

СОВРЕМЕННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ – НАПРАВЛЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ

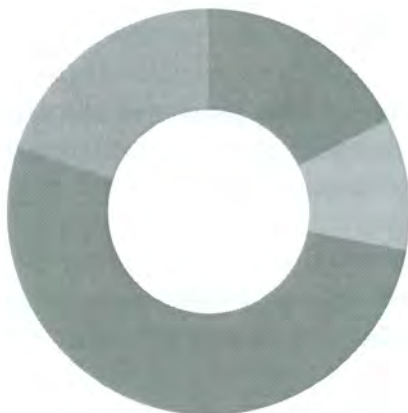
А.А. ТВЕРДОВ, andrey.tverdov@imcgroup.ru., к.т.н., технический директор IMC Montan, эксперт ГКЗ, эксперт ОЭРН, сертифицированный Ростехнадзором эксперт в области промышленной безопасности горных предприятий, Москва.

В статье изложены перспективы применения основных транспортных систем на открытых горных работах. Приведены критерии оптимальности транспортных систем для карьера. Проведен обзор направлений снижения себестоимости транспортных процессов на открытых горных работах.

В настоящее время, одним из наиболее ответственных процессов открытых горных работ является транспортировка полезного ископаемого и вскрышных пород. Работа транспортных систем карьера напрямую влияет. Как на себестоимость товарной продукции, так и на устойчивость отгрузки сырья на обогатительную фабрику и бесперебойный сбыт товарной продукции. Следует учитывать, что на открытых горных работах затраты на транспорт являются одной из наиболее существенных составляющих в составе полных затрат товарной продукции. Зачастую затраты на транспорт руды и вскрыши являются одним из главных ограничивающих факторов при определении рациональных границ карьера, в том числе и на этапе подготовки ТЭО условий.

В настоящее время, основные конкурентные транспортные системы на открытых горных работах включают:

- Железнодорожный транспорт
- Автомобильный транспорт
- Поточный транспорт
 - ГПКД
 - Конвейер
 - Скиповой подъем



Стандартная структура себестоимости 1 тонны руды на ОГР

Оптимальность той или иной транспортной системы прямым образом определяется локальными условиями характеризующими объект недропользования. Среди основных локальных факторов выбора оптимальной транспортной системы следует указать:

- Рельеф и другие особенности района строительства (экологические аспекты, застройка местности, наличие водотоков и т.д.)
- Элементы проектируемого карьера (бермы, уклоны и т.д.)
- Расстояние транспортирования
- Объемы транспортирования и тип грузов
- Ритмичность грузопотоков
- Фактически имеющаяся инфраструктура (наличие электроснабжения, ремонтные мощности и т.д.)
- Потребность в персонале

По виду транспортируемого груза, объемам перевозок и расстояниям транспортирования транспортные процессы открытых горных работ можно группировать следующим образом:

- По видам работ
 - Транспортировка вскрыши
 - Транспортировка руды/угля
 - Транспортировка товарной продукции
- По расстояниям транспортировки
 - Внутрикарьерный
 - Магистральный на доставке руды/угля до ОФ или выхода на федеральные ж.д. сети (на расстояние до 40-50 км)
 - Доставка товарной продукции потребителю на расстояние более 50 км
- По объему грузовой работы
 - Малые объемы (до 0,5-1 млн.тонн в год)
 - Средние объемы (до 1-5 млн.тонн в год)
 - Большие объемы (более 5 млн. тонн в год)
- По типу груза
 - Тарный груз
 - Крупнокусовой груз
 - Мелкокусовой и сыпучий груз

Сочетание вышеуказанных факторов позволяет выполнить технико-экономический анализ оптимальности транспортной системы по следующим ключевым критериям:

- Коммерческие критерии
 - Себестоимость
 - Капитальные вложения
 - Сопутствующие издержки (рост коэффициента вскрыши и т.д.)
 - ЧДД в виде суммы операционных, капитальных вложений и сопутствующих издержек за период оценки
 - Срок окупаемости
- Технологические
 - Адекватность транспортной системы решаемым задачам (практическая применимость: обеспечение производственной мощности, уклоны, грузооборот и т.д)
 - Надежность
 - Сроки ввода

В силу специфичности каждого горного предприятия нельзя выделить безусловно одну лидирующую транспортную систему. Зачастую оправданно использование комбинированных транспортных систем.

Экономическая эффективность транспортных систем очень индивидуальна, однако усредненный диапазон эффективности основных магистральных транспортных систем выглядит следующим образом.

Тип транспортной системы	Объемы грузовой работы в год, тнкм	Расстояния транспортирования, км	Срок службы / перевозок, лет	Капитальные затраты на 1 км трассы, %	Операционные затраты на 1 тнкм транспортируемого груза, %
Конвейерный	Более 1	1-50	Более 10	200-750%	4-15%
Автомобильный	0-10	До 20	От года	100%	100%
ГПКД	Более 0.5	1-50	Более 10	150-450%	6-11%
Ж.д. транспорт	Более 10	От 5 км	Более 10	140-1200%	25-55%

При больших объемах грузоперевозок (на длительный период оценки) автомобильный транспорт существенно проигрывает конкурентным транспортным системам. Преимущество использования ж/д и конвейерного транспорта по операционным затратам отмечается уже при транспортировании на 5 км. Суммарные дисконтированные капитальные и операционные затраты в железнодорожный и конвейерный транспорт, при объемах перевозки в 2-5 млн. тонн, как правило, окупаются за несколько лет.

В некоторых случаях, несмотря на большую экономическую эффективность предпочтение отдается более «надежной», по мнению недропользователя, транспортной системе. При этом, в значительной степени играет роль, не всегда объективный, консерватизм к новым решениям и «незнакомым» технологиям. Тем не менее, в условиях ухудшения внешнеэкономических условий, обусловленное падением цен на многие виды сырья, горные компании стали уделять повышенное внимание оптимизации производственных процессов, включая транспортные операции. Снижение выручки заставляет недропользователя уделять большее внимание инновационным направлениям транспортировки. В ряде случаев, недропользователь готов идти на достаточно высокие инвестиции в карьерный транспорт если это способствует снижению себестоимости и росту конкурентоспособности. Последнее время недропользователи обращают внимание к следующим направлениям повышения эффективности работы карьерного транспорта:

1. Повышение грузоподъемности автосамосвалов

2. Внедрение автосамосвалов ETF
3. Перевод карьерного автотранспорта на комбинированное топливо (ДТ+газ)
4. Внедрение троллейбусов
5. Внедрение поточных технологий
6. Внедрение систем диспетчеризации транспортных процессов

Ниже кратко изложен анализ перспективности практической реализации вышеуказанных направлений оптимизации карьерного транспорта.

Повышение грузоподъемности автосамосвалов

Общим трендом развития карьерного автотранспорта является повышение грузоподъемности автосамосвалов, что позволяет:

- Упростить логистику транспортных и ремонтных процессов
- Повысить производительность труда
- В ряде случаев, повысить пропускную способность горнотранспортной схемы карьера
- В некоторых случаях снизить операционные расходы за счет более высокого КТГ и общей энергоэффективности автосамосвалов

Средний типоразмер автосамосвалов на вновь водимых карьерах приближается к 200-220 т, при этом, имеют место примеры внедрения 300 тонных и более грузоподъемных автосамосвалов.

На действующем карьере ограничивающим фактором перехода на более производительные автосамосвалы является сложившаяся транспортная схема и параметры внутрикарьерных дорог, что требует существенного объема подготовительных работ для ввода в эксплуатацию карьерных автосамосвалов большего типоразмера. Однако в некоторых случаях ширина автосамосвала зарубежного производства (САТ, Камацу и др) даже меньше, чем для автосамосвалов типа БЕЛАЗ меньшей грузоподъемности. Более того, имеется возможность заказать автосамосвал с кузовом индивидуально изготовленным с учетом потребности клиента. Для вновь строящихся карьеров проблема соответствия габаритов автосамосвала параметрам автодорог решается на этапе проектирования.

Следует отметить, что несмотря на более высокие капитальные затраты автосамосвалы «брендовых» производителей (САТ, Камацу) зачастую оправдываются за счет более высокого КТГ и соответственно КИО, меньшего топливорасхода и более длительного срока эффективной эксплуатации (10-11 лет, против 6-7 лет у БЕЛАЗОВ). По вышеуказанной причине, при наличии инвестиционных средств, существенным предпочтением в линейке продукции Белаз пользуются автосамосвалы оснащенные двигателями Cummins, в сравнение с автосамосвалами такого же типоразмера, но оснащенные двигателями ЯМЗ. По отзывам горных компаний, повышение надежности двигателя существенным образом сократило разрыв в надежности продукции компании Белаз и ведущих мировых брендов производителей большегрузных самосвалов.

Внедрение автосамосвалов ETF

Возможно дополнительное снижение операционных затрат автосамосвалов за счет внедрения автосамосвалов немецкого производства ETF, спроектированных по новой технологии и вызывающих большой интерес со стороны горных компаний.



Автопоезд из самосвалов ETF Боковая разгрузка автопоезда самосвалов ETF

Автосамосвалы по данным завода изготовителя представлены в модульной комплектации, что позволяет:

- упростить доставку автосамосвалов
- произвести сборку в минимальные сроки
- упростить ввод автосамосвалов в карьер в случае наличия транспортных ограничений (путепроводы и т.д.)
- повысить КТГ за счет оперативной замены (манипулятором) модульных составляющих автосамосвала
- возможность ремонта «на месте»

Автосамосвалы комплектуются 4-мя независимыми двигателями работающими в зависимости от загрузки автосамосвала и характера дороги (полотно, уклон и т.д.), что позволяет снизить расход топлива на 10-15%.

Шины этих машин намного меньше по размеру, чем у традиционных больших машин, и они организованы по универсально-сборному типу, что удобно в обращении. Здесь снижается стоимость покупки и обслуживания шин меньшего диаметра.

Автосамосвалы снабжены 10 осями с 20 колесами. 8 осей имеют силовой привод с возможностью разворота в требуемом направлении. Более того, колеса имеют свободу движения вдоль оси, с углом качания до 10 градусов. Давление в шинах регулируется от загруженности автосамосвала и типа полотна автодороги. Указанные особенности придают уникальную маневренность, с возможностью разворота автосамосвала на месте, преодоления крутых уклонов и малых радиусов поворота, движением по слабо подготовленной трассе.

Автосамосвалы производства ETF можно использовать как отдельные единицы или в составе автопоезда. Общее количество отдельных единиц будет таким же, но требуемая численность водителей уменьшится.

Самым существенным недостатком данных (безусловно прогрессивных) автосамосвалов является отсутствие подтвержденных примеров эксплуатации. Все материалы доступные по автосамосвалам данного типа представлены трехмерными анимационными фильмами, что вызывает ряд вопросов. Тем не менее, по информации изготовителя в данный момент завод ETF собирает эти автосамосвалы по заказу железорудного предприятия VALE в Бразилии, которое будет испытывать эту новую концепцию на практике.

Перевод карьерного автотранспорта на комбинированное топливо (ДТ+газ)

Среди возможных направлений повышения эффективности процессов транспортирования руды и вскрыши можно указать на перевод автосамосвалов с дизельного топлива на газ.

Перевод автосамосвалов на газ может быть осуществлён, как на принципе полного замещения дизельного топлива, так и в условиях комбинированного топлива (смеси ДТ + газ).

Перевод транспортных средств на газ в качестве моторного топлива требует определенных материальных затрат и времени освоения. При этом, газ в качестве моторного топлива имеет следующие преимущества:

- Стоимость природного газа ниже дизтоплива
- Перевод автосамосвалов на природный газ осуществляется без существенных конструктивных изменений
- При списании автосамосвала, газотопливная установка может быть демонтирована на другой автосамосвал
- Существенно снижается нагрузка на двигатель увеличивая его ресурс (до 50%)
- Сохранение, а в некоторых случаях повышение мощности двигателя

- Существенно снижаются вредные выбросы в атмосферу (в 2-3 раза).

Природный газ в автосамосвалах может быть использован в сжатом (компримированном) и сжиженном состоянии. Недостатки сжатого газа по сравнению с сжиженным является существенно больший объем (в 2-3 раза), что требует более частых дозаправок.

В США практическое внедрение на открытых горных работах нашло оборудование EVO-MT. Работа автосамосвалов по системе EVO-MT осуществляется по комбинированному топливу дизель+газ, что позволило снизить общий расход дизтоплива на 50%. Система позволяет сохранить безопасность эксплуатации, общую мощность двигателя, скорость движения автомобиля и другие значимые показатели. Установка системы осуществляется в короткие сроки и не требует изменения конструкции автосамосвала. После установки системы автосамосвал сохраняет возможность работать 100% на дизтопливе, либо на комбинированном топливе дизель+газ (в примерном соотношении ДТ-40%, газ 60%). При работе на комбинированном топливе расход дизтоплива снижается на 50%. Переключение между типом топлива осуществляется в автоматическом режиме.

Система EVO-MT предусматривает переход двигателя на газодизельный режим работы с помощью оборудования, установленного на раме самосвала. В процессе перехода используются компоненты, установленные снаружи двигателя, и никаких изменений или модификаций в цилиндрах, поршнях, топливных инжекторах или головках цилиндров не требуется. Система EVO-MT полностью сохраняет систему дизельного топлива OEM, а двигатель сохраняет возможность работать исключительно на дизельном топливе, когда это необходимо. Система позволяет перевозить количество СПГ, достаточное для работы в течение всей 12-часовой смены (примерно 1800 литров), а также проводить дозаправку СПГ и дизельного топлива одновременно. Система EVO-MT совместима с системой охлаждения двигателя, что позволяет подавать охлаждающую жидкость высокой температуры в теплообменник / испаритель для эффективного преобразования СПГ из жидкости в парообразное состояние. После перехода в паровую фазу СПГ подается в воздухозаборник двигателя в точке над входными отверстиями турбокомпрессора с помощью технологии смешивания воздуха и газа.

Работа двигателя в газодизельном и дизельном режимах практически мало отличается, сохраняя показатели КПД двигателя, температуры отработавших газов, при снижении нагрузок на двигатель.

С 2007 имеется успешный опыт эксплуатации 24 автосамосвалов Caterpillar 777 в Харлене (Kentucky) и с 2012 семи автосамосвалов Caterpillar 793В (грузоподъемность 240 тонн) на предприятии Alpha Coal West в Гиллете (Wyoming). Эксплуатация этих агрегатов ведется 24 часа в сутки, 7 дней в неделю. В ходе последних испытаний на этих самосвалах было зафиксировано замещение газом до 41%. Процент замещения газом меняется в зависимости от марки и модели самосвала, а также его рабочего цикла. В настоящее время подобная система внедряется на автосамосвалах Komatsu 930E (грузоподъемность 320 тонн) в Аризоне, а также на угольных предприятиях Arch Coal и Barrick Goal Strike. В настоящее время анонсирован серийный выпуск большегрузных автосамосвалов на комбинированном топливе.

Конкурентные решения предлагаются российско-корейской компанией КИМАКО, базирующиеся на аппаратной части компании KwangShin Mashine. Предлагаемые решения ориентированы, как на самосвалы относительно небольшой грузоподъемности (10-30 т), так и на большегрузные самосвалы грузоподъемностью 100 т и более. Преимуществом КИМАКО является анонсированная готовность осуществлять, как переоснащение автосамосвалов, так и формирование всей

обеспечивающей инфраструктуры. Проблемы с обеспечивающей инфраструктурой зачастую являются критичными для эффективной реализации перевода автосамосвалов на комбинированное топливо. Это обусловлено следующими факторами:

- Существенными затратами на строительство заправочных станций
- Доступом к источникам газа и согласование объемов потребления, с учетом конкуренции ОАО Газпром в проектах комбинированного топлива
- Повышенные требованиями правил безопасности к стоянкам и боксам автотранспортных средств на комбинированном топливе

Внедрение троллейзов

В качестве меры повышения эффективности карьерного автопарка может быть рассмотрена замена дизельных автосамосвалов на самосвалы с питанием от контактной сети: дизель-троллейбусы, троллейбусы и троллейно-аккумуляторные.

Потенциальные преимущества перехода на данный тип транспорта заключаются в следующем:

- Заметное снижение операционных расходов (на 50% и более)
- Снижение выбросов выхлопных газов
- Повышение пропускной способности горнотранспортной схемы (более высокая скорость и производительность)
- Более высокий КИО

В свою очередь, недостатки заключаются в следующем:

- Необходимость реконструкции системы электроснабжения действующих карьеров
- Необходимость расширения транспортных берм (на 4-6 м) для действующих карьеров
- Более высокие капитальные вложения на единицу транспортной техники

В настоящее время работы по совершенствованию троллейбусов ведутся ОАО БЕЛАЗ и САТ, с перспективной линейкой грузоподъемность 136, 170, 200, 220, 320 т.

Троллейбусную технику перспективно рассматривать на новых карьерах, как самостоятельный основной вид транспортировки горной массы, так и в составе комбинированной системы транспортировки в комплексе с дизельными автосамосвалами и конвейерным транспортом.

Поточные технологии транспортирования

Динамичный рост затрат на ГСМ, дефицит кадров, стремление сократить операционные затраты на транспорт и решить проблему вывоза горной массы повысили интерес к циклично-поточным технологиям (ЦПТ).

Среди конкурирующих технологий ЦПТ и поточного транспортирования на магистральных участках можно выделить:

- ГПКД
- Традиционный конвейер
- Изгибающийся канатно-ленточный конвейер
- Канатно-ленточный конвейер типа RopeCon (или аналог), при размещении на опорах
- Система РейлКон (RailCon) – аналог RopeCon с интегрированными колёсными парами движущимися по рельсам
- Трубчатый конвейер

Среди преимуществ конвейерного транспорта: непрерывная работа, обслуживание небольшим количеством персонала, незначительный объем земляных работ на строительство, незначительное воздействие на окружающую среду,

возможность преодолевать высокие уклоны (до 35° и выше, против 80-100‰ для автотранспорта).



Последние годы в мировой горной промышленности получили распространение высокоэффективные транспортные системы на базе канатно-ленточных конвейеров. Данные системы могут быть реализованы, как в виде напочвенных конвейеров, так и в виде конвейерных систем на опорах. Системы характеризуются высокой надежностью обусловленной конструкцией, так тяговое усилие в данных конвейерах передается на стальные канаты, а не на ленту, как в традиционном конвейере. Данные конвейера имеют очень низкую установленную мощность, имеют допустимый радиус кривых в плане – до 400 м, длина одного участка может достигать до 50 км, производительность – до 8 000 т/ч (традиционные конвейеры работают с производительностью до 4 000 т/ч).

Другим типом конвейерной системы пытающейся расширить применение в горном деле являются трубчатые конвейера. Данные конвейера имеют преимущества при транспортировке измельченного материала (хвосты, песок, мелкодробленая порода, продукты обогащения и т.д.) и позволяют транспортировать груз под очень крутыми уклонами и сложной форме трассы (малые радиусы поворота, большое количество изгибов и т.д.). Однако данные конвейерные системы существенно более капиталоемкие по сравнению с обычными конвейерами (в силу большего объема металлоконструкций, роликов, ленты и т.д.), а также имеют более высокие операционные затраты и меньшую надежность (особенно при транспортировке абразивных материалов).

Недостатком конвейерных систем является необходимость предварительного дробления пород (до 250-350мм), сложности при транспортировке водонасыщенных пород при отрицательных температурах, переизмельчение пород при транспортировке (для энергетических и технологических марок углей), более высокие требования к надежности единицы транспортной системы (критическая для производительности карьера в целом), сложности с сегрегацией транспортируемой руды по технологическим типам.

Дополнительным недостатком всех конвейерных систем является существенный срост капитальных затрат при проектировании для работы в критически низком диапазоне температур (особенно ниже -35-40 °С). Более надежной системой при работе в низкотемпературном режиме, при этом менее требовательной к крупности куски породы, являются грузовые подвесные канатные дороги (ГПКД). Однако ГПКД имеют существенно более низкую пропускную способность одной линии и более сложную систему загрузки и разгрузки.

В целом поточный транспорт более капиталоемок по первоначальным инвестициям, в сравнение с автомобильным транспортом, хотя и окупается (при больших объемах грузоперевозок) за счет значительно более низких операционных затрат.

Несмотря на свои недостатки, поточные системы транспортирования получают распространение на открытых горных работах, в некоторых случаях вытесняя конкурирующие транспортные системы уже на действующих карьерах. Особенно активно внедряются циклично-поточные технологии транспортирования, которые помимо сокращения прямых затрат на транспортирование руды и породы, характеризуются рядом других плюсов (расконсервация фронтов, возможность вывоза горной массы с глубоких горизонтов требующих критических транспортных уклонов, работы на малом радиусе кривых и т.д.). В качестве примера можно привести оценку эффективности перехода на ЦПТ с ж.д. перевозок, для одного из крупнейших карьеров России:

- Сокращение расстояния транспортирования и общего грузооборота ж.д. транспортом - около 1800 млн. тонн*км в год
- Снижается потребность в ж.д. оборудовании до 40 вертушек
- Сокращение количества перегрузок с авто на ж.д. транспорт на 6 перегрузочных пунктов
- Исключение работ по переэкскавации на перегрузках – примерно 50 млн.т-годовая экономия в затратах на перегрузках более 300 млн.руб
- Сокращение плеча транспортирования руды ~9 км - годовая экономия в затратах более 1600 млн.руб
- Высвобождение фронта горных работ, законсервированного под перегрузочными пунктами – около 6 км
- Снижение затрат на перекладку ж.д. путей
- Высвобождение с перегрузочных пунктов горного оборудования – эквивалентно 9 ед. экскаваторов ЭКГ-12
- Обеспечивается большая гибкость в горном планировании за счет раскрытия фронта горных работ
- Обеспечивается расконсервация запасов руды под перегрузками с минимальным коэффициентом вскрыши
- Обеспечивается рост обогатимости руды за счет расконсервации фронтов и запасов и, как следствие, показателей извлечения в концентрат

Внедрение систем диспетчеризации транспортных процессов

Определенный позитивный эффект на повышение эффективности автотранспортных процессов дает полноценная диспетчеризация горных работ. Включая синхронизацию работы экскаваторного забоя и автосамосвалов. Эффективно налаженная диспетчеризация позволяет организовать оперативный обмен автосамосвалов в забоях, минимизировать простои автосамосвалов в ожидании погрузки, вести мониторинг отдельных единиц техники, снизить внеплановые простои, снизить расход топлива и конечном счете снизить операционные расходы на транспорт в среднем на 5-10%.

Наиболее совершенным этапом развития диспетчеризации является «интеллектуальный рудник», с полной автоматизацией горных процессов. Полная автоматизация горных процессов требует очень высоких инвестиций, оправданных в долгосрочной перспективе, с учетом растущей стоимости персонала. Другим фактором способствующим полной автоматизации транспортных процессов открытых горных работ является растущая глубина карьеров с необходимостью доработки запасов нижних горизонтов в условиях предельного равновесия прибортового массива, характеризующихся повышенной опасностью для персонала.

Наиболее передовым опытом реализации «интеллектуального рудника» в России характеризуется ОАО АЛРОСА, которая реализовала работу нескольких карьерных забоев по безлюдной технологии.

Литература

1. Твердов А.А. Жура А.В. Никишичев С.Б. Современные системы транспортировки полезных ископаемых и вскрышных пород. Москва, Горная промышленность, 2012 (№2).
2. Зырянов И. В. «Методы повышения надежности систем карьерного автотранспорта в экстремальных условиях эксплуатации». Изд. дом «Руда и металлы», 2003, — 120 с.
3. Мариев П. Л., Кулешов А. А., Егоров А. Н., Зырянов И. В. «Карьерный транспорт стран СНГ в XXI веке». С.-Петербург, Наука, 2006, — 387 с