

Научная статья
УДК 622.271:629.3

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСАМОСВАЛОВ НА КАРЬЕРАХ

Андрей Константинович Артюшин¹, Клим Артемович Алимпьев²,
Олег Валерьевич Баранов³, Иван Алексеевич Пыталев⁴

¹⁻⁴ Магнитогорский государственный технический университет
имени Г. И. Носова, Магнитогорск, Россия

¹ andrey.art.1999@mail.ru

² alimpevklm@mail.ru

³ boleg5429@gmail.com

⁴ vehicle@list.ru

Аннотация. Проведен анализ современного состояния научных исследований и практического опыта внедрения грузовых электромобилей. Оценена целесообразность и перспектива внедрения электросамосвалов на открытых горных работах, обозначены условия их масштабного внедрения и представлены примеры их эксплуатации на крупнейших месторождениях мира.

Ключевые слова: электросамосвалы, карьеры, аккумуляторные батареи, автоматизация, углеродная нейтральность

Для цитирования: Оценка перспективности использования электросамосвалов на карьерах / А. К. Артюшин, К. А. Алимпьев, О. В. Баранов, И. А. Пыталев // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 732–736.

Original article

ASSESSMENT OF THE PROSPECTS OF USING ELECTRIC DUMP TRUCKS IN QUARRY

Andrey K. Artyushin¹, Klim A. Alimpyev², Oleg V. Baranov³, Ivan A. Pytalev⁴

¹⁻⁴ Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

¹ andrey.art.1999@mail.ru

² alimpevklm@mail.ru

³ boleg5429@gmail.com

⁴ vehicle@list.ru

Abstract. An analysis of the current state of scientific research and practical experience in the implementation of electric trucks has been carried out. The fea-

sibility and prospects of introducing electric dump trucks in open-pit mining operations have been assessed, the conditions for their large-scale deployment have been identified, and examples of their use at the world's largest mining sites have been presented.

Keywords: electric dump trucks, quarries, battery energy storage, automation, carbon neutrality

For citation: Ocenka perspektivnosti ispol'zovaniya e'lektrosamosvalov na kar'erax [Assessment of the prospects of using electric dump trucks in quarry] (2026) A. K. Artyushin, K. A. Alimpyev, O. V. Baranov, I. A. Pytalev. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 732–736. (In Russ).

Горнодобывающая промышленность стоит перед беспрецедентными вызовами, обусловленными необходимостью повышения производительности и эффективности при одновременном достижении углеродной промышленности. При этом транспортирование горной массы в карьерах является одной из основных статей затрат на добычу полезных ископаемых, а также источником выбросов парниковых газов, составляя от 30 до 80 % от общих выбросов на месторождении в зависимости от условий разработки [1].

На сегодняшний день практически все применяемые на карьерах автосамосвалы оснащены дизельными двигателями, что обуславливает значительные затраты на топливо, выбросы парниковых газов, а также необходимость постоянного обслуживания сложных механизмов двигателей внутреннего сгорания. Все это в долгосрочной перспективе ведет к низкой экономической эффективности и экологической нагрузке [2]. Поэтому поиск решений по замене привода карьерных автосамосвалов является в последние десятилетия актуальной научно-практической задачей. С учетом положительного опыта эксплуатации легковых электромобилей, переход на электросамосвалы является весьма перспективным направлением.

Электросамосвалы представляют принципиально новый подход к решению проблемы повышения эффективности и экологичности горного производства. Технология электрического привода для карьерного транспорта активно развивается на протяжении последних двух десятилетий, достигнув сегодня такого уровня зрелости, который позволяет серьезно рассматривать возможность массового внедрения этих машин [3]. Крупнейшие производители горно-транспортного оборудования – Caterpillar, Liebherr, Komatsu, а также отечественный производитель БЕЛАЗ, уже реализуют программы по разработке и испытанию электросамосвалов различной грузоподъемности.

В результате анализа современных решений по внедрению или планируемых к внедрению карьерных автосамосвалов выявлено два основных типа электросамосвалов:

1. **Аккумуляторные электросамосвалы (BEV)** – машины, работающие исключительно от встроенных аккумуляторных батарей. Современные образцы характеризуются грузоподъемностью от 90 до 372 т.

2. **Дизель-электрические троллейбусы** – гибридные системы, в которых электроэнергия подводится по воздушным линиям или железнодорожным контактам во время движения, что позволяет значительно снизить требуемую емкость батареи.

Наиболее продвинутыми решениями в настоящее время являются аккумуляторные электросамосвалы. Компания Caterpillar представила серию электросамосвалов AC (Alternating Current – переменный ток) с электромеханической трансмиссией, включающую модели 794 AC (327 т), 796 AC (327 т), 797F (363 т) и 798 AC (372 т) [4]. Особенностью этих машин является применение регенеративного торможения и прямого электрического привода, обеспечивающего лучший контроль над ускорением и торможением.

Компания Liebherr выпустила электросамосвал Т 264 грузоподъемностью 240 т с инновационной системой Litronic Plus AC drive с использованием технологии IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor). Эта система позволяет достичь максимальной скорости 55 км/ч и обеспечивает более эффективное распределение мощности по сравнению с традиционными системами.

Отечественный производитель БЕЛАЗ разработал 90-тонный электросамосвал БЕЛАЗ-7558Е, который прошел успешные испытания на полигоне в Жодино (Республика Беларусь) в 2023 г. Испытания включали проверку системы термостатирования тяговых батарей и оценку возможностей аккумуляторов в различных условиях окружающей среды.

Одним из ключевых преимуществ электросамосвалов является использование систем регенеративного торможения. Эта технология позволяет преобразовать кинетическую энергию, выделяемую при торможении, обратно в электрическую энергию, которая накапливается в батарее [2]. В условиях открытых горных работ данная система наиболее эффективна, поскольку автосамосвалы при выполнении рейсов перемещаются на спуск и подъем по уклону до 150 %.

Согласно результатам исследований, регенеративное торможение может обеспечить восстановление до 20–30 % энергии в циклическом режиме работы карьерных автосамосвалов. В этих случаях при работе на участках с высокими продольными уклонами электросамосвалы могут работать длительные периоды фактически без подзарядки благодаря рекуперации электрической энергии при движении на спуск.

Литий-ионные аккумуляторные батареи, используемые в электросамосвалах, характеризуются высокой энергетической плотностью и длительным сроком службы. Типичный ресурс аккумулятора составляет 5–10 лет

или 10000–20000 ч работы в зависимости от условий эксплуатации и режимов зарядки. Однако одним из критических факторов таких аккумуляторов является температурный диапазон эксплуатации, поскольку экстремальные температуры в карьерах могут значительно сокращать срок службы батареи.

Анализ, проведенный компанией SRK Consulting, позволяет сравнить полную стоимость владения (Total Cost of Ownership, TCO) 150-тонного электросамосвала и его дизельного эквивалента [5]. Согласно представленным исследованиям, стоимость электросамосвала значительно выше, около 30–40, однако эта разница быстро окупается за счет снижения эксплуатационных затрат. Ключевые экономические показатели:

- **энергетические расходы:** электросамосвал грузоподъемностью 150 т потребляет приблизительно 275 кВт·ч электроэнергии в час. Дизельный аналог расходует 100 л дизельного топлива в час. Таким образом, электросамосвал обеспечивает 65 % снижение энергетических расходов [5];

- **расходы на техническое обслуживание:** электросамосвалы имеют значительно более простую конструкцию по сравнению с дизельными машинами, т. к. в них отсутствуют сложные системы двигателя внутреннего сгорания, включая поршни, клапаны, турбокомпрессоры и системы выпуска. Кроме того, исключается необходимость замены фильтров и масел. Это приводит к снижению расходов на обслуживание более чем на 40–50 % [2, 5];

- **полная стоимость владения за 10 лет:** несмотря на необходимость замены батареи 2–3 раза в течение жизненного цикла машины, электросамосвал оказывается на 250 млн рублей дешевле в расчете на 10-летний период эксплуатации [5]. Критически важным является то, что первоначальные капиталовложения окупаются уже к третьему году эксплуатации благодаря непрерывному снижению операционных расходов.

В качестве примеров применения и перехода на электросамосвалы следует отметить:

Компания ВНР (Австралия) в сотрудничестве с Caterpillar развернула программу по замене 160 дизельных самосвалов на электрические модели на медных рудниках в Чили. Проект предусматривает внедрение 360 электросамосвалов Liebherr T264 на австралийских операциях, что является одним из крупнейших заказов электросамосвалов в истории горной промышленности.

Компания Boliden (Швеция) сообщила о 15 % снижении времени цикла при использовании электрических грузовиков по сравнению с дизельными аналогами [5]. Компания также внедрила систему дизель-электрических троллейбусов, в которых электроэнергия подводится по контактному кабелю во время движения по основным маршрутам, что позволило дополнительно сократить расходы.

Золотые рудники Newmont (США) планируют развернуть батарейные электросамосвалы на трех месторождениях с внедрением 26 электромашин [3].

Этот проект предусматривает создание полностью подключенной системы управления с возможностью автономной работы машин.

Угольный рудник Huolinhe (Китай), переоборудованный компанией Xiangtan Electric Manufacturing, демонстрирует снижение ежедневных расходов на электроэнергию до 6,6 раз по сравнению дизельными автосамосвалами [5].

В экологическом и социальном аспектах электросамосвалы предоставляют нулевые прямые выбросы на месте разработки, полностью на локальном уровне исключаются выбросы оксидов азота (NO_x), твердых частиц (PM) и углекислого газа (CO₂) [2]. Это имеет особое значение при работе на глубоких горизонтах карьеров, а также при их расположении вблизи населенных пунктов.

При расчете полного жизненного цикла выбросы электросамосвалов зависят от источника электроэнергии. Когда электросамосвалы заряжаются от возобновляемых источников энергии (солнечные батареи, ветровые генераторы, гидроэлектростанции), общее сокращение выбросов CO₂ может достичь 80–100 % по сравнению с дизельными машинами [3].

Таким образом, переход и внедрение электросамосвалов на открытых горных работах позволяют значительно повышать экономическую эффективность добывающих предприятий при значительном снижении выбросов парниковых газов и достижении углеродной нейтральности.

Список источников

1. Автономные самосвалы готовятся к карьерному росту // CDO2DAY : [сайт]. URL: <https://cdo2day.ru/sekrety-firm/avtonomnye-samosvaly-gotovjatsja-k-karernomu-rostu/> (дата обращения: 25.11.2025).
2. Электрические против дизельных грузовиков // AAA Amber Truck : [сайт]. URL: <https://aaa-ambertruck.ru/articles/elektricheskie-protiv-dizelnih-gruzovikov-chto-luchshe-podhodit-dlya-vashego-biznesa/> (дата обращения: 20.11.2025).
3. Decarbonising mining: Charging ahead with battery electric vehicles // Appian Capital Advisory : [сайт]. URL: <https://rhg.com/research/electric-trucks-and-the-future-of-chinese-oil-demand/> (дата обращения: 25.11.2025).
4. 794 AC Mining Truck // Caterpillar Official Site : [сайт]. URL: <https://www.cat.com> (дата обращения: 25.11.2025).
5. TCO equation stacks up for 150-t payload battery-electric trucks // IM Mining : [сайт]. URL: <https://im-mining.com> (дата обращения: 25.11.2025).