

УДК 622.684:629.3:622.271

Глебов Игорь Андреевич

младший научный сотрудник,
лаборатория транспортных систем
карьеров и геотехники,
Институт горного дела УрО РАН,
620075 г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: i.glebov@igduran.ru

**ОБЗОР СХЕМ ВСКРЫТИЯ ГЛУБОКИХ
ГОРИЗОНТОВ АЛМАЗОРУДНЫХ
КАРЬЕРОВ В ФОКУСЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДОРАБОТКИ ЗАПАСОВ
ТОННЕЛЬНЫМИ СЪЕЗДАМИ****Аннотация:*

В настоящее время прослеживается тенденция увеличения конечной глубины разработки месторождения открытым способом, появляются новые технологические решения по вскрытию месторождений, а также вводится в эксплуатацию более эффективное горнодобывающее оборудование. Важную роль в доработке карьера занимает транспортная система, и поэтому вопрос вскрытия месторождений является одним из основных, требующих учета при ее развитии. В статье рассмотрены схемы вскрытия глубоких горизонтов алмазородных карьеров, достижения и перспективные разработки в области вскрытия месторождений. Среди них вскрытие крутонаклонными автомобильными съездами, вскрытие с применением подъемных установок (конвейеров, скипов) и специализированных устройств (кранов), вскрытие с применением специализированных видов транспорта (автопоезда), а также вскрытие подземными горными выработками с применением самоходного и стационарного транспортного оборудования. Выполнен анализ преимуществ и недостатков схем вскрытия. Все схемы имеют свои преимущества и недостатки. Схемы вскрытия с использованием крутонаклонных автосъездов являются наиболее динамичными с точки зрения сроков реализации, а технологии с подземными выработками и подъемниками характеризуются значительными сроками строительства, но при этом нередко обеспечивают большие величины глубины.

Ключевые слова: схема вскрытия, карьерный транспорт, автопоезд, шарнирно-сочлененный самосвал, подъемная установка, конвейер, скип, тоннель, крутонаклонные съезды, карьер.

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.061

Glebov Igor A.

Junior Researcher,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
Laboratory of Open Pit Transport Systems
and Geotechnics,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: i.glebov@igduran.ru

**OVERVIEW OF OPENING SCHEMES
FOR DEEP HORIZONS OF DIAMOND ORE
QUARRIES IN THE FOCUS
OF TECHNOLOGY FOR REFINING RE-
SERVES BY TUNNEL EXITS***Abstract:*

The article discusses the opening schemes for deep horizons of diamond ore quarries, achievements and promising developments on the field of deposits opening methods. These include opening with steep-slope automobile ramps, opening with the use of lifting installations (conveyors, skips) and specialized devices (cranes), opening with the use of specialized modes of transport (road trains), as well as opening with underground mining using self-propelled and stationary transport equipment. The advantages and disadvantages of penetrating schemes are analyzed. Schemes using steeply inclined truck ramps appear to be most dynamical according to its execution period, and technologies with underworking and lifting equipment are characterized by longer terms of construction, but they provide usually much deeper mining.

Keywords: opening scheme, quarry transport, road train, articulated dump truck, lifting plant, conveyor, skip, tunnel, steeply inclined ramps, quarry.

* Исследования выполнены в рамках Государственного задания, тема 0405-2019-0005

Введение

Самое распространенное определение словосочетания «вскрытие месторождения» дал доктор технических наук Е.Ф. Шешко. Вскрытие месторождения – это установление грузотранспортной связи между горизонтами его разработки и техническими сооружениями на поверхности и в карьере [1].

Прослеживается тенденция увеличения конечной глубины разработки месторождения открытым способом. Этому способствуют новые технологические решения по вскрытию и разработке месторождений, а также применение более эффективного горнодобывающего оборудования [2]. Однако ни один из видов карьерного транспорта не имеет преимуществ, которые позволили бы доработать глубокий карьер с его использованием без комбинации с другими видами транспорта [3, 4]. Поэтому вопрос вскрытия месторождений является одним из основных, требующих учета при развитии транспортной системы карьеров и остается актуальным по сей день [5].

Проблеме вскрытия месторождений, в том числе проектированию и эксплуатации глубоких карьеров, вопросам транспортирования горной массы посвящены научные труды многих ученых, основополагающими из которых являются работы академиков Н.В. Мельникова и В.В. Ржевского, член-корр. А.О. Спиваковского, В.Л. Яковлева, профессоров М.В. Васильева, М.Г. Новожилова, А.С. Фиделева, М.Г. Потапова и др. [6].

В настоящее время актуальной является проблема вскрытия глубоких горизонтов уже существующих карьеров, что обеспечило бы доступ к нижним запасам полезного ископаемого, не включенным ранее в контуры карьера. В связи с этим требует анализа вопрос формирования эффективной схемы вскрытия для решения указанной задачи.

В общей массе исследований можно выделить 2 направления:

- увеличение глубины существующего карьера;
- переход на комбинированную разработку с совместным использованием транспортных коммуникаций и вскрывающих выработок.

Основная часть

Ярким примером карьеров, требующих эффективных решений по вскрытию глубоких горизонтов, являются кимберлитовые месторождения Якутии. Эти месторождения характеризуются сложными условиями и большой глубиной залегания (до 1000 – 1500 м и более). Так, в 2004 – 2006 гг., по результатам исследований условий эксплуатации карьерного транспорта на глубоких горизонтах кимберлитовых карьеров была разработана технология и обоснованы параметры гусеничных самосвалов, способных работать на съездах в карьере с уклонами до 35 % (в т.ч. совместно с машиностроительными предприятиями проработана компоновка машин) [7 – 8].

В 2008 – 2012 гг. Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО) и Институт горного дела УрО РАН (далее ИГД УрО РАН) проработали научно-методические основы и проектные решения для вскрытия глубоких горизонтов карьеров «Удачный», «Ботуобинский» с помощью крутонаклонных съездов в варианте как гусеничных самосвалов, так и полноприводных пневмоколесных автосамосвалов [9 – 12]. Исследования на опытно-промышленном участке были проведены в 2012 – 2013 гг. В качестве сборочного транспорта использовались шарнирно-сочлененные самосвалы, которые способны преодолевать крутой уклон (21 – 25 %) и имеют меньшую ширину по сравнению с автосамосвалами с жесткой рамой и колесной формулой 4×2, что позволяет сократить дополнительный объем вскрыши от размещения транспортных коммуникаций. Главными результатами исследования можно считать обоснование технологических схем перехода на крутые уклоны и установленные области применения повышенных уклонов, подтверждение возможности применения полноприводных автосамосва-

лов на карьерных крутонаклонных съездах, в том числе в режиме удаленного управления, способ строительства крутонаклонных съездов [13 – 16].

На данный момент вскрытие глубоких горизонтов крутонаклонными съездами заложено в проекты таких месторождений, как трубки «Комсомольская» и «Юбилейная» Айхальского ГОКа, трубки «Нюрбинская» и «Ботубинская» Нюрбинского ГОКа АК «АЛРОСА». Учитывая многолетний опыт разработки месторождений алмазов, проектная глубина карьеров постоянно пересматривается и на сегодняшний день доходит до 750 м при потенциале в 1000 м [17].

Например, на месторождении трубки «Нюрбинская» АК «АЛРОСА» (ПАО) отработка запасов в интервале глубин 570 – 750 м подземным способом экономически неэффективна. Согласно проекту, вскрытие глубоких горизонтов карьера должно осуществляться крутонаклонными автосъездами ($i = 21 - 25 \%$). Транспортировка горной массы с нижних горизонтов должна осуществляться шарнирно-сочлененными самосвалами (ШСС), что позволит отработать карьер до глубины 570 м [2].

Схема вскрытия с крутонаклонными съездами может применяться на карьерах широкого спектра (по добыче железных руд, руд цветных металлов), что было показано исследованиями ИГД УрО РАН.

Основываясь на этих исследованиях, комбинат «Магнезит» использовал схему вскрытия нижних горизонтов карьеров с транспортировкой горной массы по трассам с уклоном до 15 % [18].

В 2010 г. учеными ИГД УрО РАН был предложен способ вскрытия с использованием самосвалов относительно малой грузоподъемности (30 – 40 т) и, соответственно, узких съездов для уменьшения объема выемки вскрыши при формировании автосъезда на конечных бортах в верхней части карьера, что благотворно повлияет на разработку основной части карьера большегрузным транспортом [19].

Помимо вскрытия крутонаклонными и узкими съездами, при благоприятных горнотехнических условиях перспективным является внедрение специального транспорта в виде подъемников различной конструкции. Они могут применяться как при открытой добыче полезного ископаемого, так и при комбинированной разработке месторождения.

В 1972 г. на Сибайском карьере был введен в эксплуатацию скиповой подъемник грузоподъемностью 40 т и максимальной высотой подъема 372 м. Это был единственный карьер со скиповым подъемником в России [20]. Скиповые подъемники имеют ряд существенных недостатков, влияющих на надежность транспортной системы в целом. Поэтому специалистами была предложена автомобильная наклонная карьерная подъемная установка, которая позволяет исключить такой недостаток скиповых подъемников, как перегрузка горной массы, а также добавляет ряд преимуществ автомобильному транспорту, т.к. вместо скипа используется платформа для карьерных самосвалов [21, 22].

Учеными МГТУ рассмотрены технологические схемы вскрытия глубоких горизонтов карьеров с применением крутонаклонных подъемников при комбинированном способе разработки месторождения. В ходе исследований были выделены шесть технологических схем применения подъемников при комбинированной разработке месторождений [23]. При размещении крутонаклонных конвейерных или скиповых подъемников в открытых выработках предполагается использование дробильно-перегрузочного пункта. При дальнейшей разработке месторождения подземным способом горная масса доставляется подземными самосвалами по наклонным съездам до дна карьера, где впоследствии будет располагаться перегрузочный пункт.

Специализированными подъемными устройствами для открытого способа разработки являются кабельный кран и подъемники башенного типа. В этом случае карьер отрабатывается поэтапно, при этом последний этап предполагает доработку нижней части без отстраивания транспортных берм на конечном борту карьера. Доставка гор-

ной массы с нижних горизонтов осуществляется с помощью крана или подъемника [24]. Такой способ хорошо описан в статьях В.И. Точилина. Специализированные подъемные устройства имеют ряд недостатков: нерешенность вопросов вскрытия и обеспечения транспортной связи на период строительства устройства, высокие капитальные вложения, сложность наращивания подъемников, невозможность доставки в рабочую зону горного оборудования и т.д. Решение недостатков таких специализированных подъемных устройств, в т.ч. для снижения капитальных и эксплуатационных затрат, предлагают специалисты института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» в патенте №2571776 «Способ открытой разработки крутопадающих рудных тел». Лаборатория транспортных систем карьеров и геотехники ИГД УрО РАН проработала компоновочное решение подъемного устройства. Были представлены схемы грузоподъемной тары для кабельного крана, а также найдены пути увеличения его производительности [25].

Одним из перспективных направлений вскрытия глубоких горизонтов является использование подземных выработок, например, тоннелей и квершлагов, штолен.

В 2013 г. специалисты Горного института КНЦ РАН и Ковдорского ГОКа предложили 4 схемы вскрытия глубоких горизонтов карьера «Железный» подземными выработками:

– по схеме № 1 руда из карьера, прошедшая стадию дробления, перепускается по рудоспускам через бункерные устройства на конвейерный транспорт и дальше по конвейерным квершлагам и штрекам перемещается через рудоспуски в приемные бункеры скиповых подъемников;

– схема № 2 аналогична схеме № 1, но выдача руды из карьера производится двумя наклонными конвейерными стволами;

– по схеме № 3 руда поступает через рудоприемные бункеры на ленточные конвейеры в транспортных штольнях, а с них на наклонный конвейер (рис. 1);

– схема № 4 также предусматривает строительство двух штолен с ленточными конвейерами и двух наклонных конвейерных стволов, но к схеме добавляются вертикальные конвейерные стволы [26].

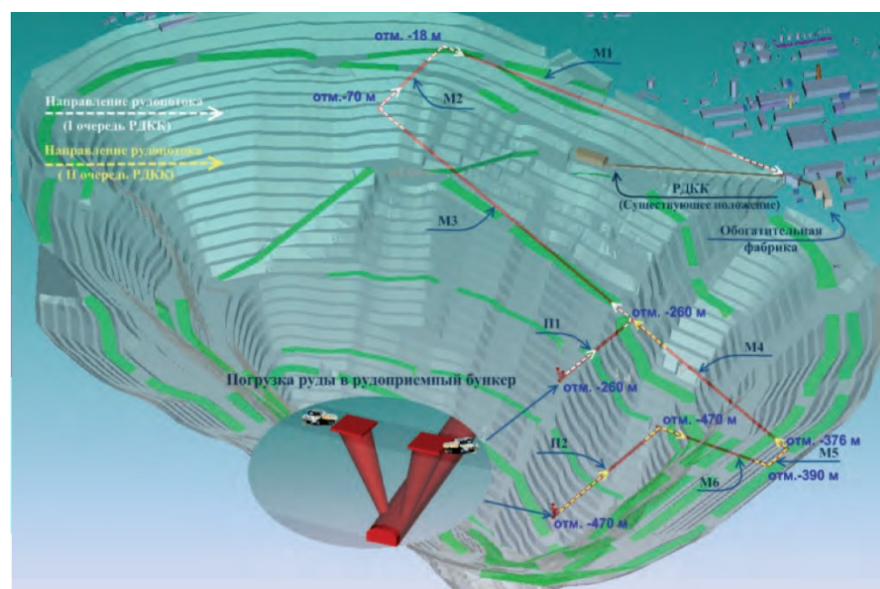


Рис. 1 – Схема вскрытия месторождения № 3, предложенная специалистами Горного института КНЦ РАН и Ковдорского ГОКа [26]: выдача руды из карьера конвейерным комплексом

Исследования специалистов показали, что для сокращения капитальных затрат необходимо комбинированное использование схем 3 и 2 при поэтапном строительстве транспортного комплекса. При такой схеме отсутствует влияние транспортного ком-

плекса на работу карьера и появляется возможность использования конвейерного ствола для вскрытия прибортовых запасов карьера. Комбинация схем вскрытия позволяет уменьшить количество автосамосвалов, снизить затраты на выдачу руды, улучшить водоотлив и вентиляцию карьера, а также начать заблаговременное строительство подземного рудника [26].

На Сарбайском карьере Соколовско-Сарбайского горно-обогатительного производственного объединения для ввода железнодорожного транспорта на нижние горизонты с целью снижения себестоимости использована схема вскрытия с наклонными тупиковыми железнодорожными тоннелями, обеспечивающими спуск составов на 40 м по высоте. Пройденные с борта карьера две системы тоннелей обеспечивают спуск железнодорожного транспорта на 80 м.

Р.Б. Юн предложил осуществлять вскрытие месторождения независимо от мощности рудного тела и угла его залегания. Вскрытие осуществляется посредством спирального съезда 1, располагаемого вне зоны сдвижения, и горизонтальных выработок (рис. 2) [27]. В его патенте сказано, что в качестве вскрывающей выработки также может использоваться наклонный ствол с конвейером или скиповым подъемником.

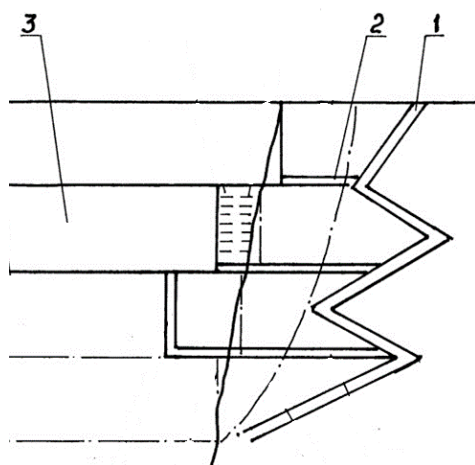


Рис. 2 – Схема вскрытия месторождения, предложенная Р.Б. Юном [27]:
1 – спиральный съезд; 2 – горизонтальные подземные выработки;
3 – нижний горизонт карьера

Отработка месторождения производится карьерными уступами. Для отбойки руды используется буровзрывной способ, после чего горная масса транспортируется по подземным выработкам (2) до спирального съезда и т.д.

Первое упоминание о спиральном тоннельном съезде с применением пневмоколесного транспорта было найдено в статье 1987 г., авторами которой являются ученые из США. В ней говорится о технологии вскрытия тоннелем спиральной формы, расположенным в борту карьера. Соединение тоннеля с горизонтами производится квершлагами (порталами). Транспортировка горной массы по тоннелю производится подземными машинами [28].

В 1991 г. Институтом горного дела СО АН СССР было опубликовано авторское свидетельство № 1675559 «Способ вскрытия горизонтов крутопадающего месторождения». В патенте описан способ вскрытия горизонтов крутопадающего месторождения наклонной подземной выработкой (рис. 3). Выработка 2 проводится от спирального съезда 1 и соединяется с бортом карьера горизонтальной выработкой 3. По мере углубки карьера на 80–100 м проводят следующий участок наклонной подземной выработки 4 и соединяют с бортом карьера горизонтальной выработкой 5. При этом выработку 3 перекрывают. После чего продолжают дополнять наклонную выработку новым участком 6, 7, перекрыв вышележащую горизонтальную выработку 5. После чего переходят к подземной разработке, соединяя слепой выработкой 8 подземный горизонт 9 [29].

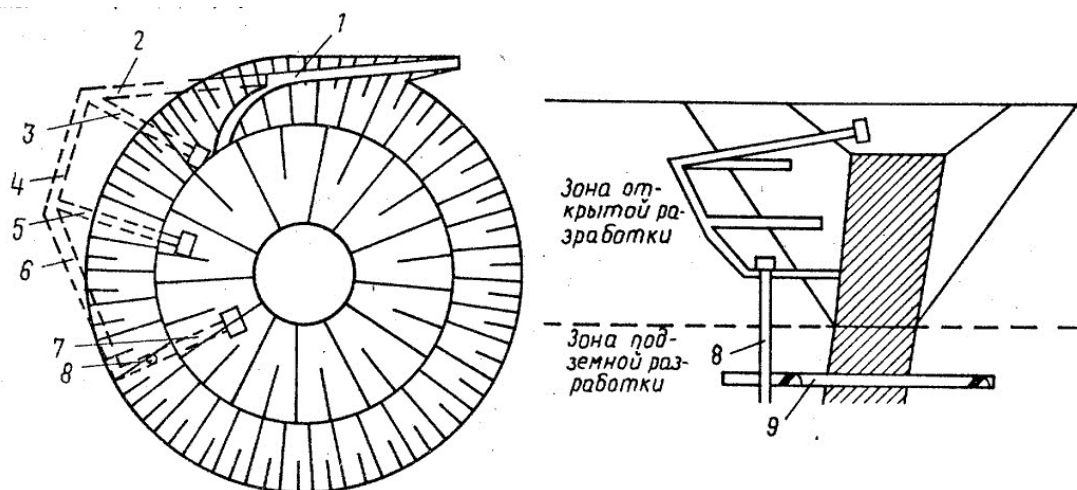


Рис. 3 – Способ вскрытия горизонтов крутопадающего месторождения
Института горного дела СО АН СССР [29]:

- 1 – спиральный капитальный съезд; 2, 4, 6 – наклонный ствол;
3, 5, 7 – горизонтальные подземные выработки; 8 – слепой ствол;
9 – подземные выработки (подземный способ разработки месторождения)

Подобная конструкция спирального съезда прослеживается в патенте 2001 г. Института горного дела Севера СО РАН № 2208160 «Способ вскрытия шахтных горизонтов из глубоких карьеров при отработке кимберлитовых месторождений» (рис. 4). В предлагаемом способе вскрытия используются наклонные стволы 5, проходимые за пределами призмы обрушения 6 и далее за пределами рудного тела 1 по ломаному направлению с проходкой стволов 5 из пройденных в борту карьера 4 горизонтальных выработок 3. В отличие от предыдущего патента, проходка подземных горных выработок производится после окончания открытых горных работ, и далее разработка месторождения производится подземным способом 2. В данном способе вскрытия в наклонных выработках предлагается размещать конвейерные линии, которые обеспечат непрерывность доставки руды из подземных горных выработок.

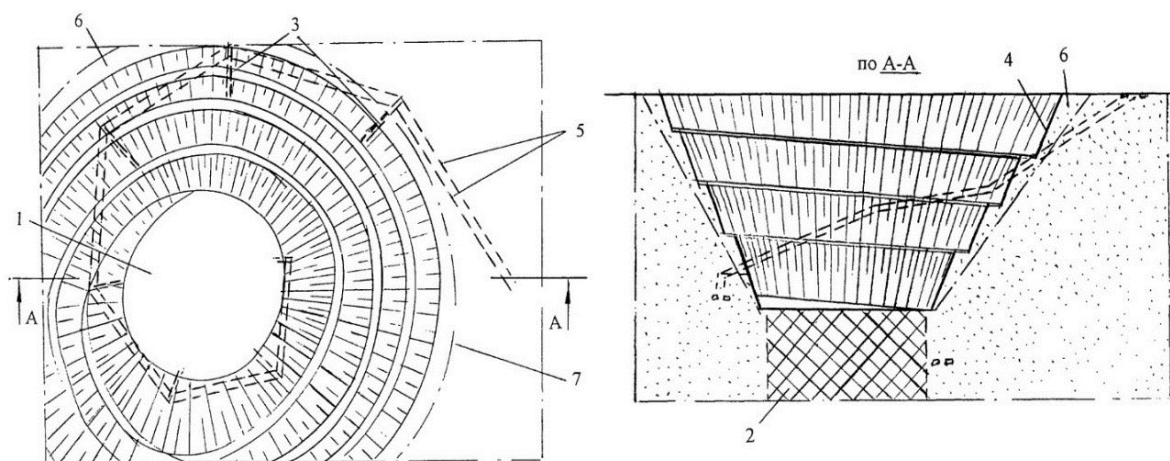


Рис. 4 – Способ вскрытия шахтных горизонтов из глубоких карьеров
при отработке кимберлитовых месторождений
Института горного дела Севера СО РАН [30]:

- 1 – кимберлитовое месторождение; 2 – подземная часть месторождения;
3 – горизонтальные выработки; 4 – борт карьера; 5 – наклонные стволы;
6 – призма обрушения; 7 – внешняя граница призмы обрушения

В 2017 г. ученые Института «Якутнипроалмаз» и Уральского государственного горного университета предложили использовать вскрытие подземными горными выработками на трубке «Нюрбинская» (рис. 5) [2]. Главное отличие от технологии, предлагаемой в статье американских ученых и в патентах ИГД Севера СО АН СССР, заключается в том, что тоннельное вскрытие применяется именно для нижних горизонтов карьера. То есть карьер разрабатывается поэтапно без подземных горных работ:

- 1 этап – традиционное вскрытие автосъездами с уклоном 8–10 %;
- 2 этап – вскрытие с применением крутых уклонов 21–25 %;
- 3 этап – вскрытие тоннелем спиральной формы с уклоном 18–20 %.

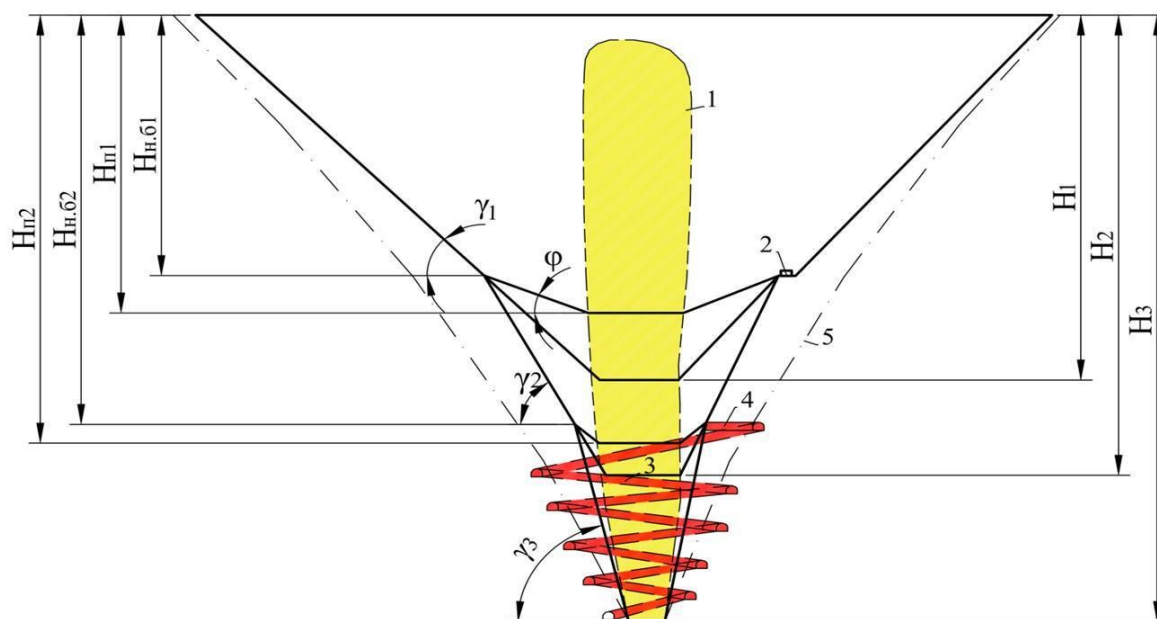


Рис. 5 – Инновационная схема вскрытия глубоких горизонтов Карьера «Нюрбинский» [2]:

1 – рудное тело; 2 – перегрузочный пункт; 3 – тоннельные автосъезды; 4 – кварцлаг; 5 – граница зоны действия открытых горных работ (поверхность скольжения);

H_1 – конечная глубина карьера при традиционной схеме вскрытия с использованием автосамосвалов с колесной формулой 4×2, м;

H_2 – конечная глубина карьера при переходе на вскрытие крутонаклонными съездами и использовании полноприводных автосамосвалов, м;

H_3 – конечная глубина карьера при переходе на тоннельное вскрытие, м;

H_{n1} – глубина перехода на вскрытие крутонаклонными автосъездами, м;

H_{n2} – глубина перехода на тоннельное вскрытие, м;

$H_{n,61}$ – высота нерабочего борта карьера при переходе на вскрытие крутонаклонными съездами, м;

$H_{n,62}$ – высота нерабочего борта карьера при переходе на тоннельное вскрытие, м;

γ_1 – угол откоса нерабочего борта карьера при традиционной схеме вскрытия, град;

γ_2 – угол откоса нерабочего борта карьера при вскрытии крутонаклонными съездами, град;

γ_3 – угол откоса нерабочего борта карьера при тоннельном вскрытии, град;

φ – угол откоса рабочего борта, град

Технологии ведения буровзрывных и добычных работ в карьере остаются неизменными. Транспортирование горной массы производится шарнирно-сочлененными самосвалами до перегрузочного пункта, расположенного между первым и вторым этапами, после чего горная масса вывозится на поверхность карьерными самосвалами с колесной формулой 4×2. Тоннель при этом строится однопутным с площадками разъезда самосвалов каждые 450 м пути.

Такая схема вскрытия позволит значительно сократить объем вскрыши за счет увеличения углов откоса бортов, т.к. на 3-м этапе отработки внутри карьера не будут

размещаться транспортные бермы, а наличие в борту тоннелей обеспечивает снижение гидродинамического давления на борт карьера.

Институтом «Якутнипроалмаз» проведены исследования данной схемы вскрытия применительно к трубке «Архангельская». Тоннельных съездов стало два. Первый съезд отвечает за вентиляцию и спуск – подъем людей и материалов. Второй съезд отвечает за транспортировку горной массы и проезд горной техники [31].

В 1980-х годах Институт горного дела УрО РАН и НИПИГормаш разработали шахтный автопоезд АШ-75. Позже специалистами из ИГД УрО РАН был предложен ряд усовершенствований автопоезда, которые позволили бы увеличить преодолеваемый уклон, скорость транспортирования, производительность и снизить расход топлива [32]. Такие автопоезда предлагается применять в условиях открыто-подземной разработки, предполагающих наличие подземных транспортных выработок, в первую очередь, вместо подземных самосвалов. Благодаря компоновке автопоезда при его грузоподъемности 75 т, необходимое сечение транспортных выработок составляет всего 10 – 12 м² по сравнению с 25 – 27 м² для подземных самосвалов [33].

Шахтные автопоезда также можно использовать при вскрытии глубоких горизонтов карьеров тоннельными автосъездами при условии большей мощности рудного тела, т.к. они имеют больший радиус разворота и длину по сравнению с шарнирно-сочлененными самосвалами. Преимуществами такого транспорта перед шарнирно-сочлененными самосвалами являются его габаритные размеры и грузоподъемность. Уменьшение сечения подземных выработок за счет внедрения автопоездов позволит сэкономить на проходческих работах, а увеличение грузоподъемности позволит увеличить производительность транспортной системы. Также автопоезда позволяют отказаться от перегрузочного пункта и доставить горную массу до поверхности карьера.

В тех случаях, когда для вскрытия глубоких горизонтов применяются шарнирно-сочлененные самосвалы, гусеничные самосвалы или иной транспорт, необходима перегрузка в большегрузные самосвалы. Специалисты лаборатории транспортных систем карьеров и геотехники провели анализ перегрузочных пунктов при эксплуатации специализированного транспорта на глубоких горизонтах карьеров. Они пришли к выводу, что наиболее рациональным является устройство перегрузочного пункта с рудоспуском в борту карьера с разгрузкой на транспортной берме [34]. При такой схеме большегрузный транспорт заезжает в тоннель на нижележащем горизонте, в то время как на транспортную берму доставляется горная масса с нижних горизонтов карьера. Погрузка большегрузного транспорта производится через наклонный рудоспуск.

Каждая из вышеперечисленных схем имеет свои преимущества и недостатки, основные из которых изложены в табл. 1.

Таблица 1

Основные преимущества и недостатки схем вскрытия

Схема вскрытия	Преимущества	Недостатки
1	2	3
Вскрытие глубоких горизонтов крутонаклонными автосъездами с использованием шарнирно-сочлененных или гусеничных самосвалов	Сокращение объемов вскрышных работ за счет увеличения углов откоса бортов. Невысокие капитальные вложения по сравнению с другими нетрадиционными схемами вскрытия. Широкий спектр карьеров с возможностью применения технологии. Увеличение глубины доработки карьера.	Высокая себестоимость транспортирования в зоне крутых уклонов. Требуется место под размещение перегрузочного пункта. Более трудоемкая технология проведения съездов. Высокие энергозатраты.

Окончание таблицы 1

1	2	3
Вскрытие с внедрением подъемных установок, в том числе	Снижение загазованности карьера. Сокращение парка самосвалов.	Высокие капитальные затраты на строительство. Особые требования к месту размещения подъемника (консервация борта). Полная зависимость от работоспособности подъемника.
– скиповых	Высокая надежность скиповых подъемников.	Необходимость перегрузочного пункта внутри карьера. Существенное падение производительности при увеличении высоты подъема.
– круто-наклонных конвейеров	Возможность наращивания линии при необходимости. Производительность конвейерного подъемника не зависит от глубины перегрузочного пункта в отличие от скипового. Непрерывность транспортировки руды.	Необходимость предварительного дробления материала. Необходимость формирования площадки и строительства дробильно-перегрузочного пункта внутри карьера.
– автомобильных подъемников	Нет необходимости в перегрузочном пункте.	Большая металлоемкость. Увеличенный коэффициент тары в сравнении со скиповым подъемником.
Вскрытие с внедрением специализированных подъемных устройств (кабельные и башенные краны)	Сокращение объемов вскрышных работ за счет увеличения углов откоса бортов.	Относительно невысокая производительность. Необходимо место в карьере под опоры и перегрузочный пункт.
Вскрытие глубоких горизонтов с применением подземных выработок с использованием:	Сокращение объемов вскрышных работ за счет увеличения углов откоса бортов. Увеличение глубины доработки карьера. Возможность организации водоотлива через подземные сооружения. По сравнению с подземным способом доработки месторождений имеют меньшую длину подземных выработок и, соответственно, капитальные затраты.	Высокие капитальные затраты на строительство подземных выработок и вентиляционных сооружений по сравнению с традиционными схемами вскрытия нижних горизонтов карьеров.
– шарнирно-сочлененных самосвалов	Высокий преодолеваемый уклон позволяет отработать часть карьера круто-наклонными съездами с переходом в подземные выработки.	Высокая себестоимость транспортирования по сравнению с карьерными самосвалами. Необходимо место под перегрузочную площадку в карьере.
– шахтных автопоездов	Меньшее сечение подземных выработок по сравнению с шарнирно-сочлененными и шахтными самосвалами. Нет необходимости в размещении пункта перегрузки ввиду более низкой себестоимости при доставке на значительные расстояния.	Сложная схема маневрирования, требующая увеличения размеров рабочих площадок или перегрузочных пунктов в карьере.
– подземных подъемных установок (скипов, конвейеров)	Сокращение объемов вскрышных работ за счет увеличения углов откоса бортов. Нет необходимости консервации борта карьера и его укрепления для размещения тяжелых конструкций, так как подъемные установки размещаются в подземных выработках.	Высокие капитальные затраты на строительство. Необходимость предварительного дробления материала в случае использования конвейерных линий. Необходимость перегрузочного пункта внутри карьера.

Выводы

Существует множество схем вскрытия глубоких горизонтов карьеров, обеспечивающих доступ к запасам полезного ископаемого за пределами первоначального проектного контура карьера. Среди них имеются как проверенные на практике, так и инновационные технологические решения. Каждая из схем обладает специфическими преимуществами и ограничениями и потому имеет определенную область применения.

Почти все рассмотренные схемы вскрытия обеспечивают достижение цели за счет увеличения угла откоса бортов карьера за счет

- минимизации пространственных параметров транспортных берм;
- замены транспортных берм на возводимые сооружения (подъемники разного типа);
- переноса вскрывающих и транспортных выработок за контуры карьера (в подземное пространство).

Видно, что стремление к увеличению глубины карьера за счет повышения углов его откоса в конечном счете требует значительных капитальных затрат. Исключение составляют схемы вскрытия с крутонаклонными внутрикарьерными съездами, которые, правда, характеризуются повышенными эксплуатационными затратами. Поэтому при выборе схемы вскрытия для каждого конкретного месторождения необходимо выбирать такие ее параметры, которые обеспечат компенсацию повышенных затрат за счет значительного объема дополнительно извлекаемой руды.

С точки зрения сроков реализации наиболее динамичными являются схемы вскрытия с использованием крутонаклонных съездов. А технологии вскрытия с подземными выработками и подъемниками характеризуются значительными сроками строительства, но при этом нередко обеспечивают большие величины глубины.

Вскрытие глубоких горизонтов с применением подземных выработок, например, тоннелей, вкуче с крутонаклонными автосъездами может иметь широкий спектр использования при разработке крутопадающих месторождений. Планируется обоснование комбинированной схемы вскрытия на кимберлитовых месторождениях с разведанной глубиной до 1000 и более метров. Предварительные расчеты такой схемы показали, что возможно сокращение объемов вскрышных работ до 8 раз относительно традиционной схемы вскрытия [2].

Литература

1. Шешко Е. Ф. Основы теории вскрытия карьерных полей / Е. Ф. Шешко. – Москва – Ленинград : Углетехиздат, 1953. – 215 с.
2. Акишев А. Н. Инновационная технология вскрытия и разработки глубоких кимберлитовых карьеров / А. Н. Акишев, Ю. И. Лель, И. А. Глебов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2019. – № 3. – С. 111-123.
3. Яковлев В.Л. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / В.Л. Яковлев, С.В. Корнилков, И.В. Соколов ; Под ред. Член-корр. РАН В.Л. Яковлева. – Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 2018. – 360 с.
4. Яковлев В.Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В.Л. Яковлев. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. – 240 с.
5. Яковлев В.Л. Этапы становления и развития уральской научной школы карьерного транспорта / В.Л. Яковлев. – DOI: 10.25635/2313-1586.2019.03.023 // Проблемы недропользования. – 2019. – № 3. – С. 23-38.
6. Яковлев В. Л. Развитие идей Е. Ф. Шешко по теории вскрытия карьерных полей / В. Л. Яковлев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – № 12. – С. 117-121.
7. Схемы вскрытия и отработки глубоких горизонтов алмазных карьеров крутонаклонными выработками / А.С. Чаадаев, А.Н. Акишев, В.А. Бахтин, С.Л. Бабаскин // Горная промышленность. – 2008. – №2. – С. 75-80.

8. Новые транспортные средства и комплексы для глубоких карьеров / А.Г. Ворошилов, А.Г. Журавлев, А.П. Тарасов, В.О. Фурин, С.Л. Бабаскин // Горный журнал. – 2006. – №8. – С. 35-39.
9. Журавлев А.Г. Технологические показатели гусеничных самосвалов для карьеров / А.Г. Журавлев, В.О. Фурин // Проблемы и достижения автотранспортного комплекса VII Всероссийская научно-техническая конференция. – 2009. – С. 77-80.
10. Техничко-технологический комплекс для доработки запасов на глубинных горизонтах алмазородных карьеров / А.Н. Акишев, И.В. Зырянов, Б.Н. Заровняев, П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев // Горный журнал. – 2012. – №12. – С. 39-43.
11. Яковлев В.Л. Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов / В.Л. Яковлев. – Екатеринбург, УрО РАН, 2019 – 284 с.
12. Патент на полезную модель №RU 122357 U1 Российская Федерация, МПК В62D 33/073. Гусеничный самосвал для транспортирования горной массы : № 2012130873/11 : заявл. 20.07.2012 : опубл. 27.11.2012 / Тарасов П.И., Журавлев А.Г., Черепанов В.А., Акишев А.Н., Бабаскин С.Л.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова", Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук". – 13 с. – Бюл. №33.
13. Журавлев А.Г. Тенденция развития транспортных систем карьеров с использованием роботизированных машин / А.Г. Журавлев // Проблемы недропользования. – 2014. – №3. – С. 164-175.
14. Зырянов И. В. Испытания Cat-740В на крутонаклонных съездах карьера «Удачный» АК «АЛРОСА» / И. В. Зырянов, А. И. Цымбалова // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 9. – С. 22-25.
15. Глебов А.В. Технологические особенности освоения месторождений твердых полезных ископаемых с использованием шарнирно-сочлененных самосвалов / А.В. Глебов // Наука и техника. – 2018. - Т. 17, № 3. – С. 238-245.
16. Глебов А. В. Перспективный сборочный транспорт открытых горных работ / А. В. Глебов, Ю. И. Лель, И. А. Глебов // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 5(102). – С. 18-22.
17. Зырянов И. В. К вопросу о выборе вида карьерных автосамосвалов для кимберлитовых карьеров Якутии / И. В. Зырянов, С. В. Решетников // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 5(102). – С. 22-25.
18. Патент на изобретение № 2398110 Российская Федерация, МПК E21C 41/26. Способ вскрытия карьеров / Яковлев В.Л., Берсенёв В.А., Бахтурин Ю.А.; патентообладатель ИГД УрО РАН. – № 2009106307; заявл. 24.02.2009; опубл. 27.08.2010, Бюл. № 24.
19. Патент № RU 2464422 С2 Российская Федерация, МПК E21C 41/26 (2006.01).Способ открытой разработки месторождений : № 2010149768/03 : заявл. 03.12.2010 : опубл. 20.10.2012 / Коростелев С. П., Дунаев В. В., Сырескин С. Н. [и др.] ; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью «Группа «Магнезит». – 4 с. – Бюл. №29.
20. Хохряков В. С. Новожилов Михаил Галактионович (1911-1997). К столетию со дня рождения / В. С. Хохряков // Известия УГГУ. – 2012. – № 27-28. – С. 165-167.
21. Эффективность автомобильно-клетьевых подъемников АНК-120 на глубоких карьерах / А. Г. Сисин, В. И. Белобров, М. А. Файнблит, А. Н. Акишев // Горный журнал. – 1995. – № 5. – С. 19-21.
22. Чендырев М.А. Техничко-экономические параметры транспортирования горной массы из карьера автомобильным наклонным карьерным подъемником /

М.А. Чендырев, А. Г. Журавлев // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. - № 1. – С. 33-37.

23. Гавришев С.Е. Обоснование технологической схемы вскрытия глубоких горизонтов карьеров с применением крутонаклонных подъемников при комбинированном способе разработки месторождения / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, Н. Г. Томилина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 4. – С. 108-115.

24. Патент № RU 2571776 С1 Российская Федерация, МПК E21C 41/26 (2006.01). Способ открытой разработки крутопадающих рудных тел : № 2014139741/03 : заявл. 30.09.2014 : опубл. 20.12.2015 / Бабаскин С.Л., Акишев А.Н., Самоловов В.С. ; заявитель и патентообладатель АК «АЛРОСА» (ПАО). – 14 с. – Бюл. №35.

25. Беспальков А.А. Технические вопросы при использовании кабельных кранов для ведения горных работ / А.А. Беспальков, А.Г. Журавлев. - DOI: 10.18454/2313-1586.2017.02.085 // Проблемы недропользования. – 2017. - № 2. – С. 85-95.

26. Вскрытие глубоких горизонтов карьера «Железный» Ковдорского ГОКа подземными выработками / А.А. Леонтьев, О.В. Белгородцев, Е.В. Громов, С.В. Казачков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 4. – С. 212-220.

27. Патент № RU 2132950 С1 Российская Федерация, МПК E21C 41/00. Способ комбинированной разработки месторождений : № 98101994/03 : заявл. 12.02.1998 : опубл. 10.07.1999 / заявитель и патентообладатель Юн Р.Б., Борщ-Компониец В.И. – 7 с.

28. Hustrulid W.A. In-the-wall haulage for open-pit mining / W.A. Hustrulid, B. Seegmiller, O. Stephansson // Mining Engineering. - 1987. - Vol. 39. - № 2. - P.119-123.

29. Авторское свидетельство № SU 1675559 А1 СССР, МПК E21C 41/00. Способ вскрытия горизонтов крутопадающего месторождения : заявл. 17.05.1989 : опубл. 07.09.1991 / Заудальский И. И. ; заявитель и патентообладатель Институт горного дела Севера СО АН СССР. – 4 с. – Бюл. №33

30. Патент № RU 2208160 С2 Российская Федерация, МПК E21C 41/00. Способ вскрытия шахтных горизонтов из глубоких карьеров при отработке кимберлитовых месторождений : заявл. 28.08.2001 : опубл. 10.07.2003 / Васильев П.Н., Зубков В.П., Кисиличин А.И. ; заявитель и патентообладатель Институт горного дела Севера СО РАН. – 6 с.

31. Акишев А.Н. К вопросу развития геотехнологии открытой разработки алмазородных месторождений / А.Н. Акишев, И.Б. Бокий, И.В. Зырянов // Совершенствование технологии горных работ и подготовка кадров для обеспечения техносферной безопасности в условиях Северо-Востока России: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 80-летию доктора технических наук, профессора, действительного члена Академии горных наук РФ Чемезова Егора Николаевича (Якутск, Россия, 25 апреля 2018 г.). – Якутск, 2018. – С. 267-274.

32. Черепанов В.А. Вопросы создания и возможность применения троллей-автопоезда на примере ОАО "Комбинат Магnezит" / В.А. Черепанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 9 – С. 179-184.

33. Черепанов В.А. Факторы, влияющие на схему вскрытия глубоких горизонтов карьеров с применением наклонных подземных выработок / В.А. Черепанов, И.А. Глебов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3-1 – С. 351-367.

34. Тарасов П.И. Анализ и перспективы применения перегрузочных пунктов при эксплуатации специализированного карьерного транспорта в глубинных зонах карьеров / П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев, В.Р. Баланчук // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 7 – С. 320-328.