения всё более усложнялись, в то время как схемы дробления становились всё более эффективными и надёжными. Поэтому выбор схем рудоподготовки рассматривается теперь под другим углом.

3. Разработки в области конструкции конусных дробилок и автоматики

Современные конусные дробилки имеют вдвое большую производительность и эффективность по сравнению с традиционными моделями дробилок.

- Иными словами, схема дробления включает меньшее количество машин, но производит больше дроблёного продукта в тоннах
- Sandvik занимает сегодня лидирующее положение на рынке данного оборудования
- Автоматическое регулирование разгрузочной щели – это система управления дробилок.

В течение многих лет в горной промышленности применялись, главным образом, традиционные 7-футовые дробилки с резьбовой регулировкой зазора и с пружинной или гидравлической системой защиты от перегрузки. Машина этого типа была «рабочей лошадью» в области дробления по всему миру. Объяснением доминирующей роли этой машины является её надёжная механическая конструкция. По оценкам, около 2000 дробилок такой конструкции всё ещё находится в эксплуатации.

Технический прогресс во всех областях приводит к использованию новых технологий, включая высокопрочные материалы, усовершенствованные системы управления и более эффективную гидравлику. Вот почему, например, современные автомобили являются более эффективными, более надёжными и более экологичными, чем их предшественники 50-х годов прошлого столетия. Дробилки не являются исключением в этом отношении.

4. Особенности и преимущества конусной дробилки Sandvik Hydrocone

Производственные результаты, достигнутые на медном руднике CODELCO El Teniente, показывают различие в эксплуатационных показателях:

Вторая стадия дробления
Стандартная 7-футовая дробилка

900 т/ч на линию
25 % минус 12,5 мм

H8800 – конусная дробилка Sandvik
1350 т/ч на линию
45 % минус 12,5 мм

Выход продукта в 2,5 раза больше
Расходы на износ снижены
наполовину

Третья стадия дробления
7-футовая дробилка SH с
коротким приемником

350 т/ч
55 % минус 12,5 мм

H8800 – конусная дробилка Sandvik
545 т/ч
75 % минус 12,5 мм

Выход продукта в 2 раза больше
Расходы на износ снижены

При первом взгляде можно предположить, что дробилки Sandvik Hydrocone являются вариантом дробилок Allis-Chalmers' Hydrocone. Однако такой подход едва ли можно считать правильным. Основные принципы предшествующих конструкций сохранились как, например, и в автомобильной промышленности, которая до сих пор использует многое из проверенных временем принципов, которые были заложены ещё в начале девятнадцатого века. Вы, например, узнаете гидравлическую регулировку дробилки типа Hydroset, которая является хорошо проверенной системой в гирационных дробилках крупного дробления. Все основные функции дробилок Hydrocone выполняются при помощи всего лишь одного гидравлического поршня. Все операции, а именно регулировка разгрузочной щели, сброс случайного железа, разблокировка дробильной камеры и компенсация износа, выполняются при помощи одного цилиндра Hydroset и поршня. Регулировка разгрузочной щели гидравлическим поршнем возможна в процессе работы. Можно также легко производить замер гидравлического давления, т.е. значение фактического дробящего усилия выдаётся на описанную ниже систему управления при полной загрузке.

В дробилках Hydrocone можно легко изменять радиус эксцентрика, чем достигается оптимальное соотношение между пропускной способностью дробилки и степенью сокращения. Количество пропускаемого материала может регулироваться в соответствии с требуемой производительностью, что оптимизирует всю схему. Этого невозможно достичь при использовании другой технологии дробления.

Один из первостепенных вопросов – это обслуживание. Всё обслуживание машины производится сверху. Можно упомянуть большое количество других улучшений, относящихся к обслуживанию. Коэффициент технической готовности 97% не является редкостью на дробильных фабриках.

По сравнению с большинством существующих дробилок, дробилка H8800 может использовать удвоенную входную мощность, т.е. 800 л.с. (600 кВт), что делает её одной из самых мощных из имеющихся дробильных машин. Дробилка Hydrocone H8800 является самой большой из нового поколения дробилок Sandvik. Она была разработана специально для горной промышленности в исполнении для сверхтяжёлых условий работы. Весной 2004 года фирма Sandvik Rock Processing начала также

выпуск новой модели дробилки Hydroscone H7800 с главным двигателем 700 л.с. (500 кВт).

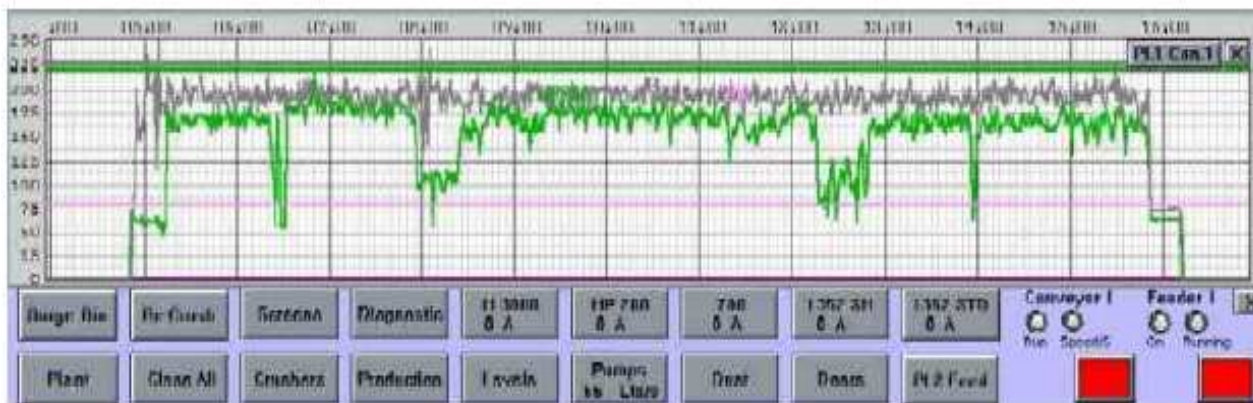
Дробилки H7800 и H8800 предназначены для создания очень большого дробящего усилия, соотнесённого с большой входной мощностью. Установленная мощность на дробильной машине – это первый из важнейших факторов использования энергии для сокращения размера кусков руды. Она может обеспечить не только более высокую производительность, но и более высокую степень сокращения: более мелкий исходный материал для питания мельниц – более высокая производительность мельниц – более высокая общая производительность фабрики.

5. Система автоматического регулирования щели ASR

Возможность регулирования щели при полной загрузке в любой момент или даже непрерывно, а также возможность замера дробящего усилия являются уникальными особенностями, на которых базируется современная система регулирования. На протяжении более 30 лет Sandvik разработал несколько поколений системы ASR. Было поставлено около трёх тысяч таких систем. Система ASR обеспечивает выполнение «разумных» функций благодаря её компьютеризации.

Основные преимущества автоматического регулирования щели

- Имея автоматическую регулировку щели, дробилка может работать под завалом, максимально используя мощность двигателя. Это означает увеличение производства желаемого продукта.



Распечатки с программируемого логического контроллера (см. выше) показывают две современные конусные дробилки с одинаковой установленной мощностью и подачей питания из одного и того же бункера. Поставленной задачей является производство возможного большего количества мелких фракций. Серый цвет относится к автоматизированной дробилке, а зелёный – к дробилке с ручным управлением. Автоматизированная дробилка H3800 имеет производительность по исходному материалу около 132 т/ч, а машина с ручным управлением - 144 т/ч, но первая производит на 33 т/ч меньше плюсового материала и на 10 т/ч больше качественных продуктов минус 10 мм и 6,3 мм.

- Степень сокращения увеличивается по двум причинам. Первая причина – это то, что при автоматическом регулировании щели дробилка может всегда работать под

завалом, что увеличивает степень самодробления (руда по руде) в камере дробления. Вторая причина – это то, что автоматика позволяет дробилке работать при минимально возможной разгрузочной щели .

- При автоматическом регулировании щели срок службы футеровок, измеряемый количеством произведённого продукта, значительно выше того, что возможен без автоматики. Причина этого – более равномерный износ броней, что повышает КИО.
- Более продолжительный срок службы механических компонентов и самой машины благодаря плавной работе. Поступающая информация может быть использована для анализа тенденций с целью улучшения работы и продления срока службы. Например, повторяющиеся быстрые пики высокого давления в гидравлической системе могут быть обнаружены, после чего производится соответствующая регулировка дробилки. Если система фиксирует повторяющиеся регулировки зазора, вызванные этими пиками, то оператора это должно насторожить.
- Система быстро реагирует на большие перегрузки, но медленно на маленькие. Это означает, что дробилка очень эффективно защищена при сохранении её производительности.
- Автоматизированная дробилка заботится сама о себе. Система управления обеспечивает оптимальную работу независимо от изменения условий в камере дробления.
 - В случае крепкой породы, система автоматического регулирования щели будет непосредственно фиксировать изменения в крепости исходного материала, поступающего из рудного тела, и воздействовать на дробилку с целью уменьшения зазора для постоянного использования всей мощности двигателя без помощи оператора . Аналогично, при изменении метеоусловий вышеупомянутая система управления непосредственно фиксирует и отслеживает изменения в содержании влаги в исходном материале.

6. Новые уровни надёжности и эффективности дробильных установок

В горной промышленности часто можно слышать возражения против использования нескольких машин вместо одной, когда утверждают, что это более сложный вариант, связанный с большим риском возникновения механических проблем по сравнению с вариантом применения одной дробилки, имеющей большую производительность.

Однако опыт горных предприятий, использующих несколько дробилок вместо одной, свидетельствует об обратном и показывает, что общий коэффициент технической готовности фабрики выше в случае использования нескольких дробилок вместо одной большой машины. Остановка одной большой машины означает остановку всего технологического процесса. На практике, машины меньшего типоразмера не выходят из строя одновременно, что даёт возможность оператору продолжать работу с параллельными машинами, хотя и с несколько меньшим уровнем производительности.

Техническое обслуживание современных дробилок также улучшено во многих отношениях. Перефутеровки обычно не производятся на месте эксплуатации. Вместо этого в ремонтном цехе производят замену броней в запасной верхней чаше и на главном валу. Перефутеровка занимает 3-4 часа при условии правильной подготовки. Sandvik внедрил концепцию технического обслуживания, при которой данная идея получила дальнейшее развитие, а именно замену всей дробилки на должным образом подготовленную запасную машину. Мы называем модули такого типа «Кассетные дробильные системы».

После того, как комплектная запасная машина прошла ремонт и перешла в наличный фонд, можно производить замену при плановой остановке. Таким образом, общий коэффициент технической готовности дробилок приблизится к оптимальному показателю 100% !

Возможно, также применить Кассетную систему к грохотам и питателям, чтобы увеличить коэффициент технической готовности всего дробильно-сортировочного оборудования.

7. Оценка преимуществ мелкого дробления по сравнению с другими методами

Преимущества мелкого дробления:

- Меньшие инвестиции.
- Меньшая установленная мощность.
- Отсутствие фундаментов или небольшие фундаменты.
- Меньшие или аналогичные эксплуатационные расходы.
- Меньшие затраты на электроэнергию.
- Более короткий период изучения и осуществления проекта.
- Более короткий период ввода в эксплуатацию и настройки для выхода на полную производительность.
- Меньшая чувствительность к изменениям в характеристиках руды.

8. Может ли мелкое дробление достичь тех же результатов, что и мельницы полусамозмельчения?

Мы проиллюстрируем это, приведя пример одного платинового предприятия в Скандинавии.

Эксплуат. данные	Схема дробления	Полусамозм.
• Переработка руды (т/год):	10 000 000	10 000 000
• Кол. рабочих дней в году:	365	365
• Часов в день:	24	24
• Коэф. технич. готовности (%):	83,3	91,3
• Среднее кол. раб. часов в день:	20	21,9
• Кол. рабочих часов в год:	7 300	8000
• Загрузка по питанию (т/ч):	1370	1250

Данные по варианту дробилки мелкого дробления

Инвестиции

• Оценка стоимости оборудования	10 561 200 ЕВРО
• Электрооборудование и т.д.	1 625 000 ЕВРО
• Здание, подъёмные краны, фундамент	2 199 700 ЕВРО
• Управление проектом, проектные работы, фрахт, монтаж механического оборудования	2 522 900 ЕВРО
ВСЕГО:	16 908 800 ЕВРО

Электроэнергия

• Общая установленная мощность	3850 кВт
• 1 дробилка среднего дробления + 3 дробилки мелкого дробления Н8800	2505 кВт
• Грохоты, питатели и т.д.	596,5 кВт
• Ленточные конвейеры	749 кВт
• Пусковой двигатель, макс.	600 кВт

- Энергопотребление 3850x70% = 2695 кВт
- Энергопотребление 1,97 кВт-ч/т
- Стоимость электроэнергии: 0,028 x 1,97 = 0,06 ЕВРО на тонну
- Эксплуатационные расходы
- Изнашиваемые части
- 3 комплекта футеровок на год, среднее дробление
- 4 комплекта футеровок на год, мелкое дробление
- Другие части для смены футеровок
- Сита: около двух комплектов на деку в год
- Конвейеры, роликоопоры, резина
- ВСЕГО, расходы на изнашиваемые части 0,13 ЕВРО на тонну
- ВСЕГО, расходы на изнашиваемые части + электроэнергия = 0,19 ЕВРО на тонну

9. Компонентные решения по размещению сравниваемых схем оборудования

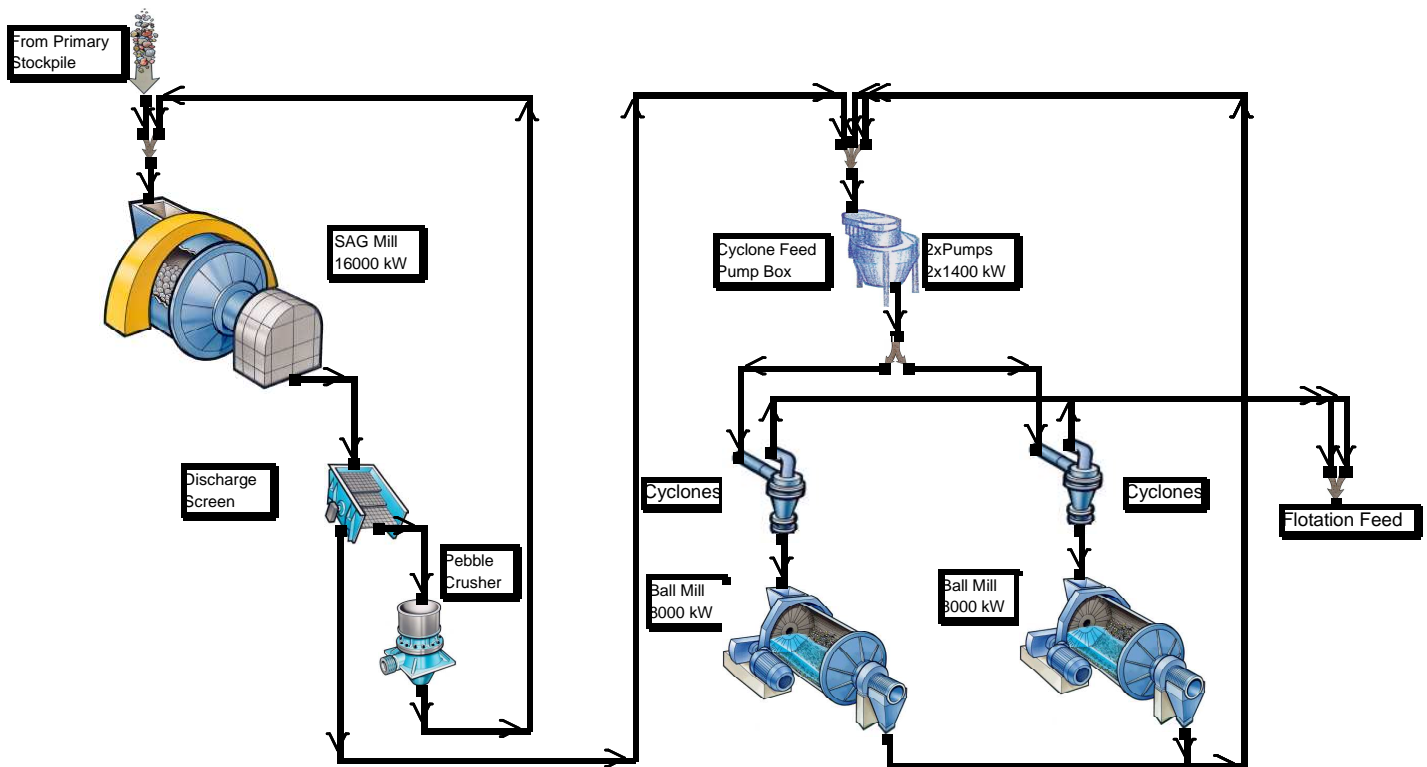


Рис. 1. Выбранный вариант с мельницей полусамозмельчения

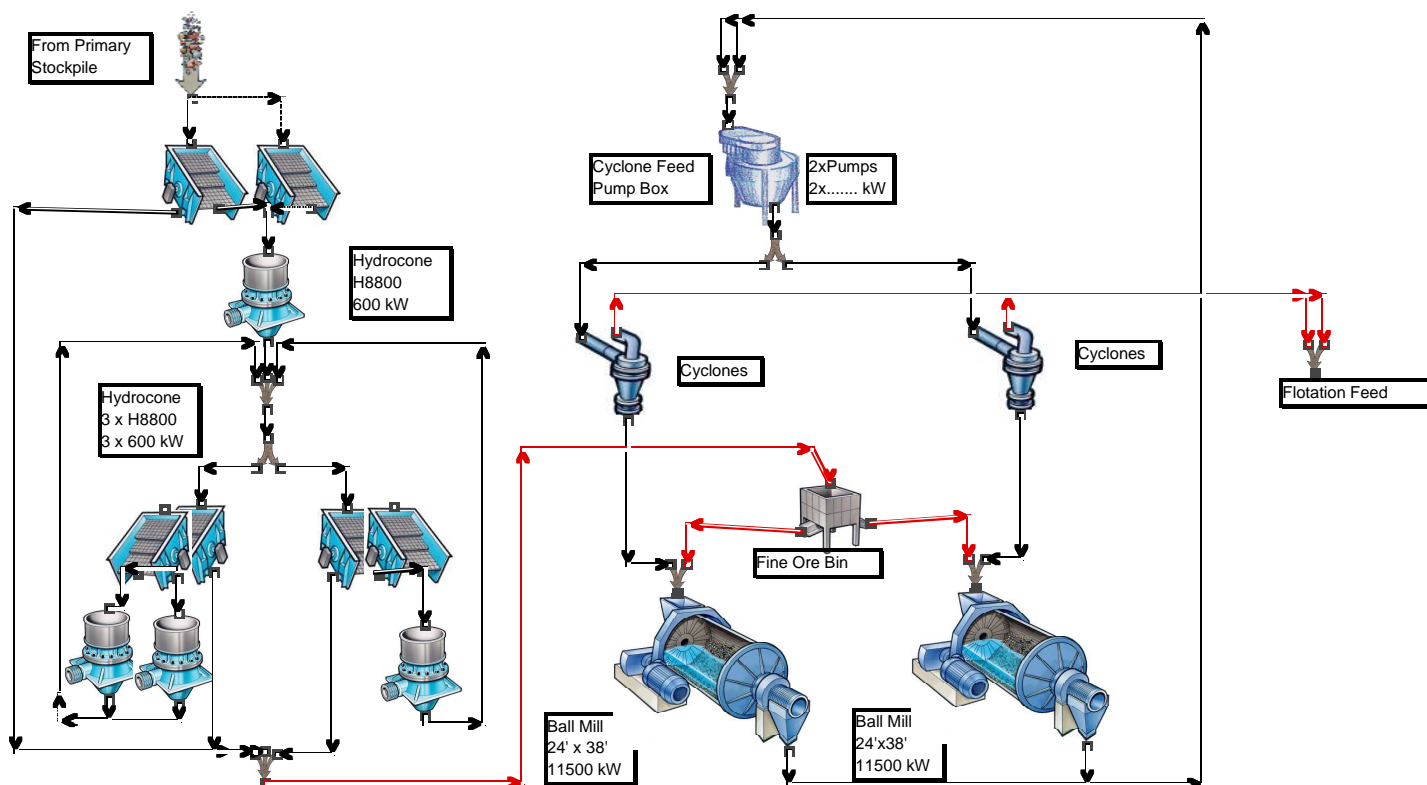
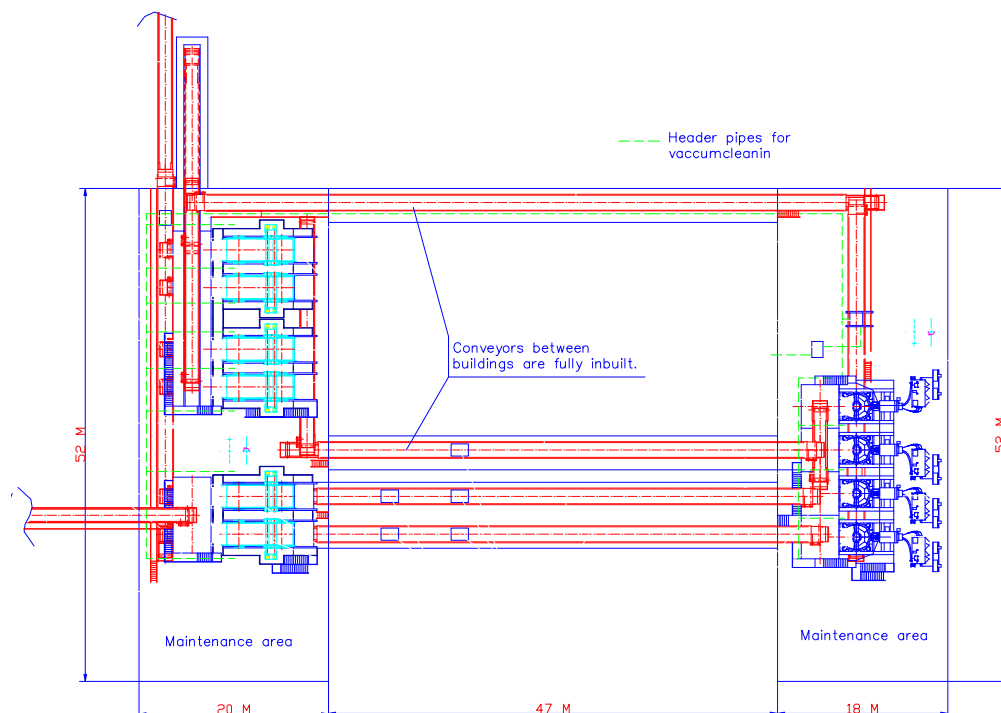
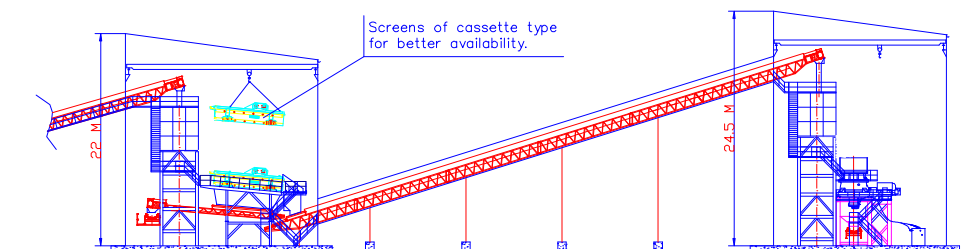


Рис. 2. Выбранный вариант с дробилкой мелкого дробления

Компоновка (на примере конкретной фабрики)

- Место установки 50 м x 80 м
- Только простые металлоконструкции - возможно перемещение в другое место
- Только простой бетонный пол под отдельными машинами - фундаментов нет
- Мостовой кран грузоподъемностью 22 т (или 30 т)
- В двух зданиях общей площадью 2000 м²
- Стены и крыши из простой листовой стали для защиты от воздействия погодных условий
- Операторская в контейнере заводского изготовления с кондиционером





При проектировании особое внимание было уделено достижению высокого коэффициента технической готовности и простоты обслуживания. Разработка данной дробильно-сортировочной фабрики является новым подходом для обеспечения круглосуточной работы с непрерывной подачей питания на шаровые мельницы.

Поставленная цель заключалась в том, чтобы дробильно-сортировочная схема обеспечивала одинаковый или более высокий коэффициент технической готовности по сравнению со схемой полусамоизмельчения.

1. Наличие мостового крана и зоны обслуживания является необходимым условием для успешного осуществления программы ТО.
2. Вторичный грохот дублируется резервной машиной. Таким образом, один грохот может проходить техническое обслуживание, а другой – производить сортировку поступающей руды.
3. Третья стадия дробления включает четыре машины, установленные параллельно. У грохотов также есть резерв по мощности. В случае если одна машина вышла из строя, фабрика продолжает работать с тремя машинами, что скажется на работе лишь в незначительной степени.
4. Грохоты обычно имеют кассетную конструкцию для быстроты монтажа и демонтажа. Можно также держать запасной грохот в ремонтном цехе. Когда придёт время обслуживать работающий грохот, то можно будет очень быстро установить запасной грохот вместо снятого на обслуживание. Обратите также внимание на то, что фабрика может работать с производительностью, близкой к расчётной, даже во время такой замены .
5. Ленточный конвейер для подачи питания на дробилку среднего дробления дублируется резервной машиной. В этом случае, один конвейер может проходить техническое обслуживание, а другой – транспортировать поток руды. Эти два ленточных конвейера работают в самых тяжёлых условиях. Потенциальный риск повреждений лент этих конвейеров компенсируется полным резервированием.
6. Конвейерные ленты. Все ленты предназначены для сверхтяжёлых условий работы 24 часа в сутки в горных условиях.
7. Включена одна дополнительная дробилка Hydrocone H8800. Требования по производительности достигаются тремя другими дробилками Hydrocone H8800.

Добавив одну дробилку, как показано в компоновочном решении, можно использовать её как резервную для любой дробилки среднего или мелкого дробления. Это означает, что дополнительная дробилка может быть подключена для дробления руды во время смены броней на любой из других дробилок. Таким образом, во время технического обслуживания дробилок нет производственных потерь.

Эффективная система противопылевой герметизации подсоединена к центральным фильтрам (по одному в каждом здании).

10. Общие комментарии

Ясно, что имеется технологическое различие между этими двумя концепциями, которое следует рассматривать в контексте сравнения «яблока с яблоком», т.е. сопоставимых вещей. Исходя из грансостава, можно утверждать, что схема полусамоизмелчения содержит значительно большее количество продукта, готового по своему размеру для обогащения. Это означает, что продукт с мельницы полуизмельчения предпочтительно подавать на гидроциклоны. Более грубый продукт со стадии мелкого дробления поступает непосредственно на шаровые мельницы. Для более справедливого сравнения нужно было бы увеличить типоразмер шаровых мельниц. Однако, с другой стороны, на гидроциклоны не поступает грубый продукт с мельницы полусамоизмелчения.

При рассмотрении этих аспектов конечным продуктом обеих обсуждаемых альтернативных схем будет измельчённый продукт, требования к которому определяются шаровой мельницей, имеющей оптимальный типоразмер для последующих переделов.

11. Схемы и мельницы самоизмельчения и полусамоизмелчения (тезисы развития схем рудоподготовки)

- Первоначальная идея: схема самоизмельчения работает только при удачных обстоятельствах (на определенных типах руд)
- Мельницы самоизмельчения не работают эффективно без мелющих шаров
- Поэтому были внедрены мельницы полусамоизмелчения (с добавками шаров)
- Мельницы полусамоизмелчения были не эффективны из-за накопления гали (недробимого класса крупностью 0-70мм), поэтому были внедрены галечные дробилки
- Мельницы полусамоизмелчения могли бы быть более эффективными, для этого были внедрены схемы предварительного дробления
- В результате возникла потребность в схеме предварительного дробления или галечного дробления. То есть добавилось оборудования того же типа, что и в многостадийных схемах дробления.
- Потеря производительности мельниц самоизмельчения и полусамоизмелчения при переходе на более крепкую руду. Например, на одном из самых крупных в мире предприятий по добыче золота и меди было отмечено падение производительности мельниц полусамоизмелчения с 70 000 т/день до 50 000 т/день при переходе с легкодробимой руды с открытой разработки на более крепкую руду из шахты. Некоторые другие исследования подтверждают возможные изменения производительности в пределах 30 %.

12. Мимимизация потребления электроэнергии при мелком дроблении

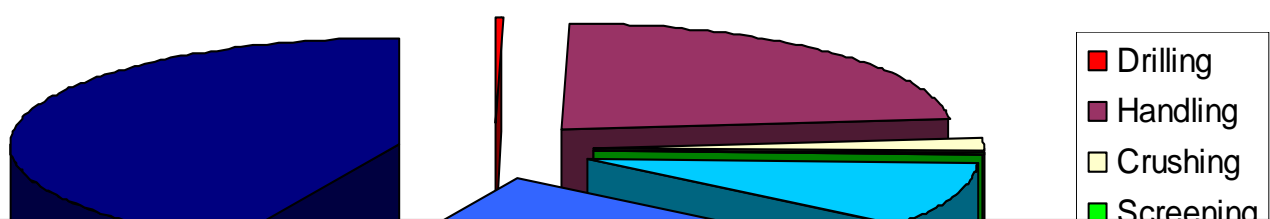
Наиболее очевидным различием при сравнении схемных решений с мельницей полусамоизмельчения и с дробилкой мелкого дробления является разная потребность в электроэнергии. В нашем примере со сравнимыми цифрами, включая галечную дробилку для схемы полусамоизмельчения и требуемую дополнительную мощность, связанную с шаровой мельницей, для схемы мелкого дробления, мы установили, что в рассматриваемом нами случае установленная мощность была 17 000 кВт по сравнению с 10 850 кВт в пользу варианта с мелким дроблением. Таким образом, мы имеем существенную разницу, которой нельзя пренебрегать в дискуссиях сегодняшнего дня об энергосбережении.

4 июня 1998 года бывший министр энергетики США Федерико Пина (Federico Peña) и официальные представители Национальной горной ассоциации подписали соглашение о сотрудничестве между правительством и промышленными кругами о новых исследованиях и разработках для горной промышленности. "Нынешнее соглашение поможет США сохранить свои лидирующие позиции в горном производстве, уменьшить себестоимость производимых товаров, увеличить энергобезопасность, улучшить экологическую обстановку и помочь процветанию экономики," пояснил господин Пина (Peña), бывший министр энергетики США. Входя в перечень министерства энергетика под названием «Индустрии будущего», горная промышленность относится к группе семи других энергоёмких производств (алюминий, химикаты, продукция лесной промышленности, стекольное производство, литейное производство, сталь и сельское хозяйство), где задумываются о технологических улучшениях.

Жизнеспособность горной промышленности является важнейшим фактором для экономики США, т.к. именно эта промышленность обеспечивает получение минерального сырья и угля, необходимых для поддержания конкурентоспособности и обеспечения инфраструктуры буквально всей американской экономики. Здания, мосты, тяжёлое и легкое оборудование – всё это сооружается и производится из переработанного минерального сырья, такого как стекло, керамика, металлы и цемент.

Около 70% электроэнергии США вырабатывается из угля и урана. Для того, чтобы оставаться конкурентоспособной, горная промышленность должна развивать и внедрять новые технологии для улучшения экологической обстановки и успешной борьбы с всевозрастающей конкуренцией со стороны иностранных производителей. Действительно, чтобы выжить и процветать в бедующем, удовлетворяя потребности огромной армии американских потребителей, работники горной промышленности считают, что им необходимо объединить свои технологические достижения с возможностями правительственных агентств и национальных лабораторий.

Estimated Annual Energy Consumption for Mining Equipment



Программа «Лучшая практика», разработанная Управлением промышленных технологий при министерстве энергетики США, направлена на определение общезаводских возможностей энергосбережения и использования технологических улучшений. Путём внедрения новых технологий и системных улучшений компании по всей Америке добиваются быстрых результатов в области энергосбережения.. Более рациональное проектирование обогатительной фабрики и поиск альтернатив использованию мельницы полусамоизмельчения являются важными факторами из-за большого количества электроэнергии, потребляемой такой схемой измельчения.

Мельницы полусамоизмельчения работают весьма не эффективно. Среднего размера мельница диаметром около 10 м потребляет по примерной оценке электроэнергию, сопоставимую с потребностями примерно 10 000 австралийских хозяйств. К сожалению, только 5% этой энергии расходуется на процессы измельчения породы в мельнице. В свете задачи сокращения расходов горных компаний, использование дробилок мелкого дробления в качестве альтернативы мельнице полусамоизмельчения потенциально уменьшает глобальное потребление ископаемых видов топлива, обеспечивая тем самым важные экологические преимущества.

12. Литература и ссылки

1. D. Hillier - Acasia Resources Limited, Sunrise Gold Mine Risk assessment on Comminution Circuit Upgrade for Sunrise Dam Gold Mine, February 2000

2. Evertsson, C. M., "Prediction of Size Distributions from Compressing Crusher Machines", Proceedings EXPLOR 95 Conference, Brisbane, Australia, 173-180, 4-7 September 1995.

3. Evertsson, C. M., Cone Crusher Performance, *PhD Thesis*, Machine and Vehicle Design, Chalmers University of Technology, 2000.

4. C. Ottergren, Crushers are more efficient today and thus set new future trends. Sandvik Rock Processing, Svedala, Sweden

IIR Crushing and Grinding, Perth 2002

5.A. Svensson and J.F. Steer, New Developments in Comminution Circuits
Svedala, Sweden Presented at Camborn school of Mines 1990

6.SME 1998, New crushing technologies in mining applications
SME 1999, Improvements in Crusher Control
C. Ottergren, Svedala Industri, Sweden

7.SME 2000, Reducing production cost by crushing circuit improvement
C. Ottergren, Svedala Industri, Sweden and CODELCO EITeniente Mine, Chile