

УДК 622.23.05

Ю.А. Бахтурин

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КАРЬЕРНОГО ТРАНСПОРТА

Проведен анализ современного карьерного транспорта, пути его развития и совершенствования.

Ключевые слова: карьерный транспорт, перевозки, производительность, горные работы.

Семинар № 16

Y.U. Bahturin
**MODERN TENDENCIES FOR OPEN-
PIT TRANSPORT**

The analysis of modern open-pit transport is carried out; the avenues for developing and improving are reviewed.

Key words: open-cut transport, transportation, productivity, mining works.

Доминирующим направлением развития мировой горной промышленности на обозримую перспективу считается стабильная ориентация на открытый способ разработки, как обеспечивающий наилучшие экономические показатели. На его долю приходится до 73 % общих объемов добычи полезных ископаемых в мире, в США — 83 %, в странах СНГ — около 70 % [1]. В России открытым способом добывается 91 % железных руд, более 70 % руд цветных металлов, более 60 % угля. Если учесть, что по мере роста глубины карьеров доля затрат на карьерный транспорт доходит до 55—60 % в общей себестоимости добычи полезного ископаемого, то вполне очевидным представляется тезис о том, вопросы развития и совершенствования карьерного транспорта являются одними из основных для открытых горных разработок.

Основными факторами, определяющими развитие карьерного транспорта, являются систематически ухудшающиеся горно-геологические и горнотехнические условия разработки. Известно, что развитие открытого способа разработки сопровождается ростом концентрации производства, увеличением глубины и пространственных размеров карьеров, расстояния и сложности

транспортирования горной массы. Определяющим при этом является показатель глубины карьеров. Отметим, что 18 железорудных карьеров СНГ уже имеют глубину более 200 м, а 5 — более 300 м. Основной объем добычи и выемки горной массы в железорудной подотрасли в ближайшие десятилетия будет осуществляться путем освоения глубоких горизонтов. Аналогичные тенденции имеют место и в других отраслях горнодобывающей промышленности. Самым глубоким среди угольных разрезов является Коркинский, проектная глубина которого — 630 м, достигнутая — 455 м. Такие крупные разрезы как Кедровкий, Междуреченский, им. 50-летия Октября достигли глубины 220 и более м при проектной — 300—360 м. Существующим проектом предусмотрена разработка Баженовских месторождений асбеста до глубины 680 м. На алмазодобывающем карьере «Мирный» в конце отработки глубина достигла 560 м. Проектная других кимберлитовых карьеров составляет 600 и более метров. За рубежом глубокие карьеры представлены, в основном, предприятиями, разрабатывающими месторождения руд цветных металлов. Это Бингхем, Твин Бьюте, Беркли, Мишон, Сиеррита (США), Чукикамата (Чили), Эндако (Канада), Антик (Швеция), Токвепала (Перу), Эрцберг (Австрия) и др. Проектная глубина этих карьеров превышает 250—300 м, а карьеры Токвепала, Сиеррита и Палабора будут разрабатываться до глубины 500—550 м. Не вдаваясь в анализ влияния различных факторов на показатели работы транспорта при увеличении глубины карьеров, приведем ориентировочные цифры снижения производительности транспортных средств при понижении горных работ

на 100 м: для автосамосвалов такое снижение составляет 25—39 %, для локомотивосоставов — 8,5—20 %.

Негативное воздействие как на открытые горные работы в целом, так и карьерный транспорт в частности оказывают последствия кризисных явлений, связанных с переходом стран СНГ к рыночной экономике. Разумеется, динамика производительности горнотранспортного оборудования формируется в зависимости от соотношения не только отрицательных, но и положительных факторов, под которыми, как правило, понимаются факторы технического прогресса. Приходится констатировать, что до настоящего времени на большинстве карьеров полной компенсации снижения технико-экономических показателей транспортирования горной массы с увеличением глубины разработки обеспечить не удается. В связи с этим транспортная проблема была и остается одной из важнейших проблем разработки глубоких карьеров.

Некоторые общие для стран СНГ особенности динамики показателей работы карьерного транспорта систем карьеров, выявившиеся в период перехода к рыночной экономике, зачастую носят временный характер или неоднозначны. Вместе с тем, среди них есть весьма показательные и устойчивые. Так, несмотря на значительное сокращение объемов производства и финансовые затруднения в 1991—2003 гг. сохранилась тенденция повышения удельного веса применения мощного горно-транспортного оборудования на железорудных карьерах [2]. Как следует из таблицы, средняя вместимость ковша экскаватора на карьерах восьми крупнейших ГОКов России за 12 лет возросла с 7,7 до 8,3 м за счет увеличения числа экскаваторов с ковшами вместимостью 10—15 м. Грузоподъемность автосамосвала за этот же период увеличилась на 13,3 % за счет повышения доли большегрузных машин в структуре парка, хотя их среднесписочное число уменьшилось. Автомобильный парк Костомукшского, Оленегорского, Ковдорского и Коршунковского ГОКов почти полностью представлен автосамосвалами грузоподъемностью 120 т. Количество локомотивов несколько уменьшилось. В связи с этим обращает на себя внимание высокий процент оборудования с истекшим нормативным сроком эксплуатации (до 80 %). На карьерах ОАО Качканарский ГОК «Ванадий» основу парка железнодорожного

транспорта составляют тяговые агрегаты EL-10 (15 ед.), срок эксплуатации которых превысил нормативный почти в 2 раза. Дело в том, что в условиях рыночной экономики источниками финансирования мероприятий по реконструкции транспортных систем глубоких карьеров (до 90 % капитальных вложений на поддержание мощности) могут быть только собственные средства предприятий, которые складываются из амортизационного фонда и части прибыли, а также банковские кредиты. Большинство предприятий не обеспечены этими средствами. Тенденция повышения единичной мощности горно-транспортного оборудования имеет место и на железорудных карьерах Казахстана и Украины. Так, на карьерах Соколовско-Сарбайского горно-обогатительного производственного объединения вместимость ковша экскаватора увеличилась с 7,6 до 8,2 м³ (на 8 %), средняя грузоподъемность автосамосвала — с 90,3 до 101,7 (на 12,8 %). Производительность основного горно-транспортного оборудования на карьерах в 1990—1994 гг. снизилась на 17—30 %, что соответствует падению объемов горных работ. В 1994—1998 гг. производительность стабилизировалась. В 1999—2002 гг. произошло существенное повышение производительности всего горно-транспортного оборудования, обусловленное главным образом увеличением объемов производства.

2002 г. превысила уровень 1990 г. более чем на 30 % (при повышении производительности на 13,3 %), локомотивов — на 35,5 %. Объемы перевозок из забоев автомобильным транспортом снизились в 1994 на 4,4 % по отношению к 1990 г. Эта тенденция сохранилась до 2001 г. В 2002 г. объемы перевозок автомобильным транспортом составили 62,4 % (в 1990 г. — 63,9 %). Удельный вес перевозок железнодорожным транспортом в 1994 и 1998 гг. существенно вырос, а в 2002 г. несколько снизился до 35,1 %, оставаясь заметно выше, чем в 1990 г. (28,8 %). При этом общие объемы перевозок на крупнейших ГОКах в 2002 г. достигли уровня 1990 г. Увеличение доли железнодорожного транспорта объясняется реализацией резервов по увеличению глубины ввода и числа прямых заездов железнодорожного транспорта в забой. Так, на Качканарском ГОКе в этот период с применением железнодорожного транспорта прямыми заездами была вскрыта так называемая Южная залежь. Известно, что железнодорожный транспорт является весьма капиталоемким.

Производительность и мощность горно-транспортного оборудования на карьерах 8 крупнейших ГОКов России

Показатель	1990 г.	1994г.	1998г.	2002 г.	2002 в % к 1990 г.
Среднесписочное число экскаваторов с ковшами вместимостью 10-15 м ³ , то же в % к общему числу экскаваторов	5,1	28,8	36,5	64,4	1260
	1,9	11,3	15,5	25,5	13,4
Вместимость ковша среднесписочного экскаватора, м ³	7,7	8,1	8,3	8,2	106,5
Количество автосамосвалов	470	368	295	268	57
Среднее число автосамосвалов грузоподъемностью более 100т	325	272	214	206	63
Средняя грузоподъемность автосамосвала, т	87,6	91,3	95,4	99,3	113,3
Количество локомотивов, в т.ч. тяговых агрегатов	276	281	240	288,4	82,7
	205	222	178	174	85
Годовая производительность локомотива, млн. ткм	13,6	10,5	12,5	18,4	135,3

Производительность автосамосвалов в При этом эксплуатационные расходы на него существенно ниже, чем на другие виды карьерного транспорта. И если инфраструктура железнодорожного транспорта на предприятии сформирована, а для увеличения глубины его ввода на нижележащие горизонты не требуется существенного увеличения парка подвижного состава и единовременных капитальных вложений, то в этих условиях другие виды транспорта по сравнению с железнодорожным неконкурентоспособны. Достаточно сказать, что себестоимость перевозок горной массы автотранспортом по сравнению с железнодорожным, например, в 1990 г. была выше в среднем в 5,2 раза. К 2000 г. это соотношение удалось снизить до 3,9 раза. Наибольшие объемы перевозок горной массы из забоев железнодорожным транспортом в 2002 г. были достигнуты на Лебединском, Михайловском и Качканарском ГОКах - соответственно 69,1, 60,9, 50,3 млн т. Максимальные объемы перевозок автомобильным транспортом были реализованы на Костомукшском, Михайловском и Оленегорском ГОКах - соответственно 61,4, 59,0, 45,7 млн т. Добыча железной руды в России с применением конвейерного транспорта осуществлялась на трех ГОКах — Оленегорском, Стойленском и Ковдорском. Максимальные объемы перевозок горной массы были достигнуты в 1990 г. (39,2 млн т). В 1994 г. объемы перевозок снизились на 30,1 % — до 27,4 млн т, при этом их доля в общих объемах несколько возросла. Суще-

ственный рост объемов произошел к 1999 г. За это время объемы перевозок горной массы с использованием конвейерного транспорта выросли на 8,3 млн т и удельный вес в целом по железорудным карьерам России возрос до 8,2 % по горной массе и до 17,7 % по руде.

Остановимся подробнее на тенденциях развития технического прогресса и совершенствования основных видов технологического карьерного транспорта на современном этапе.

Основным видом технологического транспорта при добыче полезных ископаемых открытым способом остается автомобильный. Он используется для перевозки примерно 80 % всей горной массы во всем мире, в т.ч. в США и Канаде — 85 %, в Южной Америке — 85 %, в Австралии — почти 100 %, в Южной Африке — более 90 %. В России и странах СНГ удельный вес карьерного автотранспорта с учетом всех подотраслей горнодобывающей промышленности приблизился к 75 % и в ближайшей перспективе будет расти за счет расширения открытого способа добычи угля [3]. Согласно данным СПГИ (ТУ) объемы перевозок автотранспортом в угольной подотрасли возрастут с 399 млн т в 2000 г. до 481 млн т в 2005 г., 577 млн т в 2010 и 636 млн т в 2015 г. При этом объемы в железорудной подотрасли и цветной металлургии останутся постоянными и составят соответственно 478 млн т и 518 млн т.

Считается, что «революционный период» в создании большегрузных самосвалов в це-

лом закончился. При этом основные компоновочные схемы отработаны, принципиальные конструктивно-технологические решения по основным узлам практически одинаковы для моделей, выпускаемых различными фирмами. Мировое производство карьерных автосамосвалов идет по эволюционному пути, основными чертами которого являются следующие:

- Дифференциация типоразмерного ряда по грузоподъемности самосвалов;
- Создание бортовых систем управления безопасностью и снижению энергозатрат, а также обеспечивающих получение информации о параметрах работы узлов и систем самосвала, перевозимой горной массе и др.;
- Повышение ресурса базовых конструкций;
- Создание комфортных условий для водителя;
- Обеспечение экологической безопасности транспортного процесса.

Некоторые специалисты считают, что одним из путей дальнейшего развития, повышения производительности и эффективности карьерного автомобильного транспорта является разработка и создание специализированного подвижного состава, удовлетворяющего условиям эксплуатации в глубоких карьерах, в частности, средств сборочного автотранспорта [4]. Другие считают, что создание таких моделей на современном этапе развития открытых горных работ не вызвано объективной необходимостью и значительно снизит область их применения [3]. Это извечный спор об универсализации и специализации средств карьерного транспорта. Представляется, что решение о создании специализированных моделей, тем более об их серийном производстве должно взвешенным и всесторонне обоснованным.

Необходимость гибкого подхода к формированию типоразмерного ряда, разработанного БелАЗом еще в 70-х годах прошлого века, вызвана тем, что он оказался слишком дискретным. Расширение типоразмерного ряда связано с появлением на рынке стран СНГ автосамосвалов производства зарубежных фирм с грузоподъемностью 90, 136 и 154 т. В условиях жесткой конкуренции это потребовало разработки соответствующих моделей самосвалов в ПО «БелАЗ», чтобы в большей степени удовлетворять требованиям потребителей — горнодобы-

вающих предприятий. Следует отметить, что ПО «БелАЗ» за сравнительно короткий период разработаны новые модели самосвалов БелАЗ-7547, БелАЗ-7528, БелАЗ-7555, БелАЗ-75131 и БелАЗ-75306 и их модификаций грузоподъемностью соответственно 36,45, 55-65, 130 и 220 т, а также опытные образцы с шарнирно-сочлененной рамой грузоподъемностью 36 и 280 т. На заводе разработан план модернизации, создания и внедрения новой техники на перспективу до 2010 г. При этом осваиваемые производством модели соответствуют мировым тенденциям развития средств карьерного транспорта, в их конструкции используются достижения российских и мировых фирм, поставляющих надежные агрегаты, узлы и материалы [5].

Компоновочные схемы современных карьерных самосвалов БелАЗ и ведущих зарубежных фирм практически одинаковы, и если отличаются, то только дизайном оперения, кабины и пр. Более 70 % всех карьерных самосвалов выполнены по классической схеме, когда все узлы и системы самосвалов монтируются на жесткой раме. По схеме с шарнирно-сочлененной рамой выпускаются самосвалы либо сравнительно небольшой грузоподъемности (до 40—50 т), либо очень большой — до 300—400 т.

Основной тенденцией развития средств карьерного автомобильного транспорта следует считать нарастание их грузоподъемности, сдерживаемое только мощностью двигателя и несущей способностью применяемых шин. О наличии потребности в автосамосвалах грузоподъемностью 500 т и более свидетельствует, например, объявленный в 2002 г. ведущей медедобывающей компанией Чили «Codelco» конкурс на разработку самосвала грузоподъемностью 560 т и более.

Основными типами трансмиссий, применяемых на карьерных автосамосвалах являются гидромеханическая (ГМТ) и электромеханическая (ЭМТ). Типы трансмиссий имеют значительные и принципиальные различия в конструктивном исполнении и можно говорить о традиционной и давней конкуренции между ними. При этом если на карьерных самосвалах грузоподъемностью 30—70 т варианты с применением ГМТ по существу безальтернативны, то для самосвалов большой и особо большой грузоподъемности такой однозначности в использовании ГМТ в приводе нет. Сдерживающими факторами

для получения подавляющего преимущества ГМТ являются следующие: низкий ресурс до капремонта узлов трансмиссии по сравнению с ЭМТ и возрастание общих издержек за период эксплуатации самосвала с ГМТ. В то же время при глубине карьеров 500 м и более самосвалы с ГМТ получают неоспоримое преимущество. Начиная с 1994—1995 гг. отмечена тенденция к возрастанию объемов сбыта самосвалов с ГМТ грузоподъемностью 110—220 т. Применение ЭМТ с использованием электродвигателей постоянного тока при создании автосамосвалов грузоподъемностью более 250 т вообще нецелесообразно. Обеспечение дальнейшего роста грузоподъемности карьерных автосамосвалов связывают с использованием приводов на переменном токе: на базе асинхронных, синхронных и индукторных двигателей. Одним из перспективных направлений улучшения основных показателей приводного оборудования является использование вентильного двигателя с системой возбуждения, основанной на постоянных магнитах.

Совсем недавно считалось, что основным фактором, ограничивающим применение современных автосамосвалов с дизель-электрическим приводом в глубоких карьерах, является перегрев тяговых генераторов и электродвигателей мотор-колес [4]. Благодаря значительному прогрессу в совершенствовании тягового привода карьерных самосвалов в последние годы эта проблема полностью решена. Автосамосвалы БелАЗ последних моделей могут работать без перегрева тяговых электродвигателей при высоте подъема горной массы 400 м и более.

Как правило, на современном этапе развития карьерного автотранспорта в качестве силовых установок применяются дизельные двигатели мощностью до 1120 кВт в сочетании с ГМТ — на автосамосвалах грузоподъемностью до 130—160 т, большей мощности — на самосвалах с ЭМТ грузоподъемностью свыше 180 т. Учитывая общие тенденции повышения производительности можно ожидать некоторое увеличение мощности силовых установок карьерных самосвалов с целью повышения технической скорости большинства машин на подъемах до 18 км/ч.

В настоящее время автомобильный транспорт при грузоподъемности 220 т и более может обеспечить практически любую производительность карьера по горной массе — до 200 млн. т в год и более [3].

Автомобильный транспорт, как транспорт рабочей зоны карьера, в наибольшей степени подвержен воздействию усложняющихся с глубиной горнотехнических условий разработки. Основным ограничением применения автомобильного транспорта на глубоких карьерах по-прежнему остается высокая себестоимость перевозки горной массы. Кроме того, карьерный автомобильный транспорт является основным источником негативного антропогенного воздействия на окружающую среду при открытых горных работах.

С целью расширения области применения автотранспорта в глубоких карьерах, повышения его эффективности не прекращаются поиски новых технологических схем, а также путей его развития и совершенствования. Одним из основных таких путей считается электрификация карьерного автотранспорта. Дизель-троллейбусный транспорт обеспечивает повышение производительности при транспортировании горной массы на 10—12 % при увеличении скорости движения на подъеме на 20—30 %, сокращение расхода дизельного топлива на 50—70 %, сокращение общей стоимости энергозатрат, улучшение санитарно-гигиенических условий работы в глубоких карьерах, сокращение эксплуатационных расходов на 15—20 %. Со стороны фирм-производителей горнотранспортного оборудования (в частности, фирмы SIEMAG) отмечается рост интереса к созданию наклонных автомобильных подъемников, применение которых позволит существенно снизить нагрузку на собственно карьерный автомобильный транспорт [6]. Объясняется это относительной простотой реализации этой схемы. При этом нет необходимости создавать принципиально новое оборудование за исключением грузонесущей рельсовой платформы. Рассматриваются два основных варианта исполнения наклонного автомобильного подъемника: со стационарной подъемной машиной и с автономным приводом. Большой недостаток первого — необходимость сооружения подъемного комплекса на нерабочем борту карьера, что связано с большими капитальными затратами сроками строительства (не менее 4 лет). Впрочем, этот недостаток компенсируется высокой надежностью и производительностью установки. Угол подъема может составлять до 75°. Второй вариант, например, разработанный специалистами Санкт-Петербур-

бургского горного института) компенсирует указанные недостатки за счет использования собственной силовой установки для подъема самосвала по наклонному рельсовому пути до пункта разгрузки горной массы. Однако установка в этом случае имеет значительно меньшую производительность и экологичность, большую загруженность узлов и систем автосамосвала.

В последние годы в ИГД УрО РАН возобновлены исследования вопросов технологической целесообразности и технической возможности создания и эффективности применения карьерных автотранспортных средств с комбинированными энергосиловыми установками (газотурбинный двигатель с аккумулятором энергии, гиро-троллейный, и др.). Эти принципиально новые средства позволяют повысить уклоны автодорог до 12 %, увеличить скорость движения в грузовом направлении до 25—30 км/час, значительно сократить загазованность рабочей зоны в 50—100 раз при одновременном снижении расхода дизельного топлива [7].

В последние годы обострилась необходимость в форсированной подготовке новых горизонтов, а также в новом оборудовании, которое могло бы работать с более высокими темпами понижения горных работ, открывая при этом доступ к новым глубоко залегающим запасам сырья. Не менее важной задачей является продление срока службы карьеров достигших своей проектной глубины, за счёт их углубки с минимальным разносом бортов и объёмом горнокапитальных (вскрышных) работ, а также в случае перехода от открытого способа разработки к подземному без остановки добычных работ и существенной потери мощности обогатительных фабрик. Особенно это актуально при разработке месторождений дорогостоящего сырья (например, для алмазодобывающих карьеров). В ИГД УрО РАН по заявкам компании «Алроса» и правительства Свердловской области ведутся научно-исследовательские работы по созданию специального, прежде всего, автотранспортного оборудования, отвечающего требованиям и условиям его работы в нижней зоне глубинного карьера и обладающего следующими качествами [8]:

1. Способностью работать в сложных горнотехнических условиях характеризуемых стеснённой рабочей зоной, обводнённостью и другими неблагоприятными факторами.

2. Возможностью преодоления крутых уклонов (до 25°) при низком качестве дорог (бездорожного покрытия).

3. Ремонтопригодностью при наличии соответствующего вспомогательного оборудования и техники для обслуживания и ремонта непосредственно в карьере.

4. Универсальностью для широкого применения и возможности решения различных задач по вскрытию наклонными и разрезными траншеями, форсированному разносу бортов и др.

5. Большой единичной мощностью агрегатов.

В современных условиях на крупных железорудных, угольных и асбестовых карьерах России и стран СНГ одним из основных видов технологического транспорта продолжает оставаться железнодорожный. Многолетний опыт применения электрифицированного железнодорожного транспорта на глубоких карьерах показывает его высокую эффективность при условии использования в предпочтительных горнотехнических условиях эксплуатации. Анализ научно-технических и проектных решений позволяет утверждать, что в перспективе как на действующих, так и на вновь разрабатываемых месторождениях большой производительности электрифицированный железнодорожный транспорт будет оставаться одним из главных. Основные преимущества электрифицированного железнодорожного транспорта следующие [9]:

- высокий средний эксплуатационный коэффициент полезного действия;
- экономичность (сравнительно низкая себестоимость перевозки горной массы) и надежность в эксплуатации;
- возможность значительной перегрузки электровозов;
- простота управления и ремонта;

Эти преимущества являются следствием централизованного питания электровозов энергией. Необходимо отметить, что централизованное энергоснабжение требует создания довольно крупной инфраструктуры (тяговые подстанции, контактная сеть и др.), что наряду с высокой стоимостью локомотивов и значительными объемами разноработ бортов карьеров для размещения коммуникаций обуславливает высокую капиталоёмкость железнодорожного транспорта.

Существенными преимуществами электрифицированного железнодорожного транспорта являются также экономия не-

восполняемого углеводородного сырья практически полное отсутствие загазованности карьера выхлопными газами, незначительная зависимость от климатических условий.

Вместе с тем, существует мнение, что именно расширенное использование железнодорожного транспорта стало причиной кризисов горнорудной промышленности, выразившегося в отставании вскрышных работ в 80-х годах прошлого века на крупных глубоких карьерах СССР [10]. Объясняется это якобы объективными причинами, основной из которых является сравнительно невысокий (в 1,8 и 6 раз меньше по сравнению с автомобильным и конвейерным соответственно) средний продольный уклон трассы железнодорожного транспорта 37 ‰. Представляется, что если тенденция увеличения отставания вскрышных работ вследствие использования железнодорожного транспорта и имела место, то в первую очередь это было связано с ошибками в его применении в конкретных горнотехнических условиях, неправильными решениями по вскрытию горизонтов карьеров. Это подтверждает пример применения железнодорожного транспорта на Лебединском ГОКе. Как известно, в период развития кризисных явлений при переходе к рыночной экономике стран СНГ только это горнодобывающее предприятие практически не снизило объемов добычи руды, в то время как на других крупных предприятиях это снижение было значительным. При этом на карьере Лебединского ГОКа нет проблемы отставания вскрышных работ. Во многом это объясняется правильными решениями по формированию транспортной системы карьера, когда рационально используются пространственные размеры и форма карьера. Глубокий ввод железнодорожного транспорта в карьер обеспечивается поэтапным повышением крутизны трасс. Горизонты последовательно вскрываются траншеями сначала с уклоном путей 30 ‰, затем 50 ‰ и, наконец, 60 ‰. При этом каждая траншея формирует группы станций, с которых в свою очередь отработывается то или иное направление. Рабочая зона вскрывается преимущественно прямыми заездами. Станции максимально связаны между собой, что придает гибкость схеме путевого развития, возможность как оперативного, так и долгосрочного перераспределения грузопотоков. Чтобы избежать размещения раздельных пунктов в ра-

бочей зоне и, как следствие, сдерживания развития горных работ, что характерно для многих карьеров, где применяется железнодорожный транспорт (например, карьеров Качканарского ГОКа), формирование схемы путевого развития производится поэтапно с временной консервацией бортов. Постоянная транспортная схема отстраивается постепенно по мере постановки бортов в предельное положение. Таким образом, эффективное применение железнодорожного транспорта на карьерах Лебединского и других ГОКов позволяет констатировать, что тенденция возможно более глубокого ввода железнодорожного транспорта в карьеры сохраняется и в современных условиях.

Основным направлением развития и совершенствования карьерного транспорта считается увеличение уклонов путей до 60—80 ‰, позволяющих увеличить глубину ввода железнодорожного транспорта в карьеры до 350—450 м, скорость его понижения в 1,4 раза, снизить суммарные затраты на транспортирование горной массы с глубины 300—350 м на 20—25 % [11]. В качестве перспективного решения некоторые исследователи предлагают тоннельное вскрытие [4, 11]. Реализация этого проекта в современных условиях представляется трудноосуществимой. Это связано, прежде всего, с тем, что он предусматривает значительные капитальные вложения и большой срок строительства тоннеля, что при принятии решений о развитии транспортной системы делает этот вариант заведомо неконкурентоспособным.

Если интенсивное развитие средств автомобильного карьерного транспорта, в особенности в последние 10—15 лет, во многом связано с острой конкуренцией на мировом рынке большегрузных автосамосвалов, то в силу ограниченного применения на зарубежных карьерах железнодорожного транспорта такой конкуренции нет. В настоящее время на глубоких карьерах широкое распространение нашли электровозы и тяговые агрегаты с напряжением 1,65 и 3,3 кВ постоянного тока и 10 кВ переменного тока. Существующие типы тяговых средств по своему техническому уровню и перспективным технологическим требованиям не обеспечивают эффективную их эксплуатацию в глубинной зоне карьера. Достаточно сказать, что проектные решения по ним формировались в середине прошло-

го века. Срок эксплуатации многих локомотивов значительно превышает нормативный. На Качканарском ГОКе 19 тяговых агрегатов EL-10 имеют срок эксплуатации почти в 2 раза превосходящих нормативный. Положение не спасает начавшийся серийный выпуск модернизированного тягового агрегата НП-1 (Качканарский и Лебединский ГОКи закупили к настоящему времени около десятка таких агрегатов). Дело в том, что новшества, примененные в конструкции НП-1, лишь несколько облегчают эксплуатацию агрегата и увеличивают реализуемую силу тяги на 8 % . Принципиально новые локомотивы для открытых горных разработок могут быть созданы на основе применения асинхронных и индукторных тяговых двигателей. Это позволит увеличить их мощность на 25—30 %, на 30 % полезную массу и на 19 % производительность, снизить энергетические затраты на подъем горной массы на 6 % при уклонах 60 ‰ и на 13 % при уклонах 150 ‰, объемы горно-капитальных работ, а также улучшить экологическую обстановку в глубинной зоне карьера.

Одним из определяющих ограничений расширенного применения железнодорожного транспорта с повышенными уклонами железнодорожных путей является значительная величина нормативного тормозного пути на руководящем уклоне путей, которая была обоснована также в середине прошлого века. Между тем есть разработки, позволяющие за счет применения принципиально новых локомотивных и вагонных тормозных колодок, легированных фосфором, сократить тормозной путь в 1,5—2,0 раза. При этом срок службы колодок в 2,0—2,5 раза выше применяемых в настоящее время, а износ бандажей колесных пар сокращается в 1,3—1,5 раза [12].

Третьим основным видом технологического карьерного транспорта является конвейерный. Объемы транспортирования горной массы с использованием конвейерного транспорта на предприятиях Канады, США, Австралии, Чили и других стран в настоящее время составляют до 50 % от общего объема добычи минерального сырья. Эффективность применения конвейерного транспорта доказана многочисленными научными и проектными разработками и, отчасти, опытом эксплуатации на карьерах России, Украины, Узбекистана. В настоящее время его применяют на Оленегорском и Ковдорском ГОКах (Россия), Полтавском,

Южном, Ингулецком, Центральном, Новокриворожском и Северном ГОКах (Украина), Навоийский ГМК (Узбекистан). Вместе с тем, доля конвейерного транспорта не превышает 10 % в общих объемах перевозки скальной горной массы на карьерах стран СНГ. Проблема заключается в различии технологических подходов. Дело в том, что на зарубежных предприятиях применение конвейерного транспорта изначально было ориентировано на полуперемещаемые дробильные установки с последующим переходом на передвижные. В противоположность этому конвейерные комплексы на горных предприятиях стран СНГ были построены со стационарными дробильными корпусами, что в некоторых случаях становилось препятствием для дальнейшего развития карьера. Характерным примером может служить прекращение в 2000 г. эксплуатации комплекса циклично-поточной технологии (ЦПТ) на карьере Стойленского ГОКа по этой причине. На Полтавском ГОКе после многолетней эксплуатации дробильной установки с ограниченной мобильностью вынуждены были перейти на использование передвижного дробильного агрегата фирмы «Krupp Fordertechnik», что позволило снизить высоту подъема горной массы автотранспортом до 107 м, и высвободить 9 автосамосвалов. Следует отметить, что зачастую негативный опыт применения ЦПТ связан не столько с техническими недостатками собственно конвейерного транспорта, сколько с нерациональными конкретными решениями по выбору способов вскрытия горизонтов карьера под конвейерные подъемники. В технологических схемах с открытым размещением конвейеров стационарные и передвижные дробильно-перегрузочные комплексы примыкают непосредственно к стационарным конвейерным подъемникам, что требует дополнительного разгона бортов карьера или оставления постоянных целиков под площадки для их размещения. Разнос бортов карьера увеличивает объем вскрыши, в целиках пород теряется часть полезного ископаемого, что снижает конкурентоспособность конвейерного транспорта. В ИГД УрО РАН разработаны способы вскрытия горизонтов, устраняющие эти недостатки, в частности, за счет совмещения предохранительных и транспортных берм [13]. И все же основной тенденцией для разработки глубоких горизонтов карьеров с применением конвейерного транспорта яв-

ляется переход от стационарных дробильно-перегрузочных пунктов к передвижным дробильно-перегрузочным комплексам, за счет мобильности которых обеспечивается приближение конвейерного транспорта к интенсивно развивающейся рабочей зоне карьера путем оперативного переноса блоков комплексов по мере углубления горных работ. Схемы ЦПТ с передвижными дробильно-перегрузочными комплексами в блочном исполнении позволяют повысить адаптивность транспортной системы карьера к изменяющимся горно-техническим условиям разработки и позволяют перейти в перспективе на гибкие перенастраиваемые технологии.

Другим важным направлением повышения эффективности и конкурентоспособности конвейерного транспорта является использование крутонаклонных конвейеров. В ИГД УрО РАН выполнен большой объем исследований по обоснованию сфер рационального применения таких конвейерных подъемников, а также разработке их оптимальной конструкции [14].

Если говорить о позитивном опыте строительства и эксплуатации конвейерной транспортной системы в странах СНГ, то наибольший интерес представляет, прежде всего, применение ЦПТ на карьере Мурунтау (Навоийский ГМК, Узбекистан) [15]. Здесь до дробильно-перегрузочного пункта порода доставляется автосамосвалами грузоподъемностью 136 т, а после дробления — двумя конвейерными линиями по четыре в каждой (каскадная схема) с шириной ленты 2000 мм транспортируется через отвалообразователь в отвалы. С целью адаптации к различиям в режимах работы циклического и поточного звеньев применяются временные аккумулирующие склады. На третьем этапе формирования транспортной системы карьера предусмотрено введение в состав комплекса автономных модулей-перегрузателей с крутонаклонными (до 40°) конвейерами, а также с компактными дробильно-перегрузочными пунктами в комплекте с горизонтальными и слабонаклонными сборочными конвейерами.

Заслуживает внимания развитие представлений о стратегии развития транспортных систем глубоких карьеров. Существующая основная концептуальная схема формирования транспортных систем глубоких карьеров сформулирована член-корр. Яковлевым В.Л. и заключается в одновременном

применении нескольких видов транспорта, их комбинаций и переходе от одних схем транспортирования к другим. При этом области эффективного применения различных видов транспорта вполне определенно зонированы для различных горно-технических условий, в частности, по высоте подъема, расстоянию транспортирования горной массы и т.п. [16]. Эти зоны хотя и отличаются по высоте для различных групп карьеров, имеют определенные границы, что позволяет говорить о предпочтительных условиях применения различных видов и схем транспорта в глубоких карьерах. Это, в свою очередь, определяет момент перехода на другой вид транспорта или применение комбинации отдельных видов транспорта. Применение многотранспортных систем на карьерах становится целесообразным тогда, когда условия среды изменяются настолько, что система уже неспособна обеспечить эффективную реакцию, так как последняя находится за пределами адаптивности отдельных видов транспорта. Вместе с тем, логично сделать предположение, что отдельные виды карьерного транспорта и их комбинации в отношении адаптивности к условиям среды также развиваются неравномерно (об этом свидетельствует и накопленный эмпирический материал). Изменениям подвержена и динамика условий внешней среды. В первую очередь это касается смены экономического аттрактора (пути развития), необходимости адаптации транспортных систем в постбифуркационный период. Практика эксплуатации и многочисленные исследования свидетельствуют о том, что единственной реальной альтернативой применению многотранспортных систем на глубоких карьерах в обозримом будущем может быть использование технологического автотранспорта. Подробный анализ изменений ограничений на основные виды карьерного транспорта еще предстоит, а потому остановимся на уже установленных и очевидных тенденциях. Лучшая адаптивность автотранспорта к рыночным условиям определяется структурой основных фондов — значительно большей долей активной части по сравнению с другими видами транспорта; возможностью работы на различных источниках энергии; обеспечением высокой интенсивности ведения работ, а, соответственно, и производительности карьера; автономностью и гибкостью; меньшей зависимостью технико-экономических показателей по сравнению с другими видами транспорта. Это подтверждает фактическое снятие ограничений высоты подъема горной массы по

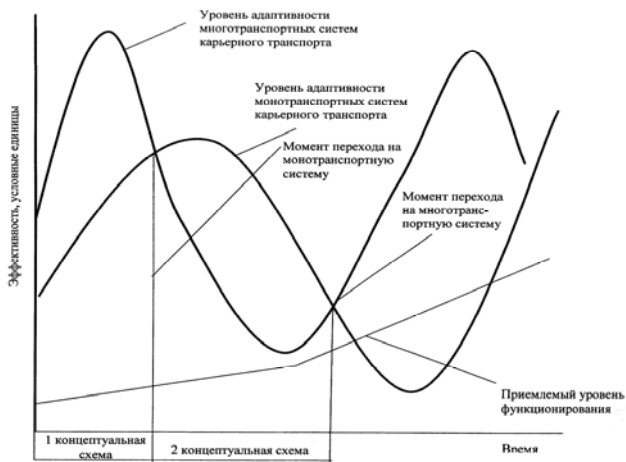


Рис. 1. Объяснительная схема смены парадигм формирования транспортных систем карьеров

условию перегрева двигателя для современных автосамосвалов с электромеханической трансмиссией для условий большинства карьеров. Диапазон рационального использования автомобильного транспорта как самостоятельного постоянно растёт и составляет в настоящее время: по расстоянию транспортирования — до 4 км; по глубине карьера — 250—300 м, по производительности — до 60 млн. т в год. Вместе с тем, сохраняются ведущее ограничение, связанное со сравнительно высокой себестоимостью перевозки горной массы. Кроме того, автомобильный транспорт по-прежнему остаётся основным источником негативного антропогенного воздействия на окружающую среду при открытой разработке месторождений. Снятие этих ограничений возможно при разработке и применении карьерных автотранспортных средств с комбинированными энергосиловыми установками (газотурбинный двигатель с аккумулятором энергии, гиро-троллейный и т.п.). Эти принципиально новые средства позволяют повысить уклоны автодорог до 12 %, увеличить скорость движения в грузовом направлении до 25—30 км/час, значительно сократить загазованность рабочей зоны при одновременном снижении расхода дизельного топлива. Имеются предпосылки разработки и других ресурсосберегающих технологий с использованием карьерного автомобильного транспорта в том числе и инновационных безтопливных. Кроме того, по прогнозным данным института ВИМС большинство месторождений, предполагаемых к вовлечению в разработку в долгосрочной перспективе, будут иметь глубину не более 300—350 м. Если исходить из опыта применения

большегрузных автосамосвалов, а также ограничений по тепловым режимам тягового электрооборудования, это вполне приемлемо для отработки таких карьеров полностью на автомобильный транспорт.

Факторы, обуславливающие адаптацию транспортных систем карьеров подвержены изменениям, которые при определенных условиях могут быть весьма динамичными (например, при изменении экономического базиса). Соответствующие изменения претерпе-

вают и пределы адаптивности отдельных видов транспорта. Эволюционные процессы могут представляться как поступательное движение, как замкнутые циклы, маятниковые колебания, стационарные состояния, скачкообразное развитие. Существующая парадигма формирования транспортных систем глубоких карьеров, заключающаяся в одновременном применении нескольких видов транспорта, их комбинаций и переход от одних схем транспорта к другим, по-видимому, сохранится для действующих карьеров до конца их отработки в силу большой инерционности таких систем. Что касается долгосрочной перспективы, то возможна смена парадигмы, выраженная в преимущественном использовании монотранспортных систем, в первую очередь автотранспорта. В отдаленной перспективе возможен возврат к доминирующему применению многотранспортных систем, связанный, например, с достижением критического уровня цен на углеводородное сырье. В этом случае можно говорить о маятниковом характере смены парадигм или даже о замкнутом цикле развития транспортных систем карьеров (рис. 1). Это может привести в дальнейшем к коренным структурным изменениям в стратегии формирования транспортных систем карьеров и идеологии создания новых транспортных средств.

Одна из основных особенностей формирования сложных транспортных систем карьеров состоит в том, что технико-экономические расчёты и принимаемые при проектировании решения и носят долгосрочный характер с длительностью периода оценки вплоть до полной отработки месторождения

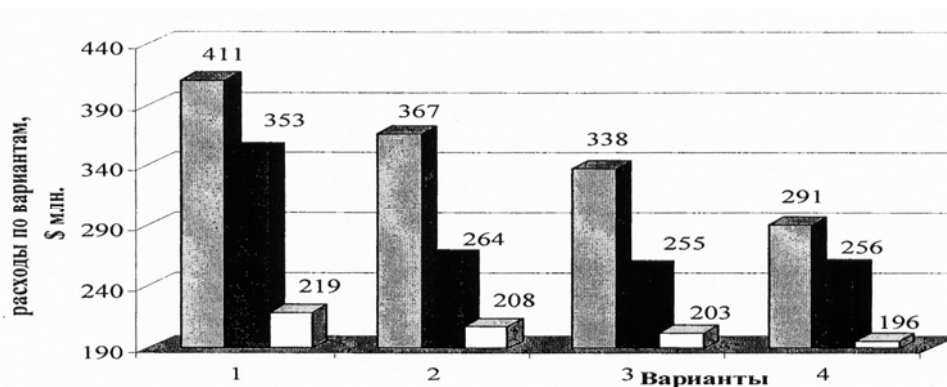


Рис. 2. Экономическое сравнение вариантов транспортирования вскрыши. Ин-ГОК (2000—2010 гг.)

— 30—40 лет и более. Вместе с тем, максимум того, что позволяют иногда себе специалисты в настоящее время, это строить планы и прогнозы развития транспортных систем карьеров на 10—15 лет. Практика применения утвержденной методики оценки инвестиционных проектов показывает, что применяемые при этом коэффициенты дисконтирования таковы, что при периоде оценки более 7—10 лет отдельные платежи оказывают незначительное влияние на величину интегральных критериев оценки. В качестве примера приведена динамика нынешней стоимости расходов в вариантах развития транспортной системы карьера Ингулецкого ГОКа за 10 лет — с 2000 по 2010 гг. (рис. 2). Если фактические расходы 1 и 4 вариантов отличаются на 41 %, то рассчитанная с учётом дисконтирования нынешняя стоимость расходов всего на 11,7 %. Для соседних 3 и 4 вариантов фактические расходы отличаются на 16,1 %. Нынешняя же стоимость расходов отличаются лишь на 3,5 %. Подобные результаты получены при сравнении вариантов транспортирования для других карьеров с использованием утверждённых и применяемых в настоящее время критериев оценки инвестиционных проектов. При допустимой точности таких расчётов 10 % эти критерии, учитывающие дисконтирование затрат, мало пригодны для принятия адекватных решений по долгосрочному формированию транспортных систем карьеров. В связи с этим в последние годы активизировались исследования по поиску дополнительных физических критериев оценки эффективности транспортных систем глубоких карьеров [4]. Одним из таких критериев может быть величина удельных затрат на подъем 1 т

горной массы из карьера, приведенных к первичным энергоресурсам — условному топливу. Установлено, например, что в условиях глубоких карьеров энергетическая эффективность конвейерного транспорта в 1,9—2,2 раза выше, чем электрифицированного железнодорожного и в 2,4—3,0 раза выше, чем автомобильного. Использование физических критериев имеет определенные преимущества перед денежной оценкой транспортных систем, т.к. они не подвержены инфляции и волюнтаристскому вмешательству. Вместе с тем, физические оценки не подменяют, а дополняют денежные.

Как известно, карьерный автомобильный транспорт является основным источником загрязнения окружающей среды. Вместе с тем, расчеты показывают, что размеры потерь от загрязнения окружающей среды, рассчитанные с использованием уже существующих критериев не могут оказать существенного влияния на принятие решений по вариантам инвестиционных проектов. С целью повышения инвестиционной привлекательности мероприятий по экологизации открытых горных работ представляется целесообразным использовать в качестве критерия оценки потерь от загрязнения расчетное значение «потерь годовых доходов» из-за простоев горнотранспортного оборудования. Особенно это актуально для алмазодобывающих карьеров, имеющих большую глубину (500 м и более) и относительно небольшие размеры в плане, где простои оборудования составляют до 1500 часов в год.

Таким образом, приходится констатировать, что сложилось противоречие между необходимостью принятия эффективных стратегических решений при реализации

инвестиционных проектов формирования транспортных систем карьеров и возможностями научно-методической базы.

Приведенные материалы отнюдь не претендуют на всесторонность и полноту освещения вопросов современного карьерного

транспорта. В рамках одной публикации это невозможно. Вместе с тем, представляется, что основные тенденции развития и совершенствования карьерного транспорта на новом этапе развития открытых горных работ нашли здесь свое отражение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников Н.Н., Решетняк С.П. Перспективы решения научных проблем при разработке мощных глубоких карьеров // Горное дело: ИГД СО РАН. - Якутск, 1994. - С. 14—23.
2. *Состояние* и особенности развития горнодобывающего комплекса России. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН. — 2003 — 428 с.
3. *Карьерный* автотранспорт: состояние и перспективы / Мариев П.Л., Кулешов А.А., Егоров А.Н., Зырянов И.В. — СПб: Наука, 2004. — 429 с.
4. *Лель Ю.И.* Теоретические основы выбора карьерного транспорта рудных карьеров. — Дис. д-ра техн. наук / ИГД им. Скочинского. — М.: — 1978. — 421 с.
5. *Мариев П.Л., Егоров А.Н., Клименюк В.И.* БелАЗ — горному производству // Горн. журн. — 2000. — № 1.
6. *Яковлев В.Л., Бахтурин Ю.А., Столяров В.Ф.* Некоторые перспективные направления исследований в области карьерного транспорта // Материалы международной научно-технической конференции по карьерному транспорту. - Екатеринбург, 2002. - С. 15-20.
7. *Яковлев В.Л., Тарасов П.И.* О возможности создания карьерных автосамосвалов с комбинированной энергосиловой установкой // Горный журнал. — 2004. — Спец. выпуск.
8. Тарасов П.И. Предпосылки создания новых углубочных комплексов // Научно-техническое обеспечение горного производства: Сб. науч. тр. / ИГД им. Кунаева, Казахстан. — Алматы, 2004. — Том 68. — С. 190—195.
9. *Яковлев В.Л., Витязев О.В.* Основные направления энергосбережения на карьерном железнодорожном транспорте // Горн. журн. — 2004. — № 10. — С. 66—68.
10. *Столяров В.Ф.* Проблема циклично-поточной технологии глубоких карьеров. — Екатеринбург: Уро РАН, — 2004. — 232 с.
11. *Яковлев В.Л., Фесенко С.Л., Неугодинов Д.Н.* Перспективные способы крутонаклонного подъема горной массы рельсовым транспортом // Карьерный транспорт: проблемы и решения. — Екатеринбург, 2001. — С.38—43.
12. *Яковлев В.Л., Попов В.Ю., Котяшев А.А., Коснарев Е.С.* Повышение безопасности и эффективности эксплуатации железнодорожного транспорта в условиях открытых горных разработок // Проблемы карьерного транспорта: Материалы международной науч.-техн. конф. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН. — 2002. — С.94—97.
13. *Яковлев В.Л., Смирнов В.П., Берсенева В.А.* Устройство дробильно-конвейерных комплексов на глубоких карьерах. - Екатеринбург: ИГД УрО РАН. — 2003. — 42 с.
14. *Яковлев В.Л., Тюлькин В.П., Кармаев Г.Д.* Технологические аспекты применения крутонаклонных конвейеров в горнорудной промышленности // Горный информационно-аналитический вестник. — М: МГТУ—МГИ, — 2002. — С. 211—217.
15. *Мальгин О.Н., Сытенков В.Н., Шеметов П. А.* Циклично-поточная технология в глубоких карьерах. — Ташкент: ФАН, — 2004. — 337 с.
16. *Яковлев В.Л.* Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров. — Новосибирск: Наука, 1989. — 240 с. **ИДБ**

Коротко об авторе

Бахтурин Ю.А. – кандидат технических наук, ИГД УрО РАН, direct@igd.uran.ru

