

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СХЕМУ ВСКРЫТИЯ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ КАРЬЕРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАКЛОННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ВЫРАБОТОК

В.А. Черепанов¹, И.А. Глебов¹

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН)

Аннотация: Вопросы совершенствования технологии доработки месторождений тесно связаны с повышением эффективности технологических процессов и внедрением комплекса новых методов и средств механизации, с оптимизацией параметров технологических процессов, минимизацией затрат и повышением интенсивности горных работ в условиях изменения параметров рабочей зоны с глубиной отработки. Для различных условий доработки месторождений открыто-подземным способом, в зависимости от объемов перевозок и параметров карьеров, предлагается использовать соответствующие подземные транспортные выработки. Оптимизация параметров бортов карьера позволяет увеличить угол откоса и увеличить экономически эффективную глубину разработки месторождения открытым способом. В качестве одного из возможных направлений доработки месторождений предлагается применение наклонных подземных транспортных выработок за счет разработки карьера с зоной тоннельного вскрытия или использования подземных горных работ, но без строительства капитальных вертикальных стволов. В статье приведены факторы, влияющие на схемы вскрытия глубоких горизонтов карьеров с применением наклонных подземных транспортных выработок при использовании шарнирно-сочлененных самосвалов и автопоездов. Факторы являются основой для дальнейшего поиска рациональных параметров открыто-подземной технологии доработки прибортовых и подкарьерных запасов и определения предпочтительных условий применения шарнирно-сочлененных самосвалов и автопоездов. Для оценки глубины перехода на схему вскрытия с применением системы тоннельных съездов необходимо учитывать ряд факторов: горно-технологические, технические, экономические. Результаты таких расчетов приведены в статье. Применение предлагаемой техники позволит увеличить полноту освоения месторождений за счет вовлечения в отработку прибортовых и подкарьерных запасов, что является актуальной задачей в связи с предстоящим достижением стадии доработки месторождений на многих горнодобывающих предприятиях как в ближайшее время, так и в долгосрочной перспективе.

Ключевые слова: открыто-подземная разработка, самосвал, шарнирно-сочлененный самосвал, автопоезд, комбинированная разработка, крутонаклонные автосъезды, тоннельный съезд, наклонные подземные транспортные выработки, глубина перехода.

Благодарность: Исследования выполнены в рамках Государственного задания № 075–00581–19–00, тема № 0405–2019–0005.

Для цитирования: Черепанов В.А., Глебов И.А. Факторы, влияющие на схему вскрытия глубоких горизонтов карьеров с применением наклонных подземных транспортных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3-1. – С. 351–367. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-351-367.

Factors influencing the opening scheme deep horizons of quarries with the use of sloping underground transport development

V.A. Cherepanov¹, I.A. Glebov¹

¹ The Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract: The questions of improving the technology of completion of deposits are closely associated with an increase in the efficiency of technological processes and introduction of new methods and means of mechanization, optimization of process parameters to minimize the cost and increase the intensity of mining works in conditions of changing parameters of the working area depth of mining. For different conditions of completion of deposits by open-underground method, depending on the volume of traffic and parameters of quarries, it is proposed to use the appropriate underground transport workings. Optimization of the parameters of the sides of the quarry allows to increase the slope angle and increase the cost-effective depth of open-pit development. As one of the possible ways of refining deposits, the use of inclined underground transport workings is proposed by developing a quarry with a tunnel opening zone, or using underground mining operations, but without building capital vertical shafts. The article presents the factors that influence the opening scheme deep horizons of quarries with the use of sloping underground transport development with using articulated trucks and road trains. The factors are the basis for further search of rational parameters of open-underground technology of completion of instrument and sub-barrier reserves. To assess the depth of the transition to the opening scheme using the tunnel opening zone, it is necessary to take into account a number of factors: mining, technical, and economic. The results of such calculations are given in the article. The application of the proposed technology will increase the completeness of field development due to the involvement in the development of instrument and sub-barrier reserves, which is an urgent task in connection with the upcoming achievement of the stage of completion of deposits at many mining enterprises, both in the near future and in the long term.

Key words: Open-underground development, dump truck, articulated dump truck, road train, combined development, steeply inclined road trains, tunneled slope, depth of transition.

Acknowledgments: the Research was carried out within the framework of the State task № 075-00581-19-00, subject № 0405-2019-0005.

For citation: Cherepanov V.A., Glebov I.A. Factors influencing the opening scheme deep horizons of quarries with the use of sloping underground transport development. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(3-1):351-367. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-351-367.

Введение

В последние годы прослеживается тенденция отхода от традиционного открыто-подземного способа разработки месторождений. Это связано с эффективным и безопасным освоением полезных ископаемых, что приводит к поиску нестандартных технических, организационных и управленческих решений, а также с разработкой новой методической

и нормативной базы для проектирования сверхглубоких карьеров и новых технико-экономических критериев целесообразности разработки месторождений [1]. Иными словами, увеличивается потенциал открытых горных работ за счет внедрения новых технологических решений и горнотранспортного оборудования с новыми возможностями, особенно при неуклонно растущей глубине разработки место-

рождений полезных ископаемых, когда целесообразно использовать инновационные технологии и горное оборудование, что позволит отстраивать борта с максимально возможными по устойчивости параметрами и обрабатывать месторождение с минимальным объемом вскрыши. Это даст возможность вести выемочные работы ниже ранее намеченной проектной глубины карьеров и с минимальными затратами производить добычу и переработку руды.

В статье рассматриваются схемы вскрытия для доработки нижних горизонтов карьеров, а также прибортовых и подкарьерных запасов, характеризующиеся переносом вскрывающих транспортных выработок за контур карьера, что позволяет исключить дополнительный разнос бортов и возрастание объемов вскрыши за счет увеличения их угла откоса (тоннельное вскрытие) или перехода на открыто-подземный способ добычи (штольни или автоуклоны).

В качестве перспективного транспорта при отработке месторождений открытым способом в сложных горно-технологических и горно-геологических условиях предлагается использовать полноприводные самосвалы с шарнирно-сочлененной рамой (ШСС), а для отработки месторождений комбинированным открыто-подземным способом — автопоезда.

Вопросы совершенствования технологии доработки месторождений тесно связаны с повышением эффективности технологических процессов и внедрением комплекса новых методов и средств механизации, с оптимизацией параметров технологических процессов, минимизацией затрат и повышением интенсивности горных работ в условиях изменения параметров рабочей зоны с глубиной отработки. Для различных условий при доработке месторождений открыто-подземным

способом, в зависимости от объемов перевозок и параметров карьеров, предлагается использовать соответствующие подземные транспортные выработки. Так, в случае наличия глубоких карьеров и относительно небольших оставшихся запасов полезных ископаемых — крутые автоуклоны или тоннельные съезды [2] с применением ШСС, а при значительных расстояниях транспортирования и больших объемах перевозок — автоуклоны и подземные транспортные выработки малого сечения с высокопроизводительными автопоездами (рис. 1). В общем случае, оба вида транспорта подходят и для открытых горных работ, и для открыто-подземного способа, но имеют отличающиеся технические параметры, обуславливающие разные технологические возможности. ШСС характеризуются грузоподъемностью до 50 тонн, малым радиусом поворота и способностью преодолевать уклоны более 20 %. Следовательно, их можно применять при доработке глубоких горизонтов, например, алмазородных месторождений, где необходимо сокращать затраты на вскрышные работы. Сокращение достигается за счет увеличения уклона транспортных съездов и уменьшения их ширины. Себестоимость применения таких самосвалов на полную глубину карьера будет велика, но их работа в ограниченной по высоте подъема зоне карьера на глубоких горизонтах целесообразна, т. к. затраты ограничены, а эффект от сокращения вскрыши максимален.

Шахтные автопоезда имеют больший радиус поворота по сравнению с шарнирно-сочлененными самосвалами, соответственно применение такого вида транспорта в карьере при доработке глубоких горизонтов, особенно в стесненных условиях (например, при разработке алмазородных месторождений), повлечет большие затраты

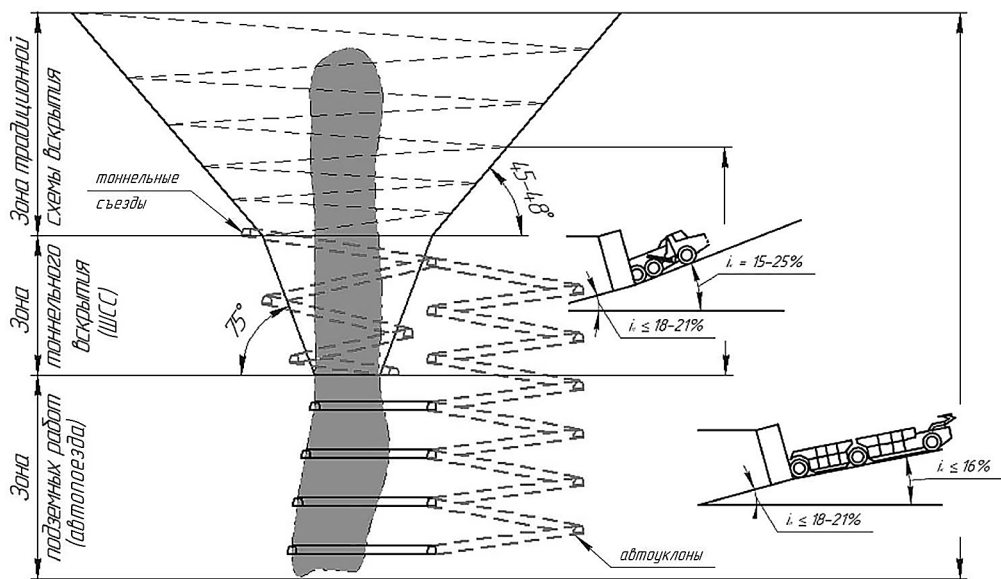


Рис. 1. Принципиальная схема применения шарнирно-сочлененных самосвалов и автопоездов при вскрытии тоннельными съездами и крутыми автоуклонами для доработки месторождений в стесненных условиях

Fig. 1. Schematic diagram of the use of articulated dump trucks and road trains with the use of tunnel exits and steep slopes for the completion of deposits

на разнос бортов карьера за счет расширения рабочих площадок. В то же время, малые габариты поперечного сечения автопоездов позволяют получить экономию по сравнению с ШСС (либо шахтными автосамосвалами) на строительстве подземных транспортных выработок, а экономический эффект от повышенной грузоподъемности (производительности) автопоездов (от 75 т и выше) проявляется в более низкой себестоимости в эксплуатации при относительно больших расстояниях транспортирования (доставка горной массы по подземным транспортным коммуникациям, а также, при необходимости, от выездной штольни в карьере до пункта разгрузки на поверхности с выездом из карьера).

Целью проведенных исследований является определение факторов, влияющих на схему вскрытия глубоких горизонтов карьеров с при-

менением наклонных подземных транспортных выработок при использовании ШСС и автопоездов. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: 1) обоснование актуальности применения наклонных подземных транспортных выработок; 2) определение факторов, влияющих на технологию вскрытия во взаимосвязи с техническими характеристиками и конструктивными особенностями предлагаемого транспортного оборудования.

Методы и материалы

Анализ, обобщение, классификация, технико-экономические расчеты.

Результаты

Оптимизация параметров бортов карьера позволяет увеличить угол откоса и экономически эффективную глубину разработки месторождения

открытым способом. Например, целесообразность таких технико-технологических решений за счет выбора рационального типоразмера транспортного оборудования показана в исследованиях [3], а за счет внедрения специальных транспортных систем — в работах [3–6], в том числе при оптимизации [7] или увеличении транспортного уклона [5]. С другой стороны, характерной особенностью схем вскрытия прикарьерных запасов является использование выработанного пространства карьеров, что позволяет не только сократить время на горно-проходческие работы, но и затраты на их проведение [8]. Одним из направлений доработки месторождений, в отличие от приведенных в исследованиях [2–8], может быть углубление карьера и разработка его зоной тоннельного вскрытия, а другим направлением — доработка карьера с применением подземных горных работ, но без строительства капитальных вертикальных стволов (рис. 1), характеризующихся переносом вскрывающих транспортных выработок за контур карьера.

Примером решений для зоны тоннельного вскрытия (рис. 1) является опыт АК «АЛРОСА». В 2008 году институт «Якутнипроалмаз» предложил технологию доработки глубоких карьеров с применением крутонаклонных съездов. Совместно с ИГД УрО РАН были проведены исследовательские работы, обоснованы параметры технологии и было принято решение о применении на карьере «Удачный» шарнирно-сочлененных самосвалов в качестве сборочного транспорта. В 2017 году институтом «Якутнипроалмаз» совместно с УГГУ и ИГД УрО РАН была предложена технология доработки глубоких месторождений с применением тоннельного автосъезда [1]. Применение технологии рассматривается

в первую очередь для доработки карьеров «Нюрбинский» и «Ботубинский».

Для условий глубоких карьеров и относительно небольших оставшихся запасов полезных ископаемых при доработке месторождений открытым способом предлагается схема вскрытия с использованием крутонаклонных и тоннельных съездов с применением шарнирно-сочлененных самосвалов на глубоких горизонтах карьера. Подземные выработки (тоннельные съезды) проходят за зоной сдвижения горных пород и соединяются с рабочей зоной карьера квершлагами. Технологии ведения буровзрывных и добычных работ в карьере остаются неизменными. Ввиду большого расстояния транспортирования целесообразно устраивать перегрузку из ШСС в классические карьерные самосвалы колесной формулой 4х2 или иной вид транспорта для последующей магистральной перевозки до обогатительной фабрики или в отвал.

Исходя из принятой схемы вскрытия формируется и транспортная система. Для обоснования технологии вскрытия и разработки глубоких горизонтов карьеров с применением тоннельного автосъезда необходимо учитывать факторы, которые влияют на разработку эффективных, безопасных и инновационных технологий добычи твердых полезных ископаемых при доработке глубокозалегающих месторождений открытым способом. Основные факторы приведены на рис. 2.

Вариантом вида транспорта для зоны крутых автоуклонов при доработке месторождений (рис. 1) является применение автопоездов специальной конструкции. На основании ранее проведенных исследований в ИГД УрО РАН [9] выполнены тягово-динамические расчёты, разработаны компоновочные схемы оборудования с учётом

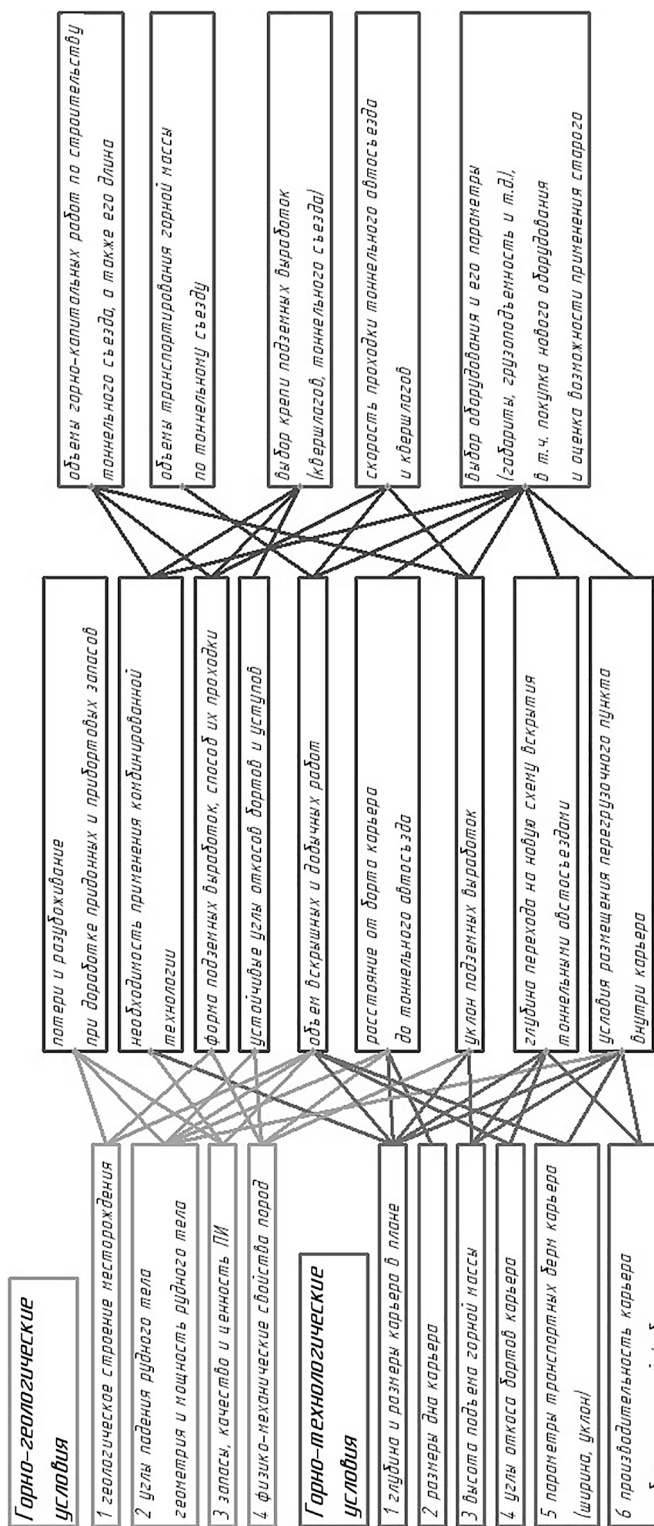


Рис. 2. Факторы, влияющие на технологию вскрытия глубоких горизонтов карьеров с применением тоннельного автосъезда
 Fig. 2. Factors influencing the technology for opening deep horizons of quarries with the use of a tunnel car

специфики шахтного автопоезда, в том числе компоновка моторной секции. Граничными технологическими критериями для расчетов послужили скорость порожнего и груженого автопоезда во взаимосвязи с преодолеваемым уклоном и минимизация поперечного сечения транспортных выработок. Техническим граничным критерием выступает мощность энергосиловой установки, размеры которой ограничиваются сжатыми пространствами моторной секции автопоезда. Эффективность применения предлагаемых автопоездов при разработке месторождений неразрывно взаимосвязана, с одной стороны, с особенностями их конструкции, а с другой — с технологией ведения горных работ: со схемами вскрытия (характеристики месторождения; способ вскрытия; технология очистной выемки; место заложения вскрывающих выработок; наличие транспортной связи между подземным и карьерным пространством и др.) и технологическими особенностями перемещения руды (обеспечение необходимой производственной мощности предприятия и производительности транспортного оборудования; учет расстояний транспортирования, расположения и количества перегрузочных пунктов, разминовок и др.).

В работе [10] приведена систематизация вариантов вскрытия месторождений при комбинированной разработке. В зависимости от видов и места заложения главных и вспомогательных вскрывающих выработок нами предлагается дополнить эту систематизацию вариантами применения автопоездов (табл. 1). Автопоезд, предлагаемый ИГД УрО РАН, состоит из нескольких вагонов с кабинами управления в начале и конце состава, в отличие от автопоездов, предлагаемых для применения на магистральных перевозках [11–13]

или в карьерах [13,14]. За счет предлагаемой конструкции автопоезд может двигаться без разворота в прямом и обратном направлении и вписываться в транспортные выработки с минимальным сечением по сравнению с традиционным подземным автотранспортом. В результате этого, экономия затрат на капитальное строительство таких выработок при применении автопоездов достигает 1,5 раз по сравнению с самосвалами грузоподъемностью 20–30 т и 2,25–2,5 раз по сравнению с самосвалами грузоподъемностью 50–80 т. Дополнительная экономия в части эксплуатационных затрат связана с большой производительностью и высокой единичной мощностью автопоездов по сравнению с аналогичным автотранспортом. Кроме этого, при использовании автопоездов возможен быстрый ввод подземного рудника в эксплуатацию за счет опережающего вскрытия из карьерного пространства. При этом автопоезда могут применяться в качестве подземного транспорта как только в шахтах (на концентрационном горизонте, либо по вспомогательному наклонному съезду до поверхности), так и с выездом в карьерное пространство (табл. 1) без необходимости строительства вертикальных стволов с поверхности. Для сравнения видов и выбора различных вариантов транспорта предлагается рассматривать применение наклонных подземных транспортных выработок и автопоездов при комбинированной разработке в зависимости от характеристик и особенностей месторождения в определенных условиях: для крупных глубокозалегающих месторождений, либо малых и средних месторождений с ценной рудой (в соответствии с табл. 1, строки 3–5).

Одним из основных преимуществ применения автопоездов по сравнению

Таблица 1

Возможность применения автопоездов при комбинированной разработке месторождений на основе вариантов вскрытия, приведенных в исследовании [10]

The possibility of using road trains in the combined development of deposits on the basis of the options of opening given in the study [10]

№	Характеристики и особенности разработки месторождения	Условия применения схем и способов вскрытия	Место заложения вскрывающих выработок		Варианты применения автопоездов
			главных	Вентиляционно-вспомогательных	
1	<ul style="list-style-type: none"> • Крупные и средние круглопадающие месторождения; • Глубина распространения запасов ниже дна карьера свыше 350 м; • Большая длина проствирания. 	<ul style="list-style-type: none"> • Параллельная или последовательная схема; • Технологии очистной выемки — с обрушением вмещающих пород и сохранением устойчивости выработанного пространия 	Вертикальный ствол с поверхности	Вертикальные стволы с поверхности с фланговым расположением	1. Транспорт на концентрационном горизонте.
2	<ul style="list-style-type: none"> • Крупные глубокозалегавшие месторождения; • Использование самоходного технологического оборудования 	<ul style="list-style-type: none"> • Последовательная или параллельная схема; • Технологии очистной выемки — с обрушением вмещающих пород и с сохранением устойчивости выработанного пространия 	Вертикальный ствол с поверхности	<ul style="list-style-type: none"> • Вертикальные стволы с поверхности с фланговым расположением; • Наклонный съезд из карьера 	1. Автоуклон используется для ускорения подготовки к выемке прикарьерных запасов и транспорта руды в карьер до ввода в эксплуатацию главного (скипового) ствола; 2. Транспорт на концентрационном горизонте.

Окончание табл. 1

№	Характеристики и особенности разработки месторождения	Условия применения схем и способов вскрытия	Место заложения вскрывающих выработок		Варианты применения автопоездов
			главных	Вентиляционно-вспомогательных	
3	<ul style="list-style-type: none"> • Малые и средние месторождения; • Ценная руда; • Глубина распространения подземных запасов ниже дна карьера 150-350 м; • Использование самоходного технологического оборудования 	<ul style="list-style-type: none"> • Последовательная схема; • Технология очистной выемки с сохранением устойчивости выработанного пространства и бортов карьера 	Автотранспортный уклон из карьера	Наклонный съезд с поверхности	<ol style="list-style-type: none"> 1. Транспорт по автотранспортному уклону до карьера либо с использованием карьера до поверхности; 2. Транспорт по вспомогательному наклонному съезду до поверхности.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Малые и средние месторождения; • Ценная руда; • Основные или локальные участки подземных запасов расположены в бортах карьера; • Гористый рельеф местности 	<ul style="list-style-type: none"> • Последовательная или параллельная схема; • Технология очистной выемки, предусматривающая сохранение устойчивости бортов карьера 	<ul style="list-style-type: none"> • Штольня из карьера; • Штольня с поверхности 	Наклонный съезд с поверхности	<ol style="list-style-type: none"> 1. Транспорт по штольне до карьера либо с использованием карьера до поверхности; 2. Транспорт по штольне до поверхности; 3. Транспорт по вспомогательному наклонному съезду.
5	<ul style="list-style-type: none"> • Крупные глубоководные месторождения; • Использование самоходного технологического оборудования 	<ul style="list-style-type: none"> • Последовательная или параллельная схема; • Очистная выемка с обрушением вмещающих пород и сохранением устойчивости выработанного пространства 	<ul style="list-style-type: none"> • Вертикальный ствол с поверхности; • Автотранспорт. уклон из карьера 	Вертикальный ствол с поверхности;	<ol style="list-style-type: none"> 1. Транспорт по уклону из карьера; 2. Транспорт на концентричном горизонте.

Таблица 2

Радиусы поворота для различных марок карьерных автосамосвалов и предлагаемых автопоездов

Turning radius for different brands of dump trucks and offered road trains

Марка автосамосвала	Грузоподъемность, т	Ширина, мм	Радиус поворота, м
БелАЗ 7555	55 ÷ 60	4740 ÷ 5080	9
БелАЗ 7557	90	5400	11
БелАЗ 7513	130 ÷ 136	6400	13
БелАЗ 7530	220	7820	15
БелАЗ 7560	320	9250	17,2
Автопоезд 75	75 (15*)	2200	12
Автопоезд 100	100 (20*)	2550	14

Примечание. * в скобках указана грузоподъемность одного прицепа.

с подземными автосамосвалами является экономия затрат на проходку транспортных выработок за счёт их небольшого сечения при аналогичной или большей грузоподъемности. Благодаря автопоездной компоновке при грузоподъемности 75 т минимально необходимое сечение составляет всего 10—12 м² (для подземного автосамосвала грузоподъемностью 50 т необходимо минимальное сечение 25—27 м²). Это накладывает некоторые ограничения на эффективность его внедрения. С одной стороны, вся техника для подземных горных работ, проходящая через транспортные выработки, должна иметь такие же или меньшие габариты, чем автопоезд, а с другой — выбор формы и размеров поперечного сечения горной выработки производится исходя из физико-механических свойств пород, назначения и срока службы, материала крепи и др. Еще одним фактором, ограничивающим повсеместное внедрение автопоездов, является технология их применения, обусловленная спецификой конструкции (большой длиной, малыми поперечными габаритами, большой грузоподъемностью), которая требует организации специальных пунктов погрузки/разгрузки, разминок для движения в шахте и, в отдельных случаях, в карьерном простран-

стве, а также значительных радиусов поворота. Последнее особенно важно для подземных горных работ, где большинство оборудования может иметь существенно меньшие радиусы поворота, чем у автопоездов, что затруднит их эксплуатацию в существующих выработках действующих предприятий. При этом, если потребуется доставка горной массы на поверхность через карьерное пространство, то габаритные размеры автопоездов позволят эксплуатировать их на транспортных бермах, предназначенных для карьерных автосамосвалов грузоподъемностью 90 т и выше (табл. 2). В случае использования в карьере автосамосвалов меньшей грузоподъемности и транспортных берм, не позволяющих из-за их параметров движение автопоездов, необходимо предусматривать организацию перегрузочного пункта в карьере.

Другим из основных преимуществ автопоездов является большая грузоподъемность. К ключевым показателям, определяющим себестоимость перевозок, относятся производительность транспортных машин и их количество для освоения заданного грузооборота. Автопоезда предлагается применять в условиях открыто-подземной разработки, предполагающих наличие подземных транспортных выработок,

в первую очередь вместо подземных самосвалов, а также, при достаточном обосновании, вместо конвейерного транспорта и локомотивной откатки. Для оценки эффекта от внедрения автопоездов на действующем предприятии и сопоставления их с другими видами подземного транспорта (базовым вариантом на предприятии), критерием оценки эффективности сравниваемых транспортных комплексов можно принять минимум удельных эксплуатационных затрат на перевозку 1 т, учитывая при этом максимальную грузоподъемность автопоездов и дополнительные капитальные затраты (на реконструкцию горных выработок, связанные со спецификой конструкции автопоезда и др.).

Таким образом, можно выделить следующие основные факторы, влияющие на технологию вскрытия, а соответственно и на схему транспортирования, во взаимосвязи с техническими характеристиками и конструктивными особенностями предлагаемых автопоездов при доработке месторождений подземным способом с использованием наклонных подземных транспортных выработок:

1. Горно-технологические факторы (связанные с параметрами схем вскрытия и разработки): характеристики и особенности разработки месторождения (физико-механические свойства пород, особенности залегания полезного ископаемого, геомеханическое обоснование устойчивости пород при открыто-подземной разработке месторождений); основные вскрывающие выработки (вертикальные стволы с поверхности, наклонный съезд из карьера, автотранспортный уклон из карьера, наклонный съезд с поверхности, штольня из карьера или с поверхности); технологические особенности перемещения руды в результате применения выбранных

схем вскрытия (расположение и количество пунктов загрузки и разгрузки; производительность всего рудника; сменная производительность оборудования), план и профиль трассы; расстояние транспортирования; ограниченное сечение шахтных выработок.

2. Технические факторы (связанные с самой техникой): грузоподъемность, размеры требуемой транспортной техники, мощность и вид энергосиловой установки (при высокой загазованности шахтного пространства возможно применение электропривода).

3. Экономическая эффективность: капитальные затраты; эксплуатационные затраты; возможность быстрого ввода подземного рудника в эксплуатацию.

Для определения глубины перехода на схему вскрытия с применением системы тоннельных съездов необходимо учитывать ряд факторов: параметры карьера (конечная глубина разработки, радиус дна, конечный угол откоса бортов карьера, производительность) и подземных выработок (уклон, радиус, длина, сечение), параметры техники (грузоподъемность, габаритные размеры, мощность двигателя), экономические показатели (капитальные затраты: строительство подземных выработок, приобретение техники, дополнительные вскрышные работы; эксплуатационные затраты: на транспортирование, на перегрузочный пункт). Для укрупненных расчетов были выбраны аналоги алмазорудных карьеров с конечной глубиной разработки 600 м, радиусом дна от 100 до 300 м. Допускается, что рудное тело имеет округлую форму, близкую к цилиндрической, радиус которого близок к радиусу дна карьера. Исходные стоимостные показатели были приняты по фактическим данным отработки алмазорудных карьеров АК «АЛРОСА» [15].

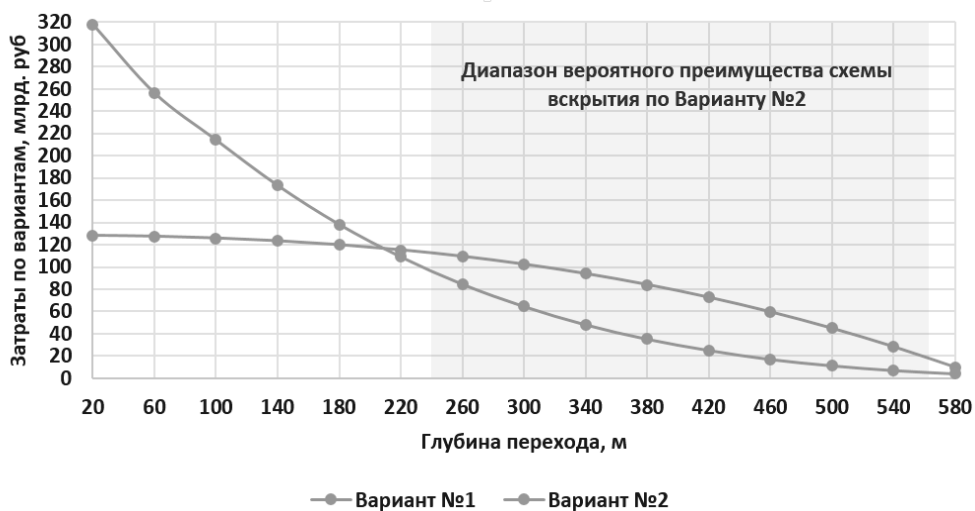


Рис. 3. Зависимость затрат от глубины перехода на тоннельное вскрытие при конечной глубине карьера 600 м и радиусе дна 300 м: вариант № 1 — доработка карьера традиционной схемой вскрытия с использованием автотранспортных съездов; вариант № 2 — доработка карьера схемой вскрытия с использованием законтурных тоннельных съездов

Fig. 3. The dependence of expenses from the depth of transition to tunnel opening at a final depth of 600 m and a bottom radius of 100 m: variant №1 — completion of the quarry with the traditional opening scheme using road exits; variant №2 — completion of the quarry with the opening scheme using contour tunnel exits

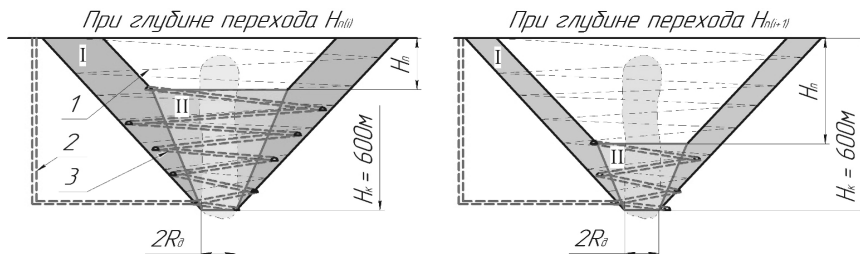


Рис. 4. Варианты схем вскрытия глубоких горизонтов карьера: I — вариант доработки карьера традиционной схемой вскрытия с использованием автотранспортных съездов; II — вариант доработки карьера схемой вскрытия с использованием законтурных тоннельных съездов; 1 — транспортные съезды; 2 — вентиляционный ствол (скважина); 3 — тоннельные съезды; H_n — глубина перехода, м; H_k — конечная глубина разработки карьера; R_d — радиус дна карьера

Fig. 4. Variants of schemes for opening deep horizons of a quarry: 1 — transport ramps; 2 — air shaft (well); 3 — tunnel ramps; I — variant completion of the quarry with the traditional opening scheme using road exits; II — variant completion of the quarry with the opening scheme using contour tunnel exits; H_n — the depth of the transition; H_k — the final depth of the quarry development; R_d — radius open-pit bottom

Результаты расчетов приведены на графике (рис. 3). На рис. 3 показаны затраты на доработку карьера традиционной схемой вскрытия с использова-

нием автотранспортных съездов с уклонами 8 % и карьерных автосамосвалов грузоподъемностью 90 т при соответствующем разносе бортов на всю глу-

бину карьера с конечным углом откоса нерабочих бортов карьера 47° (вариант № 1) и затраты на доработку по схеме вскрытия с использованием законтурных тоннельных съездов и ШСС грузоподъемностью 41 т с углом откоса нерабочих бортов карьера в зоне тоннельного вскрытия $65-75^{\circ}$ (вариант № 2) при различной глубине перехода (конечная глубина разработки по обоим вариантам 600 метров при радиусе дна 300 м) (рис. 4). Каждая точка на графике (рис. 3) соответствует полным затратам на варианты при доработке карьера от указанной глубины до конечной (600 м).

По варианту № 2 на горизонте карьера, соответствующем глубине перехода, организуется перегрузка из ШСС в карьерные самосвалы для дальнейшей доставки горной массы на поверхность. Расчеты включают в себя, в зависимости от рассматриваемого варианта, сумму затрат на строительство подземных выработок (тоннель, квершлаг и вентиляционный ствол) или дополнительный разнос бортов карьера, приобретение техники, эксплуатационные затраты на транспортирование и на перегрузочный пункт. Затраты рассчитываются на весь период доработки карьера с переходом на тоннельное вскрытие. С учетом допущения, что в обоих вариантах извлекается одинаковый объем руды, эквивалентный по стоимости, доходная часть не рассматривается. Расчеты выполняются укрупненно, поэтому дисконтирование не применяется.

С увеличением глубины перехода затраты на вариант № 2 снижаются и на отметке 200 м пересекаются с затратами по варианту № 1, образуя диапазон глубин (ниже 200 м), где тоннельное вскрытие обеспечивает снижение затрат. Следовательно, при проектировании технологии раз-

работки данного месторождения в диапазоне глубин от 240 до 560 м целесообразно рассматривать переход на схему вскрытия тоннельными съездами. Видно, что наибольший эффект (разница затрат между вариантами) наблюдается при глубине перехода порядка 380 м. Конкретная глубина перехода должна определяться по результатам моделирования реального месторождения и детальных технико-экономических расчетов, в том числе с учетом дисконтирования затрат.

Аналогично были приведены расчеты для различных радиусов дна карьера (рудного тела от 100 до 300 м) с сопоставлением разницы затрат между схемами вскрытия в зависимости от глубины перехода (рис. 5). По графику видно, что в заданных условиях максимальная разница достигается при глубине перехода 340 метров и радиусе дна 200 м и составляет 50,3 млрд руб. С уменьшением радиуса дна карьера (а соответственно, и рудного тела) экономический эффект несколько снижается, но область экономически эффективного применения тоннельного вскрытия расширяется, что обусловлено снижением капитальных затрат на строительство тоннелей за счет уменьшения их протяженности.

Предложения по направлению будущих исследований

Дальнейшие исследования будут направлены на определение рациональной глубины перехода на использование автопоездов, а также на формализацию области применения автопоездов при подземных транспортных выработках и ШСС при тоннельном вскрытии по совокупности качественных, количественных и экономических показателей при их планируемой эксплуатации, на основе и с учетом факторов,

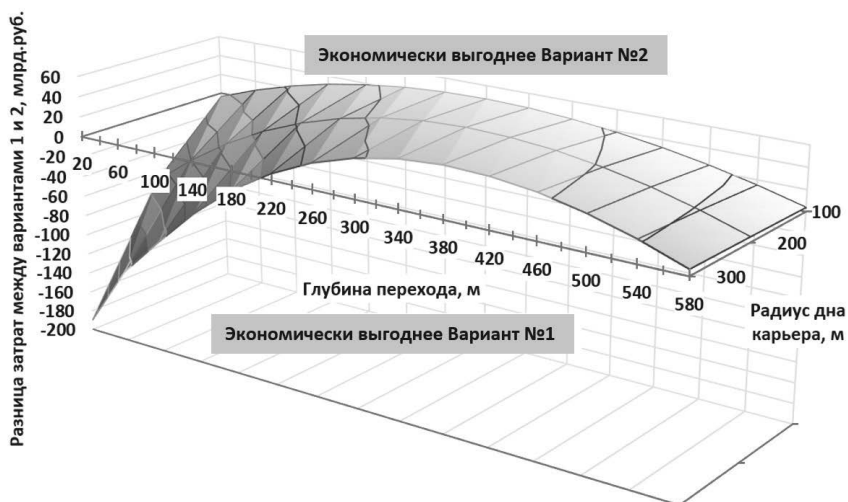


Рис. 5. Зависимость разницы затрат между схемами вскрытия от глубины перехода и радиуса дна карьера: вариант №1 — доработка карьера традиционной схемой вскрытия с использованием автотранспортных съездов; вариант №2 — доработка карьера схемой вскрытия с использованием законтурных тоннельных съездов

Fig. 5. Dependence of the cost difference between the opening schemes on the depth of the transition and the radius of the pit bottom: variant №1 — completion of the quarry with the traditional opening scheme using road exits; variant №2 — completion of the quarry with the opening scheme using contour tunnel exits

рассмотренных в настоящей статье. Определение предпочтительных условий применения предложенной техники позволит создать теоретическую базу для её возможного отечественного производства, а также даст возможность выдачи рекомендаций для доработки существующих месторождений (например, для АК «АЛРОСА» с использованием ШСС и тоннельного вскрытия нижних горизонтов и для ряда месторождений УГМК с применением автопоездов), особенно с учетом перспектив развития горных работ, связанных с увеличением доли подземных работ в ближайшие 50–70 лет.

Заключение

1. В статье приведены основные факторы, влияющие на схему вскрытия запасов при доработке карьеров с использованием вскрывающих наклонных подземных транспортных

выработок, характеризующихся их переносом за контур карьера, во взаимосвязи с техническими характеристиками и конструктивными особенностями предлагаемых шарнирно-сочлененных самосвалов и автопоездов. Учет совокупности описанных горно-технологических, технических и экономических факторов позволил концептуально определить зоны и условия применения схем вскрытия наклонными подземными транспортными выработками.

2. Использование высокопроизводительных автопоездов целесообразно рассматривать при значительных расстояниях транспортирования и больших объемах перевозок. При этом применение автоуклонов и подземных транспортных выработок маленького сечения и инфраструктуры подземного рудника, с учетом возможности отказа от строительства вертикального скипового ствола при наличии вентиля-

ционного ствола (скважины) возможно при наличии транспортной связи с карьерным пространством в зависимости от характеристик и особенностей разработки месторождения и способов вскрытия для крупных глубокозалегающих месторождений (с предпосылками к использованию самоходного технологического оборудования), а также малых и средних месторождений с ценной рудой (с глубиной распространения подземных запасов ниже дна карьера до 150–350 м).

3. Вариант использования ШСС и тоннельных съездов предлагается рассматривать в случае наличия относительно небольших (по сравнению с автопоездами) оставшихся прибортовых и подкарьерных запасов, а также при сложных (стесненных) условиях ведения открытых горных работ. Например, для условий алмазородных карьеров АК «АЛРОСА» целесообразно рас-

сматривать применение тоннельного вскрытия с глубин 140–220 м при радиусах дна карьера от 200 до 300 м и глубине карьера на конец отработки 600 м.

4. Применение описанных схем вскрытия наклонными подземными транспортными выработками в совокупности с рассмотренными видами транспортных машин (шарнирно-сочлененных самосвалов, автопоездов) позволит увеличить полноту освоения месторождений, исключить дополнительный разнос бортов и возрастание объемов вскрыши за счет увеличения их угла откоса (тоннельное вскрытие) или перехода на открыто-подземный способ добычи (штольни или автоуклоны), что является актуальной задачей в связи с предстоящим достижением стадии доработки месторождений на многих горнодобывающих предприятиях как в ближайшее время, так и в долгосрочной перспективе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kimberlite deposits opencast mining innovative technology with variable geometry of non-mining open pit edges (in english) / A.N. Akishev, Yu.I. Lel', I.V. Bokii, S.V. Isakov, I.A. Glebov // Известия вузов. Горный журнал. — 2018. — № 8. — С. 5 — 15.
2. *Hustrulid W.A., Seegmiller B., Stephansson O.* In-the-wall haulage for open-pit mining // Mining Engineering. 1987. V. 39 (2). pp. 119 — 123.
3. *Журавлев А.Г.* Влияние типоразмера автосамосвала на разнос бортов карьера // Проблемы недропользования. — 2018. — № 2. — С. 20 — 29. — DOI: 10.25635/2313–1586.2018.02.020.
4. *Журавлев А.Г., Чендырев М.А.* Технично-экономические параметры транспортирования горной массы из карьера автомобильным наклонным карьерным подъемником // Черная металлургия. — 2018. — № 1. — С. 33 — 36.
5. *Тарасов П.И., Журавлев А.Г., Фурин В.О.* Обоснование технологических параметров углубочного комплекса // Горное оборудование и электромеханика. — 2011. — №9. — С.2–10.
6. *Gromov E., Belogorodtsev O.* Efficient application of stripping schemes for mineral deposits: Conventional and advanced transportation of ore in dependence of annual productive capacity of underground mines (2017) International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 17 (13), pp. 305–311. DOI: 10.5593/sgem2017/13/S03.039
7. M. Stability analysis and optimized slope angle for the iron ore open-pit mine / S. Akdag, H. Basarir, C. Karpuz, Ozyurt // Proceedings of the 24th International Mining Congress and Exhibition of Turkey. 2015. pp. 606 — 611.
8. Influence of underground mining direction under plane condition over slope under open-underground combined mining / B.W. Liu, S.C. Li, W. Li, J. Zhou // Proceedings

of 2015 international symposium – safety and high efficiency mining in coal. 2015. pp. 180 – 187.

9. Обоснование параметров энергосиловой установки автопоездов / В.А. Черепанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № S11. – С. 561 – 571.

10. Соколов И.В. Обоснование конструкции и параметров подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений Урала: диссертация ... доктора технических наук: 25.00.22. – Екатеринбург, 2012. – 377 с.

11. Features of Modern Approach to Selection of Haulage Systems for Open Pit Diamond Mines in Yakutia / V.L. Yakovlev, I.V. Zyryanov, A.G. Zhuravlev, V.A. Cherepanov // Journal of Mining Science, 2018, Vol. 54, no 6, pp. 979–987. DOI: 10.1134/S1062739118065131

12. Опытнo-промышленная эксплуатация многозвенных автопоездов SCANIA и VOLVO в АК «АЛРОСА» (ОАО) / И.В. Зырянов, А.П. Кондратюк // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № S30. – С. 71 – 83.

13. Taking the Train. Haulage by trucks with trailers, often combined into multi-unit 'road trains', is gaining acceptance – niche by niche – in an industry dominated by rigid-body rigs / Russell A. Carter, E&MJ. JUNE 2012. pp 82 – 86.

14. Возможности использования автосамосвалов в составе карьерных автопоездов на открытых горных работах / А.Д. Кольга, Е.В. Московка, И.Н. Столповских, М.И. Ахметова // Горный журнал Казахстана. – 2016. – №2. – С. 25 – 27.

15. Акишев А.Н. Технологические аспекты разработки беднотоварных месторождений алмазов / А.Н. Акишев, И.Ф. Бондаренко, И.В. Зырянов. – Новосибирск: «Наука», 2018 – 368 с. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Akishev A.N., Lel' Yu.I., Bokii I.V., Isakov S.V., Glebov I.A. Kimberlite deposits opencast mining innovative technology with variable geometry of non-mining open pit edges (in english). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, 2018, Vol. 8, pp. 5 – 15.

2. Hustrulid W.A., Seegmiller B., Stephansson O. In-the-wall haulage for open-pit mining. *Mining Engineering*. 1987. V. 39 (2). pp. 119 – 123.

3. Zhuravlev A.G. The influence of the size of the dump on the dressing of pit. *Problemy nedropol'zovaniya*, 2018, Vol. 2, pp. 20 – 29. [In Russ]

4. Zhuravlev A.G., Chendyrev M.A. Technical and economic parameters of transportation of rock mass from the quarry by road inclined quarry lift. *Chernaya metallurgiya*, 2018, Vol. 1, pp. 33 – 36. [In Russ]

5. Tarasov P.I., Zhuravlev A.G., Furin V.O. Justification of technological parameters of the deepening complex. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2011, Vol. 9, pp. 2 – 10. [In Russ]

6. Gromov, E., Belogorodtsev, O. Efficient application of stripping schemes for mineral deposits: Conventional and advanced transportation of ore in dependence of annual productive capacity of underground mines (2017) International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 17 (13), pp. 305 – 311.

8. Akdag S., Basarir H., Karpuz C., Ozyurt. Stability analysis and optimized slope angle for the iron ore open-pit mine. Proceedings of the 24th International Mining Congress and Exhibition of Turkey. 2015. pp. 606 – 611.

7. Liu B.W., Li S.C., W. Li, Zhou J. Influence of underground mining direction under plane condition over slope under open-underground combined mining. Proceedings of 2015 international symposium safety and high efficiency mining in coal. 2015. pp. 180 – 187.

9. Cherepanov V.A. Justification of parameters of power plant of road trains. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2011, Vol. S11, pp. 561 – 571. [In Russ]

10. Sokolov I.V. *Obosnovanie konstrukcii i parametrov podzemnoj geotekhnologii pri kombinirovannoj razrabotke rudnyh mestorozhdenij Urala*. [Substantiation of the design and parameters of underground geotechnology in the combined development of ore deposits in the Urals]: Doctor's thesis, Ekaterinburg, 2012, 377 p. [In Russ]

11. Yakovlev V.L., Zyryanov I.V., Zhuravlev A.G., Cherepanov V.A. Features of Modern Approach to Selection of Haulage Systems for Open Pit Diamond Mines in Yakutia. *Journal of Mining Science*, 2018, Vol. 54, no 6, pp. 979–987.

12. Zyryanov I.V., Kondratyuk A.P. Pilot operation of SCANIA and VOLVO multi-link road trains in ALROSA. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, Vol. S30, pp. 71 – 83. [In Russ]

13. Taking the Train. Haulage by trucks with trailers, often combined into multi-unit 'road trains', is gaining acceptance niche by niche in an industry dominated by rigid-body rigs. Russell A. Carter, E&MJ. JUNE 2012. pp. 82 – 86.

14. Kol'ga A.D., Moskovka E.V., Stolpovskikh I.N., Akhmetova M.I. The possibility of using dump trucks as part of career road trains in open pit mining. *Gornyi zhurnal Kazakhstana*, 2016, Vol. 2, pp. 25 – 27. [In Russ]

15. Akishev A.N., Bondarenko I.F., Zyryanov I.V. *Tekhnologicheskie aspekty razrabotki bednotovarnykh mestorozhdenij almazov* [Technological aspects of the development of low-grade diamond deposits]. Novosibirsk: Nauka, 2018, 368 p. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Черепанов Владимир Александрович*¹ – научный сотрудник, e-mail: transport@igduran.ru,

*Глебов Игорь Андреевич*¹ – младший научный сотрудник, e-mail: i.glebov@igduran.ru,

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН), 620075 г. Екатеринбург, ГСП-219, Мамина-Сибиряка 58.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Cherepanov V.A.*¹, researcher, e-mail: transport@igduran.ru,

*Glebov I.A.*¹, junior researcher, e-mail: i.glebov@igduran.ru,

¹ The Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, 620075, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 21.11.2019; получена после рецензии 09.02.2020; принята к печати 20.03.2020.

Received by the editors 21.11.2019; received after the review 09.02.2020; accepted for printing 20.03.2020.

