

# РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.1: 622.271.3

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-2-5-10>

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОНТЕЙНЕРОВОЗА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ В КАРЬЕРАХ ПРИ КОНТЕЙНЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Битимбаев М.Ж.<sup>1</sup>, Кузьмин С.Л.<sup>2</sup>, Тюрбит А.Н.<sup>2</sup><sup>1</sup> Национальная инженерная академия Республики Казахстан, Алматы, Казахстан<sup>2</sup> Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

### Аннотация

Комплексный анализ системы механизации и технологии существующих крупных карьеров показывает, что в них накапливается ряд противоречий, требующих новых решений. При понижении горных работ неуклонно растет длина автомобильной откатки и, соответственно, требуются автосамосвалы большей грузоподъемности. Увеличение грузоподъемности автосамосвалов нарушает оптимальное соотношение емкости ковша забойного экскаватора и емкости кузова и создает множество других сложностей. Обеспечение грузотранспортной связи с нижними горизонтами становится остройшей проблемой глубоких карьеров. Проблема подъема горной массы с глубоких горизонтов с малой затратой энергии, минимальным загрязнением атмосферы карьера и отсутствием в рабочей зоне карьера стационарных и полустационарных сооружений и транспортных коммуникаций в настоящее время не имеет окончательного решения. Экологические проблемы, возникающие при использовании автомобильного транспорта на нижних горизонтах глубоких карьеров, в ряде случаев вынуждают переходить на подземную разработку раньше, чем достигнута экономически выгодная глубина открытых горных работ. В связи с этим повышается актуальность создания новой энергозэкономичной, экологичной и гибкой технологии открытых горных работ, обеспечивающей минимальный объем экскавационных работ, наименьшую энергоемкость подъема горной массы из карьера на дневную поверхность и на отвал, минимальное загрязнение атмосферы карьера, отсутствие в рабочей зоне карьера стационарных (полустационарных) сооружений и транспортных коммуникаций. Для транспортирования породы при контейнерной технологии в карьере предлагается конструкция машины для доставки контейнеров от забойных экскаваторов до перегрузочного пункта. Эффективность использования контейнеровоза заключается в снижении экономических потерь от простоев транспортных средств под погрузкой и в повышении экономически выгодной производительности экскаватора. Конструкция рамы разработанной машины шарнирно-сочлененная, что обеспечивает её хорошую маневренность.

**Ключевые слова:** контейнер, захват, расстояние транспортирования, тягач, рама, прочность, гидравлическая система.

### Введение

Доработка глубоких карьеров является наиболее сложным вопросом в технологии существующих карьеров. Она показывает, что в них накапливается ряд противоречий, требующих новых нетривиальных решений. При понижении горных работ растет длина автомобильной откатки и, соответственно, требуются автосамосвалы большей грузоподъемности. Увеличение же грузоподъемности автосамосвалов нарушает оптимальное соотношение емкости

ковша забойного экскаватора и емкости кузова. Для снижения простоев дорогостоящих автосамосвалов необходимо увеличивать емкость ковша и типоразмер экскаватора. Увеличенные габариты автосамосвалов требуют расширения автодорог, площадок для маневрирования и т.п., что значительно сокращает объемы извлекаемой руды [1]. Этому же способствует увеличение числа внутрикарьерных перегрузочных складов, применяемых при комбинированном транспорте.

В глубоких карьерах с комбинированным автомобильно-железнодорожным транспортом с ростом глубины карьера постепенно замедляется темп понижения железнодорожных

коммуникаций и перегрузочных складов из-за сужения рабочего пространства, отставания опережающих вскрышных работ для формирования участков постоянного борта карьера. Такие участки борта необходимы для размещения на них стационарных железнодорожных коммуникаций. Отставание вскрышных работ в зоне работы железнодорожного транспорта происходит из-за меньшей возможной интенсивности ведения горных работ, обусловленной большей длиной рабочего фронта на один экскаватор при железнодорожном транспорте. Различная скорость понижения горных работ при автомобильном и железнодорожном транспорте и способствует возникновению нарастающего отрыва автомобильных забоев нижней зоны карьера от перегрузочных складов, расположенных на нижней границе зоны работы железнодорожного транспорта [2].

Работа забойного экскаватора на открытых горных работах при автомобильном транспорте отличается снижением его производительности при обмене или ожидании транспортного средства. При этом коэффициент обеспечения забоя порожняком достигает  $\eta_0 = 0,8-0,85$  [3].

### Основная часть

Для внедрения на открытых горных работах предлагается контейнерная технология транспортирования горной массы, которая позволит повысить показатели открытых горных работ по экономии энергоресурсов и сохранению окружающей среды на качественно новый уровень.

Снижение расхода энергии 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.

По основной технологической схеме карьерные подъемные машины устанавливаются на площадках борта карьера для подъема контейнеров с нижних уступов на верхние. На промежуточных площадках выполняют перечепку груженых и порожних контейнеров. После подъема на горизонты карьера, где работает железнодорожный транспорт, производится разгрузка контейнера непосредственно в думпкар [4].

Внедрение данной технологии делает работу в забое экскаватора равномерной и непрерывной. Дешевизна контейнеров позволяет находиться в зоне работы экскаватора 2–3 контейнерам (рис. 1), которые устанавливаются в

зоне работы забойного экскаватора. Обмен груженых контейнеров на порожние выполняют контейнеровозы, которые доставляют груженые контейнеры на контейнерную площадку, в зону работы ближайшей подъемной машины. Время заполнения контейнера горной массой не входит в рабочий цикл контейнеровоза. Поэтому происходит увеличение их производительности, так как сокращаются затраты времени, связанные с погрузкой транспортных сосудов. Доля затрат времени на простой при погрузке автотранспорта достигает 20–30% от времени рейса автосамосвала [5].

Например, в обычных условиях среднее время погрузки автосамосвала грузоподъемностью 120 т экскаватором ЭКГ-10 (6 ковшей) составляет 4–5 мин. Время рейса автосамосвала на расстояние 2 км – около 20 мин. Простой автосамосвала под погрузкой составляет 20–25% основного времени работы. Контейнеровоз вместо простоя под погрузку выполняет только замену груженого контейнера на порожний в течение примерно 1,5–2 мин и имеет рабочий цикл на 2–3 мин короче, чем автосамосвал, что позволит выполнить большее количество рейсов и обеспечит увеличение производительности на 10–15%.

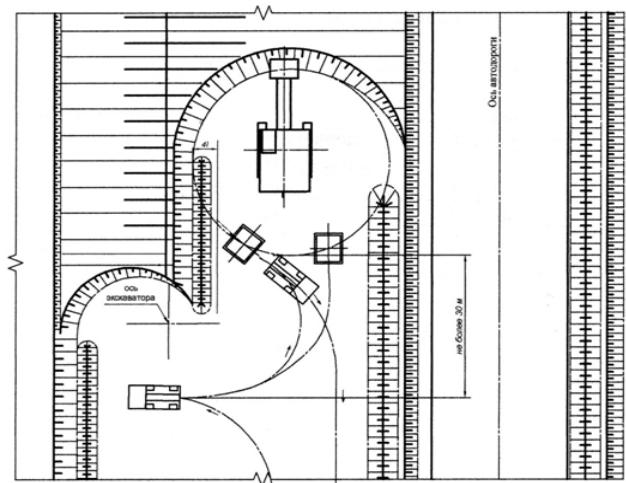


Рис. 1. Паспорт работы контейнеровоза

В экскаваторно-автомобильных комплексах оптимальное соотношение параметров и количества оборудования определяется с учетом экономического ущерба от их простоев при совместной работе [6]. Производительность экскаваторов в оптимизированном таким образом варианте может быть на 20% ниже максимально возможной [7]. При контейнерной технологии за счет меньшей стоимости контейнеровоза и отсутствия его простоев при погрузке экономиче-

ски выгодная производительность экскаватора будет примерно на 20% выше, чем в традиционном экскаваторно-автомобильном комплексе.

Использование сменных контейнеров и контейнеровозов делает возможной безостановочную работу экскаватора даже при обслуживании его одним контейнеровозом. Это возможно при небольшом расстоянии доставки и достаточно большой грузоподъемности контейнера, когда время заполнения контейнера горной массой равно времени рейса контейнеровоза. По традиционной технологии при обслуживании одним автосамосвалом простой экскаватора неизбежны.

Работа контейнеровоза в забое экскаватора осуществляется следующим образом. От перегружочного пункта пустой контейнер доставляется контейнеровозом в зону работы экскаватора. Контейнеровоз разворачивается и сдает задом, въезжая в зону радиуса разгрузки экскаватора. В зоне контейнеровоз опускает на землю пустой контейнер и, отъехав вперед, задом въезжает на груженый контейнер. Захваты машины производят подъем и удержание контейнера в процессе передвижения контейнеровоза, после чего машина следует к перегружочному пункту.

При погрузке породы экскаватором необходимо небольшое ожидание, пока контейнеровоз не выйдет из зоны работы экскаватора. В данный период машинист экскаватора может провести работы по зачистке подошвы забоя или по подбору навала разрушенной горной массы.

В результате проведения патентного поиска и изучения конструкции машин для перевозки контейнеров было выявлено, что ни одна из существующих конструкций не подходит для данной технологии. Причиной этого является несовершенство системы погрузки. Портальную систему погрузки с боковым захватом нежелательно применять, так как перемещение в нескольких плоскостях контейнера массой 90 т нежелательно. Для данной системы будет необходимым установка дополнительных противовесов, усиленных гидравлических опор. Это все, в свою очередь, увеличит габариты и массу контейнеровоза, что нежелательно в стесненных условиях работы. Контейнеровоз может потерять свою устойчивость и опрокинуться.

Самым оптимальным и удобным вариантом при проектировании погрузочно-доставочной машины является применение на ней П-образной рамы. Применение П-образной рамы позволяет придать конструкции дополнительную устойчивость при подъеме контейнера, так как нагрузка от контейнера будет распределяться на всю раму

контейнеровоза.

Данная конструкция наиболее удобна для перевозки крупнотоннажных контейнеров [8]. Контейнеровоз подъезжает к контейнеру задним ходом, производит захват контейнера в верхней части и поднимает до необходимой высоты. Подняв контейнер, в нижней части происходит подъем опорной площадки, на которую опускается контейнер. Площадка поднимается за счет гидроцилиндров и предназначена для установки (фиксации) контейнера на раме. Установив контейнер на площадке, можно начинать движение.

Для транспортирования проектируемой рамы необходимо подобрать тягач по мощности двигателя. В связи с применением П-образной рамы нежелательно использование задне- или полноприводной машины из-за значительного увеличения габаритов конструкции. Для этого наиболее целесообразно применение переднеприводного тягача.

Мощность двигателя машины

$$N_e = \frac{P_k \cdot V}{3600 \cdot \eta_{tr}}, \quad (1)$$

где  $P_k$  – сила тяги на ведущих колесах, потребная для преодоления сил сопротивления движению,  $H$ ;  $V$  – скорость движения,  $V=15 \text{ км/ч}$ ;  $\eta_{tr}$  – механическое КПД трансмиссии,  $\eta_{tr}=0,98$  [9].

Сила тяги

$$P_k = G_a \cdot f, \quad (2)$$

где  $G_a$  – полная сила веса транспортной системы,  $H$ ;  $f$  – коэффициент сопротивления движению,  $f=0,1$ , [9].

Полная сила веса транспортной системы

$$G_a = G + G_{tr} + Q, \quad (3)$$

где  $G$  – сила веса тягача,  $G=560906,37 \text{ Н}$ ;  $G_{tr}$  – сила веса полуприцепа,  $G_{tr} = 264283,7 \text{ Н}$ ;  $Q$  – сила веса полезного груза,  $Q=1053516 \text{ Н}$ .

$$G_a = 560906,37 + 264283,7 + 1053516 = 1878706,07 \text{ Н};$$

$$P_k = 1878706,07 \cdot 0,1 = 187870,607 \text{ Н};$$

$$N_e = \frac{187870,607 \cdot 15}{3600 \cdot 0,98} = 798,77 \text{ кВт.}$$

Прототипом при конструировании автоконтейнеровоза служил седельный тягач на базе БелАЗ-7420 грузоподъемностью 120 т. Мощность

двигателя данного БелАЗа 800 кВт, рабочее давление в гидравлической системе 17 МПа [10]. Соединение рамы с тягачом – шарнирно-сочлененное, что обеспечивает уменьшение радиуса разворота погрузочно-транспортирующей машины и её хорошую маневренность.

Грузозахватное устройство контейнеровоза (рис. 2) состоит из опорной балки, которая оснащена прямоугольными захватами. Балка может расширяться с помощью гидроцилиндров, при этом захваты передвигаются для зажима контейнера. Станция управления гидравликой располагается на опорной балке и включает в себя: двигатель, насосы и гидрораспределители.

Для подъема контейнера на прицепном

устройстве устанавливаются два вертикальных гидроцилиндра. На рис. 3 представлена гидравлическая схема контейнеровоза. Гидравлика состоит из трех основных частей: механизм сжатия захвата, механизм подъема контейнера, механизм удержания контейнера. Все три механизма работают отдельно друг от друга. Первоначально происходит захват контейнера, после чего срабатывают гидравлические замки, что не допускает обратного хода цилиндров, затем осуществляется подъем контейнера до необходимой высоты, и также в конце подъема срабатывают гидравлические замки. На конечном этапе происходит выдвижение площадок для фиксации контейнера.

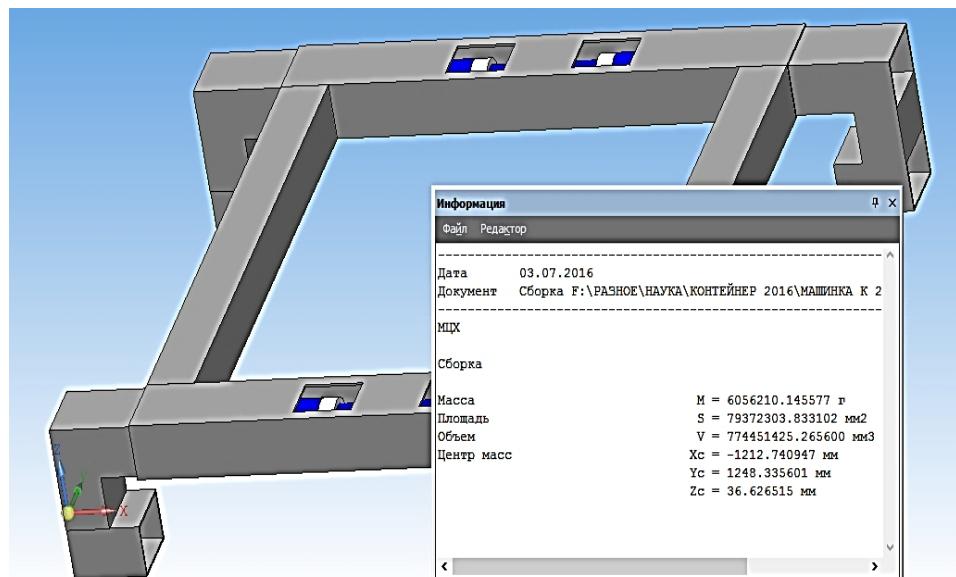


Рис. 2. Общий вид захвата машины

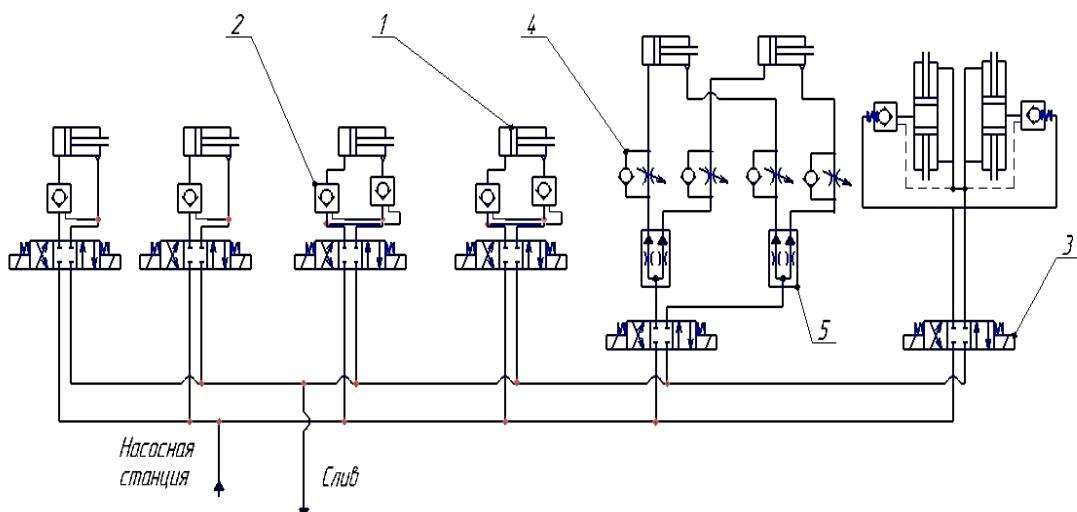


Рис. 3. Гидравлическая схема контейнеровоза: 1 – гидроцилиндр; 2 – гидрозамок; 3 – распределитель; 4 – обратный клапан, дроссель; 5 – делитель потока

Все металлоконструкции машины были проверены на работоспособность методами компьютерного моделирования. Рама изготавливается из стали марки 35 (ГОСТ 1050-88) стандартного профиля квадратной трубы ГОСТ 30245-2003 (300×300×12). Главные напряжения в модели приведены на **рис. 4**.

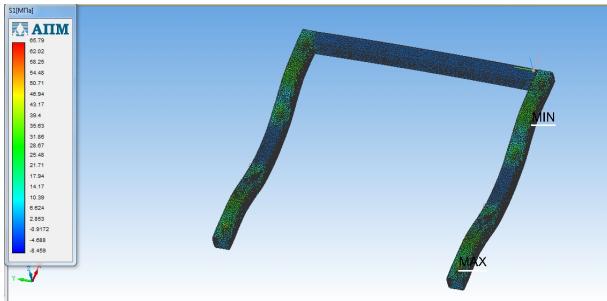


Рис. 4. Главные напряжения в модели рамы

В результате расчета рамы была получена модель, отвечающая нормативам. Коэффициент запаса по текучести составил 1,835; максимальная нагрузка, действующая на конструкцию, 9390 Н, что не превышает расчетную. Главное напряжение в модели 65,79 МПа, что не превышает допустимое напряжение материала.

Чертеж внешнего вида спроектированного контейнеровоза приведен на **рис. 5**.

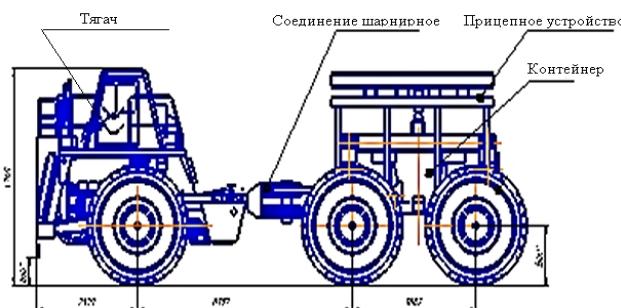


Рис. 5. Внешний вид контейнеровоза

### Заключение

По данной работе можно сделать следующие выводы:

1. Эффективность использования контейнеровоза в контейнерной технологии открытых

горных работ заключается в снижении экономических потерь от простоев транспортных средств под погрузкой и в повышении производительности экскаватора. В рабочий цикл контейнеровоза не входит простой под погрузкой в отличие от автосамосвалов и железнодорожных поездов.

2. Спроектированная машина будет производить доставку контейнеров от забоя экскаватора к перегрузочному узлу. Конструкция рамы контейнеровоза шарнирно-сочлененная, что дает хорошую маневренность машине. Рама машины обеспечивает захват, подъем и удержание контейнера при перевозке, все детали рамы рассчитаны с помощью САПР и отвечают требованиям проектирования.

### Список литературы

1. Обоснование возможности использования контейнерной технологии для глубоких карьеров / Битимбаев М.Ж., Кузьмин С.Л., Маулянбаев Т.И. и др. // Горный журнал Казахстана. 2016. №4. С. 17–22.
2. Гончаров С.А., Клюка О.Ф., Чурилов Н.Г. Стратегия энергосбережения при разработке железорудных месторождений // Изв. вузов. Горный журнал. 2003. № 6. С. 5–10.
3. Яковлев В.Л. Некоторые перспективные направления исследований в области карьерного транспорта // Материалы международной научно-технической конференции по карьерному транспорту. Екатеринбург, 2002. С. 15–20.
4. Применение контейнерной технологии для открытых горных работ: монография / Битимбаев М.Ж., Кузьмин С.Л., Маулянбаев Т.И., Осадчий В.И., Орынгожин Е.С. Алматы, 2015. 96 с.
5. Шешко Е.Е. Горнотранспортные машины и оборудование для открытых горных работ. М.: Изд-во МГГУ, 2006. 405 с.
6. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Технология и комплексная механизация. М.: Либроком, 2014. 552 с.
7. Резниченко С.С., Ашихмин А.А. Математические методы и моделирование в горной промышленности. М.: Изд-во МГГУ, 2001. 404 с.
8. Инновационный патент № 031377, Республика Казахстан, МПК E21C47/00. Контейнер для транспортирования породы на открытых горных работах / М.Ж. Битимбаев, С.Л. Кузьмин, А.Н. Тюрбит, А.А. Константинов; заявитель и патентообладатель РГП на ПХВ «Рудненский индустриальный институт». № 2015/0053.1; заяв. 15.01.2015; опубл. 29.07.2016.
9. Солод В.И., Гетопанов В.Н., Рачек В.М. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. М.: Недра, 1982. 350 с.
10. Справочник. Открытые горные работы / под ред. К.Н. Трубецкой. М.: Горное бюро, 1994. 590 с.

Поступила 26.08.16.  
Принята в печать 20.03.17.

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-2-5-10>

## JUSTIFYING THE DESIGN OF ARTICULATED DUMP TRUCKS FOR OPEN PIT APPLICATION WITH CONTAINER-TYPE TRANSPORTATION SYSTEM

Marat Zh. Bitimbayev – D.Sc. (Eng.), Professor, Academician

National Engineering Academy of The Republic of Kazakhstan. Almaty, Kazakhstan. E-mail: mbitimbayev@mail.ru

**Sergey L. Kuzmin** – Ph.D. (Eng.)

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan. Phone: +7 (71431) 9-85-87. E-mail: decan\_2008@mail.ru

**Andrey N. Tyurbit** – Assistant Professor

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan. Phone: +7 (71431) 7-82-86. E-mail: Tyurbit\_Andon@mail.ru

### **Abstract**

A comprehensive analysis of the equipment and processes currently utilized by major opencast mining sites shows a growing number of issues that require novel solutions. As the mining works progress, it leads to longer haulage routes, which consequently requires a greater hauling capacity. Increased mine dump truck capacity can affect the ratio between shovel bucket capacity and truck capacity creating a lot of other issues. Being able to haul ore from the depth becomes the biggest issue in deep mining. At this time the problem of lifting rock from bottom lifts with a good energy efficiency, minimum air pollution and the lack of stationary or semi-stationary structures or transport infrastructure in the pit area has not been resolved. In some cases due to environmental issues caused by automobile transport running deep in the pit the mine operator is forced to launch underground operations even before the pit has reached its cost-effective depth. This is what makes it more and more important to come up with a new open pit mining technology that would offer energy efficiency, environmental sustainability and flexibility, require minimum excavation and cause minimum air pollution, ensure maximum energy efficiency of the rock hoisting and require no stationary (or semi-stationary) structures or transport infrastructure in the pit area. For container-type transportation systems used in open pit mining, a machine is proposed that is designed to carry containers from shovels to a transfer point. The benefits of using such machinery include reduced cost of downtime and increased efficiency of shovels. The proposed machine has an articulated frame design ensuring an excellent maneuverability.

**Keywords:** Container, capture, transport distance, tow truck, frame, durability, hydraulic system.

### **References**

1. Bitimbaev M.Zh., Kuzmin S.L., Maulyanbaev T.I. et al. Rationale for the possibility of using container technology for deep pits. *Gornyi zhurnal Kazakhstana* [Mining magazine of Kazakhstan], 2016, no. 4, pp. 17–22. (In Russ.).
2. Goncharov S.A, Klyuka O.F, Churilov N.G. Energy conservation strategy in iron ore mining. *Izvestiya vuzov. Gorniy zhurnal* [Proceedings of Russian Universities. Mining Journal], 2003, no. 6, pp. 5–10. (In Russ.).
3. Yakovlev V.L. *Materialy mezdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii po kar'ernomu transportu* [Proceedings of the international scientific conference on transportation systems used in open pit mining]. Yekaterinburg, 2002, pp. 15–20. (In Russ.).
4. Bitimbaev M.Zh., Kuzmin S.L., Osadchy V.I., Oryngozhin E.S. *Primenenie konteynernoy tekhnologii dlya otkrytykh gornykh rabot: monografiya* [The use of container-type transportation system in open pit mining: monograph]. Almaty, 2015, 96 p. (In Russ.).
5. Sheshko E.E. *Gornotransportnye mashiny i oborudovanie dlya otkrytykh gornykh rabot* [Transportation systems and equipment used for open pit mining]. Moscow: Publishing House of Moscow State Mining University, 2006, 405 p. (In Russ.).
6. Rzhevsky V.V. *Otkrytye gornye raboty. Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya* [Open pit mining. Technology and overall mechanism]. Moscow: LIBROKOM Publishing House, 2014, 552 p. (In Russ.).
7. Reznichenko S.S., Ashikhmin A.A. *Matematicheskie metody i modelirovaniye v gornoy promyshlennosti* [Mathematical methods and modelling in mining]. Moscow: Publishing House of Moscow State Mining University, 2001, 404 p. (In Russ.).
8. Bitimbaev M.Zh., Kuzmin S.L., Tyurbit A.N., Konstantinov A.A. *Konteyner dlya transportirovaniya porody na otkrytykh gornykh rabotakh* [Container-type transportation system in open pit mining]. Patent KZ, no. 031377, 2016.
9. Solod V.I., Getopanov V.N., Rachev V.M. *Proektirovaniye i konstruirovaniye gornykh mashin i kompleksov* [Designing and engineering of mining machines and plants]. Moscow: Nedra, 1982, 350 p. (In Russ.).
10. Trubetskaya K.N. *Spravochnik. Otkrytye gornye raboti* [Reference book. Surface mining]. Moscow: Gornoe Byuro, 1994, 590 p. (In Russ.).

Received 28/03/16

Accepted 20/03/17

---

### **Образец для цитирования**

Битимбаев М.Ж., Кузьмин С.Л., Тюрбит А.Н. Обоснование конструкции контейнеровоза для транспортирования горной массы в карьерах при контейнерной технологии // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т.15. №2. С. 5–10. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-2-5-10>

### **For citation**

Bitimbaev M.Zh., Kuzmin S.L., Tyurbit A.N. Justifying the design of articulated dump trucks for open pit application with container-type transportation system. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2017, vol. 15, no. 2, pp. 5–10. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-2-5-10>

---