

## БЕСКОНТАКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО КОНТРОЛЮ КЛАССА ДРОБЛЕННОЙ РУДЫ И ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ В ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Р.С. Заводин (Компания Эмерсон)

*Рассматривается возможность улучшенного управления процессом переработки и обогащения горной руды с использованием решений бесконтактного контроля. Компания Эмерсон предлагает инновационное решение проблемы по поточному контролю класса материала на выходе дробильных установок и контролю процесса флотации в режиме реального времени.*

*Ключевые слова: автоматизация, бесконтактный контроль, система управления технологическими процессами, автоматизация процессов флотации.*

### Введение

Любая металлургия начинается с горнодобывающей промышленности — одной из ведущих отраслей глобальной экономики. По данным британской газеты Financial Times, она занимает V место в мире по уровню капитализации крупнейших компаний вслед за банковским сектором, нефтегазовой, фармацевтической и компьютерной отраслями.

В горнодобывающей промышленности уже сегодня наступает эра освоения труднодоступных месторождений и развития инновационных подходов в процессах обогащения. Спрос на ресурсы постоянно подкрепляется высоким темпом роста экономики развивающихся стран. Наблюдается значительный рост проектов по разработке новых месторождений в экстремальных температурных условиях, и работы ведутся теперь в более отдаленных и труднодоступных точках.

Несмотря на ведущие позиции России по запасам практически всех основных видов полезных ископаемых, качество подавляющего большинства этих запасов ниже, чем в добывающих странах-конкурентах. При этом в отличие от западноевропейских и некоторых других стран (например, Японии), характеризующихся высоким потреблением минеральных продуктов при фактическом отсутствии собственной минерально-сырьевой базы, но высоким уровнем экономики, Россия имеет относительно низкие показатели собственного потребления минеральных продуктов. Это является показателем развития перерабатывающих и высокотехнологичных производств, удовлетворяющих потребности общества и характеризующих его благосостояние [1].

В целом доля отечественной горнодобывающей промышленности в мировом производстве составляет 9,7%, и по этому показателю Россия находится на III месте после США и Китая. Если рассматривать долю нашей

страны в общемировой добыче отдельных видов минеральных продуктов (руд черных, цветных, драгоценных металлов, неметаллических ископаемых), то Россия в основном занимает места не ниже V. Следовательно, можно констатировать достаточно весомое положение российского горнодобывающего производства в современном мире. Но вполне реально, что уже в ближайшей перспективе может произойти снижение позиций, достигнутых российскими горнодобывающими производствами. Основные причины этого — ухудшение минерально-сырьевой базы месторождений полезных ископаемых и моральное устаревание горных технологий. Такие причины побуждают ведущих производителей горнодобывающего оборудования к поискам новых идей и решений, которые должны быть максимально эффективными при минимальных финансовых вложениях. Именно инновационные решения позволяют сегодня вести добычу в труднодоступных для человека местах и эффективно вести процесс обогащения на обедненных рудах. Уже сегодня технологические решения расширяют возможности по извлечению ценных металлов из руд со сверхнизким содержанием минералов. Появляются инновационные решения, такие как бесконтактный контроль класса дробления и бесконтактный контроль процессов флотации без какой-либо модернизации или изменений существующего ТП [2].

### Контроль класса дробления руды

В процессе горной добычи породу транспортируют на обогатительные фабрики для дальнейшего дробления и измельчения. Процесс обогащения включает измельчение руды до мелкой фракции и процесс флотации с применением различных реагентов в зависимости от свойства и типа руды.

Процессы дробления и измельчения применяются для доведения минерального сырья до необходимой крупности, требуемого гранулометрического со-

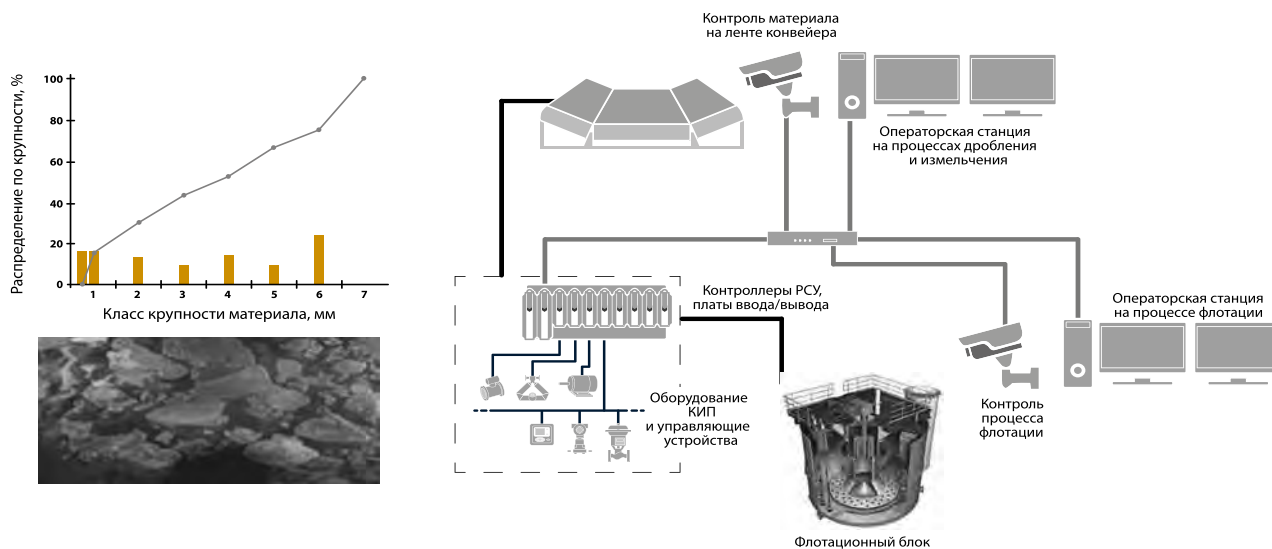


Рис. 1. Решение для бесконтактного оптического контроля класса дробления на базе системы управления DeltaV

става или заданной степени раскрытия минеральных сростков. При этом зерна разрушаются под действием внешних сил преимущественно по ослабленным сечениям, имеющим трещиноватости или другие дефекты структуры, при переходе предела прочности материала на сжатие, растяжение, изгиб и сдвиг.

В зависимости от характера внешних сил в промышленности существуют различные типы дробления/измельчения (обычное, самоизмельчение, электрогидравлическое, взрывное, вибрационное, центробежное). Принципиальной разницы между процессами дробления и измельчения нет. Условно считают, что при дроблении получают продукты крупнее 5 мм, а при измельчении мельче. Для дробления применяют дробилки, а для измельчения — мельницы. Процессы дробления и измельчения по своему назначению могут быть подготовительными и самостоятельными. Целью подготовительного дробления и измельчения полезных ископаемых перед их обогащением является раскрытие (разъединение) минералов при минимальном их переизмельчении в результате разрушения минеральных сростков. Конечная крупность дробления или измельчения определяется крупностью вкрапленности извлекаемых минералов. Чем полнее раскрыты зерна разделяемых минералов, тем эффективнее последующий процесс обогащения. В некоторых случаях, даже при достаточно полном раскрытии минералов, необходимость подготовительного дробления или измельчения обусловлена технико-экономическими соображениями или ограничениями по крупности, свойственными применяемому методу обогащения. Например, максимальная крупность материала при сухом магнитном обогащении не должна превышать 50 мм.

Одна из основных проблем, с которой сталкивается любое горнодобывающее предприятие на процессах дробления — это контроль класса крупности материала. Как контролировать размер куса породы после дробильной установки, который движется

на конвейерной ленте со скоростью 2...2,5 м/с прямо-ком в мельницу для дальнейшего измельчения?

Если класс крупности материала на выходе из дробильной установки не соответствует регламенту, и превышение составляет 3...5%, то дальнейшая переработка потребует значительного перерасхода ресурсов, как на процессах измельчения, так и на процессах флотации. В худшем случае возможно развитие событий, при котором результаты отрицательной работы дробильного корпуса скажутся на всех последующих процессах, и все затраты на переработку сильно повлияют на себестоимость. При таком сценарии стоимость переработки и обогащения руды будет в разы выше товарной стоимости полученного металла, и работа всего предприятия будет убыточной.

Компания Эмерсон предлагает инновационное решение проблемы контроля класса материала на выходе дробильных установок на основе оптического распознавания размеров куса породы в потоке движения на конвейерных лентах (рис. 1).

Метод определения размеров куса движущейся породы основывается на технологии определения размеров объектов от NASA. Эта же технология успешно используется на автоматических вездеходах, путешествующих по Марсу. Принципиальных различий между определением размера камня на Марсе и размера камня на ленте конвейера нет, поэтому успешное применение для определения класса материала и ранжирование его по размерам кусков гарантировано (рис. 2).

Система бесконтактного оптического контроля позволяет контролировать регламент класса дробления в ключевых точках процесса, контролировать наличие материала на ленте, организовать контур стабилизации класса с управляющим сигналом на дробильную установку и регулировать размер щели дробилки, а также осуществлять контроль работы технологического оборудования.

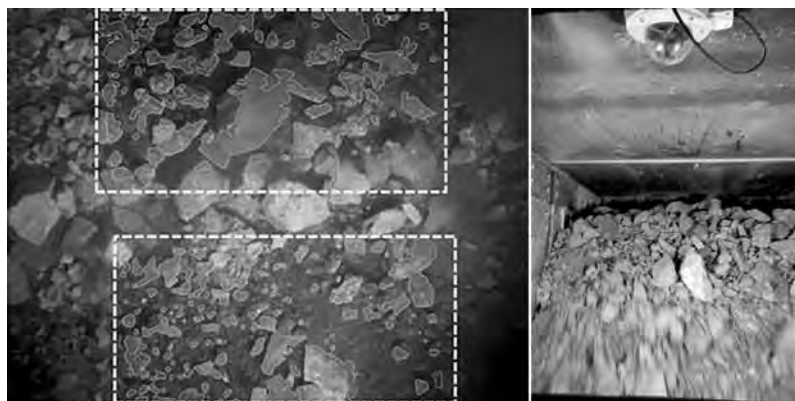


Рис. 2. Определение размера и ранжирования значений класса транспортируемого материала с помощью группы видеокамер

Группа видеокамер, установленных в требуемых точках ТП, способна не только определять размер и ранжирование значений класса транспортируемого материала, но и передавать данные в режиме реального времени в АСУТП DeltaV. Именно система DeltaV на основе полученных данных способна выполнять задачи контроля и регулирования как технологическим оборудованием, так и стабилизировать критические параметры ТП согласно регламенту и уставкам, задаваемым технологическим персоналом.

Применение этого решения позволит поднять на любом горнодобывающем предприятии показатели измельчения по классу материала на 6,2%, при этом не требуются дополнительные вложения в технологическое оборудование, такое как дробилки, мельницы, грохота. Решение по бесконтактному контролю состоит из сервера обработки данных и набора видеокамер, затраты на приобретение которых в десятки раз меньше, чем затраты связанные с изменениями в технологической цепочке или модернизации существующего технологического оборудования для достижения целей по повышению класса материала. Ожидаемые результаты незамедлительно проявятся в виде повышения безопасности обслуживающего персонала, исключения влияния человеческого фактора и автоматического поточного контроля 24/7/365.

Как показывает богатый практический опыт компании Эмерсон, решения по бесконтактному контролю отлично интегрируются в существующий ТП, повышаются показатели смежных процессов, например, работа контура стабилизации соотношения руда-вода или поддержания плотности на сливах классифицирующих аппаратов или гидроциклонов. Можно реализовать решения на базе PCU для стабилизации соотношения руда-вода на процессе измельчения или стабилизации плотности на рудных сливах. При использовании системы управления и алгоритма управления процессом измельчения ожидаемое повышение извлечения металла составляет 0,4...0,5%. Защита от аварийных ситуаций при работе системы и алгоритма автоматического регулирования также обеспечивает повышение производительности мель-

ницы и сокращение расхода электроэнергии на 3,4%.

### Контроль процесса флотации

Процесс флотации — разделение мелких твердых частиц (главным образом, минералов), основанный на различии в смачиваемости водой этих частиц. Гидрофобные (плохо смачиваемые водой) частицы избирательно закрепляются на границе раздела фаз, обычно газа и воды, и отделяются от гидрофильных (хорошо смачиваемых водой) частиц. При флотации пузырьки газа или капли масла прилипают к плохо смачиваемым водой частицам и поднимают их к поверхности.

Основная задача оператора флотационного блока заключается в оперативном принятии решений в процессе флотации по контролю и поддержанию уровня пены, объема подаваемых реагентов и воздуха для получения пенного продукта высокого качества. Опытный флотатор с большим стажем работы всегда может определить качество пены, полагаясь только на визуальную оценку и свой опыт. Но такой опыт очень тяжело и долго нарабатывается и передается от старшего персонала к младшему не один год. Также следует принять во внимание, что в разные смены работают разные операторы флотационных установок, и их интерпретации результатов данных процесса, персональный опыт, визуальная оценка процессов могут значительно различаться.

Для решения проблемы контроля сложного процесса флотации и исключения влияния субъективного фактора, основанного на решениях, которые принимает оператор, руководствуясь своим опытом, компания Эмерсон предлагает инновационное решение для автоматического бесконтактного контроля процесса флотации в режиме реального времени (рис. 3).

Система бесконтактного контроля процесса флотации обеспечивает исключение влияния субъективных факторов и круглосуточно, в режиме реального времени предоставляет информацию, которую используют операторы и технологи флотации. Данные, получаемые от системы контроля, поступают не только на экран оператора для мониторинга хода процесса флотации, но и в АСУТП DeltaV для организации контуров управления и стабилизации процесса флотации.

Система бесконтактного контроля предоставляет данные измерений важнейших свойств пенообразования:

- скорость образования и направление движения пены;
- размер и ранжирование пузырьков, их число, частоту появления;
- устойчивость пены и анализ цветового оттенка;
- интегральные данные ключевых параметров.

Полученные данные параметров пены поступают в систему DeltaV для участия в стратегии контура



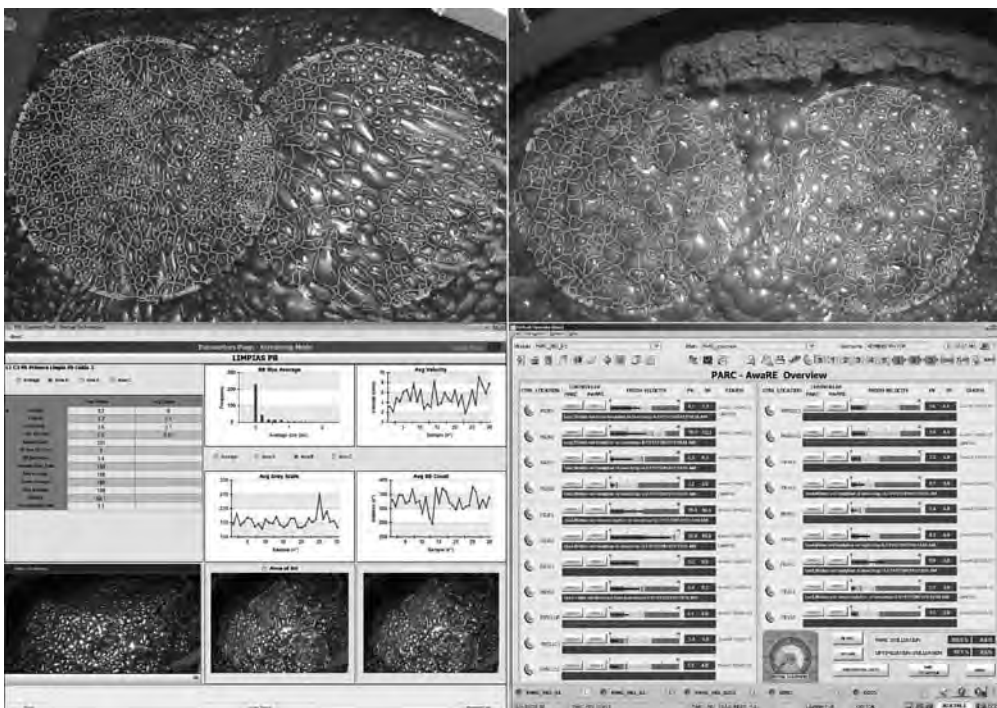


Рис. 3. Контроль процесса флотации с применением решения на базе системы управления DeltaV

управления, например, совместно с показаниями химического анализа, установленного на потоке питания. Такое интегрированное решение системы управления DeltaV с данными пенообразования позволяет создать надежную и эффективную стратегию расширенного управления процессом флотации, исключая воздействие человеческого фактора.

Основные задачи, которые способна решать система бесконтактного контроля процесса флотации на платформе DeltaV:

- контроль скорости пены — стабилизация контура флотации путем стабилизации пропускной способности флотационной камеры и поддержания оптимального уровня;
- оптимизация требуемого качества концентрата и песковых хвостов;
- максимизация извлечения.

Эти важнейшие задачи решаются благодаря использованию передовых решений по интеграции видеокамер высокого разрешения с оборудованием и системой управления DeltaV.

#### Контроль скорости пены

Производительность флотомашин или скорости съема пены из камер в концентрационные желоба напрямую связаны с показателем извлечения флотационного контура. Управление потоком пенообразования во флотационной камере происходит путем воздействия на ряд основных параметров, такие как флотационный воздух, объем и вид подаваемых реагентов. Эти параметры имеют важные свойства, такие как быстрое реагирование и сильная корреляция со скоростью образования пены в сравнении с высотой уровня пульпы

или добавлением реагента вспенивателя. Уровень пульпы и подачу реагента вспенивателя часто используют в случаях недостаточности объема подаваемого воздуха в камеру флотомашин и в случаях, когда на скорость пены необходимо повлиять по всей нитке флотомашин. Исходя из анализа вышеописанных параметров, система DeltaV определяет необходимое управляющее воздействие, например, на величину открытия пробок, объемы подачи реагента, изменение объема воздуха. Затем система анализирует скорость образования пены, сопоставляя с регламентной уставкой, если величина отличается

от уставки на превышающее значение зоны нечувствительности, то система DeltaV осуществляет управляющее воздействие в контуре регулирования.

#### Контроль уровня пульпы

Стабилизация высоты уровня пульпы в каждой флотационной камере напрямую влияет на качественные показатели результатов извлечения. Поскольку пенообразование происходит в верхнем слое пульпы, необходимо поддерживать оптимальную толщину слоя пены, путем регулирования высоты уровня пульпы до верхнего края слива флотационной камеры, тем самым позволив процессу пенообразования достичь необходимых характеристик качества пены и максимально стабилизировать слив пены. Даже небольшие колебания толщины слоя пены будут влиять на ухудшение показателей извлечения из-за постоянного избыточного или заниженного верхнего слива. Чаще всего многие предприятия используют практику управления каждой камерой независимо друг от друга при помощи одиночного локального ПИД-регулятора. Такое решение в большинстве случаев не приносит ожидаемого положительного результата решения проблемы, поскольку контуры управления высотой уровня пульпы сильно взаимосвязаны друг с другом. То есть управляющее воздействие на уровень в одной камере вызывает существенное колебание в последующей камере и до самого конца флотационной нитки.

Для решения этой распространенной проблемы система DeltaV в составе решения по бесконтактно-

му контролю процессов флотации способна реализовать стратегию каскадного регулирования уровнем по всей цепочке флотомашин. Данная стратегия одновременно контролирует уровень в каждой камере по всей линии флотации и вносит корректирующие воздействия на источники помех, такие как клапаны управления и насосы до того, как они повлияют на уровень в каждой камере.

#### Оптимизация извлечения металла на флотации

Повышение показателей извлечения — одна из важнейших задач в ТП флотации. При наличии поточного анализатора химического состава пульпы на потоке и алгоритмов расширенного управления в системе DeltaV в составе решения по бесконтактному контролю процессов флотации возможно создание полномасштабной стратегии управления извлечением. Целью расширенного управления является стабилизация работы флотационного блока как можно ближе к предельным значениям содержания ценных металлов в пульпе с применением максимально четкого и точного управления. Максимизация извлечения достигается благодаря использованию инновационного подхода для контроля процесса пенообразования и расширенному управлению на основе уникальных алгоритмов работы, сконфигурированных в системе DeltaV. Данное комплексное решение позволит автоматически стабилизировать процесс, поднять качество извлечения и поддерживать оптимальные условия по всей нитке флотации.

Поточный анализатор, установленный на потоке пульпы, предоставляет информацию химического анализа на ТП. Данные анализа представляют собой количественные определения содержания (массовых долей) химических элементов, например, на питании всей нитки флотации, и время цикла между анализами может изменяться в диапазоне 10...60 мин. Поскольку интервал между анализами может быть довольно большим, система бесконтактного контроля предоставляет данные по пенообразованию в режиме реального времени, что позволяет оператору флотации принимать оперативные решения и более точно корректировать процесс. Оператор флотации также может получать информацию как отдельно с каждой флотационной камеры, так и по всем флотоблокам в нитке.

Применение решения бесконтактного контроля от Эмерсон позволяет увеличить процент извлечения на флотации на 1,7%, при этом не требуются дополнительные вложения в технологическое оборудование. Ожидаемым результатом является исключение влияния человеческого фактора и оптимальная стабилизация параметров процесса флотации [2].

**Заводин Роман Сергеевич** — эксперт по решениям в области металлургии и горной добычи компании Эмерсон.  
 Контактный телефон 8(7172) 59-27-43.  
 E-mail: Roman.Zavodin@Emerson.com

#### Заключение по решениям бесконтактного контроля

Решения для бесконтактного контроля класса дробления и процесса флотации, описанные в статье, работают на основе специально разработанного ПО и видеокамер высокого разрешения. Эти решения могут поддерживать большое число видеокамер, установленных в различных точках контроля ключевых ТП на дроблении, измельчении и флотации.

Система бесконтактного контроля в режиме реального времени передает данные по классу материала (размер кусков породы) и качеству флотации (количество, размер пузырьков, скорость движения пены) в ПТК DeltaV, далее эти значения участвуют в контурах регулирования и стабилизации в системе DeltaV. Контур регулирования на выходе способен формировать управляющий сигнал на полевое оборудование — от дробильной установки до насосов дозаторов реагентов и клапанов подачи воздуха. Алгоритмы поведения оборудования и контура стабилизации разрабатываются с учетом всех деталей конкретного производства.

Для улучшенного управления можно использовать решения по контролю класса дробления и контролю процесса флотации одновременно. Например, система управления DeltaV регистрирует отклонение от заданного класса дробления, и начинает работать контур № 1 по стабилизации класса материала путем изменения уставок на размер щели дробилки. Далее DeltaV должна скорректировать уставки задания по объему подаваемых реагентов и воздуху на флотацию, — начинает работать контур № 2 по стабилизации качества флотационной пены. Комплексный подход одновременной работы решения № 1 и № 2 дает не только стабилизацию параметров ТП и повышение качества измельчения, но и хороший процент экономии затрат на дорогостоящие реагенты, плюс повышение извлечения металла.

Лидирующие компании рассматриваемой отрасли, такие как Copper Mountain, Fresnillo, Yukon Zinc, Imerys Talc, Goldcorp, Lake Shore Gold Corp, Barrick, Los Perlambres, Taseko, Penoles, Angola American из Канады, Чили, Африки и Австралии уже несколько лет успешно применяют на своих производствах как технологию бесконтактного контроля процесса флотации, так и технологию бесконтактного определения и контроля класса дробления материала на потоке.

#### Список литературы

1. Кондратьев В. Б. Глобальная горнодобывающая промышленность//Перспективы. Сетевое издание Центра исследований и аналитики ФИП. Октябрь. 2012. <http://www.perspektivy.info>.
2. Ломоносов Г. Г. Эффективное горнорудное производство//Деловая слава России. 2006. № 2.