

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-3-238-245>

УДК [622.684:629.353]:622.271.3.06

Технологические особенности освоения месторождений твердых полезных ископаемых с использованием шарнирно-сочлененных самосвалов

Канд. техн. наук А. В. Глебов¹⁾

¹⁾Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (Екатеринбург, Российская Федерация)

© Белорусский национальный технический университет, 2018
Belarusian National Technical University, 2018

Реферат. Проведен анализ производства полноприводных самосвалов с шарнирно-сочлененной рамой и практического опыта эксплуатации их в качестве карьерного автотранспорта. Представлены технические характеристики некоторых моделей шарнирно-сочлененных самосвалов российского и белорусского производства. Приведены примеры транспортирования горной массы на предприятиях России и за рубежом. Акцентировано внимание на особенностях принятия организационно-технологических и проектных решений при внедрении шарнирно-сочлененных самосвалов. Установлено, что шарнирно-сочлененные самосвалы позволяют повысить эффективность отработки месторождения на стадии строительства и ввода в эксплуатацию горно-обогатительных комбинатов, особенно в территориально удаленных и труднодоступных районах. Предложены технологические решения, позволяющие расширить сферу применения шарнирно-сочлененных самосвалов на горнодобывающих предприятиях путем использования их при доработке карьеров, разрабатывающих глубокозалегающие месторождения твердых полезных ископаемых. Выявлено, что сокращение объемов вскрыши можно обеспечить путем перехода с определенной глубины на автосамосвалы меньшей грузоподъемности или на специализированные автосамосвалы, работающие на повышенных уклонах автодорог. Показано, что одним из перспективных направлений развития технологии отработки кимберлитовых месторождений с использованием шарнирно-сочлененных самосвалов является вскрытие нижних горизонтов карьера законтурными автомобильными тоннелями спиральной формы. Представленные технологические решения требуют дальнейшей научно-проектной проработки и позволят обеспечить ресурсосбережение и безопасность открытых горных работ при извлечении руд ранее нерентабельных месторождений. Для реализации программы импортозамещения полноприводных самосвалов с шарнирно-сочлененной рамой необходимы маркетинговые исследования по изучению возможного рынка потребления машин данного класса на открытых горных работах с целью обоснования перспективы обеспечения российского рынка производства.

Ключевые слова: месторождение, технология, глубокие карьеры, крутые съезды, самосвалы с шарнирно-сочлененной рамой, ресурсосбережение, безопасность

Для цитирования: 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. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-3-238-245>

Technological Peculiar Features in Deposit Opening of Solid Minerals While Using Articulated Dump Trucks

A. V. Glebov¹⁾

¹⁾Institute of Mining, Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Yekaterinburg, Russian Federation)

Abstract. The paper provides an analysis for production of four-wheel drive dump trucks with an articulated frame and it also describes a practical experience pertaining to operation of dump trucks as mining automotive transport. Technical characteristics

Адрес для переписки
Глебов Андрей Валерьевич
Институт горного дела
Уральского отделения Российской академии наук
ул. Мамина-Сибиряка, 58,
620075, г. Екатеринбург, Российская Федерация
Тел.: +7 952 144-0-444
glebov@igduran.ru

Address for correspondence
Glebov Andrey V.
Institute of Mining,
Ural Branch of Russian Academy of Sciences
58 Mamin-Sibiryak str.,
620075, Yekaterinburg, Russian Federation
Tel.: +7 952 144-0-444
glebov@igduran.ru

for some models of articulated dump trucks manufactured in Russia and Belarus are presented in the paper. The paper gives examples for transportation of run-of-mine ore at enterprises of Russia and abroad. The attention has been focused on specific features concerning organizational, technological and design decision making while introducing and promoting articulated dump trucks. It has been established that articulated dump trucks make it possible to improve an efficiency of mine development during construction period and when ore mining and processing enterprises are put into operation especially in geographically remote and inaccessible areas. The paper proposes technological solutions allowing to expand the scope of articulated dump truck application at mining enterprises while using them for quarry development excavating deep deposits of solid minerals. It has been revealed that reduction in overburden volume can be achieved by transition from a certain depth to lower capacity dump trucks or special dump trucks operating on elevated slopes of roads. The paper shows that one of perspective directions for development of mining technology on kimberlite deposits is an opening of lower quarry horizons by peripheral road tunnels of spiral shape while using articulated dump trucks. The presented technological solutions require further research and design consideration and study and they will allow to ensure resource efficiency and safety of surface mining while extracting minerals at previously uneconomic ore deposits. In order to realize an import substitution program for four-wheel drive dump trucks with an articulated frame it is necessary to carry out marketing research on potential market for machines of this class required for open-pit mining in order to justify prospects for provision of the Russian production market.

Keywords: deposit, technology, deep quarry, steep ramps, articulated dump trucks, efficient use of resources, safety

For citation: Glebov A. V. (2018) Technological Peculiar Features in Deposit Opening of Solid Minerals While Using Articulated Dump Trucks. *Science and Technique*. 17 (3), 238–245. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-3-238-245> (in Russian)

Введение

Проблемы ресурсо- и энергосбережения при освоении глубокозалегающих месторождений являются приоритетными, поэтому совершенствование параметров технологических процессов горного производства обеспечивается за счет модернизации геотехники, в том числе ее роботизации, исходя из целенаправленной типизации производственных процессов, ориентированных на наибольшее соответствие реальным горно-геологическим и горно-техническим условиям ведения работ.

При неуклонно растущей глубине открытой разработки полезных ископаемых, усложнении горно-технических и горно-геологических условий целесообразно использовать инновационные технологии и горное оборудование, что позволит отстраивать борта с максимально возможными по устойчивости параметрами и отрабатывать 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.

Все больше вовлекаются в разработку удаленные и беднотоварные месторождения, требующие новых технологий и техники, обеспечивающих эффективное и безубыточное их освоение.

Перспективным транспортом при отработке месторождений открытым способом в сложных горно-технических и горно-геологических условиях могут стать самосвалы с шарнирно-сочлененной рамой (ШСС). Накопленный опыт использования самосвалов данного класса на

открытых горных работах требует проведения дополнительных исследований по обоснованию расширения области и условий их эффективной эксплуатации при разработке глубокозалегающих месторождений твердых полезных ископаемых.

Производство самосвалов с шарнирно-сочлененной рамой

Сегодня, в период санкционной политики, необходимо тесное сотрудничество науки и производства в части совместной разработки и внедрения принципиально новых отечественных технологий и техники. Одним из направлений комплексного развития горной, металлургической и машиностроительной отраслей в современных условиях, поиска путей реструктуризации и модернизации является производство и эксплуатация ШСС на открытых горных работах.

В мире ШСС выпускают компании Volvo, Caterpillar, Bell, Liebherr, Komatsu, Mitsubishi, Terex, Холдинг «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» и др.

В России производство ШСС только начинается. В Чебоксарах в 2013 г. в ОАО «Промтрактор» концерна «Тракторные заводы» собран первый самосвал С-33 («Концепт») грузоподъемностью 33,5 т, имеющий возможность поворота на 45° в каждую сторону. Максимальная его скорость – 57 км/ч, угол подъема кузова – 72°. Номинальная мощность двигателя самосвала Cummins QSX15 составляет 336 кВт (457 л. с.) [1].

ЗАО «Завод спецмашин» представило трехосный самосвал грузоподъемностью 25 т с ко-

лесной формулой 6×6 на шарнирно-сочлененной раме с самоблокирующимися дифференциалами и колесными редукторами мостов. Самосвал оснащен восьмицилиндровым V-образным двигателем и 24-скоростной гидромеханической трансмиссией [2].

В 2014 г. Петербургский тракторный завод представил общественности двухосный полноприводный самосвал К-708.2 грузоподъемностью 20 т. Доработанный образец К-708.2 имеет грузоподъемность 25 т. На нем применены 300-сильный двигатель Cummins и трансмиссия ZF. Подвеска – жесткая безрессорная, рулевая колонка с регулированием угла наклона [3].

Белорусские производители также не обошли вниманием сегмент сочлененных самосвалов. Технические характеристики некоторых моделей ШСС российского и белорусского производства приведены в табл. 1.

Спрос на самосвалы данного класса в России растет, но, к сожалению, в полном объеме удовлетворяется импортом. При этом лидером является компания Volvo. По итогам 2012 г., доля данной марки в российском импорте составила 39 %. Основные модели – Volvo A40F, Volvo A35F и Volvo A30F [4, 5]. Кроме Volvo, в тройке лидеров-импортеров ШСС в Россию также Caterpillar с долей в общем объеме импорта 17 % и Bell с долей 11 %. В 2011 г. компания Caterpillar импортировала в Россию сочле-

ненные самосвалы марок Cat-730 и Cat-740B, а компания Bell – самосвалы марок Bell-40D и Bell-B50D. В 2012-м импорт американского производителя значительно вырос как в количественном, так и в качественном выражении. Ввоз ШСС южноафриканского производителя сократился на 24,5 %. Основная модель, импортировавшаяся в 2012 г., – Bell-40D. Кроме того, в рассматриваемом периоде в Россию было ввезено семь самосвалов Bell-B50D.

В 2011 г. на рынке ШСС появилась фирма Liebherr с самосвалом модели TA 230 грузоподъемностью 30 т, а по итогам 2012-го марка прочно обосновалась среди лидеров отрасли и увеличила объемы ввоза рассматриваемой техники в шесть раз.

Рассматривая номенклатуру шарнирно-сочлененных самосвалов отечественного и зарубежного производства, которая включает 55 моделей машин, можно установить их распределение по уровням грузоподъемности. Наименьшее количество моделей приходится на группы грузоподъемностью более 40 т (5,6 %) и до 20 т (14,5 %), наибольшее – на группы грузоподъемностью 20–25 т (25,5 %) и от 25 до 40 т (54,4 %). Указанное распределение позволяет сделать вывод, что наиболее востребованы шарнирно-сочлененные самосвалы в диапазоне грузоподъемности от 20 до 40 т [6].

Таблица 1

Техническая характеристика самосвалов с шарнирно-сочлененной рамой российского и белорусского производства
 Technical characteristics of articulated dump trucks of Russian and Belarusian production

| Показатель | Россия | | | Беларусь | | |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|-------------|------------------------|------------------------|
| | С-33 «Концепт» | 709ТШ «Балтиец» | К-708.2 «Кировец» | БелА3-75281 | БелА3-7506 | БелА3-75035 |
| Колесная формула | 6×6 | 6×6 | 4×4 | 6×6 | 6×6 | 6×6 |
| Грузоподъемность, т | 33,5 | 25 | 25 | 36 | 36 | 50 |
| Двигатель | Cummins QSX15-C336 | Н. д. | Cummins QSB6.7 260 | MTU S60 | Cummins QSX 15-C450 | Cummins QSX 15-C600 |
| Мощность, кВт | 336 | Н. д. | 194 | 410 | 336 | 447 |
| Преодолеваемый уклон, град. | | Н. д. | | 36 | 20 | 24 |
| Вместимость кузова, м ³ : геометрическая с «шапкой» | 16 | Н. д. | 12 | 16,3 | 17 | 23 |
| | 20,5 | Н. д. | 14 | 22 | 22,4 | 28 |
| Радиус поворота, м | 9 | Н. д. | | 9,4 | 11 | 10 |
| Масса без груза, т | 29,1 | Н. д. | 16,5 | 42,38 | 36 | 40 |

Опыт эксплуатации шарнирно-сочлененных самосвалов при обработке месторождений полезных ископаемых

ШСС прекрасно зарекомендовали себя в различных отраслях строительства при перевозке грузов в труднопроходимых условиях, а также при добыче полезных ископаемых и строительных материалов открытым способом для их транспортировки из забоев к пунктам разгрузки.

Положительный мировой опыт эксплуатации самосвалов Volvo A40D – на предприятиях Marmi di Carrara Srl (г. Каррара, Италия) и Wbb Minerals по добыче пластичной глины (Великобритания), самосвалов Cat-740 – на карьере Tarmac Pant Quarry (Уэльс, Великобритания) позволяют сделать вывод о надежности и качестве данных машин [7].

В карьере Tarmac Pant Quarry по добыче 1,2 млн т/год известняка самосвалы Cat-740 грузоподъемностью 38 т доставляют горную массу на борт карьера, где она перегружается в передвижную дробилку и конвейером складывается в штабель, откуда подается на дальнейшую переработку. Общая высота подъема составляет 100 м, длина трассы на подъем – около 800 м при среднем уклоне 12,5 % при варьировании продольного уклона отдельных участков трассы от 10 до 26 %.

Горнодобывающее предприятие Marmi di Carrara Srl, разрабатывающее месторождение мрамора нагорным карьером, использует Volvo A40D с раздельным для грузового и порожнякового направлений односторонним движением. Две машины данного класса перевозят 2000 т/сут горной массы. Максимальный угол наклона трассы 35 %. По информации сотрудников (инженеров и водителей) [7], моторный тормоз полностью позволяет контролировать движение самосвала под уклон, исключая необходимость использования рабочих тормозов.

В России ШСС применяют нефте- и газодобывающие компании, осваивающие месторождения в сложных природно-климатических условиях и условиях бездорожья. Как и за рубежом, на открытых горных работах ШСС используют в основном при производстве строительных материалов: мраморные плиты, щебень, глина и т. п.

Одним из примеров эксплуатации ШСС на карьерах железорудной промышленности России является комбинат «Магнезит», на котором в настоящее время эксплуатируются 10 самосвалов Bell-B40D [8], наработавших по 12000–14000 машино-часов, самосвал Bell-B50D и

шесть самосвалов Volvo A40F. За шесть месяцев эксплуатации самосвала Bell-B50D его наработка составила более 2500 машино-часов. Весь этот период самосвал работал в сложнейших горно-геологических условиях, связанных с транспортировкой горной породы по трассам с уклонами до 15 %, глинистым основанием и перепадами высот до 190–200 м на относительно коротких расстояниях транспортировки.

В 2011 г. началось строительство горно-обогачительного комбината и подготовка месторождения алмазов имени В. Гриба к разработке [9]. Промышленное освоение месторождения осуществляется в безлюдной местности, на сильно обводненной и заболоченной территории, в суровых климатических условиях европейского севера России. Все технологические грузоперевозки в карьере выполняют автотранспортом. В связи с низкой несущей способностью горных пород на начальный период вскрытия и подготовки месторождения к эксплуатации приняты довольно распространенные в небольших и неглубоких карьерах России карьерные самосвалы БелАЗ-75473 грузоподъемностью 45 т и самосвалы повышенной проходимости с шарнирно-сочлененной рамой и колесной формулой 6×6 БелАЗ-75281 грузоподъемностью 36 т.

Плоский рельеф местности на территории карьера и принятая проектом технология разработки месторождения предопределили его вскрытие внутренними автомобильными съездами, образующими спирально-тупиковые схемы с выездами на поверхность в направлениях к обогачительной фабрике, восточному и южному отвалам. В дальнейшем, по мере развития горных работ и формирования конечных бортов карьера, временные автомобильные съезды, начиная с верхних горизонтов, постепенно переносят в стационарное (постоянное) положение.

Сложные дорожные условия, связанные с низкой несущей способностью пород, затрудняли подъезды к экскаваторам и проведение съездов, но благодаря относительно небольшой нагрузке на дорогу ШСС первые два горизонта были успешно вскрыты. Это позволило выйти на горизонты с более высокой несущей способностью пород и ввести в работу горное и транспортное оборудование увеличенной мощности [10].

Технологические особенности обработки глубокозалегающих месторождений

Российские производственники и ученые пошли дальше и расширили сферу применения

ШСС на горнодобывающих предприятиях путем использования их при доработке карьеров, разрабатывающих глубокозалегающие месторождения алмазов.

Технологию доработки глубоких карьеров с применением крутонаклонных съездов одним из первых в мире предложил институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА». Проектные решения были приняты для доработки карьера «Удачный» в 2008 г. [11]. После проведенных совместно с Институтом горного дела Уральского отделения РАН исследовательских работ [12] принято решение о применении в качестве транспортного средства самосвалов с шарнирно-сочлененной рамой. Разработаны варианты технологии проходки крутых съездов на карьерах АК «АЛРОСА» с использованием имеющегося горно-транспортного оборудования [11, 13], а также временные рекомендации по безопасной эксплуатации ШСС на крутых уклонах, на горных работах, согласованные с управлением Государственного горного и металлургического надзора [14].

Реализация проектных решений началась с отстройки крутонаклонного съезда на карьере «Удачный» с 2010 по 2012 г. и приобретения в конце 2011 г. самовала Cat-740В [15]. В соответствии с данными [15] за время испытаний на трассе с продольным уклоном от 10,0 до 23,7 % была подтверждена техническая возможность эксплуатации ШСС в тяжелых горно-технических и природно-климатических условиях доработки глубокозалегающих месторождений твердых полезных ископаемых.

В результате проведенных исследований установлены: максимальные уклоны при транспортировании горной массы на подъем и спуск; максимальная скорость движения в порожнем и грузовом направлениях на уклоне до 30 %; рациональные безопасные параметры автомобильных съездов (ширина проезжей части, ширина транспортной бермы, уширение проезжей части, высота удерживающего породного вала и др.). Обоснованы технологии строительства и обустройства транспортных съездов. Разработаны меры по предотвращению аварийных ситуаций при движении самосвалов на крутых уклонах, работе в забое, во время погрузочно-разгрузочных и буксировочных работ с учетом погодных условий.

В настоящее время [16] на карьере «Удачный» внедрена технология добычи с использованием крутонаклонных съездов с продольным уклоном 21,7 %, которая позволяет обеспечить

для действующих карьеров дополнительную добычу руды (5–10 %), для вновь проектируемых – уменьшение объемов вскрышных работ на 35–40 %. При этом для операторов выемочно-погрузочных и транспортных средств в забоях с повышенной опасностью проектом предусматривается применение горного оборудования, оснащенного системами дистанционного управления. Однако опыт эксплуатации самосвалов Cat-740В при доработке карьера «Удачный» АК «АЛРОСА» выявил ряд конструктивных недостатков указанных моделей [17]. Недостатки были обусловлены выходом из строя задних мостов вследствие перераспределения нагрузок при движении с грузом на подъем, неполным использованием грузоподъемности и т. п.

Опыт применения ШСС на горных работах по добыче твердых полезных ископаемых и дальнейшие исследования позволили установить эффективность разработки перспективных месторождений с малыми запасами. Так, использование шарнирно-сочлененного автосамовала Cat-740 в условиях Дальнебуланашского месторождения угля [18] позволяет: снизить дальность транспортирования вскрышных пород на 32 %; уменьшить дальность транспортирования угля на 29 %; увеличить угол погашения борта разреза на 4°; снизить объем вскрыши на 4 млн м³. Расчеты показали, что себестоимость 1 т полезного ископаемого при применении автосамосвалов Cat-740 для транспортирования угля и вскрышных пород на Дальнебуланашском месторождении снижается на 12 % по сравнению с классическими карьерными автосамосвалами.

В настоящее время продолжают исследования перспектив применения полноприводных шарнирно-сочлененных автосамосвалов при доработке карьеров месторождений кимберлитовых руд [17].

Большинство проектов отработки карьеров предусматривает переход с определенной глубины на вскрытие крутонаклонными съездами с соответствующим вводом в эксплуатацию ШСС. В одном из вариантов отработки Нюрбинского карьера АК «АЛРОСА» этот переход осуществляется с глубины 330 м (горизонт –80 м). До глубины 330 м горная масса вывозится на поверхность автосамосвалами Cat-777D, Cat-777F, Terex TR-100 грузоподъемностью 91 т. С нижних горизонтов горная масса вывозится шарнирно-сочлененными самосвалами Cat-745С грузоподъемностью 41 т на перегрузочный пункт, расположенный на горизонте –80 м.

Главные преимущества ШСС в данном варианте разработки заключаются в использовании крутонаклонных съездов и транспортных берм меньшей ширины по сравнению с автосамосвалами с колесной формулой 4×2, что позволяет увеличить угол наклона нерабочего борта, сократить дополнительный объем выемки вскрыши от размещения транспортных коммуникаций и отработать карьер до глубины 570 м. Вместе с тем практическая реализация варианта связана с определенным технологическим риском [17]. В настоящее время в мировой практике отсутствует опыт эксплуатации ШСС в экстремальных горно-технических условиях, аналогичных условиям алмазодобывающих карьеров, расположенных в криолитозоне. Теоретически считается, что ШСС способны преодолевать уклоны автодорог до 30–35 %, однако на практике заводы-изготовители гарантируют надежную работу таких автосамосвалов при продольных уклонах до 18–20 %.

Одним из направлений применения ШСС является вскрытие нижних горизонтов карьера законтурными автомобильными тоннелями

спиральной формы (рис. 1). Соединение подземного автомобильного съезда с рабочими горизонтами осуществляется квершлагами, которые проходятся в нерабочих бортах и погашаются по мере понижения горных работ. В этом случае угол наклона нерабочего борта в зоне тоннельного вскрытия не зависит от ширины и уклона транспортных коммуникаций, а определяется только условиями устойчивости. На нерабочем борту исключается размещение транспортных берм. Учитывая разницу значений расчетного и допустимого коэффициентов запаса устойчивости бортов на Нюрбинском карьере, угол наклона нерабочего борта в зоне тоннельного вскрытия может быть увеличен на 25–30 %. Соответственно увеличивается глубина перехода на вскрытие крутонаклонными тоннельными автосъездами и сокращается объем развоза бортов карьера. Тоннельное вскрытие обеспечивает снижение гидродинамического давления грунтовых вод на борт карьера, что также будет способствовать увеличению угла откоса нерабочего борта.

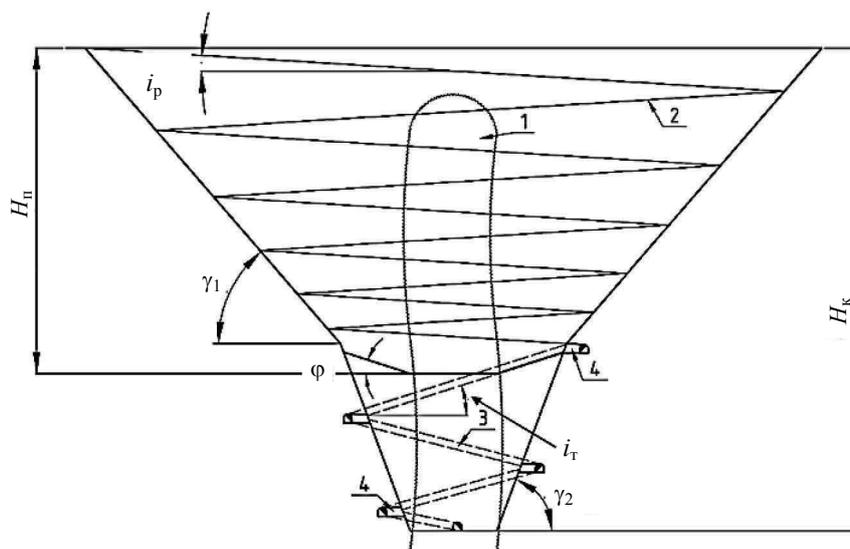


Рис. 1. Схема разработки карьера с использованием законтурных автомобильных тоннелей спиральной формы: 1 – рудное тело; 2 – траншейный автосъезд; 3 – тоннельный автосъезд; 4 – квершлаг; H_k – конечная (проектная) глубина карьера; H_n – глубина перехода на тоннельное вскрытие; i_p – руководящий уклон траншейных автосъездов; i_t – руководящий уклон тоннельных автосъездов ($i_t > i_p$); γ_1 – угол откоса нерабочего борта в зоне траншейного вскрытия при использовании самосвалов с колесной формулой 4×2; γ_2 – угол откоса нерабочего борта карьера в зоне тоннельного вскрытия при использовании полноприводных самосвалов ($\gamma_2 > \gamma_1$); φ – угол откоса рабочего борта карьера

Fig. 1. Scheme of quarry development while using peripheral road tunnels of spiral shape: 1 – ore body; 2 – trench ramps; 3 – tunnel ramps; 4 – crosscut; H_k – ultimate (design) pit depth; H_n – junction depth for transition of tunnel opening; i_p – limiting gradient of trench ramps; i_t – limiting gradient of tunnel ramps ($i_t > i_p$); γ_1 – slope angle of non-working quarry side in the zone of trench opening while using dump trucks with wheel formula 4×2; γ_2 – slope angle of non-working quarry side in the zone of tunnel opening while using four wheel drive trucks ($\gamma_2 > \gamma_1$); φ – slope angle of working quarry side

Наличие тоннелей дает возможность размещать в пределах массива аппаратуру наблюдения за его состоянием. Кроме того, из тоннелей может быть установлено анкерное крепление, предотвращающее обрушение прибортового массива карьера [19]. Применение ШСС и крутых уклонов автосъездов позволит значительно сократить капитальные вложения на проходку подземных выработок, что является основным ограничением при практической реализации указанного способа вскрытия.

ВЫВОДЫ

1. К технологическим особенностям освоения месторождений твердых полезных ископаемых с использованием шарнирно-сочлененных самосвалов следует отнести:

– вовлечение в отработку дополнительного объема руды при минимально возможном увеличении объема вскрыши;

– строительство крутонаклонных съездов и транспортных берм меньшей ширины по сравнению с карьерными автосамосвалами, что позволяет увеличить угол наклона нерабочего борта, сократить дополнительный объем выемки вскрыши от размещения транспортных коммуникаций;

– использование транспортных берм переменной ширины и вскрытия нижних горизонтов карьера законтурными автомобильными тоннелями спиральной формы;

– использование роботизированных комплексов, позволяющих минимизировать применение людских ресурсов, что повышает безопасность ведения горных работ.

2. Представленные технологические решения позволят обеспечить ресурсосбережение и безопасность открытых горных работ при извлечении руд ранее нерентабельных месторождений. Они требуют дальнейшей технико-экономической оценки и научной проработки на предпроектной стадии освоения технологии.

3. Необходимы маркетинговые исследования по изучению возможного рынка потребления самосвалов данного класса на открытых горных работах с целью обоснования перспективы импортозамещения машинами российского производства. Помимо упомянутых выше в качестве потенциальных производителей могут быть рассмотрены ОАО «Уралмашзавод», НПК «Уралвагонзавод», ОАО «Уралтрансмаш» и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. События: Новая техника ОАО «Промтрактора» – Самосвал С-33 с шарнирно-сочлененной рамой [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://promtractor.tplants.com/ru/events/news/2013/05/28/>.
2. Карьерные самосвалы «Балтиец» составят конкуренцию БелАЗам. 2011 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.zavodsm.ru/novosti/i/karernie-samosvali-baltiets-sostavyat-konkurenciyu-belazam/>.
3. Кировец К-708.2. 2017 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kirovets-ptz.com/rus/catitem/52/DilerAccount>.
4. Российский импорт шарнирно-сочлененных самосвалов в январе – октябре 2011 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.prtime.ru/2012/03/01/rossijskijj_import_sha.html.
5. Российский импорт шарнирно-сочлененных самосвалов в 2012 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://idmarketing.ru/goods/rossijskijj_import_sharnimsochlenennyh_samosvalov_v_2012_godu.htm#1.
6. Ткаченко, Р. Б. Тенденции развития строительной техники с шарнирно-сочлененной рамой / Р. Б. Ткаченко // Комунальне господарство міст: науково-технічний збірник. 2012. № 103. С. 188–193.
7. Сочлененные самосвалы Volvo. Опыт эксплуатации (месторождения в Италии, Англии, Норвегии, России) [Электронный ресурс] / ООО ТЛК «Гросс». 2007. 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM).
8. Презентация шарнирно-сочлененного самосвала BELL B50D [Электронный ресурс] // Горная промышленность. 2012. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/karertekh/2483-presentatsiya-sharnimsochle-njono-samosvala-bell-b50d>.
9. Первый этап освоения месторождения имени В. Гриба, подготовительные и горно-капитальные работы / В. Н. Зяостровцев [и др.] // Горный журнал. 2014. № 3. С. 46–49.
10. Палеи, Л. М. Организационно-техническое обеспечение начального этапа горного производства в карьере гока имени В. Гриба / Л. М. Палеи // Горный журнал. 2014. № 3. С. 50–52.
11. Развитие технологии проходки и формирования на карьере транспортных съездов крутого уклона / А. Н. Акишев [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 12 С. 58–64.
12. Разработать безопасные геометрические параметры конструкции крутых транспортных съездов. Разработать и согласовать временные рекомендации по безопасной эксплуатации технологических транспортных средств на крутых уклонах, на горных работах АК «АЛРОСА»: отчет о НИР / ИГД УрО РАН; рук. А. В. Глебов. Екатеринбург, 2008. 101 с.
13. Способ проведения крутой траншеи: пат. 2376471 Росийс. Федерации, МПК E21C41/26 (2006.01) / В. А. Берсенев, А. В. Глебов, Г. Д. Кармаев; дата публ. 20.12.2009.
14. Временные рекомендации по безопасной эксплуатации шарнирно-сочлененных самосвалов на крутых уклонах, на горных работах АК «АЛРОСА»: № 13-02-ИД-01145-2008 / ИГД УрО РАН. Екатеринбург, 2008. 11 с.

15. 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.
16. Перспективные направления развития технологий добычи и переработки алмазосодержащих руд в АК «АЛРОСА» (ПАО) / А. С. Чаадаев [и др.] // Горный журнал. 2016. № 2. С. 56–61. <https://doi.org/10.17580/gzh.2016.02.11>.
17. Перспективы применения полноприводных шарнирно-сочлененных автосамосвалов при доработке Нюрбинского карьера АК «АЛРОСА» (ПАО) / А. Н. Акишев [и др.] // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: сб. докл. VI Междунар. науч.-техн. конф. 2017. С. 116–122.
18. Анализ эффективности применения шарнирно-сочлененных автосамосвалов при разработке месторождений с малыми запасами / И. Н. Сандригайло [и др.] // Известия Уральского государственного горного университета. 2015. № 2. С. 23–27.
19. Hustrulid, W. A. In-the-Wall Haulage for Open-Pit Mining / W. A. Hustrulid, B. Seegmiller, O. Stephansson // Mining Engineering. 1987. Vol. 39, No 2. P. 119–123.
- Поступила 03.08.2017
Подписана в печать 27.10.2017
Опубликована онлайн 29.05.2018
- REFERENCES
1. *Events: New Equipment of OJSC "Promtractor" – Dump Truck C-33 with Articulated Frame*. 2013. Available at: <http://promtractor.tplants.com/ru/events/news/2013/05/28/> (in Russian).
 2. *Mine Dump Trucks "Baltiets" Act as a Competitor to BelAZ*. 2011. Available at: <http://www.zavodsm.ru/novosti/i/karernie-samosvali-baltiets-sostavyat-konkuren-tsiyu-belazam> (in Russian).
 3. *Kirovets K-708.2*. 2017. Available at: <http://kirovets-ptz.com/rus/catitem/52/DilerAccount> (in Russian).
 4. *Russian Import of Articulated Dump Trucks in January – October 2011*. Available at: http://www.prttime.ru/2012/03/01/rossijskij_import_sha.html (in Russian).
 5. *Russian import of Articulated Dump Trucks in 2012*. Available at: http://idmarketing.ru/goods/rossijskij_import_sharnirno_sochlenennyh_samosvalov_v_2012_godu.htm#1 (in Russian).
 6. Tkachenko R. B. (2012) Tendencies in Development of Construction Equipment with Articulated Frame. *Kommunal'ne Gospodarstvo Mist: Naukovo-Tekhnichnii Zbirnik = Urban Municipal Services: Technical and Scientific Compilation*, 103, 188–193 (in Russian).
 7. Limited Liability Company Transport Logistics Complex "Gross" – Volvo CE Dealer (2007) *Articulated Haul Volvo. Operational Experience (Deposits in Italy, England, Norway, Russia)*. Electronic Resource. DVD-ROM (in Russian).
 8. Presentation of Articulated Dump Trucks BELL B50D. *Mining*. 2012. Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/karertekh/2483-prezentatsiya-sharnirno-sochlenjonnogo-samosvala-bell-b50d> (in Russian).
 9. Zaostrovsev V. N., Yaparov Ya. A., Klimenko Yu. A., Nalivaiko V. A. (2014) First Stage of V. Grib Deposit Development: Preparatory and Mining and Capital Works. *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*, (3), 46–49 (in Russian).
 10. Palei L. M. (2014) Organizational and Technical Support of Initial Mining Production Stage at Cast Mines of V. Grib Mining and Processing Plant. *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*, (3), 50–52 (in Russian).
 11. Akishev A. N., Babaskin S. L., Kozhemyakin A. A., Nikitin R. V. (2013) Development of Technology for Driving and Formation of Transport Steep Slope Crossovers. *Gornyi Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten = Mining Informational and Analytical Bulletin*, (12), 58–64 (in Russian).
 12. Glebov A. V. (chief, Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (2008) *Develop of Safety Geometrical Parameters for Structures of Transport Steep Slope Crossovers. Develop and Approve Temporary Documentations on Safety Operation of Technological Transport Facilities on Steep Slopes and during Mining Works of Diamond Processing Plant "Alrosa"*: Report on R&. Ekaterinburg. 101 (in Russian).
 13. Bersenev V. A., Glebov A. V., Karmaev G. D. (2008) *Method for Making Steep Trenches*. Patent of Russian Federation No 2376471 (in Russian).
 14. Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (2008) *Temporary Recommendations on Safety Operation of Articulated Dump Trucks on Steep Slopes and During Mining Works of Diamond Processing Plant "Alrosa"*. No 13-02-ИД-01145-2008. Ekaterinburg. 11 (in Russian).
 15. Zyrianov I. V., Tsymbalova A. I. (2013) Tests of Cat-740B on Steep Slope Crossovers of Cast Mine "Udachny" at Diamond Processing Plant "Alrosa". *Gornoye Oborudovanie i Elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*, (9), 22–25 (in Russian).
 16. Chaadaev A. S., Cherepnov A. N., Zyryanov I. V., Bondarenko I. F. (2016) Promising Ways of Technological Development in Diamond ore Mining and Processing at ALROSA *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*, (2), 56–61 (in Russian). <https://doi.org/10.17580/gzh.2016.02.11>.
 17. Akishev A. N., Lel' Yu. I., Glebov I. A., Musikhina O. V. (2017) Prospects for Application of All-Wheel-Drive Articulated Dump Trucks to Finalize Nyurbin Mine of Diamond Processing Plant "Alrosa" (PJSC). *Innovatsionnye Tekhnologii pri Razrabotke Rudnykh i Nerudnykh Mestorozhdenii: 6 Mezhdunar. Nauchno-Tekhn. Konf. (Ekaterinburg, 18–19.04.17): Sb. Dokl. [Innovation Technologies for Development of Ore and Non-Metallic Deposits: 6th International Scientific and Technical Conference. Book of Reports]*. Ekaterinburg, Ural State Mining University, 116–122 (in Russian).
 18. Sandrigailo I. N., Arefev S. A., Moiseyev Kh. S., Glebov I. A., Shlokhin D. A. (2015) Analysis of Efficient Application of Articulated Dump Trucks During Development of Deposits with Small Reserves. *Izvestiya Ural'skogo Gosudarstvennogo Gornogo Universiteta = News of Ural State Mining University*, (2), 23–27 (in Russian).
 19. Hustrulid W. A., Seegmiller B., Stephansson O. (1987) In-the-Wall Haulage for Open-Pit Mining. *Mining Engineering*, 39 (2), 119–123.

Received: 03.08.2017

Accepted: 27.10.2017

Published online: 29.05.2018