
**СИСТЕМЫ ДРОБЛЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ
ГОРНЫХ ПОРОД В КАРЬЕРАХ**

Специалистами компании Sandvik подготовлена серия публикаций, в которых раскрываются возможности компании по техническому и экономическому обоснованию применения систем циклично-поточной технологии (ЦПТ), а также представляется оборудование, спроектированное и изготовленное фирмой для этих систем.

Как известно, системы ЦПТ требуют достаточно больших капитальных вложений, поэтому на этапе проектирования особенно важно дать правильную экономико-технологическую оценку всего проекта в целом с учетом себестоимости товарной продукции и срока окупаемости инвестируемых средств. В настоящее время компания не только в состоянии разработать, произвести и ввести в эксплуатацию все необходимое оборудование для систем ЦПТ, но и помочь в оценке возможностей и рентабельности применения этой системы в конкретных горно-технологических условиях, в том числе при реконструкции горного предприятия. В настоящей статье рассматриваются факторы, которые необходимо учитывать при начальной стадии оценки целесообразности применения систем ЦПТ в условиях конкретного месторождения.

Факторы, определяющие применение ЦПТ**Срок отработки карьера**

По исследованиям специалистов компании Sandvik нормативно ожидаемый срок службы системы ЦПТ составляет 150 тыс. ч, или 20 лет, хотя в некоторых конкретных условиях затраты могут окупиться раньше. Во избежание убытков при использовании оборудования системы ЦПТ проектный срок службы карьера должен составлять не менее 10 лет.

**Схема разработки карьера, производительность оборудования
и объемы горной массы, транспортируемой системой ЦПТ**

Необходим четкий погодовой план горных работ с положением выработок на определенных этапах развития карьера. На основе календарного плана разработки месторождения определяются не только годовые объемы разрабатываемых и транспортируемых горных пород, но и места размещения элементов системы ЦПТ на каждом этапе развития карьера, а также схема и график их переноса в новое положение. При этом устанавливается, в какой мере перемещение в новое положение элементов системы ЦПТ повлияет на протяженность горных выработок и фронта работ и, прежде всего, на дальность транспортирования горной массы из забоев до дробильного пункта автосамосвалами по внутрикарьерным дорогам. В том числе, например, необходимо определить, смогут ли экскаваторные забои обеспечить

необходимые объемы горной массы для дробления и загрузки конвейерных линий при изменении, после переноса дробилки, дальности транспортирования и неизменном количестве автосамосвалов, обслуживающих забой.

По данным компании Sandvik наилучшие технико-экономические показатели работы системы ЦПТ достигаются при транспортировании не менее 80—90 % горной массы карьера. Эта доля может упасть ниже 50 % в сложных горно-геологических условиях месторождения. Понятно: чем больше горной массы перерабатывается системой ЦПТ, тем быстрее возвращаются вложенные в нее инвестиции. Когда имеют место большие первоначальные капитальные затраты и малые объемы переработанной горной массы, возникают затруднения с возвратом инвестиций.

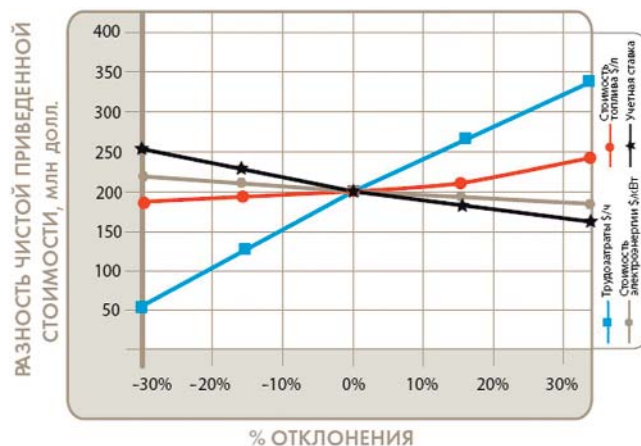
Производительность системы ЦПТ

На этой стадии проектирования необходимо тщательно рассчитать производительность всей цепочки оборудования: экскаватора в забое; автотранспорта от забоя до бункера дробильного узла; перегрузочного устройства, откуда горная масса поступает в полувагоны или на конвейерный транспорт, ведущий к отвалообразователю.

Очень важно, чтобы производительность дробилок была кратна планируемой производительности забойного экскаватора. Например, если в забоях работают экскаваторы с производительностью около 4000 т/ч, то дробилка производительностью 10 000 т/ч — явно не подходит. Также важно, чтобы была соблюдена пропорция между средней производительностью за короткий и длительный периоды. При этом необходимо выдержать условие — производительность дробилки не должна превышать долговременную среднюю производительность карьера.

Соотношение цен на энергоносители и стоимость рабочей силы

При выборе технологии разработки месторождения и типа механизации рабочих процессов в карьере необходимо провести анализ чувствительности технико-экономических показателей всего проекта к изменению стоимости дизельного топлива, электроэнергии, рабочей силы и учетной банковской ставки, в конечном итоге влияющих на рентабельность системы ЦПТ. Очевидно, что повышение стоимости дизельного топлива и рабочей силы только повышает сравнительную выгодность системы ЦПТ, в то время как повышение стоимости электроэнергии и учетной банковской ставки оказывает противоположное влияние.



Анализ рентабельности ЦПТ

противоположное влияние.

В соответствии с динамикой изменения мировых цен на нефть и нефтепродукты наиболее крутой наклон имеет кривая стоимости дизельного топлива. Это означает, что окупаемость средств, инвестированных в технологию разработки месторождения с использованием только автотранспорта менее прогнозируема, чем при использовании системы ЦПТ, работающей на электроприводах.

Количество литотипов транспортируемой горной массы

Наибольшая эффективность использования системы ЦПТ достигается при транспортировании только одного типа горной массы — скальной или мягкой вскрыши, углей и рудной массы без различия по сорту и качеству.

В карьерах, где необходимо обеспечивать селективные грузопотоки (три и более вида пород и полезных ископаемых), эффективность применения ЦПТ резко снижается. Конечно, применение современных компьютерных технологий может оптимизировать режим селективной подачи горной массы на конвейеры. Но необходимо учитывать, что отдельная подача двух типов вскрышных пород или полезного ископаемого в дробильную установку не фиксируется компьютерами. Хотя, в настоящее время, с помощью системы диспетчеризации горно-транспортного комплекса возможно решение даже и такой задачи. Но все это повлечет за собой увеличение капитальных вложений в систему ЦПТ и более четких расчетов по организации работы всей системы транспортирования горной массы.

Установка конвейеров в стационарное положение

Однозначно можно утверждать, что установка в стационарное положение максимального количества конвейеров с самого начала разработки месторождения значительно увеличивает эффективность применения ЦПТ.

Влияние крепости пород на производительность и стоимость системы

Принципиально важное значение для эффективности функционирования всей системы ЦПТ имеет правильность выбора типа дробилок, соответствующих прочности разрабатываемых горных пород. При переработке мягких и легкодробимых горных пород гораздо легче достичь номинальной производительности системы ЦПТ.

Для таких видов горных пород больше всего подходят валковые дробилки, применение которых снизит как капитальные, так и эксплуатационные расходы. Компания Sandvik располагает широкой линейкой моделей дробильного оборудования для решения всевозможных задач по оптимизации процесса дробления как мягких, так и твердых пород с крупностью исходного куска до 1200 мм.

Периодичность переноса дробильных установок

Расчеты и опыт Sandvik показывают — чтобы достичь приемлемой эксплуатационной готовности системы ЦПТ дробильные установки следует переносить в новое положение не чаще, чем один–два раза в год. Хотя, чем чаще перенос, тем меньше шаг переноса по вертикали (по высоте рабочей зоны карьера) дробильной установки. Соответственно, тем меньше расстояние транспортирования автосамосвалами из забоев до бункера дробилки, тем меньше высота подъема груженого самосвала. Все это приводит к повышению производительности автосамосвалов и сокращению их рабочего парка.

Для ускорения передвижения дробильных и транспортных элементов ЦПТ и сокращения общих простоев оборудования системы, компания Sandvik предлагает модельный ряд специальных гусеничных транспортеров и перегрузочных модулей. Применение этих типов оборудования позволит существенно повысить эффективность применения системы ЦПТ в целом.

Возможность нисходящей транспортировки горной массы

Общеизвестно, что нисходящее перемещение любых грузов средствами транспорта всегда менее энергоемко и дешевле, чем по горизонтальной поверхности и,

□□□

тем более, вверх на подъем. Кроме того, нисходящие конвейеры во время работы способны генерировать электроэнергию, рекуперировав ее в энергосети, что в конечном итоге приводит к значительному снижению общих эксплуатационных затрат на транспортирование горной массы.

Организация отвалообразования в системе ЦПТ

При конвейерном транспорте горных пород их складирование в отвалах (или в складах некондиционных полезных ископаемых) осуществляется с помощью отвалообразователей различного типа. В целях снижения общих расходов на раздельное, по литотипам, складирование вскрышных пород в отвалах и некондиционных полезных ископаемых в спецотвалах (техногенных месторождениях) необходимо предусмотреть такие схемы их развития, при которых объемы работ по перемещению отвальных конвейеров были бы сведены к минимуму, при соответствующем уменьшении расходов на их обустройство и обслуживание после переноса.

Надо помнить, что раздельная укладка различных типов горных пород в отвалы приводит к усложнению их конфигурации и схемы размещения конвейерных лент, что в конечном итоге может свести до недопустимого минимума эффективность применения ЦПТ.

В настоящее время Sandvik может предложить различные типы и способы складирования при отвалообразовании, начиная от простого снятия грунта с отвального конвейера с помощью разгрузочной тележки и передачей его на приемную консоль ленточного отвалообразователя, и заканчивая применением роторных экскаваторов на приеме мягких пород с перегрузкой их в отвал или на конвейер отвалообразователя, с полным моделированием процесса и расчетом всех необходимых рабочих параметров оборудования.

Практические проблемы планирования горных работ

Проектирование системы ЦПТ

На большинстве горных предприятий оперативное планирование горных работ осуществляется с использованием программного обеспечения Whittle™, позволяющего оптимизировать конфигурацию и положение уступов и бортов карьера.

Для угольных карьеров наиболее типична линейная конфигурация уступов и бортов, поэтому они больше всего подходят для применения систем ЦПТ.

Проблемы, возникающие при работе с программным обеспечением Whittle™, оперирующим единичным выемочным (добычным) блоком, на основе которых выстраивается план карьера (по различным периодам развития), заключаются в том, что их применение часто приводит к созданию изогнутой конфигурации уступов и бортов.

По критерию оптимизации общей приведенной стоимости (ОПС) добычи полезного ископаемого создается набор вариантов плана горных работ карьера с целью уменьшения общей его площади, что зачастую приводит к формированию узких, «тонких» и глубоких участков. Обработка таких участков будет характеризоваться высокими вертикальными скоростями подвигания фронта горных работ (т.е. высокими темпами углубки карьера), которые, в конечном итоге, будут служить серьезным препятствием для использования системы ЦПТ.

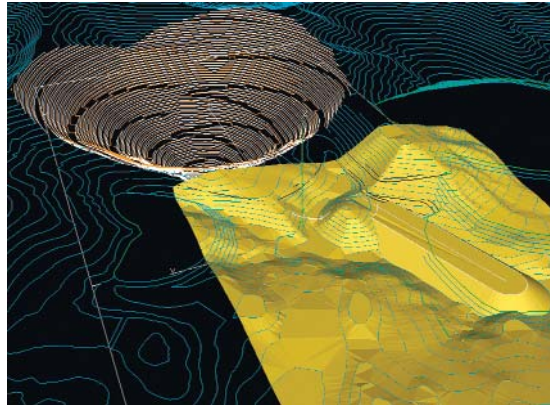
В целях устранения этого препятствия придется поддерживать увеличенную (против оптимальной) ширину карьера. Например, проведенное сравнение двух вариантов обработки месторождения медно-порфировых руд карьером шириной 150 м и первоначально полученной оптимальной — 75 м, показало на незначительный рост ОПС, открывающий возможность практического использования системы ЦПТ.

□□□

Форма залежи и геометрия месторождения

Многие месторождения, например, медно-порфировых руд представлены штокообразными, изометрическими рудными телами, разработка которых осуществляется, как правило, при кольцевом, концентрически продвигающемся фронте горных работ карьера.

Месторождения подобного типа обрабатываются этапами. Так как такая конфигурация рабочего фронта — наименее подходящая для использования системы ЦПТ в стандартной комплектации, то компания Sandvik приняла решение использовать линейные конвейеры длиной по 450 м с углом наклона 10° с тем, чтобы обеспечить вертикальный шаг (по высоте рабочей зоны) перемещения дробильного комплекса равный 45 м. Используя эти регуляторы, на каждом этапе можно установить, была ли необходимость в изменениях последовательности производства горных работ. На рисунке показан первый этап минимальной реконструкции карьера на применение системы ЦПТ с бортами, наложенными на первоначальный проект отработки экскаваторами с автотранспортом. Как видно из рисунка даже борты с относительно криволинейными очертаниями не создают трудностей для встраивания системы ЦПТ без коренной перепланировки карьера.



Система ЦПТ и конфигурация, составленная с помощью программного обеспечения Whittle™

Один из основных выводов, полученных в результате проведенных на настоящий момент исследований, заключается в том, что намного сложнее вписать конвейеры в существующую систему карьерных дорог, чем спроектировать новый рудник под ЦПТ.

Расположение дробильных установок

Процесс определения места расположения передвижных дробильных установок после каждого их перемещения очень важен для оптимизации и определения возможности применения ЦПТ. Существуют три основных варианта схемы размещения дробильных установок: в пределах транспортных площадок временной бермой; внутри транспортной площадки, но без временной бермы; за пределами транспортных берм, предусмотренных на бортах карьера.

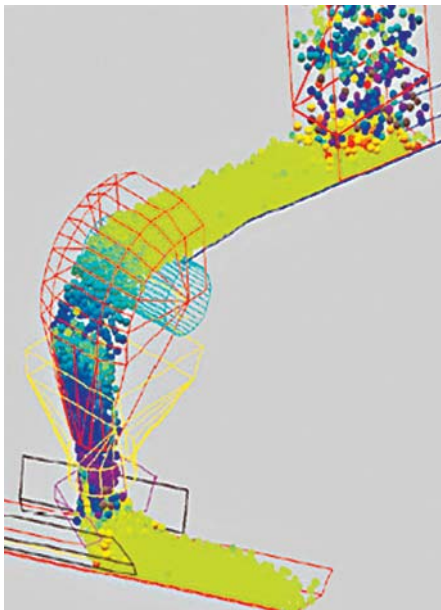
Последний вариант намного привлекательней. Однако он требует интеграции схем использования уже на стадии проектирования рудника. Очевидно, что детали такого решения будут различными для каждого рудника.

Для Качарского рудоуправления специалистами компании Sandvik был выполнен расчет ЦПТ с тремя конусными дробильными установками суммарной годовой производительностью 46 млн т по вскрышным породам, с транспортированием до отвалов конвейерами производительностью 6000 т/ч, и производительностью 23 млн т/год по железной руде с транспортированием конвейерами на поверхность и погрузкой в железнодорожные полувагоны. В схеме ЦПТ предусмотрен автомобильный внутрикарьерный транспорт до приемных бункеров дробильных установок,

рассчитанных на одновременную разгрузку двух БЕЛАЗов грузоподъемностью 220 т. Из-за стесненного пространства пришлось очень четко и скрупулезно просчитывать схему и время движения автосамосвалов из забоев до бункеров.

Пересечение транспортных путей

В определенных точках конвейерной трассы как внутри карьера (в частности, перед дробильной установкой), так и на поверхности неизбежно пересечение конвейеров с технологическими автодорогами. Для обеспечения бесперебойной и независимой работы обоих видов транспорта пересечения устраиваются в разных плоскостях и выполняются в виде мостового или тоннельного (под автодорогой) перехода.



Моделирование потока в перегрузочном желобе

В свете до минимума их количество. Хотя, следует отметить, что в условиях конкретного предприятия транспортные пересечения могут оставаться в стационарном положении в течение нескольких лет эксплуатации системы ЦПТ.

В целом устройство тоннельного перехода конструкции Artco дешевле, чем мостового. Однако тоннельный вариант не обладает легкостью переноса в новое положение, как мостовой. И, кроме того, при тоннельном переходе конвейер должен быть смонтирован на полозьях, на которых с помощью, например, бульдозера он втягивается в тоннель, где и оставляется для работы до момента нового переноса конвейерной трассы. Компания Sandvik, по заказу клиентов, выполняет оба варианта пересечения трасс транспортных путей.

Специалисты компании при проектировании конфигурации системы ЦПТ в целях снижения затрат на строительство и последующие переносы в новое положение любых типов транспортных пересечений стремятся

Конструкции конвейеров и перегрузочных узлов

Современные конструкции конвейеров характеризуются увеличенной скоростью движения ленты и высокой производительностью транспортирования насыпной горной массы. В настоящее время компания Sandvik предлагает от полного набора конвейерных компонентов, разработанных и произведенных на заводах компании, до сложнейших конвейерных комплексов с автоматизированными системами, интегрированными в АСУ предприятия-заказчика.

Опыт применения вспомогательного привода на перегрузочных станциях и механизмах (накопленный при подземной разработке горных пород и при проходке транспортных тоннелей) для уменьшения максимальных сил натяжения лент, и в особенности на горизонтальных изгибах трассы, привел к заметному совершенствованию самой конвейерной ленты.

В настоящее время специалисты Sandvik изучают возможности применения таких усовершенствований в конвейерном транспорте карьеров, и, в частности, для сис-

щц

тем ЦПТ. При применении модулей из коротких конвейерных ставов в системе конвейерного транспорта неизбежно устройство одного или нескольких перегрузочных узлов (станций) транспортируемого материала. В таких схемах следует уделять особое внимание режиму продвижения материала на перегрузочных узлах (станциях) с тем, чтобы быть уверенным, что их пропускная способность достаточна для достижения производительности всей конвейерной системы, а износ конвейерной ленты при этом — минимален.

Для проектирования перегрузочных станций в системах ЦПТ применяются современные средства моделирования потока материала, основанные на методе дискретного элемента. Обычные методы проектирования с ограничением высоты свободного падения кусков материала, с погрузкой небольших объемов материала на ленту, с погрузкой материала на движущуюся ленту в направлении ее движения могут быть применены для конструирования течек. Правильный расчет и применение вспомогательных устройств должны гарантировать проектную пропускную способность течки при минимальных повреждениях и износе ее конструкции и конвейерной ленты, и, наконец, минимальные уровень шума и пылеобразование.

Прогресс в области компьютерных технологий, применяемых для проектирования конвейерных систем и перегрузочных станций, позволяет улучшать их конструкцию и расширять область эффективного использования конвейерного транспорта для перевозки возрастающих объемов горных пород с высокими скоростями.

В случае ограниченного пространства для перегрузки материала, а также для модернизации и интеграции ЦПТ в уже действующую на предприятии транспортную систему, специалисты компании Sandvik предлагают систему электростатического обеспыливания НХ410 и другие решения для пылеподавления как в точках перегрузки, так и при разгрузке материалов в штабель или на внешние транспортные средства.

Электростатическая система обеспыливания НХ410 имеет модульную конструкцию, позволяющую обеспечить ее монтаж и ввод в эксплуатацию в сжатые сроки. Достоинства системы НХ410: удаляет до 90 % взвешенных частиц; низкое (менее 500 Вт) энергопотребление; практическая безотказность в работе в течение длительного времени из-за конструкции, не требующей запчастей и персонала для техобслуживания; не изменяет свойств обеспыливаемого материала. Кроме того НХ410 может использоваться там, где по стандартам ТБ и промсанитарии необходимо улавливать частицы пыли, особо опасные для здоровья работников.

Компания Sandvik поставляет телескопическую течку для бесшумной, беспылевой разгрузки материалов с автоматической дозировкой точности.

Заключение

Изложенные в статье соображения по особенностям применения системы ЦПТ свидетельствуют о возможности и целесообразности ее рассмотрения в качестве высокотехнологического многоуровневого горно-транспортного комплекса. Очевидно, что для большого числа месторождений система ЦПТ — более приемлема, чем транспортная, на основе карьерных автосамосвалов. Понятно, что ЦПТ не может полностью вытеснить из карьеров автомобильную доставку (добываемой горной массы) от экскаваторных забоев до пунктов перегрузки в другие виды транспорта и, тем более, в промежуточную дробилку. Исключение составляют системы разработок месторождений на основе полностью мобильных дробильных установок в ком-



Передвижная дробильная станция

чаще закладываются передвижные установки для дробления, грохочения и транспортирования на поверхность вскрышных пород и полезного ископаемого. Мобильные установки в составе ЦПТ позволяют сохранять независимость в работе забойного звена автомобильно-экскаваторных комплексов во время останова или передвижения в новое положение дробильного комплекса с конвейерным транспортом.

Капитальные затраты на систему ЦПТ достаточно высоки. Однако, по сравнению с автомобильно-экскаваторным комплексом, система ЦПТ выгодно отличается более высоким уровнем производительности, значительно меньшим рабочим парком карьерных автосамосвалов и вспомогательной техники для содержания автодорог и рабочих площадок и, как следствие, меньшими затратами на рабочий персонал при одновременном снижении влияния так называемого человеческого фактора на ритмичную работу всего комплекса. Вместе с тем, эксплуатационные расходы на систему ЦПТ обычно на 40 % меньше, чем у автомобильно-экскаваторных комплексов в зависимости от расстояния перевозок, высоты подъема и соотношения цены на электричество и дизельное топливо.

Системы ЦПТ могут быть также интегрированы в работу рудников, спроектированных с применением программного обеспечения, в целях оптимизации работы автомобильно-экскаваторных комплексов. Как показывает опыт, при этом требуется меньшая корректировка, чем обычно ожидается. Сложность задачи заключается лишь в том, чтобы изменить парадигму в мышлении относительно того, что такое встраивание ЦПТ приводит к потере гибкости всей системы горных работ предприятия и дать реалистическую оценку достоинств и недостатков такой комбинации, прежде чем отвергнуть систему ЦПТ.

И, наконец, применением системы ЦПТ объективно можно понизить более чем на 50 % уровень выбросов CO₂ в атмосферу. Этот фактор, совместно с текущей ценой на дизельное топливо и сохраняющимся до сих пор дефицитом шин для карьерных самосвалов, способствует более широкому применению внутрикарьерного дробления с конвейерным транспортом горной массы в качестве предпочтительного варианта по сравнению с вариантами применения автосамосвалов, как на проектируемых, так и на действующих рудниках.

Аннотация к статье дана на стр. 400

Коротко об авторах

Phil Morriss — вице-президент горно-технической службы компании Sandvik mining and Construction (SMC)

Andrew Hustrulid — специалист по конвейерным системам компании SMC

Phil Morriss — менеджер по системам транспортировки сыпучих материалов компании SMC

e-mail: smc.russia@sandvik.com