

УДК 622.271.322

**К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ДРАГЛАЙНОВ
НА АЛМАЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЯКУТИИ**

В. И. Ческидов¹, А. Н. Акишев², Г. Г. Саканцев³

¹*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: cheskid@misd.ru,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

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

³*Институт горного дела УрО РАН, E-mail: yakovlev@igduran.ru,
ул. Мамина-Сибиряка, 58, 620075, г. Екатеринбург, Россия*

Рассмотрены возможные области применения экскаваторов-драглайнов при разработке крутопадающих алмазородных месторождений Якутии. Обоснована бестранспортная технология отработки верхних горизонтов месторождений, сложенных перекрывающимися породами, с перевалкой вскрыши драглайнами. Приведен вариант повышения высоты вскрышных уступов на транспортных горизонтах с помощью драглайнов и кранлайнов. Предложена ресурсосберегающая система разработки округлых и протяженных месторождений с разнонаправленным продвижением фронта горных работ и внутренним отвалообразованием. Разработан метод определения рациональной мощности бестранспортной вскрыши с использованием в качестве критерия слоевого коэффициента переэкскавации вскрышных пород. Отмечена целесообразность взрывного перемещения вскрышных пород во внутренний отвал.

Крутопадающие месторождения, открытые горные работы, бестранспортная технология, драглайн, вскрышные породы, внутренние отвалы, взрывы на сброс

DOI: 10.15372/FTPRPI20180413

История алмазодобычи в Республике Саха (Якутия) насчитывает более шести десятилетий. В сложных горно-геологических, горнотехнических и климатических условиях карьеры АК “АЛРОСА” показывают высокие технико-экономические показатели. Накоплен богатый опыт ведения открытых горных работ на сложноструктурных крутопадающих алмазородных месторождениях в криолитозоне с экстремальными притоками засоленных карьерных вод. Внедрение на объектах АК “АЛРОСА” инновационных технологий и современной горно-транспортной техники позволило существенно повысить эффективность открытого способа добычи кимберлитовой руды за счет оптимизации параметров карьеров: конструирования узких транспортных съездов с более крутыми уклонами; формирования высоких уступов с предельными по устойчивости углами погашения. В настоящее время проектируемые карьеры

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований ИГД СО РАН на 2017 – 2019 гг. (проект № 0321-2104-0014) и Программы фундаментальных исследований ИГД УрО РАН на 2016 – 2018 гг. (№ 0405-2015-0010).

отстраиваются с предельными по прочностным свойствам параметрами нерабочих уступов: высота от 45 до 90 м, углы откоса 75–80°. Продольные уклоны транспортных берм в глубинных частях карьеров увеличены с 8 до 20–25 %, т. е. в 3 раза выше общепринятых показателей. Борты карьеров формируются с углами наклона от 37 до 57°. При этом в глубинной части угол наклона бортов достигает 56–66°. Проектная глубина обрабатываемых карьеров неоднократно пересматривалась в сторону ее увеличения (от 400 до 720 м), что соответствует граничному коэффициенту вскрыши 15.5–24 м³/м³ [1, 2].

Основные проблемы развития открытой алмазодобычи связаны с текущим состоянием сырьевой базы, которая постоянно ухудшается в результате интенсивной отработки наиболее богатых и качественных запасов крупных месторождений. Ее восполнение осуществляется за счет увеличения глубины действующих карьеров (трубки Юбилейная, Нюрбинская, Ботуобинская), перехода на подземную отработку подкарьерных запасов на наиболее богатых месторождениях (тр. Интернациональная, Мир, Айхал, Удачная) и вовлечения в отработку новых месторождений (тр. Заря, Зарница, Магнитная, Заполярная). Большую значимость приобретает проблема совершенствования существующих и изыскания инновационных технологий вскрышных работ и добычи руды. Специалистами Компании выявлены основные пути расширения сырьевой базы и повышения эффективности открытой добычи алмазов. В частности, установлено, что для сохранения достигнутого уровня добычи алмазов, помимо эксплуатации действующих объектов, потребуется вовлечение в отработку бедно-товарных запасов сырья, в том числе на удаленных месторождениях. Это, в свою очередь, потребует изыскания более производительных ресурсосберегающих технологий их освоения [3, 4].

В настоящей статье рассматривается один из возможных путей снижения трудоемкости и сокращения эксплуатационных затрат по комплексу вскрышных работ на крутопадающих месторождениях за счет внедрения наиболее экономичной бестранспортной технологии отработки массивов горных пород с использованием экскаваторов-драглайнов. Опыт разрезов Кузбасса показывает, что в определенных горнотехнических условиях бестранспортная технология вскрышных работ в сравнении с транспортной обеспечивает снижение в 3.5 раза их трудоемкости и в 2.0–2.5 раза эксплуатационных затрат на один кубометр вскрыши [5, 6]. Драглайны эффективно применяются на разрезах для проходки вскрывающих выработок, удаления четвертичных отложений с верхних горизонтов, подъема горной массы с нижних уступов на вышележащие, складирования вскрышных пород на внешних отвалах и т.д. Помимо снижения эксплуатационных расходов, бестранспортная технология обеспечивает возможность интенсификации горных работ за счет сокращения наиболее трудоемкой и затратной транспортной составляющей. Этот момент, безусловно, имеет большое значение и для карьеров АК “АЛРОСА”, где затраты на транспорт достигают 50 % и более в себестоимости вскрыши [7].

Как показывает опыт, использование драглайнов на крутопадающих месторождениях целесообразно уже в начальной стадии их освоения. В Кузнецком бассейне при разработке наклонных и крутопадающих пластов повсеместно практикуется удаление драглайнами наносов, покрывающих выход пластов [8]. Объемы экскавации и переэкскавации вскрышных пород определяются исходя из конкретных горно-геологических условий, параметров драглайнов и возможностей транспортной составляющей. На протяженных и значительных по площади месторождениях, намечаемых к поэтапному освоению, может быть обоснованным вариант отработки верхних горизонтов карьерного поля драглайнами с организацией временных породных отвалов [9]. Подобное решение, реализованное по проекту института “Сибгипрошахт” на

разреze “Талдинский” в Кузбассе [10] (с повторным перемещением вскрыши через 14 лет), подтвердило его эффективность и позволило сократить срок ввода разреза в эксплуатацию с минимальными затратами при недостаточно развитой инфраструктуре.

Установлено, что с учетом преимуществ нижнего и верхнего черпания (разгрузки) драглайны могут эффективно использоваться при отработке глубоких горизонтов карьеров для подъема породы на концентрационный горизонт, что обеспечивает сокращение протяженности транспортных коммуникаций в рабочей зоне с соответствующим снижением эксплуатационных затрат. Сущность предлагаемого варианта технологии заключается в следующем. Несколько нижних горизонтов вскрышного массива обрабатываются драглайнами с подъемом горной массы на расположенный выше и более доступный для транспорта концентрационный горизонт карьера. Первоначально обрабатываемая порода нижнего уступа укладывается в промежуточный навал, расположенный на верхней площадке этого уступа. Из промежуточного навала горная масса перемещается драглайнами в навал на концентрационный горизонт, откуда вместе с породами очередной заходки загружается в транспортные средства экскаваторами-мехлопатами или кранлайнами. Негативным фактором предлагаемой технологии является необходимость дополнительной перегрузки горной массы из навалов в автотранспорт. Однако расчеты, проведенные для условий разрезов Кузбасса, свидетельствуют о целесообразности применения [8] в определенных горнотехнических условиях предлагаемой комбинированной (транспортно-бестранспортной) технологии отработки глубоких горизонтов карьеров (рис. 1).

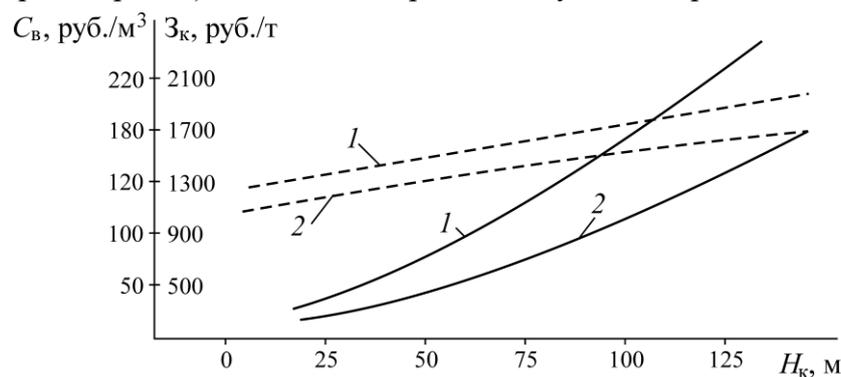


Рис. 1. Зависимости удельных затрат на 1 м³ вскрыши C_v (штриховые) и на 1 т добычи угля Z_k (сплошные) от мощности вскрышной толщи карьера H_k ; 1 — транспортная технология; 2 — отработка драглайнами с подъемом породы на концентрационный горизонт и транспортировкой ее на отвалы автосамосвалами

Применение комбинации бестранспортной и транспортной технологий с увеличением высоты вскрышных уступов позволит повысить интенсивность отработки нижних горизонтов карьера; сократить расстояние транспортирования горной массы, в том числе по наклонным участкам трасс; уменьшить текущий коэффициент вскрыши.

Возможен также вариант технологической схемы с использованием на отработке высоких вскрышных уступов кранлайнов с погрузкой экскавируемых пород непосредственно в автосамосвалы, особенно в условиях повышенной обводненности. Эффективность и область применения кранлайнов обоснована исследованиями российских ученых и подтверждена зарубежной практикой [11]. Идея и основные конструктивные решения кранлайна были впервые запатентованы российскими учеными, а первая практическая реализация решения новой универсальной системы подвески и управления ковшом осуществлена специалистами Австралийского кооперативного центра горных технологий и оборудования совместно с партнерами фирмы P&H

и установлена на драглайне ВЕ 1370. По данным [12], применение новой системы на драглайнах, работающих по простой бестранспортной схеме, обеспечивает повышение производительности до 30 %, сокращение рабочего цикла на 5 %, что позволяет увеличить срок жизни машины и снизить эксплуатационные расходы на ведение горных работ.

Технология с использованием на транспортных горизонтах драглайнов и кранлайнов позволяет на $7-8^\circ$ увеличить угол наклона рабочего борта карьера, что дает возможность снизить на 30 млн м³ и более объемы вскрыши на 1 км длины периметра карьера [13]. Уменьшение количества уступов обеспечивает также сокращение длины транспортных коммуникаций и улучшение организации горных работ в рабочей зоне карьера.

Определенный интерес для протяженных месторождений округлой и протяженной формы представляет вариант поэтапной разработки с разнонаправленным подвиганием фронта горных работ и внутренним отвалообразованием. На первом этапе разработка месторождения предполагается по углубочной кольцевой системе передовым карьером до конечной его глубины с внешним отвалообразованием, на втором и последующих этапах — по сплошной поперечной односторонней системе с движением фронта горных работ по простиранию залежи и размещением вскрышных пород с нижних горизонтов карьера в выработанном карьерном пространстве. Отработка передового карьера предусматривается по транспортной технологии карьерными экскаваторами и технологическими автосамосвалами, последующих этапов — по комбинированной транспортно-бестранспортной технологии. Местоположение и параметры поля передового карьера выбираются с учетом разведанности и качественных показателей запасов залежи, требуемой производительности по руде, условий складирования в выработанном пространстве вскрышных пород последующих этапов. При этом нерабочий борт карьера, располагаемый на конечном контуре, отстраивается под углом погашения, рабочий — под углом, обеспечивающим лучшие горнотехнические условия для функционирования последующих этапов. Отработка нижних горизонтов рабочей зоны карьера предусматривается высокими уступами с использованием драглайнов (предпочтительно с увеличенными линейными параметрами) для экскавации и перевалки вскрышных пород во внутренние отвалы.

Предлагаемый порядок отработки залежи позволит: разместить значительный объем вскрышных пород второго и последующих этапов эксплуатации карьера в выработанном карьерном пространстве; сократить расстояние транспортирования вскрышных пород во внутренние отвалы с соответствующим снижением эксплуатационных затрат; уменьшить негативное воздействие горного производства на природную среду (за счет сокращения вредных выбросов от транспортных средств и снижения изъятия земель под внешние отвалы вскрышных пород).

Достаточно широко применяются драглайны в железорудной промышленности для отработки осадочных пород в сложных гидрогеологических условиях, характеризующихся низкой несущей способностью, склонностью к образованию пьувунов, выносу песка, оползневым явлениям, где применение карьерных экскаваторов типа механической лопаты для отработки этих пород сопряжено с рядом трудностей. Вода, поступающая из откосов водоносных горизонтов, смачивала и размягчала глинистые породы, вела к выносу песков на транспортные коммуникации, приводя их в полную негодность. Это требовало установки экскаваторов на специальных металлических понтонах, засыпки рабочих и транспортных площадок скальными породами, приводило к частым простоям оборудования, сложным и дорогостоящим работам по ликвидации оползней, пьувунов, к резкому снижению производительности горнотранспортного оборудования. Проблема отработки осадочных пород в сложных гидрогеологических условиях с применением драглайнов была решена на Соколовском, Сарбайском, Михайловском, Полтавском и ряде других карьеров [14–19]. На Соколовско-Сорбайском горно-обогатительном комбинате для погрузки обводненных осадочных

пород использовались экскаваторы ЭШ-6/60, ЭШ-14/55 и ЭШ-4/40 в комплексе с транспортом. Это позволило увеличить ширину заходки до 50–120 м и снизить в 3–5 раз протяженность дорог и путевых работ. Драглайны применялись также при строительстве съездов, капитальных и разрезных траншей. На Соколовском карьере драглайном ЭШ-14/75 была пройдена главная въездная траншея, на Сарбайском — юго-восточная въездная траншея. Драглайн работал с двух- и трехкратной перевалкой рыхлых пород на борт траншеи. Внедрение драглайнов на карьерах комбината позволило обеспечить устойчивость откосов уступов, ликвидировать оползни и промоины. Значительно возросла скорость движения поездов, повысилась производительность экскаваторов на нижних уступах.

Институтом горного дела Министерства черной металлургии СССР совместно с компанией «Южгипроруда» и Полтавским ГОКом рассмотрен вопрос использования драглайнов при строительстве карьера и отработке сильно обводненных осадочных пород Лавриковского месторождения Полтавского ГОКа. Для осадочных пород плотностью до 2 т/м^3 предусмотрено применить ЭШ-6/45, а более 2 т/м^3 — ЭШ-10/50 на базе экскаваторов ЭШ-10/10А.

Высокая обводненность и низкая несущая способность рыхлой вскрыши Михайловского карьера и ее налипание на рабочие органы горного и транспортного оборудования привели к необходимости пересмотра и изменения существующего способа ведения вскрышных работ, требующего полной засыпки рабочих площадок слоем скальной вскрыши 1.2–2.0 м. Была разработана, испытана и внедрена новая технологическая схема, в которой в качестве основного выемочно-погрузочного оборудования предусмотрено использование драглайнов ЭШ-10/50 с погрузкой горной массы в автосамосвалы БелАЗ-540 и БелАЗ-548. При этом предусмотрено строительство автомобильной дороги шириной 20–25 м с мощностью отсыпки 1.2–2.0 м скальными породами. Внедрение данной технологической схемы на вскрышных работах позволило значительно повысить производительность выемочно-погрузочного и транспортного оборудования и решить вопрос прибортового дренажа и устойчивости уступов. Успешно зарекомендовал себя драглайн ЭШ-10/60 на расконсервации и отработке приконтурных лент на карьерах Донского ГОКа.

Анализ применения драглайнов в рудной добывающей промышленности показал, что помимо указанных преимуществ их применение на верхних горизонтах карьеров ведет к увеличению углов откоса рабочих бортов и к улучшению режима горных работ. Наряду со снижением путевых работ это обеспечивает преимущество драглайнов по сравнению с карьерными экскаваторами даже при отработке необводненных осадочных пород I–IV категорий. При этом при погрузке в железнодорожный транспорт длина стрелы не должна превышать 50–60 м, а вместимость ковша — 10 м^3 .

Драглайны в комплексе с автомобильным транспортом могут быть использованы в следующих схемах (рис. 2) [19]: I — отработка горизонтального приконтурного слоя высотой, равной высоте черпания экскаватора с многократной переэкскавацией и размещением пород на борту карьера (рис. 2а); II — отработка наклонного слоя с последующей многократной перевалкой породы на вышележащие горизонты (рис. 2б); III — экскавация горной массы из внутреннего промежуточного склада с последующей многократной перевалкой на вышележащие горизонты (рис. 2в).

Во второй и третьей схемах перемещение горной массы по поверхности возможно как транспортными средствами, так и непосредственно драглайном. Возможные объемы работ и эффективность первой схемы зависят от наличия свободных площадей вблизи контура карьера *B* и от допустимой (экономически целесообразной) кратности экскавации (первичной и вторичных перевалок).

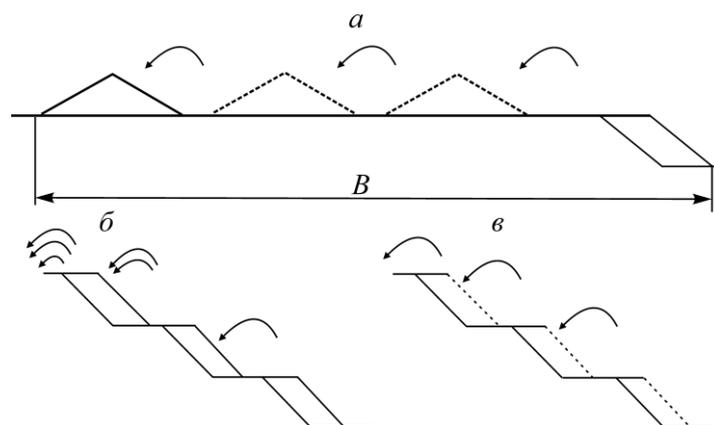


Рис. 2. Схемы применения драглайнов

Заслуживает внимания использование драглайнов в процессах формирования внешних отвалов вскрышных пород. По сравнению с механическими лопатами они обеспечивают следующие преимущества: повышение безопасности отвальных работ вследствие меньшего удельного давления на грунт и расположения драглайна на значительном расстоянии от бровки откоса; возможность увеличения высоты отвальных ярусов с соответствующим уменьшением количества транспортных заездов; сокращение расстояния транспортирования пород по отвалу; снижение сроков строительства отвалов.

Схемы отвалообразования драглайнами при автомобильном транспорте могут быть эффективно использованы для интенсификации отвальных работ по сравнению с бульдозерным отвалообразованием, создания стабильной технологии, при которой обеспечивается движение автомобилей по дорогам улучшенного качества. Подобные схемы (рис. 3) оптимальны при использовании под отвалы площадей со слабыми и наклонными основаниями [8].

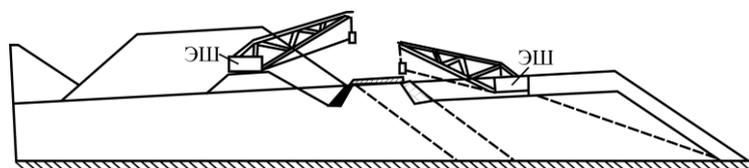


Рис. 3. Схема складирования вскрышных пород драглайном

Конструктивные особенности драглайнов обеспечивают также возможность их использования для выемки полезного ископаемого (на глубину черпания машины) при доработке придонных запасов карьера. Понятно, что применение бестранспортной технологии с использованием драглайнов на вновь осваиваемых месторождениях возможно при наличии электроснабжения объекта, что потребует первоочередного строительства ВЛ и эл/подстанций. Это обстоятельство, с одной стороны, усложняет начальный этап подготовительного периода, с другой — исключает необходимость затратной доставки и расходования горюче-смазочных материалов.

Граница области рационального применения сравниваемых бестранспортной и транспортной технологий определяется методологией, учитывающей равенство стоимостных показателей перемещения вскрышных пород от забоя до отвала [20]. Достигается это равенство путем последовательного приращения расчетной мощности бестранспортной вскрыши с учетом затрат на переэкскавацию. Такой подход, обеспечивая в целом удовлетворительные результаты расчета, не отражает в полной мере ее потенциальные возможности.

В целях более объективной оценки экономически обоснованной мощности бестранспортной вскрыши предложен метод определения границы бестранспортной и транспортной зон с использованием в качестве критерия слоевого коэффициента переэскавации [21].

Себестоимость 1 м^3 вскрыши C_6 , перемещаемой в выработанное пространство драглайна, находится из выражения

$$C_6 = C_6^6 + C_{ц} + nC_{п}, \quad (1)$$

где C_6^6 — затраты на буровзрывные работы в бестранспортных схемах, руб./ м^3 ; $C_{ц}$ — стоимость первичной экскавации 1 м^3 , руб./ м^3 ; $C_{п}$ — стоимость однократной переэскавации 1 м^3 вскрыши, руб./ м^3 ; n — число переэскаваций 1 м^3 вскрыши.

Аналогично рассчитывается себестоимость 1 м^3 вскрыши $C_т$, перемещаемой в отвал (внутренний или внешний) с помощью транспортных средств:

$$C_т = C_т^6 + C_{пт} + C_{тр} + C_о, \quad (2)$$

где $C_т^6$ — затраты на буровзрывные работы при использовании средств транспорта, руб./ м^3 ; $C_{пт}$ — затраты на погрузку 1 м^3 вскрыши в средства транспорта, руб./ м^3 ; $C_{тр}$ — затраты на транспортирование 1 м^3 вскрыши от забоя до отвала, руб./ м^3 ; $C_о$ — затраты на отвалообразование 1 м^3 вскрыши, руб./ м^3 .

Из выражений (1) и (2) следует, что при такой методике границей перехода от бестранспортной технологии к транспортной должен стать горизонт, на котором затраты $C_т$ и C_6 будут равны, а значение предельного коэффициента переэскавации составит

$$n_{пр} = \frac{C_т - C_6^6 - C_{ц}}{C_n}. \quad (3)$$

Чтобы найти границу между бестранспортной и транспортной зонами, при которой в совокупности обеспечивается минимум затрат на вскрышные работы, необходимо исключить из бестранспортной зоны ту ее часть, обработка которой с учетом переэскавации превосходит по стоимости транспортную вскрышу. Достигается это делением намеченной к бестранспортной отработке вскрыши H_a^6 на слои $H_1^6, H_2^6, \dots, H_k^6$ и определением коэффициентов переэскавации для каждого слоя. При таком подходе границу между зонами необходимо устанавливать не по среднему ($n_{ср}$) для всей мощности H_a^6 , а по слоевому коэффициенту H_1^6 переэскавации. Значение последнего для каждого слоя бестранспортной вскрыши может быть получено следующим образом.

Пусть для первого слоя вскрыши мощностью H_1^6 коэффициент переэскавации равен $n_{ср}^I$, а для двух смежных слоев мощностью $H_2^6 = H_1^6 + \Delta H$ при среднем коэффициенте переэскавации $n_{ср}^{II}$. Тогда общий объем переэскавируемой вскрыши $V_{п}^I$ при отработке первого слоя высотой H_1^6 составит ($\text{м}^3/\text{пог. м}$):

$$V_{п}^I = H_1^{6*} A^* n_{ср}^I, \quad (4)$$

а при отработке следующего слоя

$$V_{\Pi}^{\Pi} = H_2^{\delta*} A^* n_{\text{ср}}^{\Pi}, \quad (5)$$

где A — ширина заходки.

Приращение общего объема переэкскавируемой вскрыши с увеличением мощности слоя на величину ΔH определяется как разность:

$$\Delta V_n = V_a^I - V_a^{II} = A^* (H_2^{\delta*} n_{\text{ср}}^{\Pi} - H_1^{\delta*} n_{\text{ср}}^I). \quad (6)$$

Если теперь объем переэкскавируемой вскрыши ΔV_{Π} разделить на объем приращения мощности обрабатываемого слоя в целике $\Delta V_{\Pi} = A^* (H_2^{\delta} - H_1^{\delta})$, то получим значение коэффициента переэкскавации, относящегося к слою приращения вскрыши V_{Π} , названного нами слоевым:

$$n_c^I = \frac{H_2^{\delta*} n_{\text{ср}}^{II} - H_1^{\delta*} n_{\text{ср}}^I}{H_2^{\delta} - H_1^{\delta}}. \quad (7)$$

Исходя из условия обеспечения минимума затрат при комбинированной системе разработки вскрышных пород, чтобы найти границу перехода от бестранспортной технологии к транспортной, необходимо определить значение предельного и слоевого коэффициентов переэкскавации. Обоснованной границей будет та часть слоя вскрышных пород, где эти коэффициенты равны. Использование предлагаемого метода вместе с общепринятыми методами оценки экономической эффективности горных работ обеспечит возможность более обоснованного определения границ бестранспортной и транспортной зон карьера.

Предварительная подготовка вскрышных пород для экскавации драглайнами в рассмотренных технологических вариантах предусматривается буровзрывным способом. При отработке нижних уступов карьера драглайнами и внутренним отвалообразованием целесообразно в составе бестранспортной технологии практиковать взрывное перемещение вскрышных пород в выработанное карьерное пространство. Технология взрывного перемещения породных масс с помощью направленных взрывов на выброс и сброс достаточно хорошо изучена и освоена народным хозяйством страны и за рубежом. Эффективность взрывов на сброс оценивается по коэффициенту сброса:

$$K_{\text{сб}} = \frac{V_1}{V}, \quad (8)$$

где V_1 — объем породы, перемещаемый взрывом в отвал, м^3 ; V — объем взорванного блока, м^3 .

В настоящее время данная технология достаточно широко применяется на разрезах США (Sabine Mine, Usibelli Coal Mine) [22], Австралии (Wilkie Creek, ISAAC PLAINS) [23], КНР (Heidai Gou Coal Mine) [24]. В отечественной практике открытых горных работ взрывы на сброс наиболее часто практиковались в 60–80-е годы XX в. на разрезах Кузнецкого и Черемховского угольных бассейнов, обеспечивая доставку в отвалы до 15–20 % объемов вскрышных пород, обрабатываемых по бестранспортной технологии. В условиях рыночной экономики страны, при значительном удорожании взрывчатых веществ (ВВ) и средств взрывания, перемещение вскрышных пород на отечественных разрезах и карьерах этим способом не получило дальнейшего развития.

Вместе с тем их потенциальные возможности далеко не исчерпаны и при соответствующем научном и технико-экономическом обосновании направленные взрывы могут стать одним из эффективных средств повышения производительности горных работ. Применение взрывов на

сброс в технологии бестранспортной отработки массивов горных пород предполагает: поиск новых методов направленного взрывания, позволяющих повысить коэффициент сброса породы без существенного увеличения удельного расхода ВВ; использование дешевых ВВ с повышенными метательными свойствами и современных средств взрывания; оптимизацию технологических параметров буровзрывных работ; совершенствование схем взрывания; увеличение высоты и углов откосов вскрышных уступов.

Бестранспортная технология горных работ с перевалкой вскрышных пород драглайнами может найти свою нишу в решении проблемы повышения эффективности разработки алмазорудных месторождений Якутии. Здесь наиболее рациональным объектом являются перекрывающие тело породы мезозойских образований $H_{\text{мез}}$ мощностью 65–100 м. Использование драглайнов позволит сократить время и затраты на вскрытие залежи с размещением части вскрышных пород верхнего уступа карьера по периметру, что особенно важно на начальной, наиболее ресурсоемкой, стадии освоения месторождения, в отсутствии развитой производственной инфраструктуры. Это подтверждает многолетний опыт эксплуатации разрезов Кузбасса, в том числе крутопадающих [8]. Наибольший эффект следует, очевидно, ожидать при вскрытии нагорной части залежи, когда по бестранспортной технологии возможно перемещение в отвал максимального объема вскрышных пород.

В качестве примера рассмотрим крутопадающую дайкообразную залежь — тело “Майское”, расположенное в 3 км к юго-западу от трубки Ботуобинская, со следующими параметрами: мощность 15–40 м, протяженность по простиранию 430 м, глубина 400 м, угол падения 72–80°. Перекрывающие породы в границах залежи представлены доломитами, доломитизированными известняками, мергелем; вмещающие породы — ксеногенным материалом. Рудное тело — кимберлитовые брекчии. Планируемые Институтом “Якутнипроалмаз” предварительные проектные параметры карьера: глубина — 270 м, размеры по поверхности — 1085 × 700, по дну — 415 × 30; средний коэффициент вскрыши — 12.41 м³/т. Предполагаемая система разработки — углубочная, с автомобильным транспортом и внешним отвалообразованием [22].

На рис. 4 приведены две возможные схемы отработки драглайном осадочных отложений в границах поля карьера. Схема 1 (рис. 4а) предполагает отработку по бестранспортной технологии верхнего горизонта покрывающих пород $H_{\text{б/тр}}$ по всей площади карьерного поля. Особенностью схемы по наиболее трудоемкому варианту горных работ является местоположение отвалов вскрышных пород на левом фланге карьерного поля. Данный вариант может представлять интерес в случае невозможности размещения бестранспортных отвалов на противоположном борту карьера. В качестве выемочного оборудования принят драглайн ЭШ-25.90 из линейки ОАО “Уралмаш” [25], имеющий высокие технические параметры при приемлемых весовым и стоимостных показателях (максимальная глубина черпания $H_{\text{ч}}$ — 47 м, высота разгрузки $H_{\text{р}}$ — 37.5 м, масса — 1900 т).

Мощность обрабатываемого драглайном уступа $H_{\text{б/тр}}$ принята равной его максимальной глубине черпания — 47 м, ширина заходки — 40 м. Как показывает расчет, для удаления и размещения за границей карьерного поля всего объема вскрышных пород, заключенных в заходках 1–14, драглайну потребуется сделать порядка 50 проходов, в том числе 14 по экскавации и 36 по переэкскавации горной массы с коэффициентом переэкскавации до 4 м³/м³. Целесообразность реализации рассматриваемого варианта по всей или части площади карьерного поля должна определяться для условий конкретного месторождения исходя из модели драглайна и стоимостных показателей бестранспортной технологии.



Рис. 4. Схемы бестранспортной отработки верхнего горизонта покрывающих пород на крутопадающих месторождениях

Схема 2 (рис 4б) предусматривает бестранспортную отработку массива горных пород, непосредственно прилегающих к границам карьерного поля по всему периметру или его части (заходки 1^1-2^1). За три прохода драглайном может быть оперативно пройдена вскрывающая выработка с коэффициентом переэкскавации до $0.8 \text{ м}^3/\text{м}^3$. В зависимости от требуемой интенсивности отработки передового уступа и экономической эффективности бестранспортной технологии на базе приведенных схем могут быть обоснованы приемлемые в конкретных горно-геологических условиях месторождения варианты ведения горных работ. Оптимальный объем вскрышных пород для бестранспортной технологии определяется путем сравнения затрат на выемку мехлопатами с перемещением транспортными средствами и непосредственную перевалку пород в отвал драглайнами (с учетом переэкскавации).

Большое значение при формировании бестранспортной схемы имеет выбор модели экскаватора-драглайна. Применение драглайнов с заниженными линейными параметрами потребует увеличения количества их проходов по обеим операциям с соответствующим увеличением коэффициента переэкскавации и снижением интенсивности отработки бестранспортных блоков. Использование драглайнов с увеличенными параметрами (типа ЭШ-25.120, ЭШ-40.130, ЭШ-100.125) позволит снизить объемы переэкскавации и интенсифицировать горные работы. Однако в этом случае следует иметь в виду неизбежный рост инвестиционных вложений и эксплуатационных затрат, а также перспективу использования мощной дорогостоящей машины после отработки бестранспортной зоны.

Обязательным условием реализации предлагаемого решения является оценка степени влияния на устойчивость бортов карьеров дополнительной нагрузки от бестранспортных отвалов. В зависимости от результатов оценки на проблемных участках потребуется, очевидно, переэкскавация пород первичного навала от кромки борта или отказ от применения драглайна.

Один из эффективных путей сокращения транспортных расходов при ведении открытых горных работ — внутреннее отвалообразование вскрышных пород. Известны решения с размещением вскрышных пород в выработанном карьерном пространстве на разных стадиях отработки месторождения как с начала его освоения, так и в последующие периоды доработки. При этом складирование вскрыши предусматривается как в постоянных, так и во временных внутренних отвалах. Так, специалистами АК «АЛРОСА» предложены способы складирования вскрыши из эксплуатируемого карьера в выработанном пространстве уже отработанной залежи, размещения части объемов при доработке карьера на его дне, а также временного складирования пород на верхних горизонтах [26]. В [27] предлагается поочередная разработка протяженных крутопадающих месторождений, предусматривающая отработку первой очереди карьер-

ера до конечной глубины с вывозом вскрыши на внешние отвалы, а последующих очередей — с внутренним отвалообразованием в выработанном пространстве первоочередного карьера.

Подобное решение, с разнонаправленным подвиганием фронта горных работ, может рассматриваться, например, для тела Майское, трубок Заполярная и Деймос, трубки Комсомольская–Магнитная и др. Там же может оказаться эффективной организация временных отвалов вскрышных пород в границах карьерных полей. Местоположение временных отвалов должно определяться исходя из окупаемости (с учетом фактора времени) затрат на вторичное перемещение и отвалообразование горной массы. По предварительной оценке, минимальная продолжительность существования временных отвалов до их ликвидации составит порядка 9–12 лет. При соответствующем технико-экономическом обосновании этот вариант может обеспечить существенное снижение эксплуатационных затрат на транспорт и отвалообразование вскрышных пород в начальный, период освоения залежи, а также размещение части временно складированных пород в выработанном пространстве передового карьера. Следует подчеркнуть, что применение драглайнов в условиях криолитозоны имеет свои особенности, обусловленные свойствами вечномёрзлых пород и их изменчивостью в разрыхленном состоянии по времени экскавации [28], что потребует разработки некоторых организационных решений по порядку ведения вскрышных работ.

ВЫВОДЫ

Бестранспортная технология горных работ — наиболее экономичная и производительная — может найти свою нишу при решении проблемы повышения эффективности разработки алмазородных месторождений Якутии.

Наиболее вероятная область применения драглайнов в сложных горно-геологических условиях разработки указанных месторождений: проведение вскрывающих горных выработок; разработка верхних горизонтов карьеров, сложенных перекрывающими осадочными породами; отработка высоких уступов с концентрационными горизонтами и перевалкой вскрышных пород драглайнами; отработка нижних вскрышных уступов с внутренним отвалообразованием в комбинированных транспортно-бестранспортных технологических схемах; складирование в отвалах увлажненных осадочных пород и выполнение других различных видов горных работ в сложных гидрогеологических условиях.

При соответствующем технико-экономическом обосновании бестранспортная технология позволит сократить объемы наиболее затратной транспортной вскрыши, рационально использовать техногенный ресурс выработанных карьерных пространств, снизить негативное воздействие горных работ на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Чаадаев А. С., Зырянов И. В., Бондаренко И. Ф.** Состояние и перспективы развития горнообогачительных технологий на алмазодобывающих предприятиях АК “АЛРОСА” // Горн. пром-сть. — 2017. — № 2. — С. 6–13.
- 2. Акишев А. Н., Бондаренко И. Ф., Бабаскин С. Л.** Современное состояние и основные тенденции развития открытого способа открытой разработки алмазородных месторождений АК “АЛРОСА” // Проблемы и пути эффективной отработки алмазосодержащих месторождений: сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. — Мирный, 2011. — С. 572.
- 3. Чаадаев А. С., Черепанов А. И., Зырянов И. В., Бондаренко И. Ф.** Перспективные направления развития технологий добычи и переработки алмазосодержащих руд в АК “АЛРОСА” (ПАО) // Горн. журн. — 2016. — № 2. — С. 56–61.

4. **Innovative technologies** at open-cast mining of diamond deposits / A. Pismenny, A. Chaadaev, Al. Aki-shev, I. Bondarenko, S. Babaskin, Innovations and Nanotechnologies of Russia (in Russia), 2012, No. 1(2). — P. 38–39.
5. **Проноза В. Г., Воронков В. Ф., Гвоздкова Т. Н.** Границы эффективного применения способа транспортно-перевалочной доставки породы в отвал на разрезах южного Кузбасса // Вестн. КузГТУ. — 2004. — № 3. — С. 41–44.
6. **Ческидов В. И., Норри В. К., Саканцев Г. Г.** Расширение области применения систем открытой разработки угольных месторождений с перевалкой вскрыши драглайнами // ФТПРПИ. — 2014. — № 4. — С. 89–96.
7. **Власов В. М., Андросов А. Д.** Технологии открытой добычи алмаза в криолитозоне. — Якутск: ЯНС СО РАН, 2007. — С. 386.
8. **Кортелев О. Б., Ческидов В. И., Молотилов С. Г., Норри В. К.** Открытая разработка угольных пластов с перемещением горной массы экскаваторами-драглайнами. — Новосибирск, 2010. — С. 215.
9. **Литвин Я. О.** Обоснование условий временного отвалообразования при поэтапном перемещении вскрышных пород карьерными автосамосвалами на разрезах Кузбасса: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Кемерово, 2011. — С. 24.
10. **Ческидов В. И.** Очередность отработки пологих и наклонных угольных пластов с размещением вскрышных пород во внутренних отвалах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск, 1999. — С. 52.
11. **Трубецкой К. Н., Киселев Н. Н., Домбровский А. Н., Сидоренко И. А., Котровский М. Н., Самородов Ю. П., Сеинов Н. П.** Кранлайн — новый вид шагающего драглайна // Горн. пром-сть. — № 3. — 1999. — С. 52–57.
12. **New P&N Dragline system improves dragline productivity up to 30 %.** — Материалы фирмы P&N MineProServices, Рег. №XS-2643. 2FP-703, 2 с. Источник: <https://mining-media.ru/ru/article/67-go/1259-kranlajny-gornogeologicheskie-i-tekhnologicheskie-predposylki-effektivnogo-primeneniya>
13. **Горная энциклопедия.** — М.: Сов. энцикл., 1984. — Т. 1. — С. 271–272.
14. **Антоненко Л. К.** Геомеханические аспекты оценки эффективности технологии горных работ при заоткоске уступов, сложенных песчано-глинистыми породами // Тр. ИГД МЧМ СССР. — Свердловск, 1978. — Вып. 57. — С. 53–58.
15. **Шекун О. Г.** Новая технология приконтурного взрывания на карьерах ГОКов Кривбасса // Разработка рудных месторождений. — Киев: Техника, 1981. — Вып. 31. — С. 47–50.
16. **Ржевский Б. В., Якобовшили В. К.** Методические указания по оценке механического состояния массивов с помощью упругих волн. — М.: ИФЗ АН СССР. — 1978. — С. 75.
17. **Зотеев В. Г., Можаяев Л. В., Панков Д. В. и др.** Осушение рабочих площадок уступов в скальных породах // Горн. журн. — 1970. — № 8. — С. 22–24.
18. **Смирнов А. В., Евсин В. Г., Граур М. И.** Технология заоткоски уступов в скальных породах на ССГОКе // Горн. журн. — 1978. — № 2. — С. 27–29.
19. **Васильев И. В., Саканцев Г. Г., Нейфельд А. Г.** Условия и перспективы применения драглайнов в железорудной промышленности // Горн. журн. — 1983. — № 5. — С. 15–17.
20. **Трубецкой К. Н., Краснянский Г. Л., Хронин В. В.** Проектирование карьеров. — М.: Изд-во АГН, 2001. — Т. I, II. — С. 450.
21. **Ческидов В. И., Норри В. К.** Бестранспортная технология вскрышных работ на разрезах Кузбасса: состояние и перспективы // ФТПРПИ. — 2016. — № 4. — С. 109–116.

22. **Usibelli. Coal Mine** / [http: www. usibelli. com / mine-process. php](http://www.usibelli.com/mine-process.php), 2017.
23. **Case Study: Cast Blasting at wilkie Creek Coal Mine** / [http: www. Oricaminingservire. com / Uploads / Collateral](http://www. Oricaminingservire.com / Uploads / Collateral), 2017.
24. **Case Study: Improved dragline productivity through maximizing cast** / www.
25. **Груздев А. В., Сандригайло И. Н.** Шагающие драглайны // Горн. пром-сть. — 2008. — № 5 (81). — С. 6–8.
26. **Пат. РФ 2294433.** Способ обработки двух близкорасположенных рудных тел отдельными карьерами / А. Н. Акишев, В. А. Бахтин, С. Л. Бабаскин, А. Н. Черепанов, В. В. Клейменов // Оpubл. в БИ. — 2007. — № 6. — С. 12.
27. **Пат. РФ 2553672.** Способ открытой разработки крутопадающих месторождений большой протяженности с внутренним отвалообразованием / Саканцев Г. Г. // Оpubл. в БИ. — 2015. — № 17. — С. 8.
28. **Ермаков С. А., Бураков А. М., Заудальский И. И., Панишев С. В.** Совершенствование геотехнологий открытой разработки месторождений Севера. — Якутск, 2004. — 372 с.

Поступила в редакцию 21/VI 2018