УДК 622.684:622.342 DOI: 10.21440/0536-1028-2025-3-34-43

Оценка эффективности применения дизель-троллейвозов в условиях карьера «Сухой Лог»

Иванов Д. А.[1]*, Косолапов А. И.[1], Малофеев Д. Е.[2]
[1] Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия
[2] ООО «Полюс Проект», г. Красноярск, Россия
e-mail: leksoo@bk.ru

Реферат

Введение. *В настоящее время наметилась устойчивая тенденция вовлечения в разработку крупных месторождений, представляющих собой обширные по глубине и в плане залежи с пониженным содержанием полезного компонента в руде. Для добычи минерального сырья обустраивают карьеры с применением автосамосвалов с большой грузоподъемностью (более 200 т), которые обеспечивают экономичную и безопасную работу карьеров, а также оказывают минимальное влияние на окружающую среду. Однако показанный принципиальный тренд повышения эффективности горных работ с транспортированием горной массы мощными автосамосвалами требует проведения исследования на предмет установления рациональных условий их применения.*

Методика проведения исследований. *В рамках исследования проведен анализ данных об использовании различных типов большегрузного автотранспорта на карьерах. На основе полученных сведений определен наиболее перспективный вид автотранспорта – дизель-троллейвоз. Учитывая специфику эксплуатации дизель-троллейвозов, с помощью информационного моделирования разработан цифровой двойник карьера в современной горно-геологической информационной системе (ГГИС) для планирования горных работ и расчета транспортной работы. Установлены зависимости скорости движения дизель-троллейвоза от контактной сети и от двигателя внутреннего сгорания в зависимости от удельного сопротивления движению. Проведена комплексная экологическая и технико-экономическая оценка эффективности применения дизель-троллейвозов на крупном месторождении.*

Результаты. *В результате проведенного исследования доказано, что наиболее эффективным способом выдачи горно-рудной массы на поверхность карьера с использованием автосамосвалов может служить дизель-троллейвозная откатка, оцененная в условиях карьера «Сухой Лог», характеризующегося преимущественно прямолинейными участками с капитальными съездами, значительной удаленностью от нефтеперерабатывающих предприятий и устойчивым снабжением электроэнергией. При этом себестоимость на технологическом процессе транспортирования при соблюдении перечисленных условий ожидаемо уменьшится на 30–36 %, а выбросы вредных веществ – на 50 %.*

Область применения. *Полученные результаты рекомендуется использовать в практике проектирования и эксплуатации карьерного автотранспорта большой грузоподъемности на крупных карьерах.*

Ключевые слова: *крупные золоторудные карьеры; карьерный автотранспорт; транспортная система; дизель-троллейвоз; вредные выбросы.*

Введение. Разработка крупных золоторудных месторождений, в том числе Сухой Лог, характеризуется высокими инвестициями и рисками [1]; значительными затратами на процесс транспортирования горной массы, которые достигают до 60 % общих затрат на добычу полезного ископаемого [2]; необходимостью применения мощных горнотранспортных комплексов, требующих особого подхода в обосновании технологии их применения [3]; воздействием на атмосферу, почву и водоемы, связанным с использованием тяжелой техники и оборудования [4].

Актуальность работы обоснована необходимостью решения перечисленных задач повышения эффективности открытой разработки крупных рудных месторождений, требующей применения мощных горнотранспортных комплексов.

Объект исследования – технологический процесс транспортирования горнорудной массы на крупных золоторудных карьерах.

Предмет исследования – карьерный автотранспорт большой единичной мощности.

Задачи исследования: выбрать и обосновать оптимальный тип автотранспорта; определить технологию, параметры и область применения автотранспорта большой единичной мощности; оценить экологическую и экономическую эффективность дизель-троллейвозной откатки.

Методология и методы исследования: анализ и обобщение информации применения различных типов автотранспорта на карьерах; информационное моделирование, создание цифрового двойника карьера в современной горно-геологической информационной системе (ГГИС) для планирования горных работ и расчета транспортной работы; экологическая оценка эффективности применяемого автотранспорта; статистическая обработка полученных результатов; экономико-математическое моделирование и технико-экономический анализ.

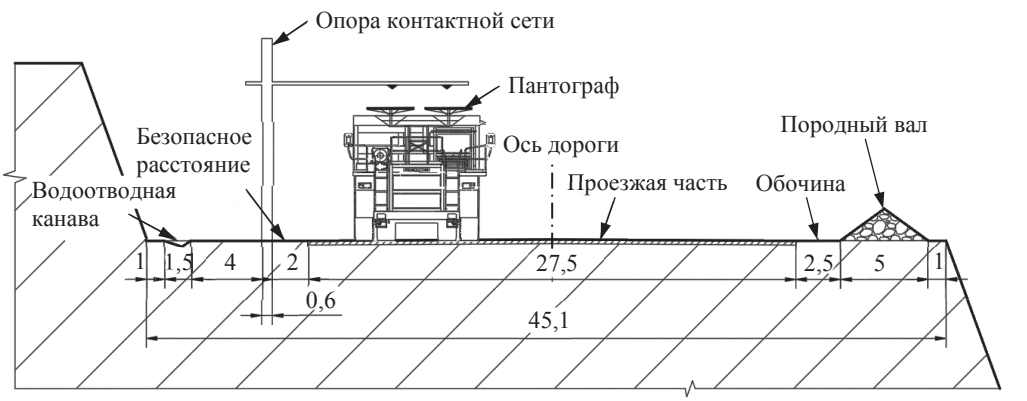

Рисунок 1. Конструкция транспортной бермы при использовании дизель-троллейвозов, м
Figure 1. Construction of a transport berm when using diesel trolley trucks, m

Месторождение Сухой Лог – одно из крупнейших неосвоенных месторождений в мире с запасами золота более 1000 т и ресурсами более 2000 т. В настоящее время ведется опытно-промышленная отработка запасов. Месторождение представляет собой масштабную залежь, выходящую местами на поверхность, залегающую под углом около 30°, простирающуюся до 4 км и погружающуюся на глубину до 500 м.

Оруденение характеризуется относительно простой морфологией при значительных размерах по падению и простиранию и устойчивом залегании. Истинная мощность рудной зоны колеблется от 2,57 до 85,14 м, составляя в среднем 39,1 м. Вмещающие породы и рудные тела весьма однородны по своему составу и представлены метаморфизованными сланцами и алевролитами. Объемный вес руды и вмещающих пород колеблется от 2,6 до 3,0 т/м^3, составляя в среднем 2,7 т/м^3. Естественная влажность не превышает 1,5 %. Коэффициент крепости пород по шкале проф. М. М. Протодьяконова находится в пределах от 3 до 15 при среднем значении 8. Породы характеризуются высокими прочностными свойствами и слабой размягчаемостью под действием воды.

Горные работы представлены карьером с углубочной продольной однобортовой транспортной системой разработки с вывозкой вскрышных пород во внешние отвалы автосамосвалами. Выемка, по проекту, организуется горизонтальными слоями с высотой уступа 15 м. Режим работы карьера непрерывный круглогодовой при непрерывной рабочей неделе и двух сменах в сутки.

Основные параметры и показатели карьера «Сухой Лог»

Площадь по поверхности, тыс. м^2	4 900
Длина карьера по поверхности, м	3 500
Ширина карьера по поверхности, м	1 800
Глубина карьера, м	550
Максимальная производственная мощность карьера по горной массе, млн м^3	80

В качестве основного выемочно-погрузочного оборудования планируется применять прямые механические лопаты с вместимостью ковша 35 м^3 и грузоподъемностью около 71 т. Экскаваторно-автосамосвальный комплекс в таких условиях требует применения транспортного средства грузоподъемностью не менее 220 т. При исследовании рассмотрены доступные карьерные самосвалы NHL NTE240 и БелАЗ 7530.

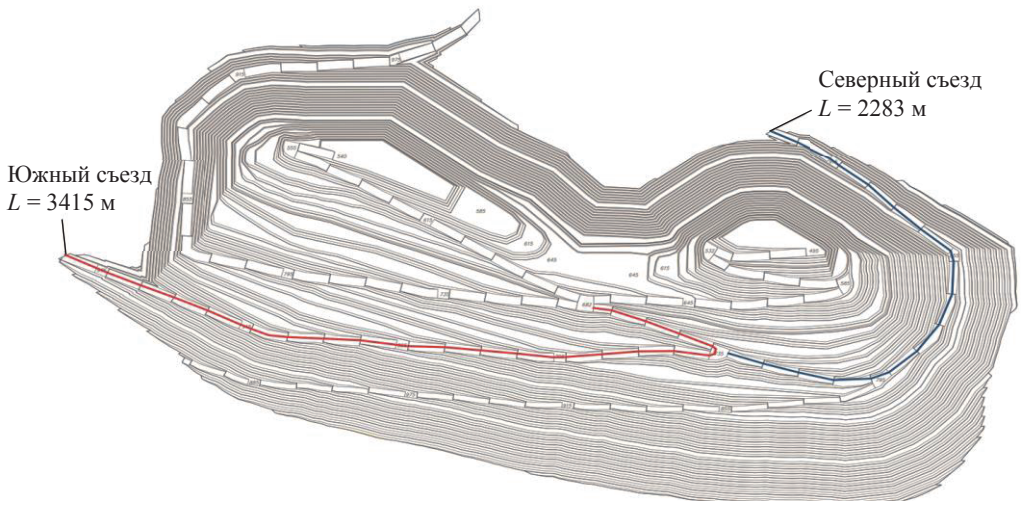

Рисунок 2. Конечный контур карьера «Сухой Лог» при использовании дизель-троллейвозов: L – длина контактной сети, м

Figure 2. The final contour of the Sukhoi Log open pit when using diesel trolley trucks, L is the length of the contact network, m

Особенностью проведенного исследования является оценка эффективности применения для транспортирования горнорудной массы дизель-троллейвозов в сравнении с автосамосвалами, использующими двигатели внутреннего сгорания (ДВС).

Дизель-троллейвозы при разработке месторождений полезных ископаемых применялись в 1960-х гг., но не получили широкого распространения [5]. В последнее время интерес к ним начал возрастать. Это связано с использованием автосамосвалов большой грузоподъемности [6], которые можно переоборудовать в дизель-троллейвозы. Причем затраты для модификации различных типоразмеров автосамосвалов практически одинаковы по абсолютной величине [7]. Это указывает на то, что незначительное увеличение выработки у большегрузных автосамо-

свалов приводит к значительному приросту производительности и снижению себестоимости на единицу горной массы на технологическом процессе транспортирования по сравнению с автосамосвалами меньшей грузоподъемности. Кроме того, применение дизель-троллейвозов позволяет снизить объем выбросов вредных веществ [8, 9]. Также возрастающий интерес к дизель-троллейвозам связан, главным образом, с резким ростом стоимости дизельного топлива и ухудшением горнотехнических условий, что приводит к поиску новых, более прогрессивных и экономичных видов транспорта [10–16].

Наиболее доступными производителями дизель-троллейвозов являются фирмы NHL (Китай) и БелАЗ (Белоруссия). В качестве основного автосамосвала принят БелАЗ 7530 и его троллейная модификация БелАЗ 7530Е грузоподъемностью в 220 т.

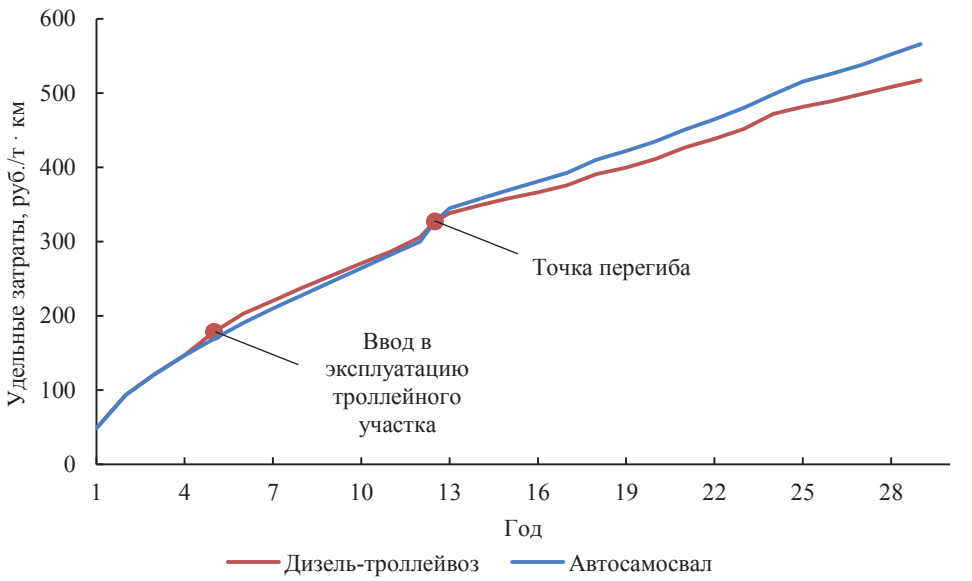

Рисунок 3. Удельные затраты на транспортирование накопленным итогом
Figure 3. Cumulative specific transportation costs

Инфраструктура троллейной системы включает подстанции, трансформаторы и троллейные линии, которые по мере необходимости удлиняются [1, 17].

Для принятого дизель-троллейвоза конструкция транспортной бермы, имеющей двухполосную дорогу с размещенной контактной сетью, показана на рис. 1, *а* контур карьера на рис. 2. За счет увеличения ширины транспортной бермы на 4,1 м прирост горной массы в карьере составит около 3,5 %.

В качестве основного экономического критерия оценки предлагается использовать удельные накопленные затраты для оцениваемого периода времени, руб./т · км: $З_д = (З_к + З_э)/Q$, где $З_к$ – капитальные затраты на приобретение необходимого количества дизель-троллейвозов, подстанций и контактных сетей, руб.; $З_э$ – эксплуатационные затраты на транспортирование при использовании дизель-троллейвозов, руб.; Q – транспортная работа, т · км.

Время разработки запасов карьера разделено на 5 этапов по 6 лет каждый. В течение каждого этапа строится новая или удлиняется уже существующая контактная сеть. Для складирования вскрышных пород формируют отвалы, подъезд к которым электрифицируют. Схема прокладки контактной сети в карьере представлена на рис. 2.

Для расчета транспортной работы установлены зависимости скорости движения дизель-троллейвоза по контактной сети и за счет ДВС от удельного сопротивления движению, на основе тягово-динамических характеристик [18]:

– движение по контактной сети

$$V_{\text{ДВ.КОН.}} = 0,0023P^4 - 0,0854P^3 + 1,3371P^2 - 12,4230P + 75,2520;$$

– движение от ДВС

$$V_{\text{ДВ.ДВС.}} = 0,0032P^4 - 0,0916P^3 + 0,9848P^2 - 5,7664P + 27,0000,$$

где P – общее удельное сопротивление движению, %.

Таблица 1. Технико-экономические показатели использования автосамосвалов и дизель-троллейвозов для транспортирования горной массы

Table 1. Technical and economic indicators for dump trucks and diesel trolley trucks used for rock haulage

Показатель	Автосамосвал с ДВС (В1)	Дизель-троллейвоз (В2)
Количество автосамосвалов, ед.	154	107
Количество подстанций, ед.	–	5
Длина контактной сети, км	–	6,7
Цена автосамосвала, млн руб.	216	216
Цена переоборудования в дизель-троллейвоз, млн руб.	–	45
Цена на дизельное топливо, тыс. руб./т	50	
Цена на электроэнергию за 1 кВт/ч, руб.	2,87	
Капитальный затраты		
Стоимость парка, млн руб.	33 264	27 927
Тяговые подстанции, млн руб.	–	633
Сооружение троллейных линий, млн руб.	–	301
Затраты на выполнение дополнительного объема горных работ, млн руб.	–	13 200
Итого, млн руб. В2 – В1 = 8 797 (26 %)	33 264	42 061
Эксплуатационные затраты		
Грузооборот, млн т · км	629	629
Электроэнергия, млн руб.	–	271
Дизельное топливо, млн руб.	8281	4 152
Расходные материалы, млн руб.	1 438	1 501
Зарплата водителей, млн руб.	339	238
Амортизация, млн руб.	2 787	2 190
Содержание троллейных линий и тяговых подстанций, млн руб.	–	27
Итого, млн руб. В2 – В1 = –4 466 (34 %)	12 846	8 380
Себестоимость перевозки, руб./т · км В2 – В1 = –7 (–35 %)	20	13

С помощью информационной модели, разработанной в ГГИС, были определены производительность транспортирования горной массы и инвентарный парк автосамосвалов и дизель-троллейвозов. В результате установлена временная динамика удельных затрат на транспортирование накопленным итогом, показанная на рис. 3. Показательные расчеты для 13-го года разработки месторождения представлены в табл. 1. Зависимость себестоимости транспортирования дизель-троллейвозами от степени электрификации трассы показана на рис. 4.

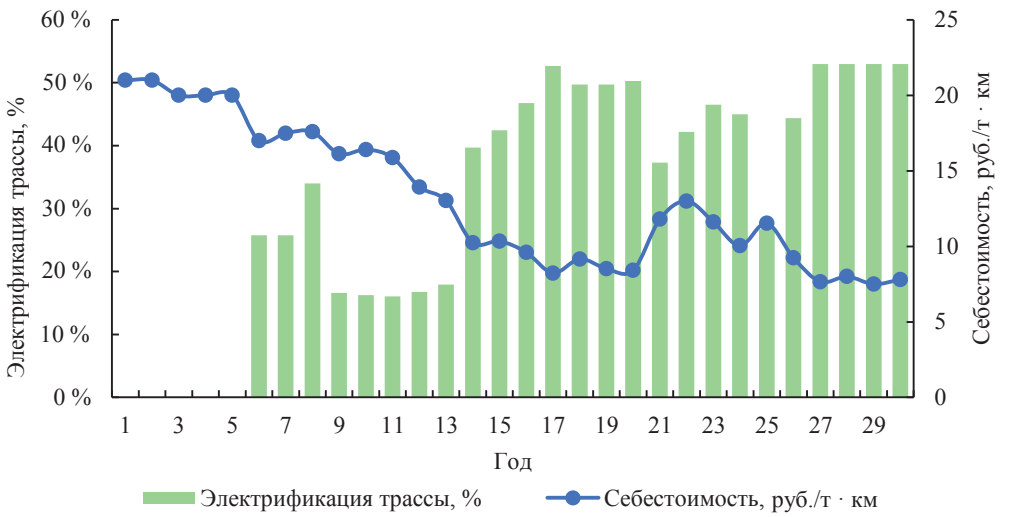

Рисунок 4. Влияние степени электрификации трассы на себестоимость транспортирования по годам разработки месторождения

Figure 4. The effect the degree of roadways electrification has on the transportation cost by years of deposit development

Капитальные затраты чувствительны к дополнительному объему горной массы, необходимому для обустройства более широких транспортных берм, и составляют около 18 % от общих затрат. При условии использования трехполосной транспортной бермы или при развитии горных работ по углубочной кольцевой системе разработки доля таких затрат кратно возрастает, а эффективность проекта падает.

Экономический эффект дизель-троллейвозной откатки проявляется с 8-го года эксплуатации троллейного участка. В конечном итоге сокращение удельных затрат при транспортировании горнорудной массы дизель-троллейвозами относительно автосамосвалов на 30-й год работы карьера составило 9,1 %.

Для оценки экологических последствий применения автосамосвалов с различным источником энергии выполнен расчет выбросов вредных веществ в атмосферу (*Методика расчета вредных выбросов (сбросов) и оценки экологического ущерба при эксплуатации различных видов карьерного транспорта. М.: Институт горного дела им. А. А. Скочинского, 1994 г. 52 с.*). Результаты представлены в табл. 2. Экологический эффект дизель-троллейвозной откатки выше, чем у карьерных автосамосвалов, работающих за счет двигателя внутреннего сгорания (ДВС) [14].

Результаты. Выполненное исследование доказывает перспективность и полученный экологический эффект от применения дизель-троллейвозного автотран-

спорта большой единичной мощности на крупных карьерах как одной из альтернатив автосамосвала, работающего на ДВС.

Проведена оценка возможности применения различного вида автотранспорта большой единичной мощности на крупных карьерах при транспортировании горнорудной массы. Установлена зависимость скорости движения дизель-троллейвозов от общего сопротивления движению. Проведена технико-экономическая оценка вариантов автосамосвалов с различными источниками энергии и доказана перспективность использования дизель-троллейвозной откатки в условиях крупных карьеров типа «Сухой Лог». Применение дизель-троллейвозов при разработке крупного рудного месторождения позволяет сократить расход дизельного топлива, выбросы газа и пыли в атмосферу и обеспечить повышение эффективности технологического процесса карьерного транспортирования горной массы.

Таблица 2. Показатели применения дизель-троллейвозов и автосамосвалов с ДВС
Table 2. Indicators for the use of diesel trolley trucks and dump trucks with internal combustion engines

Показатель	Автосамосвал с ДВС (В1)	Дизель-троллейвоз (В2)	В2 – В1	
			числовое	процентное
Горная масса, млн м^3	1 249	1 293	44	3 %
Средневзвешенная норма выработки на автосамосвал, тыс. т · км	11 170	14 450	3 271	23 %
Средневзвешенная норма выработки на 1 автотонну, тыс. т · км/т	51	65	14	23 %
Масса выброса вредных веществ, т	149	76	–73	–50 %
Расход топлива, тыс. т	2 368	1 081	1 286	–45 %
Выбросы диоксида серы, кг	2 382	1 097	1 284	–53 %
Общая масса образования пыли, тыс. т	331 018	318 421	12 597	–3 %

Выводы. Результаты работы позволяют рекомендовать условия для эффективного применения дизель-троллейвозов:

– разработка месторождения крупным карьером с перемещением горной массы автотранспортом;

– применение мощного горнотранспортного комплекса с большегрузными автосамосвалами;

– система разработки и способ вскрытия, обеспечивающие достаточную долю прямолинейных капитальных съездов для установки троллейной инфраструктуры;

– степень электрификации трассы в объеме не менее 30–40 % (в связи со спецификой горных работ);

– высокая доля транспортировки горной массы на подъем;

– срок эксплуатации участков горных работ без реконструкции контактной сети не менее 8 лет;

– транспортная система с преимущественно прямолинейными участками и минимальным количеством разворотов;

– качественное состояние покрытия автодорог;

– наличие устойчивого снабжения электроэнергией и значительная удаленность горнодобывающего предприятия от нефтеперерабатывающих заводов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дизель-троллейвозный транспорт на карьерах / В. Л. Яковлев [и др.]. Новосибирск: Наука, 1991. 104 с.

2. Галкин В. И., Шешко Е. Е. Проблемы совершенствования транспортных систем в горной промышленности России // ГИАБ. 2011. № S1. С. 485–507.

3. Яковлев В. Л. Транспорт глубоких карьеров. Состояние, проблемы, перспективы // Горное дело. 2013. № 1. С. 11–18.

4. Хазин М. Л., Тарасов А. П. Эколого-экономическая оценка карьерных троллейвозов // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2018. Т. 17. № 2. С. 166–180.

5. Черепанов В. А., Журавлев А. Г., Глебов И. А., Чендырев М. А. Обзор транспорта с электропитанием в фокусе развития горнодобывающих предприятий // Проблемы недропользования. 2019. № 1. С. 33–49.

6. Журавлев А. Г., Буднев А. Б. Влияние грузоподъемности автосамосвалов на себестоимость горных работ по мере углубки карьера // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 2. С. 20–31. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-2-20-31

7. Степуг О. Г., Зуенок А. С. Дизель-троллейвозный транспорт БелАЗ: перспективы использования в горном производстве // Горный журнал. 2013. № 1. С. 52–55.

8. Haiming Bao, Peter Knights, Mehmet Kizil, Micah Nehring. Electrification alternatives for open pit mine haulage // Mining. 2023. No. 3(1). P. 1–25.

9. Шешко О. Е. Сравнительная оценка природоемкости карьерных автосамосвалов и дизель-троллейвозов // ГИАБ. 2018. № 6. С. 119–125.

10. Тарасов П. И., Тарасов А. П., Ворошилов А. Г., Журавлев А. Г. Применение троллейвозного транспорта на открытых горных работах // Горное дело. Оборудование. Технологии: I Межрегион. специализир. выставка и науч.-техн. конф., 31 января–3 февраля 2006 г., г. Екатеринбург: сб. докл. Екатеринбург, 2006. С. 139–142.

11. Тарасов А. П. Применение троллейвозов на современных открытых горных работах // ГИАБ. 2008. № 2. С. 245–253.

12. Samir Nurić, Adila Nurić, Muhidin Brčaninović. Haulage solutions with trolley assist diesel-electric ac trucks on the pit mine rmu Banovici // Journal of mining and metallurgy. 2009. 45 A (1). P. 78–87.

13. Mehrad Soleimani, Farhad Samimi Namin. Selection of trolley-assisted hauling system for open pit mining using grey theory as a green technology // Green technologies. 2024. Vol. 02. Iss. 1. P. 9–16.

14. Batur Tokac, Qian Zhang, Yuksel Asli Sari. Environmental and economic comparison of diesel and electric trucks in open-pit mining operations // Journal of cleaner production. 2025. Vol. 507. Art. 145540.

15. Черепанов В. А., Журавлев А. Г., Современные технологические и конструктивные решения в карьерном транспорте // Проблемы недропользования. 2022. № 4. С. 75–93.

16. Хазин М. Л. Направления развития карьерного автотранспорта // Недропользование. 2021. Т. 21. № 3. С. 144–150.

17. Haiming Bao, Peter Knights, Mehmet Kizil, Micah Nehring. Productivity estimation of battery trolley mining truck fleets // International journal of mining, reclamation and environment. 2024. Vol. 38. Iss. 2. P. 144–166.

18. Егоров А. Н., Бигель Н. В. Дизель-троллейвозный транспорт «БелАЗ»: перспективы использования в горном производстве // Уголь. 2019. № 7. С. 26–27.

Поступила в редакцию 25 мая 2024 года

Сведения об авторах:

Иванов Дмитрий Андреевич – аспирант кафедры открытых горных работ Сибирского федерального университета. E-mail: leksoo@bk.ru; https://orcid.org/0009-0001-4526-4435

Косолапов Александр Иннокентьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой открытых горных работ Сибирского федерального университета. E-mail: akosolapov@sfu-kras.ru; https://orcid.org/0000-0002-8251-9679

Малофеев Дмитрий Евгеньевич – кандидат технических наук, директор по горным технологиям ООО «Полюс Проект». E-mail: malofeevde@polyus.com

DOI: 10.21440/0536-1028-2025-3-34-43

Assessing the effectiveness of diesel trolley trucks at the Sukhoi Log open pit

Dmitrii A. Ivanov[1], Aleksandr I. Kosolapov[1], Dmitrii E. Malofeev[2]
[1] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.
[2] LLC Polyus Proekt, Krasnoyarsk, Russia.

Abstract

Introduction. *Currently, there has been a steady trend of developing large deep deposits with a reduced content of commercial component in ore. Open pits are equipped with heavy dump trucks with a capacity of more than 200 tons, which ensure cost-effective and safe operation of open pits with minimal environmental impact. However, the shown trend of increasing mining efficiency by using heavy dump trucks for rock haulage is to be studied to establish the rational operation conditions for the dump trucks.*

Methods of research. *Data on the practice of using various types of heavy vehicles in open pits has been analyzed. Thus, the most promising type of vehicle, a diesel trolley truck, has been determined. Considering the special aspects of diesel-trolley trucks operation, a digital twin of the open pit was developed using information modeling in a modern mining and geological information system MGIS in order to plan mining operations and calculate hauling operations. Dependencies were established of the diesel trolley truck's speed on the contact network and the internal combustion engine, depending on the specific resistance to movement. A comprehensive environmental and technical and economic assessment of diesel trolley trucks effectiveness in a large deposit was carried out.*

Results. *The study proved that diesel-trolley haulage, is the most competitive method for delivering ore mass to the surface of an open pit using dump trucks. The diesel-trolley haulage has been assessed in the conditions of the Sukhoi Log open pit, which is characterized by predominantly straight sections with permanent cross-over tracks, significant distance from oil refineries, and stable supply of electricity. The cost price of the transportation process under these conditions is expected to decrease by 30–36%, and emissions of harmful substances — by 50%.*

Application of research results. *The results obtained could be applied in the practice of designing and operating high-capacity mining vehicles at large open pits.*

Keywords: *large gold mines; mining vehicles; transport system; diesel trolley truck; harmful emissions.*

REFERENCES

1. Iakovlev V. L. et al. *Diesel trolleytrucks at open pits.* Novosibirsk: Nauka Publishing; 1991. (In Russ.)

2. Galkin V. I., Sheshko E. E. Problems of improving transport systems in the mining industry of Russia. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2011; S1: 485–507. (In Russ.)

3. Iakovlev V. L. Deep open pit transport. Condition, problems, and prospects. *Gornoe delo = Mining.* 2013; 1: 11–18. (In Russ.)

4. Khazin M. L., Tarasov A. P. Ecological and economic evaluation of quarry trolley trucks. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatelskogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiia, neftegazovoe i gornoe delo = Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering.* 2018; 17(2): 166–180. (In Russ.)

5. Cherepanov V. A., Zhuravlev A. G., Glebov I. A., Chendyrev M. A. Overview of transport with rower supply in focus of mining industry development. *Problemy nedropolzovaniia = Problems of subsoil use.* 2019; 1: 33–49. (In Russ.)

6. Zhuravlev A. G., Budnev A. B. The influence of dump trucks payload capacity on the prime cost of mining with the increase in the depth of an open pit. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the higher institutions. Mining journal.* 2019; 2: 20–31. (In Russ.) Available from: doi: 10.21440/0536-1028-2019-2-20-31

7. Stepug O. G., Zuenok A. S. Diesel-trolley transport of "Belaz" JSC: prospects of its usage in mining industry. *Gornyi zhurnal = Mining journal.* 2013; 1: 52–55. (In Russ.)

8. Haiming Bao, Peter Knights, Mehmet Kizil, Micah Nehring. Electrification alternatives for open pit mine haulage. *Mining.* 2023; 3(1): 1–25.

9. Sheshko O. E. Comparative assessment of environmental impact of dump trucks and diesel trolley cars in open pit mining. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2018; 6: 119–125. (In Russ.)

10. Tarasov P. I., Tarasov A. P., Voroshilov A. G., Zhuravlev A. G. Trolleytrucks in opencast mining. In: *Mining. Equipment. Technologeis: Proceedings of the 1st internat. specialized exhibition and scient. and pract. conf., January 31–February 3, 2006, Ekaterinburg*. Ekaterinburg: 2006. P. 139–142. (In Russ.)

11. Tarasov A. P. Trolleytrucks in modern opencast mining. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2008; 2: 245–253. (In Russ.)

12. Samir Nurić, Adila Nurić, Muhidin Brčaninović. Haulage solutions with trolley assist diesel-electric ac trucks on the pit mine rmu Banovici. *Journal of mining and metallurgy.* 2009; 45 A (1): 78–87.

13. Mehrad Soleimani, Farhad Samimi Namin. Selection of trolley-assisted hauling system for open pit mining using grey theory as a green technology. *Green technologies*. 2024; 02(1): 9–16.

14. Haiming Bao, Peter Knights, Mehmet Kizil, Micah Nehring. Productivity estimation of battery trolley mining truck fleets. *International journal of mining, reclamation and environment.* 2024; 38(2): 144–166.

15. Egorov A. N., Bigel N. V. Diesel-trolley transport "Belaz": prospects for use in the mining industry. *Ugol = Coal*. 2019; 7: 26–27. (In Russ.)

16. Batur Tokac, Qian Zhang, Yuksel Asli Sari. Environmental and economic comparison of diesel and electric trucks in open-pit mining operations. *Journal of cleaner production*. 2025; 507: 145540.

17. Cherepanov V. A., Zhuravlev A. G. Modern technological and design solutions in mining transport. *Problemy nedropolzovaniia = Problems of subsoil use.* 2022; 4: 75–93. (In Russ.)

18. Khazin M. L. Directions of career transport development. *Nedropolzovanie = Subsurface resources management.* 2021; 21(3): 144–150. (In Russ.)

Received 25 May 2024

Information about the authors:

Dmitrii A. Ivanov – PhD student, the Department of Opencast Mining, Siberian Federal University. E-mail: leksoo@bk.ru; https://orcid.org/0009-0001-4526-4435

Aleksandr I. Kosolapov – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Opencast Mining, Siberian Federal University. E-mail: akosolapov@sfu-kras.ru; https://orcid.org/0000-0002-8251-9679

Dmitrii E. Malofeev – PhD (Engineering), director of mining technology LLC Polyus Proekt. E-mail: malofeevde@polyus.com

Для цитирования: Иванов Д. А., Косолапов А. И., Малофеев Д. Е. Оценка эффективности применения дизель-троллейвозов в условиях карьера «Сухой Лог» // Известия вузов. Горный журнал. 2025. № 3. С. 34–43. DOI: 10.21440/0536-1028-2025-3-34-43

For citation: Ivanov D. A., Kosolapov A. I., Malofeev D. E. Assessing the effectiveness of diesel trolley trucks at the Sukhoi Log open pit. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering.* 2025; 3: 34–43 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2025-3-34-43