

ГОРНОЕ ДЕЛО

УДК 622.1: 622.271.3
МРНТИ 52.13.17
<https://doi.org/10.31643/2018/6445.1>

Комплексное использование
минерального сырья. № 2. 2018.

М. Ж. БИТИМБАЕВ¹, С. Л. КУЗЬМИН^{2*}, А. Н. ТЮРБИТ², С. В. ВЕРИН²

¹ТОО «DataInvest», Алматы, Казахстан

²Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан, *e-mail: decan_2008@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНТЕЙНЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Received: 12 March 2018 / Peer reviewed: 17 April 2018 / Accepted: 21 May 2018

Резюме. В статье рассмотрены вопросы совершенствования технологии транспортирования горной массы на отвалах карьеров. Выполненный анализ существующих способов отвалообразования на открытых горных работах указывает на насущную потребность в разработке новой ресурсосберегающей и экологически безопасной технологии. Накопленные за последние десятилетия противоречия в технологии открытых горных работ особенно обостряются в условиях перехода к рыночной экономике и надвигающегося экологического кризиса. Предлагается транспортировать горную массу в контейнерах без строительства на отвале технологических коммуникаций. Узловым элементом контейнерной технологии транспортирования горной массы в карьере является подъемник в виде специальной мобильной подъемной машины. Контейнерная технология позволяет повысить показатели открытых горных работ по экономии энергоресурсов и сохранению окружающей среды на качественно новом уровне. Учет опыта ее развития в других отраслях промышленности позволит на открытых горных работах снизить удельные энергозатраты, повысить экологическую безопасность и производительность труда. Снижение расхода электроэнергии и разрушительного воздействия открытых горных работ на окружающую среду происходит за счет использования на всех этапах доставки горной массы оптимальных видов транспорта, а также за счет выполнения перегрузочных операций с высокой производительностью без дополнительной экскавации горной массы, как следствие повышается производительность работ при отвалообразовании и сокращаются площади внешних отвалов. Предварительная оценка экономических показателей контейнерной технологии показывает ее экономические преимущества перед существующими способами отвалообразования горной массы. Разработанное оборудование отличается простой конструкцией, что позволит изготовить его на горном предприятии.

Ключевые слова: подъемная машина, производительность, эффективность, контейнер, захват, горные работы, отвалы карьеров

Введение. Технология укладки пустой породы во внешний отвал тесно связана со способом ее транспортирования. Автомобильный, железнодорожный, конвейерный обусловили создание и развитие бульдозерного, экскаваторного и конвейерного способов отвалообразования. Основной операцией в этих способах является подъем породы автосамосвалами, поездами или конвейером на верхнюю площадку отвального яруса и разгрузка непосредственно под откос или в приямок отвального экскаватора, который укладывает породу в отвал. Поэтому эффективность отвалообразования определяется в основном затратами на подъем породы [1]. С этой точки зрения автомобильный и железнодорожный транспорт не оптимальны в качестве подъемных средств из-за высокого коэффициента тары (до 0,8–0,9). Это магистральные виды транспорта [2]. Серьезным недостатком использования

колесных видов транспорта на отвалах является трудность эксплуатации автодорог и железнодорожных путей в связи с низкой несущей способностью поверхности отвала.

Прием породы на железнодорожных отвалах выполняется с дополнительной энергоемкой экскавацией породы, на бульдозерных отвалах – с дополнительным перемещением породы бульдозером. Кроме того, работа транспортного и отвального оборудования вблизи призмы возможного обрушения снижает безопасность ведения работ. Для повышения эффективности отвалообразования разрабатываются новые технологии ведения открытых горных работ [3–7] и совершенствуется работа технологического транспорта [8–10], но все эти мероприятия не решают проблему.

Экспериментальная часть. Существенно повысить эффективность и безопасность

отвалообразования возможно при контейнерной технологии доставки пород на отвалы. Пустую породу из карьера можно доставлять в контейнерах к нижней бровке откоса отвала, а ее подъем и выгрузку выполнять с помощью подъемной машины (в соответствии с рисунком 1). Подъемную машину предполагается устанавливать на предотвале.

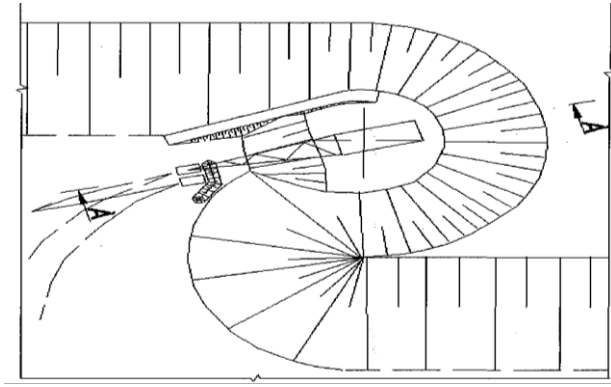


Рисунок 1 – Схема отвалообразования при контейнерной технологии с послойной укладкой породы

В качестве подъемной машины на отвале предлагается использовать драглайн, снабженный грузозахватным устройством вместо ковша [11]. Параметры отвала определяются рабочими параметрами драглайна и свойствами породы. Для конкретных линейных параметров подъемной машины, контейнера, условий безопасности и свойств складированной породы представляет интерес оптимизация угла наклона стрелы драглайна [12].

Схемы к определению нижнего и верхнего предотвала приводятся на рисунке 2.

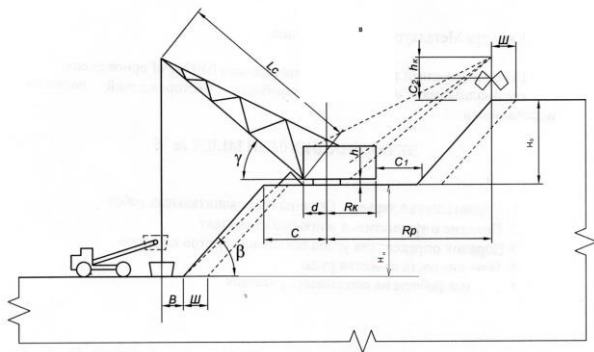


Рисунок 2 – Схема к определению высоты подступа

Радиус разгрузки драглайна R_p , м, определяется по формуле [13]:

$$R_p = L_c \cos(\gamma) + d, \quad (1)$$

где L_c – длина стрелы драглайна, м;

γ – угол наклона стрелы драглайна, град.;

d – расстояние от оси вращения драглайна до пяты его стрелы, м.

Высота предотвала $H_{пред}$, м, определяется по формуле:

$$H_{пред} = (R_p - B - Ш - C) \operatorname{tg}(\beta), \quad (2)$$

где B – расстояние от оси контейнера до нижней бровки предотвала, м;

$Ш$ – шаг передвижки подъемной машины, м;

C – безопасное расстояние от оси вращения драглайна до верхней бровки предотвала, м;

β – угол откоса отвала, град.

Высота верхнего навала $H_{вн}$, м, по условию безопасности вращения драглайна определяется по формуле:

$$H_{вн} = (R_p - Ш - C_1 - R_k) \operatorname{tg}(\beta), \quad (3)$$

где C_1 – расстояние безопасности между кузовом драглайна и откосом навала, м;

R_k – радиус вращения кузова драглайна, м.

Высота верхнего навала $H_{нр}$, м, по условию разгрузки контейнера определяется по формуле:

$$H_{нр} = L_c \sin(\beta) + h - h_k - C_2, \quad (4)$$

где h – высота оси пяты стрелы над уровнем земли, м;

h_k – высота контейнера в положении разгрузки, м;

C_2 – безопасное расстояние между контейнером и отвалом при разгрузке, м.

Высота верхнего навала (по условию минимума) определяется по формуле:

$$H_n = H_{вн} \text{ если } (H_{пред} < H_{нр}; H_{нр}), \quad (5)$$

Высота отвального яруса определяется по формуле:

$$H_{я} = H_{пред} + H_n \quad (6)$$

Ширина отвальной заходки $Ш_3$, м, определяется по формуле:

$$Ш_3 = 2 R_p \quad (7)$$

Приемная способность отвальной заходки $П_c$, тыс.м³, между передвижками подъемной машины определяется по формуле:

$$П_c = Ш_3 H_{я} Ш / 1000 \quad (8)$$

Для конкретных линейных параметров подъемной машины, контейнера, условий безопасности и свойств складываемой породы представляет интерес оптимизация угла наклона стрелы драглайна. Например, расчетом по вышеприведенным формулам при складировании породы с углом откоса 45° , драглайном ЭШ-13/50 с длиной стрелы 50 м получены зависимости высоты отвального яруса (в соответствии с рисунком 3), а также ширины и приемной способности отвальной заходки от угла наклона стрелы драглайна (в соответствии с рисунком 4).

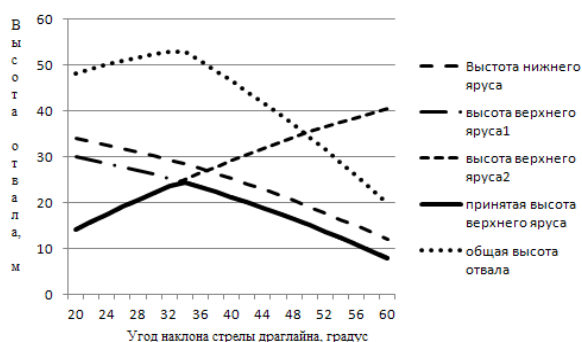


Рисунок 3 – Зависимость высоты предотвала, верхнего навала и отвального яруса от угла наклона стрелы драглайна

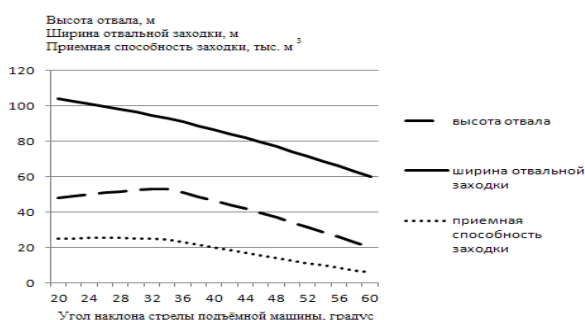


Рисунок 4 – Зависимость ширины заходки, высоты отвала и приемной способности отвальной заходки между передвижками драглайна от угла наклона стрелы

Анализ диаграмм показывает, что максимальная высота яруса (53 м) достигается с углом наклона стрелы драглайна 32° . Эта высота немного меньше, чем с паспортным углом наклона стрелы в 35° , для которого установлено усилие на подъемном канате драглайна 80 т. Снижение угла наклона стрелы драглайна потребует согласования с заводом-изготовителем и определения предельно допустимого усилия на подъемном канате с целью расчета возможной грузоподъемности контейнеров для породы. Ширина заходки при этом составляет 94 м, что в три раза больше, чем при железнодорожном транспорте и экскаваторном отвалообразовании.

Результаты и их обсуждение.

Преимуществом контейнерной технологии на отвале является возможность снижения средней высоты подъема породы. Для этого породу укладывают горизонтальными слоями в пределах шага перемещения подъемной машины. По мере отсыпки породы между передвижками подъемной машины высота подъема породы постепенно повышается до максимальной, равной высоте отвального яруса. Таким образом, средневзвешенная высота подъема породы равна половине высоты отвального яруса. После заполнения части отвальной заходки с одной точки установки подъемной машины, ее перемещают по предотвалу и повторяют заполнение отвальной заходки в пределах шага передвижки горизонтальными слоями снизу вверх.

Производительность подъемной машины на отвале $Q_{\text{год}}$, $\text{м}^3/\text{год}$, определится в зависимости от времени ее рабочего цикла $T_{\text{ц}}$ [14]:

$$Q_{\text{год}} = 3600 \cdot T_{\text{к}} \cdot K_{\text{ио}} \cdot V_{\text{конт}} \cdot K_{\text{гп}} / T_{\text{ц}}, \quad (9)$$

где $T_{\text{к}}$ – календарный годовой фонд времени, $T_{\text{к}} = 7300$ час;

$K_{\text{ио}}$ – коэффициент использования оборудования на основной работе, $K_{\text{ио}} = 0,75$;

$V_{\text{конт}}$ – объем контейнера, $V_{\text{конт}} = 24,8 \text{ м}^3$;

$K_{\text{гп}}$ – коэффициент использования емкости, $K_{\text{гп}} = 0,95$.

Паспортное время рабочего цикла драглайна составляет 52–55 с. С учетом времени на захват и отцепление контейнера (по 15–30 с.) время цикла подъемной машины увеличится до 90–120 с. Техническая производительность подъемной машины при указанных параметрах составит 4,2 млн. $\text{м}^3/\text{год}$.

Наиболее ответственным элементом технологии отвалообразования являются контейнер и грузозахватное устройство. В результате работы был спроектирован контейнер, который представляет собой сварную конструкцию коробчатого сечения. Внешний вид спроектированного контейнера представлен на рисунке 5.

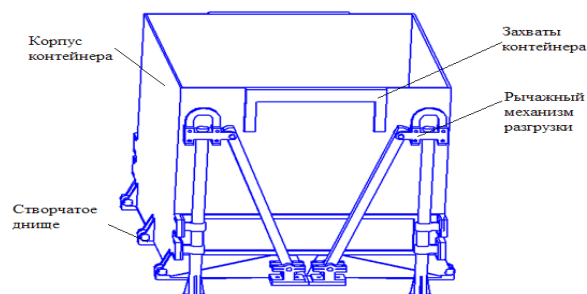


Рисунок 5 - Схема контейнера

Днище контейнера выполняется створчатым. Управление его открытием механическое – за счёт системы рычагов. Крепление днища производится на трех кронштейнах.

При загрузке контейнер устанавливается на земле на четырех стойках, при этом они поднимаются вверх и перемещают рычаг, который через кронштейн удерживает днище закрытым. Подъём контейнера осуществляется за боковые упоры, расположенные на боковых стенках. При разгрузке по команде машиниста подъёмной машины упоры захвата выходят из проушин контейнера, и порода высыпается из него за счёт силы собственного веса.

Средер для захвата и разгрузки контейнера состоит из опорной балки, которая оснащена прямоугольными захватами (рисунок 6).

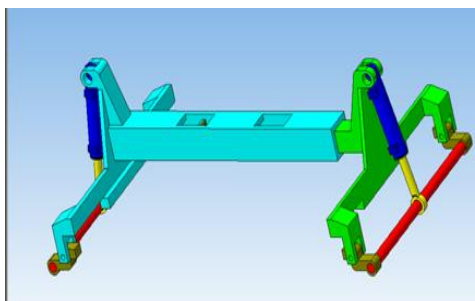


Рисунок 6 – Захватное устройство контейнеров

Балка может расширяться, при этом одна сторона с помощью гидроцилиндра передвигается для зажима контейнера. На балке установлены два кронштейна, к которым прикрепляются канаты подъёмной машины. Для разгрузки контейнера предусматривается специальная балка, которая может проворачиваться в кронштейнах управления балки от гидроцилиндров. Все прочностные расчеты оборудования были проведены с учетом требований методами компьютерного моделирования [15].

Выводы. Применение контейнерной технологии при отвалообразовании шагающими экскаваторами показывает, что при выгрузке породы из контейнеров в отвал снижается энергоёмкость отвалообразования и повышается экономически выгодная высота отвала. Это позволит сократить площади, занятые отвалами и смягчить вредное воздействие горных работ на окружающую среду.

Контейнерная технология при отвалообразовании с помощью подъёмной машины позволяет в несколько раз увеличить размеры отвального яруса, разместить транспортные коммуникации (автодорогу) на дневной поверхности и вдвое снизить высоту подъема породы по сравнению с традиционными технологиями при автомобильном, железнодорожном и конвейерном транспорте.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Юдин А.В. Теория и технические решения транспортно-перегрузочных систем в карьерах. Научная монография. – Екатеринбург: УГГУ, 2011. – 507 с.
- 2 Шешко Е.Е. Горнотранспортные машины и оборудование для открытых горных работ. – М.: МГТУ, 2006. – 405 с.
- 3 Журавлев А.Г., Тарасов П.И., Яковлев В.Л. Новые специализированные виды транспорта для горных работ. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 375 с.
- 4 Чёбан А.Ю. Способ и оборудование для открытой разработки маломасштабных крутопадающих месторождений // Вестник Магнитогорского гос.технич.универ.Им. Г.И. Носова. – 2017. – Т.15. № 3. – С. 18–23. DOI: 10.18503/19952732-2017-15-3-18-23.
- 5 Fisher A. Special equipment for quarry operations. // Zement-Kalk-Gips Int. – 2014. –V. 67, N 10, – P. 12.
- 6 Трубецкой К.Н., Корнилков С.В., Яковлев В.Л. О новых подходах к обеспечению устойчивого развития горного производства // Горный журнал. – 2012. –№ 1. – С. 1519.
- 7 Oparin V.N., Sekisov A.G., Trubachev A.I., Smolyanitsky B.N., Salikhov V.S., Zykov N.V. Promising Mining Technologies for Gold Placers in Transbaikalia. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2017. - N. 3. – P. 70–78. DOI: 10.1134/S1062739117032415.
- 8 Uno K., Imaie K., Maekawa K., Smith G., Suyama A., Hatori J. Development of mining machinery and future outlook for electrification // Hitachi Review. – 2013. – V. 62, N 2. – P. 99–106.
- 9 Vuyeykova O., Śladkowski A., Stolpovskikh I., Akhmetov M. Rationalization of road transport park for the carriage of mining rocks in the open mines // Transport Problems. – 2016. – V. 11, N 1 – P. 79–85. DOI: 10.20858/tp.2016.11.1.8
- 10 Chanda E.K., Gardiner S.A. Comparative study of truck cycle time prediction methods in open pit mining. // Engineering, Construction and Architectural Management. – 2010. – V. 17. N 5. – P. 446–460.
- 11 Битимбаев М.Ж., Жунусов Т.Т., Маулямбаев Т.И., Кузьмин С.Л. Проектирование оборудования для контейнерной технологии доставки породы на открытых горных работах. // Комплексное использование минерального сырья. – 2012– № 2 – С. 3–7.
- 12 Битимбаев М.Ж., Кузьмин С.Л., Маулямбаев Т.И., Осадчий В.И., Орынгожин Е.С. Применение контейнерной технологии для открытых горных работ. Монография. – Алматы: Aleshan, 2015. – 96 с.
- 13 Ржевский В.В. Открытые горные работы. Технология и комплексная механизация. – М.: Либроком, 2014. –552 с.
- 14 Справочник. Открытые горные работы / Под ред. К.Н. Трубецкой. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.
- 15 Солод В.И., Гетопанов В.Н., Рачек В.М. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. – М.: Недра, 1982. – 350 с.

REFERENCES

- 1 Yudin A.V. *Teoriya i tekhnicheskie resheniya transportno-peregruzochnykh sistem v kar'erakh. Nauchnaya monografiya.* (Theory and technical solutions of transport and cargo handling systems in quarries. Scientific monograph). Ekaterinburg: USMU, **2011**, 507. (in Russ.)
- 2 Shesko E.E. *Gorno transportnye mashiny i oborudovanie dlya otkrytykh gornykh rabot.* (Mining transportation machines and equipment for open pit mining). Moscow: MSMU. **2006**. 405. (in Russ.)
- 3 Zhuravlev A.G, Tarasov P.I., Yakovlev V.L. *Novye spetsializirovannye vidy transporta dlya gornykh rabot* (New specialized types of transport for mining works) Ekaterinburg: Ural Branch of Russian Academy of Sciences. **2011**. 375. (in Russ.)

- 4 Cheban A.Yu. *Sposob i oborudovanie dlya otkrytoj razrabotki malomashtabnykh krutopadayushchikh mestorogdenii* (Method and equipment for opencast mining of small steeply dipping deposits). *Vestnik Magnitogorsk Gos. Tekhn. Univ.im. G.I. Nosova = Herald of Nosov's Magnitogorsk State Tech. Univ.* **2017.** 15. 3. 18–23. DOI: 10.18503/1995-2732-2017-15-3-18-23. (in Russ.)
- 5 Fisher A. Special equipment for quarry operations. *Zement-Kalk-Gips Int.* **2014.** 67. 10. 12. (in Eng.)
- 6 Trubetsky K.N., Kornilov S.V., Yakovlev V.L. *O novykh podkhodakh k obespecheniyu ustojchivogo razvitiya gornogo proizvodstva* (On new strategies of ensuring sustainable development of mining operations). *Gornyj zhurnal = Mining Journal.* **2012.** 1. 15–19. (in Russ.)
- 7 Oparin V.N., Sekisov A.G., Trubachev A.I., Smolyanitsky B.N., Salikhov V.S., Zikov N.V. Promising Mining Technologies for Gold Placers in Transbaikalia. *Fiziko-Tekhnicheskie Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopaemykh = Physical and Technical Problems of Ore Deposits Development.* **2017.** 3. 70–78. DOI: 10.1134/S1062739117032415. (in Eng.)
- 8 Uno K., Imaie K., Maekawa K., Smith G., Suyama A., Hatori J. Development of mining machinery and future outlook for electrification. *Hitachi Review.* **2013.** 62. 2. 99–106. (in Eng.)
- 9 Vuyeykova O., Sladkowski A., Stolpovskikh I., Akhmetov M. Rationalization of road transport park for the carriage of mining rocks in the open mines. *Transport Problems.* **2016.** 11. 1. 79–85. DOI: 10.20858/tp.2016.11.1.8 (in Eng.)
- 10 Chanda E.K., Gardiner S.A. Comparative study of truck cycle time prediction methods in open pit mining. *Engineering, Construction and Architectural Management.* **2010.** 17. 5. 446–460. (in Eng.)
- 11 Bitimbayev M.Z., Zhunusov T.T., Maulyanbaev T.I., Kuzmin S.L. *Proektirovanie oborudovaniya dlya kontejnernoj tekhnologii dostavki porody na otkrytykh gornykh rabotakh.* (Designing equipment for container technology for rock delivery in open pit mining) *Kompleksnoe ispol'zovanie mineralnogo syr'ya = Complex use of mineral resources.* **2012.** 2. 3–7. (in Russ.)
- 12 Bitimbayev M.Z., Kuzmin S.L., Maulyanbaev T.I., Osadchy V.I., Oryngozhin E.S. *Primenenie kontejnernoj tekhnologii dlya otrytykh gornykh robot. Monografiya.* (The use of container technology for open pit mining. Monograph). Almaty: Aleshan, **2015.** 96. (in Russ.)
- 13 Rzhetskij V.V. *Otkrytye gornye raboty. Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya.* (Open pit mining. Technology and complex mechanization). Moscow: Librokom. **2014.** 552. (in Russ.)
- 14 Trybeckaya M. *Spravochnik. Otkrytye gornye raboty.* (Directory. Open pit mining). Moscow: Mining bureau. **1994.** 590. (in Russ.)
- 15 Solod V.I., Getopanov V.N., Rachek V.M. *Proektirovanie i konstruirovaniye gornykh mashin i kompleksov.* (Projecting and constructing of mining machines and complexes). Moscow: Subsoil. **1982.** 350. (in Russ.)

ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада карьер үйінділеуінде тасымалдау технологияларын жетілдіру қарастырылған. Қарастырылған әдістемеді орындалған сараптама-ашық тау-кен жұмыстарында үйінділеу жаңа жер қойнауын игеру мен экологиялық қауіпсіздік технологиясын өндіруде қажеттілігін көрсетеді. Ашық тау-кен жұмыстарында соңғы онжылдықта жинақталған қарама қайшылықтар саудалық экономика және экологиялық дағдарыс жағдайына әкеліп соқты. Технологиялық коммуникациясының үйінділеуінде тау-кен массасын құрылысыз контейнерлерде тасымалдау ұсынылады. Карьерде тау-кен массасын тасымалдаудың контейнерлік технологиялық элементтерімен байланыстырылған арнайы мобильдік көтергіш машина түрі ретіндегі көтергіш болып табылады. Контейнерлік технология энергия ресурсының экономикасы және сапалы жаңа дейгейде қоршаған ортаны қорғау бойынша ашық тау-кен жұмыстарының көрсеткіштерін арттыруға мүмкіндік береді. Өнеркәсіптің басқа салаларында оны дамытуда ашық тау-кен жұмыстарында энергия шығынының үлесін төмендетуге, экологиялық қауіпсіздік пен еңбек өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Қоршаған ортаға электрэнергиясының шығынын төмендету және ашық тау-кен жұмыстарының бұзу әрекеттері тау-кен массасын барлық кезеңдерде тасымалдаудың оңтайлы түрлері есебінен, сонымен қатар тау-кен массасын қосымша экскавациялаусыз жоғарғы өнімділікпен жүктеу операциясын орындау есебінен іске асырылады; үйінділеу кезінде өнімділік жұмысы артады және сыртқы үйінділеудің ауданы қысқарады. Контейнерлік технологиялардың экономикалық көрсеткіштерінің шамалық бағасы тау-кен массасын үйінділеуді іске асыру әдістері алдында экономикалық артықшылығын көрсетеді. Өндірілген жабдықтар басқа қарапайым құрылғылардан қарағандағы ерекшелігі оны тау-кен өндірістерінде дайындауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: көтергіш машина, өнімділік, тиімділік, контейнер, ұстағыш, тау-кен жұмысы, карьер үйінділері

ABSTRACT

The paper covers the questions of perfection of technologies for transportation of rock mass on quarries' dumps. The completed analysis of existing ways of refuse disposal at open pit mining indicates the barest necessity of the development of a new resource- and environment-saving technology. The contradictions in the technologies of open pit mining accumulated over the last decades are especially aggravated in the conditions of transition to a market economy and the imminent ecological crisis. Transportation of the rock mass in containers without construction of technological communications on quarries offered. The basic element of the container technology for rock mass transportation in the quarry is elevator in the form of a special mobile lifting machine. Container technology makes it possible to increase the characteristics of open pit mining operations by save of energy resources and environment preserve at a qualitatively new level. Taking into account experience of its development in other industries allows decrease specific power consumption, improving environmental safety and productivity at open pit mining. Reducing the power consumption and the destructive effect of open pit mining on environment takes place due to using optimal mode of transportation at all stages of rock mass haulage, as well as due to the performance of transshipment operations with high productivity without additional excavation of the rock mass. Hereupon, the productivity of works at refuse disposal increases and external dump's areas lower. A preliminary assessment of the economic indicators of container technology shows its economic advantages over the existing rock mass refuse disposal methods. The simple design characterizes the developed equipment, which makes it possible to manufacture it at a mining enterprise.

Keywords: lifting machine, productivity, efficiency, container, gripper, mining, quarries

Поступила 12.03.2018.