

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.684

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО ПОДХОДА К ВЫБОРУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ АЛМАЗОРУДНЫХ КАРЬЕРОВ ЯКУТИИ

В. Л. Яковлев¹, И. В. Зырянов², А. Г. Журавлев¹, В. А. Черепанов¹

¹Институт горного дела УрО РАН, E-mail: direct@igduran.ru, juravlev@igduran.ru,
ул. Мамина-Сибиряка, 58, 620219, г. Екатеринбург, Россия

²Институт “Якутнипроалмаз” АК “АЛРОСА” (ПАО), E-mail: zyryanoviv@alrosa.ru,
ул. Ленина, 39, 678174, г. Мирный, Республика Саха (Якутия), Россия

Представлены результаты работы над научно-технической базой проектирования карьерного транспорта для национального стандарта, инициированного компанией “АЛРОСА” в 2015 г. Выполнен анализ опыта проектирования и эксплуатации транспортных систем алмазородных карьеров криолитозоны. Определены предпочтительные условия эксплуатации различных видов карьерного транспорта с учетом особенностей алмазородных карьеров. Обосновано последовательное формирование транспортной системы карьера в течение всего срока отработки месторождения. Применение такого подхода требует использования информационных технологий проектирования транспортных систем, в том числе компьютерное моделирование, многовариантный подход, учет вариативности большого количества факторов.

Транспортная система карьера, промышленный транспорт, вскрытие, область применения транспорта, алмазородные месторождения криолитозоны

DOI: 10.15372/FTPRPI20180611

Разработка алмазородных месторождений в экстремальных климатических и горнотехнических условиях требует постоянного совершенствования технологий с применением современной техники. Нарастает разрыв между современными апробированными эффективными подходами и требованиями нормативно-технической базы проектирования горнодобывающих предприятий, не менявшейся с 1980-х гг. (ВНТП 35-86). Именно поэтому ИГД УрО РАН и Институтом “Якутнипроалмаз” компании “АЛРОСА” инициирована разработка национального стандарта “Разработка алмазородных месторождений открытым способом в криолитозоне. Требования к проектированию”, результаты работы над которым в части карьерного транспорта представлены ниже.

Работа выполнена с использованием результатов исследований по государственному заданию № 007-00293-18-00. Тема № 0405-2018-0015.

Добыча открытым способом на глубинах 500–700 м, к которым подошли алмазородные карьеры криолитозоны, неэффективна при сохранении устаревших требований к проектированию. Особенно остро это сказывается на карьерном транспорте, который на этапе эксплуатации месторождения формирует до 50 % себестоимости добычи товарной руды и неразрывно связан с параметрами карьера и режимом горных работ.

Уникальность условий разработки алмазородных месторождений в криолитозоне обусловлена природными условиями районов с суровым климатом; сложностью и многообразием геологических характеристик залежей и вмещающих пород отдельных месторождений; отсутствием развитой инфраструктуры (главным образом, транспортной) в районах расположения большинства месторождений; отсутствием в регионе предприятий по разработке мощных месторождений других видов минерального сырья, что не позволяет формировать объединенные территориальные комплексы; наличием беднотоварных и/или малообъемных месторождений с низким содержанием или малыми запасами алмазов, удаленных от действующих пунктов переработки кимберлитовой руды; необходимостью учета небольших размеров в плане и значительной глубины месторождений, когда доля дополнительных объемов вскрышных работ за счет увеличения угла откоса бортов карьера существенна.

В научно-методическом плане решение транспортной проблемы глубоких карьеров имеет следующую специфику: вместо задачи о выборе вида транспорта (по технико-экономическим критериям) необходимо обоснование последовательного формирования транспортных систем карьеров в течение всего срока отработки месторождения (табл. 1) [1, 2].

ТАБЛИЦА 1. Принципы формирования транспортных систем глубоких карьеров

Принцип	Способ реализации
Оптимизация параметров транспортной системы карьера в течение всего срока разработки месторождения	Системный подход к оценке эффективности видов и схем транспорта Поэтапная оптимизация на основе технико-экономических критериев Учет динамики технико-экономических показателей
Обеспечение соответствия транспортной системы карьера изменяющимся горно-техническим условиям разработки месторождения	Дифференциация горнотехнических условий разработки по глубине карьера Учет изменения величины и направления грузопотоков полезного ископаемого и вскрыши в процессе эксплуатации карьера Комплексное решение схемы вскрытия и транспортной системы карьера в увязке с обоснованием промежуточных и конечных контуров карьера
Обеспечение единства функционирования технологических процессов добычи, транспортировки, переработки и складирования руд и пород	Учет взаимодействия отдельных видов транспорта между собой и с технологией смежных процессов Обеспечение способности транспортной системы к адаптации

Цель исследований — обосновать подход к выбору вида карьерного транспорта для алмазородных карьеров в криолитозоне, обеспечивающий стабильное функционирование карьеров и ГОКов по мере углубки и неоднократной реконструкции карьеров (этапности отработки); минимизацию объемов вскрыши при отработке карьеров на большую глубину; снижение затрат на транспортирование горной массы; высокие темпы ведения горных работ.

Практика показала, что в обстановке отсутствия разветвленной транспортной инфраструктуры Якутии, высоких темпов понижения горных работ и наличия богатых месторождений высокоценного сырья целесообразно применение автомобильного карьерного транспорта в расширенном

диапазоне условий эксплуатации (высота подъема до 600–750 м, дальность транспортирования до 20 км). Однако переход к освоению беднотоварных месторождений (с невысоким содержанием полезного ископаемого) требует искать более экономичные схемы транспортирования.

В настоящее время на алмазородных карьерах в криолитозоне (АК “АЛРОСА”) сформировалась следующая практика использования автомобильного транспорта (рис. 1). Исторически сложилась ориентация на карьерные автосамосвалы (КАС) с колесной формулой 4×2 (задний привод) грузоподъемностью 45–136 т.

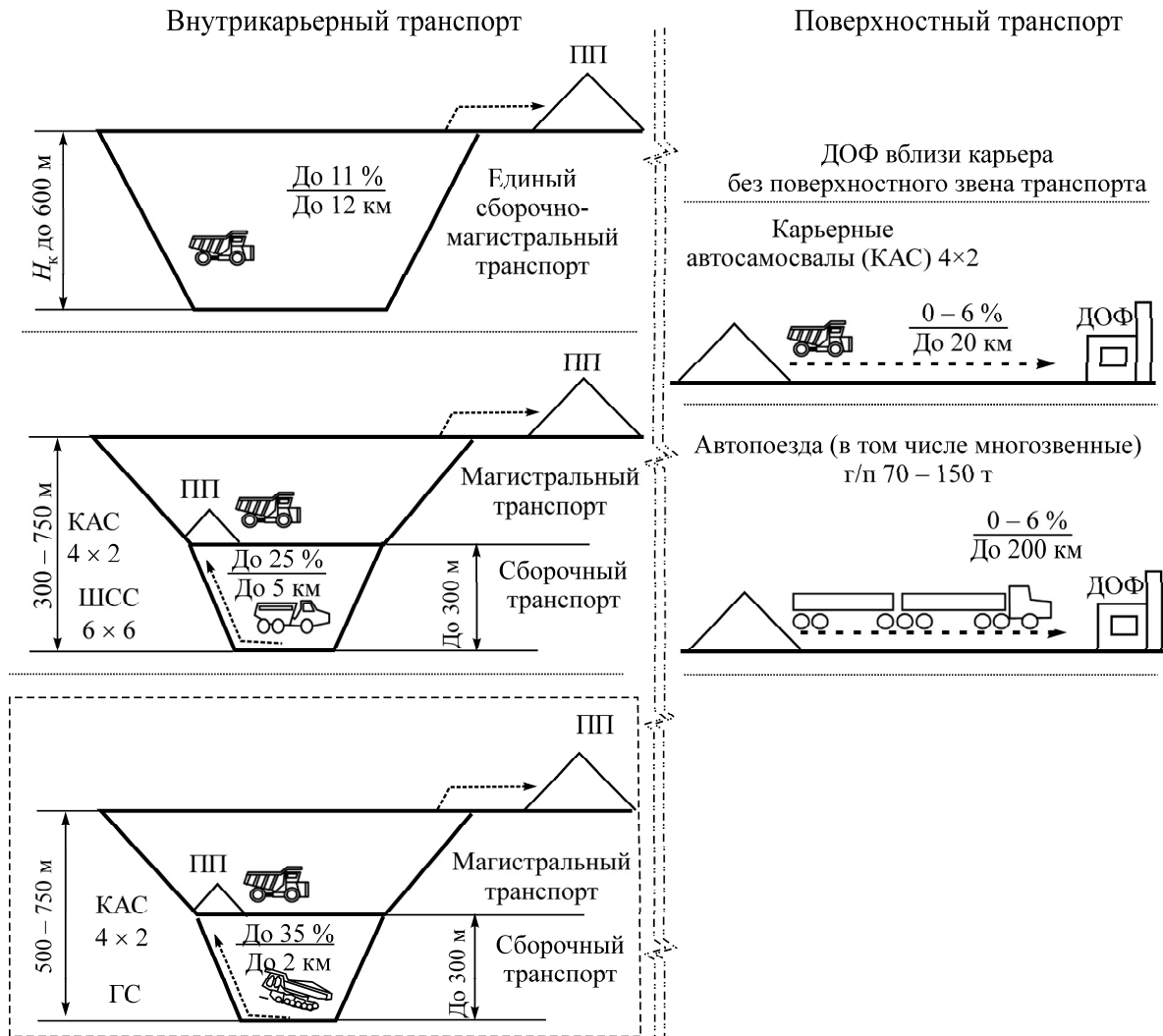


Рис. 1. Практика применения автомобильного транспорта на карьерах АК “АЛРОСА” (с учетом перспективы на 20 лет): “11 % / 12 км” — условия транспортирования: уклон до 11 %, дальность до 12 км; ШСС 6×6 — шарнирно-сочлененный автосамосвал с колесной формулой 6×6; ГС — гусеничный самосвал; ДОФ — дробильно-обогащительная фабрика; ПП — перегрузочный пункт (внутрикарьерный либо промежуточный рудный склад на поверхности); H_k — глубина карьера

До недавнего времени на карьерах АК “АЛРОСА” не было четкого разделения на внутрикарьерный и поверхностный транспорт, доставка руды на фабрику осуществлялась либо напрямую карьерным транспортом из забоев, либо от промежуточных рудных складов карьерными автосамосвалами. В связи с необходимостью освоения большого количества беднотовар-

ных месторождений (ценность руды в которых ниже уровня, рентабельного для строительства обогатительной фабрики вблизи карьера) и которые, как правило, расположены на удалении 20–200 км от существующих обогатительных мощностей, возникла необходимость ввода магистрального звена транспорта для снижения затрат. Расчеты ИГД УрО РАН показали, что наиболее экономичным видом транспорта для перевозки руды от удаленных кимберлитовых месторождений к существующим обогатительным фабрикам являются магистральные автопоезда грузоподъемностью 90–150 т (рис. 2) [3]. Прогнозировалось снижение себестоимости тонно-километра в 2 раза по сравнению с карьерными автосамосвалами. Опытно-промышленная эксплуатация автопоездов полностью это подтвердила.

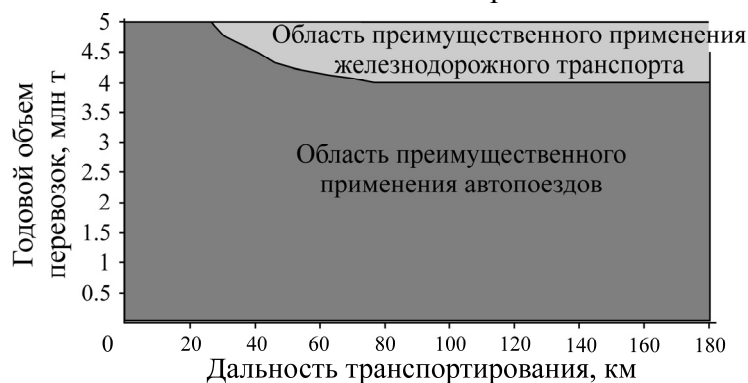


Рис. 2. Область применения магистральных видов транспорта при транспортировке руды от удаленных кимберлитовых месторождений Западной Якутии

Начиная с 2012 г. проводятся опытно-промышленные испытания автопоездов на базе грузовых автомобилей общего назначения для магистральной перевозки руды по поверхности от промежуточных рудных складов карьеров до обогатительных фабрик. Так, организован участок по перевозке руды от карьера “Зарница” Удачинского ГОКа до обогатительной фабрики № 12 [4].

В 2005 г. Институт “Якутнипроалмаз” АК “АЛРОСА” с привлечением ИГД УрО РАН начинает научно-исследовательские и опытно-промышленные работы по внедрению крутонаклонного вскрытия месторождений с использованием полноприводных автосамосвалов, а в перспективе — гусеничных самосвалов [5–8]. Область применения для данной технологии полноприводных шарнирно-сочлененных самосвалов ограничена 300–500 м по высоте подъема (дальность транспортирования до 5 км) с уклонами 15–25 %, однако при наличии положительного опыта эксплуатации возможно расширение.

Гусеничные самосвалы эффективны для крутонаклонных съездов с уклонами выше, чем могут преодолевать пневмоколесные полноприводные самосвалы — 25–30 % и более. Как правило, при доработке карьера они могут использоваться в качестве сборочного звена с перегрузкой горной массы в карьерные автосамосвалы или иной магистральный транспорт, доставляющий руду на поверхность.

Тягово-динамические расчеты показали, что при уклонах съездов до 15–18 % большую производительность имеют шарнирно-сочлененные самосвалы, при больших уклонах скорость ограничена не особенностями ходовой части, а мощностью двигателя из-за высоких тяговых усилий на крутонаклонных съездах. При уклонах более 25 % применение шарнирно-сочлененных самосвалов затруднительно из-за большой вероятности буксования или сноса самосвала с дороги, поэтому в данных условиях наилучшие показатели обеспечат гусеничные самосвалы. При проектировании применения полноприводных пневмоколесных и гусеничных самосвалов необходимо ориентироваться на обеспечение специальных мер безопасности [9].

С 2012 г. АК “АЛРОСА” на карьере “Удачный” осуществляет опытно-промышленное освоение такой технологии крутонаклонного вскрытия глубоких горизонтов карьеров с применением для транспортирования горной массы по автодорогам с уклоном до 25 % полноприводных шарнирно-сочлененных автосамосвалов [10]. С 2014 г. самосвалы проходили опытную эксплуатацию в режиме дистанционного управления (ДУ) при работе в опасной зоне карьера. Опыт подтвердил реализуемость технологии [11–15], при этом требуют решения вопросы обеспечения ритмичности работы самосвалов, особенно в режиме ДУ, обеспечения расчетной производительности и безопасных схем работы на крутонаклонных съездах [16]. Перспективы данной технологии связаны также с использованием для работы на крутонаклонных съездах с уклонами до 30–35 % специальных гусеничных самосвалов.

Научными и проектными организациями предлагались и другие варианты развития транспортных систем алмазородных карьеров АК “АЛРОСА”: циклично-поточная технология (планировалось внедрение на карьере “Удачный”, проводились опытно-промышленные испытания безвзрывной выемки руды с помощью роторного экскаватора); наклонные автомобильные подъемники (исследовался вариант крутонаклонного подъема груженых автосамосвалов из рабочей зоны карьера на поверхность подъемником специальной конструкции, расположенным на борту карьера “Юбилейный”); троллейвозный и дизель-троллейвозный транспорт (проходил испытания опытный образец троллейно-аккумуляторного самосвала на базе МА3-525 на карьере “Мир”, рассматривались варианты доставки руды от карьера “Зарница” на расстояние до 20 км) [17]; грузовая подвесная канатная дорога (ГПКД) для доставки руды на удаленные расстояния, в том числе для карьера “Зарница” [17, 18]. Проводилось экспериментальное опробование технологий выбуривания руды скважинами большого диаметра [19], однако эти технологии оказались дорогостоящими и малопродуктивными.

Не теряет актуальности вопрос безвзрывной выемки алмазоносной руды. Институтом “Якутнипроалмаз” прорабатывались разные варианты, в том числе параметры технологии, основанной на применении фрезерных комбайнов (эта технология нашла некоторое применение в современной практике для некрепких пород). В научно-технической литературе встречаются также другие способы, например в [20] описывается технология и оборудование для безвзрывной добычи, рассмотрена возможность использования бункерных перегрузочных пунктов с вибрационным выпуском при комбинированном автомобильном транспорте.

Комплексные исследования, выполненные ИГД УрО РАН и Институтом “Якутнипроалмаз” по выбору транспорта для магистральных перевозок руды [3], показали, что с учетом региональных, горно-технических, сезонно-климатических, инфраструктурных особенностей области применения по видам транспорта применительно к алмазородным месторождениям в криолитозоне существенно корректируются. Это справедливо и для внутрикарьерного транспорта.

С целью предварительного отбора вариантов транспорта для дальнейшего сравнения рекомендуется использовать данные табл. 2, а далее по каждому из выбранных вариантов проводить детальные расчеты с вариативными параметрами.

Необходимо отметить, что специфические виды транспорта (ГПКД, подвесные конвейеры, канатно-ленточные конвейеры и др.) не следует исключать из рассмотрения. Их эффективность в определенных горнотехнических или рельефных условиях подтверждается рядом современных исследований. В частности, в [21] показано, в каких условиях эффективнее работает канатно-ленточный конвейер, а в каких ГПКД на месторождениях Кольского полуострова.

ТАБЛИЦА 2. Области применения видов транспорта для внутрикарьерных перевозок на алмазорудных карьерах в криолитозоне

Транспорт	Горнотехнические и производственные условия и факторы					
	Высота подъема, м	Расстояние транспортирования (кроме того, на поверхности), км	Грузооборот годовой, млн т	Требуемая скорость углубки, м/год	Способ выемки горной массы	Расчетный срок работ, лет не менее
Автомобильный	При производственной мощности карьера по руде 5 – 10 млн т — до 600 – 700. При значительной производительности — до 200 – 300 в качестве сборочного транспорта	До 12 (до 7)	До 50 – 60	До 20 – 60	Любой	Любой
Комбинированный автомобильно-конвейерный: с наклонным конвейером с крутонаклонным конвейером	Автомобильным транспортом до 100 – 200	Не лимитируется, лучше меньше за счет повышения угла наклона конвейера	Более 5 – 10 до 20 – 30	До 20 – 25	Валовый	10 – 15
Комбинированный автомобильно-скиповый	Скипом 150 – 450	Не лимитируется (лучше меньше)	5 – 10 (180 – 1500 т/ч)	До 20 – 25	Любой*	10 – 15
Комбинированный автомобильно-автомобильный со вскрытием нижней зоны крутонаклонными автомобильными съездами	Высота зоны крутонаклонного вскрытия до 200 – 300 (до 500 в особых случаях)	Магистральное звено — до 10, сборочное звено — до 5	До 5 – 10	До 40 – 60	Любой	3 – 5 (в стадии крутонаклонного вскрытия)
Комбинированный автомобильно-троллейбусный	Высота рабочей зоны автомобильного звена до 200 – 300 (до 500 – 700 в особых случаях)	Магистральное звено — до 20, сборочное — до 5	До 20 – 30	До 30 – 40	Любой	7 – 10 (работы троллейбусного звена)
Бестраншее вскрытие (кабельные краны): с поверхности для неглубоких карьеров в глубинной зоне при комбинированном транспорте	Высота бестраншейной зоны до 300	Диаметр по верху бестраншейной зоны до 1	До 3 – 5 (на одну подъемную установку)	В зависимости от технологии выемки	Любой*	5 – 7 (в стадии бестраншейного вскрытия)

* При специальной организации работы подъемника для селективной выемки.

Остановимся подробнее на некоторых видах транспорта, которые пока не нашли применение при разработке алмазородных месторождений криолитозоны, но могут быть использованы. Конвейерный транспорт в последние два десятилетия активно развивается в направлении крутонаклонных конвейерных подъемников [22], которые можно расположить по кратчайшему расстоянию по склону борта карьера перпендикулярно бровкам уступов. Опыт исследований показывает, что автомобильно-конвейерный транспорт выгоден при существенной высоте подъема конвейером и его производительности более 5–10 млн т в год. При выборе оборудования дробильно-конвейерного комплекса следует отдавать приоритет оборудованию блочно-модульного исполнения (передвижные и крупноблочные сборно-разборные дробильно-перегрузочные установки, крутонаклонные двухконтурные ленточные конвейеры, механизированные склады и пр.), что позволит обеспечить технологическую гибкость применяемых систем циклично-поточной технологии в изменяющихся горно-технических условиях. Сложности строительства крутонаклонных конвейеров в криолитозоне связаны с необходимостью организации устойчивых строительных конструкций на большом по высоте участке борта карьера в условиях сезонной заморозки-оттайки поверхностных контуров бортов, а также необходимостью консервации или заблаговременного погашения части борта карьера под строительство конвейера.

Использование скиповых подъемников целесообразно при разработке карьеров значительной глубины, но небольшой производственной мощности (до 5–8 млн т/год), в тех случаях, когда есть возможность расположить подъемник на нерабочем борту карьера на длительный период. Преимуществами комбинированного автомобильно-скипового транспорта являются: возможность подъема крупнокусковой горной массы без предварительного дробления; раздельного подъема одной скиповой установкой вскрышных пород и полезного ископаемого (при попеременной работе) и обслуживания нескольких рабочих горизонтов. Скиповые подъемники следует применять с глубины 150 м и более. Их размещение особенно эффективно на глубине 250–350 м при близком расположении отвалов и обогатительных фабрик. Однако при высотах подъема скипом свыше 350–400 м установки становятся сверхгромоздкими, требуют канатов большого диаметра и по энергетическим затратам не конкурентоспособны с автомобильно-конвейерным транспортом. При этом производительность установок резко снижается [2]. Близкие аналоги скиповых подъемников — наклонные автомобильные подъемники, позволяющие транспортировать автосамосвал вместе с грузом.

Перспективной для отработки небольших месторождений может оказаться разработанная Институтом “Якутнипроалмаз” технология горных работ с бестраншейным вскрытием рабочих горизонтов кимберлитовых карьеров за счет применения специализированных подъемных устройств. Суть технологии в том, что нижняя часть карьера вскрывается без отстройки транспортных съездов на бортах карьера [23]. Это позволяет сократить разнос бортов, который выполнялся бы при размещении транспортных берм. Проведенные исследования показали, что оптимизация параметров транспортных съездов наиболее эффективна именно в глубинной части карьеров (нижняя треть), так как обеспечивает 2/3 всего потенциального объема сокращения вскрышных работ. Подъем горной массы из рабочей зоны на поверхность или до перегрузочного пункта внутри карьера может осуществляться специальными кабельными кранами. Башни кабельного крана располагаются на уступах противоположных ботов карьера над рабочей зоной, количество подъемных установок определяется расчетной производственной мощностью. Существуют конструкции кабельных кранов с пролетами до 1000 м и более. Действующие в настоящее время краны обеспечивают максимальную высоту подъема до 270 м, а потенциально и более. Грузоподъемность для распространенных конструкций — до 25 т, хотя и существуют специальные кабельные краны с грузоподъемностью до 150 т. Спуск и подъем тех-

ники на дно осуществляется кабельными кранами по специальному регламенту либо по узким доставочным бермам, которые могут оставаться на бортах карьера, не влияя на разнос бортов. Основными ограничениями применения технологии являются невысокая производительность кабельных кранов, снижающаяся при наращивании глубины, а также устойчивость уступов, на которых размещаются мощные башни кранов, удерживающие многотонные натянутые канаты. Данная технология применима для алмазородных месторождений небольшой мощности и глубины, для которых важна максимально глубокая их отработка без перехода на подземные работы и минимизация затрат.

Аналогичный подход описывается в [24] с применением специальной башенной подъемной установки. Вскрытие новых горизонтов ниже уровня стояния подъемника осуществляется автомобильными съездами, погашаемыми при наращивании подъемной установки на сформированный нижележащий горизонт.

Уникальность горно-геологических, горнотехнических, климатических и географических условий алмазородных карьеров криолитозоны обусловила постоянное совершенствование существующих и поиск новых технологий их отработки, который ведет АК «АЛРОСА». Накопленный опыт подготовил переход к новым технологиям и параметрам горных работ, который, однако, сдерживается необходимостью актуализации ряда нормативно-технических документов по проектированию карьеров с учетом особенностей алмазородных карьеров криолитозоны [25]. В связи с этим в рамках проекта нового национального стандарта РФ Институтом «Якутнипроалмаз» и ИГД УрО РАН разработаны требования к проектированию транспортных систем карьеров и выбору вида карьерного транспорта. Разработанные требования в основном относятся к двум направлениям: устранение несоответствия параметров условий применения различных видов транспорта современным достижениям в области отработки месторождений открытым способом; актуализация требований к параметрам транспортных коммуникаций и транспортных средств с учетом современных машин и нормативно-технических документов.

Перечислим основные принципы, которые должны быть заложены в новых стандартах по проектированию карьерных транспортных систем:

- все разрабатываемые проекты должны обеспечивать широкое применение новых высокоэффективных технологий. Для оптимального выбора параметров транспортной системы карьера необходимо применять методы автоматизированного проектирования, основанные на многовариантном технико-экономическом сравнении и компьютерном моделировании;
- для глубоких карьеров (более 200–300 м), а также других карьеров с целью энерго- и ресурсосбережения, снижения затрат на транспортирование следует применять комбинированный транспорт. Транспортные системы проектировать с учетом их развития до конечной глубины карьера, а каждый из отдельных видов транспорта использовать в условиях (зонах) его предпочтительного применения;
- для работы в сложных и/или опасных условиях карьеров предусматривать возможность применения транспортных машин с дистанционным или роботизированным управлением (как локально, так и внедрение комплексов таких машин для реализации безлюдной технологии), а при технико-экономической целесообразности использовать эти системы с целью повышения производительности;
- для максимально эффективного использования конструктивных параметров транспортных средств следует рассматривать возможность их заказа на заводах-изготовителях по индивидуальным техническим заданиям, максимально адаптированным к конкретному карьере;
- при обоснованном учете рисков допускается закладывать в проект новые виды оборудования, которое перед фактическим внедрением на карьере должно быть апробировано на опытно-промышленном участке;

• продольные уклоны карьерных автодорог следует принимать по Своду правил СП 37.13330.2012. При этом допускается следующее:

— на отдельных участках дорог для автомобилей с колесной формулой 4×2 допускается увеличение продольного уклона в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя и типа покрытия при условии обеспечения необходимого коэффициента сцепления (проверяется расчетом и натурными испытаниями, в том числе замером коэффициента сцепления специальным оборудованием);

— для полноприводных автосамосвалов допускается увеличение продольного уклона до 24 % в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя и типом покрытия автодороги, а в отдельных случаях при технико-экономическом обосновании и наличии положительных результатов испытаний допускается применять более крутые уклоны;

— для гусеничных самосвалов допускается применять уклоны 25 % и более при наличии положительных результатов испытаний;

• в стесненных условиях алмазородных карьеров допускается не устраивать улавливающие заезды при условии обеспечения безопасности движения.

ВЫВОДЫ

Выявлены основные тенденции в современном развитии транспортных систем алмазородных карьеров криолитозоны: ориентация на автомобильный транспорт как наиболее “гибкий” в технологическом плане, не требующий высоких капитальных затрат; применение крутонаклонных съездов на завершающей стадии отработки месторождений открытым способом для сокращения объемов вскрыши при больших глубинах; использование автопоездов при магистральных перевозках руды на дальние расстояния (20–200 км) с учетом небольших объемов перевозок; возможность применения специальных технологий и видов транспорта для отработки небольших месторождений с невысоким содержанием в руде с целью максимально возможного сокращения издержек.

Главный научный результат исследований — разработка методического обеспечения к выбору вида карьерного транспорта для алмазородных карьеров в криолитозоне, обеспечивающего стабильное функционирование карьеров и ГОКов по мере углубки и неоднократной реконструкции карьеров (этапности отработки); минимизацию объемов вскрыши при отработке карьеров на большую глубину; снижение затрат на транспортирование горной массы; высокие темпы ведения горных работ.

Практический результат — разработка раздела “Выбор вида карьерного транспорта” для нового национального стандарта, отвечающего современным достижениям науки и техники, а также учитывающего характерные особенности добычи в криолитозоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев В. Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров. — Новосибирск: Наука, 1989. — 240 с.
2. Васильев М. В. Транспорт глубоких карьеров. — М.: Недра, 1983. — 295 с.
3. Тарасов П. И., Журавлев А. Г., Черепанов В. А., Исаков М. В., Баланчук В. Р., Акишев А. Н., Бабаскин С. Л. Проблемы магистрального транспортирования руды от удаленных кимберлитовых месторождений // Горное оборудование и электромеханика. — 2014. — № 5. — С. 25–31.

4. **Зырянов И. В., Павлов В. А., Кондратюк А. П., Моряков А. В., Альмяшев Р. К.** Опытная промышленная эксплуатация многозвенных автопоездов SCANIA в Удачинском ГОКе // Горн. пром-сть. — 2014. — № 6 (118). — С. 38–40.
5. **Чаадаев А. С., Акишев А. Н., Бабаскин С. Л.** Схемы вскрытия и отработки глубоких горизонтов алмазных карьеров крутонаклонными выработками // Горн. пром-сть. — 2008. — № 2. — С. 75–80.
6. **Акишев А. Н., Бабаскин С. Л., Зырянов И. В.** Оптимизация параметров схем вскрытия горизонтов кимберлитовых карьеров // Горн. журн. — 2010. — № 5. — С. 85–87.
7. **Фурин В. О.** Обоснование технологических параметров углубочного комплекса для доработки крутопадающих месторождений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Екатеринбург: ИГД УРО РАН, 2009. — 160 с.
8. **Яковлев В. Л., Тарасов П. И., Журавлев А. Г.** Новые специализированные виды транспорта для горных работ. — Екатеринбург: УрО РАН, 2011. — 375 с.
9. **Кармаев Г. Д., Глебов А. В.** Выбор оборудования циклично-поточной технологии карьеров. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. — 296 с.
10. **Акишев А. Н., Зырянов И. В., Заровняев Б. Н., Тарасов П. И., Журавлев А. Г.** Техно-технологический комплекс для доработки запасов на глубинных горизонтах алмазородных карьеров // Горн. журн. — 2012. — № 12. — С. 39–43.
11. **Parreira J., Meech J.** Autonomous vs. manual haulage Trucks—How mine simulation contributes to future haulage system developments, CIM Meeting, Vancouver, 2010.
12. **Surface Control System** [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.rct.net.au/surface-control-system/>. — (4.08.2018).
13. **Работа при пустой кабине** [Электронный ресурс] / Catmagazine. — 2010. — Вып. 2. — С. 6–8. — Режим доступа: http://www.zepelin.ru/upload/iblock/4bd/Cat_Magazine_N2-2010.pdf. — (4.08.2018).
14. **Rio Tinto** activated Komatsu's autonomous haulage system in Australia [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.komatsu.com/CompanyInfo/press/2008122516111923820.html>. — (4.08.2018).
15. **Журавлев А. Г.** Тенденции развития транспортных систем карьеров с использованием роботизированных машин // Проблемы недропользования. — 2014. — № 3. — С. 164–175.
16. **Тарасов П. И., Журавлев А. Г., Черепанов В. А., Акишев А. Н., Шубин Г. В.** Обоснование производительности оборудования при дистанционном управлении для карьера “Удачный” // Горн. журн. — 2012. — № 12. — С. 35–39.
17. **Кулешов А. А., Васильев К. А., Докукин В. П., Коптев В. Ю.** Анализ вариантов транспортирования руды от карьера до обогатительной фабрики в условиях АК “АЛРОСА” // Горн. журн. — 2003. — № 6. — С. 13–16.
18. **Земсков А. Н., Полетаев И. Г.** Особенности применения грузовых подвесных дорог на открытых горных работах // Горн. пром-сть. — 2004. — № 5. — С. 30–33.
19. **Федоров Л. Н.** Послойно-скважинный способ разработки глубоких карьеров // Актуальные проблемы разработки кимберлитовых месторождений: современное состояние и перспективы решения: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. “Мирный-2003”. — М.: Руда и металлы, 2004. — С. 352–355.
20. **Левенсон С. Я., Ланцевич М. А., Гендлина Л. И., Акишев А. Н.** Новая технология и оборудование для безвзрывного формирования рабочей зоны глубоких карьеров // ФТПРПИ. — 2016. — № 5. — С. 125–132.
21. **Громов Е. В., Билин А. Л., Белгородцев О. В., Наговицын Г. О.** Обоснование вида и параметров горнотранспортных систем при освоении рудных месторождений в условиях Кольского полуострова // ФТПРПИ. — 2018. — № 4. — С. 70–78.

- 22. Кармаев Г. Д., Глебов А. В., Берсенов В. А.** Опыт проектирования, эксплуатации и перспективы развития циклично-поточной технологии на рудных карьерах // Горная техника. Добыча, транспортировка и переработка полезных ископаемых: каталог-справочник. — СПб: ООО “Славутич”. — 2013. — № 1 (11). — С. 66–70.
- 23. Пат. 2571776 РФ, МПК⁷Е21С41/26.** Способ открытой разработки крутопадающих рудных тел / Бабаскин С. Л., Акишев А. Н., Самоловов В. С.; заявитель и патентообладатель АК “АЛРОСА” (ПАО). — № 2014139741/03; заявл. 30.09.2014; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35. — 9 с.
- 24. Точилин В. И.** Нарастиваемые башенные подъемники для разработки кимберлитовых трубок (исходные горно-технологические требования к конструкции) // Горное оборудование и электромеханика. — 2005. — № 3. — С. 34–37.
- 25. Нормы** технологического проектирования горнорудных предприятий цветной металлургии с открытым способом разработки: ВНТП 35-86: утв. протоколом Министерства цветной металлургии СССР от 28 февраля 1986 г. № 89 по согласованию с Госстроем СССР и ГКНТ письмом от 31 января 1986 г. № 45-164, Госгортехнадзором СССР — от 28 января 1986 г. N II-22/52.

Поступила в редакцию 5/X 2018

После доработки 31/X 2018

Принята к публикации 28/XI 2018