Оригинальная статья / Original article

УДК 622.271

DOI: <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2019-42-4-495-501>

Технология доработки месторождений кимберлитов с применением канатной системы подъема горной массы

© А.Ю. Чебан^а

^аИнститут горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия

Резюме: Целью данного исследования является повышение производительности и экономической эффективности горных работ на основе внедрения новых технико-технологических решений процессов выемки и транспортировки горной массы при доработке крутопадающих рудных тел, в частности на месторождениях кимберлитов, открытым способом. В статье проводится анализ известных технологических схем и горного оборудования по выемке и транспортировке (подъему) горной массы с нижних горизонтов глубоких карьеров. Перспективным направлением совершенствования технологий доработки крутопадающих рудных тел являются углубочные зоны с высокими вертикальными уступами. Автором предлагается технология доработки месторождения кимберлитов с применением комплекса горнотранспортного оборудования, включающего усовершенствованную фрезерную машину и канатную систему подъема горной массы. Фрезерная машина оснащена упаковочной установкой, обеспечивающей непрерывную загрузку мягких контейнеров горной массой без прекращения фрезерования рудного тела при замене мягких контейнеров под погрузкой. Канатная система подъема состоит из трех лебедок, установленных на дневной поверхности карьера, а также тельфера с захватным устройством и осуществляет подъем мягких контейнеров с рабочей площадки углубочной зоны к перегрузочному пункту на промежуточном горизонте карьера, откуда горная масса автосамосвалами доставляется на поверхность. Применение предлагаемого технико-технологического решения позволяет вести доработку рудного тела с обеспечением непрерывного процесса выемки усовершенствованной фрезерной машиной. Подъем горной массы из углубочной зоны канатной системой обуславливает невысокую удельную энергоемкость процесса и позволяет вести открытые горные работы с минимальным коэффициентом текущей вскрыши, что обеспечивает эффективное вовлечение в разработку оставшихся запасов.

Ключевые слова: углубочная зона, фрезерная машина, горная масса, мягкие контейнеры, канатная система, автосамосвал

Информация о статье: Дата поступления 10 октября 2019 г.; дата принятия к печати 6 ноября 2019 г.; дата онлайн-размещения 30 декабря 2019 г.

Для цитирования: Чебан А.Ю. Технология доработки месторождений кимберлитов с применением канатной системы подъема горной массы. *Науки о Земле и недропользование*. 2019. Т. 42. № 4. С. 495–501. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2019-42-4-495-501>

Kimberlite deposit completion technology using a cable hoisting system

© Anton Yu. Cheban^а

^аMining Institute, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia

Abstract: The objective of the study is to increase mining productivity and economic efficiency by introducing new technical-and-technological solutions for extracting and transporting the rock mass in the open-cast development of steeply dipping ore bodies, in particular at kimberlite deposits. The article analyzes the known technological schemes and mining equipment for extracting and lifting the rock mass from the lower horizons of deep quarries. A promising way to improve the technologies of developing steeply dipping ore bodies is to use sink zones with high vertical ledges. The author proposes a technology for kimberlite deposit completion using a mining equipment complex that includes an advanced milling machine and a cable hoisting system. The milling machine is equipped with a packing assembly that ensures continuous loading of soft containers with the rock mass without stopping the milling process when changing the containers under loading. The cable hoist system consists of three winches mounted on the day surface of the quarry, and a telfer with a gripper. The system lifts soft containers from the work platform of the deep zone to the transfer point at the intermediate horizon of the quarry, from where the rock mass is delivered by dump trucks to the surface. The proposed technical-and-technological solution enables

non-stop extraction when completing the ore body. The lifting process has a low specific energy intensity and provides a minimum current overburden ratio, which enhances the efficient mining of the remaining reserves.

Keywords: deep zone, milling machine, rock mass, soft containers, cable system, dump truck

Information about the article: Received October 10, 2019; accepted for publication November 6, 2019; available online December 30, 2019.

For citation: Cheban AYu. Kimberlite deposit completion technology using a cable hoisting system. *Earth sciences and subsoil use*. 2019;42(4):495–501. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2019-42-4-495-501>

Введение

Постепенное усложнение горнотехнических условий ведения работ требует совершенствования традиционных и создания новых технологий для обеспечения необходимого уровня рентабельности горного производства [1, 2]. С увеличением глубины карьеров значительно возрастают издержки на транспортирование горной массы. Кроме того, при разработке крутопадающих рудных тел интенсивно увеличивается величина коэффициента текущей вскрыши в связи с необходимостью разноса бортов карьера. В настоящее время ряд эксплуатируемых карьеров приближается к своим предельным контурам, после чего дальнейшая разработка месторождений с применением традиционных технологий будет экономически нецелесообразной. В тоже время на ряде глубоких карьеров за предельными контурами остаются ценные запасы минерального сырья. Доработка данных запасов возможна путем перехода на подземную отработку месторождений либо за счет применения новых или усовершенствованных технологий ведения открытых горных работ [3, 4]. Необходимость доработки запасов под дном карьеров, достигших предельных контуров или приближающихся к ним, актуальна для многих кимберлитовых месторождений Республики Саха (Якутия). Этот вопрос осложняется тем, что разработка месторождений в условиях Крайнего Севера характеризуется повышенными затратами и значительным воздействием на окружающую среду, обусловленными суровым климатом.

Состояние вопроса и постановка проблемы

Обеспечить экономически эффективную доработку подкарьерных запасов

кимберлитов с целью обеспечения устойчивости бортов карьера позволяют технологические схемы, основанные на безвзрывной выемке горных пород. В настоящее время в горном производстве активно применяются машины, позволяющие вести высокопроизводительную безвзрывную выемку плотных, полускальных и отчасти скальных горных пород [5–9]. Разработаны технологии с применением углубочных комплексов, обеспечивающие возможность интенсивной доработки карьера за счет многократного (в 2–4 раза) увеличения уклонов транспортных коммуникаций и уменьшения их ширины [4]. При этом в качестве выемочного оборудования предлагается использовать «углубочные экскаваторы» или фрезерные машины, а в качестве транспорта – гусеничные самосвалы или гусеничные скреперы (скрепер-дозеры) [3]. Гусеничный транспорт доставляет горную массу от рабочей площадки углубочной зоны к перегрузочному пункту по транспортным коммуникациям с уклонами до 30 %. Недостатками данных схем является применение транспортного оборудования, приводимого в действие от двигателей внутреннего сгорания, что ведет к повышенной загазованности углубочной зоны.

Известна технологическая схема доработки кимберлитовых трубок с применением бурового способа выемки, которая заключается в выбуривании из рудного массива керна большого диаметра с последующей механической подрезкой основания керна и выемкой стреловым краном [10]. Недостатком данной схемы является малая производительность и многооперационность. Для бестраншейного вскрытия нижних горизонтов глубоких карьеров предлагаются способы

разработки с применением кабельных кранов [11, 12]. В способе [12] рыхление массива осуществляется фрезерными машинами, транспортировка разрыхленной горной массы на загрузочную площадку в грузовые бадьи ведется одноковшовыми погрузчиками. Заполненные грузовые бадьи кабельным краном поднимаются на поверхность. Недостатком способа является то, что кабельный кран не обслуживает всю площадь рабочей площадки и требуются погрузчики для перемещения горной массы к зоне работы кабельного крана.

С учетом достаточной прочности вмещающих пород для отработки (доработки) кимберлитовых трубок небольшого диаметра предлагаются технологии выемки рудного тела одним вертикальным уступом высотой до 100 м и более [13]. При этом локальная устойчивость бортов должна обеспечиваться мерзлотозащитными, набрызг-бетонными покрытиями, металлической предохранительной стенкой или анкерными креплениями. Выемку горной массы предлагается вести электрической фрезерной машиной, а доставку руды в контейнерах с рабочей площадки на поверхность – аэростатическим подъемником с канатной системой механизмов подъема и горизонтального перемещения. Для надежного обеспечения устойчивости вертикальных бортов уступа большой высоты выемка должна осуществляться в холодный период года, длящийся в данном районе Якутии с октября по июль. Недостатком способа являются значительные простои фрезерной машины при обмене контейнеров под загрузку, которые могут составлять 25–30 % и более от времени фрезерования, а также сложность эксплуатации аэростата в условиях Крайнего Севера.

Целью исследования является повышение производительности, надежности и экономической эффективности ведения горных работ на основе внедрения новых технико-технологических решений для процессов выемки и транспортировки

(подъема) горной массы при доработке крутопадающих месторождений, в частности месторождений кимберлитов, открытым способом.

Результаты исследований

В статье предлагается технология доработки месторождения кимберлитов с применением комплекса горнотранспортного оборудования, включающего усовершенствованную фрезерную машину и канатную систему подъема горной массы. Повышения производительности фрезерной машины на выемке можно добиться за счет исключения простоев при обмене контейнеров под загрузку. Автором разработана конструкция усовершенствованной фрезерной машины 1 (рис. 1), обеспечивающей непрерывную загрузку разрыхленной горной массы в специальную тару – мягкие контейнеры 2. Мягкий контейнер 2 представляет собою складывающуюся закрытую емкость для насыпных грузов с круглым или квадратным поперечным сечением, изготовленную из полимерного материала [14]. Фрезерная машина 1 движется по забою на гусеничном шасси 3 и исполнительным органом 4 осуществляет послойное рыхление рудного тела 5 с подачей горной массы на транспортер 6 и далее к упаковочной установке 7. Упаковочная установка 7 состоит из бункера 8 с заслонкой 9 и гидроцилиндром 10, кассеты 11 с мягкими контейнерами 2, загрузочной площадки 12 с весовым устройством, эстакады 13, упаковочного автомата 14.

Горная масса из бункера 8 через открытую заслонку 9 попадает в мягкий контейнер 2, удерживаемый на патрубке 15 бункера 8 упаковочным автоматом 14. После полной загрузки мягкого контейнера 2, контролируемой весовым устройством, заслонка 9 посредством гидроцилиндра 10 перекрывает патрубок 15 бункера 8, упаковочный автомат 14 запечатывает мягкий контейнер 2. После чего приводные ролики 16 загрузочной площадки 12 начинают вращаться и перемещают заполненный мягкий контейнер 2 на эстакаду 13, по которой он скатывается

Рис. 1. Усовершенствованная фрезерная машина:

a – схема отработки рудного тела;

b, c – схема конструкции упаковочной установки для мягких контейнеров

Fig. 1. Advanced milling machine:

a – mining scheme;

b, c – packing assembly structure

на поверхность забоя 17. Упаковочный автомат 14 достаёт сложенный мягкий контейнер 2 из кассеты 11 и устанавливает на патрубок 15, заслонка 9 открывается, и вновь начинается загрузка мягкого контейнера 2. Наличие бункера 8 позволяет аккумулировать горную массу во время замены мягких контейнеров 2, и таким образом обеспечивается безостановочная работа фрезерной машины 1.

Посредством канатной системы 1 осуществляется подъем загруженных горной массой мягких контейнеров 2 из углубочной зоны 3 на промежуточный горизонт 4 карьера 5 к перегрузочному пункту 6 (рис. 2).

Канатная система 1 включает три лебедки 7, установленные на дневной поверхности карьера 5, при этом канаты 8

лебедок 7 крепятся к треугольной раме 9, под которой установлен тельфер 10 с канатом 11 и захватным приспособлением 12 для подъема и перемещения мягких контейнеров 2. Путем натяжения или ослабления канатов 8 соответствующих лебедок 7 треугольная рама 9 с тельфером 10 может перемещаться над всей площадью 13 углубочной зоны 3 карьера 5, на которой работает фрезерная машина 14, а также частично приподниматься и смещаться к перегрузочному пункту 6, размещенному на уступе 15 карьера 5. От перегрузочного пункта 6 до дневной поверхности горная масса перевозится автосамосвалами 16. Локальная устойчивость бортов углубочной зоны 3 обеспечивается металлической предохранительной стенкой 17, наращиваемой

Рис. 2. Схема доработки месторождения кимберлитов:

a – общий вид; b – вид в плане

Fig. 2. Scheme of the kimberlite deposit completion:

a – general view; b – plan view

по мере развития углубочной зоны 3. Отработка углубочной зоны осуществляется в холодное время года, когда обеспечивается максимальная устойчивость высокого вертикального уступа. После окончания добычных работ горное оборудование, находящееся на рабочей площадке углубочной зоны, демонтируется и поэлементно поднимается канатной системой.

Заключение

Технология доработки месторождений кимберлитов с применением усовершенствованной фрезерной машины и канатной системы подъема горной массы позволяет вести выемку руды на заключительном этапе открытых горных работ

посредством углубочной зоны с высокими вертикальными бортами. Усовершенствованная фрезерная машина, оборудованная упаковочной установкой, обеспечивает непрерывное фрезерование рудного тела без остановки машины на замену контейнеров под погрузку, что увеличивает производительность добычных работ. Конструкция канатной системы подъема горной массы обеспечивает возможность обслуживания всей площади углубочной зоны без применения дополнительного сборочного оборудования. Подъем грузов из углубочной зоны на канатах без применения гусеничных самосвалов и другого транспортного оборудования, требующего для своего

использования формирования транспортных коммуникаций или выемок, позволяет вести доработку рудного тела с минимальным коэффициентом текущей вскрыши, а также осуществлять подъемно-транспортные работы с невысокой удельной энергоемкостью. Применение

предлагаемой технологии на заключительной стадии отработки глубокого карьера позволит обеспечить эффективное вовлечение в открытую разработку запасов, находящихся за конечным контуром карьера, осваиваемого до этого по традиционной технологии.

Библиографический список

1. Jarvie-Eggart M.E. Responsible Mining: case studies in managing social & environmental risks in the developed world. Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. 804 p.
2. Frank U. Multi-perspective enterprise modeling: foundational concepts, prospects and future research challenges // *Software & Systems Modeling*. 2014. Vol. 13. No. 3. P. 941–962.
3. Чебан А.Ю. Способ доработки глубокого карьера с применением фрезерных машин // *Маркшейдерия и недропользование*. 2017. № 4. С. 23–29.
4. Тарасов П.И., Журавлев А.Г., Фури В.О. Обоснование технологических параметров углубочного комплекса // *Горное оборудование и электромеханика*. 2011. № 9. С. 2–10.
5. Чебан А.Ю. Совершенствование технологий открытой разработки месторождений с использованием карьерных комбайнов и отвалообразователей // *Записки Горного института*. 2015. Т. 214. С. 23–27.
6. Kumar C., Murthy V., Kumaraswamidhas L., Prakash A. Influence of cutting drum specifications on the production performance of surface miner under varied rock strength – some investigations // *Journal of Mines, Metals & Fuels*. 2016. Vol. 64. No. 5. P. 181–186.
7. Чебан А.Ю. Технология разработки сложноструктурного месторождения апатитов и выемочно-сортировочный комплекс для ее осуществления // *Записки Горного института*. 2019. Т. 238. С. 399–404. <https://doi.org/10.31897/pmi.2019.4.399>

8. Wirtgen surface mining for selective limestone mining in the North Caucasus. Russia // *Zement-Kalk-Gips International*. 2014. Vol. 67. No. 10. P. 18–19.
9. Prakash A., Murthy V., Singh K. Rock excavation using surface miners: an overview of some design and operational aspects // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2013. Vol. 23. Iss. 1. P. 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2013.01.006>
10. Ермаков С.А., Федоров Л.Н. Новые способы разработки малообъемных алмазных месторождений и доработки подкарьерных запасов алмазов // *Наука и образование*. 2015. № 4. С. 62–67.
11. Беспальков А.А., Журавлев А.Г. Технические вопросы при использовании кабельных кранов при ведении горных работ // *Проблемы недропользования*. 2017. № 2. С. 85–95.
12. Пат. № 2571776, Российская Федерация, МПК E21C 41/26. Способ открытой разработки крутопадающих рудных тел / С.Л. Бабаскин, А.Н. Акишев, В.С. Самоволов. Заявл. 30.09.2014; опубл. 20.12.2015. Бюл. № 35.
13. Точилин В.И. Оработка подкарьерных запасов трубки «Интернациональная» с использованием аэрогеотехнологии // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 1999. № 5. С. 197–200.
14. Полярин Ю.Н. Мягкие контейнеры – транспортная тара XXI века // *Склад и техника*. 2005. № 1. С. 10–14.

References

1. Jarvie-Eggart ME. Responsible Mining: case studies in managing social & environmental risks in the developed world. Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration; 2015. 804 p.
2. Frank U. Multi-perspective enterprise modeling: foundational concepts, prospects and future research challenges. *Software & Systems Modeling*. 2014;13(3):941–962.
3. Cheban AYU. Method of developing deep-career with application of milling machines. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2017;4:23–29. (In Russ.)
4. Tarasov PI, Zhuravlev AG, Furin VO. Justification for technological parameters of deepening

- complex. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2011;9:2–10. (In Russ.)
5. Cheban AYU. Improving the technology of open-cast mining using surface miners and spreaders. *Zapiski Gornogo instituta* = Journal of Mining Institute. 2015;214:23–27. (In Russ.)
6. Kumar C, Murthy V, Kumaraswamidhas L, Prakash A. Influence of cutting drum specifications on the production performance of surface miner under varied rock strength – some investigations. *Journal of Mines, Metals & Fuels*. 2016;64(5):181–186.
7. Cheban AYU. Engineering of complex structure apatite deposits and excavating-sorting equipment for its implementation. *Journal of Mining*

Institute. 2019;238:399–404. (In Russ.)
<https://doi.org/10.31897/pmi.2019.4.399>

8. Wirtgen surface mining for selective limestone mining in the North Caucasus. Russia. *Zement-Kalk-Gips International*. 2014;67(10):18–19.

9. Prakash A, Murthy V, Singh K. Rock excavation using surface miners: an overview of some design and operational aspects. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2013. Vol. 23. Iss. 1. P. 33–40.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2013.01.006>

10. Ermakov SA, Fedorov LN. New methods of development of small volume diamond deposits and excavation of undersurface reserves. *Nauka i obrazovanie*. 2015;4:62–67. (In Russ.)

11. Bepalkov AA, Zhuravlev AG. Technical issues related to using cable cranes for mining operations. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2017;2:85–95. (In Russ.)

12. Babaskin SL, Akishev AN, Samovolov VS. *Open-cast mining of steeply dipping ore bodies*. Patent RF, no. 2571776; 2015. (In Russ.)

13. Tochilin VI. Development of sub-quarry reserves of the Internatsionalnaya pipe using aero-geotechnology. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* = Mining Informational and Analytical Bulletin. 1999;5:97–200. (In Russ.)

14. Polyarin YuN. Soft containers: transport packaging of the 21st century. *Sklad i tekhnika* = Warehouse and Equipment. 2005;1:10–14. (In Russ.)

Критерии авторства / Authorship criteria

Чебан А.Ю. написал статью, имеет на нее авторские права и несет ответственность за плагиат.

Anton Yu. Cheban is the author of the article, holds the copyright and bears responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов / Responsibility for plagiarism

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The author has read and approved the final version of this manuscript.

Сведения об авторе / Information about the author

Чебан Антон Юрьевич,

кандидат технических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник лаборатории геотехнологии
и горной теплофизики,
Институт горного дела ДВО РАН,
680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51, Россия,
✉ e-mail: chebanay@mail.ru

Anton Yu. Cheban,

Cand. Sci. (Eng.), Docent,
Leading Researcher, Laboratory of Geotechnology
and Mining Thermophysics,
Mining Institute, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences,
51 Turgenev St., Khabarovsk 680000, Russia,
✉ e-mail: chebanay@mail.ru